

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL PENGKAJIAN DAN PENERAPAN
TEKNOLOGI INDUSTRI KE-3
(SNPPTI 2012)

ISSN : 2086-2156

Tema:

*"Green Industry: Principle, Research,
Technology and Its Applications"*

Auditorium Menara Universitas Mercu Buana
Jakarta, Indonesia
Sabtu, 28 April 2012

Reviewer:

Dr. Ir. Abdul Hamid, M.Eng (Ketua)
Dr. Mardani Ali Sera, ST., M.Eng
Ir. Dana Santoso, M.Eng.Sc., PhD
Dr.-Ing. Mudrik Alaydrus
Dr. Hardiyanto Iridiastadi
Dr. Harwikarya, MT
Dr. Hamzah Hilal
Dr. Ir. Eliyani

Diorganisasikan oleh:



Fakultas Teknik
Universitas Mercu Buana
Jakarta
2012

Kata Pengantar dari Panitia

KATA PENGANTAR



Bismillahirrahmanirrahim. Assalamu'alaikum Wr. Wb.
Salam sejahtera bagi kita semua.

Puji dan syukur ke Hadirat Allah SWT, karena berkat nikmat, rahmat, dan karunia-Nya, pada pagi hari ini kita dapat hadir bersama-sama di Ruang Pertemuan Universitas Mercu Buana untuk mengikuti Seminar Nasional Pengkajian & Penerapan Teknologi Industri Ke-3 (SNPPTI 2012).

Seminar Nasional Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri Ke-3 (SNPPTI 2012) ini merupakan kegiatan ilmiah yang bertujuan untuk menjadi ajang pertemuan, silaturahmi, berbagi pengalaman dan membentuk jaringan sesama dosen, peneliti dan praktisi di bidang teknologi industri, pada bidang Teknik Elektro, Teknik Mesin, Tekni Industri, Teknik Energi dan Teknologi Informasi. Tema Seminar Nasional ini adalah: "*Green Industry: Principles, Researchs, Technologies and Its Applications*".

Syukur alhamdulillah, jumlah makalah yang masuk ke Panitia berjumlah cukup banyak. Setelah melalui proses review dari Tim reviewer yang kompeten di bidangnya masing-masing, maka makalah yang layak untuk dipresentasikan dan akan dipublikasikan dalam bentuk prosiding berjumlah sebanyak 55 buah makalah. Makalah tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut:

Dilihat dari latar belakang bidang studi yang terdiri dari:

1. Bidang Elektro Terapan 10 makalah
2. Bidang Energi dan Lingkungan 8 makalah
3. Bidang Informatika 6 makalah
4. Bidang Industri 20 makalah
5. Bidang Mesin 13 makalah

Dilihat dari latar belakang daerah asal penulis makalah yang terdiri dari kampus yang beragam asalnya, termasuk dua makalah dari Malaysia, lembaga pemerintah dan lembaga penelitian serta mahasiswa program pasca sarjana.

Akhirnya, izinkanlah kami selaku Ketua Panitia Seminar Nasional Pengkajian & Penerapan Teknologi Industri ke-3 tahun 2012 menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh anggota Panitia Seminar Nasional yang telah mengorbankan waktunya dan bekerja secara maksimal. Kepada pimpinan universitas dan fakultas serta semua pihak yang telah membantu Panitia. Semoga Allah SWT membalas amal baik Bapak/ibu dan saudara sekalian.

Dengan kerendahan hati, saya atas nama seluruh panitya, memohon maaf untuk semua kekurangan yang mungkin tidak nyaman bagi peserta.

Wabillahi Taufiq Walhidayah
Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Jakarta, 28 April 2012
Ketua Panitia

Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng

Sambutan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Peserta Seminar yang kami hormati,

Rasa syukur yang mendalam kita panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia yang diberikan sehingga kita dapat menyelenggarakan Seminar Nasional Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri Ke-3 tahun 2012 ini dengan tema : "*Green Industry: Principles, Researchs, Technologies and Its Applications*".

Seminar ini bertujuan sebagai media tukar menukar informasi antar pihak perguruan tinggi, lembaga peneliti, pemerintah dan pihak industri serta diharapkan memberikan kontribusi bagi perkembangan teknologi di Indonesia

Atas nama civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana, kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Semua para peserta seminar yang telah memberikan kontribusi, baik sebagai keynote speaker, pemakalah ataupun peserta
2. Pimpinan dan staf Universitas Mercu Buana yang telah memberikan dukungannya.
3. Seluruh Panitia dan semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil

Akhir kata selamat berseminar , semoga seminar ini bermanfaat dan dapat memberikan tindak lanjut perkembangan teknologi.

Jakarta, April 2012
Dekan,

Torik Husein, Ir, MT

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Susunan Panitia

Penanggung Jawab:

- Dekan Fakultas Teknologi Industri UMB: Ir. Torik Husein, MT

Pengarah:

- Prof. Dr. Usman Sujadi
- Ketua Program Studi Teknik Elektro
- Ketua Program Studi Teknik Mesin
- Ketua Program Studi Teknik Industri
- Ketua Program Studi Magister Teknik Industri
- Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Ketua Pelaksana:

- Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng

Reviewers:

- Dr. Ir. Abdul Hamid, M.Eng (Ketua)
- Dr. Mardani Ali Sera, ST., M.Eng
- Ir. Dana Santoso, M.Eng.Sc., PhD
- Dr.-Ing. Mudrik Alaydrus
- Dr. Hardiyanto Iridiastadi
- Dr. Harwikarya, MT
- Dr. Hamzah Hilal
- Dr. Ir. Eliyani

Koordinator-koordinator:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Mohammad Kadafi, ST., MT | : Promosi dan Informasi |
| Resa Taruna, ST., MT | : Makalah dan Prosiding |
| Ir. Denny Hadiwinata, M.Sc | : Acara dan Persidangan |
| Yudhi Gunardi, ST., MT | : Undangan, Pembicara dan Sponsor |
| Edijon Nopian, SE | : Perlengkapan dan Umum |

Daftar Isi

Kata Pengantar dari Panitia	ii
Sambutan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana	iii
Susunan Panitia	iv
Daftar Isi	v
Judul dan Pemakalah	vi

Judul dan Pemakalah

No.	Judul Makalah dan Pemakalah	Hal
1	Kajian Teoritis : Penerapan <i>Total Quality Management</i> dan <i>Customer Driven Organizations</i> Untuk Menciptakan Loyalitas Pelanggan Gita Permata Liansari, Arip Budiono	1
2	Perbaikan Kualitas Jasa Dengan Pendekatan <i>Sigma Productivity</i> Hari Supriyanto	7
3	Analisa Penerapan One Piece Flow pada Line Sub Assy Door Lock Mechanic (Studi Kasus : PT. AISIN INDONESIA) Torik, Bagoes Pratie Wanggono	11
4	Pengaruh Pelatihan, Penerapan <i>Sop</i> , dan Sistem Reward, terhadap Produktivitas Teknisi Bengkel Agung Wahyudi Biantoro	18
5	Pengaruh Penerapan Sistem Antrian Servis Dan Kendali Mutu Terhadap Minat Guna Jasa Ulang Pada Bengkel Motor S, Jakarta Barat Agung Wahyudi Biantoro	26
6	<i>Mapping</i> Sistem Distribusi Komoditas Strategis Gula Di Indonesia Defi Norita	34
7	Integrasi Sistem Informasi Penetapan Biaya - Harga Untuk Efisiensi Waktu Proses Penawaran Pada Industri Percetakan Offset Skala Kecil Indra Almahdy, Yohanes Krisanto	40
8	Rancangan Perbaikan Sistem Manajemen Kualitas Pada Proses Produksi Rubber Outsole Di PT. X Meike Elsy B., Zulfa Fitri I., Euis Nina S. Y.	46
9	Analisa Waktu Optimum Proyek Pembangunan Menara Pemancar dengan Menggunakan Metode CPM (Critical Path Methode) dan PERT (Program Evaluation And Review Technic) di PT. Netwave Multimedia Sonny Koeswara, Iwan Budi Harto	52
10	Usulan Penerapan Metode Six Sigma Dalam Upaya Menurunkan Tingkat Kecacatan Produk MJC1 195 MI Di PT Y Resa Taruna Suhada, Daniatri Ratri Rachmat	58
11	Six Sigma Mampu Menurunkan 96% DPMO pada Produk Sakelar Tipe E426/16sl Di PT. X Herry Agung Prabowo, Farida, Muhammad Ridwan	65
12	Menurunkan Rusaknya Produk Proses <i>Die Casting</i> pada Industri Otomotif dengan Metode <i>Quality Control Circle</i> Hendri	71
13	Perancangan Perbaikan Sistem Kerja dengan Metode 5S (Studi Kasus Material Handling Dept. PT. Nissan Motor Indonesia) Golbi Tranado, Euis Nina S. Y., Imas Widowati, Elly Setiadewi	76
14	Analisa Produksi pada Kaleng Mauritius pada Departemen Printing Perusahaan Perkalengan Indonesia dengan Menggunakan Metode SPC Hayu Kartika, Hari Purnomo	82
15	Analisa Penetapan Harga Pokok Biaya Sewa Area Di PT. XYZ Alfa Firdaus, Dwi Santoso	87
16	Analisa Keputusan Pemilihan Investasi Alat Berat Hydraulic Excavator Komatsu Pc200 Atau Hitachi Zaxis 200 Didalam Proses Pertambangan Batu Bara Di Pt. IR Alfa Firdaus, Dwi Santoso	91

17	Analisa DMAIC Pada Proyek Kerja Lapangan PT Kotaminyak Internusa Muhammad Kholil, Daryono	96
18	Perencanaan Kebutuhan Material (Mrp) Dengan Menggunakan Teknik Lot Sizing Pada Pembuatan Produk Kecap Manis 620 Ml Di PT. XYZ Muhammad Kholil, Aquarina Limbong	102
19	<i>Business Process Improvement</i> Sebagai Dasar Perbaikan Proses Penerbitan Dokumen <i>Work Completion Certificate</i> (Wcc) Dengan Menggunakan Metode <i>Streamlining</i> Di PT XYZ Muhammad Kholil, Daryono	109
20	Pemanfaatan Teknologi Informasi <i>E-Commerce</i> Hasil Kerajinan Tangan Siswa- Siswi Panti Sosial Bina Netra Menggunakan Metode B2C Linda Marlinda, Harsih Rianto	115
21	<i>Citizen Science Application</i> untuk Keanekaragaman Hayati Di Daerah Perkotaan Irya Wisnubhadra, Ardianto, Pramana Yuda, Benyamin L.Sinaga	121
22	Sistem Informasi Project Tracker Menggunakan Metode Singleton dan Mediator Pattern Ratna Mutu Manikam, Arief Suwandi, Julianti Munthe	127
23	Rancang Bangun Sistem Informasi Tata Letak Puskesmas Pada Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta Sarwati Rahayu, Rizky Yoga Aditya	132
24	Mining Association Rules With Rough Sets For Clasifiying E-Mail Sudirman	137
25	Rancang Bangun Perangkat Lunak Pembelajaran Komponen <i>Listening</i> <i>Comprehension</i> TOEFL dengan Sumber Soal <i>Online</i> secara <i>Asynchronous</i> dan Sumber Soal <i>Offline</i> Anis Cherid	142
26	Industri Manufaktur Turbin Air di Indonesia Suryo Busono, Endang Sri Hariatie	149
27	Analisa kinerja dan Emisi Gas Buang pada Mesin Supra X 125 FI dan Supra X 125 Karburator Tri Agustianto, Nanang Ruhyat	152
28	Analisa Pengelasan Beda Material Stainless Steel (Sus 316l) dengan Karbon (Sa 516 Gr 70) Untuk Item HP Vent Ko Drum Nanang Ruhyat, Hendry Purwanto	158
29	Peningkatan Kinerja Melalui Grafik <i>Yamazumi</i> Pada Suatu Industri Komponen Otomotif Djoko Agustono	166
30	Analisis Cacat Untuk Peningkatan Kualitas Dan Produktivitas Pada Suatu Proses Produksi Tread Ban Djoko Agustono	171
31	Fluid –Induced Vibration pada Sistem Pemipaan Minimum Flow Boiler Feed Water Yogie Maradona, Abdul Hamid	177
32	Perancangan Awal Sistem Penyala Mula Roket Padat (Studi Kasus Roket Padat Ø 320 Mm) Ganda Samosir	184
33	Rancang Bangun Rig Uji Kinerja Turbin Zanette Pada Pembebanan Konstan Bambang Sumiyarso, Susilo Adi Widyanto, Syaiful, Sugeng Ariyono	190

34	Tracking OCL IC-Engine Using PID for Vehicle Equipped with EMDAP-CVT Sugeng Ariyono , Bambang Supriyo, H.Saptono, Nanang Budi Sriyanto	195
35	Audit Energi Pada Sistem Kelistrikan Di Industri Pengolah Emas Yuriadi Kusuma	203
36	Penentuan Specific Energy Consumption (SEC) pada Industri Pengolahan Emas Yuriadi Kusuma	208
37	Kompensasi Daya Reaktif pada Saluran Distribusi Kabel bawah Tanah Hamzah, Abdullah Asuhaimi bin Mohd Zin	212
38	Simulasi Penghitungan Bit Error Rate Dengan Pengkodean Hamming Setiyo Budiyanto	218
39	Sistem Gerak Robot Barang Via Jalur Garis Hitam Berbasis Controller A. Sofwan, M.Febriansyah, H.E. Havitz, A.Priyono	226
40	Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Harmonik Pada Beban Mesin Welding Berbasis Mikrokontroler A.Sofwan, A.Ponco Putro, A.Priyono	233
41	A Low Cost Microcontroller-Based Automatic Transfer Switch For Portable Generator Budhi Anto	239
42	Penerapan Telemetri Pada Lapangan Gas dan Minyak Bumi Radita Arindya	246
43	Setting Relai Differensial Pada Transformator Daya 150/20 Kv Di Grdu Induk Menes Badaruddin, Ridwan Kurniawan	250
44	Algoritma Pembangkitan Ekonomis Untuk Komitmen Unit Termal Hamzah Hilal	255
45	Kajian Sifat Konvergensi Algoritma Aliran Daya <i>Fast Decoupled</i> Hamzah Hilal	261
46	Pengujian berat jenis dan Penyusutan berat bahan uji kabel jenis N2XSRY dan NA2XSEYBY Syafriyudin	268
47	Perancangan Dan Pembuatan Penetas Telur Berbasis Arduino Dumilanove Yudhi Gunardi	272
48	Analisa Problem Difraksi Pada Celah dengan Regularisasi TSVD dan Tikhonov Mudrik Alaydrus	278
49	Modification of Cycle Time Setting System from Over Head Conveyors using The PLC Syahril Ardi, Widya Pramudya Hartantyo	284
50	Audit dan Solusi Kualitas Daya Pada Industri Logam Achmad Hasan	288
51	Analisis Pengukuran Energi Termal pada Industri Tekstil Achmad Hasan	294
52	Proses Kultivasi <i>Spirulina Platensis</i> Menggunakan Pome (<i>Palm Oil Mill Effluent</i>) Sebagai Media Kultur Dalam <i>Raceway Open Pond Bioreactor</i> Abdullah, Elisa Mutiah, Erlinda Khoirunisa	301
53	Rancangan Dasar Energi PLTAMH DAS Bogowonto dan Serayu Kabupaten Wonosobo Muhamar Kadaffi	306
54	Pengebor PCB (Printed Circuit Board) Otomatis Andi Adriansyah, Anjar Priyanto	312
55	Evaluasi Pemanfaatan Psychomotor Vigilance Task dalam Pengukuran Beban Mental Anisah H Alatas, Hardianto Iridiastadi	316

- | | | |
|----|--|-----|
| 56 | Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn dengan Fabrikasi Padat,
Analisa Struktur Makro
D. H. Ariosuko, Sri Harjanto | 324 |
| 57 | Metoda Agregat Planning Heuristik Campuran Pada Proses Pembuatan Kertas Di
Paper Machine #9 PT.Pindo Deli Pulp And Paper Mills
Erry Rimawan, Atep Afia Hidayat, Tri Syaputra | 333 |

Kajian Teoritis : Penerapan *Total Quality Management* Dan *Customer Driven Organizations* Untuk Menciptakan Loyalitas Pelanggan

Gita Permata Liansari, Arip Budiono
Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung
 Email : gtaprmata@yahoo.com
 Email : aripbudiono@gmail.com

Abstrak--Perusahaan pada berbagai jenis industri dan ukuran perusahaan pada dasarnya harus fokus terhadap hal yang sama yaitu upaya untuk memuaskan pelanggannya. Untuk dapat memuaskan pelanggan, perusahaan harus memberikan produk atau jasa yang berkualitas. Peningkatan kepuasan pelanggan dapat dilakukan dengan menerapkan *Total Quality Management* yang merupakan suatu upaya berkesinambungan. Perusahaan juga dapat menggunakan model *Customer driven organization* sehingga perusahaan dapat mengambil tindakan yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. Penelitian ini mengkombinasikan konsep *Total Quality Management* dengan *Customer Driven organization* untuk menciptakan suatu model baru yang dapat digunakan oleh perusahaan untuk menciptakan loyalitas pelanggannya dan meningkatkan keunggulan kompetitif bagi perusahaan.

Kata Kunci : *Total Quality Management, Customer Driven Organizations, Ekspektasi Pelanggan, dan Loyalitas Pelanggan*

I. PENDAHULUAN

Perusahaan pada berbagai jenis industri dan ukuran perusahaan pada dasarnya harus fokus terhadap hal yang sama yaitu upaya untuk memuaskan pelanggannya. Untuk dapat memuaskan pelanggan, perusahaan harus memberikan produk atau jasa yang berkualitas.

Parasuraman et al. (1985) menyatakan bahwa kualitas jasa merupakan fungsi dari perbedaan antara ekspektasi dengan performansi pada dimensi kualitas. Kegagalan perusahaan memberikan produk/jasa yang berkualitas bagi pelanggannya dapat menimbulkan terjadinya kekecewaan jika performansi produk atau jasa yang diberikan ternyata berada dibawah ekspektasi pelanggan.

Konsumen yang merasa kecewa terhadap kualitas produk atau jasa yang dihasilkan perusahaan dapat melakukan dua hal yaitu: berhenti membeli atau tetap membeli sampai ditemukan alternatif lain dari produk/jasa yang ditawarkan perusahaan. Hal tersebut akan memberikan dampak langsung seperti penurunan penjualan perusahaan atau dampak tidak langsung

seperti memberikan kesempatan kepada pesaing untuk merebut pangsa pasar dari pelanggan yang kecewa tersebut.

Reichheld (1996) dalam bukunya yang berjudul "*The Loyalty Effect: the Hidden Force behind Growth, Profits and Lasting Value*," menunjukkan bahwa biaya untuk mendapatkan pelanggan baru adalah lima kali lebih banyak daripada mempertahankan konsumen yang telah ada. Besarnya biaya untuk memperoleh pelanggan baru dan potensi peningkatan profitabilitas perusahaan yang besar dengan mempertahankan pelanggan yang telah ada membuat perusahaan perlu untuk melakukan segala upaya dalam mempertahankan pelanggannya. Perusahaan dapat mempertahankan konsumen dengan selalu berupaya memenuhi kebutuhan konsumen dan menghadirkan produk yang berkualitas untuk memenuhi ekspektasi pelanggan.

Peningkatan kualitas dapat dilakukan dengan metode *Total Quality Management (TQM)* yang merupakan suatu upaya berkesinambungan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan. Disamping itu, perusahaan dapat mengupayakan pencapaian kepuasan pelanggan dengan menggunakan struktur yang dikenal sebagai *Customer driven organization*. Penelitian ini mengkombinasikan TQM dengan *Customer Driven organization* untuk menciptakan suatu model baru yang dapat digunakan oleh perusahaan untuk untuk menciptakan loyalitas pelanggannya dan meningkatkan keunggulan kompetitif bagi perusahaan.

II. LANDASAN TEORI

Loyalitas

Menurut Griffin (1997), konsumen yang loyal adalah konsumen yang melakukan pembelian lebih pada perusahaan. Loyalitas konsumen akan memberikan keunggulan kompetitif dan membuat perusahaan memiliki kemampuan yang lebih besar untuk bertahan pada pasar yang semakin kompetitif. Biaya pemasaran juga akan menurun karena perusahaan tidak harus mengeluarkan biaya lebih banyak untuk menarik konsumen baru.

Foster (2006) menyatakan bahwa pelanggan membeli nilai, sehingga meningkatkan nilai akan memberikan pengalaman pada pelanggan yang pada akhirnya akan meningkatkan loyalitas pelanggan.

Terdapat keuntungan-keuntungan yang akan diperoleh perusahaan jika memiliki pelanggan yang loyal. Griffin (1997) menyatakan bahwa keuntungan memiliki pelanggan yang loyal adalah:

- Mengurangi biaya pemasaran karena biaya untuk menarik konsumen baru lebih tinggi
- Mengurangi biaya transaksi, seperti biaya negosiasi kontrak, pemrosesan pesanan, dll
- Mengurangi biaya *turn over* konsumen karena pergantian pelanggan yang lebih sedikit
- Meningkatkan penjualan silang yang akan memperbesar pangsa pasar perusahaan
- *Word of mouth* yang lebih positif dengan asumsi bahwa konsumen yang loyal berarti konsumen tersebut merasa puas
- Mengurangi biaya kegagalan, seperti biaya pergantian, dll

Mutu

Mutu merupakan hal yang harus senantiasa diperhatikan oleh perusahaan untuk mencapai harapan konsumen. Terdapat berbagai definisi mutu yang dikemukakan oleh para ahli, diantaranya adalah:

- Juran dalam Ariani (2002) menyatakan bahwa mutu adalah kesesuaian dengan tujuan dan manfaatnya.
- Scherkenbach dalam Ariani (2002) menyatakan bahwa mutu ditentukan oleh pelanggan. Pelanggan menginginkan produk yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai dari produk tersebut.
- Elliot dalam Ariani (2002) menyatakan bahwa mutu adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda dan tergantung pada waktu dan tempat atau dikatakan sesuai dengan tujuan
- Standar Nasional Indonesia dalam Ariani (2002) mendefinisikan mutu sebagai keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar.
- Crosby dalam Nasution (2004) menyatakan bahwa mutu adalah *conformance to requirement*, yaitu sesuai dengan yang disyaratkan atau distandarkan. Suatu produk memiliki mutu apabila sesuai dengan standar mutu yang telah ditentukan. Standar mutu meliputi : bahan baku, proses produksi, dan produk jadi.
- Deming dalam Nasution (2004) menyatakan bahwa mutu adalah kesesuaian dengan kebutuhan pasar atau konsumen. Perusahaan harus benar-benar dapat memahami apa yang dibutuhkan konsumen atas suatu produk yang akan dihasilkan.
- Feigenbaum dalam Nasution (2004) menyatakan bahwa mutu adalah kepuasan pelanggan sepenuhnya (*full customer satisfaction*). Suatu

produk bermutu apabila dapat memberikan kepuasan sepenuhnya kepada konsumen, yaitu sesuai dengan apa yang diharapkan konsumen atas suatu produk.

- Garvin dan Daviz dalam Nasution (2004) menyatakan bahwa mutu adalah suatu kondisi dinamis yang berhubungan dengan produk, manusia / tenaga kerja, proses, dan tugas, serta lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan pelanggan atau konsumen.

Berdasarkan pendapat-pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa mutu merupakan suatu kriteria penilaian bagi *customer* didalam menganalisa kebutuhan dan keinginannya, baik terhadap produk maupun jasa. Suatu produk atau jasa yang bermutu adalah suatu produk atau jasa yang karakteristiknya dapat menrepresentasikan kebutuhan dan keinginan konsumen. Dengan terpenuhinya karakteristik tersebut maka produk dan jasa tersebut semakin baik dan semakin dapat mencapai harapan konsumen.

Selera dan harapan konsumen terhadap suatu produk tidak bersifat tetap melainkan selalu berubah sehingga mutu produk juga harus berubah untuk menyesuaikan dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. Perubahan mutu memerlukan perubahan atau peningkatan keterampilan tenaga kerja, perubahan proses produksi, serta perubahan lingkungan perusahaan.

Mutu terdiri dari elemen-elemen mutu dan dapat diukur dalam hal dimensi mutu. Menurut Nasution (2004), mutu terdiri dari tiga elemen yaitu:

- Mutu mencakup usaha memenuhi atau melebihi harapan konsumen,
- Mutu mencakup produk, jasa manusia, proses dan lingkungan,
- Mutu merupakan kondisi yang selalu berubah.

Terdapat beberapa dimensi mutu dalam industri manufaktur. Garvin dalam Ariani (2002) menyatakan bahwa dimensi mutu adalah:

- *Performance*, yaitu kesesuaian produk dengan fungsi utama produk.
- *Feature*, yaitu ciri khas produk yang membedakan dengan produk lainnya.
- *Reliability*, yaitu kepercayaan konsumen terhadap produk karena keandalannya atau kemungkinan rusaknya rendah.
- *Conformance*, yaitu kesesuaian produk dengan syarat atau ukuran tertentu atau sejauh mana karakteristik desain dan operasi memenuhi standar yang telah ditetapkan.
- *Durability*, yaitu tingkat keawetan produk atau lama umur produk.
- *Serviceability*, yaitu kemudahan produk bila akan diperbaiki atau kemudahan memperoleh komponen produk tersebut.
- *Aesthetics*, yaitu keindahan atau daya tarik produk.
- *Perception*, yaitu fanatisme konsumen akan merk suatu produk tertentu karena citra atau reputasi produk itu sendiri.

Total Quality Management (TQM)

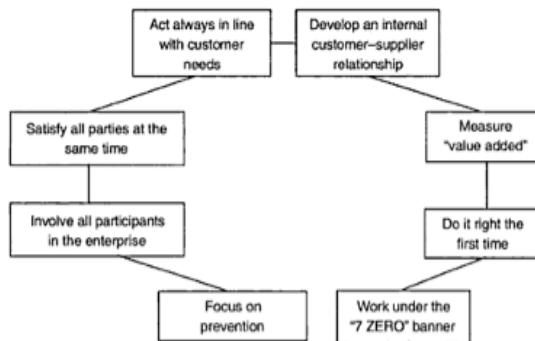
TQM merupakan salah satu metode yang populer digunakan untuk memperbaiki mutu. Terdapat beberapa definisi TQM yang dikemukakan oleh para ahli, diantaranya adalah:

- TQM merupakan suatu pendekatan untuk memperbaiki kualitas dari produk dan jasa secara berkesinambungan melalui partisipasi dari individu pada seluruh tingkatan organisasi (Pfaus, 1989).
- TQM adalah usaha terintegrasi secara total untuk meningkatkan keunggulan kompetitif dengan perbaikan secara berkesinambungan pada setiap bagian dari budaya organisasi (Tobin, 1990).

Kedua definisi diatas sama-sama mendefinisikan TQM sebagai suatu pendekatan untuk perbaikan kualitas secara berkesinambungan. Perbedaan terletak pada penekanan terhadap keterlibatan individu pada setiap tingkatan organisasi (Pfaus, 1989), keunggulan kompetitif dan budaya organisasi (Tobin, 1990).

Konsep TQM

Mukhrejee & Kachwala (2010) menjelaskan tentang *the building blocks of TQM*. *The building blocks of TQM* ini menunjukkan bahwa tujuan perusahaan adalah selalu melakukan perbaikan kualitas pada aspek kepemimpinan perusahaan. Gambar 1 dibawah ini menunjukkan *The building blocks of TQM* :



Gambar 1 *The building blocks of TQM*
 Sumber : Mukhrejee & Kachealka (2010)

The bulding blocks of TQM pada gambar diatas menunjukkan keterkaitan dari 8 hal pada TQM. Dimulai dari fokus pada pencegahan, dimana hal ini melibatkan keseluruhan pihak di perusahaan. Seperti yang diketahui bahwa TQM dilakukan dengan

melibatkan setiap level untuk melakukan perbaikan secara berkesinambungan pada perusahaan.

Selanjutnya dengan melibatkan keseluruhan bagian di perusahaan, hal ini akan menimbulkan kepuasan bagi seluruh bagian yang terlibat sehingga keseluruhan tindakan yang dilakukan pada perusahaan kemudian selalu berdasarkan pada kebutuhan konsumen. Selanjutnya adalah mengembangkan hubungan antara konsumen, *supplier*, dan perusahaan untuk menghasilkan *value* pada produk atau jasa yang dihasilkan perusahaan. *Value* setiap proses harus dapat diukur, antara sebelum dan setelah proses.

Dalam TQM dikenal prinsip “lakukan yang terbaik mulai dari waktu pertama”, jadi setiap proses harus selalu dilakukan sebaik mungkin untuk menghasilkan *value* pada akhir setiap proses. Dengan maksimalny proses yang dilakukan maka akan ada kemungkinan untuk membuang 7 hal pemborosan (*7 zero banner*), seperti diantaranya : *delay, downtime, defect*, dll.

Evolusi TQM

TQM mulai muncul pada awal abad ke-20. Pada saat itu, TQM dikenal sebagai *quality management*. *Quality management* itu berarti memeriksa produk untuk perusahaan dapat memenuhi spesifikasi yang diberikan oleh pihak konsumen. Pada tahun 1940an, selama Perang Dunia ke-II, kualitas lebih bersifat statistik. Teknik *statistical sampling* digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan *quality control chart* digunakan untuk memonitor suatu proses produksi.

Pada tahun 1960an, dengan bantuan “*quality gurus*”, konsep *quality management* tidak hanya diterapkan dalam proses produksi, tetapi juga pada perusahaan secara keseluruhan. Pada tahun 1970an, persaingan perusahaan didasarkan pada mutu, jadi banyak perusahaan yang fokus pada perbaikan kualitas agar dapat lebih kompetitif pesaingnya.

Gambar 1 menunjukkan perubahan *quality management* dari waktu ke waktu. Prinsip konsep lama *quality management* (mulai tahun 1900an-1960an) adalah memperbaiki permasalahan yang berkaitan dengan mutu, setelah permasalahan tersebut terjadi, sedangkan pada konsep baru (mulai tahun 1980an s/d saat ini), *quality management* diterapkan mulai pada tahap perancangan produk dan proses. Ini berarti tindakan pencegahan mulai diterapkan pada konsep baru ini.

TIME:	Early 1900s	1940s	1960s	1980s and Beyond
FOCUS:	Inspection	Statistical sampling	Organizational quality focus	Customer driven quality
	Old Concept of Quality: Inspect for quality after production.			New Concept of Quality: Build quality into the process. Identify and correct causes of quality problems.

Gambar 1 Perubahan Konsep Lama *Quality Management* menjadi Konsep Baru *Quality Management*
 Sumber : Wiley, hal 143

Customer Driven Organizations

Customer Driven Organizations adalah perusahaan yang melakukan tindakannya sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. Edosomwan (1993) mendefinisikan perusahaan *customer and market driven* adalah perusahaan yang berkomitmen untuk menghasilkan produk atau jasa dengan kualitas *excellent* dan mampu menghasilkan produk atau jasa yang kompetitif untuk memuaskan kebutuhan dan keinginan konsumen pada setiap segmen pasar.

Perusahaan yang *customer driven* merupakan perusahaan yang menganggap penting setiap VoC (*Voice of the Customer*) untuk kelangsungan perusahaannya. Setiap suara konsumen, seperti komplain akan selalu dipertimbangkan dan dijadikan *input* untuk melakukan perbaikan-perbaikan yang berkaitan dengan kualitas agar konsumen tidak merasa kecewa. Perbedaan antara *traditional organizations* dengan *customer driven organizations* ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 *Traditional Organizations vs Customer Driven Organizations* (Thomas Pyzdek : 99)

	TRADITIONAL ORGANIZATIONS	CUSTOMER DRIVEN ORGANIZATIONS
<i>Product and service planning</i>	- Short term focus - Reactionary management - Management by objectives - Management by planning process	- Long term focus - Prevention based management - Customer driven strategic planning process
<i>Measures of performance</i>	- Bottom line financial results - Quick return on investment	- Customer satisfaction - Market share - Long term profitability - Quality orientation - Total productivity
<i>Attitudes toward customers</i>	- Customers are irrational and a pain - Customers are bottleneck to profitability - Hostile and careless - "Take it or leave it" attitude	- Voice of the customer is important - Professional treatment and attention to customers is required - Courteous and responsive - Empathy and respectful attitude

lanjut

Tabel 1 *Traditional Organizations vs Customer Driven Organizations* (lanjutan)

	TRADITIONAL ORGANIZATIONS	CUSTOMER DRIVEN ORGANIZATIONS
<i>Quality of products and services</i>	- Provided according to organizational requirements	- Provided according to customer requirements and needs
<i>Marketing focus</i>	- Seller's market	- Increased market share and financial growth achieved
	- Careless about lost customers due to poor customer satisfaction	
<i>Process management approach</i>	- Focus on error and defect detection	- Focus on error and defect prevention
<i>People orientation</i>	- People are the source of problems and are burdens on the organization	- People are an organization's greatest resource
<i>Basis for decision making</i>	- Product driven - Management by opinion	- Customer driven - Management by data
<i>Improvement strategy</i>	- Crisis management - Management by fear and intimidation	- Continuous process improvement - Total process management
<i>Mode of operation</i>	- Career driven and independent work - Customers, suppliers, and process owners have nothing in common	- Management supported improvement - Teamwork between suppliers, process owners, and customers practiced

III. MODEL TQM DAN CONSUMER DRIVEN ORGANIZATIONS

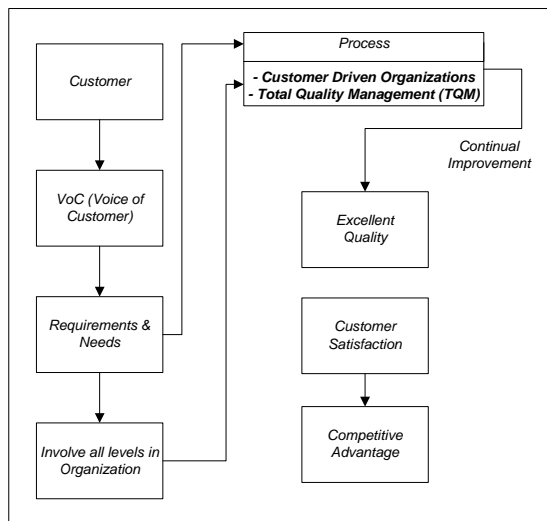
Perbedaan yang nyata antara TQM dengan sistem manajemen mutu yang lain adalah bahwa TQM menitikberatkan pada keterlibatan semua individu perusahaan untuk mencapai suatu sasaran mutu. Ada 5 manfaat yang dapat diperoleh dari penerapan TQM, diantaranya : produk yang dihasilkan bermutu tinggi, biaya yang efisien, waktu pengiriman yang tepat, semangat kerja yang tinggi, dan lingkungan kerja yang aman.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan oleh perusahaan untuk menghasilkan produk atau jasa yang bermutu adalah dengan menerapkan konsep TQM didalam perusahaannya. Prinsip TQM ini berarti melibatkan keseluruhan orang, keseluruhan fungsi, keseluruhan proses, dan keseluruhan aktivitas untuk

bersama-sama melakukan perubahan budaya perusahaan untuk mencapai suatu sasaran mutu.

Sedangkan *customer driven organization* adalah perusahaan yang melakukan seluruh aktivitasnya untuk memenuhi atau bahkan melebihi harapan konsumen. Jadi perusahaan yang selalu melakukan perbaikan berkaitan dengan kualitas secara terus menerus untuk mencapai harapan konsumen dapat dikatakan bahwa perusahaan tersebut merupakan perusahaan yang dikendalikan oleh konsumen (*customer driven organizations*). Dalam hal ini, perusahaan dapat dikatakan sebagai perusahaan yang dikendalikan konsumen karena perusahaan ini akan sangat mengutamakan suara konsumen (VoC) didalam menjalankan setiap aktivitasnya dengan tujuan agar produk atau jasa yang dihasilkan merupakan produk dan jasa yang bermutu sehingga dapat mencapai harapan konsumen.

Dengan tercapainya harapan konsumen maka akan cukup mudah bagi perusahaan untuk mencapai loyalitas konsumen. Indikator loyalitas konsumen menurut Kotler & Keller (2006) adalah *repeat purchase* (kesetiaan terhadap pembelian produk), *retention* (ketahanan terhadap pengaruh yang negatif mengenai perusahaan), dan *referalls* (merefereasikan secara total esistensi perusahaan). Dengan kata lain semakin harapan konsumen dicapai, maka konsumen dengan sendirinya akan loyal pada perusahaan. Gambar 3 dibawah ini menunjukkan model penerapan TQM dan *customer driven organization* untuk memenuhi ekspektasi *customer* :



Gambar 3 Model Penerapan TQM dan *Customer Driven Organizations*

IV. KESIMPULAN

Suatu produk atau jasa dikatakan bermutu jika spesifikasi kebutuhan dan keinginan konsumen terhadap produk atau jasa tersebut terpenuhi. TQM dan *customer driven organizations* memiliki keterkaitan yang erat dalam upaya perusahaan untuk

meningkatkan kualitas dan memenuhi harapan konsumen. Dengan tercapainya harapan konsumen hal ini akan memberikan keuntungan bagi perusahaan dalam menciptakan konsumen yang loyal.

Konsumen yang loyal akan membuat perusahaan mampu bertahan pada segmen pasar dan memiliki daya saing dibandingkan dengan para pesaing lain yang mengabaikan pencapaian harapan konsumen. Model Penerapan TQM dan *Customer Driven Organizations* seperti terlihat pada Gambar 3 merupakan model kombinasi yang dapat digunakan perusahaan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dan meningkatkan daya saing.

REFERENSI

- [1] Ariani, D.W. (2002). Manajemen Kualitas : Pendekatan Sisi Kualitatif. Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional. Yogyakarta.
- [2] Foster, Sally. 2006. Optimizing Revenue Through Customer Retention and Delivering Customer Value. Alpharetta: InfoMentis
- [3] Franks, Oswald S.W. (2009). *A Theoretical Model for Implementing Quality Management in an Automated Environment*. *International Journal of Control and Automation*, Vol. 2, No.2.
- [4] Ismail, Salaheldin. (2008). *Critical success factors for TQM implementation and their impact on performance of SMEs*, (www.emeraldinsight.com/1741-0401.htm, diakses 21 Maret 2012)
- [5] Jill, Griffin. 1997. *Customer Loyalty: How to Earn It, How to Keep It*. San Fransisco: Jossey-Bass
- [6] Nasution, M.N. (2004). *Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management)*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- [7] Padmasiri, Samantha (2009). *Succesfull TQM Implementation in Sri Lankan Public Hospitals*. (www.gbrc.jp, diakses 21 Maret 2012)
- [8] Permata, Gita Liansari (2011). "Pengurangan Jumlah Produk Cacat yang Memperhitungkan Biaya Produksi di Perusahaan Garment PT X". Tesis. Bandung.
- [9] Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. and Berry, L.L. (1985), "A conceptual model of service quality and its implications for future research", *Journal of Marketing*, Vol. 49 No. 3, pp. 41-50.
- [10] Pfau, L.D. (1989). Total Quality Management gives companies a way to enhance position in global marketplace. *Industrial Engineering*, 21(4), 17-21.
- [11] Pyzdek, Thomas. (2003). *The Six Sigma Handbook Revised and Expanded*. Mc Graw Hill, United States.

- [12] Reed, Richard dan David J. Lemak, Neal P. Nero (2000). *Total Quality Management and Sustainable Competitive Advantage. Journal of Quality Management.*
- [13] Reichheld, Frederick F. 1996. *The Loyalty Effect: The Hidden Force Behind Growth, Profits, and Lasting Value.* Boston: Harvard Business Press.
- [14] Tobin, L.M (1990) The new quality landscape: total quality management. *Journal of Systems Management*, 41(11), 10-14.
- [15] Waldman, David A. (1994). *Designing Performance Management Systems for Total Quality Implementation. Journal of Organizational Change Management, Vol. 7 No. 2.*

Perbaikan Kualitas Jasa Dengan Pendekatan *Sigma Productivity*

Hari Supriyanto

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya

Kampus Keputih Sukolilo Surabaya 60111

E-mail; hariqive@yahoo.com

Abstrak --. Siklus pelayanan sering dipakai untuk menggambarkan/ memetakan proses layanan. Siklus ini berupa pemetaan yang mencakup proses pelayanan sejak pertama kali pelanggan berhubungan dengan jasa pemberi pelayanan sampai terselesainya proses transaksi jasa. Bahkan setelah transaksi terselesaikan masih terdapat pelayanan yang dapat dikategorikan sebagai *after sales service*. Untuk memenuhi kebutuhan pelanggan, perusahaan selalu berupaya agar layanan yang diberikan, sesuai dengan harapan pelanggan. Pengukuran tingkat kepuasan konsumendapat dilakukan dengan menggunakan beberapa indikator seperti kepuasan pelanggan terhadap akses layanan, mutu layanan, proses layanan dan sistem layanan. Dapat dikatakan bahwa pengukuran kualitas layanan, mulai dari sumber daya (*input*) dan semua hasil atau akibat dari layanan yang terdapat pada keluaran (*output*)memiliki potensi masalah yang membuat kualitas pelayanan menjadi buruk. Produktifitas sangat berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya dalam memproduksi barang atau jasa. Produktifitas berhubungan dengan mengukur efisiensi dari pemakaian *input* dan efektifitas dari *output*. Jika dilihat secara kuantitatif, produktifitas merupakan rasio *output* terhadap *input*. Bila terdapat *waste* (pemborosan) yang berasal dari *input* atau *output* maka akan berdampak pada penurunan produktifitas. Tercapainya proses *improvement* pada penanganan layanan, bertujuan untuk mengurangi *waste* (pemborosan) dan *non value added activity*. Nilai *sigma* dapat dihitung dari seluruh variabelayanan. Nilai *sigma* yang rendah mengindikasikan adanya pemborosan. Alternatif perbaikan yang dipilih adalah penambahan tenaga kerja, pembuatan SOP yang baru dan perbaikan sistem gudang.

Kata kunci : Kualitas pelayanan, produktifitas, *waste*, *sigma*, *improvement*.

I. PENDAHULUAN

Suatu era pendekatan secara legalistik dalam pelayanan publik yang selama ini telah dipakai sebagai acuan, telah berakhir. Era baru muncul dan digantikan dengan pendekatan baru yang lebih

mengarah pada penyelenggaraan organisasi dan manajemen publik yang lebih baik dan efektif. Kenyataan di lapangan terlihat bahwa eksistensi pada sektor publik telah tumbuh dan berkembang sangat pesat.

Pemerintah melalui UU No. 22 Tahun 1999 tentang Pelaksanaan Otonomi Daerah membawa perubahan dalam pelaksanaan pemerintahan. Salah satu perubahannya adalah pemberian wewenang yang lebih luas dalam penyelenggaraan pemerintahan. Dengan kewenangan tersebut, maka aparat birokrasi pemerintahan dapat mengelola dan menyelenggarakan pelayanan publik dengan lebih baik. Tujuan utama adalah untuk peningkatan kualitas pelayanan publik yang dituntut oleh nilai-nilai kemandirian yang berakar pada masyarakat setempat.

Aturan perundang-undangan yang disebutkan di atas seharusnya dapat dikerjakan tetapi tampak masih sedikit (belum ada) perubahan yang signifikan, sementara itu tuntutan masyarakat sebagai pelanggan adalah semakin tinggi. Keinginan pemerintah akan penyediaan pelayanan yang berkualitas bagi masyarakat nampaknya masih jauh dari yang diharapkan, meskipun berbagai upaya telah dilakukan.

Kualitas pelayanan dapat dipandang sebagai perbedaan antara kenyataan dan harapan para pelanggan atas layanan yang diterima. Dengan demikian terdapat 2 unsur utama dalam kualitas layanan yaitu layanan yang diharapkan (*expected service*) dengan layanan yang diterima (*perceived service*). Apabila jasa yang diterima atau yang dirasakan sesuai dengan yang diharapkan maka kualitas layanan yang dipersepsikan baik dan memuaskan. Demikian pula sebaliknya.

Untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumen diperlukan metoda untuk mengidentifikasi pemborosan (*waste*) ataupun aktifitas yang tidak bernilai tambah (*non value added*). Setiap terjadi kemunculan *waste* akan mengurangi kualitas pelayanan. Karena sifat jasa yang sangat variatif maka penyedia jasa harus memperhatikan dan mengumpulkan informasi sebanyak mungkin untuk dapat meningkatkan kualitas pelayanan jasa secara berkelanjutan.

Masalah di dalam pelayanan publik pada dasarnya dapat dilihat melalui proses penyediaan pelayanan publik. Permasalahan yang akan dihadapi

oleh pelayanan publik adalah tingginya perbedaan (*gap*) antara layanan yang diterima dengan yang dirasakan oleh konsumen.

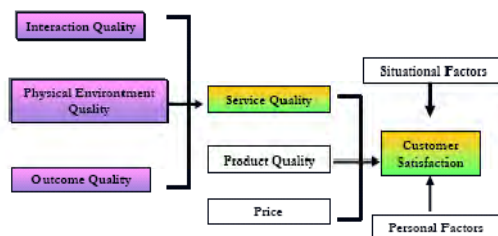
Dengan demikian tujuan dari perbaikan layanan publik adalah :

- Identifikasi kualitas layanan yang merupakan pemborosan (*waste*)
- Identifikasi penyebab terjadinya *waste* yang paling berpengaruh.
- Membangun alternatif perbaikan untuk mengurangi *waste*.

II. METODA

Layanan publik dapat berupa sesuatu yang sifatnya berwujud (barang) maupun tidak berwujud (jasa). Meski demikian secara konseptual pihak yang disebut sebagai pengguna jasa layanan publik tidak hanya warga masyarakat yang langsung menikmati namun para calon pengguna di masa datang pun termasuk pengguna layanan publik.

Gambar 1 memberi penjelasan bahwa semua layanan akan bermuara pada kepuasan pelanggan (*customer satisfaction*). Diperlukan dugaan dan analisis terhadap munculnya kesenjangan (*gap*) antara yang diterima dengan yang dirasakan oleh konsumen/pelanggan. Kesenjangan ini menandakan tingkat kepuasan konsumen.



Gambar 1. Hubungan Antara Kualitas Pelayanan Dengan Kepuasan Konsumen

Produktifitas sangat berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya (*input* atau masukan) dalam memproduksi barang atau jasa (*output* atau keluaran). Jika dilihat secara kuantitatif, produktivitas merupakan rasio keluaran (*output*) yang dihasilkan terhadap masukan (*input*). Untuk mengetahui besarnya indeks produktifitas diperlukan analisa secara lebih mendalam mengenai variabel input dan outputnya. Variable-variabel yang dirancang harus menyatakan proses atau aktifitas yang mendukung produktivitas pada unit kerja yang diukur dan dapat dikontrol. Variable-variabel tersebut juga menyatakan ukuran-ukuran efisiensi dari masukan, efektivitas dari keluaran, dan ukuran-ukuran lainnya yang dapat mendukung proses kegiatan (aktivitas kerja) yang akan diukur secara tidak langsung. Indikasi pemborosan akan terlihat dari penggunaan inputan yang tidak efisien ataupun hasil yang tidak sesuai dengan keinginan pelanggan.

Perlu diketahui bahwa sifat jasa adalah berubah setiap saat karena merupakan *non-standardized output*. Untuk itu penyedia jasa harus memperhatikan dan

mengumpulkan informasi sebanyak mungkin untuk dapat mengendalikan dan meningkatkan kualitas pelayanan jasa secara berkelanjutan. Dengan selalu mengikuti perkembangan tingkat produktifitas, diharapkan perusahaan dapat melakukan perbaikan terhadap pemborosan secara terus menerus agar terjadi peningkatan *customer satisfaction*.

Metoda lain yang dapat mendukung perbaikan proses adalah *Six Sigma*. Tujuan dari pemakaian *six sigma* adalah peningkatan kapabilitas proses, reduksi variasi (*variation reduction*), pengendalian proses dan peningkatan secara terus menerus (*continous improvement*) untuk mencapai kualitas yang lebih baik (Gasperz V., 2006).

Kedua konsepdi atas digabungkan yaitu *Sigma produktivity*. Pendekatan kedua metoda tersebut merupakan pendekatan sistemik untuk mengidentifikasi dan menghilangkan aktifitas yang tidak bernilai tambah (*non-value added activity*) melalui peningkatan terus-menerus (*continous improvement*) untuk mencapai kinerja *six sigma*. Penekanan dan penerapan produktifitas dan *Six Sigma* adalah untuk perbaikan sistem kualitas layanan dengan cara menghilangkan setiap pemborosan (*waste*).

III. HASIL

Salah satu sifat bagi perusahaan yang menghasilkan jasa ialah bahwa jasa itu tidak dapat ditimbun atau ditumpuk seperti barang atau produk. Umumnya penyaluran jasa itu bersifat langsung dari produsen kepada konsumen, misalnya jasa perawatan, pengobatan, hiburan, *travel/perjalanan*, *laundry* dan lain-lain. Dari beberapa definisi jasa di atas dapat disimpulkan bahwa jasa adalah sesuatu yang dapat dihasilkan atau dirasakan; dalam hal ini jasa dapat mempergunakan benda-benda yang berwujud maupun yang tidak berwujud sebagai media untuk mendefinisikannya.

Sampel data (table 1) diatas menunjukkan bahwa proporsisurat biasa memiliki tingkat *defect* paling besar, diantara jenis antaran yang lain Sehingga untuk proses *improvement* akan diprioritaskan untuk jenis antaran surat biasa. Berdasarkan aliran proses antaran, maka dapat diidentifikasi CTQ (*Critical to Quality*) dari masing-masing proses antaran. CTQ merupakan karakteristik yang dapat diduga yang dapat mempengaruhi kualitas produk. Adapun CTQ pada proses antaran adalah tidak dapat diserahkan dan dikembalikan ke pengirim, tidak dapat diserahkan dan dibuntukan, terlambat diserahkan, kondisi fisik berbeda dan salah alamat, lihat table 2.

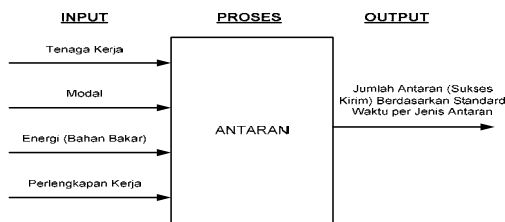
Prosentase cacat dari masing – masing karakteristik kualitas adalah terlambat diserahkan (5,83%) adalah terbesar, tidak dapat diserahkan dan dikembalikan ke pengirim (0,70%), tidak dapat diserahkan dan dibuntukan (0,63%), salah alamat (0,58%), dan kondisi fisik berbeda (0,11%) adalah terkecil.

Table 4.12 Perhitungan *sigma level* dengan kalkulator *sigma*

proses layanan	unit	unit gagal	CTQ	DPMO	<i>sigma</i>
layanan antaran	608599	31428	5	10328	3.8
surat biasa	229013	17977	5	15700	3.7

Secara umum proses layanan antaran pos mempunyai nilai *sigma* tidak berbeda dengan layanan surat biasa. Angka *sigma* ini menunjukkan bahwa perusahaan memiliki tingkat COPQ (*Cost of Poor Quality*) sebesar (25 – 40)% dari penjualan atau keuntungan. Ini menunjukkan bahwa koversi sigma terhadap biayakualitas yang buruk adalah tidak sedikit.

Untuk menunjukkan siklus layanan dalam hubungannya dengan proses layanan dibutuhkan ukuran yang jelas. Salah satu ukuran tersebut adalah produktifitas. Variable-variabel produktifitas harus menyatakan kondisi atau kegiatan yang mendukung proses layanan unit kerja yang diukur. Variable-variabel yang dirancang untuk produktifitas harus mampu dinyatakan dalam ukuran efisiensi yang berasal dari masukan, efektivitas yang berasal dari keluaran, dan ukuran-ukuran lainnya yang dapat mendukung proses layanan yang akan diukur secara tidak langsung. Berikut ini akan digambarkan input dan output pada proses pengiriman (*delivery*) pada divisi antaran secara umum, yaitu dengan menggunakan diagram IPO (Input – Proses – Output). Adapun gambarannya adalah sebagai berikut.



Gambar 4.13 Diagram IPO Proses Antaran

Perhitungan indeks produktivitas, sebagai data *output* didefinisikan sebagai jumlah pengiriman yang berhasil dan sesuai dengan prosedur (tidak melebihi waktu yang telah ditentukan, tepat sasaran, kondisi fisik barang kiriman tidak berubah, dan lain sebagainya). Sedangkan *input* diidentifikasi sebagai biaya-biaya yang dibutuhkan (dikeluarkan) pada waktu proses pengiriman. Biaya-biaya tersebut dapat berupa biaya tenaga kerja, biaya modal, biaya energi (bensin), dan biaya pengadaan perlengkapan kerja. Untuk perhitungan indeks produktivitas dengan konsep diatas, ukuran atau variabel *output* dan *input* akan dikonversikan ke dalam satuan mata uang. Adapun formulasi untuk perhitungan indeks produktivitas keseluruhan jenis antaran adalah

$$A = \frac{B \times C}{D + E + F + G}$$

Keterangan :

- A = Indeks Produktivitas (Total antaran)
- B = Jumlah Sukses Kirim
- C = Biaya per antaran
- D = Biaya tenaga kerja
- E = Biaya Modal
- F = Biaya Energi
- G = Biaya perlengkapan

Dari perhitungan maka nilai produktifitas khusus untuk layanan surat biasa adalah sebesar 105%. Ini menunjukkan bahwa proses layanan masih memberi peluang keuntungan. Kenyataan di lapangan terlihat bahwa output setiap pereodanya semakin menurun. Indikasi penurunan output dengan input yang sama akan memberi sinyal yang merugikan perusahaan bahwa akan terjadi penurunan indeks podukifitas. Semakin jelas bahwa tingkat *sigma*, nilai *cost of poor quality* dan penurunan indeks produktifitas memberi petunjuk signifikan kepada perusahaan untuk segera mungkin melakukan perbaikan terhadap sistem layanan antaran pos. Dapat dikatakan bahwa peningkatan produktifitas perusahaan merupakan peningkatan produktivitas secara parsial.

Dilakukan rencana tindakan (*action plan*) yang bertujuan untuk memperbaiki dan mengurangi timbulnya permasalahan. Tindakan yang direkomendasikan (*recommended action*) bertujuan untuk menurunkan atau mengeliminir *mode* kegagalan yang akan terjadi. Harapan perusahaan adalah kinerja dalam hal pengiriman (*delivery*) dapat ditingkatkan.

Prioritas rencana perbaikan akan didasarkan pada nilai RPN (*Risk Potential Number*) tertinggi. Nilai RPN tertinggi mengindikasikan prioritas perbaikan atau dapat dikatakan bahwa nilai RPN tertinggi dapat menentukan mode kegagalan paling kritis untuk prioritas perbaikan. Adapun 2 tertinggi prioritas perbaikan untuk masing-masing *potential cause (s) / mechanism of failure* adalah tidak dapat diserahkan/ dibuntukan dan terlambat diserahkan.

Berdasarkan pada *Potential Failure Moded* dan *root cause analysis* maka beberapa usulan/ alternatif perbaikan dapat dirancang. Untuk melaksanakan satu alternatif akan dibutuhkan biaya tertentu dan alternatif lainnya akan memerlukan biaya yang lain.

Pemilihan alternatif perbaikan berdasarkan pendekatan *value management*. Setiap alternatif akan dinilai dengan kriteria-kriteria tertentu. Dengan demikian setiap alternatif mempunyai *performance*. Kriteria yang dipakai untuk menilai dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu sistem pelayanan dan mutu/ kualitas pelayanan. *Value* diperoleh dengan membandingkan antara *performance* dari tiap alternatif dengan *cost* yang dipakai untuk menjalankan alternatif tersebut (harisupriyanto, 20011). Untuk mempermudah mendapatkan hasil maka desain awal yang menjadi pembanding bagi alternatif lainnya. Alternatif yang dimaksud adalah pertama,

penambahan tenaga kerja untuk pemeriksaan barang, pemeriksaan kelengkapan surat, sortir dan pemindahan barang kiriman, kedua, pembuatan SOP untuk memeriksa barang-barang masuk, sortir dan pemindahan barang kiriman, petugas pengiriman, ketiga, penambahan alat transportasi dan keempat, perbaikan sistem gudang

Dari perhitungan *value* untuk tiap alternatif ternyata menghasilkan banyak alternatif yang memiliki *value* lebih besar dibandingkan dengan kondisi awal. *Value* terpilih diambil dari kombinasi alternatif yang paling tinggi. Pemilihan alternatif didasarkan pada kelebihan yang mampu diberikan pada sistem pelayanan antaran.

Berdasarkan analisa kekurangan dan kelebihan dari alternatif solusi maka alternatif perbaikan yang dipilih adalah penambahan tenaga kerja, pembuatan SOP dan perbaikan sistem gudang.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah:

- Kualitas pelayanan publik dapat dilihat dari perbedaan (*gap*) antara persepsi dan harapan pelanggan.
- Layanan kritis yang terjadi pada proses pelayanan pos adalah tidak dapat diserahkan dan dibuntukan.
- Nilai sigma untuk layanan antaran surat biasa adalah 3.7
- Tingkat produktifitas layanan antaran lebih dari 1, akan tetapi mempunyai kecenderungan menurun.
- Dengan menggunakan pendekatan *value management* maka alternatif perbaikan yang dipilih adalah penambahan tenaga kerja, pembuatan SOP dan perbaikan sistem gudang.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Andersen B. dan Fagerhaug T., 2006, “*Root Cause Analysis: Simplified Tools Techniques*”. American Society for Quality. Milwaukee: Quality Press.

[2] Cavanagh R.R., Peter S.P. dan Robert P.N., 2002, *The Six Sigma Way*, Penerbit Andi, Jogjakarta

[3] DaimlerChrysler Corporation; Ford Motor Company; General Motors Corporation, July 2001, *Potential Failure Mode And Effects Analysis (FMEA), Reference Manual*

[4] Evans, J. R. dan Lindsay, W. M. 2007. Pengantar Six Sigma; An Introduction to Six Sigma and Process Improvement. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.

[5] Gaspersz, V., 2007, “*Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*”. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

[6] George, M. L., 2002, *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality With Lean Speed*, New York : McGraw-Hill.

[7] Harisupriyanto, 2011, Prosiding Seminar Nasional “Aplikasi Konsep *Lean Six Sigma* untuk Peningkatan Kualitas Pelayanan Publik”, Sumut Medan

[8] Tjiptono F., Chandra G., 2005, *Service, Quality & Satisfaction*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.

[9] Zeithaml V., and Bitner, Mary J., 2003, *Services Marketing Integrating Customer Focus Across The Firm*. New York : McGraw-Hill.

Tabel 1 Prosentase *Defect* untuk beberapa macam Antaran.

no	jenis antaran	% defect	no	jenis antaran	% defect
1	Kilat khusus (DN)	0.059119	6	Surat Luar Negeri	0.006809
2	Surat biasa	0.572006	7	Kartu pos	0.005473
3	Surat ceakan	0.182799	8	Surat dinas	0.02256
4	Barang/ paket	0.088265	9	Surat tercatat	0.008941
5	Wesel pos	0.054028			

Tabel 2 Tabel Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas	Kriteria Defect	Karakteristik kualitas	Kriteria Defect
Tidak dapat diserahkan/ dikembalikan	Alamat fihak terkirim tidak jelas, alamat pengirim jelas	Terlambat diserahkan	Kiriman tidak terantar sampai <i>deadline</i> -nya
Tidak dapat diserahkan dan dibuntukan	Alamat fihak terkirim dan alamat pengirim tidak jelas	Kondisi fisik berbeda	Kondisi fisik barang kiriman berbeda
		Salah alamat	Kiriman terantar tetapi tidak sesuai

Analisa Penerapan One Piece Flow Pada Line Sub Assy Door Lock Mechanic (Studi Kasus : PT. Aisin Indonesia)

Torik Husein; Bagoes Pratie Wanggono
Program Studi Teknik Industri
Universitas Mercu Buana
Email : torikh@mercubuanan.ac.id

Abstract -- The Balance problem trajectory (in this case the application of one piece flow) in the flow of the production process is often overlooked in the company despite the fact that the trajectory of balance issues play an important role in the fulfillment of the planned production target. Problems faced by PT. Aisin Indonesia is a company often could not fulfill consumer demand due to the low number of production due to a production bottle neck on the track.

Implementation of improvement plans using one piece flow production aims to be more balance between work time of work station so that obtain a high level of line productivity. This is done in an effort to increase the output of products online.

In carrying out improvement using one piece flow manufacturing implementation, the authors performed measurements of time working on each task in the field by using a stopwatch. Standard time of the measurement results obtained from these authors calculate cycle time, number of work stations and adjust the layout of the line to get a high level of productivity.

Before repairs are done, the cycle time of line is 22 seconds by the number of operators as much as 3 people and the production capacity are 164 units per hour, and after the repair cycle time that happened was down to 9.4 seconds by the number of operators and as many as 4 people and the production capacity are 383 units per hour. With the increase of productivity is 75%.

Keywords: one piece flow, the balance of the trajectory, cycle time, productivity, work stations.

I. PENDAHULUAN

Di era globalisasi, tingkat kompetisi semakin meningkat sehingga harga jual tidak ditentukan secara mutlak oleh perusahaan sendiri, tetapi dipengaruhi juga oleh permintaan dan suplai. Sebagai perusahaan global PT. Aisin Indonesia secara konsisten berorientasi pada kepuasan pelanggan. Bentuk aktualisasi hal tersebut tercermin dari produk yang berkualitas tinggi dengan harga kompetitif dan respon yang cepat terhadap permintaan pelanggan. Termasuk

melakukan improvement sebagai jawaban *claim customer* (keluhan pelanggan). Sehingga satu per satu keluhan yang pernah terjadi menjadi *one point lesson* yang dipastikan tidak akan pernah terjadi lagi.

Dan awal yang baik untuk memulai perjalanan menuju tujuan tadi adalah dengan menerapkan aliran yang kontinu (*one piece flow*) dalam proses manufaktur, yang nantinya akan memberikan dampak positif yang komprehensif terhadap sistem manufaktur.

Masalah yang dihadapi dalam penelitian ini adalah bagaimana menciptakan proses produksi di *Line Door Lock Sub Assy Mechanic* menjadi *balance* antara satu pos dan pos lainnya dan juga meningkatkan produktivitas line tersebut serta menjadikan *Line Door Lock Sub Assy Mechanic* yang mampu untuk mensuplai 2 *line Assy* sekaligus.

Dalam melakukan penelitian tentu mempunyai tujuan yang hendak dicapai guna menghasilkan sesuatu yang diinginkan. Adapun tujuan penelitian ini adalah :

- Membangun *line balancing* dengan sistem *one piece flow* di line *Sub Assy Mechanic* untuk menciptakan proses produksi di *Line Door Lock Sub Assy Mechanic* menjadi *balance* antara satu pos dan pos lainnya.
- Menganalisa cara untuk meningkatkan produktivitas line tersebut (dalam hal ini produktivitas yang dianalisa adalah cycle time).
- Mengetahui perubahan yang terjadi di *Line Door Lock Sub Assy Mechanic* setelah dilakukannya *improvement*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu filosofi peningkatan produktivitas yang banyak diterapkan pada industri maju adalah filosofi *Line Balancing* yang lebih sering kita kenal atau keseimbangan lini dan juga aliran produksi yang berkelanjutan, untuk menghasilkan satu produk satu persatu secara terus menerus atau *One Piece Flow*. Dengan pengertian dari keseimbangan lini adalah pengelompokan elemen pekerjaan kedalam stasiun-stasiun kerja yang bertujuan membuat seimbang jumlah pekerja yang ditugaskan ke stasiun-stasiun tersebut, sehingga dapat diperoleh jumlah waktu yang menganggur sedikit sehingga efisiensi proses produksi tinggi. Sedangkan secara umum penerapan keseimbangan lini bertujuan untuk meminimalkan

jumlah waktu yang menganggur. Merencanakan suatu keseimbangan lintas kerja meliputi usaha yang bertujuan untuk mencapai suatu kapasitas yang optimal dan tidak terjadi penghamburan kapasitas.

Tujuan tersebut akan tercapai apabila lintasan produksi bersifat seimbang, stasiun kerja berjumlah minimum, jumlah waktu yang menganggur disetiap stasiun kerja sepanjang lintasan produksi minimum.

Apabila proses produksi pada suatu perusahaan mengalami hambatan-hambatan, salah satu kemungkinan penyebabnya adanya ketidaksesuaian antara model *layout* yang diterapkan pada proses produksi, maka harus segera dilakukan peninjauan ulang terhadap *layout* yang diterapkan diperusahaan tersebut.

Secara terminologi *one piece flow* dapat diartikan sebagai suatu proses yang mengalir satu per satu dimulai dari proses awal sampai akhir (dikirim ke pelanggan). Namun dibalik itu ada makna dan konsekuensi yang jauh lebih berharga, berikut kutipan mengenai implementasi *one piece flow* dari mantan Presiden Toyota Motor Manufacturing Amerika Utara, Mr. Teruyuki Minoura. "Bila ada masalah muncul dalam manufaktur *one piece flow*, seluruh jalur produksi akan berhenti. Dalam hal ini, sistem manufaktur ini sangat buruk. Namun ketika produksi berhenti semua orang dipaksa segera memecahkan masalah. Sehingga para anggota tim harus berpikir, dan dengan berpikir para anggota tim berkembang menjadi anggota tim dan orang yang lebih baik".

Dari kutipan tadi dapat disimpulkan bahwa untuk menjalankan *one piece flow* membutuhkan dukungan *risk management* dan *built in quality* yang kuat. Karena satu proses berkaitan secara langsung dengan proses lainnya. Jika satu proses terhenti maka dengan proses yang terkait akan ikut terhenti pula. Namun di sisi lain semua orang akan memberikan perhatiannya (karena proses di tempatnya ikut terhenti juga) untuk ikut mencari pemecahan masalah. Karena tidak ada *work in process/WIP (buffer)*, maka masalah yang terjadi bersifat **harus segera diselesaikan** saat itu juga.

Untuk mengimplementasikan *one piece flow*, perubahan yang diambil tidak hanya berupa perubahan dalam standar kerja, namun diperlukan juga dukungan alat-alat yang berfungsi untuk mengharuskan operator produksi melakukan mekanisme *one piece flow*. Mekanisme konveyor yang bergerak dengan irama *takt time* merupakan salah satu contoh mekanisme pendukung *one piece flow*

Untuk produktivitas dapat digambarkan dalam dua pengertian yaitu secara teknis dan finansial. Pengertian produktivitas secara teknis adalah pengefisiensi produksi terutama dalam pemakaian ilmu dan teknologi. Sedangkan pengertian produktivitas secara finansial adalah pengukuran produktivitas atas output dan input yang telah dikuantifikasi.

Produktivitas mengandung pengertian perbandingan antara hasil yang dicapai dengan

keseluruhan sumber daya yang digunakan, atau dapat diformulasikan sebagai perbandingan antara output (hasil) dengan input (masukan). Jika produktivitas naik ini hanya dimungkinkan oleh adanya peningkatan efisiensi (waktu, bahan, tenaga) dan sistem kerja, teknik produksi dan adanya peningkatan keterampilan dari tenaga kerjanya.

Produktivitas sering pula dikaitkan dengan cara dan sistem yang efisien, sehingga proses produksi berlangsung tepat waktu dan dengan demikian tidak diperlukan kerja lembur dengan segala implikasinya. Dan kiranya jelas bahwa yang merupakan hal yang logis dan tepat apabila peningkatan produktivitas dijadikan salah satu sasaran jangka panjang perusahaan dalam rangka pelaksanaan strateginya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

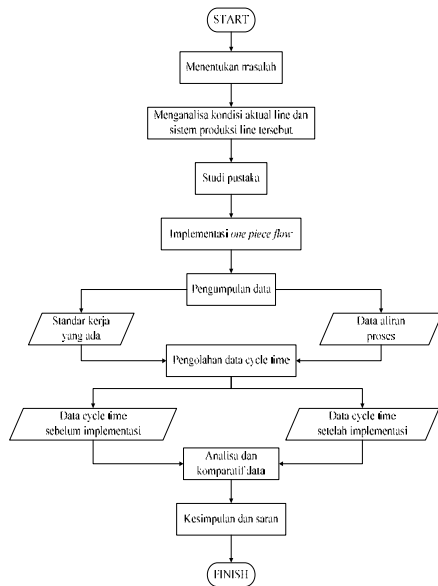
Agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan sistematis diperlukan tahapan-tahapan proses penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah Studi pendahuluan, Identifikasi masalah, Perumusan masalah, Pengumpulan dan pengolahan data, Usulan perbaikan, Analisis dan kesimpulan. Data-data sebelum implementasi yang digunakan sebagai referensi untuk melakukan *improvement*, data-data setelah implementasi yang digunakan untuk me-review atau mengkaji ulang perubahan sistem yang dilakukan sudah tepat atau masih perlu dikembangkan lagi.

Untuk pengumpulan dan pengolahan data dengan cara :

- Wawancara atau permintaan data kepada pihak produksi untuk masalah standar kerja.
- Data aliran proses, untuk menghasilkan satu produk setengah jadi atau produk jadi dari urutan proses tersebut .
- Pengukuran waktu produksi dilakukan dengan pengambilan waktu menggunakan *stopwatch*. Yang diukur adalah waktu *manual time* atau waktu proses yang dilakukan operator dan waktu *machine time* atau proses yang dilakukan mesin. Jumlah dari kedua waktu tersebut menjadi *cycle time*.

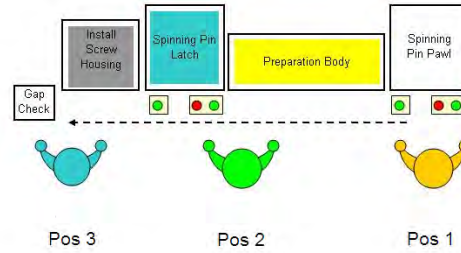
Implementasi sistem yang dilakukan adalah mulai dari pengumpulan data-data lalu perancangan sistem baru dan terakhir pembuatan sistem juga instalasi dan aplikasi di lapangan.

Untuk sistem semiauto ini adalah mesin-mesin yang digunakan untuk proses produksi di *Line Door Lock Sub Assy Mechanic* digabung menjadi satu mesin atau line semiauto dimana prosesnya berkelanjutan (*continue*) dari proses awal lanjut ke proses berikutnya hingga proses selesai atau pengecekan akhir, untuk pergeseran menggunakan jig atau wadah produk yang bisa bergeser menggunakan dorongan dari silinder aktuator. Untuk proses dari tiap-tiap mesin berjalan otomatis tetapi untuk peletakkan produk awal atau penambahan part dilakukan manual karenanya dinamakan line semiauto karena masih perlu operator untuk menjalankan mesin atau line tersebut



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Proses pertama yang dilakukan pada line Sub Assy Door Lock Mechanic sebelum *improvement* adalah sebagai berikut (proses dibagi menjadi tiga bagian karena sebelum *improvement* terdapat tiga operator atau tiga pos proses).



Gambar 2. Pembagian Pos Proses Sebelum Improvement

Untuk proses pertama pada pos *Spinning Pin Pawl* standar kerjanya adalah sebagai berikut.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Urutan proses produksi Sub Assy Mechanic Door Lock dimulai dari proses *Spinning Pin Pawl* dan diakhiri oleh *Initial Lift Lever Position Check* atau *Last Man Check*. Jelasnya digambarkan dalam Tabel berikut.

Tabel 1. Flow Process Sub Assy Mechanic

Flow Sheet	Part yang Terlibat			Jenis Proses
	Nama Proses	Part Name	Part No	
1. SPINNING PIN PAWL	Spinning Pin Pawl	Body Door Lock, FEI	411114-10210	Mesial & Montase
		Part, Sub Assy DL	411113-10211	Montase
		Cushion, DL	411114-10210	
		Spring Pawl, FEI	411125-10210	
		Plate, Case DL, SH	411115-10210	
		Lever DL, Open, LH, PH	411123-10210	
2. PREPARATION BODY	Preparation Body	Cushion, DL	411114-10210	Mesial
		Spring DL, Plastic Part	411113-10210	
		Latch, Sub Assy DL, FEI	411114-10210	
3. SPINNING PIN LATCH	Spinning Pin Latch	Spring DL, Latch, FEI	411125-10210	
		Plate DL, Case, SH	411113-10210	
		Sub Assy Spring DL		Montase
4. INSTALL SCREW HOUSING	Install Screw Housing	Sub Assy Spring DL		Mesial & Montase
		Screw DL, Toping	411114-10210	Montase
5. GAP CHECK	Gap Check	Sub Assy Mekanik DL		Mesial
6. LAST MAN CHECK	Last Man Check	Sub Assy Mekanik DL		Mesial

Untuk data analisa standar kerja (sebelum *improvement*)

Tabel 2. SWS (Standard Work Sheet) Proses Spinning Pin Pawl (sebelum)

PROCESS ORDER	OPERATION	TIME IN SECOND			TIME (in second)
		HAND MAKE TIME	MACHINE TIME	WALKING TIME	
A	Man Power 1				TT = 10 (next process) 2 Assy Lines
1	Pasang Cushion di body & Taruh	2			
2	Amil dan taruh SIA pos 1 dan jig	1			
3	Pasang Pawl dan SIA Body di jig pos 1	3			
4	Pasang Spring Pawl dan greasing	3			
5	Pasang Sub Plate	1			
6	Pasang Open Lift dan Pin Latch	2			
7	Spinning Pin Pawl Process		7		
8	Amil SIA pos 1 & taruh Spring Pawl	3			
9	Pasang Stopper & Cushion	3			
10	Taruh	1			
	Cycle Time Plan	19	7	0	
	Cycle Time Aktual	22			

Cycle Time awal sebelum dilakukannya *improvement* pada pos *Spinning Pin Pawl* adalah 22 detik.

Untuk proses kedua pada pos proses *Preparation Body*, *Install Latch* dan *Spinning Pin Latch* standar kerjanya adalah sebagai berikut.

Tabel 3. SWS (Standard Work Sheet) Proses Preparation Body dan Spinning Pin Latch (sebelum)

PROCESS ORDER	OPERATION	TIME IN SECOND			TIME (in second)	
		HAND MAKE TIME	MACHINE TIME	WALKING TIME	10	20
B	Man Power 2				TT = 10 (next process) 2 Assy Lines	
1	Pasang SIA pos 1 di jig preparation Body	2				
2	Pasang Spiny Latch	3				
3	Beni Grease pada Spiny dan Pawl	8				
4	Pasang Latch	2				
5	Beni Grease pada Base Plate	2				
6	Pasang Base Plate	1				
7	Andil dan pasang SIA di jig pos 2	2				
8	Spinning Pin Latch Process					
	Cycle Time Plan	20	7			
	Cycle Time Aktual	15				

Cycle Time awal sebelum dilakukannya improvement pada pos Preparation Body dan Spinning Pin Latch adalah 15 detik.

Pada pos ketiga yaitu Install Screw, Gap Check dan Last Man Check standar kerjanya adalah sebagai berikut.

Tabel 4. SWS Install Screw, Gap Check dan Last Man Check (sebelum)

PROCESS ORDER	OPERATION	TIME IN SECOND			TIME (in second)	
		HAND MAKE TIME	MACHINE TIME	WALKING TIME	10	20
C	Man Power 1				TT = 10 (next process) 2 Assy Lines	
1	Pasang SIA di jig pos 3	2				
2	Andil Screw dan pemasangan plate screw driver	1				
3	Pakan handle screw driver untuk proses	4				
4	Andil SIA dan taruh di Inspection Gauge	1				
5	Check Gap dengan Dial	3				
6	Andil SIA dan lakukan function dan visual check	5				
7	Marking & susun ke dalam box	6				
	Cycle Time Plan	22				
	Cycle Time Aktual	11				

Cycle Time awal sebelum dilakukannya improvement pada pos Install Screw, Gap Check dan Last Man Check adalah 17 detik.

Untuk pembagian kerja di Proses Spinning Pin Pawl dalam perbaikan yang dilakukan penjelasannya yaitu proses Spinning Pin Pawl memiliki siklus kerja yang paling lama yaitu 22 detik, dan sebagian besar terdiri dari kerja manual. Untuk improvement yang dilakukan, kerja manual belum bisa digantikan dengan kerja auto karena terhalang oleh pemasangan part yang memerlukan gerakan tidak sederhana. Akan tetapi perbaikan yang bisa dilakukan adalah dengan memperbaiki keseimbangan kerja.

- Merubah tata letak tempat kerja.
Perubahan tata letak tempat kerja yang dilakukan lebih kepada posisi komponen yang akan dipasang pada produk didekatkan kepada operator sehingga untuk menjangkau komponen untuk dipasangkan pada produk tidak terlalu jauh. Dan juga dilakukan pembagian proses pemasangan komponen agar tidak terlalu dibebankan pada operator pos pertama sedangkan operator pos lain hanya menunggu. Komponen yang dibagi ke proses berikutnya atau operator kedua terdapat dalam data analisa standar kerja setelah improvement.
- Mengatur kembali gerakan-gerakan kerja.
- Sebagai solusi perbaikan keseimbangan kerja dilakukan pengaturan langkah-langkah kerja, dimana item part mana saja yang diletakkan di sebelah kanan dan diambil oleh tangan kanan serta item part yang diletakkan di sebelah kiri dan diambil oleh tangan kiri. Untuk membentuk sel one piece flow dengan waktu total 9 detik, dilakukan pengaturan ulang standar kerja. Dimana jumlah gerakan tangan kiri dan kanan operator dibuat berimbang agar tidak terjadi kelelahan yang berlebihan pada operator.
- Merancang kembali mesin dan peralatan
Pembuatan sistem semi auto pada mesin spinning, sehingga operator tidak lagi mendorong jig produk lalu menekan tombol start mesin. Prosesnya adalah dari awal operator menekan tombol start lalu jig bergerak masuk ditarik silinder dan mesin spinning memproses produk. Menambah pekerja bagi sebuah mesin atau sebaliknya, menambah mesin bagi seorang pekerja. Pada pos pertama ini dilakukan pembagian proses kerja sehingga jumlah operator menjadi bertambah menjadi operator pos proses kedua dan beban kerja operator pos pertama menjadi berkurang karena beberapa item pekerjaan dipindahkan ke operator kedua dan otomatis cycle time proses juga berkurang.3.

Perbaikan yang dilakukan selanjutnya adalah penambahan pos Preparation Body (pos 2). Sebelumnya pada line Sub Assy Door Lock Mechanic hanya terdiri dari 3 operator dan 3 pos proses

produksi, untuk tujuan perbaikan dilakukan penambahan operator pada pos kedua ini dan dilakukan pembagian proses kerja pada pos pertama sehingga beban kerja pada pos pertama bisa berkurang. Yang dilakukan pada pos kedua ini adalah pertama produk dari pos *Spinning Pin Pawl* diletakkan pada *chute* dan akan diambil oleh operator di pos *Preparation Body*. Pada pos tersebut produk dipasangkan empat komponen yaitu yaitu *stopper block*, *spring latch*, *cushion* dan *Rubber T*. Sebelum dilakukan *improvement* proses pemasangan tersebut dilakukan pada pos pertama yang menjadikan *cycle time* pada pos pertama menjadi lebih lama. Produk dari pos *Preparation Body* selanjutnya akan diletakkan pada jig konveyor mekanis untuk diproses *part detection* dan *apply grease* secara otomatis setelah operator pada pos ketiga menekan tombol start proses.

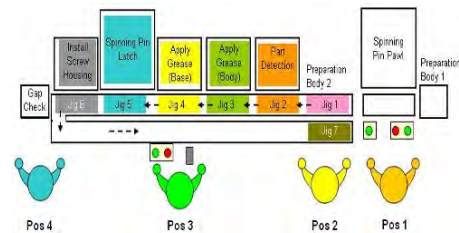
Pada pos 3 dilakukan pemasangan *latch* dan juga pemasangan *base plate*. Operator pada pos 3 juga menekan tombol start mesin semi auto dan proses yang akan berjalan secara otomatis yang sebelumnya masih dioperasikan secara manual oleh operator adalah *Spinning Pin Latch*, *Instal Screw* dan *Gap Check* selain *Part Detection* dan *Apply Grease* pada pembahasan sebelumnya. Pada pos 3 ini tidak lagi terjadi ambil - pasang produk *sub assy* sebanyak 2 kali karena sudah dibuatkan mekanisme seperti konveyor berjalan sehingga proses bisa kontinu atau berkelanjutan.

Setiap output produk yang dihasilkan akan dicek oleh *last man*. Walaupun dari mesin sendiri sudah terdapat *gap check* tetapi untuk lebih memastikan lagi kerja mekanik dari produk tidak NG (*latch* tidak terhambat gerakannya ataupun terkunci), maka dilakukan lagi pengetesan terhadap *gap* produk secara manual menggunakan *dial indicator* manual dan juga gerakan mekaniknya seperti kerja *spring* terhadap *latch* di dalam produk. Yang dimaksud *gap check* adalah produk *Door Lock Mechanic* mempunyai batasan gerakan dari kerja *spring* dan fungsi *gap check* untuk melihat apakah gerakan dari kerja *spring* di dalam produk masih berada dalam batasan yang diijinkan atau tidak.

Dengan tujuan meringankan kerja operator dan menghilangkan proses manual yang tidak memiliki nilai tambah maka pada perancangan perbaikan dibuatkan mekanisme pendukung dengan sistem semiauto. Perancangan awalnya adalah produk dapat bergeser secara otomatis seperti konveyor aktif dan beberapa proses permesinan yang sebelumnya diproses manual dirubah menjadi otomatis seperti proses *Spinning Pin Latch*, *Instal Screw*, pemberian Grease dan juga proses deteksi komponen produk.

Setelah *improvement* yang dilakukan yaitu implementasi *one piece flow* dengan merubah proses produksi di line *Sub Assy Door Lock Mechanic* yang pada awalnya hanya proses manual gerakan tangan operator dan proses permesinan menjadi proses semiauto untuk bagian pergeseran produk dari pos

satu ke pos lain. Pembuatan mesin semiauto melalui proses desain, pembuatan komponen, perakitan, *wiring* hingga pembuatan program untuk mesin. Tujuannya pembuatan sistem semiauto adalah untuk menghilangkan proses manual yaitu beberapa gerakan tangan operator yang tidak memiliki nilai tambah (*added value*), misalkan meletakkan produk ke proses berikutnya, sehingga mendukung tujuan awal meningkatkan produktivitas dengan mengurangi *cycle time* proses yang nantinya berhubungan dengan banyaknya produk yang dihasilkan per jamnya. Setelah pelaksanaan *improvement* pembagian kerja lebih merata tetapi memang terdapat penambahan operator menjadi empat orang.



Gambar 3. Pembagian Pos Proses Setelah Improvement

Dilihat data *cycle time* aktual tersebut dapat disimpulkan bahwa *improvement* yang dilakukan dapat dikatakan memenuhi target yang sudah ditetapkan dan dengan *cycle time* rata-rata 9 detik dapat dikatakan bahwa line tersebut sudah seimbang antar pos kerja 1 dengan yang lainnya.

Pada penerapan *one piece flow*, apabila pos-pos produksi terakhir dibuat semakin turun *cycle time*-nya menyebabkan operator pada pos pertama harus bekerja ekstra keras untuk mengimbangi *cycle time* pos setelahnya, untuk itu langkah antisipasinya adalah pos pertama pada line *Sub Assy Door Lock Mechanic* dibuat semaksimal mungkin atau *cycle time* dibuat secepat mungkin. Kemungkinan cara untuk menurunkan *cycle time* pos pertama tersebut adalah dibuatkan sistem produksi secara otomatis. Setelah pos pertama tersebut turun *cycle time*-nya, kemudian pos-pos berikutnya baru dilakukan perbaikan

Tabel 5. SWS (Standard Work Sheet) setelah improvement di pos Spinning Pin Pawl

Sequence	Operation	Time (in second)			(L)	(R)	Time (in second)														
		Manual	Auto	Walk			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Pos 1. PREPARATION + SPINNING PAWL																					
1	Ambil body mekanik lalu masukkan body tsb pada pin jig detect	1																			
2	Ambil spring ratchet pawl masukkan pada pin jig	1																			
3	Ambil sub plate pasang pada body (Jig apply grease bekerja)	1	2																		
4	Ambil pin latch pasang pada body mekanik lalu tekan hingga masuk kedalam body mekanik	2																			
5	Ambil SIA mekanik yang telah dispinning pawl lalu letakkan pada chute pos berikutnya.	1																			
6	Ambil pin pawl letakkan pada jig mesin spinning pawl.	1																			
7	Ambil SIA body mekanik dari jig detect lalu pasang pada jig spinning pawl.	1																			
8	Ambil open lift pasang pada jig lalu sentuh switch dan mesin bekerja.	1	3																		
IREGULER PROSES																					
1	pindahkan open lift ke chute. 1.5" (1 box = 1000 pcs)																				
Total		9	5																		
Cycle Time Actual		9.2																			

Cycle Time setelah dilakukannya improvement pada pos Spinning Pin Pawl adalah 9.2 detik.

Tabel 6. SWS (Standard Work Sheet) setelah improvement di pos Preparation Body

Sequence	Operation	Time (in second)			(L)	(R)	Time (in second)														
		Manual	Auto	Walk			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Pos 2. INSTALL SPRING LATCH + CUSHION BLOCK + CUSHION STOPPER																					
1	Ambil dan pegang SIA mekanik hasil proses plus MP 1	1																			
2	Ambil pengat spring lalu katkan spring pawl hingga mengat pada sub plate	1																			
3	Ambil stopper T dan pasang pada SIA body mekanik	2																			
4	Ambil cushion tipis lalu masukkan pada hole body mekanik	2																			
5	Ambil cushion blok lalu pasang pada SIA mekanik	2																			
6	Letakkan SIA mekanik tsb pada pos berikutnya	1																			
IREGULER PROSES																					
1	ambil stoper T seenggam letakan pada meja prepare 1.5" (1 genggam = 220 pcs)																				
2	ambil cushion tipis seenggam letakan pada meja prepare 1.5" (1 genggam = 100 pcs)																				
3	ambil cushion block seenggam letakan pada meja prepare 1.5" (1 genggam = 65 pcs)																				
Total		9	0	0																	
Cycle Time Actual		9.0																			

Cycle Time setelah dilakukannya improvement pada pos Preparation Body adalah 9.0 detik.

Tabel 7. SWS setelah improvement di pos Install Latch & Base Plate

Sequence	Operation	Time (in second)			(L)	(R)	Time (in second)														
		Manual	Auto	Walk			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Pos 3. DETECT PART + APPLY GREASE + INSTALL LATCH DAN BASE PLATE																					
1	Ambil spring latch pasang pada SIA mekanik	2																			
2	tekan tombol dan mesin running	1	1																		
3	Dorong handle jig dan tahan hingga latch terpasang	1																			
4	Ambil latch dan pasang pada SIA mekanik	2																			
5	Ambil base plate yang sudah apply grease lalu pasang pada SIA mekanik	2																			
6	Ambil base plate yang belum di apply grease lalu letakan di chute apply grease.	1																			
IREGULER PROSES																					
1	Ambil spring latch letakkan pada box kecil 1.5" (1 genggam = 82 pcs)																				
Total		9	2																		
Cycle Time Actual		9.4																			

Cycle Time setelah dilakukannya improvement pada pos Install Latch & Base Plate adalah 9.2 detik.

Tabel 8. SWS (Standard Work Sheet) setelah improvement di pos Last Man

Sequence	Operation	Time (in second)			(L)	(R)	Time (in second)														
		Manual	Auto	Walk			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Pos LASTMAN																					
1	Ambil SIA mekanik dari chute finish proses.	1																			
2	Ambil alat check lalu check fungsi SIA mekanik	4																			
3	Letakan alat check lalu ambil marking lalu beri marking SIA mekanik yang telah dicek secara fungsi dan visual.	3																			
4	Setelah selesai dicek letakan SIA mekanik kedalam box.	1																			
IREGULER TIME																					
1	setelah box penuh yaitu berisi 24 pcs, box di letakan chute finish good 1.5"																				
2	lalu kembali kepos sebelumnya dengan membawa box kosong 1"																				
Total		9																			
Cycle Time Actual		9.1																			

Cycle Time setelah dilakukannya improvement pada pos Last Man adalah 9.1 detik.

Tabel 9. Data Evaluasi *Balancing* Kerja Operator

No	Operator	CT Sebelum <i>Improvement</i>	CT Sesudah <i>Improvement</i>
1	Operator 1	22 detik	9,2 detik
2	Operator 2	15 detik	9,0 detik
3	Operator 3	17 detik	9,4 detik
4	Operator 4	-	9,1 detik

Untuk produktivitasnya dapat dihitung sebagai berikut, dengan faktor pembagiannya atau sebagai inputnya adalah jumlah operator dan output yang digunakan adalah banyaknya unit produk yang dihasilkan dalam satu jam produksi. Faktor yang mempengaruhi produktivitas antara lain material, operator, dan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan satu buah produk.

$$Pr\ oduktivitas = \frac{Output}{Input}$$

Tabel 10. Perbandingan Produktivitas Line Sub Assy Door Lock Mechanic

No	Variabel	<i>Before Improvement</i>	<i>After Improvement</i>	Ket
1	Output per jam	164 unit	383 unit	Setelah dilakukan <i>improvement</i> , produktivitas line meningkat 75%
2	Jumlah operator	3 operator	4 operator	
3	Nilai produktivitas	55%	96%	

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini :

- Sistem *one piece flow* dapat berjalan dengan baik setelah standar kerja masing-masing operator diseragamkan (*balance*) dan juga perbaikan dari sisi sarana produksi mulai dari mesin dan sistem produksi.
- Dengan *cycle time* = 9.4 detik, 1 line Sub Assy Door Lock Mechanic dapat mensuplai 2 line Assy

Door Lock sekaligus dimana line Assy Door Lock membutuhkan waktu 20 detik untuk menghasilkan satu produknya.

- Produktivitas line meningkat dari *cycle time* sebelumnya 22 detik (3 operator) menjadi 9.4 detik (4 operator), atau meningkat sekitar 41 % karena output yang dihasilkan meningkat dari sebelumnya 164 unit per jam menjadi 383 unit per jam.
- Memasang konveyor yang menghubungkan line Sub Assy Door Lock Mechanic dengan line Assy Door Lock agar tidak diperlukannya lagi *material handling* untuk memindahkan box berisi produk Sub Assy Door Lock Mechanic ke line Assy Door Lock.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Liker, Jeffrey, *The Toyota Way*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2005
- [2] Suzaki, Kiyoshi, *Tantangan Industri Manufaktur*, Productivity & Quality Management Consultants, Jakarta, 2001
- [3] Ahyari, Agus, *Manajemen Produksi, Perencanaan Sistem Produksi* Edisi Keempat, BPFE, Yogyakarta, 1999
- [4] J. Ravianto, *Produktivitas dan Manajemen*, SIUP, Jakarta, 1985
- [5] Iftikar Z. Satalaksana, *Teknik Tata Cara Kerja*, ITB, Bandung, 2005

Pengaruh Pelatihan, Penerapan *SOP*, dan Sistem Reward terhadap Produktivitas Teknisi Bengkel

Agung Wahyudi Biantoro.

Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Jakarta Barat 11650.

Email : agungbntr@gmail.com

Abstrak--.Peningkatan persaingan yang tinggi antar perusahaan membuat setiap perusahaan untuk menggunakan manajemen perusahaan yang terbaik untuk meningkatkan produktivitas, khususnya pada teknisi dan karyawan bengkel. Untuk meningkatkan produktivitas teknisi maka perlu diketahui faktor – faktor apa saja yang mempengaruhi produktivitas teknisi. Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas teknisi yaitu pelatihan, penerapan *SOP*, *reward system*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan bukti empiris yang menunjukkan bahwa pelatihan, penerapan *SOP*, *reward system*, berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas teknisi dan karyawan bengkel . Data primer yang didapat dari penelitian kemudian dianalisis dengan menggunakan metode regresi ganda .dengan bantuan *software SPSS*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelatihan dan penerapan *SOP* berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas teknisi, sedangkan *reward system* serta lingkungan kerja dan peralatan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Produktivitas Teknisi.

Kata Kunci : produktivitas teknisi, pelatihan, penerapan *SOP*, *sistem reward*, *Regresi ganda*

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bengkel M adalah salah satu bengkel UKM yang cukup terkenal di Jakarta Selatan yang terus berupaya memberikan pelayanan prima bagi para pengguna mobil untuk merawat mobil dan melakukan pelayanan body repair di wilayah Jakarta Selatan dan sekitarnya. Saat ini kesadaran pemilik mobil mengenai perawatan mobil makin meningkat, seiring dengan meningkatnya pengguna mobil di Jakarta, maka bengkel-bengkel harus berpikir bagaimana cara untuk memuaskan pelanggannya dengan memberikan pelayanan yang memuaskan. Bila pelayanan melebihi ekspektasi maka pelanggan akan sangat puas, namun bila jika kinerja dibawah ekspektasi maka ia akan tidak sangat puas. Hal ini menyiratkan bahwa pelanggan sangat sensitif terhadap ekspektasi yang tidak terpenuhi dan bisa bereaksi secara berlebihan. (Tjiptono, 2008) Dengan bertambah banyaknya bengkel – bengkel yang beroperasi di Jakarta Selatan, maka setiap bengkel harus terus memikirkan bagaimana untuk bisa

bersaing secara sehat dan terus dapat mempertahankan dan menambah pelanggannya. Bengkel mobil M saat ini memiliki tiga puluh teknisi dan karyawan dan mobil yang datang dapat mencapai 50 unit dalam bulan, baik pekerjaan service ringan maupun perawatan body repair. Tapi, jumlah tersebut belum mencapai target yang telah ditetapkan oleh bengkel dalam sebulan yakni sebesar 70 unit mobil. Melihat hal tersebut, maka manajemen bengkel perlu berusaha meningkatkan produktivitasnya.

Secara umum produktivitas mengandung pengertian perbandingan antara hasil yang dicapai dengan keseluruhan sumber daya yang digunakan. Faktor utama dari suatu produktivitas adalah terletak pada sumber daya manusianya. Seperti diketahui bahwa pengelolaan sumber daya manusia menempati posisi yang amat penting sebagai fungsi manajerial, dan operasional, untuk menghasilkan tersedianya barang dan jasa (Veithzal, 2009). Dalam kasus ini sumber daya manusia yang dimaksud adalah teknisi bengkel. Jadi untuk meningkatkan produktivitas bengkel maka perlu meningkatkan produktivitas teknisi. Produktivitas tenaga kerja/teknisi ditunjukkan sebagai rasio dari jumlah output yang dihasilkan per total tenaga kerja dan jam pekerjaan (man – hours), yaitu jam kerja yang dipakai untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut (Wignjosoebroto, 2000). Untuk meningkatkan produktivitas teknisi maka terlebih dahulu perlu mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi teknisi dalam bekerja. Dalam beberapa penelitian faktor-faktor yang dapat mempengaruhi produktivitas teknisi adalah pelatihan para karyawan / teknisi dan penerapan *SOP* perusahaan (Angih dan Nelman, 2011). Pelatihan merupakan suatu keharusan dari suatu organisasi dan keharusan di segala bidang, karena semakin terdidik dan terlatihnya serta tingginya motivasi maka semakin tinggi pula produktivitas kerja (Tjiptoherjanto, 2003).

Standard Operating Procedure (SOP) adalah dokumen tertulis yang memuat prosedur kerja secara rinci, tahap demi tahap dan sistematis. Menurut Eko (2011) *SOP* adalah suatu dokumen yang menerangkan suatu proses kerja, siapa yang bertanggung jawab, dokumen yang digunakan dan kriteria yang harus dipenuhi. *SOP* penting dibuat untuk menjamin kesamaan tindakan, untuk mempertahankan kualitas yang telah dicapai dan menghindari saling lempar tanggung jawab serta digunakan untuk tertib administrasi dokumen. Implementasi *SOP* yang baik,

akan menunjukkan konsistensi hasil kinerja, hasil produk dan proses pelayanan yang kesemuanya mengacu pada kemudahan karyawan dan kepuasan pelanggan.

Reward adalah semua bentuk *return* baik finansial maupun nonfinansial yang diterima karyawan karena jasa yang disumbangkan ke perusahaan. Program *reward* sangat penting untuk mendapatkan perhatian yang sungguh-sungguh, karena *reward* dapat meningkatkan maupun menurunkan prestasi kerja, kepuasan kerja maupun motivasi karyawan (Handoko, 1997).

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul : **Pengaruh Pelatihan, Penerapan SOP, Sistem Reward terhadap produktivitas Teknisi bengkel M, Jakarta Selatan.** Sedangkan rumusan masalahnya adalah 1. Apakah pelatihan berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas teknisi ? 2. Apakah penerapan SOP berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan produktivitas teknisi ? 3. Apakah Sistem penggajian berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan produktivitas teknisi ?

II. METODE PEMECAHAN MASALAH

Penelitian ini menggunakan disain penelitian penjelasan atau *explanatory/confirmatory research*, karena penelitian ini bermaksud untuk menjelaskan pengaruh yang ditimbulkan oleh variabel-variabel yang diteliti melalui pengujian hipotesis yang telah diajukan pada bab sebelumnya. Adapun metode yang digunakan adalah metode penelitian survey yang dilakukan di bengkel M, Jakarta Selatan. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang berasal dari kuesioner yang disebarakan kepada karyawan di bengkel M. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh teknisi dan karyawan bengkel M 30 orang, dengan jumlah sampel sama dengan jumlah populasi. Prosedur untuk pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *non probability sampling*. *Nonprobability sampling* adalah teknik pengambilan sampling yang tidak memberikan peluang / kesempatan yang sama bagi setiap unsur atau anggota populasi untuk dipilih menjadi sampel (Sugiyono, 2006). Teknik *nonprobability sampling* yang digunakan adalah teknik *sensus sampling*. Pada penelitian ini analisis data dilakukan menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dan analisis regresi berganda.

Pada analisis Regresi Berganda Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan model analisis regresi berganda bertujuan untuk memprediksi berapa besar kekuatan pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Persamaan regresinya adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Y = Produktivitas

a = intersep

b1, b2 = koefisien regresi

X1 = Pelatihan Teknisi

X2 = Penerapan SOP

X3 = Sistem Reward

III. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

• Uji Kualitas Data

Uji validitas adalah untuk mengetahui sejauh mana alat pengukur benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur. Instrumen yang valid berarti alat ukur yang digunakan untuk mengukur data tersebut adalah valid. Valid berarti instrumen, tersebut dapat digunakan untuk mengukur apa yang seharusnya diukur. Data dikatakan valid jika nilai r hitung memiliki nilai yang lebih besar dari r tabel. Uji validitas dilakukan terhadap 30 orang responden. Nilai r tabel untuk responden sebanyak 30 orang adalah sebesar 0,361. Hasil perhitungan validitas disajikan pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 1. Analisis Validitas Variabel Pelatihan, Penerapan SOP dan Remunerasi serta Produktivitas (Y)

Kode	r-butir	r-tabel	Keterangan
P1	0.905	0.361	Valid
P2	0.762	0.361	Valid
P3	0.829	0.361	Valid
SOP1	0.882	0.361	Valid
SOP2	0.914	0.361	Valid
SOP3	0.840	0.361	Valid
R1	0.685	0.361	Valid
R2	0.757	0.361	Valid
R3	0.795	0.361	Valid
R4	0.809	0.361	Valid
Produktivitas1	0.853	0.361	Valid
Produktivitas2	0.742	0.361	Valid
Produktivitas3	0.741	0.361	Valid

Dari hasil pengolahan data di atas, semua butir pertanyaan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai nilai r hitung lebih besar dari r tabel. Dengan demikian dapat disimpulkan semua butir pertanyaan adalah valid. Uji reliabilitas untuk setiap variabel pada penelitian ini menunjukkan hasil di atas 0.6 dengan demikian seluruh variabel adalah reliable sehingga dapat digunakan pada analisis statistic selanjutnya.

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas

Variabel	Alpha Cronbach	r-tabel	Keterangan
Pelatihan	0.78	0.6	Reliable
Penerapan SOP	0.851	0.6	Reliable
Remunerasi	0.751	0.6	Reliable
Produktivitas	0.68	0.6	Reliable

- **Analisis Frekuensi**

Analisis frekuensi dilakukan untuk menunjukkan banyaknya jumlah responden yang memilih suatu opsi jawaban atas pertanyaan yang diajukan pada penelitian ini. Semakin banyak responden yang memilih suatu opsi jawaban menunjukkan mayoritas jawaban responden.

Hasil jawaban para responden disajikan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 3. Capaian Jawaban Responden Terhadap Variabel Pelatihan (X1)

No	Pernyataan	SS	S	KS	TS	STS
1	Apakah Anda setuju bahwa pengetahuan yang anda dapatkan dari program pelatihan teknisi membantu anda dalam bekerja	1	10	13	5	1
2	Apakah Anda setuju bahwa ketrampilan yang anda dapatkan dari pelatihan dapat memudahkan anda dalam bekerja	1	9	15	5	0
3	Apakah kemampuan yang anda miliki setelah mengikuti pendidikan dan pelatihan dapat membuat anda bekerja dengan baik	2	11	12	5	0

Berdasarkan jawaban responden mengenai pertanyaan pelatihan diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi kurang setuju. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “apakah anda setuju bahwa pengetahuan yang anda dapatkan dari program pelatihan teknisi membantu anda dalam bekerja” terdapat 13 responden yang memilih opsi kurang setuju dan 10 responden menjawab setuju dan 1 responden menjawab sangat setuju.

Pada pernyataan mengenai “apakah anda setuju bahwa keterampilan yang anda dapatkan dari pelatihan dapat memudahkan anda dalam bekerja” terdapat 15 responden yang memilih opsi kurang setuju dan 9 responden menjawab setuju serta 1 responden menjawab sangat setuju. Pada pernyataan mengenai “Apakah kemampuan yang anda miliki setelah mengikuti pendidikan dan pelatihan dapat membuat anda bekerja dengan baik” terdapat 12 responden memilih opsi kurang setuju dan 11 responden memilih setuju serta 2 responden menjawab sangat setuju.

Tabel 4. Capaian Jawaban Responden Terhadap Variabel Penerapan SOP

No	Pernyataan	SS	S	KS	TS	STS
1	Apakah Anda setuju bahwa dengan penerapan SOP saat ini dapat membuat anda bekerja secara efisien	4	11	10	5	0
2	Apakah Anda setuju bahwa dengan penerapan SOP saat ini dapat membuat anda bekerja secara efektif	5	12	7	6	0
3	Apakah Anda setuju bahwa dengan penerapan SOP saat ini dapat membuat pekerjaan anda konsisten	3	12	7	8	0

Berdasarkan jawaban responden mengenai pertanyaan penerapan SOP diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi setuju dan kurang setuju. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “Apakah Anda setuju bahwa dengan penerapan SOP saat ini dapat membuat anda bekerja secara efisien”

terdapat 10 responden yang memilih opsi kurang setuju dan 11 responden menjawab setuju dan 4 responden menjawab sangat setuju.

Pada pernyataan mengenai “Apakah Anda setuju bahwa dengan penerapan SOP saat ini dapat membuat anda bekerja secara efektif” terdapat 12 responden yang memilih opsi setuju dan 7 responden menjawab kurang setuju serta 5 responden menjawab sangat setuju. Pada pernyataan mengenai “Apakah Anda setuju bahwa dengan penerapan SOP saat ini dapat membuat pekerjaan anda konsisten” terdapat 7 responden memilih opsi kurang setuju dan 12 responden memilih setuju serta 3 responden menjawab sangat setuju.

Tabel 5. Capaian Jawaban Responden Terhadap Variabel Remunerasi

No	Pernyataan	SS	S	KS	TS	STS
1	Apakah anda merasa puas dengan bonus perusahaan atas prestasi kerja anda	8	12	9	1	0
2	Apakah anda merasa puas dengan insentif yang diberikan atas ketepatan menyelesaikan pekerjaan	8	10	3	9	0
3	Apakah anda merasa puas dengan upah lembur yang diberikan perusahaan kepada anda	4	14	7	5	0
4	Apakah anda merasa puas dengan bantuan sosial perusahaan yang kepada anda	2	7	15	4	2

Berdasarkan jawaban responden mengenai pertanyaan *reward system* (remunerasi) diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi puas. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “Apakah anda merasa puas dengan bonus berupa insentif yang diberikan perusahaan atas prestasi kerja anda” terdapat 9 responden yang memilih opsi kurang puas dan 12

responden menjawab puas dan 8 responden menjawab sangat puas.

Pada pernyataan mengenai “Apakah anda merasa puas dengan insentif yang diberikan atas ketepatan anda dalam menyelesaikan pekerjaan” terdapat 3 responden yang memilih opsi kurang puas dan 10 responden menjawab puas serta 8 responden menjawab sangat puas. Pada pernyataan mengenai “Apakah anda merasa puas dengan upah lembur yang diberikan perusahaan kepada anda” terdapat 7 responden memilih opsi kurang puas dan 14 responden memilih puas serta 4 responden menjawab sangat puas. Pada pernyataan mengenai “Apakah anda merasa puas dengan bantuan sosial perusahaan yang kepada anda” terdapat 15 responden memilih opsi kurang puas dan 7 responden memilih puas serta 2 responden menjawab sangat puas.

Tabel 6. Capaian Jawaban Responden Terhadap Variabel Produktivitas

No	Pernyataan	SS	S	KS	TS	STS
1	Apakah anda selalu berusaha menghasilkan jumlah output yang banyak	9	6	10	5	0
2	Apakah anda selalu bekerja dengan waktu yang secepat mungkin (efisien)	8	8	11	3	0
3	Apakah anda selalu bekerja dengan sungguh-sungguh sesuai kemampuan	3	7	12	8	0

Berdasarkan jawaban responden mengenai pertanyaan produktivitas diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi sangat setuju dan kurang setuju. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “Apakah anda selalu berusaha menghasilkan jumlah output yang banyak” terdapat 10 responden yang memilih opsi kurang setuju dan 6 responden menjawab setuju dan 9 responden menjawab sangat setuju.

Pada pernyataan mengenai “Apakah anda selalu bekerja dengan menggunakan waktu yang secepat mungkin (efisien)” terdapat 11 responden yang memilih opsi kurang setuju dan 8 responden

menjawab setuju serta 8 responden menjawab sangat setuju. Pada pernyataan mengenai “Apakah anda selalu bekerja dengan sungguh-sungguh sesuai dengan kemampuan” terdapat 12 responden memilih opsi kurang setuju dan 7 responden memilih setuju serta responden menjawab sangat setuju.

• Uji Asumsi Klasik

a. Uji Multikolinieritas

Untuk melanjutkan analisis regresi berganda, sebelumnya dilakukan uji multikolinieritas. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah variabel independen dalam penelitian ini saling berkorelasi dengan kuat satu dengan yang lainnya. Salah satu cara untuk mengetahui ada tidaknya multikolinieritas adalah dengan melihat nilai VIF dari variabel independen.

Tabel 7. Uji Multikolinieritas

Model	Coefficients						Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF	
	B	Std. Error	Beta					
1 (Constant)	.478	1.066		.449	.657			
Pelatihan_X1	.251	.164	.219	1.526	.139	.357	2.797	
SOP_X2	.367	.171	.398	2.150	.041	.214	4.681	
Remunerasi_X3	.273	.133	.345	2.057	.050	.261	3.832	

a. Dependent Variable: Produktivitas_Y

Berdasarkan hasil pengujian multikolinieritas di atas, dapat diketahui ketiga variabel independen tidak memiliki gejala multikolinieritas karena memiliki nilai VIF di bawah 10.

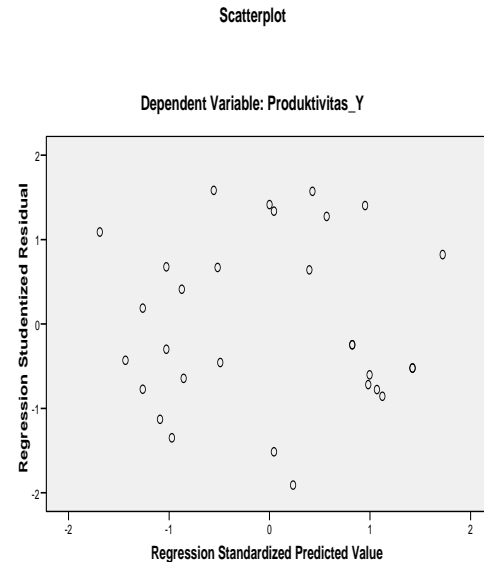
b. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi ada korelasi antara kesalahan pengganggu pada periode t dengan kesalahan pengganggu pada periode t-1 atau periode sebelumnya (Ghozali, 2007). Ada tidaknya gejala autokorelasi dilakukan dengan menggunakan metode Durbin-Watson. Jika suatu model regresi memiliki nilai Durbin Watson mendekati 2,0; maka disimpulkan bahwa model regresi tersebut tidak mengalami autokorelasi.

Berdasarkan hasil analisis regresi linier berganda yang telah dilakukan dengan program SPSS 15.0, diperoleh nilai Durbin Watson = 1.852. karena nilai tersebut belum mendekati atau melebihi nilai 2, maka harus melihat apakah nilai tersebut berada di daerah autokorelasi atau tidak yaitu dengan melihat nilai dl sebesar 1.214 dan nilai du sebesar 1.650. Nilai DW sebesar 1.852 tersebut berada di daerah tidak ada autokorelasi.

c. Uji Heteroskedastisitas

Dalam penelitian ini pengujian terhadap ada tidaknya gejala heteroskedastisitas dilakukan dengan menggunakan scatterplot. Asumsi yang digunakan adalah apabila titik-titik yang ada tidak membentuk pola, maka dapat dinyatakan bahwa tidak terdapat gejala heterokedastisitas. Sebaliknya bila titik-titik yang ada membentuk pola tertentu seperti lingkaran atau berkumpul, maka terdapat gejala heterokedastisitas.



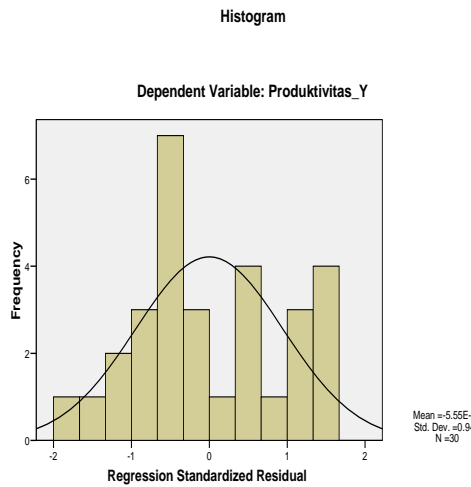
Gambar 1 Hasil Grafik Uji Heterokedastisitas

d. Uji Normalitas

Pada prinsipnya normalitas dapat dideteksi dengan melihat penyebaran data (titik) pada sumbu diagonal dari grafik atau dengan melihat histogram dari residualnya. Dasar pengambilan keputusan:

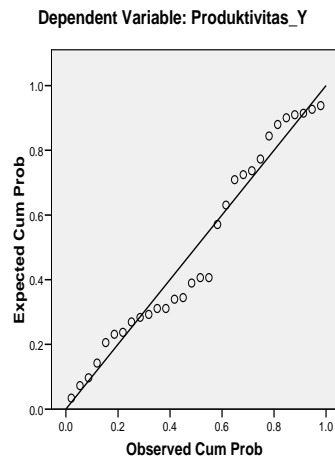
- Jika data menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal atau grafik histogramnya menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas.
- Jika data menyebar jauh dari diagonal dan/atau tidak mengikuti arah garis diagonal atau grafik histogram tidak menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi tidak memenuhi asumsi normalitas.

Berdasarkan hasil uji normalitas dengan bantuan program SPSS 15.0 menggunakan uji grafik dan normal p plot, diketahui bahwa model regresi memenuhi asumsi normalitas. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2 Grafik Uji Normalitas

Normal P-P Plot of Regression Standardized Resid



Gambar 3 Uji P plot

Analisis Regresi Berganda

Dalam menganalisis hubungan antara pelatihan (X1), Penerapan SOP (X2) dan Remunerasi (X3) terhadap Produktivitas teknisi digunakan analisis regresi berganda (*multiple regression*). Hasil perhitungan analisis regresi ganda melalui bantuan komputer, yaitu program SPSS versi 15, terangkum pada Tabel berikut ini.

a. Analisis Korelasi

Pada analisis regresi menggunakan program SPSS 15, diperoleh nilai korelasi berganda adalah

sebesar 0.900. Nilai ini mencerminkan bahwa hubungan antara pelatihan (X1), Penerapan SOP (X2) dan Remunerasi (X3) terhadap Produktivitas teknisi secara kuantitatif adalah hubungan yang kuat. Hasil koefisien korelasi r yang positif sebesar 0.900 menunjukkan orientasi hubungan positif. Hasilnya disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Korelasi Berganda

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.900 ^a	.809	.787	1.09491	1.852

a. Predictors: (Constant), Remunerasi_X3, Pelatihan_X1, SOP_X2

b. Dependent Variable: Produktivitas_Y

b. Analisis Koefisien determinasi

Koefisien determinasi yang diperoleh pada perhitungan data penelitian ini adalah sebesar 0,809 Hal ini mencerminkan bahwa variabel bebas pelatihan (X1), Penerapan SOP (X2) dan Remunerasi (X3) secara bersama-sama mampu menjelaskan variasi perubahan pada variabel terikat atau produktivitas teknisi sebesar 0.809. Kontribusi yang diberikan oleh variabel bebas pelatihan (X1), Penerapan SOP (X2) dan Remunerasi (X3) terhadap Produktivitas teknisi adalah 80.90% sedangkan sisanya 10.10% dipengaruhi oleh variabel-variabel lain yang tidak termasuk dalam penelitian ini.

c. Uji ANOVA / Uji F

Uji anova atau uji F adalah untuk mengetahui nilai signifikansi varibel X secara keseluruhan terhadap variabel Y. Bila nilai sig lebih kecil dari nilai alpha atau nilai kesalahan 0.05 maka hasilnya adalah signifikan. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 9. Hasil Perhitungan Uji Anova / Uji F

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	132.330	3	44.110	36.794	.000 ^a
	Residual	31.170	26	1.199		
	Total	163.500	29			

a. Predictors: (Constant), Remunerasi_X3, Pelatihan_X1, SOP_X2

b. Dependent Variable: Produktivitas_Y

Dari hasil diatas terlihat bahwa nilai signifikannya adalah 0.000 yang berarti lebih kecil dari nilai alpha 0.05 dan nilai F hitung adalah 36.794. Maka hasilnya adalah tolak H0, dengan demikian hasilnya adalah signifikan. Dengan demikian variabel bebas yang digunakan dalam penelitian, yaitu Pelatihan, Penerapan SOP dan Sistem reward atau remunerasi secara bersama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel Produktivitas tenaga kerja sebagai variabel terikat.

Dengan kata lain ketiga variabel tersebut secara umum, bersama-sama berpengaruh terhadap variabel produktivitas.

d. Uji t hipotesis

Uji t atau seringkali disebut sebagai uji parsial merupakan hasil output SPSS yang menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel bebas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat. Cara melakukan uji t adalah dengan membandingkan nilai statistik t dengan titik kritis menurut tabel. Apabila nilai statistik t hasil perhitungan lebih tinggi dibandingkan nilai t tabel, maka hipotesis yang diterima adalah hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa suatu variabel bebas secara individual mempengaruhi variabel terikat.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Uji t/ uji hipotesis

		Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	.478	1.068		.449	.657		
	Pelatihan_X1	.251	.164	.219	1.526	.139	.357	2.797
	SOP_X2	.367	.171	.398	2.150	.041	.214	4.681
	Remunerasi_X3	.273	.133	.345	2.057	.050	.261	3.832

a. Dependent Variable: Produktivitas_Y

Selanjutnya berdasarkan Tabel diatas, dapat disusun persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = 0.478 + 0.251 X1 + 0.367 X2 + 0.273 X3$$

Dari persamaan diatas diketahui nilai konstantanya adalah sebesar 0.478. Hal ini memberi gambaran bahwa pada saat pelatihan, penerapan SOP dan remunerasi memiliki nilai 0, maka nilai produktivitas adalah 0.478. Adapun kontribusi variabel bebas (pelatihan, penerapan SOP dan remunerasi) terhadap variabel terikat produktivitas) dapat dilihat dari nilai koefisien regresi untuk pelatihan (X1) sebesar 0.251, koefisien regresi untuk penerapan SOP (X2) sebesar 0.367 dan koefisien regresi untuk variabel remunerasi adalah sebesar 0.273.

Semua variabel independen dalam penelitian ini memiliki koefisien nilai positif terhadap variabel dependen. Dengan demikian dapat disebutkan bahwa setiap kenaikan variabel independen, maka secara positif akan menaikkan nilai dependen atau variabel produktivitas. Dengan demikian sangat

penting bagi perusahaan untuk memperhatikan variabel pelatihan, penerapan SOP dan sistem reward karena ini secara umum akan meningkatkan jumlah produktivitas perusahaan. Peningkatan produktivitas sangat penting, karena produktivitas merupakan motor penggerak kemajuan ekonomi dan keuntungan perusahaan (Nasution, 2008). Produktivitas juga penting untuk meningkatkan upah dan penerimaan seseorang

Untuk mengetahui variabel mana yang paling berpengaruh terhadap kinerja pegawai pada bengkel M maka digunakan koefisien beta. Hasil koefisien beta berdasarkan Tabel 10 di atas adalah sebagai berikut :

- Variabel pelatihan memiliki koefisien beta sebesar 0.219. Hal ini menunjukkan bahwa variabel pelatihan mampu mempengaruhi produktivitas sebesar 21.90%.
- Variabel penerapan SOP memiliki koefisien beta sebesar 0.398. Hal ini menunjukkan bahwa variabel penerapan SOP mampu mempengaruhi produktivitas sebesar 39.80%.
- Variabel remunerasi memiliki koefisien beta sebesar 0.345. Hal ini menunjukkan bahwa variabel remunerasi mampu mempengaruhi produktivitas sebesar 34.50%.

Hasil koefisien beta di atas menunjukkan bahwa variabel penerapan SOP merupakan variabel paling dominan dalam mempengaruhi produktivitas teknisi di Bengkel. Hal ini diperkuat dengan nilai koefisien beta yang paling tinggi diantara variabel independen lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data yang diuraikan sebelumnya, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa pelatihan, penerapan SOP dan remunerasi dan produktivitas teknisi bengkel adalah cukup baik.
- Hasil analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel pelatihan, penerapan SOP dan remunerasi secara bersama-sama maupun parsial memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produktivitas. Pada analisis uji t setiap variabel, variabel pelatihan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap produktivitas.
- Analisis dengan menggunakan regresi ganda, variabel penerapan SOP memiliki nilai beta tertinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa variabel penerapan SOP di perusahaan merupakan variabel yang dominan dalam mempengaruhi produktivitas perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Angih Wanabakti P dan Nelman Dwihardjo. 2011. *Pengaruh Pelatihan, Penerapan SOP,*

- Sistem Reward Sistem dan Lingkungan kerja dan Peralatan terhadap produktivitas Teknisi.* Fakultas Teknik Industri. Universitas Hasanudin. Makasar
- [2] Eko Supriyanto. 2011. *Makalah Pelatihan Teknik Pembuatan SOP dengan pendekatan KPI.* Tempo Grup Jakarta
- [3] Gaspersz, Vincent. 2000. *Manajemen Produktivitas Total.* PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [4] Ghozali, Imam. 2008. *Aplikasi analisis Multivariate dengan program SPSS.* Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- [5] Nasution, Arman Hakim. 2008. *Manajemen Industri.* Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [6] Simamora, Henry.2008. *Manajemen Sumberdaya Manusia.* Penerbit STIE YKPN, Yogyakarta.
- [7] Sugiyono, 2006. *Statistika untuk Penelitian.* Penerbit Alfabeta. Bandung.
- [8] Tjiptoherijanto, Prijono.2003. *Upah, jaminan sosial, dan perlindungan anak: gagasan pengembangan sumberdaya manusia.* Lembaga Penerbit,Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.
- [9] Tjiptono, Fandi. 2008. *Service Management, mewujudkan layanan Prima.* Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [10] Veithzal Rifai. 2009. *Manajemen Sumber Daya Manusia untuk Perusahaan.* Penerbit Murai Kencana. Jakarta
- [11] Wignjosoebroto, Sritomo. 2000. *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu.* Guna Widya,Surabaya.

Pengaruh Penerapan Sistem Antrian Servis dan Kendali Mutu Terhadap Minat Guna Jasa Ulang Pada Bengkel Motor S, Jakarta Barat

Agung Wahyudi Biantoro

Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Jakarta Barat 11650.

Email : agungbntr@gmail.com

Abstrak--. Saat ini persaingan usaha diantara pengusaha bengkel motor sangat tinggi, hingga menyebabkan perusahaan jasa seperti ini harus mampu mengoptimalkan pengendalian mutu untuk menarik pelanggan. Salah satu bentuk pengendalian mutu adalah dalam bentuk pelayanan prima kepada pelanggan. Aspek tersebut akan menjadi salah satu ujung tombak perusahaan dalam memenangkan persaingan dan memberikan alasan kuat bagi para konsumen untuk kembali datang melakukan servis. Selain itu diteliti pula mengenai system antrian apakah *variable* ini berpengaruh atau tidak terhadap Minat Guna jasa ulang pada bengkel S, Jakarta Barat.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian *survey*. Metode ini menggunakan populasi yang besar maupun kecil, tetapi data yang dipelajari adalah data yang diambil dari sampel tersebut, sehingga ditemukan metode kejadian yang relatif, distribusi dan hubungan antar variabel yang diteliti (Riduwan, 2005). Lokasi penelitian adalah di bengkel S, Jakarta Barat. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang berasal dari kuesioner yang disebarkan kepada konsumen di bengkel S. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh konsumen yang datang berkunjung antara bulan Januari sampai dengan Februari 2012 di bengkel S berjumlah kurang lebih 300 orang, dengan jumlah sampel sebesar 10% dari jumlah populasi. Sedangkan jumlah sampel diambil dengan menggunakan teknik *sampling Probability Sampling*, Pada penelitian ini analisis data dilakukan dengan menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dan analisis regresi berganda.

Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa penerapan sistem antrian, kualitas pelayanan dan minat guna ulang jasa yang dilakukan oleh bengkel motor S adalah baik. Hasil analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel terdapat pengaruh yang signifikan antara penerapan sistem antrian dan kualitas pelayanan secara bersama-sama maupun secara parsial terhadap minat guna ulang jasa. Diantara variabel Sistem antrian dan kualitas pelayanan, variabel kualitas pelayanan

merupakan variabel yang dominan mempengaruhi minat guna ulang jasa.

Kata Kunci : Sistem Antrian Servis, Kendali Mutu, Kualitas Pelayanan, Minat Guna Jasa Ulang

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Saat ini moda transportasi yang paling banyak diminati oleh masyarakat di Indonesia adalah sepeda motor. Hal ini dikarenakan sepeda motor memiliki keunggulan diantaranya adalah harga dan pajaknya yang lebih terjangkau, perawatannya yang mudah dan tidak terlalu mahal, serta kemampuannya untuk menembus kemacetan terutama di Jakarta yang terkenal dengan kemacetannya. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah pengendara motor di wilayah Jakarta semakin meningkat.

Seiring dengan meningkatnya jumlah sepeda motor di Jakarta, maka meningkat pula kebutuhan para pengguna sepeda motor tersebut akan keperluan servis rutin bagi kendaraannya. Tujuan dilakukannya servis rutin tersebut adalah untuk kenyamanan dan keamanan pengendara sepeda motor selama mereka menggunakan kendaraannya.

Dalam melakukan kegiatan servis rutin, biasanya para pengguna sepeda motor selalu memilih hari libur sehingga mereka memiliki banyak waktu untuk menunggu di bengkel saat motor mereka diservis. Lamanya waktu antrian menjadi alasan bagi para pemilik motor untuk datang pada hari libur. Seringkali waktu mengantri yang terlalu lama bisa mengakibatkan konsumen enggan untuk datang kembali di masa mendatang, sedangkan disisi lain tidak terjadinya antrian pada bagian pelayanan menyebabkan fasilitas pelayanan menggangur dan menyebabkan kerugian secara implisit bagi perusahaan.

Tingginya persaingan usaha menyebabkan perusahaan jasa seperti bengkel motor harus mampu mengoptimalkan pengendalian mutu. Salah satu bentuk pengendalian mutu adalah dalam bentuk pelayanan prima kepada pelanggan. Aspek tersebut akan menjadi salah satu ujung tombak perusahaan dalam memenangkan persaingan dan memberikan alasan kuat bagi para konsumen untuk kembali datang melakukan servis.

Bengkel S yang terletak di wilayah Jakarta Barat menyadari benar kondisi persaingan tersebut, akan tetapi seperti dikemukakan sebelumnya bahwa pada waktu-waktu tertentu terjadi penumpukkan konsumen dan menyebabkan panjangnya antrian pelanggan akan tetapi di waktu lainnya para teknisi tidak memiliki kegiatan. Hal ini akan menyebabkan menurunnya minat konsumen untuk kembali datang bila mereka membutuhkan waktu yang lama untuk memperoleh pelayanan, selain itu banyaknya antrian akan menyebabkan konsumen merasa bahwa mutu pelayanan yang diberikan kurang maksimal.

Parasuraman et al dalam Tjiptono (2008), menyatakan bahwa ada lima dimensi pokok yang sering digunakan dalam mengevaluasi jasa yang bersifat *intangible* terhadap suatu produk yaitu:

- *Responsiveness* (ketanggapan), yaitu kemampuan untuk menolong pelanggan dan ketersediaan untuk melayani pelanggan dengan baik.
- *Reliability* (keandalan), yaitu kemampuan untuk melakukan pelayanan sesuai yang dijanjikan dengan segera, akurat dan memuaskan.
- *Empathy* (empati), yaitu rasa peduli untuk memberikan perhatian secara individual kepada pelanggan, memahami kebutuhan pelanggan, serta kemudahan untuk dihubungi.
- *Assurance* (jaminan), yaitu pengetahuan, kesopanan petugas serta sifatnya yang dapat dipercaya sehingga para pelanggan bebas dari resiko.
- *Tangibles* (bukti langsung), yaitu meliputi fasilitas fisik, perlengkapan karyawan untuk sarana komunikasi.

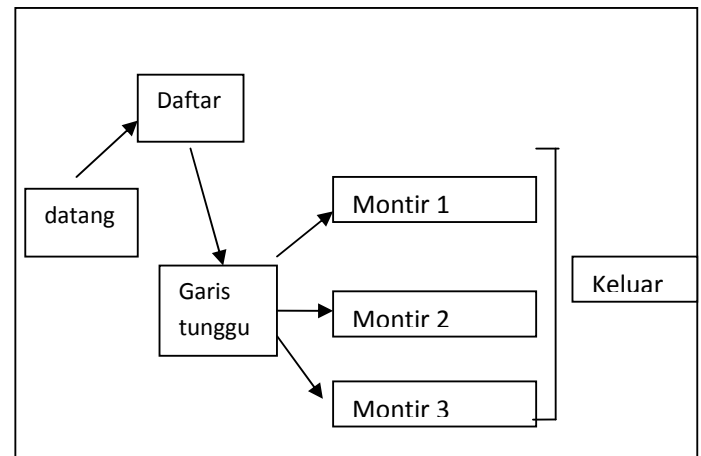
Kemampuan suatu perusahaan dalam memberikan pelayanan yang terbaik akan menjadi aspek penting dalam menjaga jumlah konsumen yang telah ada bahkan menambah jumlah konsumen, sebab tidak menutup kemungkinan konsumen yang merasa puas akan kembali dan mengajak koleganya untuk memperoleh servis rutin di bengkel S. Tentu saja bukan pekerjaan mudah, dimana bengkel harus menjaga pelayanannya, khususnya dalam menjaga antrian pelanggan, agar konsumen merasa diperhatikan dan menjadi puas. Untuk menjaga pelayanan tersebut perusahaan perlu memperhatikan mutu pelayanannya, baik dari segi keterampilan teknisi, lokasi tunggu yang nyaman dan lain sebagainya.

Minat beli ulang merupakan dorongan konsumen untuk melakukan pembelian atau dorongan yang dimiliki seseorang untuk melakukan pembelian ulang. Minat beli ulang merupakan bagian dari perilaku pembelian dimana didalam konteks minat beli ulang tersebut terdapat konsep loyalitas (Soderlund and Vilgon, 1999). Minat beli ulang merupakan bentuk kesetiaan pelanggan, dan suatu bisnis membutuhkan kesetiaan pelanggan, karena dengan kesetiaan pelanggan inilah bisnis menjadi hidup dan maju (Raphel, et al, 2007). Minat beli ulang tentu saja tidak lepas dari kepuasan pelanggan yang selama ini telah dijaga oleh perusahaan. Seperti diketahui,

kepuasan pelanggan merupakan keadaan emosional, rekasi pasca pembelian yang dapat berupa kemarahan, ketidakpuasan, kejangkelan, netralitas, kegembiraan atau kesenangan (Lock dan Wright, 2009).

Kemampuan suatu perusahaan dalam memberikan pelayanan yang terbaik akan menjadi aspek penting dalam menjaga jumlah konsumen yang telah ada bahkan menambah jumlah konsumen, sebab tidak menutup kemungkinan konsumen yang merasa puas akan kembali dan mengajak koleganya untuk memperoleh servis rutin di bengkel S. Untuk menjaga pelayanan tersebut perusahaan perlu memperhatikan mutu pelayanannya, baik dari segi keterampilan teknisi, lokasi tunggu yang nyaman dan lain sebagainya.

Memberikan pelayanan dengan cepat dan tepat sangatlah dibutuhkan oleh para pelanggan, oleh sebab itu sistem antrian yang tepat sangatlah penting untuk mendukung kepuasan pelanggan dan pada akhirnya membuat pelanggan kembali datang. Saat ini bengkel S menerapkan sistem antrian Multiple Channel Single Phase seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1 Sistem Antrian Multiple Channel Single Phase

Sistem antrian yang dijalankan oleh bengkel S telah berjalan selama kurang lebih enam bulan, oleh sebab itu manajemen bengkel merasa perlu untuk melakukan evaluasi apakah dengan sistem antrian yang dibuat mampu memberikan kepuasan kepada pelanggan yang pada akhirnya membuat pelanggan kembali melakukan servis rutin di bengkel S.

Minat beli ulang merupakan dorongan konsumen untuk melakukan pembelian atau dorongan yang dimiliki seseorang untuk melakukan pembelian ulang. Minat beli ulang merupakan bagian dari perilaku pembelian dimana didalam konteks minat beli ulang tersebut terdapat konsep loyalitas (Soderlund and Vilgon, 1999). Proses evaluasi konsumen sangat menentukan tingkat motivasi pembelian ulang

terhadap suatu merek. Motivasi tersebut akan menimbulkan keinginan pembelian ulang untuk memenuhi setiap kebutuhannya atau meningkatkan jumlah pembeliannya dan menghasilkan komitmen untuk menggunakan kembali merek tersebut dimana keinginan itu berkaitan dengan psikologi konsumen (Hawkins, Best dan Coney, 1998).

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul : **Pengaruh Penerapan Sistem Antrian dan Kendali Mutu Pelayanan terhadap Minat Guna Ulang Jasa bengkel motor S, Jakarta Barat.** Sedangkan rumusan masalahnya adalah 1. Apakah penerapan sistem antrian berpengaruh positif dan signifikan terhadap minat guna ulang jasa pada bengkel S ? 2. Apakah kualitas pelayanan berpengaruh positif dan signifikan terhadap minat guna ulang jasa pada bengkel S ?

II. METODE PEMECAHAN MASALAH

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian survey. Metode ini menggunakan populasi yang besar maupun kecil, tetapi data yang dipelajari adalah data yang diambil dari sampel tersebut, sehingga ditemukan metode kejadian yang relatif, distribusi dan hubungan antar variabel yang diteliti (Riduwan, 2005). Lokasi penelitian adalah di bengkel S, Jakarta Barat. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang berasal dari kuesioner yang disebarkan kepada konsumen di bengkel S. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh konsumen yang datang berkunjung antara bulan Januari sampai dengan Februari 2012 di bengkel S berjumlah kurang lebih 300 orang, dengan jumlah sampel sebesar 10% dari jumlah populasi. Sedangkan jumlah sampel diambil dengan menggunakan teknik sampling *Probability Sampling*, Pada penelitian ini analisis data dilakukan dengan menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dan analisis regresi berganda. Regresi ganda adalah suatu analisis untuk meramalkan bagaimana keadaan variabel dependen, bila dua variabel atau lebih independen sebagai faktor predictor dimanipulasi (Sugiyono, 2006). Sebelum melakukan analisis data sebelumnya data yang diperoleh melalui kuesioner diuji terlebih dahulu dengan menggunakan uji validitas, reliabilitas dan uji asumsi klasik. Uji asumsi klasik yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji normalitas, uji multikolinieritas dan uji heterokedastisitas.

Pada analisis Regresi Berganda Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan model analisis regresi berganda bertujuan untuk memprediksi berapa besar kekuatan pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Persamaan regresinya adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Y = Minat Guna Ulang Jasa

a = intersep

b1, b2 = koefisien regresi

X1 = Penerapan Sistem Antrian

X2 = Kendali Mutu dalam bentuk Kualitas Pelayanan

III. Pengolahan Data dan Pembahasan

• Uji Kualitas Data

Uji validitas adalah untuk mengetahui sejauh mana alat pengukur benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur. Instrumen yang valid berarti alat ukur yang digunakan untuk mengukur data tersebut adalah valid. Valid berarti instrumen, tersebut dapat digunakan untuk mengukur apa yang seharusnya diukur. Data dikatakan valid jika nilai r hitung memiliki nilai yang lebih besar dari r tabel. Uji validitas dilakukan terhadap 30 orang responden. Nilai r tabel untuk responden sebanyak 30 orang adalah sebesar 0,361. Hasil perhitungan validitas disajikan pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 1. Analisis Validitas Variabel penerapan sistem antrian (SA), kualitas pelayanan (KP) sebagai variabel X dan guna ulang jasa (GJ) sebagai variabel (Y)

Kode	r-butir	r-tabel	Keterangan
KP1	0.647	0.361	Valid
KP2	0.801	0.361	Valid
KP3	0.738	0.361	Valid
KP4	0.662	0.361	Valid
KP5	0.737	0.361	Valid
SA1	0.829	0.361	Valid
SA2	0.823	0.361	Valid
SA3	0.777	0.361	Valid
SA4	0.705	0.361	Valid
SA5	0.597	0.361	Valid
GJ1	0.784	0.361	Valid
GJ2	0.809	0.361	Valid
GJ3	0.761	0.361	Valid

Dari hasil pengolahan data di atas, semua butir pertanyaan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai nilai r hitung lebih besar dari r tabel. Dengan demikian dapat disimpulkan semua butir pertanyaan adalah valid. Uji reliabilitas untuk setiap variabel pada penelitian ini menunjukkan hasil di atas 0.6 dengan demikian seluruh variabel adalah reliable sehingga dapat digunakan pada analisis statistic selanjutnya.

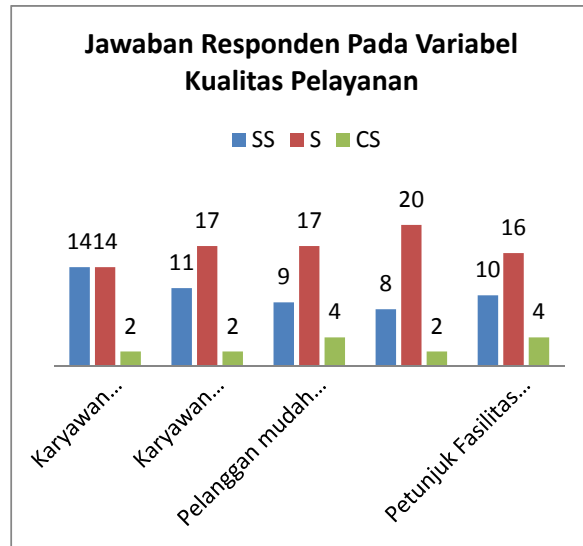
Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas

Variabel	Alpha Cronbach	r-tabel	Keterangan
Kualitas Pelayanan	0.763	0.6	Reliable
Penerapan Sistem Antrian	0.803	0.6	Reliable
Guna Ulang Jasa	0.683	0.6	Reliable

19 responden menjawab sangat setuju serta 1 responden menjawab cukup setuju. Pada pernyataan mengenai “Sistem antrian telah meningkatkan waktu tunggu anda di bengkel S” terdapat 2 responden memilih opsi cukup setuju dan 14 responden memilih setuju serta 14 responden menjawab sangat setuju.

Selanjutnya pada Kualitas pelayanan adalah :

Tabel 4. Variabel Kualitas Pelayanan

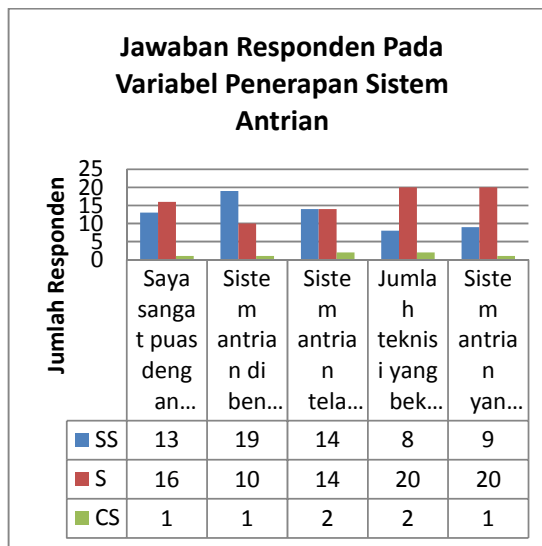


• Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan untuk menunjukkan banyaknya jumlah responden yang memilih suatu opsi jawaban atas pertanyaan yang diajukan pada penelitian ini. Semakin banyak responden yang memilih suatu opsi jawaban menunjukkan mayoritas jawaban responden.

Untuk penerapan sistem antrian yang telah dilaksanakan oleh bengkel S, para responden memberikan jawaban seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Variabel Penerapan Sistem Antrian

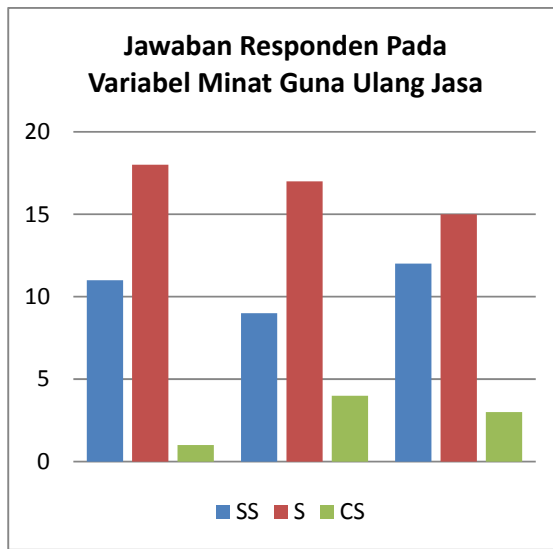


Berdasarkan jawaban responden mengenai pertanyaan kualitas pelayanan diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi Sangat Setuju dan Setuju. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “karyawan bengkel selalu melayani pelanggan dengan baik” terdapat 14 responden yang memilih opsi setuju dan 14 responden menjawab sangat setuju dan 2 responden menjawab cukup. Pada pernyataan mengenai “Karyawan bengkel mampu melayani pelanggan sesuai janji” terdapat 11 responden yang memilih opsi baik dan 11 responden menjawab sangat baik serta 2 responden menjawab cukup baik.

Berdasarkan jawaban responden mengenai pernyataan penerapan sistem antrian diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi setuju. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “Saya merasa puas dengan sistem antrian yang diterapkan oleh bengkel S” terdapat 16 responden yang memilih opsi setuju dan 13 responden menjawab sangat setuju dan 1 responden menjawab cukup setuju.

Pada pernyataan mengenai “Sistem antrian di bengkel S memudahkan pelanggan melakukan servis” terdapat 10 responden yang memilih opsi setuju dan

Tabel 5. Variabel Minat guna ulang jasa



Berdasarkan jawaban responden mengenai pertanyaan minat guna ulang jasa diketahui bahwa secara mayoritas responden memilih opsi tinggi dan sangat tinggi. Hasil ini terlihat dari jumlah responden yang memilih opsi tersebut. Pada pernyataan mengenai “Saya memiliki keinginan yang kuat untuk menggunakan jasa bengkel S” terdapat 18 responden yang memilih opsi keinginan tinggi dan 11 responden menjawab sangat tinggi dan 1 responden menjawab cukup tinggi.

Pada pernyataan mengenai “Keinginan saya untuk menggunakan jasa bengkel S dibandingkan bengkel lain sangat tinggi” terdapat 17 responden yang memilih opsi keinginan tinggi dan 9 responden menjawab sangat tinggi serta 4 responden menjawab cukup tinggi. Pada pernyataan mengenai “Saya memiliki keinginan untuk memperoleh informasi mengenai jasa lain di bengkel S” terdapat 15 responden memilih opsi keinginan tinggi dan 12 responden memilih sangat tinggi serta 3 responden menjawab cukup tinggi. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa secara mayoritas para responden memiliki keinginan tinggi untuk kembali ke bengkel S untuk melakukan servis rutin.

- Uji Asumsi Klasik
- Uji Multikolinieritas

Untuk melanjutkan analisis regresi berganda, sebelumnya dilakukan uji multikolinieritas. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah variabel independen dalam penelitian ini saling berkorelasi dengan kuat satu dengan yang lainnya. Salah satu cara untuk mengetahui ada tidaknya multikolinieritas adalah dengan melihat nilai VIF dari variabel independen.

Tabel 6. Uji Multikolinieritas

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	.478	1.066		.449	.657		
	Pelatihan_X1	.251	.164	.219	1.526	.139	.357	2.797
	SOP_X2	.367	.171	.398	2.150	.041	.214	4.681
	Remunerasi_X3	.273	.133	.345	2.057	.050	.261	3.832

a. Dependent Variable: Produktivitas_Y

Berdasarkan hasil pengujian multikolinieritas di atas, dapat diketahui kedua variabel independen tidak memiliki gejala multikolinieritas karena memiliki nilai VIF di bawah 10.

Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi linier ada korelasi antara kesalahan pengganggu pada periode t dengan kesalahan pengganggu pada masa sebelumnya. Pengujian terhadap ada tidaknya gejala autokorelasi dilakukan dengan menggunakan metode Durbin-Watson. Menurut Ghazali (2008) dalam bukunya Analisis Multivariate menyatakan jika suatu model regresi memiliki nilai Durbin Watson mendekati 2,0; maka disimpulkan bahwa model regresi tersebut tidak mengalami autokorelasi.

Berdasarkan hasil analisis regresi linier berganda yang telah dilakukan dengan program SPSS, diperoleh nilai Durbin Watson = 1.776. karena nilai tersebut belum melebihi nilai 2, maka harus melihat apakah nilai tersebut berada di daerah autokorelasi atau tidak yaitu dengan melihat nilai tabel Durbin Watson yaitu nilai dl dan nilai du, dengan jumlah variabel dependen (k) = 2, dan nilai n = 50. Nilai tersebut adalah :

Tabel 7. Tabel Durbin Watson, pada k =2 dan n = 50

No	n	dl	du
14	14	0.69	1.97
.	.	.	.
.	.	.	.
50	50	1.462	1.628

Sumber : Imam Ghazali, Analisis Multivariate dengan Program SPSS, 2006

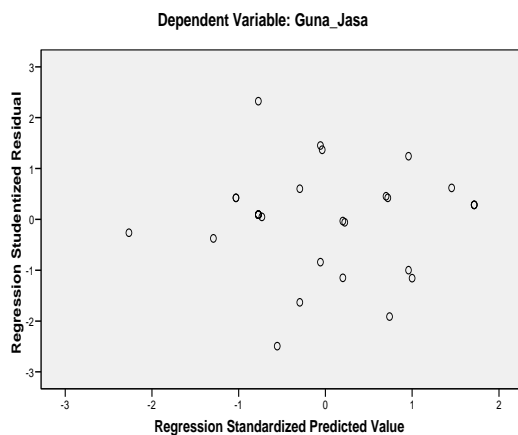
Ghozali (2008) menyebutkan bila nilai $du < d < 4-du$, dimana d adalah nilai Durbin Watson hitung, maka hasilnya adalah tidak ada autokorelasi dalam data tersebut. Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai Durbin Watson pada k =2 dan n = 50 dl sebesar 1.462 dan nilai du sebesar 1.628. Nilai DW sebesar 1.776 tersebut berada lebih besar dari batas atas du 1.628 dan kurang dari $4 - du = 4 - 1.628 = 2.372$. Dengan

demikian nilai tersebut berada di daerah yang tidak ada autokorelasi.

c. Uji Heteroskedastisitas

Dalam penelitian ini pengujian terhadap ada tidaknya gejala heteroskedastisitas dilakukan dengan menggunakan scatterplot. Asumsi yang digunakan adalah apabila titik-titik yang ada tidak membentuk pola, maka dapat dinyatakan bahwa tidak terdapat gejala heteroskedastisitas. Sebaliknya bila titik-titik yang ada membentuk pola tertentu seperti lingkaran atau berkumpul, maka terdapat gejala heteroskedastisitas.

Scatterplot



Gambar 2 Hasil Uji Heteroskedastisitas

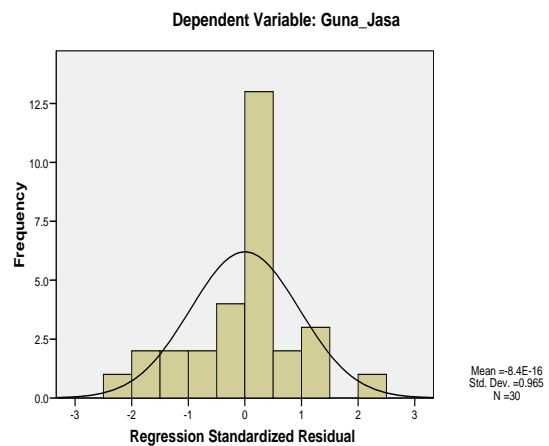
• Uji Normalitas

Pada prinsipnya normalitas dapat dideteksi dengan melihat penyebaran data (titik) pada sumbu diagonal dari grafik atau dengan melihat histogram dari residualnya. Dasar pengambilan keputusan:

- ✓ Jika data menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal atau grafik histogramnya menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas.
- ✓ Jika data menyebar jauh dari diagonal dan/atau tidak mengikuti arah garis diagonal atau grafik histogram tidak menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi tidak memenuhi asumsi normalitas.

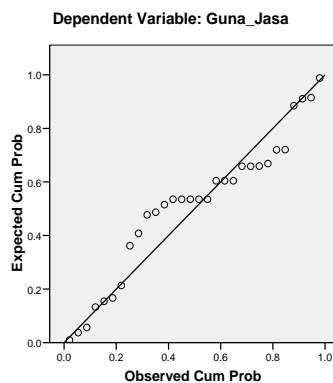
Berdasarkan hasil uji normalitas dengan bantuan program SPSS 15.0 menggunakan uji grafik dan normal p plot, diketahui bahwa morel regresi memenuhi asumsi normalitas. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3.

Histogram



Gambar 3. Grafik Uji Normalitas

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Gambar 4. Uji P plot

Dalam menganalisis hubungan antara penerapan sistem antrian (X1), kualitas pelayanan (X2) terhadap guna ulang jasa digunakan analisis regresi berganda (*multiple regression*). Hasil perhitungan analisis regresi ganda melalui bantuan komputer, yaitu program SPSS versi 15, terangkum pada Tabel berikut ini.

• Analisis Korelasi

Pada analisis regresi menggunakan program SPSS 15, diperoleh nilai korelasi berganda adalah sebesar 0.788. Nilai ini mencerminkan bahwa hubungan antara sistem antrian (X1), kualitas pelayanan (X2) terhadap guna ulang jasa secara kuantitatif adalah hubungan yang kuat. Hasil koefisien korelasi r yang positif sebesar 0.788 menunjukkan orientasi hubungan positif. Hasilnya disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Korelasi

• Analisis Regresi Berganda

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.788 ^a	.621	.593	92423	1.776

^a. Predictors: (Constant), Kualitas_Pelayanan, Sistem_Antrian

^b. Dependent Variable: Guna_Jasa

Analisis Koefisien determinasi

Koefisien determinasi yang diperoleh pada perhitungan data penelitian ini adalah sebesar 0,621 Hal ini mencerminkan bahwa variabel bebas sistem antrian (X1), kualitas pelayanan (X2) secara bersama-sama mampu menjelaskan variasi perubahan pada variabel terikat atau guna ulang jasa sebesar 0.621. Kontribusi yang diberikan oleh variabel bebas sistem antrian (X1), kualitas pelayanan (X2) terhadap guna ulang jasa adalah 62.10% sedangkan sisanya 37.90% dipengaruhi oleh variabel-variabel lain yang tidak termasuk dalam penelitian ini.

Uji ANOVA / Uji F

Uji anova atau uji F adalah untuk mengetahui nilai signifikansi variabel X secara keseluruhan terhadap variabel Y. Bila nilai sig lebih kecil dari nilai alpha atau nilai kesalahan 0.05 maka hasilnya adalah signifikan. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 9. Hasil Perhitungan Uji Anova / Uji F

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	37.737	2	18.868	22.089	
	Residual	23.063	27	.854		
	Total	60.800	29			

^a. Predictors: (Constant), Kualitas_Pelayanan, Sistem_Antrian

^b. Dependent Variable: Guna_Jasa

Dari hasil diatas terlihat bahwa nilai signifikannya adalah 0.000 yang berarti lebih kecil dari nilai alpha 0.05 dan nilai F hitung adalah 22.039. Maka hasilnya adalah tolak H0, dengan demikian hasilnya adalah signifikan. Dengan demikian variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini secara bersama-sama memiliki pengaruh terhadap variabel terikat.

Uji t hipotesis

Uji t atau seringkali disebut sebagai uji parsial merupakan hasil output SPSS yang menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu

variabel bebas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat. Cara melakukan uji t adalah dengan membandingkan nilai statistik t dengan titik kritis menurut tabel. Apabila nilai statistik t hasil perhitungan lebih tinggi dibandingkan nilai t tabel, maka hipotesis yang diterima adalah hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa suatu variabel bebas secara individual mempengaruhi variabel terikat.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Uji t/ uji hipotesis

Coefficients^a

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	3.287	1.892		1.943	.063		
Sistem_Antrian	.272	.118	.397	2.312	.029	.476	2.099
Kualitas_Pelayanan	.295	.112	.451	2.628	.014	.476	2.099

Dependent Variable: Guna_Jasa

Selanjutnya berdasarkan Tabel diatas, dapat disusun persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = 3.287 + 0.272 X1 + 0.295 X2$$

Dari persamaan diatas diketahui nilai konstantanya adalah sebesar 3.287. Hal ini memberi gambaran bahwa pada saat sistem antrian (X1), kualitas pelayanan (X2) memiliki nilai 0, maka nilai produktivitas adalah 3.287. Adapun kontribusi variabel bebas (sistem antrian (X1), kualitas pelayanan (X2) terhadap variabel terikat guna ulang jasa) dapat dilihat dari nilai koefisien regresi untuk sistem antrian (X1) sebesar 0.272, koefisien regresi untuk kualitas pelayanan (X2) sebesar 0.295.

Untuk mengetahui variabel mana yang paling berpengaruh terhadap guna ulang jasa pada bengkel S digunakan koefisien beta. Hasil koefisien beta berdasarkan tabel 4.13 di atas adalah sebagai berikut:

- Variabel sistem antrian memiliki koefisien beta sebesar 0.397. Hal ini menunjukkan bahwa variabel sistem antrian mampu mempengaruhi produktivitas sebesar 39.70%.
- Variabel kualitas pelayanan memiliki koefisien beta sebesar 0.451. Hal ini

menunjukkan bahwa variabel kualitas layanan mampu mempengaruhi produktivitas sebesar 45.10%.

Hasil koefisien beta di atas menunjukkan bahwa variabel penerapan SOP merupakan variabel paling dominan dalam mempengaruhi produktivitas teknisi di Bengkel. Hal ini diperkuat dengan nilai koefisien beta yang paling tinggi diantara variabel independen lainnya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa penerapan sistem antrian, kualitas pelayanan dan minat guna ulang jasa yang dilakukan oleh bengkel motor S adalah baik.
- Hasil analisis regresi berganda menunjukkan bahwa variabel terdapat pengaruh yang signifikan antara penerapan sistem antrian dan kualitas pelayanan secara bersama-sama maupun secara parsial terhadap minat guna ulang jasa.
- Diantara variabel Sistem antrian dan kualitas pelayanan, variabel kualitas pelayanan merupakan variabel yang dominan mempengaruhi minat guna ulang jasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riduwan. 2006. *Metode dan Teknik menyusun Tesis*. Penerbit Alfabeta. Bandung
- [2] Lovelock, Christoper H. dan Lauren K. Wright. 2009. *Manajemen Pemasaran Jasa*. Penerbit Indeks. Jakarta.
- [3] Raphel, Merray, Neil Raphel dan Janis S Raye. *Winning Customer Loyalty*. Penerbit Gramedia. Jakarta
- [4] Sugiyono, 2006. *Statistika untuk Penelitian*. Penerbit Alfabeta. Bandung.
- [5] Tjiptono, Fandi. 2008. *Service Management, mewujudkan layanan Prima*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [6] Ghozali, Imam. 2008. *Aplikasi analisis Multivariate dengan program SPSS*. Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- [7] Nasution, Arman Hakim. 2008. *Manajemen Industri*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [8] Simamora, Henry.2008. *Manajemen Sumberdaya Manusia*. Penerbit STIE YKPN, Yogyakarta.
- [9] Sinungan, Muchdarsyah. 2009. *Produktivitas : Apa dan Bagaimana*. Bumi Aksara. Jakarta.
- [10] Tjiptoherijanto, Prijono.2003. *Upah, jaminan sosial, dan perlindungan anak: gagasan pengembangan sumberdaya manusia*. Lembaga Penerbit,Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.
- [11] Veithzal Rifai. 2009. *Manajemen Sumber Daya Manusia untuk Perusahaan*. Penerbit Murai Kencana. Jakarta

Mapping Sistem Distribusi Komoditas Strategis Gula Di Indonesia

Defi Norita

Program Studi Teknik Industri
Universitas Mercubuana Jakarta
Jl. Meruya Selatan
Email :defi.norita@gmail.com

Abstrak--. Dalam rangka memperbaiki sistem distribusi gula maka perlu dilakukan studi awal (*initial study*) untuk mengetahui akar permasalahan sistem distribusi gula ditinjau dalam konteks jaringan distribusi (*distribution network*) sebagai bagian dari sistem rantai pasok (*supply chain*). Oleh karena itu, agar dapat diperoleh gambaran yang komprehensif terhadap permasalahan distribusi gula, studi awal ini bertujuan untuk : (i) mengidentifikasi kondisi nyata (*existing condition*) dari jaringan distribusi komoditas gula berdasarkan pada *distribution channel*-nya, (ii) membuat peta (*mapping*) dari jaringan distribusi (*distribution network*) komoditas gula nasional pada saat ini; (iii) menganalisis akar permasalahan yang ada pada sistem distribusi gula nasional; (iv) dan mengusulkan sistem jaringan distribusi untuk memecahkan masalah dalam sistem distribusi gula

Metode mapping yang digunakan terbagi dalam tiga tahapan utama, yaitu : (i) tahap ke-1 : *mapping* distribusi gula (*mapping sugar distribution*). Pada tahap ini akan digambarkan *existing condition* dari channel sistem distribusi gula berdasarkan : 1). *delivery methods*, 2). *organizational arrangement*, 3). *number of participants*, dan 4). *Function*; (ii) Tahap ke-2 : pengukuran kinerja sistem distribusi pada saat ini (*performance measurement*). Pada tahap ini akan dilakukan analisis kinerja dari *current condition* berdasarkan kriteria : 1). *Accessibility* (kemudahan untuk mengakses), 2). *availability* (ketersediaan produk), dan 3). *serviceability* (tingkat pelayanan ke konsumen); dan (iii) tahap ke-3 : pengembangan usulan desain sistem distribusi (*designing the distribution system*).

Dari hasil studi diketahui bahwa *mapping* terhadap distribusi gula nasional adalah sebagai berikut : (i) berdasarkan *delivery methods* dapat dibagi dalam 4 kategori distribusi; (ii) berdasarkan *organizational arrangement* dapat dibagi menjadi *conventional* dan *VMS-cooperative*, (iii) jika dilihat dari *number of participants*, *channel* distribusi gula mengacu pada *intensive distribution*, dan (iv) jika dilihat dari *function*, *channel* distribusi gula mengacu pada *Specialized Channel Participant* dimana distributor / pelaku menyediakan

pelayanan tertentu karena *fee*. Masalah yang dihadapi dalam distribusi gula, jika diukur dari kemudahan akses (*accessibility*) hanya akan terjadi pada daerah-daerah yang tidak *feasible* menurut mekanisme pasar; dari kriteria ketersediaan barang (*availability*) terdapat beberapa masalah antara lain adanya monopoli dan sistem lelang belum efektif; Sistem Perdagangan Gula Antar Pulau belum berjalan dengan baik ; dan Sistem Impor belum sempurna.

Kata kunci : *distribution network*, *distribution channel*, *serviceability*, *mapping*

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

Copra et all (2004) menyatakan bahwa kinerja sistem distribusi yang tinggi dapat dievaluasi dengan 2 (dua) dimensi, yaitu terpenuhinya kebutuhan konsumen dan besarnya biaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen tersebut. Desain sistem distribusi suatu barang yang baik akan memberikan jaminan terhadap ketersediaan barang pada lokasi, jumlah dan waktu yang sesuai sehingga misi dari distribusi dapat tercapai. Jika sistem distribusi memiliki kinerja yang tinggi, sistem tersebut dapat menjamin kemudahan akses (*accessibility*), ketersediaan barang (*availability*) dan tingkat pelayanan yang memuaskan (*serviceability*).

Beberapa fakta yang ditemukan pada distribusi gula sangat bertentangan dengan kriteria sistem distribusi yang berkinerja tinggi. Permasalahan yang ada antara lain kekurangan pasokan gula nasional (kompas, 2002a), *demand* gula nasional lebih besar dari produksi nasional dimana kebijakan import masih bermasalah, penimbunan stok gula di gudang karena biaya simpan lebih rendah dibanding biaya transpor, gula *import* lebih murah, (kompas,2003), fluktuasi harga gula yang menguatirkan dan kelangkaan barang-perlu operasi pasar (kompas, 2005).

Tujuan

Dalam rangka memperbaiki sistem distribusi gula maka perlu dilakukan studi awal (*initial study*) untuk mengetahui akar permasalahan sistem distribusi

gula ditinjau dalam konteks jaringan distribusi (*distribution network*) sebagai bagian dari sistem rantai pasok (*supply chain*). Oleh karena itu, agar dapat diperoleh gambaran yang komprehensif terhadap permasalahan distribusi gula, studi awal ini bertujuan untuk :

- mengidentifikasi kondisi nyata (*existing condition*) dari jaringan distribusi komoditas gula berdasarkan pada *distribution channel*-nya.
- membuat peta (*mapping*) dari jaringan distribusi (*distribution network*) komoditas gula nasional pada saat ini.
- menganalisis akar permasalahan yang ada pada sistem distribusi gula nasional.
- mengusulkan sistem jaringan distribusi untuk memecahkan masalah dalam sistem distribusi gula

II. IDENTIFIKASI PERMASALAHAN DISTRIBUSI GULA

Identifikasi permasalahan dari *distribution channel*

Permasalahan distribusi gula dapat diidentifikasi dengan melakukan pengukuran kinerja sistem distribusi pada saat ini (*performance measurement*). Analisis kinerja dari *current condition* berdasarkan kriteria : 1). *Accessibility* (kemudahan untuk mengakses), 2). *availability* (ketersediaan produk), dan 3). *serviceability* (tingkat pelayanan ke konsumen) dilakukan dengan membandingkan *actual performance* dengan *normative performance* dengan hasil sebagai berikut :

Ditinjau dari kriteria kemudahan akses (*accessibilit*)

Mengingat sistem *distribusi channel* C1, C3 dan C4 mengacu pada sistem *organizational arrangement* yang *konvensional*, masalah kemudahan akses hanya akan terjadi pada daerah-daerah yang tidak *feasible* menurut mekanisme pasar. Daerah dimana daya beli masyarakatnya rendah, tentu akan sedikit *retailer* yang menyediakan produk tersebut. Akses untuk mendapatkan gula pada curah dapat dilakukan di *retailer*, *traditional market* dan *modern market* sehingga dilihat dari kriteria kemudahan akses, distribusi gula relatif tidak ada masalah.

Ditinjau dari kriteria ketersediaan barang (*availability*)

Masalah ketersediaan barang adalah menjadi masalah yang cukup besar di Indonesia. Masalah ini dipicu karena *supply* gula produksi dalam negeri lebih kecil dari *demand* konsumsi dari gula secara nasional dan mekanisme impor gula belum efektif untuk menanggulangi kekurangan *supply* tersebut lokal. Jika dilihat dari *distribution channel* yang ada saat ini masalah ketersediaan barang tersebut antara lain disebabkan oleh :

- **Adanya monopoli dan sistem lelang belum efektif** – belum dapat menjamin lelang gula yang mencerminkan tingkat penawaran dan permintaan gula secara nasional. **Masalah yang terjadi** adalah adanya monopoli dalam lelang dimana sebagai ilustrasi, di PTPN IX sebanyak 60% dari hasil produksi dikuasi oleh 6 (enam) perusahaan pedagang besar.

Box-3: Monopoli Gula.

Temuan KPPU tentang adanya indikasi praktik monopoli melalui kepemilikan silang tiga pelaku usaha yang menguasai 65% dari rata-rata 300.000 ton gula pasir per tahun, menurut Ketua Asosiasi Pengusaha Gula dan Terigu Natsir Mansyur, dapat dijadikan bukti awal bagi Depdag dan pihak yang berwajib (Polri dan Kejaksaan Agung) untuk bahan pengusutan.

"Selama ini Depdag selalu membatah tidak terjadi praktik monopoli dalam pendistribusian gula. Dengan adanya temuan dari KPPU selaku lembaga resmi yang dilindungi undang-undang, selayaknya membuka mata bahwa praktik monopoli gula memang ada," ujarnya kemarin.

Dia menyatakan hal itu menanggapi pernyataan Ketua Majelis Komisi Pemeriksa Distribusi Gula Pasir KPPU Faisal Hasan Basri yang menemukan adanya tiga pengusaha yang membentuk kelompok usaha dalam penguasaan 65% dari total gula yang diproduksi dan dijual oleh PT Perkebunan Nusantara (PTPN) XI selama 2004 hingga Agustus 2006. Mereka adalah Soehariyanto, Harijono Santoso, dan Hartono Santoso.

Ketiga pelaku usaha itu sebenarnya adalah pemilik yang mengoperasikan satu kelompok usaha rekanan PTPN XI, yaitu PT Agro Tani Nusantara, PT Agro Makmur Nusantara, PT Arta Agung Sentosa, PT Arta Kencana Agung, PT Arta Guna Sentosa, CV Haris dan PT Kedung Agung. (Bisnis, 29 Des. 2006)

- **Sistem Perdagangan Gula Antar Pulau belum berjalan dengan baik**

Kebijakan Distribusi Gula – Perdagangan Antar Pulau diatur dalam Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan No. 61/MPP/Kep/2/2004 dan No. 344/MPP/Kep/5/2004 peraturan tersebut antara lain mengatur : pendistribusian gula ke seluruh daerah, menekan masuk/beredarnya gula ilegal, gula yang diperdagangkan antar pulau, gula yang dilarang, pedagang gula antar pulau terdaftar. **Masalah yang terjadi adalah** perdagangan dalam negeri masih memiliki kelemahan yaitu pasar yang oligopolistik, adanya penyelundupan gula dan manipulasi dokumen gula import yang berpengaruh terhadap penawaran dan harga gula domestik.

- **Sistem Impor belum sempurna**

Belum sempurnanya kebijakan sistem impor terjadi "perang dagang" importir umum (IU) yang selama ini mengeruk banyak keuntungan dari impor gula dengan Importir terdaftar (IT) yang diberi izin impor gula dapat menunjuk importir lain untuk bekerja sama melakukan impor dan mendistribusikan gula tersebut. Sistem impor saat ini juga terkadang merugikan kepentingan produksi gula nasional.

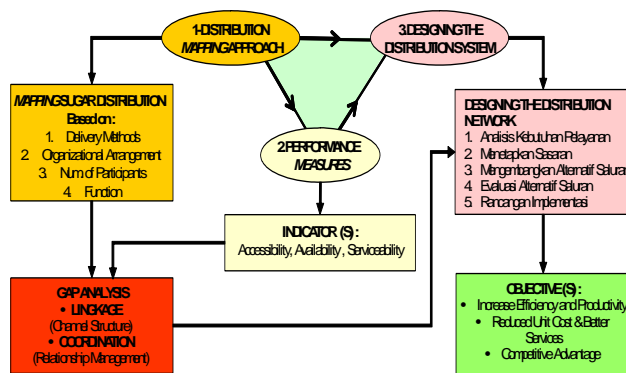
Ditinjau dari kriteria tingkat pelayanan (serviceability)

Masalah *serviceability* yang paling utama adalah terkait dengan fluktuasi harga yang sangat berlebihan. Masalah fluktuasi harga disebabkan karena adanya :

- penimbunan stock,
- adanya perkiraan defisit gula (*supply < demand*),
- dorongan untuk mengurangi berbagai bentuk subsidi dan proteksi yang merugikan pembayar pajak dan konsumen;
- kecenderungan harga minyak bumi yang masih tinggi dimana hal ini akan mendorong lebih banyak lagi tebu yang diproses untuk ethanol sebagai bahan bakar alternatif (Susiso, RW, 2006).
- **Perusahaan penyangga PT bulog dan Perusahaan Perdagangan Indonesia (PPI)** belum efektif sehingga belum efektif dalam mengantisipasi terjadinya lonjakan harga.

III. Metode mapping dan analisis

Metodologi yang digunakan untuk *mapping* dan analisis terhadap sistem distribusi gula di Indonesia di jelaskan pada gambar 1.



Gambar 1. Pendekatan metode *mapping* dan analisis sistem distribusi komoditas gula

Agar dapat melakukan *mapping* dan analisis secara komprehensif, pendekatan metode *mapping* dan analisis sistem distribusi komoditas gula dibagi dalam tiga tahapan utama, yaitu :

- **Tahap ke-1 :** *mapping* distribusi gula (*mapping sugar distribution*). Pada tahap ini akan digambarkan *existing condition* dari *channel* sistem distribusi gula berdasarkan : 1). *delivery methods*, 2). *organizational arrangement*, 3). *number of participants*, dan 4). *function*. Hasil dari *mapping* akan dijadikan acuan untuk menemukan permasalahan-permasalahan (*problems finding*) distribusi gula melalui *gap analysis*.
- **Tahap ke-2 :** pengukuran kinerja sistem distribusi pada saat ini (*performance measurement*). Pada tahap ini akan dilakukan analisis kinerja dari *current condition* berdasarkan kriteria : 1). *Accessibility* (kemudahan untuk

mengakses), 2). *availability* (ketersediaan produk), dan 3). *serviceability* (tingkat pelayanan ke konsumen). Metode analisis yang digunakan adalah *gap analysis*, yaitu dengan membandingkan *actual performance* dengan *normative performance*.

- **Tahap ke-3 :** pengembangan usulan desain sistem distribusi (*designing the distribution system*). Pada tahap ini akan diusulkan *initial solution* untuk menyelesaikan masalah yang berhasil diidentifikasi. Solusi yang diberikan merupakan *case study* dari beberapa masalah yang ada karena tidak semua masalah yang berhasil diidentifikasi akan diberikan solusi. Tahapan yang digunakan dalam *designing distribution network* adalah sebagai berikut : 1). analisis kebutuhan pelayanan, 2). menetapkan sasaran, 3). mengembangkan alternatif saluran, 4). evaluasi alternatif saluran, dan 5). rancangan implementasi

Hasil mapping distribusi gula

Dilihat dari asalnya, komoditas gula pasi yang ada di pasaran Indonesia dapat dibagi menjadi 2 (dua) kategori, yaitu gula dari produksi lokal dan gula yang berasal dari produksi luar negeri (*import*). Data pada akhir tahun 2000 menunjukkan bahwa total perusahaan gula (PG) di Indonesia adalah sebanyak 70 PG (11 PG sudah tidak beroperasi lagi), dimana dilihat dari letaknya 57 PG terletak di Pulau Jawa dan 13 PG di luar Pulau Jawa (tabel 1.).

Tabel 1. Produsen Gula di Indonesia

Asal	Nama Perusahaan ^{a)}	Jumlah ^{a)}	Keterangan ^{c)}	
Pulau Jawa (57 PG)	PTP Nusantara IX-Surakarta	13 PG	1). Proyeksi produksi gula nasional (ton) : th 2007 – 2,68 juta,	
	PTP Nusantara X-Surabaya	12 PG		
	PTP Nusantara XI-Surabaya	17 PG	th 2008 - 2,95 juta,	
	^{b)} PT RNI I – Surabaya	4 PG	th 2009 – 3,24 juta,	
	PT RNI II – Cirebon	8 PG	2). Proyeksi konsumsi gula nasional (ton) : th 2007 – 3,42 juta,	
	PT Kebun Agung – Surabaya	2 PG	th 2008 – 3,47 juta,	
	PT Bapippundip – Pati	1 PG	3).Proyeksi import gula nasional (ton) : th 2007- 0,735 juta	
	Luar Pulau Jawa	PTP Nusantara II-Medan	2 PG	th 2008- 0,516 juta
	PTP Nusantara VII – Lampung	2 PG	th 2009 – 0,271 juta	
	PTP Nusantara VIII-Pontianak	1 PG		
	PTP Nusantara XIV – Makasar	3 PG		
	PT. Gunung Madu Plantation – Lampung	1 PG		
	PT. Gula Putih Mataram – Lampung	1 PG		
	PT RNI III – Sulut	1 PG		
	PT. Sweet Indolampung	1 PG		
	PT. Indolampung Perkasa	1 PG		

a). Sumber : www.swa.co.id; b). RNI : Rajawali Nusantara Indonesia; c). Sumber : Buku Kebijakan Umum Ketahanan Pangan, Bab VI. Kegiatan Operasional Pembangunan Ketahanan Pangan, page : 85, <http://www.deptan.go.id/bkp/dewan/KUKP/>

Sebelum melakukan *mapping* distribusi gula berdasarkan *channel* sistem distribusinya, perlu dilakukan pengklasifikasian komoditas gula untuk memperjelas pemetaan gula sebagai berikut:

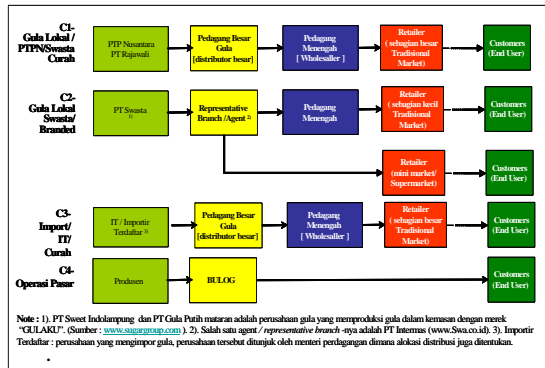
Tabel 2. Kategori dan klasifikasi gula

Kategori	Klasifikasi
1. Asal produksi	lokal – impor
2. Jenis perusahaan	milik pemerintah - milik swasta
3. Kemasan gula	curah - <i>branded</i> (contoh <i>gulaku</i>)
4. Sifat distribusi pasar	normal – operasi pasar
• <i>Linkage – channel structure</i>	Level perusahaan Level daerah Level nasional
• <i>Coordination – Relationship Management</i>	Kebijakan perusahaan Kebijakan nasional

Berdasarkan pengklasifikasian komoditas gula tersebut selanjutnya dapat dilakukan pemetaan distribusi gula sebagai berikut :

• **Pemetaan *channel* distribusi berdasarkan *delivery methods*,**

Berdasarkan *delivery methods* komoditas gula termasuk *indirect distribution* dimana barang dikirim melalui perantara yang dapat dijelaskan menurut asal produksi, jenis perusahaan, kemasan gula dan sifat distribusi pasar (gambar 2).



Gambar 2. Channel Distribusi Gula berdasarkan *Delivery Methods*

C1 : Sistem distribusi gula yaitu dari produsen gula (pabrik gula dan petani) dilelang kepada pengusaha secara periodik, pada umumnya peserta lelang juga merangkap sebagai distributor gula / pedagang gula besar. Pemenang lelang adalah berhak mendapatkan gula dari produsen

sesuai jumlah yang di lelang, kemudian didistribusikan kepada pedagang menengah, kemudian oleh pedagang menengah diteruskan kepada retailer dan dari retailer kepada konsumen. C2 – Perusahaan Gula Swasta, contohnya adalah PT Sweet Indolampung dan PT Gula Putih adalah perusahaan gula yang memproduksi gula dalam kemasan dengan merek “GULAKU”. “GULAKU” dipasarkan salah satunya oleh PT Intermas yang secara langsung memasarkan ke minimarket, supermarket dan ke hiperpermarket. Sebagian kecil yang lain tetap masuk ke pasar tradisional.



C3- Pemerintah melalui Menteri Perdagangan menetapkan apakah perlu melakukan impor gula. Jika pemerintah akan mengimpor gula maka pemerintah akan menunjuk Importir terdaftar Gula. Distributor gula pada umumnya selain mengikuti lelang yang diselenggarakan PTPN dan petani tersebut juga menerima penjualan dari PTPN yang mendapatkan tugas untuk mengimpor gula dari luar negeri karena kekurangan produk dalam negeri.



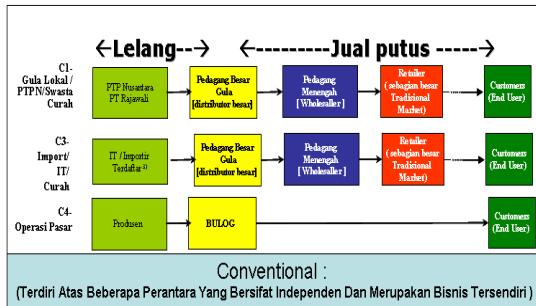
C4-Pada kondisi tertentu dimana terjadi kelangkaan barang dan fluktuasi harga yang sangat tinggi, pemerintah dapat melakukan operasi pasar untuk menstabilkan harga. Operasi pasar merupakan instrumen jitu agar spekulasi gula tak bisa lagi sewenang-wenang mempermainkan harga jual gula.

• **Pemetaan *channel* distribusi berdasarkan *organizational arrangement*,**

Secara teori, pemetaan *channel* distribusi berdasarkan *organizational arrangement* terdiri dari 4 (empat) channel, yaitu *conventional*, *vertical*, *horizontal* dan *mix*. Berdasarkan pengklasifikasian komoditas gula di Indonesia, pemetaan berdasarkan *organizational arrangement* adalah sebagai berikut (gambar 3) :

Conventional – Organizational Arrangement

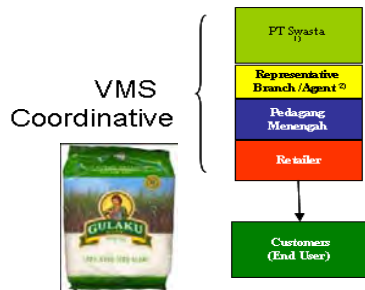
Pada *distribusi channel* C1, C3 dan C4 mengacu pada sistem *organizational arrangement* yang konvensional dimana mekanisme penjualan dari *manufacturer* ke pedagang besar/bulog dengan menggunakan mekanisme lelang, dan pedagang besar ke pedagang kecil/retailer dan konsumen menggunakan mekanisme jual putus.



Gambar 3a. *Distribusi channel* C1, C3 dan C4 mengacu pada sistem *organizational arrangement* yang konvensional

VMS Cooperative – Organizational Arrangement

Pada *distribusi channel* C2 gula bermerek mengacu pada sistem *organizational arrangement* yang *VMS Cooperative* dimana mekanisme penjualan dari berdasarkan harga jual yang ditentukan perusahaan dan perusahaan penjual diberikan komisi penjualan.



Gambar 3b. *Distribusi channel* C2 mengacu pada sistem *organizational arrangement* yang *VMS Coordinative*

- Pemetaan *channel* distribusi berdasarkan *number of participants*, dan

Jika dilihat dari *number of participants*, *channel* distribusi gula mengacu pada *intensive distribution* dimana distributor akan menyediakan produk di sebanyak mungkin *outlet*. Hal ini sesuai dengan karakteristik gula pasir yang merupakan

bagian dari bahan pokok yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat dan bersifat *generic*.

- Pemetaan *channel* distribusi berdasarkan *function*.

Jika dilihat dari *function*, *channel* distribusi gula mengacu pada *Specialized Channel Participant* dimana distributor / pelaku menyediakan pelayanan tertentu karena *fee*. Distribusi gula melibatkan beragam 1). *functional specialist*: seperti perusahaan transportasi, perusahaan pergudangan dan lain-lain; 2). *support specialist* : seperti perusahaan asuransi, perusahaan periklanan dan lain-lain.

Proposes Of Initial Solution

Designing of Structure Distribution Network

- Pada skala perusahaan, perusahaan PTP Nusantara perlu didorong untuk membuat produk dalam 2 (dua) kategori, yaitu curah dan ber-merek seperti yang dilakukan oleh merek “Gulaku” sehingga dalam jangka panjang beredar gula yang *channel* distribusinya dikontrol oleh perusahaan.
- Perusahaan juga perlu melakukan perbaikan *structure* distribusinya
- Pada skala nasional : perbaikan struktur distribusi *conventional* dengan mengefektifkan peranan “Perusahaan Penyangga”. Perusahaan penyangga ini harus dikontrol oleh pemerintah, harus mampu melakukan monitoring persediaan gula secara nasional dan harus mampu meentukan inventory / jumlah persediaan gula agar harga dapat terkendali.

Designing of Function Distribution Network

- Mengembangkan model untuk penentuan **Tariff Rate Quotas import** dalam konteks global seperti yang dilakukan oleh negara-negara *OECD* (*Organization for Economic Cooperation and Development*) - *European Union* sehingga kebijakan import tidak merupakan produksi gula nasional.
- **Pemerintah Perlu Menata Pola Distribusi Gula**, pemerintah perlu mendorong terciptanya sistem distribusi gula antar pulau yang efisien sehingga perdagangan antar pulau dapat berjalan lebih baik.
- Mendorong *linkage* antar fungsi, seperti fungsi transportasi, pergudangan dan asuransi yang dapat meningkatkan efisiensi sistem distribusi gula.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil studi diketahui bahwa *mapping* terhadap distribusi gula nasional adalah sebagai berikut : (i) berdasarkan *delivery methods* dapat dibagi dalam 4 kategori distribusi; (ii) berdasarkan *organizational arrangement* dapat dibagi menjadi *conventional* dan *VMS-cooperative*, (iii) jika dilihat dari *number of*

participants, channel distribusi gula mengacu pada *intensive distribution*, dan (iv) jika dilihat dari *function, channel* distribusi gula mengacu pada *Specialized Channel Participant* dimana distributor / pelaku menyediakan pelayanan tertentu karena *fee*. Masalah yang dihadapi dalam distribusi gula, jika diukur dari kemudahan akses (*accessibility*) hanya akan terjadi pada daerah-daerah yang tidak *feasible* menurut mekanisme pasar; dari kriteria ketersediaan barang (*availability*) terdapat beberapa masalah antara lain adanya monopoli dan sistem lelang belum efektif; Sistem Perdagangan Gula Antar Pulau belum berjalan dengan baik ; dan Sistem Impor belum sempurna. Dari kriteria tingkat pelayanan (*serviceability*) adalah masalah penimbunan stock, adanya perkiraan defisit gula (*supply < demand*), dorongan untuk mengurangi berbagai bentuk subsidi dan proteksi, **perusahaan penyangga PT bulog dan** Perusahaan Perdagangan Indonesia (PPI) belum efektif.

Saran

Usulan perbaikan dari *designing of structure distribution network* adalah pada skala perusahaan, perusahaan PTP Nusantara perlu didorong untuk membuat produk dalam 2 (dua) kategori, yaitu curah dan ber-merek seperti yang dilakukan oleh merek “Gulaku” sehingga dalam jangka panjang beradag gula yang *channel* distribusinya dikontrol oleh perusahaan, perusahaan juga perlu melakukan perbaikan *structure* distribusinya. Pada skala nasional : perbaikan struktur distribusi *conventional* dengan mengefektifkan peranan “Perusahaan Penyangga”. Perbaikan pada *designing of function distribution network*, perlu mengembangkan model untuk penentuan Tariff Rate Quotas import dan pemerintah Perlu Menata Pola Distribusi Gula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. (2002). *Kepmenperindag No. 643/MPP/Kep/9/2002, 23 September 2002 tentang Tata niaga impor gula*.
- [2] Anonim. Buku Kebijakan Umum Ketahanan Pangan, (Bab 1 s.d. Bab VI). *IT Publications*.
- [3] <http://www.deptan.go.id/bkp/dewan/KUKP/> di download 25 April 2007.
- [4] Bowersox et al. (2008) : *Supply Chain Logistics Management*, International Edition. USA: Mc Graw –Hill.
- [5] F. and Bayraktar, D. (2003): An Integrated Approach for Supplier Selection.
- [6] *Journal of Logistics Information Management*, 16 (6), 395-400.
- [7] David Fred R., (2001): *Strategic Management Concepts & Cases 8th edition*, USA : Prentice Hall.
- [8] Simchi-Levi, D. et al.(2000) : *Designing and Managing the Supply Chain : Concept, Strategies, and Case Studies*. Singapore : McGraw-Hill Higher Education.
- [9] Susilo W, R. et all. (2006), *Prospek Dan Arah Pengembangan Industri Berbasis Tebu*. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI), www.ipard.com. *IT Publications*. download pada 20 April 2007.
- [10] Susilo W, R. (2006a) : *Harga Gula Tinggi: Sudah Sewajarnya*, Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI), www.ipard.com. *IT Publications*. Di download pada 20 April 2007.
- [11] -----,(2006b) : *Momentum Emas Kejayaan Kembali Industri Gula Indonesia*, Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI), www.ipard.com. *IT Publications*. download pada 20 April 2007.
- [12] -----*World Sugar Research Organisation*. <http://www.wsro.org>

Integrasi Sistem Informasi Penetapan Biaya - Harga untuk Efisiensi Waktu Proses Penawaran pada Industri Percetakan Offset Skala Kecil

Indra Almahdy, Yohanes Krisanto
Teknik Industri, Universitas Mercu Buana
Jl. Raya Meruya Selatan, Jakarta

Abstrak– Salah satu kendala yang dihadapi industri percetakan offset skala kecil adalah proses penghitungan biaya pekerjaan dan penetapan harga jual yang cukup lama karena menggunakan proses penghitungan secara manual. Di samping itu, variasi pekerjaan juga turut mempengaruhi lamanya proses dan akurasi penghitungan bergantung dari spesifikasi pekerjaan. Dalam kasus ini, proses penghitungan pekerjaan yang cukup lama dibatasi pada perhitungan pekerjaan pencetakan buku. Untuk itu dirancang dan diimplementasikan sistem informasi penetapan harga – biaya dengan menggunakan software Delphi. Pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi waktu proses hingga lebih dari 85%, mempengaruhi proses penawaran secara signifikan, yang lebih lanjut meningkatkan kepuasan pelanggan.

Kata kunci– sistem informasi biaya, tata hitung ongkos, harga, offset, Delphi,

Abstract– One of the obstacles encountered in the small-scale offset printing industrial companies are the lengthy process of job costing and pricing that is normally done through manual calculation process. In addition, the variation of works also affects the calculation processing time and accuracy depend on the job specifications. In this case, book printing is selected due to its complexity. Information system for costing and pricing is designed and implemented using the Delphi software. The test results show that the process using information system has been able to increase efficiency of processing time 85%, a number that affect significantly on the quotation process, further to advance customer satisfaction.

Keywords: cost information system, cost accounting, price, offset, Delphi

I. TINJAUAN AWAL

Sebagian besar industri cetak, terutama yang berada pada skala menengah ke bawah, masih banyak yang melakukan proses penghitungan biaya suatu pekerjaan secara manual. Hal ini tentu memakan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan penggunaan komputer dan perangkat lunaknya. Selain

lebih memakan waktu, tingkat keakuratan penghitungan pun cukup diragukan, apalagi jika ada pos biaya yang terlewat dalam proses penghitungan. Selain itu, ketidakakuratan penghitungan biaya pokok produksi hingga menghasilkan harga jual yang terlampau tinggi dapat mengakibatkan kekalahan dalam meraih pangsa pasar dengan perusahaan lain.

Fungsi lain yang bisa ditawarkan dari sistem penghitungan yang terkomputerisasi adalah sebagai alat kontrol produksi serta mendorong terjadinya alur proses kerja yang tersusun rapi, terstruktur, dan sistematis. Dengan alur kerja proses yang terstruktur dan rapi tentunya dapat lebih bisa dipertanggungjawabkan dibandingkan jika dilakukan secara tidak terstruktur dan tidak sistematis. Kemudian, sistem penghitungan yang terkomputerisasi juga berguna sebagai standar harga baku yang diberlakukan kepada seluruh pelanggan tanpa tebang pilih. Hal ini tentu akan meningkatkan kepuasan pelanggan yang merasa diperlakukan adil dan transparan.

Dalam penelitian dilakukan peancangan aplikasi sistem informasi dan diimplementasikan dengan uji coba penggunaan dengan pengukuran waktu proses. Sebagai kondisi awal umum dilakukan pengukuran waktu proses penghitungan biaya secara manual. Selanjutnya analisis dan evaluasi dilakukan terhadap peningkatan efisiensi waktu proses tersebut.

II. DATA

Data yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui proses wawancara, pengamatan, dan studi literatur. Data diolah dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan harga pokok produksi dan rumus-rumus penentuan harga jual. Adapun perhitungan-perhitungan yang harus diselesaikan yaitu :

- Biaya desain isi dan sampul buku
- Biaya setting naskah
- Biaya pembuatan film separasi (FC)
- Biaya pembuatan film negatif dan positif
- Biaya *montage* sampul buku
- Biaya *montage* isi buku
- Biaya plate sampul buku
- Biaya plate isi buku
- Biaya kertas sampul buku
- Biaya kertas isi buku

- Biaya pencetakan (ongkos cetak) sampul buku
- Biaya pencetakan (ongkos cetak) isi buku
- Biaya pelipatan isi buku
- Biaya pengomplitan
- Biaya penjilidan; jilid kawat; jilid lem; jilid benang
- Biaya pemotongan (ongkos potong kertas/sisir kertas)
- Biaya pengepakan
- Perhitungan total biaya

III. HASIL DAN ANALISIS

Penetapan Perhitungan Biaya Produksi

Contoh pekerjaan dengan perhitungan secara manual diuraikan sebagai berikut :

8 November 2011, buku A dengan spesifikasi sebagai berikut : ukuran jadi 14 x 21 cm ; oplah 2500 eksemplar; sampul (4/0, art karton 210 gsm), isi (1/1, hvs 70 gsm, 160 hlm), jilid lem.

Penyelesaian:

- Menghitung biaya *montage* sampul dan isi buku dengan menggunakan data-data di atas.

$$\text{Biaya } montage \text{ sampul} = \text{jumlah plat} \times \text{biaya per } montage$$

Biaya *montage* sampul 4/0, artinya sampul tidak dicetak 2 muka (bolak balik), namun hanya 1 sisi saja. Dan karena 4 warna maka membutuhkan 4 lembar plat yg terdiri dari 1 plat *cyan*, 1 plat *magenta*, 1 plat *yellow*, 1 plat *black*.

Biaya *montage* isi 1/1, artinya halaman isi dicetak bolak-balik (2 muka) dan tiap muka hanya 1 warna, misalkan warna *black*. Karena jumlah halaman isi = 160 halaman; dan 1 plat hanya meng-coverage 4 halaman, maka dibutuhkan = 160 halaman / 4 halaman = 40 lembar plat 1 warna.

$$\begin{aligned} \text{Biaya } montage \text{ halaman isi} &= 40 \times 5000 = 200.000. \\ \text{Total biaya } montage \text{ sampul dan isi} &= 20.000 + 200.000 = 220.000 \end{aligned}$$

- Menghitung biaya plat

$$\text{banyaknya kebutuhan plat} \times \text{harga pelat}$$

Menghitung biaya plat sampul buku dengan rumus

$$\text{banyaknya kebutuhan plat} \times \text{harga pelat} = 40 \times 25000 = 1000.000$$

- Menghitung biaya kertas
Menghitung biaya kertas sampul dengan rumus

$$(\text{oplah cetak} : \text{banyaknya "up" per } montage) \times \text{harga kertas per rim} \times \text{inschiet}$$

maka :
karena area mesin cetak 50 x 34 cm, maka kertas yang dibeli adalah ukuran 65x100 dan dipotong

menjadi 2. Jadi setiap 1 lembar plano 50 x 34 cm menghasilkan 2 sampul. Untuk mendapatkan 2500 sampul, maka dibutuhkan:

$$(2500 : 2 : 2) : 500 \times \text{prosentase insheet}^1 \times \text{harga per rim plano ukuran } 65 \times 100 \text{cm} = 625/500 \times 110\% \times 735000 = 1.010.625.$$

Menghitung biaya kertas isi dengan rumus

$$(\text{oplah cetak} : \text{banyaknya "up" per } montage) \times \text{harga kertas per rim} \times \text{inschiet}$$

maka :

160 / 8 = 20 lembar ukuran 50 x 34 cm = 10 lembar ukuran 65x100 berarti 1 buku membutuhkan 10 lembar 65x100 dimana 1 rimnya seharga 185000. Jadi kebutuhan kertas isi untuk 2500 eksemplar =

$$(10 \times 2500) : 500 \times 185.000 \times 105\% = 9.712.500$$

- Menghitung ongkos cetak
Menghitung ongkos cetak sampul dengan rumus

$$\text{jumlah plat cetak} \times \text{ongkos cetak per lintasan} \times \text{oplah} \times \text{inschiet} = 4 \times 120 \times 1250 \times 110\% = 660.000$$

Menghitung ongkos cetak isi, dengan rumus

$$\text{jumlah plat cetak} \times \text{ongkos cetak per lintasan} \times \text{oplah} \times \text{inschiet} = 40 \times 55 \times 2500 \times 105\% = 6.600.000$$

- Menghitung biaya lipat katern isi dengan rumus

$$\text{jumlah lipatan} \times \text{biaya per sekali lipatan} \times \text{jumlah katern} \times \text{oplah} = 2 \times 10 \times 20 \times 2500 = 1.000.000$$

- Menghitung biaya jilid dengan rumus

$$(\text{biaya jilid per buku} \times \text{oplah}), \text{ maka} = (14 \times 1 \times 20) \times 2500 = 700.000$$

- Menghitung ongkos potong dengan rumus

$$\text{oplah} \times \text{ongkos potong per buku} = 2500 \times 75 = 187500$$

- Jumlah biaya (1-7) = 21.190.625
- Jumlah biaya + Margin keuntungan (30%) = 27.547.812,5
- PPN + PPh (10%) = 2.754.781,25
- Jumlah keseluruhan = 30.302.593,75
- Harga per buku = 30.302.593,75 / 2500 = 12.121,0375 rupiah

Hasil Pengukuran Lamanya Proses Penghitungan secara Manual

Pengukuran dilakukan terhadap orang yang sama. Waktu perhitungan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan perhitungan pencetakan buku yang dilakukan secara manual selama periode 1 November – 31 Desember 2011 ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1 Waktu proses penghitungan pekerjaan buku secara manual

No	tgl	Lamanya proses perhitungan secara manual (dalam detik)			Rata-rata
		Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	08/11/2011	812	802	799	804,333333
2	10/11/2011	805	809	800	804,666667
3	15/11/2011	785	787	779	783,666667
4	24/11/2011	788	790	782	786,666667
5	25/11/2011	792	788	782	787,333333
6	27/11/2011	802	790	785	792,333333
7	30/11/2011	798	780	783	787
8	04/12/2011	810	806	795	803,666667
9	12/12/2011	818	798	780	798,666667
10	15/12/2011	806	802	791	799,666667
	jmlh	8016	7952	7876	7948
	Rata-rata	801,6	795,2	787,6	794,8

Uji Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data pada tabel 1 dapat dilakukan dengan rumus:

- Waktu rata-rata :

$$x = \frac{\sum x_i}{k}$$

Dimana : x = waktu rata-rata pekerjaan ke-i

$$x = \frac{7948}{10} = 794,8$$

k = banyaknya pekerjaan, maka :

Jadi, waktu rata-ratanya adalah 794,8 detik.

- Standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{N - 1}}$$

di mana : N adalah jumlah pengamatan yang telah dilakukan

X adalah waktu penyelesaian yang teramati selama pengukuran

$$\sigma = \sqrt{\frac{(812-794,8)^2 + (805-794,8)^2 + \dots + (791-794,8)^2}{30 - 1}}$$

Sehingga dari tabel 1 diperoleh :

$$\sigma = 10,84499$$

Jadi standar deviasi dari tabel 1 adalah 10,84499

- Standar deviasi dan distribusi waktu rata-rata :

$$\sigma X = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dimana : n adalah banyaknya sub, sehingga :

$$\sigma X = \frac{10,84499}{\sqrt{10}} = 3,429$$

Jadi, standar deviasi dari distribusi waktu rata-rata adalah 3,429

- Dengan tingkat kepercayaan 99%, maka diperoleh :

BKA (batas kontrol atas)

$$= X + Z \sigma_x = 794,8 + 3 (3,429) = 805,087$$

$$\text{BKB (batas kontrol bawah)} = X - Z \sigma_x = 794,8 - 3 (3,429) = 784,513$$

Dari perhitungan BKA dan BKB diketahui bahwa data pengukuran waktu rata-rata pada pekerjaan yang datang menunjukkan berada di dalam batas, di atas batas, dan di bawah batas BKA dan BKB. Hal ini membuktikan bahwa proses penghitungan secara manual memiliki banyak faktor yang mempengaruhi keseragaman data, termasuk di antaranya banyaknya variasi pekerjaan yang harus dihitung secara manual meski dengan karakteristik pekerjaan yang sama.

Uji Kecukupan Data

Banyaknya pengukuran yang diperlukan dengan tingkat ketelitian 10% (s=0,1) dan tingkat keyakinan 99% (k=3) adalah :

$$N^1 = \left(\frac{k/s \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right)^2, N > N^1$$

Dari data pada tabel 1 diperoleh :

$$\begin{aligned} \sum x &= 23844 \\ \sum x^2 &= 18954622 \\ \sum (x)^2 &= 568536336 \\ N^1 &= 0,16 \end{aligned}$$

Dari pengujian diketahui $N^1 < N$, maka data dianggap cukup.

Desain dan Pembuatan Program Penghitungan

Pembuatan program penghitungan secara komputerisasi menggunakan software Delphi.

Berikut ini script yang disusun :

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender:
TObject);
var BiayaPlatSampulBuku, JumlahHalaman,
JumlahMontageIsi, JumlahMontageSampul,
BiayaMontagePerSampul,
BiayaMontageSampulDanIsi,
BiayaKertasIsi, BiayaKertasSampul,
JumlahPlatIsi, JumlahWarnaSampul,
JumlahWarnaIsi, HargaPlat, BiayaPlatIsiBuku,
BiayaMontagePerIsi, OngkosCetakSampul,
HargaKertasIsiPerRim,
HargaKertasSampulPerRim, HalamanCetak, Oplah,
HalamanAreaCetak, OngkosCetakIsi,
JumlahPlatSampul,
OngkosCetakPerLintasanSampul,
OngkosCetakPerLintasanIsi,
OngkosPotong, OngkosPotongPerBuku,
JumlahKatern, BiayaPerSekaliLipatan,
JumlahLipatan, BiayaLipatKaternIsi,
Ppn, JumlahBiayadanProfit, PersenProfit,
JumlahProfit, OngkosLemPanas, Panjang,
LebarPunggungBuku, BiayaJilid,
HargaPerBuku, JumlahKeseluruhan,
JumlahBiaya : Currency;
begin
    
```



```

    JumlahHalaman :=
StrToFloatDef(ebJumlahHalaman.Text, 0);
    JumlahMontageIsi :=
StrToFloatDef(ebJumlahMontageIsi.Text, 0);
    JumlahMontageSampul :=
StrToFloatDef(ebJumlahMontageSampul.Text, 0);
    BiayaMontagePerSampul :=
StrToFloatDef(ebBiayaMontagePerSampul.Text,
0);
    BiayaMontagePerIsi :=
StrToFloatDef(ebBiayaMontagePerIsi.Text, 0);
    BiayaMontageSampulDanIsi :=
((JumlahHalaman / JumlahMontageIsi) *
BiayaMontagePerIsi) + (JumlahMontageSampul *
BiayaMontagePerSampul);
    ebBiayaMontageSampulDanIsi.Text :=
FormatFloat('#,0', BiayaMontageSampulDanIsi);
    JumlahWarnaSampul :=
StrToFloatDef(ebSampulA.Text,
0)+StrToFloatDef(ebSampulB.Text, 0);
    HargaPlat :=
StrToFloatDef(ebHargaPlat.Text, 0);
    BiayaPlatSampulBuku := JumlahWarnaSampul
* HargaPlat;
    ebBiayaPlatSampulBuku.Text :=
FormatFloat('#,0', BiayaPlatSampulBuku);
    HalamanAreaCetak :=
StrToFloatDef(ebHalamanAreaCetak.Text, 0);
    JumlahWarnaIsi :=
StrToFloatDef(ebIsiA.Text, 0);
    JumlahPlatIsi :=
StrToFloatDef(ebJumlahHalaman.Text, 0) /
StrToFloatDef(ebHalamanAreaCetak.Text, 0);
    BiayaPlatIsiBuku := JumlahWarnaIsi *
HargaPlat * JumlahPlatIsi;
    ebBiayaPlatIsiBuku.Text :=
FormatFloat('#,0', BiayaPlatIsiBuku);
    Oplah := StrToFloatDef(ebOplah.Text, 0);
    HalamanCetak :=
StrToFloatDef(ebHalamanCetak.Text, 0);
    HargaKertasSampulPerRim :=
StrToFloatDef(ebHargaKertasSampulPerRim.Text,
0);
    // 500 untuk jumlah kertas dalam 1 rim
    BiayaKertasSampul := SimpleRoundTo(Oplah
/ HalamanCetak, 0) / 500 *
HargaKertasSampulPerRim * 130/100;
    ebBiayaKertasSampul.Text :=
FormatFloat('#,0', BiayaKertasSampul);
    HargaKertasIsiPerRim :=
StrToFloatDef(ebHargaKertasIsiPerRim.Text,
0);
    BiayaKertasIsi := ((Oplah *
HalamanCetak)/500) * HargaKertasIsiPerRim *
120/100;
    ebBiayaKertasIsi.Text :=
FormatFloat('#,0', BiayaKertasIsi);
    JumlahPlatSampul :=
StrToFloatDef(ebSampulA.Text, 0) +
StrToFloatDef(ebSampulB.Text, 0);
    OngkosCetakPerLintasanSampul :=
StrToFloatDef(ebOngkosCetakPerLintasanSampul.
Text, 0);
    OngkosCetakSampul := JumlahPlatSampul *
OngkosCetakPerLintasanSampul * Oplah * 130 /
100;
    ebOngkosCetakSampul.Text :=
FormatFloat('#,0', OngkosCetakSampul);
    OngkosCetakPerLintasanIsi :=
StrToFloatDef(ebOngkosCetakPerLintasanIsi.Tex
t, 0);
    OngkosCetakIsi := JumlahPlatIsi *
OngkosCetakPerLintasanIsi * Oplah * 120 /
100;
    ebOngkosCetakIsi.Text :=
FormatFloat('#,0', OngkosCetakIsi);
    JumlahLipatan :=

```

```

StrToFloatDef(ebJumlahLipatan.Text, 0);
    BiayaPerSekaliLipatan :=
StrToFloatDef(ebBiayaPerSekaliLipatan.Text,
0);
    JumlahKatern :=
StrToFloatDef(ebJumlahKatern.Text, 0);
    BiayaLipatKaternIsi := JumlahLipatan *
BiayaPerSekaliLipatan * JumlahKatern * Oplah;
    ebBiayaLipatKaternIsi.Text :=
FormatFloat('#,0', BiayaLipatKaternIsi);
    LebarPunggungBuku :=
StrToFloatDef(ebLebarPunggungBuku.Text, 0);
    Panjang := StrToFloatDef(ebPanjang.Text,
0);
    OngkosLemPanas :=
StrToFloatDef(ebOngkosLemPanas.Text, 0);
    BiayaJilid := Panjang *
LebarPunggungBuku * OngkosLemPanas * Oplah;
    ebBiayaJilid.Text := FormatFloat('#,0',
BiayaJilid);
    OngkosPotongPerBuku :=
StrToFloatDef(ebOngkosPotongPerBuku.Text, 0);
    OngkosPotong := Oplah *
OngkosPotongPerBuku;
    ebOngkosPotong.Text :=
FormatFloat('#,0', OngkosPotong);
    JumlahBiaya := BiayaMontageSampulDanIsi
+ BiayaKertasSampul + BiayaKertasIsi +
BiayaPlatSampulBuku + BiayaPlatIsiBuku +
    BiayaLipatKaternIsi +
BiayaJilid + OngkosPotong + OngkosCetakSampul
+ OngkosCetakIsi;
    ebJumlahBiaya.Text := FormatFloat('#,0',
JumlahBiaya);
    PersenProfit :=
StrToFloatDef(ebPersenProfit.Text, 0);
    JumlahProfit := Floor(JumlahBiaya *
PersenProfit / 100);
    ebJumlahProfit.Text :=
FormatFloat('#,0', JumlahProfit);
    JumlahBiayadanProfit := JumlahBiaya +
JumlahProfit;
    ebJumlahBiayadanProfit.Text :=
FormatFloat('#,0', JumlahBiayadanProfit);
    PPN := 0.1 * JumlahBiayadanProfit;
    ebPPN.Text := FormatFloat('#,0', PPN);
    JumlahKeseluruhan :=
JumlahBiayadanProfit + PPN;
    ebJumlahKeseluruhan.Text :=
FormatFloat('#,0', JumlahKeseluruhan);
    HargaPerBuku := Floor(JumlahKeseluruhan
/ Oplah);
    ebHargaPerBuku.Text :=
FormatFloat('#,0', HargaPerBuku);
end;

```

Pengukuran Waktu

Waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan proses penghitungan dengan sitem informasi terhadap pekerjaan pencetakan buku pada periode 1 November – 31 Desember 2011. Pengukuran dilakukan terhadap orang yang sama :

Tabel 2 Waktu proses penghitungan secara terkomputerisasi

No	tgl	Lamanya proses perhitungan secara manual (dalam detik)			Rata-rata
		Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	08/11/2011	90	79	75	81,333333
2	10/11/2011	88	87	88	87,666667
3	15/11/2011	89	88	79	85,333333
4	24/11/2011	86	87	86	86,333333
5	25/11/2011	78	82	80	80
6	27/11/2011	88	85	85	86
7	30/11/2011	85	84	84	84,333333
8	04/12/2011	78	77	77	77,333333
9	12/12/2011	79	79	75	77,666667
10	15/12/2011	80	81	80	80,333333
	Jumlah	841	829	809	826,333333
	Rata-rata	84,1	82,9	80,9	82,633333

Uji Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data pada tabel 2 dapat dilakukan dengan rumus:

- Waktu rata-rata :

$$x = \frac{\sum x_i}{k}$$

Di mana :

x = waktu rata-rata pekerjaan ke-i

k = banyaknya pekerjaan, maka :

$$x = \frac{826,333}{10} = 82,633$$

Jadi, waktu rata-ratanya adalah 82,633 detik.

- Standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{N - 1}} \quad 66$$

Di mana :

N adalah jumlah pengamatan yang telah dilakukan

X adalah waktu penyelesaian yang teramat selama pengukuran

Sehingga dari tabel 2 diperoleh :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(90-82,633)^2 + (88-82,633)^2 + \dots + (80-82,633)^2}{30 - 1}}$$

$$\sigma = 4,51421764$$

Jadi standar deviasi dari tabel 2 adalah 4,51421764

- Standar deviasi dan distribusi waktu rata-rata :

$$\sigma X = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dimana : n adalah banyaknya sub, sehingga:

$$\sigma X = \frac{4,51421764}{\sqrt{10}} = 1,4275$$

Jadi, standar deviasi dari distribusi waktu

rata-rata adalah 1,4275

Dengan tingkat kepercayaan 99%, maka diperoleh :

$$\text{BKA (batas kontrol atas)} = X + Z \sigma_x = 82,633 + 3 (1,4275) = 86,9155$$

$$\text{BKB (batas kontrol bawah)} = X - Z \sigma_x = 82,633 - 3 (1,4275) = 78,3505$$

Dari perhitungan BKA dan BKB diketahui bahwa data pengukuran waktu rata-rata pada proses penghitungan secara komputerisasi menunjukkan berada di dalam batas, di atas batas, dan di bawah batas BKA dan BKB. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik pekerjaan pada industri percetakan memiliki kemiripan satu sama lain meskipun spesifikasinya berbeda.

Uji Kecukupan Data

Banyaknya pengukuran yang diperlukan dengan tingkat ketelitian 10% (s=0,1) dan tingkat keyakinan 99% (k=3) adalah :

$$N^1 = \left(\frac{k/s \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right)^2, N > N^1$$

Dari data pada tabel 2 diperoleh :

$$\begin{aligned} \sum x &= 2479 \\ \sum x^2 &= 205439 \\ \sum (x)^2 &= 6145441 \\ N^1 &= 2,5964 \end{aligned}$$

Dari pengujian diketahui $N^1 < N$, maka data dianggap cukup.

Perhitungan Waktu Siklus

Dari data yang sudah terkumpul di atas, langkah berikutnya adalah menghitung waktu siklus untuk proses penghitungan secara terkomputerisasi, yaitu sebagai berikut :

Menghitung waktu siklus rata-rata

$$W_s = \frac{\sum X_i}{N} = \frac{826,33}{10} = 82,63$$

Jadi, waktu siklus penghitungan satu jenis pekerjaan cetakan buku adalah 82,63 detik.

Pengujian dan Evaluasi Kondisi Sebelum dan Sesudah Sistem Informasi

Berdasarkan pengujian sistem informasi penetapan biaya telah memberikan dampak yang signifikan terhadap waktu yang dibutuhkan untuk menghitung sebuah ongkos pekerjaan cetakan buku. Hasil analisa ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan sebelum dan sesudah menerapkan sistem informasi

No	tgl	Kondisi Sebelum (detik)	Kondisi Sesudah (detik)	Keterangan	Efisiensi
1	08/11/2011	804,333333	81,333333	0,898881	89,88%
2	10/11/2011	804,666667	87,666667	0,891052	89,10%
3	15/11/2011	783,666667	85,333333	0,891111	89,11%
4	24/11/2011	786,666667	86,333333	0,890254	89,02%
5	25/11/2011	787,333333	80	0,898391	89,83%
6	27/11/2011	792,333333	86	0,891406	89,14%
7	30/11/2011	787	84,333333	0,892842	89,28%
8	04/12/2011	803,666667	77,333333	0,903774	90,37%
9	12/12/2011	798,666667	77,666667	0,902755	90,27%
10	15/12/2011	799,666667	80,333333	0,899541	89,95%
	Rata-rata			0,896006	89,60%

Tingkat efisiensi dihitung dengan rumus :
 Selisih lamanya waktu yang dibutuhkan dalam proses penghitungan dengan sistem informasi terhadap lamanya waktu yang dibutuhkan dalam proses penghitungan secara manual, dibagi proses penghitungan secara manual, dikali 100%. Tabel 3 menunjukkan rata-rata tingkat efisiensi lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menghitung pekerjaan pencetakan buku mencapai 89,60 persen. Hal ini menunjukkan tingkat efisiensi waktu yang diperoleh sangat signifikan dan lebih lanjut berdampak pada

tingkat produktivitas kerja secara lebih menyeluruh.

IV. KESIMPULAN

Proses penghitungan dengan sistem informasi membawa pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan proses penghitungan untuk penawaran. Selain itu aspek akurasi akan lebih baik, dengan meminimalisakan kemungkinan kesalahan penghitungan yang dilakukan secara manual. Lebih jauh sistem informasi dapat mempercepat proses penawaran dan diharapkan berdampak positif pada tingkat kepuasan konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O'Brien, J A. 2003. *Introduction to information systems: essentials for the e-business enterprise*. McGraw-Hill, Boston, MA
- [2] Rusel, R.S dan Taylor, B.W. III. 1996. *Production and Operatorns Management: Focusing on Quality and Competitiveness, New Jersey : Prentice Hall*.
- [3] Saleh, Irsan Azhari. 1986. *Indusri Kecil Sebuah Tinjauan dan Perbandingan*. Jakarta : LP3ES.
- [4] Subanar, Harimurti. 1995. *Manajemen. Usaha Kecil*. Yogyakarta : BPFE.
- [5] Sudjana. 2002. *Metode Statistika*. Bandung. Tarsito
- [6] Sukirno, Sadono. 2002. *Pengantar Teori Mikro Ekonomi*. Jakarta : PT Grafindo Persada.
- [7] Supriyono, R.A. 1987. *Akantansi Biaya Pengumpulan Biaya dan Penentuan Harga Pokok*. Yogyakarta : BPFE.
- [8] Tambunan, Tulus. 1999. *Perkembangan Industri Skala Kecil di Indonesia*. Jakarta: Mutiara Sumber Widya.

Rancangan Perbaikan Sistem Manajemen Kualitas Pada Proses Produksi Rubber Outsole Di Pt. X

Meike Elsy B., Zulfa Fitri I., Euis Nina S. Y.
 Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Mercu Buana
 Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

Abstrak--. Persaingan yang semakin ketat pada industri sepatu menuntut setiap perusahaan sepatu untuk semakin meningkatkan kualitas produknya dengan melakukan perbaikan sistem manajemen kualitas secara berkesinambungan. Setiap perusahaan yang memiliki sistem manajemen kualitas yang baik, akan dapat menekan biaya produksi dan menghasilkan produk yang berkualitas.

PT. X merupakan salah satu perusahaan PMA (Penanaman Modal Asing) yang bergerak dalam industri sepatu. Untuk menjaga kualitas produknya, PT. X melakukan perbaikan secara terus menerus dan selalu berinovasi dalam setiap proses produksi, namun untuk proses pembuatan *rubber outsole* belum terlaksana secara optimal. Hal tersebut dapat dilihat dengan adanya perbedaan data dari jumlah *c-grade rubber outsole* antara departemen QC dan departemen *Environmental Engineering. Rubber outsole* merupakan sebuah komponen alas sepatu.

Tujuan penelitian ini adalah memberikan rancangan perbaikan terhadap sistem manajemen kualitas yang telah ada agar jumlah produk *c-grade rubber outsole* dapat diturunkan, dengan melakukan identifikasi terhadap proses kerja dan faktor penyebab *c-grade rubber outsole*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan perbaikan sistem manajemen kualitas yang telah ada. Perbaikan sistem yang dirancang dalam penelitian ini adalah membuat *checksheet* pemeriksaan proses produksi *rubber outsole* dan membuat KPI (*Key Performance Indicator*) untuk mengetahui kinerja dari masing-masing pekerja.

Kata kunci : Sistem manajemen kualitas, peningkatan kualitas, 7(tujuh) alat pengendalian kualitas

I. PENDAHULUAN

PT. X merupakan salah satu perusahaan PMA (Penanaman Modal Asing) yang bergerak dalam industri sepatu. Kegiatan produksi pada perusahaan ini dilakukan berdasarkan jumlah pesanan yang diberikan oleh *Buyer*. Jika standar kualitas tidak sesuai dengan yang diinginkan oleh pembeli (*Buyer*) maka pesanan tidak dapat berlanjut.

Untuk itu PT. X berusaha menjaga kualitas dengan cara melakukan perbaikan secara terus menerus dan selalu berinovasi dalam setiap proses produksi, namun

untuk proses pembuatan *rubber outsole* belum terlaksana secara optimal. Hal tersebut dapat dilihat dengan adanya perbedaan data dari jumlah *c-grade rubber outsole* antara departemen QC dan departemen *Environmental Engineering. Rubber outsole* merupakan sebuah komponen alas sepatu.

Perbedaan data tersebut dikarenakan pemeriksaan kualitas oleh team QC hanya dilakukan di area *finishing line*, sedangkan team *Environmental Engineering* mencatat semua kerusakan *rubber outsole* yang terjadi di semua area proses produksi.

Data *c-grade rubber outsole* dari QC dept. dan EE dept. selama bulan Januari sampai Mei 2011 dapat dilihat pada tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1.1 Data C-grade rubber outsole(EE& QCDept)

Tabel di atas menunjukkan besarnya data persentase perbedaan antara kedua departemen tersebut.

Permasalahan

Bagaimanakah cara menurunkan jumlah *c-grade rubber outsole*, sehingga kerugian perusahaan dapat dikurangi ?

Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi proses kerja dan sistem pemeriksaan yang dilakukan oleh team *quality control* dan *environmental engineering*.
- Melakukan perbaikan terhadap sistem manajemen kualitas yang telah ada agar jumlah produk *c-grade rubber outsole* dapat diturunkan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder, yaitu data hasil produksi, data *c-grade* produksi pada bulan Mei 2011, diagram alur proses kerja serta proses pemeriksaan yang dilakukan selama ini.

III.HASIL DAN ANALISIS

Data penelitian

Proses kerja *rubber outsole* dan langkah-langkah

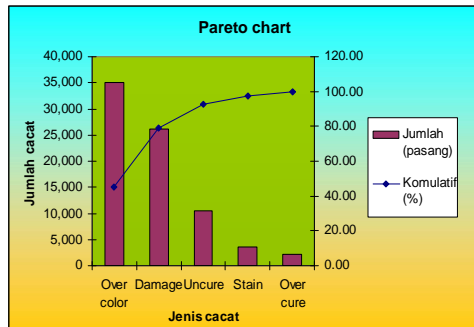
pemeriksaan yang harus dilakukan untuk menghindari *c-grade rubber outsole* dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Proses kerjarubber outsole yang dapat mengakibatkan c-grade

No	Proses	Pemeriksaan	No	Proses	Pemeriksaan
1	Warehouse raw material	- Penyimpanan raw material tidak terpaparsinar matahari - Ada identifikasi tanggal kadaluarsa - Ada FIFO system	12	Proses pendinginan	- Temperatur kontrol berfungsi dengan baik - Temperatur air di bawah 30 C
2	Penimbangan raw material	- Penimbangan harus sesuai dengan formula yang terpanjang - Timbangan harus terkalibrasi - Batch tracking card tersedia	13	Proses pengukuran thickness	- Thickness perform sesuai dengan standard - Alat ukur terkalibrasi - Temperatur kontrol berfungsi dengan baik
3	Proses Banbury	- Timer & temperature kontrol berfungsi dengan baik - Raw material dimasukkan sesuai dengan SOP	14	Proses pendinginan	- Pendinginan perform min. 4 jam & max. 4 hari - Penumpukan perform per warna - Batch tracking card tersedia dan sesuai dengan waktu prod.
4	Proses penggilingan	- Timer & temperature control berfungsi dengan baik - Proses penggilingan mengikuti SOP - Temperature perform di bawah 50C	15	Proses cutting	- Kondisi papan cutting rata - Pisau cutting tidak berkarat - Pisau cutting tidak rusak - Pisau cutting rata - Perform di cutting sesuai size
5	Proses pendinginan	- Temperature control berfungsi dengan baik - Temperature air di bawah 30C	16	Proses penyimpanan	- Penyimpanan perform per size/tidak tercampur - Batch tracking card tersedia dan sesuai dengan waktu prod - Tempat penyimpanan preform bersih
6	Proses penimbangan	- Berat perform sesuai dengan kapasitas perbatch - Timbangan harus terkalibrasi	17	Proses pressing	- Penggunaan mold release sesuai dengan standard - Kondisi mold baik - Penambahan perform sesuai dengan standard - Temperature control berfungsi dengan baik - Timer control berfungsi dengan baik - Alat ukur temperature terkalibrasi - Outsole yang masih panas tidak ditumpuk
7	Rak Penyimpanan	- Batch tracking card tersedia dan sesuai dengan waktu prod.	18	Proses trimming	- Hasil trimming outsole bersih sesuai dengan sampel - Hasil trimming outsole tidak sobek
8	Proses roll	- Timer & temperature kontrol berfungsi dengan baik - Prosedur roll dilakukan sesuai dengan SOP	19	Proses inspeksi oleh QC	- Proses pemeriksaan outsole dilakukan 100% oleh QC
9	Proses test rheometer	- Temperature ruangan sesuai dengan standard - Mesin rheometer terkalibrasi - Rheometer spec. terpanjang - Hasil test rheometer ada di loqbook - Grafik result harus sesuai dengan gauge range - Semua batch dilakukan test rheometer - Perform fail ditindaklanjuti	20	Proses packing	- Pengemasan outsole per model dan per size
10	Proses roll "22"	- Temperatur kontrol berfungsi dengan baik - Prosedur roll dilakukan sesuai dengan SOP - Alat ukur temperature terkalibrasi	21	Proses penyimpanan	- Packing outsole tersusun dengan baik - Packing outsole tidak merubah bentuk outsole
11	Proses pengukur ketebal ankaret	- Thickness perform sesuai dengan standard - Alat ukur terkalibrasi - Temperatur kontrol berfungsi dengan baik	22	Storage	- FIFO system jelas untuk menghindari outsole kadaluarsa - Kadaluarsa outsole max. 13 hari sebelum proses berikutnya

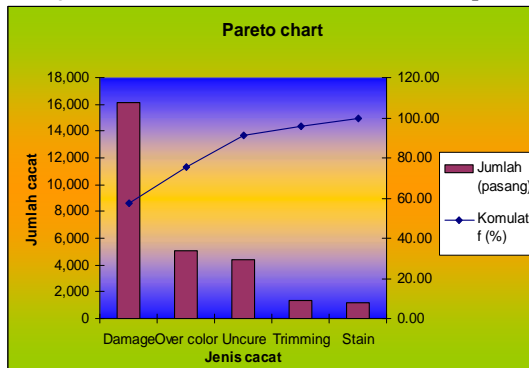
• **Diagram Pareto**

C-grade rubber outsole berdasarkan EE Dept



Gambar 3.1a Diagram pareto C-grade rubber outsole EE

C-grade rubber outsole berdasarkan QC Dept.



Gambar 3.1b Diagram Pareto C-grade rubber outsole QC

Checksheet jumlah c-grade rubber outsole

Jenis cacat c-grade rubber outsole terdiri dari stain, uncure, damage, over color, trimming, thick, double skin, total produksi, total c-grade dan % c-grade.

Persentase c-grade rubber outsole berdasarkan Environmental Engineering Dept. selama bulan Mei 2011 adalah 5.99%. Prosentase c-grade rubber outsole tersebut telah melebihi standar perusahaan. yaitumaksimal .3%. Sedangkan persentasec-grade rubber outsole berdasarkan QC Dept. adalah 1.90%. Prosentase c-grade rubber outsole tersebut tidak melebihi standar perusahaan

Rekapitulasi jumlah c-grade rubber outsoleberdasarkan checksheet dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2Rekapitulasi jumlah c-grade rubber outsole

No	EE Dept.	QC Dept.
1	Over color : 35,021 pasang	Damage : 16,155 pasang
2	Damage : 26,155 pasang	Over color : 5,086 pasang
3	Uncure : 10,479 pasang	Uncure : 4,432 pasang
4	Stain : 3,519 pasang	Stain : 1,163 pasang
5	Over cure : 2,104 pasang	Trimming: 1,343 pasang
6	Trimming : 1,790 pasang	Over cure : 439 pasang
7	Double skin : 85 pasang	Double skin : 61 pasang
8	Thickness: 51 pasang	Thickness: 50 pasang

Dari tabel 3.2 di atas, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan data c-grade rubber outsole yang dimiliki

oleh departemen Environmental Engineering dan departemen QC.

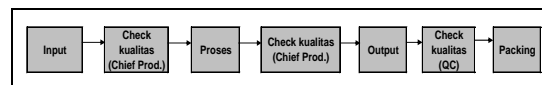
Perbedaan pertama adalah jenis cacat terbesar, dimana data dari Environmental Engineering menunjukkan bahwa jumlah cacat terbesar diakibatkan oleh over color rubber outsole. Sedangkan data dari QC departemen menunjukkan bahwa jenis cacat terbesar diakibatkan oleh damage rubber outsole. Perbedaan yang kedua adalah jumlah cacat dari masing-masing jenis kerusakan rubber outsole.

Perbaikan Sistem Manajemen Kualitas

Perbaikan sistem manajemen kualitas scrubber outsole diperlukan untuk menghindari adanya perbedaan hasil c-grade rubberoutsole antara departemen QC dan departemen EnvironmentalEngineering. Dan juga diharapkan agar jumlah c-grade rubberoutsole dapat diturunkan.

Perbaikan desain alur proses kerja

Langkah perbaikan yang pertama dilakukan untuk menurunkan jumlah c-grade rubber outsole adalah memperbaiki desain alur proses kerja, yaitu dengan menambah pemeriksaan pada setiap akhir proses kerja yang dilakukan, dengan tujuan agar kualitas produk yang dihasilkan lebih baik dan jika terdapat produk yang cacat pada setiap pemeriksaan dapat segera ditangani dan perbaikan dapat dilakukan per proses kerja, sehingga data c-grade yang diambil oleh QC dan EE Dept sama. Rancangan perbaikan desain alur proses dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2Rancangan Perbaikan Diagram Alur Proses

Perbaikan proses pemeriksaan yang dilakukan

Langkah perbaikan yang kedua adalah membuat checksheet pemeriksaan untuk proses:

- Pada area mesin mixing dan mesin rol meliputi : penyimpanan, penimbangan material, batch tracking dan proses mixing dan roll.
- Pada area mesin calender meliputi area : calender, rubber rework control dan rheometer testing.
- Pada mesin press meliputi area : preform preparation, proses pressing dan clear rubber.
- Pemeriksaan dilakukan setiap hari oleh chief dan cell leader untuk masing-masing proses kerja, yang kemudian di validasi oleh Operational Manage dan Factory Manager, dengan tujuan agar pemeriksaan proses kerja dapat berjalan secara konsisten.

Contoh check sheet proses pemeriksaan pada salah satu proses kerja dapatdilihat pada tabel 3.3 di bawah ini.

KPI (Key Performance Indicator)

Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi

terhadap *kinerja* pekerja yang terlibat didalam setiap proses tersebut dengan membuat *Key Performance Indicators*.

Hal ini adalah sangat penting untuk mengetahui kinerja setiap pekerjaan untuk melakukan evaluasi dalam menentukan pemberian penghargaan atas prestasi pekerja.

Tabel KPI dapat dilihat pada tabel 3.4 di bawah ini.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Sistem manajemen kualitas di PT. X belum berjalan secara optimal, hal ini dikarenakan :
 - ✓ Pemeriksaan produk dilakukan hanya di area produk jadi (finishing), sehingga terjadi jumlah cacat yang berbeda antara data *Environmental Engineering* dan data QC.
 - ✓ Tidak adanya pemeriksaan proses kerja di setiap proses kerja.
 - ✓ Kurangnya motivasi/tanggung jawab pekerja didalam menghasilkan produk yang sesuai standar.
 - ✓ Kurangnya kepedulian manajemen puncak mengenai biaya kualitas.
- Rancangan perbaikan yang dilakukan adalah:
 - ✓ Membuat checksheet pemeriksaan untuk semua proses kerja. Checksheet tersebut digunakan untuk memastikan bahwa proses telah berjalan sesuai dengan standar yang ada dan proses tersebut dapat berjalan secara konsisten setiap harinya.
 - ✓ Pemeriksaan proses kerja dilakukan oleh chief untuk masing-masing proses.
 - ✓ Pemeriksaan tersebut dimonitor juga oleh *Operational Manager* dan *Factory Manager* sebagai penanggung jawab tertinggi atas setiap proses yang ada, sehingga proses pemeriksaan dapat berjalan secara konsisten.
 - ✓ Membuat KPI (key performance management), untuk mengetahui performance setiap pekerja/operator yang terlibat didalam setiap proses kerja. Sehingga setiap operator/pekerja diharapkan tidak akan bekerja diluar prosedur kerja yang ada.
- **Saran**
 - ✓ Team QA melakukan sosialisasi/training mengenai checklist pemeriksaan kepada level *middle management* dari level chief hingga supervisor.
 - ✓ Melakukan benchmarking (studi banding) mengenai implementasi sistem manajemen kualitas ke pabrik sejenis.

Tabel 3.4 Key Performance Indicator

No.	Key Performance Indicators	Unit pengukuran	Target
1	Durasi mesin downtime	jam	maks.60 menit/bln
2	Frekuensi mesin downtime	angka	maks.2 kali/bln
3	Defect rate	%	maks. 3.0%
4	% jumlah order produksi yang dapat dipenuhi sesuai schedule	%	100%
5	% jumlah output yang dapat dipenuhi sesuai dengan input material	%	100%
6	% pemenuhan terhadap standar good manufac. process	%	100%
7	% waste (scrap)	running	4 -6%
		cupsole	5 -7%
8	Kapasitas prod. per cycle	autoclave	110
		cold cement	85
9	Biaya lembur karyawan per minggu	jam	max. 14 jam

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariani, D.W., (2003), *Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas)*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [2] Daniel, I. P., (2000) *Penggunaan Teknik dan Alat Kualitas Dalam Proses Perbaikan dan Peningkatan Kualitas*, Jurnal Teknik Industri, Vol.2, no.1, pg. 22-27.
- [3] Gasperz, V, (2003), *Metode Analisis Untuk Peningkatan Kualitas*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [4] Gasperz, V., (2005), *Total Quality Management*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [5] Grant, E.L., & Leavanwarth, R., (1993), *Pengendalian Mutu Statistik*, Terjemahan oleh Hudaya Kandah Jaya dan *Statistical Quality Control*, Edisi Keenam, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [6] Imai, M., (1994), *Kaizen (Kunci Sukses Jepang Dalam Persaingan)*, Penerbit Pustaka Binaman Pressindo, Jakarta.
- [7] Joiner, T.A., (2006), *Total Quality Management and Performance, The Role of Organization Support and Co-Worker Support*.
- [8] Kuswandi. (2004), *Delapan Langkah dan Tujuan Alat Statistik*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [9] Mady, M. T., (2008), *Quality Management Practices An Empirical Investigations of Associated Constucts in Two Kuwait Industries*.
- [10] Nasution, M., (2001), *Manajemen Mutu Terpadu (TQM)*, Penerbit Ghalia Indonesia, Jakarta.
- [11] Oliver, J., (2009), *Continuous Improvement : Role of Organization Learning Mechanisms*, Swinburne University, Australia.
- [12] Pakdil, F., (2010), *The Effects of TQM on Corporate Performance*, Journal The Business Review Cabridge, Vol.15, No: 1.
- [13] Seetharaman, A., Sreenivasam, J., & Boon, L. P., (2006), *Quality & Quantity Springer 2006 Critical Success Factors of Total Quality Management*, Vol 40, Pg.675-695.
- [14] Soewarso, H., (2004), *Total Quality Management*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [15] Tim, S., (2005), *Mastering Statistical Process Control, a handbook for performance Improvement using cases*

Analisa Waktu Optimum Proyek Pembangunan Menara Pemancar Dengan menggunakan Metode CPM dan PERT di PT. Netwave Multimedia

Sonny Koeswara, Iwan Budi Harto

Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik

Universitas Mecubunana – Jakarta

e-mail: sonnykoeswara@yahoo.com, iwan_9787@yahoo.co.id

Abstrak--PT. Netwave Multimedia adalah perusahaan yang bergerak dibidang konstruksi pembangunan menara pemancar, waktu proyek yang selama ini digunakan belum optimal, karena sering mengalami keterlambatan. Penelitian ini bertujuan mencari waktu yang optimal. Proyek Pembangunan melibatkan banyak aktivitas. Setiap kegiatan membutuhkan sejumlah waktu, yang didefinisikan sebagai durasi. Durasi adalah bagian statistic probabilitas, yang dinyatakan dalam berbagai nilai-nilai. Jadi total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah proyek konstruksi juga dinyatakan dalam interval waktu, dengan demikian penggunaan PERT (Project Evaluation and Review Technique) untuk mengevaluasi waktu konstruksi juga dianggap untuk lebih realistis.

PERT bertujuan untuk memberikan solusi menghitung waktu proyek. Perhitungan menggunakan waktu dari masing-masing jalur aktivitas jaringan. Sebuah jalur kritis menampilkan aktivitas kritis karenanyahanya dapat digunakan oleh menggunakan algoritma yang sistematis. Sistematis estimasi waktu dari setiap kegiatan proyek pada kenyataannya tidak dapat ditentukan, waktu masing-masing kegiatan berisi ketidakpastian, untuk memperkirakan estimasi waktu menggunakan pendekatan terhadap keadaan dilapangan dan data perusahaan.

Penentuan waktu total dapat menggunakan metode CPM, dengan ini jalur kritis kegiatan diketahui sehingga kegiatan ini mendapat perhatian lebih, agar tidak mengakibatkan kegiatan selanjutnya terlambat. Waktu yang diperoleh dari CPM, diuji dengan nilai probabilitas untuk mengetahui nilai kelayakan suatu durasi kegiatan. Dimana hasil ini merupakan waktu yang optimal dan realistis.

Kata kunci: PERT, CPM, Probabilitas, Jalur Kritis, Waktu Optimal

I. PENDAHULUAN

PT. Netwave Multimedia adalah perusahaan yang bergerak dibidang jasa penyedia menara pemancar (Tower) bagi perusahaan operator Seluler. Menara pemancar merupakan salah satu kebutuhan pokok dari jaringan Telekomunikasi, untuk memancarkan gelombang signal. Kebutuhan menara pemancar yang meningkat memerlukan proses pembangunan yang cepat, kualitas terjaga sehingga peningkatan kepercayaan semakin terjaga, hal inilah yang sedang ditingkatkan dan dijaga.

Identifikasi Masalah

Kendala yang dihadapi saat ini antara lain:

- Bagaimana bentuk jaringan kerja atau network proyek pembangunan menara pemancar yang optimal?
- Selama ini belum ditentukan nya durasi waktu yang ideal, oleh karena itu perlunya penentuan durasi waktu yang optimal dalam manajemen proyek pembangunan menara pemancar.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui penyebab terjadinya penghambat proyek
- Mengidentifikasi untuk solusi dan langkah menanggulangi penyebab terjadinya kendala
- Menentukan waktu yang paling optimal dengan pendekatan terhadap metode CPM dan PERT, serta estimasi waktu
- Mengetahui nilai kemungkinan tercapainya waktu yang ditentukan
- Menyusun studi kelayakan pada proyek pembangunan menara

II. LANDASAN TEORI

Metode Jalur Kritis (*Critical Path Method* - CPM), yakni metode untuk merencanakan dan mengawasi proyek-proyek merupakan sistem yang paling banyak

dipergunakan diantara semua sistem lain yang memakai prinsip pembentukan jaringan. Dengan CPM, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan berbagai tahap suatu proyek dianggap diketahui dengan pasti, demikian pula hubungan antara sumber yang digunakan dan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek.

Terdapat beberapa istilah yang digunakan dalam membangun jaringan kerja yaitu :

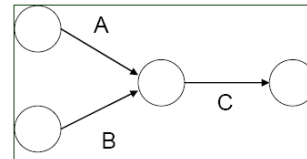
- Kegiatan (Activity)
Suatu kegiatan merupakan elemen dari proyek yang membutuhkan waktu pelaksanaan (duration).Juga didefinisikan sebagai hal yang membutuhkan sejumlah sumber tenaga, perlengkapan, material, biaya dan sebagainya.
- Kegiatan Memusat (Merge Activity)
Beberapa kegiatan yang berbeda dilanjutkan dengan kegiatan yang sama sehingga disebut kegiatan memusat (lebih dari satu kaitan aliran kerja).
- Kegiatan Paralel (Parallel Activity)
Adalah kegiatan yang dikerjakan pada waktu yang bersamaan.
- Alur (Path)
Alur yang merupakan suatu urutan koneksi, kegiatan yang terkait.
- Alur Kritis (Critical Path)
Adalah jalur terpanjang pada jaringan, jika terdapat suatu keguatan yang tertunda pada alur yang dinyatakan kritis, maka proyek juga akan tertunda pada waktu yang sama.
- Kejadian (Event)
Istilah ini berupa suatu titik dan digunakan ketika sebuah kegiatan dimulai atau selesai.
- Kegiatan Memencar (Burst Activity)
Kegiatan ini memiliki lebih dari satu kegiatan yang secara bersamaan mengikutinya (lebih dari satu panah yang terkait mengikutinya)

Simbol-simbol yang digunakan dalam menggambarkan suatu network adalah sebagai berikut:

- (anak panah/busur), mewakili sebuah kegiatan atau aktivitas yaitu tugas yang dibutuhkan oleh proyek. Kegiatan di sini didefinisikan sebagai hal yang memerlukan duration(jangka waktu tertentu) dalam pemakaian sejumlah resources(sumber tenaga, peralatan, material, biaya). Kepala anak panah menunjukkan arah tiap kegiatan, yang menunjukkan bahwa suatu kegiatan dimulai pada permulaan dan berjalan maju sampai akhir dengan arah dari kiri ke kanan. Baik panjang maupun kemiringan anak panah ini samabsekali tidak mempunyai arti. Jadi, tak perlu menggunakan skala.
- (lingkaran kecil/simpul/node), mewakili sebuah kejadian atau peristiwa atau event. Kejadian (event) didefinisikan sebagai ujung atau pertemuan dari satu atau beberapa kegiatan. Sebuah kejadian mewakili satu titik dalam waktu yang menyatakan penyelesaian beberapa kegiatan

dan awal beberapa kegiatan baru. Titik awal dan akhir dari sebuah kegiatan karena itu dijabarkan dengan dua kejadian yang biasanya dikenal sebagai kejadian kepala dan ekor. Kegiatan-kegiatan yang berawal dari saat kejadian tertentu tidak dapat dimulai sampai kegiatan-kegiatan yang berakhir pada kejadian yang sama diselesaikan. Suatu kejadian harus mendahului kegiatan yang keluar dari simpul/node tersebut.

- (anak panah terputus-putus), menyatakan kegiatan kritis. Setiap anak panah memiliki peranan ganda dalam mewakili kegiatan dan membantu untuk menunjukkan hubungan utama antara berbagai kegiatan.
- Dalam penggunaannya, simbol-simbol ini digunakan dengan mengikuti aturan-aturan sebagai berikut:
 - Di antara dua kejadian (*event*) yang sama, hanya boleh digambarkan satu anak panah.
 - Nama suatu aktivitas dinyatakan dengan huruf atau dengan nomor kejadian.
 - Aktivitas harus mengalir dari kejadian bernomor rendah ke kejadian bernomor tinggi.
 - Diagram hanya memiliki sebuah saat paling cepat dimulainya kejadian (*initial event*) dan sebuah saat paling cepat diselesaikannya kejadian (*terminalevent*).



Istilah yang digunakan dalam penyusunan jaringan kerja adalah sebagai berikut:

- a. ES (*Earlier Start*) atau Waktu Mulai paling awal suatu kegiatan. Bila waktu mulai dinyatakan dalam jam, maka waktu ini adalah jam paling awal kegiatan dimulai.
- b. EF (*Earlier Finish*) atau waktu Selesai paling awal suatu kegiatan. EF suatu kegiatan terdahulu = ES kegiatan berikutnya
- c. LF (*Lastes Start*) atau waktu paling lambat kegiatan boleh dimulai tanpa memperlambat proyek secara keseluruhan.
- d. LS (*Lastes Finish*) atau Waktu paling lambat kegiatan diselesaikan tanpa memperlambat penyelesaian proyek.

PERT atau *Project Evaluation and Review Technique* adalah sebuah model Management Science untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek. Teknik PERT adalah suatu metode yang bertujuan untuk mengurangi adanya penundaan, maupun gangguan produksi, serta mengkoordinasikan berbagai bagian suatu pekerjaan secara menyeluruh dan mempercepat selesainya proyek.

Estimasi durasi tersebut adalah peluang berdasarkan perkiraan waktu untuk setiap kegiatan, yaitu:

a. Waktu optimis (*optimistic time*) [a]

Waktu optimis yaitu waktu yang dibutuhkan oleh sebuah kegiatan jika semua hal berlangsung sesuai rencana. Atau juga dapat disebut waktu minimum dari suatu kegiatan, dimana segala sesuatu akan berjalan baik, sangat kecil kemungkinan kegiatan selesai sebelum waktu ini.

b. Waktu pesimis (*pessimistic time*) [b]Waktu pesimis yaitu waktu yang dibutuhkan suatu kegiatan dengan asumsi kondisi yang ada sangat tidak diharapkan. Atau juga dapat disebut adalah waktu maksimal yang diperlukan suatu kegiatan, situasi ini terjadi bila nasib buruk terjadi.

c. Waktu realistik (*most likely time*) [m]Waktu realistik yaitu perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan yang paling realistik. Atau juga dapat disebut adalah waktu normal untuk menyelesaikan kegiatan.

Probabilitas dengan kurva distribusinya bermaksud untuk mengkaji dan mengukur ketidakpastian serta menjelaskannya secara kuantitatif. Dengan nilai probabilitas yang telah diperoleh maka dapat dilihat nilai besaran dalam satuan persentasi kemungkinan. Untuk itu rumus yang digunakan untuk mencari nilai probabilitas sebagai berikut:

Dimana :

Z = Nilai Probabilitas

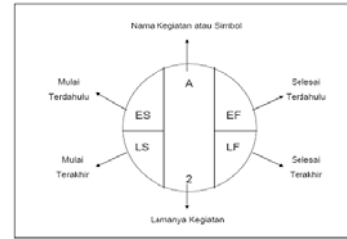
X = Target waktu penyelesaian proyek

te = Waktu yang diharapkan (Jalur Kritis)

V = adalah vanians (Jalur kritis)

III. METODE PENELITIAN

Agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan sistematis diperlukan tahapan-tahapan proses penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah Studi pendahuluan, Identifikasi masalah, Perumusan masalah, Pengumpulan dan pengolahan data, Analisis data, Usulan dan perbaikan serta kesimpulan dan saran.



IV. HASIL DAN ANALISA

Hasil

Untuk proses awal dalam pelaksanaan pembangunan proyek apabiladikaitakan dalam bidang study, maka akan dibentuk dalam rupa jaringan. Dimana variable-variable pekerjaan adalah cakupan organisasi pekerjaan yang diperoleh pada pembangunan tower. Dalam hal ini penulis akan mengambil metode CPM untuk menentukan model jaringan kerja serta menentukan waktu optimal dan menganalisa waktu pekerjaan. Variable organisasi pekerjaan dibuat dalam bentuk pola jaringan untuk mengetahui pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan sesuai dengan urutan. Berikut ini variable pekerjaan tersebut.

Jenis Pekerjaan	Durasi/Hari
Pekerjaan Persiapan	3
Tower Pondasi	15
Pendirian Tower	7
RBS Pondasi	4
Pekerjaan Pagar Tower	8
Pemasangan Grounding	3
Pekerjaan Elektrikal	3
Pengecatan	3
Finishing	4

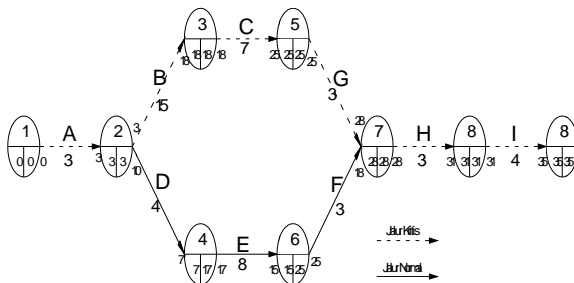
Jalur kritis ditentukan dengan jalur yang terdapat aktivitas - aktivitas paling banyak memakan waktu mulai dari permulaan hingga akhir jaringan. Dengan menggunakan konsep te dan angka waktu paling awal peristiwa terjadi (the earliest time of occurrence TE) dan waktu paling akhir peristiwa terjadi (the last of occurrence-Tl.) maka identifikasi kegiatan kritis, jalur kritis dan slack ditunjukkan dalam bentuk pola jaringan kegiatan proyek seperti dibawah ini:

NO.	Jenis Pekerjaan	Activitas	Durasi/Hari	IPA
1	Pekerjaan Persiapan	A	3	-
2	Tower Pondasi	B	15	A
3	Pendirian Tower	C	7	B
4	RBS Pondasi	D	4	A
5	Pekerjaan Pagar Tower	E	8	D
6	Pemasangan Grounding	F	3	F
7	Pekerjaan Elektrikal	G	3	C
8	Pengecatan	H	3	E,G
9	Finishing	I	4	H

Kegiatan	Durasi	IPA	ES	EF	LS	LF	Slack	Keterangan
A	3	-	0	3	0	3	0	Kritis
B	15	A	3	18	3	18	0	Kritis
C	7	B	18	25	18	25	0	Kritis
D	4	A	3	7	13	17	10	Tidak Krit
E	8	D	7	15	17	25	10	Tidak Krit
F	3	F	15	18	25	28	10	Tidak Krit
G	3	C	25	28	25	28	0	Kritis
H	3	E,G	28	31	28	31	0	Kritis
I	4	H	31	35	31	35	0	Kritis

KETERANGAN KERJA	Kegiatan	a	m	b
Pekerjaan Persiapan	A	2	3	4
Tower Pondasi	B	12	13	19
Pendirian Tower	C	5	6	8
RBS Pondasi	D	3	4	5
Pekerjaan Pagar Tower	E	6	8	10
Pemasangan Grounding	F	2	3	5
Pekerjaan Elektrikal	G	2	2	8
Pengecatan	H	2	3	4
Finishing	I	3	4	5

Bentuk pola jaringan kerja berdasarkan ketentuan kegiatan diatas :



Estimasi waktu yang digunakan dituangkan dalam bentuk table nilai: Waktu Optimis (a), Waktu Pesimis (b), dan Waktu Paling Mungkin (m). Berikut data nilai estimasi waktu yaitu seperti berikut:

Selanjutnya ketiga perkiraan waktu itu dirumuskan menjadi satu angka yang disebut (te) atau kurun waktu yang diharapkan (expected duration time). Dalam menentukan nilai (te) dipakai asumsi bahwa kemungkinan terjadinya peristiwa optimis (a) dan pesimis (b)

S = Standart Deviasi Kegiatan
Berdasarkan ilmu statistik, angka deviasi standar adalah sebesar $\frac{b-a}{6}$ dari rentang distribusi (b-a) atau bila ditulis dengan rumus adalah sebagai berikut (Soeharto, 1995):

V(te) = Varians Kegiatan dapat diperoleh dengan rumus :

Hasil perhitungan durasi waktu dengan pendekatan metode PERT, dapat dibuat dalam bentuk table, sehingga kemudahan dalam membaca data seperti berikut ini:

KETERANGAN KERJA	Kegiatan	a	m	b	te	σ	Varian
Pekerjaan Persiapan	A	2	3	4	3.00	0.33	0.11
Tower Pondasi	B	12	13	19	13.83	1.17	1.36
Pendirian Tower	C	5	6	8	6.17	0.50	0.25
RBS Pondasi	D	3	4	5	4.00	0.33	0.11
Pekerjaan Pagar Tower	E	6	8	10	8.00	0.67	0.44
Pemasangan Grounding	F	2	3	5	3.17	0.50	0.25
Pekerjaan Elektrikal	G	2	2	8	3.00	1.00	1.00
Pengecatan	H	2	3	4	3.00	0.33	0.11
Finishing	I	3	4	5	4.00	0.33	0.11

Table 4.6 diatas dapat dikembangkan dengan menentukan nilai dari te (waktu yang duharapkan) jalur kritis serta dari V(varians) jalur kritis. Dengan demikian dapat ditentukan nilai probabilitas Z:

$$X = 35 \text{ hari}$$

$$- = 33 \text{ hari}$$

$$- = 2,94$$

Dengan nilai Z = 1,17 maka pada table kurva Z diperoleh angka 0,8790 dapat diyatakan $0,8790 \times 100 = 87.9\%$ yang artinya probabilitas tercapainya proyek dengan target waktu 35 hari adalah sebesar 87,9%.

Analisa

Dengan demikian berapakah waktu yang aman dalam penentuan durasi waktu proyek?

Pembahasan:
Z = 87,9%

Z yang diharapkan = 100%
 X = 35 hari
 X yang Optimal untuk Z 100%
 Maka:

$$X_{optimal} = \frac{100\%}{87,9\%} \times 35 \text{ hari} \\ = 39,8 \text{ hari}$$

Maka jika dibulatkan menjadi 40 hari. Berarti untuk kemungkinan proyek terselesaikan dalam waktu 35 hari sebesar 87,9%, apabila jika nilai probabilitas mencapai 100% waktu yang aman adalah 40 hari. Dapat dikatakan waktu yang optimal dan aman dalam penjadwalan adalah durasi 40 hari.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisa hasil yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :

- Kendala yang terjadi sebetulnya bukan suatu hal yang tidak bisa diperbaiki, sifat kendala yang sering dihadapi adalah masalah keterampilan dalam mengatur kebutuhan perangkat serta material. Dalam analisa hasil sudah dijelaskan beberapa hambatan yang bersifat dari alam namun kendala tersebut masih dapat dicegah, apabila dilakukan persiapan penanggulangannya. Tidak hal hambatan yang menyangkut keuangan memang tidak bisa dikendalikan, karena sifat nya yang tertutup membuat masalah ini sulit untuk diidentifikasi.
- Pendapatan waktu optimal dengan pendekatan metode CPM menunjukan durasi jumlah waktu sebesar 35 hari, sehingga target waktu selesai mengikuti hasil dari perhitungan CPM, dengan mengetahui jalur kritis maka, jalur kritis sangat diperhatikan, agar kegiatan setelahnya tidak mengalami keterlambatan. Namun dengan durasi 35 hari merupakan waktu yang cukup sempit, sehingga kemungkinan terjadinya keterlambatan cukup besar.
- Nilai probabilitas yang timbul setelah dilakukan nya perhitungan dengan pendekatan terhadap metode PERT dan Probabilitas, durasi 35 hari memiliki nilai probabilitas sebesar 87,9% untuk terselesaikan nya proyek dalam waktu 35 hari. Hasil yang diperoleh dalam kenyataan memang terlambat 3 hari. Oleh karena itu, berdasarkan analisa hasil waktu yang sesuai untuk durasi waktu yang optimal adalah 40 hari, dengan nilai probabilitas sebesar 100%. Hal ini dapat memberikan titik aman dalam penjadwalan, dengan waktu estimasi yang cukup baik.
- Dengan pendekatan CPM dan PERT ditambah metode Probabilitas merupakan suatu cara yang efektif dalam penjadwalan, hal ini dapat dilihat tersusun nya program kegiatan dengan lebih

terarah sehingga pada kegiatan yang dianggap kritis lebih diperhatikan dimulai dari penyediaan material serta peralatan kerja. Dengan ketiga metode tersebut sangat memberikan nilai yang cukup baik dalam menjaga anggaran biaya, agar tidak terjadi biaya berlebih,

Saran

Dari kesimpulan diatas, maka saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

- Penelitian terhadap penjadwalan alangkah lebih baik apabila diperluas kajian dan bahan penelitiannya, seperti mencakup biaya, analisa alur kegiatan dengan mencari urutan kegiatan yang terbaik, serta standart kemananan kerja.
- Saran bagi perusahaan adalah:
 - ✓ Penjadwalan lebih baik ditentukan apabila pengkajian dengan metode CPM dan PERT suda diperoleh hasil, agar biaya yang diterbitkan tidak memberakan pihak pekerja.
 - ✓ Pengajuan proposal proyek pembangunan akan lebih baik apabila disertakan hasil analisa, agar pihak operator mengetahui nilai probabilitas tercapainya waktu dengan kondisi perusahaan PT. Netwave Multimedia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurhayati, 2010. Manajemen Proyek, Edisi Pertama, PT. Graha Ilmu, Indonesia.
- [2] Santosa Budi. 1997. Manajemen Proyek, Edisi Pertama PT. Guna Widya, Indonesia.
- [3] Soeharto Iman. 1997. Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operational, Penerbit Erlangga.
- [4] _____. 1992. Manajemen Proyek Industri, Penerbit Erlangga.
- [5] _____. 2000. Manajemen Proyek. Jilid 1, Penerbit Erlangga. Jakarta.
- [6] _____. 2002. Studi kelayakan proyek industri, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] Spinner M. P. 1981. Elements of Project Management, Plan, Schedule and Control, Prentice-Hall Inc
- [8] Bhatnagar SK; Network Analysis Techniques, Wiley Eastern limited, 1968
- [9] Cholia, Ir. Tanib.S & Ir. Trandaz Sinuhaji, Perencanaan dan Analisa Jaringan Kerja dalam Manajemen Proyek, USU, 1990.
- [10] Haedar Ali, Tubagus. 1992. Prinsip-Prinsip Network Planning, Penerbit PT. Gramedia. Jakarta.
- [11] Husnan, Suad dan Swasono. 2000. Studi Kelayakan Proyek. Edisi ke empat. UPP AMP YKPN, Yogyakarta.
- [12] Gray dkk, 1997. Manajemen proyek. LPFE Universitas Indonesia. Jakarta.

- [13] Bachtiar I, 2009. Rencana dan estimate Real of Cost. Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.
- [14] Clough, R.G. 2000, Construction Project Management, 3rd edition, John Wiley.
- [15] Ervianto, W.I. 2002. Manajemen Proyek Konstruksi. Penerbit Andi offset, Yogyakarta.
- [16] Nugraha, P., Natan Ishak, R. Sucipto., 1986, Manajemen Proyek Konstruksi Jilid 1 dan Jilid 2, cetakan pertama, Kartika Yudha, Surabaya.
- [17] Barrie, D.S., dkk. 1987. Manajemen Konstruksi Profesional, terjemahan oleh Sudinarto, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [18] Santosa, B. 2009 "Manajemen Proyek: Konsep dan Implementasi", Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.

Usulan Penerapan Metode Six Sigma dalam Upaya Menurunkan Tingkat Kecacatan Produk MJC1 195 ml di P Y

Resa Taruna Suhada¹, Daniatri Ratri Rachmat²

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta

Abstrak--. PT Y merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi berbagai produk makanan dan minuman yang sangat variatif. PT Y memiliki visi untuk selalu mengutamakan kepuasan pelanggan dengan memberikan produk yang aman dan berkualitas kepada pelanggan. Permasalahan yang saat ini sering terjadi di PT Y adalah tingginya kerusakan / *defect* salah satu produk yang diproduksi oleh PT Y yaitu produk minuman jelly MJC1 195 ml yang mengakibatkan tingkat produktivitas menurun. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perusahaan mencoba menerapkan *process improvement* dengan menggunakan metode *Six Sigma*.

Untuk menurunkan tingkat kecacatan, perusahaan menggunakan *Six Sigma* yang terdiri dari 5 tahapan yaitu DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Pada tahap *define* akan diuraikan mengenai latar belakang penentuan masalah berdasarkan KPI (*Key Performance Indicator*), penentuan masalah berdasarkan diagram pareto, penentuan karakteristik CTQ (*Critical to Quality*), dan aliran proses produksi minuman jelly MJC1 195 ml dengan menggunakan digram SIPOC. Pada tahap *measure* akan diuraikan mengenai defect produk dan pengukuran baseline kinerja dengan menghitung tingkat DPMO dan nilai sigma. Tahap *analyze* akan menganalisis akar penyebab masalah dengan menggunakan *Cause & Effect Diagram* atau Diagram Sebab Akibat. Tahap *improve* akan menjelaskan mengenai akar penyebab dominan atau prioritas masalah dengan menggunakan diagram pareto dan usulan perbaikan dengan menggunakan metode 5W+1H. Dan pada tahap *control* akan diuraikan mengenai usulan rancangan pengendalian kualitas yang bertujuan untuk mengendalikan proses sehingga berjalan sesuai dengan tujuan awal dan diharapkan tidak akan terulang kembali.

Setelah dilakukan analisa data dan pengolahan data, penulis memberikan usulan perbaikan sebagai berikut : merevisi standar isi bersih / volume produk MJC1 195 ml sesuai dengan aturan BDKT (*Berat Dalam Kemasan Terbungkus*), melakukan training dan praktek langkah-langkah penimbangan produk yang benar

kepada semua operator di area proses, menerapkan metode deteksi awal kurang isi pada cup jelly, verifikasi cara dan hasil penimbangan yang dilakukan operator secara berkala, menjadwalkan *preventive maintenance*, dan melakukan pendokumentasian setiap terjadi ketidaksesuaian proses.

Kata Kunci : Six Sigma, Menurunkan Tingkat Kecacatan, DMAIC

I. PENDAHULUAN

Untuk dapat memenangkan persaingan dalam era pasar bebas, setiap perusahaan dituntut untuk senantiasa melakukan upaya perbaikan kinerja dari satu periode ke periode berikutnya. Peningkatan kinerja tersebut dapat dicapai antara lain dengan melakukan *process improvement*, yaitu suatu aktivitas perusahaan untuk melakukan peningkatan proses yang dapat meningkatkan nilai tambah secara terus menerus. Dengan melakukan *process improvement* diharapkan perusahaan akan dapat memenuhi keinginan pelanggan.

Salah satu langkah melakukan *process improvement* adalah dengan menerapkan metode *Six Sigma*. *Six sigma* merupakan sebuah metodologi terstruktur untuk memperbaiki proses yang difokuskan pada usaha mengurangi variasi proses (*process variances*) sekaligus mengurangi cacat (produk/jasa yang di luar spesifikasi) dengan menggunakan statistik dan problem solving tools secara intensif. Metode *Six Sigma* ini juga menekankan pada suatu peningkatan yang sangat signifikan dimana keinginan konsumen diterjemahkan ke dalam kegiatan-kegiatan peningkatan kualitas di perusahaan. Target yang ingin dicapai perusahaan adalah 3.4 kecacatan untuk setiap satu juta kemungkinan terjadinya kecacatan. Metode ini mampu melakukan peningkatan kualitas secara bertahap menuju tingkat kegagalan nol (*zero defect*).

PT Y merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi berbagai produk makanan dan minuman yang sangat variatif. PT Y memiliki visi untuk selalu mengutamakan kepuasan pelanggan dengan memberikan produk yang aman dan berkualitas kepada pelanggan. Permasalahan yang saat ini sering terjadi di PT Y adalah tingginya kerusakan / *defect* salah satu produk yang diproduksi oleh PT Y yaitu

produk minuman jelly MJC1195 ml yang mengakibatkan tingkat produktivitas menurun. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perusahaan mencoba menerapkan *process improvement* dengan menggunakan metode *Six Sigma*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Kualitas

Secara umum dapat dikatakan bahwa kualitas atau mutu adalah karakteristik dari suatu produk atau jasa yang ditentukan oleh pemakai atau customer dan diperoleh melalui pengukuran proses serta melalui perbaikan yang berkelanjutan (*Continuous Improvement*).

Pengendalian Kualitas

Secara umum, pengendalian kualitas dapat diartikan sebagai proses pemeliharaan atau menjaga suatu standar yang telah ditetapkan atau disetujui pada suatu produk mulai dari tahap desain sampai penggunaan produk tersebut di tangan konsumen, sesuai dengan ketahanan pakai dan kondisi yang telah ditetapkan.

Kegiatan pengendalian kualitas pada dasarnya terdiri dari 3 langkah yaitu :

- Menentukan standar
- Memeriksa, melakukan evaluasi dan membandingkan dengan standar
- Mengambil tindakan yang diperlukan :
 - ✓ Mencari penyebab timbulnya masalah
 - ✓ Mencari pemecahan masalah
 - ✓ Perencanaan untuk peningkatan

Six Sigma

Six sigma merupakan sebuah metodologi terstruktur untuk memperbaiki suatu proses dengan memfokuskan pada usaha-usaha untuk memperkecil variasi yang terjadi (*process variance*) sekaligus mengurangi cacat produk atau jasa yang keluar dari spesifikasi dengan menggunakan metode statistik dan *tools quality* lainnya secara intensif. Secara sederhana *six sigma* (6 *sigma*) dapat diterjemahkan sebagai suatu proses yang mempunyai kemungkinan cacat (*defect opportunity*) sebanyak 3,4 buah dalam satu juta produk (jasa). *Defect* ialah kegagalan dalam menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sedangkan yang dimaksud dengan *opportunity* (kesempatan) antara lain : kualitas produk, kualitas komponen, perbedaan material, kapasitas, dll.

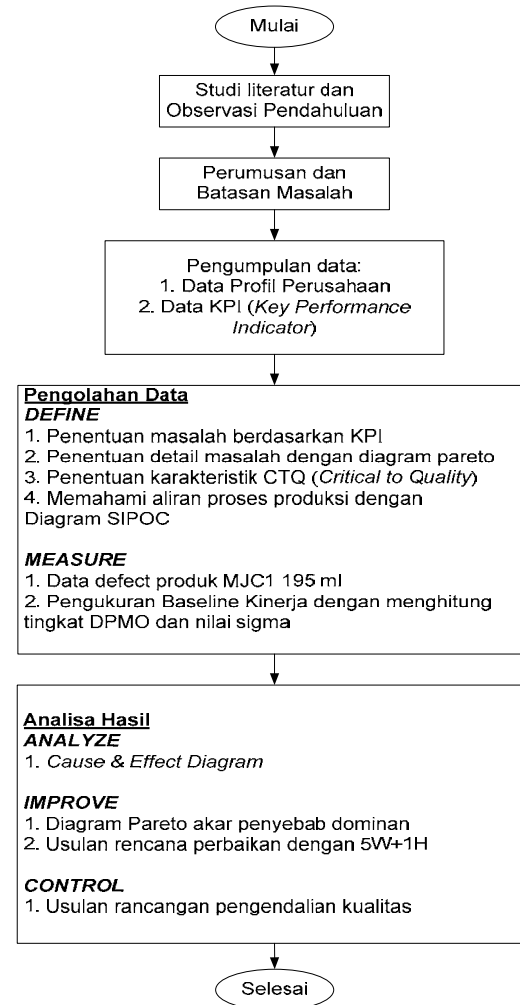
Tahapan-tahapan Six Sigma

Sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya bahwa *six sigma* merupakan suatu metode terstruktur. Terstruktur disini dapat diartikan karena *six sigma* mempunyai sedikitnya ada lima tahapan, yakni :

- *Define*
- *Measure*
- *Analyze*

- *Improve*
- *Control*

III. METODOLOGI



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Define

• Penentuan Masalah Berdasarkan KPI

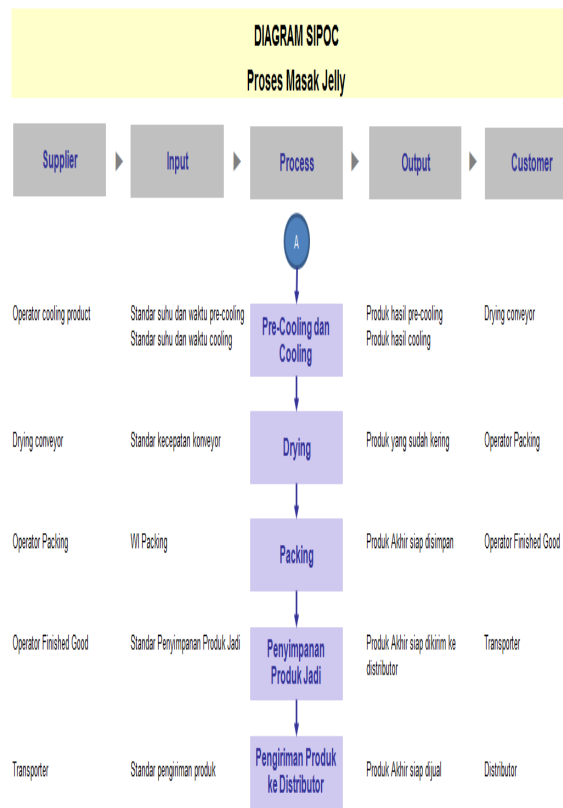
Berdasarkan data KPI pada bulan Oktober 2011 diketahui bahwa performance KPI yang paling rendah adalah pada point *Non Conformance Product Handling* dengan pencapaian 71% dari target 100%. *Non Conformance Product Handling* merupakan salah satu KPI dari Departemen Quality dan merupakan salah satu indikator keberhasilan perusahaan dalam menjaga kualitas produknya.

• Pareto Masalah

Berdasarkan data KPI tersebut kemudian dilakukan analisa data terkait produk yang mengalami ketidaksesuaian/ produk cacat. Dari perhitungan diketahui bahwa jumlah cacat terbanyak ada pada produk MJC1 yaitu sebesar 254.479 produk cacat.

Berdasarkan diagram pareto diketahui bahwa penyebab masalah ketidaksesuaian produk yang paling utama adalah karena banyaknya produk reject produk MJC1. MJC1 adalah minuman jelly 195 ml yang bahan utamanya terdiri dari air, gula pasir, nata de coco, dan karagenan.

- Penentuan CTQ (Critical to Quality)**
 Dalam penelitian ini, CTQ (*Critical to Quality*) yang akan dibahas hanya yang terkait dengan kualitas fisik final produk saja. Untuk final produk MJC1 195 ml ini ada 6 macam parameter kualitas fisik yang diamati yaitu :
 - ✓ Cup bocor / pecah
 - ✓ Kurang isi
 - ✓ Seal miring
 - ✓ Tidak ada kode *Expired Date* (ED) / masa kadaluarsa
 - ✓ Tidak ada nata dalam produk
 - ✓ Kontaminasi
- Diagram SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer)**
 Diagram ini dibuat untuk memahami proses yang terjadi antara input yang diperlukan, proses yang dijalankan dan output yang dihasilkan. Proses yang dijalankan dalam proses pembuatan produk MJC1 195 ml dapat dilihat pada diagram SIPOC di berikut.



Tahap Measure

Tahap ini merupakan tahap untuk mengukur keadaan dan kondisi perusahaan. Pada tahap ini akan diuraikan tentang data-data defect produk MJC1 195 ml dan kapabilitas proses produksi saat ini.

- Data Cacat Produk MJC1 195 ml**
 Berdasarkan diagram pareto dapat diketahui bahwa jenis cacat produk MJC1 195 ml yang paling dominan adalah Kurang Isi.
- Pengukuran Baseline Kinerja**
 Pengukuran baseline kinerja dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana suatu produk dapat memenuhi kebutuhan spesifik pelanggan, sebelum produk itu diserahkan kepada pelanggan. Dalam pengukuran baseline kinerja digunakan satuan pengukuran DPMO (*Defect Per Million Opportunities*) untuk menentukan tingkat sigma. Berikut nilai DPMO dan tingkat sigma proses pembuatan produk MJC1 195 ml.
 Berdasarkan tabel dapat diketahui bahwa nilai DPMO rata-rata proses produksi MJC1 195 ml adalah 53.846,15 artinya setiap memproduksi sebanyak satu juta produk, terdapat kemungkinan cacat sebanyak 53.846,15 produk. Sedangkan rata-rata tingkat sigmanya adalah 3,11. Tingkat sigma 3,11 merupakan tingkat sigma yang rendah dan perlu perhatian ekstra untuk meningkatkan tingkat sigma sehingga dapat mengurangi variasi produk dalam proses produksi dan dapat menurunkan tingkat kecacatan produk.

Tahap Analyze

Pada tahap ini penyusun akan menganalisis hambatan dan kendala yang terjadi pada perusahaan yang telah menurunkan keuntungan dan merugikan perusahaan. Alat yang digunakan dalam tahapan analisis ini adalah diagram sebab akibat / *cause effect diagram* untuk mencari penyebab-penyebab potensial dari suatu akibat, dan diagram pareto untuk mengetahui akar penyebab masalah paling dominan / prioritas masalah.

- Cause & Effect Diagram**
 Penyebab cacat dapat dianalisis dengan menggunakan diagram sebab akibat / *cause effect diagram* atau tulang ikan, yang tujuannya tidak mencari unsur-unsur penyebab berdasarkan faktor-faktor tertentu. Berdasarkan analisa dengan diagram sebab akibat, penyebab cacat terjadi dapat terdiri atas 5 faktor yaitu manusia, metode, material, mesin dan lingkungan. Tetapi dalam tugas akhir yang disusun ini teridentifikasi 3 faktor penyebab cacat yaitu karena faktor manusia, mesin dan metode. Berikut diagram sebab akibat terjadinya kurang isi pada minuman jelly MJC1 195 ml :

Berdasarkan diagram sebab akibat, terdapat 5 akar penyebab terjadinya cacat / defect kurang isi pada produk MJC1 195 ml yaitu :

- ✓ Operator tidak tahu cara menimbang yang benar
- ✓ Suplai angin ke nozzle jelly tidak merata
- ✓ Gerakan Mould penyangga cup terlalu kuat
- ✓ WI (*Work Instruction*) Penimbangan tidak dijalankan dengan baik
- ✓ Penetapan standar volume / isi bersih produk yang kurang tepat

Kelima akar penyebab di atas disebabkan oleh 3 faktor pendukung seperti dijelaskan berikut :

- ✓ **Manusia**
Penyebab cacat / defect produk yang pertama adalah faktor manusia dalam hal ini operator yang melakukan penimbangan dengan asal-asalan. Setelah ditelusuri penyebabnya ternyata sebagian operator yang melakukan penimbangan adalah operator baru yang belum tahu cara menimbang yang benar.
- ✓ **Mesin**
Penyebab cacat / defect produk yang disebabkan oleh faktor mesin adalah jumlah filling dari mesin jelly ke cup jelly tidak stabil. Hal ini disebabkan oleh karena tidak meratanya suplai angin pada nozzle jelly sehingga volume yang diembuskan oleh nozzle jelly berbeda-beda pada tiap cup jelly.
- ✓ **Metode**
Metode adalah faktor yang penting dalam melaksanakan sebuah proses produksi. Apabila metode yang digunakan salah maka hasil akhir pun pasti akan salah. Penyebab terjadinya cacat karena faktor metode adalah karena belum adanya metode / WI (*Work Instruction*) Penimbangan yang tertulis dan adanya kesalahan dalam penetapan standar isi bersih / volume produk. Pada saat operator menimbang produk akhir di area filling, seringkali mereka melakukan penimbangan secara langsung tanpa memperhatikan metode penimbangan yang harusnya dilakukan, misalnya operator tidak melakukan tara pada timbangan ketika menimbang cup kosong dan produk akhir. Hal ini terjadi dikarenakan belum adanya WI yang tertulis di area filling sehingga masing-

masing operator menimbang dengan caranya masing-masing.

Selain belum adanya WI, faktor metode yang menyebabkan terjadinya cacat adalah karena adanya kesalahan penetapan standar isi bersih / volume produk akhir. Saat ini standar isi bersih / volume produk akhir ditulis 195 ± 2 ml. Seharusnya standar isi bersih / volume produk akhir ditulis tidak kurang dari isi bersih / volume yang tertera pada kemasan produk akhir sehingga defect kurang isi produk dapat diminimalisir.

Tahap Improve

Tahap perbaikan ini memberikan solusi perbaikan atas masalah dan kegagalan yang terjadi. Pada tahap ini hal pertama yang akan dilakukan adalah mengurutkan prioritas masalah / akar penyebab dominan yang harus diselesaikan dengan menggunakan Diagram Pareto. Kemudian ditindaklanjuti dengan memberikan usulan / konsep perbaikan untuk menyelesaikan akar penyebab dengan metode 5W+1H (What, Why, Where, When, Who dan How) yaitu apa masalahnya, mengapa harus dilakukan perbaikan, dimana dan kapan harus melakukan perbaikan, siapa yang melakukan perbaikan, serta bagaimana melakukan perbaikan.

• **Diagram Pareto**

Seperti dijelaskan di atas, langkah selanjutnya adalah menetapkan prioritas masalah / akar penyebab dominan dengan menggunakan diagram pareto. Setelah diperoleh data-data pendukung terkait akar penyebab masalah, data-data tersebut kemudian dikumulatifkan ke dalam suatu perhitungan untuk menentukan pareto akar penyebab dominan.

• **Metode 5W+1H**

Pada tahap ini peneliti memberikan usulan / konsep perbaikan untuk menyelesaikan akar penyebab dengan metode 5W+1H (What, Why, Where, When, Who dan How) Berikut usulan perbaikan dengan menggunakan metode 5W+1H

Usulan Perbaikan dengan Metode 5W+1H

No	Akar Penyebab	What (Usulan Perbaikan)	Why	How	Who	Where	When
1	Penetapan standar volume / isi bersih produk yang kurang tepat	Merevisi standar volume / isi bersih produk sesuai dengan aturan BDKT Lampiran III Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan R.I. Nomor : 251/Mpp/Kep/6/99 diatur tentang Batas Kesalahan Barang Dalam Keadaan Terbungkus (BDKT). Sebaiknya standar volume tidak kurang dari volume yang tertera pada kemasan produk.	Agar isi bersih produk sesuai dengan yang tertera pada kemasan	1. Merevisi standar isi bersih / volume produk MJC1 195 ml 2. Mensosialisasikan hasil revisi standar ke seluruh level karyawan terutama operator 3. Setting mesin dengan standar hasil revisi 4. Validasi hasil produksi mesin jelly yang sudah disetting dengan standar volume ukuran baru	Tim QA dan Tim Produksi	Area Produksi Jelly	Secepatnya
2	Operator tidak tahu cara menimbang yang benar	Training operator tentang cara penimbangan	Agar semua operator mengetahui cara penimbangan yang benar	1. Mensosialisasikan dan mempraktekkan cara menimbang yang benar langsung di lapangan 2. Memverifikasi cara penimbangan yang dilakukan oleh operator	Tim Produksi	Area Produksi Jelly	Secepatnya

Usulan Perbaikan dengan Metode 5W+1H

No	Akar Penyebab	What (Usulan Perbaikan)	Why	How	Who	Where	When
3	Gerakan Mould terlalu kuat	Setting ulang kecepatan gerakan mould	Supaya mould berjalan dengan smooth, tidak terlalu kuat sehingga produk tidak banyak yang tumpah	1. Setting rantai mould 2. Trial dan validasi kecepatan / gerakan mould dan analisa impactnya terhadap kuantitas isi produk yang tumpah 3. Sosialisasi hasil trial dan validasi kepada operator	Tim Produksi	Area Filling	Secepatnya
4	Suplai angin ke nozzle jelly tidak merata	Setting ulang tekanan / suplai angin	Supaya suplai angin ke setiap nozzle jelly merata	1. Setting suplai angin ke setiap nozzle 2. Trial dan validasi kekuatan suplai angin ke setiap nozzle 3. Sosialisasi hasil trial dan validasi kepada operator 4. Jalankan Preventive Maintenance	Tim Produksi	Area Filling	Secepatnya
5	WI (Work Instruction) Penimbangan tidak dijalankan dengan baik	Sosialisasi dan refreshment WI Penimbangan	Supaya penimbangan dilakukan dengan benar dan dilakukan dengan cara yang sama oleh semua operator penimbangan	1. Sosialisasi dan refreshment WI Penimbangan ke seluruh operator terkait 2. Verifikasi hasil penimbangan yang dilakukan operator	Tim QA dan Tim Produksi	Area Produksi Jelly	Secepatnya

Tahap Control

Setelah pembuatan usulan perbaikan pada tahap improve, langkah selanjutnya adalah tahap control. Tahap ini adalah tahap terakhir dari metode six sigma yang bertujuan untuk mengendalikan proses sehingga berjalan sesuai dengan tujuan awal dan diharapkan tidak akan terulang kembali. Konsep pengendalian yang diberikan pada dasarnya berupa petunjuk kerja atau instruksi kerja pada saat melakukan proses produksi. Beberapa tindakan pengendalian yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- Pembuatan standar volume / isi bersih produk MJC1 195 ml yang baru sesuai dengan aturan BDKT (Berat Dalam Kemasan Terbungkus)
- Menjadwalkan training praktek dalam hal penimbangan produk untuk setiap karyawan baru dan refreshment training untuk karyawan lama
- Menerapkan metode deteksi awal kurang isi cup jelly dengan cara melihat bagian bawah cup apakah terdapat gelembung lebih dari setengah cup. Jika terdapat gelembung lebih dari setengah cup harus dipertimbangkan sebagai kemungkinan cup yang kurang isi, kemudian lakukan segera penimbangan terhadap cup tersebut untuk membuktikan dugaan awal.

- Verifikasi cara dan hasil penimbangan yang dilakukan operator secara berkala untuk memastikan cara penimbangan yang dilakukan setiap operator sesuai dengan WI (*Work Instruction*) yang sudah ada.

V. SIMPULAN DAN SARAN**Simpulan**

Dari hasil pengolahan data dan analisa yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya, maka penyusun dapat menarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Melalui diagram pareto masalah, diketahui bahwa sebagian besar masalah yang terjadi di PT Y adalah banyaknya defect produk MJC1 195 ml.
- Parameter periksa untuk produk MJC1 195 ml terdiri dari kebocoran cup, kurang isi, seal miring, tidak ada kode *expired date*, tidak ada nata dalam produk, dan kontaminasi.
- Sigma Quality Level atau Nilai Sigma untuk proses produksi MJC1 195 ml adalah 3,11, ini berarti proses produksi MJC1 195 ml belum berjalan dengan baik.
- Melalui analisa sebab akibat dengan menggunakan *Cause & Effect Diagram* atau

Diagram Sebab akibat dapat diketahui 5 akar penyebab terjadinya cacat produk MJC1 195 ml yaitu :

- ✓ Operator tidak tahu cara menimbang yang benar
- ✓ Suplai angin ke nozzle jelly tidak merata
- ✓ Gerakan mould penyangga cup terlalu kuat
- ✓ WI (*Work Instruction*) Penimbangan tidak dijalankan dengan baik
- ✓ Penetapan standar volume / isi bersih produk yang kurang tepat

Keempat akar penyebab tersebut di atas disebabkan oleh 3 faktor yaitu manusia, mesin dan metode.

Saran

Adapun beberapa saran dari penyusun Tugas Akhir yang mungkin dapat dijadikan bahan pertimbangan antara lain :

- Merevisi standar isi bersih / volume produk MJC1 195 ml sesuai dengan aturan BDKT (Berat Dalam Kemasan Terbungkus) sesuai dengan aturan BDKT Lampiran III Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan R.I. Nomor : 251/Mpp/Kep/6/99 diatur tentang Batas Kesalahan Barang Dalam Keadaan Terbungkus (BDKT).
- Standar volume / isi bersih awal = 193-197 ml.
- Standar volume / isi bersih usulan = “Tidak kurang dari 195 ml”.
- Melakukan training dan praktek langkah-langkah penimbangan produk yang benar kepada semua operator di area proses
- Menerapkan metode deteksi awal kurang isi cup jelly dengan cara melihat bagian bawah cup apakah terdapat gelembung lebih dari setengah cup. Jika terdapat gelembung lebih dari setengah cup harus dipertimbangkan sebagai kemungkinan cup yang kurang isi, kemudian lakukan segera penimbangan terhadap cup tersebut untuk membuktikan dugaan awal.
- Verifikasi cara dan hasil penimbangan yang dilakukan operator secara berkala untuk memastikan cara penimbangan yang dilakukan setiap operator sesuai dengan WI (*Work Instruction*) yang sudah ada.
- Menjadwalkan preventive maintenance tiap mesin dengan mengajukannya pada bagian Engineering.
- Melakukan pendokumentasian setiap terjadi ketidaksesuaian proses, sehingga dapat dijadikan record/historical data untuk menyelesaikan masalah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariani, Dorothea W. 2003. *Manajemen Kualitas : Pendekatan Sisi Kualitatif*. Penerbit Ghalia Indonesia.
- [2] Kholik, Heri M. *Aplikasi DMAIC dalam Metode Six Sigma dan Eksperimen Shainin Bhoté sebagai*

Penurunan Persentase Cacat. Jurnal Teknik Industri, Vol. 9, No. 2, Agustus 2008 : 117-127.

- [3] Pande. P. S. dan Hopp, L. 2003. *What is Six Sigma : Berpikir Cepat Six Sigma*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [4] Suardi, Rudi. 2001. *Sistem Manajemen Mutu 9000 : 2000. Penerapannya untuk mencapai TQM*. Penerbit PPM, Jakarta.
- [5] Susetyo, Joko, Winarni dan Hartanto Catur. *Aplikasi Six Sigma DMAIC dan Kaizen sebagai Metode Pengendalian dan Perbaikan Kualitas Produk*. Jurnal Teknologi, Volume 4 Nomor 1, Juni 2011, 61-53.
- [6] Zulian Yamit, 2010. *Manajemen Kualitas Produk & Jasa*. Penerbit Ekonisia Kampus Fakultas Ekonomi Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Six Sigma Mampu Menurunkan 96% DPMO Pada Produk Sakelar Tipe E426/16SL di PT X

Herry Agung Prabowo, Farida, Muhammad Ridwan
 Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta
 Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650
 E-mail: herryagung@gmail.com

Abstract -- Quality has become a necessity for every company in the face of competition in the era of globalization. To improve the quality of products and services, a company must be able to reduce the defects that arise in product and service. Resulting in reduced defect required a quality improvement method that provides powerful solutions to improve quality dramatically toward zero defect rate. One method of improving the quality of being able to do this is Six Sigma. Six Sigma strategies to improve the quality of products and services is continuous improvement with a target of 3.4 defects per million opportunities or for six sigma process capability. Six Sigma improvement model based on the five stages of DMAIC, which is define, measure, analyze, improve, and control.

PT.X is a company in the manufacture of electrical switches and contacts puncture housing for the domestic market and overseas. One of the most superior products and demand is the switch type socket. The emergence of many new competitors, the high rejection rate from customers are processed and resulted in inhibition of complain PT.X to expand markets and make a profit. To be able to regain lost market share and fulfill its vision and mission, PT.X apply Six Sigma as a method to improve the quality of products and services to customers.

In the first step (phase define) from Six Sigma research object is selected, determining objectives, defining customer requirements and defects that arise in the product. It was found that 60% defect caused by champer damage. In the Measure step, analyze the causes of the incidence of defects using fish bone method. Baseline of six sigma level measured was 3.8 sigma, with DPMO was 10779 ppm.

Once known potential causes of defects and then on hold Analyze, analyze data and determine the cause of the most dominant. In the improve phase of corrective action alternatives identified by using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), lower the Risk Priority Number, and determine the corrective action plan. Phase control is to maintain process capability has been enhanced in the previous stage. The final result of this quality improvement process was succeeded to decrease 96% DPMO, which is 425 DPMO or 4.84sigma.

Key Words: Six Sigma, Quality Improvement, DMAIC, DPMO

I. PENDAHULUAN

Suatu perusahaan harus mampu bertahan atau memenangkan persaingan industri. Persaingan industri dapat dimenangkan bila suatu perusahaan dapat mengikuti perkembangan dan mengetahui selera konsumen. Tidak dapat dipungkiri bahwa selera konsumen dapat diartikan sebagai nafas kehidupan perusahaan. Untuk mendukung hal itu perlu diadakan perbaikan proses kualitas yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk yang diinginkan.

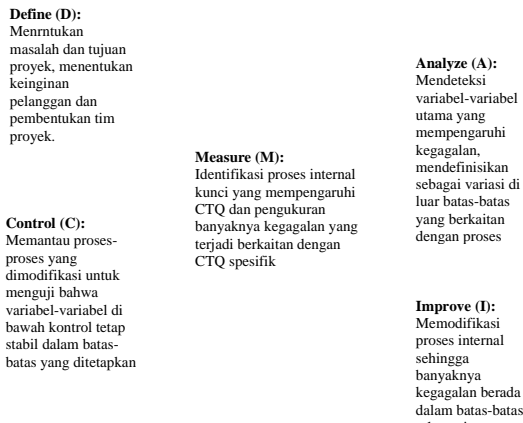
PT. X adalah salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang pembuatan Saklar. Adapun beberapa produknya yaitu: *E30 switch series*, *E426 socket series*, *438 Australia socket*, *439 Australia plugging* dan beberapa produk panel untuk ekspor yaitu: *REGK*, *Herdan*, dan *Douplestekdose*. Salah satu proses yang ada di PT. X adalah proses Assembling. Proses ini sangat penting dalam alur proses pembuatan produk, karena merupakan lini proses yang harus dilalui oleh setiap produk dan merupakan lini yang beraktifitas paling tinggi, sehingga bila terjadi kecacatan kualitas maka berpengaruh kecacatan pada hasil produksi PT. X.

Belakang ini order perusahaan meningkat, namun ada beberapa masalah yang cukup sering perusahaan hadapi, yang dilatar belakangi oleh seringnya konsumen mengeluh atas produk yang sudah perusahaan kirim. Mulai dari saklar tidak berfungsi, macet sampai terbakar. Hal ini menyebabkan menurunnya produktivitas dan profitabilitas produk. Oleh karena itu, sebagai upaya pemenuhan kepuasan pelanggan perlu dilakukan pengendalian proses produksi sehingga mampu meningkatkan kualitas produk. Karena produktivitas proses produksi dapat ditingkatkan dengan mengurangi kecacatan pada prosesnya khususnya proses di departemen assembling dan pada akhirnya berakibat pada berkurangnya komplain dari pelanggan.

Metode pengendalian proses produksi yang berfokus pada pelanggan adalah metode *Six Sigma*. Terdapat 5 langkah dalam proses pemecahan masalah dengan menggunakan metode ini. Menurut Gaspersz, V. 2002) terdapat 5 langkah tersebut dikenal sebagai DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). *Define* adalah mendefinisikan masalah, *Measure* adalah mengukur masalah, *Analyze* adalah

mencari sumber atau akar masalah, *Improve* adalah menentukan, memprioritaskan dan mengimplementasi solusi dari tiap masalah yang sudah terdefinisi, dan *Control* adalah menjaga agar solusi tetap berjalan sehingga masalah tidak muncul lagi (lihat gambar 1).

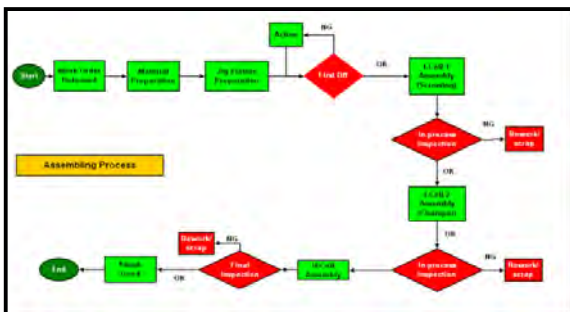
Sedangkan untuk meningkatkan kualitas suatu perusahaan, terlebih dahulu perlu diketahui tingkat kemampuan proses yang telah dimiliki oleh perusahaan sebagai dasar untuk melakukan proses pengendalian dan peningkatan kualitas output. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kemampuan proses produksi adalah metode DPMO (*Deffect per Million Opportunities*), yang menunjukkan ukuran kegagalan per satu kesempatan.



Gambar 1. Tahapan/Prosedur DMAIC

II. PENGUMPULAN DATA

PT.X adalah perusahaan yang bergerak di bidang pembuatan sakelar dan tusuk kontak listrik perumahan untuk pasar dalam negeri maupun luar negeri. Adapun beberapa produknya yaitu: E30 switch series, E426 socket series, 438 Australia socket, 439 Australia plugging dan beberapa produk panel untuk ekspor yaitu: REGK, Herdan, dan Douplestekdose. Salah satu produk unggulan dan paling banyak permintaan adalah sakelar tipe socket. Proses produksi mulai dari penerimaan barang sampai inspeksi akhir dan dikirim ke pelanggan, serta alur proses assembling sakelar E426/16SL adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Prosedur produksi sakelar

Proses produksi dibagi beberapa bagian yaitu injeksi, stamping, assembling dan packing. Proses injeksi adalah proses awal bahan baku dari yang berbentuk butiran plastik kemudian dipanaskan dan dicetak dengan sistem injeksi untuk menghasilkan bahan plastik pada sakelar. Stamping adalah proses pembentukan bahan metal untuk sakelar dengan menggunakan system tekan dengan cetakan. Assembling adalah proses berikut sehabis proses injeksi tiap tiap komponen yang akan disatukan menjadi komponen jadi dengan pembautan, pengepresan dan packing yaitu pengepakan finished goods.

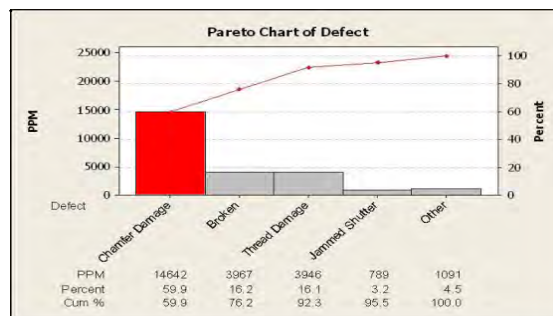
Proses Assembling adalah proses yang dimulai dengan penyiapan bahan bahan hasil dari proses injeksi untuk material plastik dan hasil dari stamping untuk bahan metalnya. Setelah semua bahan telah siap akan di masukkan pada tempatnya masing-masing yang tersedia di area assembling yang berbentuk U-Line. Awal proses adalah assembling untuk *part metal* menjadi kontak terminal, setelah itu pemasangan dengan bahan plastiknya dan selanjutnya proses pengikatan dengan menggunakan proses pembautan.

III. PENERAPAN METODE SIX SIGMA

Define Masalah

Penentuan masalah dilakukan berdasarkan data-data kerusakan yang pernah terjadi pada produk saklar tipe E426/16SL dengan menggunakan diagram pareto. Tabel berikut adalah diagram pareto untuk jumlah dan jenis kerusakan yang terjadi pada sakelar E426/16SL khusus di proses assembling pada periode Januari – Maret 2009 ;

Tabel 1: Data Actual Reject Produk Sakelar Tipe 426/16SL Periode 2007 – 2009



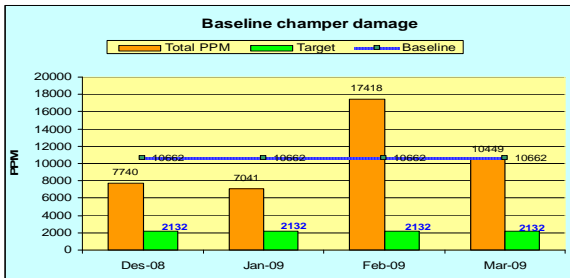
Dari pareto data menunjukan jenis kerusakan yang paling tinggi (60% dari semua jenis kerusakan) adalah karena *champer damage*, sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mengendalikan kualitas produk adalah dengan mengurangi *defect* jenis *champer damage*.

Measure Masalah

Selanjutnya dilakukan perhitungan kerusakan pada produk sakelar E426/16SL khususnya pada proses assembling dalam bentuk PPM (Part Per

Million). Tabel 2 menggambarkan nilai DPMO (*defect per million opportunity*) untuk produk sakelar E426/16SL dengan jenis kerusakan *champer damage* dengan level sigma pada proses saat ini dilakukan perusahaan, serta target yang ingin dicapai. *Baseline* dengan perhitungan *six sigma level* pada kondisi awal menunjukkan level sigma 3.8 dengan nilai DPMO sebesar 10779 ppm.

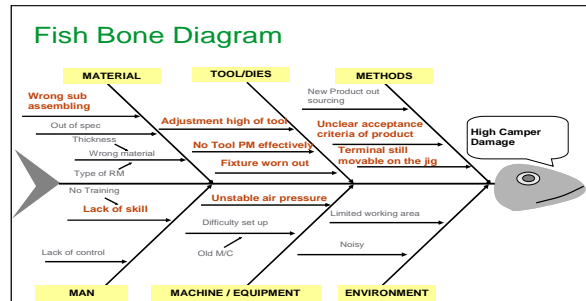
Tabel 2 : Tabel PPM sakelar E426/16SL jenis champer damage



Dalam proses mengidentifikasi penyebab terjadinya masalah, digunakan metode diagram tulang ikan atau *fishbone*. Dari diagram pareto ada 8 hal yang paling berpengaruh sebagai penyebab masalah, yaitu kesalahan proses sub assembling, keahlian operator yang kurang, penyetelan tinggi mata bor, kurangnya perawatan pencegahan, jig aus, tekanan kompresor

yang tidak stabil, standar kualiti yang kurang jelas, dan pergerakan terminal di jig.

Tabel 3. Diagram tulang ikan



Untuk menentukan akar penyebab masalah yang benar-benar berpengaruh berdasarkan data histori dari setiap kerusakan dilakukan analisa FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*). Dari analisa ini dipilih 5 (lima) dari 8 (delapan) hal penyebab masalah dan akan dianalisa pada tahapan selanjutnya yaitu :

1. Kesalahan proses sub assembling
2. Penyetelan tinggi mata bor
3. Jig aus
4. Pergerakan terminal di jig

Tabel 4. Tabel FMEA

Process step	Key input of the process	Potential Failure Mode	Potential Effects of the Failure	S E V	Potential Causes	O C C	Current "Controls"	D E T	R P N
Material preparation	Wrong sub assembling in I-cell 1	wrong process	Champer damage	9	Difficult to champer / Material cannot fix on fixture	9	Visual Inspection	5	405
Tool preparation	Height of tool not in requirement	No Schedule/planning adjustment	Champer damage	8	Running hours of machine	8	No control	10	640
Tool preparation	No tool preventive maintenance	No Schedule/planning	Champer damage	7	Unclear historical data of tool	7	No control	7	343
Run production	Fixture worn out	Material sub assy cannot fix in Fixture	Champer damage	9	Running hours of machine	8	No control	8	576
Run production	Unclear acceptance criteria	WI not clear, operator did not understand	Champer damage	6	Unclear product specification	6	No control	7	252
Run production	Placement nut / terminal in to the jig	Nut / terminal still can movement on jig during champer process	Champer damage	8	design of the jig, stope need to be higher to keep nut not moveble during process	10	No control	8	640
Run production	Unstable air pressure	No maintenance	Champer damage	7	Running hours of machine	7	No control	7	343
Run production	Lack of controll	No controll	Champer damage	7	Lack of experience	5	No control	7	245

Tabel 5. Metode Analisa

No	Penyebab Masalah	Metode Analisa
1	Kesalahan pada proses sub assembling	2-proportion
2	Ketidaktepatan pengaturan tinggi mata bor	Knowing Solution
3	Jig aus	Knowing Solution
4	Terminal mudah bergerak di jig	Quick Win





Analyze Masalah

Berdasarkan hasil diskusi, maka dari kelima hal penyebab ditentukan metode yang tepat seperti terlihat pada tabel 5.

Selanjutnya dilakukan analisa berdasarkan data-data yang dikumpulkan dari lapangan dari masing-

masing penyebab masalah, sekaligus menentukan penyebab masalah yang akan diangkat untuk didiskusikan mengenai jenis perbaikan pada tahap *improve*. Hasil analisis penyebab masalah dapat dilihat di tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisa Penyebab Masalah

No	Potential KPIV	Hypothesis Test		Result
1	Wrong sub assembling in I-cell 1	2 proportion		Significant, P-value > 0,05. High defect caused by free movement of nut out of specification
2	Not properly of high of tool	Knowing Solution		Variation of tool height from minimum setting (2 mm) until maximum setting (7 mm) have no significant effect to produce NG part (campers damage)
3	Fixture worn out	Quick Win		Jig worn out can cause the product is movable, not fix on the jig so the tool can press miss on the screw and will damaging the other part.
4	Design of jig fixture not effective	Quick Win		Wide of screw too big so nut can't fix on the jig, Pin need to be higher to fix screw, Less on length of jig make nut can movable.

Kesalahan pada proses sub assembling

Dari masing-masing 50 sampel menghasilkan 30 part rusak untuk pemasangan terminal yang terlalu longgar dan hanya 2 part yang rusak untuk pemasangan part sesuai dengan spesifikasi. Nilai P-value dibawah 0.05 yang berarti kedua data yang diujikan menunjukkan perbedaan yang signifikan dan harus dilakukan perbaikan pada tahapan *improve*

Ketidaktepatan pengaturan tinggi mata bor

Hanya ada satu kerusakan pada yang sangat dekat yaitu 2 mm dan selanjutnya tidak ada. Hal ini berarti pengaturan tinggi mata bor atau jarak dengan permukaan part tidak begitu signifikan mempengaruhi kerusakan yang terjadi pada proses jenis *champer damage*. Fakta ini menunjukkan bahwa tidak perlu diambil tindakan perbaikan pada tahapan *improve* dan yang perlu dilakukan hanya penetapan standar jarak tinggi mata bor dengan permukaan yaitu diambil tengahnya 4 mm

Jig aus

Metode pengujian dilakukan secara langsung mengamati dan melihat proses di lapangan, karena keausan pada jig bisa langsung dilihat diamati tanpa harus melakukan pengujian data. Ditemukan bahwa permukaan jig dalam keadaan aus dan menyebabkan produk masih dapat bergerak pada saat proses *champer*

Terminal mudah bergerak pada jig

Ditemukan beberapa hasil, diantaranya bahan yang dipakai untuk jig dinilai kurang kuat, standar ukuran

dan model jig yang masih bisa memungkinkan part bergerak pada saat proses *champer* dan model penahan part pada jig yang kurang optimal. Diputuskan untuk membuat jig model baru yang lebih optimal dalam pengoperasian dan menekan kemungkinan terjadinya kerusakan pada proses *champer*

Tahap Improve dan Control

Setelah mengetahui variable kunci diatas yang merupakan penyebab utama terjadinya kerusakan *champer damage* pada produk sakelar E426/16SL maka akan didapatkan solusi perbaikan system dengan menggunakan alat Bantu table Action Planning seperti tabel 7 dibawah ini. Tabel 8 berikut adalah tabel *action plan* pada PT.X sesuai dengan KPIV , detail masalah, perbaikan yang dilakukan dan orang yang bertanggung jawab. Analisa kinerja sebelum perbaikan dengan *baseline* kerusakan jenis *champer damage* berada pada 10662 PPM, jauh dari target yang ditetapkan yaitu 2132 PPM. Data tersebut menunjukkan bahwa proses tidak stabil dan tingkat kerusakan yang tinggi. Perbaikan dilakukan untuk menurunkan tingkat PPM pada proses *champer* sehingga bisa turun dan mencapai target. Setelah dilakukan perbaikan, terjadi penurunan tingkat PPM pada bulan Juni sebesar 1273 PPM sampai pada tingkat 70 PPM pada bulan Agustus. Nilai tersebut menunjukkan proses pada assembling telah mengalami perbaikan. Perhitungan DPMO juga diperoleh nilai 425 dengan tingkat sigma 4,84, dimana sebelum dilakukan perbaikan nilai sigma adalah 3,80

dan DPMO pada tingkat 10779. Hasil tersebut tetapi masih perlu ditingkatkan lagi. menandakan bahwa sigma perusahaan meningkat

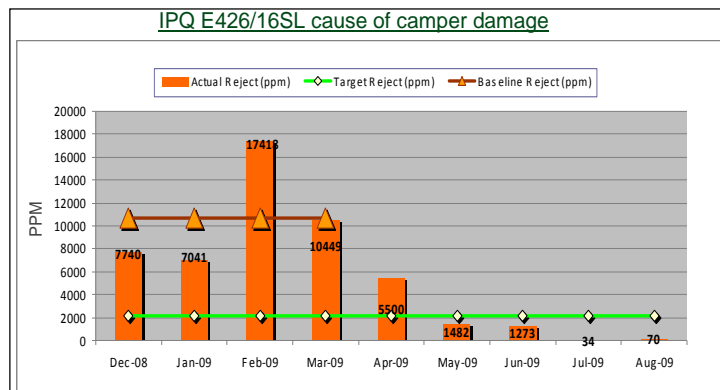
Tabel 7. Tindakan Perbaikan

No.	KPIV	Detail	CONTROL Action Plan	Frequency	Limit	Responsible
1	Wrong sub assembling in I-cell 1	Wrong sub assembling in I-cell 1 is affected of camper damage, this case happened cause of lees on screwing process in I-cell 1 so gap between nut and contact is too big, it can be make out movement of screw during camper and bringing to camper damage.	- Inspection report in line process	Every 2 hours	-	Tofiek
2	Jig worn out	Design of jig require the product can fix on the jig during camper process, good condition of jig mean dimension and shape still appropriate with the drawing so the product can fix on the jig during camper. Jig worn out can cause the product is movable, not fix on the jig so the tool can press miss on the screw and will damaging the other part.	- Preventive maintenance of jig	Every 2 week	-	Anwar
3	Terminal still movable during champer process	Movement terminal on jig during champer process is very contribute to the process damage. Jig design also contribute to facilitating operator and smooth the process, inversely poorly design of jig and fixture will bring the process and operator to make error and produce the product reject.	- Preventive maintenance of jig - Quality report of reject product	Every 2 week Review monthy	-	Anwar / Yayan

Tabel 8. Tabel Control pada Setiap Perbaikan

No	KPIV	Detail	Action / Improvement Plan	Person-in-charge	Start Date	Due Date	Status
1	Wrong sub assembling in I-cell 1	Wrong sub assembling in I-cell 1 is affected of camper damage, this case happened cause of lees on screwing process in I-cell 1 so gap between nut and contact is too big, it can be make out movement of screw during camper and bringing to camper damage.	Make new WI and new procedure for LQC	Tofiek / Dicky	8-April-09	15-June-09	Closed
2	Jig worn out	Design of jig require the product can fix on the jig during camper process, good condition of jig mean dimension and shape still appropriate with the drawing so the product can fix on the jig during camper. Jig worn out can cause the product is movable, not fix on the jig so the tool can press miss on the screw and will damaging the other part.	Preventive maintenance of jig condition	Anwar	12-May-09	12-July-09	Closed
3	Terminal still movable during champer process	Movement terminal on jig during champer process is very contribute to the process damage. Jig design also contribute to facilitating operator and smooth the process, inversely poorly design of jig and fixture will bring the process and operator to make error and produce the product reject.	Make new jig design	Anwar / Handoko	15-April-09	5-July-09	Closed

Tabel 9. Tabel PPM setelah perbaikan



Akar masalah pada tingginya tingkat kerusakan jenis *champer damage* pada produk sakelar tipe E426/16SL berdasarkan diagram tulang ikan dan proses analisa FMEA menunjukkan ada 4 permasalahan yang paling dominan yaitu : (1) Kesalahan pada proses sub assembling (2) Pengaturan tinggi mata bor (3) Jig aus (4) Pergerakan terminal pada jig selama proses *champer*.

Dari akar permasalahan yang telah ditentukan pada tahap analisa telah ditemukan beberapa ide perbaikan yaitu : (1) Pembuatan model jig yang baru (2) penambahan line cek kualiti pada sub assembling (2) Tindakan pencegahan perawatan pada jig baru untuk mencegah terjadinya keausan pada jig yang tidak terdeteksi. Tahap kontrol dilakukan beberapa hal yang sifatnya untuk standarisasi proses dan menjaga tindakan perbaikan yang telah dilakukan dengan melakukan perawatan pencegahan, seperti pada tabel control di atas.

IV. KESIMPULAN

- Kerusakan jenis *champer damage* adalah jenis kerusakan tertinggi dan merupakan masalah terbesar dalam proses assembling produk sakelar tipe E426/16SL
- *Champer damage* dipengaruhi oleh 4 hal yang dominan yaitu kesalahan pada sub assembling, pengaturan tinggi mata bor, jig aus dan pergerakan terminal selama proses *champer*
- Tindakan perbaikan dilakukan dengan pembuatan jig baru, mengganti proses assembling dari *pneumatic* menjadi manual dan penambahan perawatan pencegahan pada jig untuk menghindari keausan.
- Nilai sigma untuk proses *champer* sebelum perbaikan adalah 3.80, dan nilai sigma setelah perbaikan adalah 4,84 masih jauh untuk mencapai 6 sigma dan perlu dilakukan perbaikan proses.
- Lembar periksa pada proses sub assembling, lembar periksa jig baru, dan *schedule preventive maintenance* diperlukan untuk memonitoring perbaikan yang akan dilakukan nantinya dan untuk mengidentifikasi masalah yang akan terjadi nanti

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manggala, D, 2005, *Six sigma sederhana*, <http://www.beranda.net>, Jakarta
- [2] Untitle, 2009, *Training Material Six Sigma for Green Belt and Black Belt*, Shneider Electric, Jakarta
- [3] Gasperz, Vincent, 2002, *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [4] Pande, Peter S, Robert Neuman, Roland.R, 2003, *The Six Sigma Way (Bagaimana GE, Motorola dan Perusahaan Terkenal Lainnya Mengasah Kinerja Mereka)*, PT ANDI, Yogyakarta

Menurunkan Rusaknya Produk Proses *Die Casting* Pada Industri Otomotif Dengan Metode *Quality Control Circle*

Hendri Ahza

Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650

E-mail: hendriahza@gmail.com

Abstrak -- Kajian ini menyajikan bagaimana cara mengetahui rusaknya produk dalam proses mesin die casting pada industri otomotif lalu melakukan penanggulangan untuk perbaikan menggunakan metode *Quality Control Circle* (QCC). Aktivitas ini dilakukan untuk mencegah masalah yang sama tidak terulang.

Die casting adalah proses pengecoran logam pada industri. Sedangkan QCC adalah sekelompok kecil pekerja yang berkumpul bersama untuk membahas cara mengidentifikasi, menganalisis, memecahkan, dan merumuskan permasalahan pekerjaan yang menjadi isu.

Metode analisis dan perbaikan yang digunakan untuk mengetahui permasalahan dan penanggulangannya adalah dengan metode Delapan langkah kegiatan QCC. Setelah dilakukan kegiatan QCC diketahui adanya masalah kerusakan *flowline* pada Front Cylinder Compressor 10S11 yang dominan. *Flowline* adalah salah satu jenis rusaknya produk dalam proses die casting yang merusak produk, berupa lipatan material (kerutan) karena proses solidifikasi atau pembekuan awal.

Dengan dilakukan aktivitas QCC pada tahap penanggulangan yakni: pertama mesin tetap beroperasi saat jam istirahat, kedua spray dipisah antar a : Fr. Cyl 10S, Fr. Cyl 10PA Rr. Cyl 10S, Rr Cyl 10PA, ketiga warna pipa dibedakan antara : Air (coklat/silver) dan Angin (merah dan diikat kabel Ties) dan keempat education kepada operator minimal 1 kali sebulan ternyata kerusakan *flowline* dapat di turunkan dengan signifikan.

Kata Kunci: Die Casting, QCC

I. PENDAHULUAN

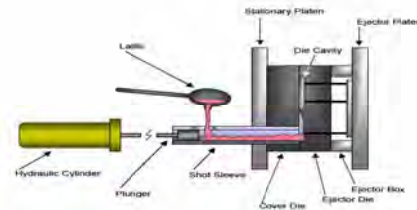
Industri manufaktur secara umum dan industri otomotif secara khusus perlu terus menerus untuk meningkatkan kualitas dan menekan biaya produksi agar mampu bersaing serta menciptakan suasana kerja yang bermoral. Salah satu caranya adalah melakukan kegiatan QCC pada proses die casting. Kegiatan ini bertujuan menurunkan rusaknya produk dalam proses die casting pada industri otomotif dengan metode Delapan langkah kegiatan QCC. Kegiatan ini diharapkan dapat bermanfaat dalam hal QCDSM

yakni: peningkatan *Quality*, penurunan *Cost*, ketepatan *Delivery*, *Safety* dalam bekerja, dan karyawan yang ber-*Morale*.

II. LANDASAN TEORI Die Casting

Die casting adalah proses pengecoran logam dalam industri. Die casting adalah proses serbaguna untuk memproduksi berbagai logam seperti aluminium, magnesium dan paduan logam lainnya. Dengan cara logam cair dituangkan ke dalam *cylindrical sleeve* lalu *plunger hidrolis* beroperasikan untuk memasukan logam cair (dalam kajian ini aluminium) ke dies pada tekanan tinggi. Setelah logam cair masuk kedalam dies tekanan dipertahankan sampai pengecoran menjadi padat (meskipun periode ini biasanya dibuat sesingkat mungkin dengan air pendingin cetakan). Akhirnya, dies dibuka dan pengecoran dikeluarkan. Dies, dapat dirancang untuk menghasilkan berbagai bentuk produk dengan tingkat akurasi yang tinggi dan dapat dilakukan dengan cara pengulangan.

Die Casting memproduksi komponen dengan harga produksi yang tinggi. Dapat menggunakan berbagai logam paduan dan dengan kemampuan membuat detail desain yang rumit. Keuntungan dari Die Casting adalah dapat memproduksi komponen baik volume tinggi atau volume yang rendah dengan biaya yang rendah (NADCA).



Gambar. 1. Sketsa Proses Die Casting

Dalam proses die casting (pengecoran logam) tidak luput dari berbagai masalah yang mengakibatkan kerusakan pada produk. Dalam kajian ini menyoroti kerusakan pada produk, seperti: *flowline*, *squeeze*, *cavity*, *gate inside cut* dan lain-lain.

Quality Control Circle

Quality Control Circle (QCC) adalah sekelompok kecil pekerja yang berkumpul bersama untuk membahas cara mengidentifikasi, menganalisis, memecahkan, dan menentukan permasalahan dalam bekerja yang menjadi isu. Kegiatan QCC menggunakan beberapa alat antara lain: diagram sebab akibat (*cause and effect diagram*), lembaran cek (*check sheets*), diagram pencar (*scatter diagram*), diagram control (*control charts*), diagram pareto (*pareto diagrams*), histogram dan grafik (SIXSIGMAONLINE).

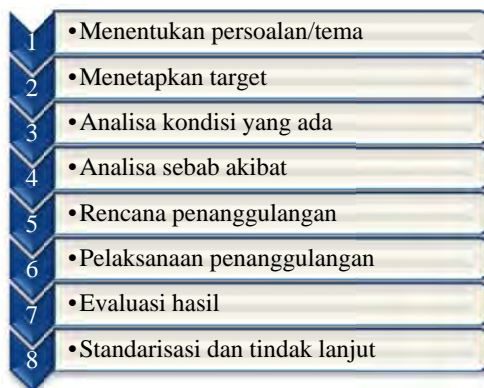
Kegiatan QCC mulai dari persiapan (pembentukan group) lalu melakukan Delapan langkah perbaikan yang terdiri dari: menentukan persoalan/tema, menetapkan target, analisa kondisi yang ada, analisa sebab akibat, rencana penanggulangan, pelaksanaan penanggulangan, evaluasi hasil, standarisasi dan tindak lanjut serta terakhir presentasi laporan akhir.

QCC bertemu secara teratur sebelum, selama, dan

Kegiatan QCC dapat mengarahkan karyawan sedemikian rupa sehingga dapat mencapai kepuasan yang lebih besar, memperoleh motivasi yang lebih tinggi dan dengan demikian menjadi lebih produktif. Kuncinya terletak dalam partisipasi karyawan pada semua tingkatan dalam organisasi saat proses pengambilan keputusan. Sejalan dengan arus globalisasi, istilah QCC semakin sering digunakan sebagai salah satu pendekatan dalam upaya menuju *Total Quality Management* (TQM) atau manajemen kualitas terpadu.

III.METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi dilakukan dengan Delapan langkah kegiatan QCC



1. Menemukan persoalan / tema adalah sesuatu kegiatan yang mengidentifikasi masalah yang menyimpang dari ; keinginan, target dan standar.
2. Menentukan target dapat dilakukan berdasarkan penetapan target yang ditetapkan perusahaan, customer, kondisi terbaik yang pernah dicapai, hasil dari analisa dan lain-lain.
3. Analisa kondisi yang ada , yakni melakukan penyelidikan dan analisa secara lebih telitih

dengan sasaran menemukan akar permasalahan yang sebenarnya atau mendapatkan fakta dan data tentang penyimpangan-penyimpangan atau kondisi-kondisi yang tidak baik, yang berhubungan dengan akar permasalahan.

4. Analisa penyebab, berdasarkan data dan informasi penting yang didapat pada langkah analisa kondisi yang ada, maka perlu dilakukan *List up* penyebab-penyebab yang mungkin dan uji penyebab-penyebab tersebut untuk menemukan penyebab utama.
5. Merencanakan penanggulangan, dilakukan untuk menghilangkan penyebab utama, pikirkan alternatif penanggulangan yang perlu diperhatikan adalah : dampak, teknis , dan ekonomis. Dari analisa sebab akibat dan penemuan akar masalah yang ada maka ditetapkan rencana penanggulangan dengan memfokuskan pada : apa, siapa, dimana, kapan, bagaimana caranya, berapa banyak yang bisa ditangulangi(5W+1H).
6. Pelaksanaan penanggulangan, dilakukan sesuai dengan rencana yang telah dibuat. Semua orang yang terlibat ikut berperan serta secara aktif sesuai dengan pembagian tugas yang telah disepakati.
7. Evaluasi hasil adalah hasil yang didapat dan perbaikan yang dilakukan apakah betul lebih baik dari kondisi sebelumnya dan adakah dampak positif /dampak negatif yang ditimbulkan
8. Standarisasi dan tindak lanjut
 - *Standarisasi* , penanggulangan yang baik harus ditetapkan sebagai standar, untuk mencegah masalah yang sama tidak terulang. Usaha dan pencapaian yang baik bila tidak dilakukan pembakuan akan menjadi sia-sia.
 - *Tindak lanjut* , adalah prinsip dalam PDCA yang siklusnya selalu kita putar, tindak lanjut dari perbaikan atau perubahan sekarang perlu ada untuk selalu mendapatkan yang terbaik.

IV.HASIL DAN ANALISIS DATA



Gambar 2. Compressor Assy

1. Menemukan tema

Data kerusakan dalam proses semua produk die Casting selama empat bulan

No	Jenis Kerusakan	Bln 1	Bln 2	Bln 3	Bln 4	Total	%
1	Flowline	518	863	713	798	2892	0.45%
2	Squeeze	712	537	949	665	2863	0.44%
3	Cavity	342	305	151	379	1177	0.18%
4	Gate Inside Cut	104	40	84	414	642	0.10%
5	Other	388	196	211	729	1524	0.24%
Total No Good		2064	1941	2108	2985	9098	
Total Check		149176	141007	177263	177099	644545	1.41%

Data kerusakan flowline berdasarkan jenis part dari proses die Casting selama empat bulan

No	Part	Model	Bln 1	Bln 2	Bln 3	Bln 4	TOTAL	Rasio
1	Housing	10PA15	38	32	45	92	207	0.14%
			40250	36226	40778	32118	149372	
2	Cylinder	10PA15	256	326	249	207	1038	0.62%
			42998	38633	42999	42009	166639	
3	Housing	10S	15	79	63	135	292	0.19%
			27298	30710	43920	54722	156650	
4	Cylinder	10S	209	326	356	364	1255	0.73%
			38632	38420	49566	44252	170870	
Total			518	763	713	798	2792	0.43%
Total			149178	143989	177263	173101	643531	

Data kerusakan flowline tipe Cylinder 10S dari proses die Casting selama empat bulan

No	Part	Item	Bln 1	Bln 2	Bln 3	Bln 4	TOTAL	Rasio
1	FR Cyl 10S11	Rusak	57	62	31	108	258	0.84%
		Ttl Check	6848	6302	11610	6046	30806	
2	FR Cyl 10S15	Rusak	43	100	106	57	306	0.80%
		Ttl Check	8982	7831	11258	10276	38347	
3	FR Cyl 10S17	Rusak	0	8	8	26	42	0.47%
		Ttl Check	1696	1982	2676	2560	8914	
4	RR Cyl 10S11	Rusak	34	36	132	31	233	0.68%
		Ttl Check	8190	9296	11402	8496	37384	
5	RR Cyl 10S15	Rusak	61	114	79	98	352	0.79%
		Ttl Check	10936	9905	11204	12660	44705	
6	RR Cyl 10S17	Rusak	14	6	0	24	44	0.41%
		Ttl Check	1980	3104	1416	4214	10714	
Total			209	326	356	364	1255	0.73%
Total			38632	38420	49566	44252	170870	

Berdasarkan data diatas, maka dapat dirumuskan temanya adalah "MENURUNKAN KERUSAKAN FLOWLINE FRONT CYLINDER COMPRESSOR 10S11". Kerusakan flowline adalah krusalkan pada hasil produksi (part) yang berupa lipatan material (kerutan) karena proses solidifikasi atau pembekuan awal.



Gambar 3. Kerusakan flowline pada FR Cyl

2. Menentukan Target.

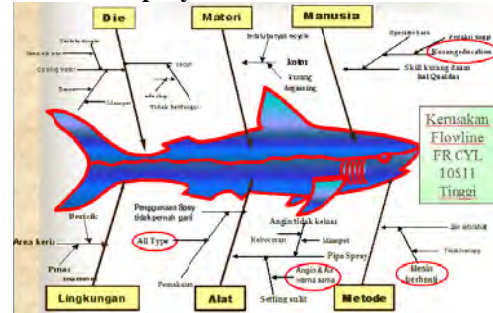
Untuk meningkatkan produktivitas produksi dan mempertimbangkan skill tim kerja, maka target yang ingin dicapai adalah penurunan rasio kerusakan flowline FR Cylinder 10S11 sebesar 30 % (dari 0,84% menjadi 0,59%)

3. Analisa Kondisi Yang Ada

No	Item	Masalah
1	Metode	Mesin berhenti saat jam istirahat
2	Alat	Spray digunakan all type

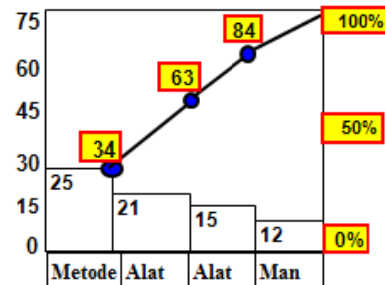
3	Alat	Setting spray sulit, pipa warna sama
4	Manusia	Kurang pemahaman quality
5	Mesin	Aktual parameter hasil produksi sering berubah

4. Analisa penyebab



NO	FAKTOR	MASALAH	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	JLH	K	%	K%
1	METHODE	MESIN BERHENTI	3	3	3	3	3	3	2	3	2	25	25	34	34
2	ALAT	SPRAY ALL TYPE	3	3	1	2	2	2	3	2	3	21	46	29	63
3	ALAT	WARNA PIPA SPRAY SAMA	2	1	1	3	1	1	2	2	2	15	61	21	84
4	MANUSIA	KURANG EDUCATION	1	2	2	1	1	2	1	1	1	12	73	16	100
KETERANGAN NILAI:												TOTAL	73		

1= KURANG DOMINAN 2= DOMINAN 3= SANGAT DOMINAN



5. Merencanakan penanggulangan

- 1) Penanggulangan Metode
 - Masalah: mesin berhenti saat jam istirahat
 - Akibat: selalu preheating setiap awal produksi / membuang barang rusak.
 - Tindakan: mesin tetap beroperasi saat jam istirahat
- 2) Penanggulangan Alat
 - Masalah: spray digunakan untuk all type
 - Akibat: setting spray sangat sulit karena banyak titik setiap ganti tipe
 - Tindakan: spray dipisah antar a : Fr. Cyl 10S, Fr. Cyl 10PA Rr. Cyl 10S, Rr Cyl 10PA
- 3) Penanggulangan Alat
 - Masalah: setting spray sangat sulit pipa air & angin warna sama
 - Akibat: setting pipa air dan angin sering keliru / tertukar

- *Tindakan*: warna pipa dibedakan antara : Air (coklat/silver) dan Angin (merah dan diikat kabel Ties)
- 4) **Penanggulangan Manusia**
- *Masalah*: kurang pemahaman quality
 - *Akibat*: operator kadang sulit menentukan kerusakan flowline
 - *Tindakan*: education kepada operator minimal 1 kali sebulan
- Rencana penanggulangan selama satu bulan

6. Pelaksanaan penanggulangan

- 1) **Metode**, dilaksanakan dengan mesin tetap beroperasi saat jam istirahat.



- 2) **Alat**, spray dipisah antara: Fr. Cyl 10S, Fr. Cyl 10PA Rr. Cyl 10S, Rr Cyl 10PA

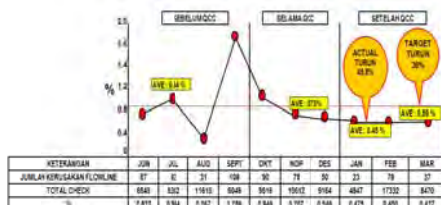


- 3) **Alat**, warna pipa air dan angin dibedakan, Air (coklat/silver dan Angin (merah & diikat kabel Ties)



- 4) **Manusia**, di education minimal 1 kali sebulan

7. Evaluasi Hasil



Hasil:

1. Dengan melihat data tersebut diatas sudah jelas perbandingan kerusakan sebelum melakukan QCC (0,84%) dan sesudah melakukan QCC (0,43%).
2. Dari rencana penurunan kami 30% ternyata bisa melampaui target menjadi 45,8%.

Manfaat QCC:

- **Qualitas** meningkat karena bisa menurunkan kerusakan flowline dari 0.84% menjadi 0.43%
- **Cost** dalam proses produksi bisa menurun karena kerusakan berkurang
- **Delivery** menjadi lancar untuk proses produksi berikutnya
- **Moral** kerjasama, tanggung jawab, skill antar anggota dalam bekerja meningkat.

8. Standarisasi dan tindak lanjut

Standarisasi

- 1) Standarisasi **metode**
 - *Masalah*: mesin berhenti saat jam istirahat
 - *Standarisasi*: mesin tetap beroperasi saat jam istirahat
- 2) Standarisasi **Alat**
 - *Masalah*: spray digunakan untuk all type
 - *Standarisasi*: spray dipisah antar a : Fr. Cyl 10S, Fr. Cyl 10PA Rr. Cyl 10S, Rr Cyl 10PA
- 3) Standarisasi **Alat**
 - *Masalah*: setting spray sangat sulit pipa air & angin warna sama
 - *Standarisasi*: warna pipa dibedakan antara : Air (coklat/silver) dan Angin (merah dan diikat kabel Ties)
- 4) Standarisasi **Manusia**
 - *Masalah*: kurang pemahaman quality
 - *Standarisasi*: education kepada operator minimal 1 kali sebulan.

Tindak lanjut

- Berdasarkan data yang ada masalah selanjutnya dapat dilakukan adalah menurunkan kerusakan SQUEEZE

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan metode Delapan langkah kegiatan QCC pada proses die casting, terutama setelah dilakukan penanggulangan yakni: pertama mesin tetap beroperasi saat jam istirahat, kedua spray dipisah antar a : Fr. Cyl 10S, Fr. Cyl 10PA Rr. Cyl 10S, Rr Cyl 10PA, ketiga warna pipa dibedakan antara: Air (coklat/silver) dan Angin (merah dan diikat kabel Ties) dan keempat education kepada operator minimal 1 kali sebulan ternyata menghasilkan peningkatan *Quality*, penurunan *Cost*, kelancaran *Delivery*, dan karyawan lebih ber-*Morale*. Peningkatan *Quality* dalam hal ini adalah terjadi

penurunan kerusakan *flowline* secara signifikan dengan melampaui target yang direncanakan. Dengan menurunnya kerusakan *flowline*, maka biaya produksipun menurun dan pengirimanpun menjadi lebih lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Delgado Abelardo Garza, M.S., 2007, A Study of Casting Distortion And Residual Stresses In Die Casting, Unpublished doctoral dissertation, Ohio State University.
- Denso Indonesia PT. Materi Training TQM dan QCC .
- Groover, Mikell P. (2010). *Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 4th Edition* USA: John Wiley & Sons
- Liker Jeffrey K. ,2006, "*The Toyota Way*", penerbit Erlangga, Jakarta
- Murugesan Karthik S. S. M.,2008, *Predicting Parting Plane Separation And Tie Bar Loads In Die Casting Using Computer Modeling And Dimensional Analysis*, Unpublished master thesis, Ohio State University.
- NADCA website, <http://www.diecasting.org>
- Nasution MN. Drs.MSc. A.P.U,2005, "*Total Quality*
- Ning Zhaohui, M.A, 2009, *Visualization for Runner System Design in Die Casting*, Unpublished doctoral dissertation, Ohio State University.
- SIXSIGMAONLINE website, <http://www.sixsigmaonline.org/index.html>
- Tumina Alfrits B,Dr,MM,MBA, 2006), "*Total Quality Management*", penerbit LPFE Usakti , Jakarta.
- Toyota Astra Motor PT. Materi Training TQM dan QCC

Perancangan Perbaikan Sistem Kerja Dengan Metode 5S

Golbi Tranado, Euis Nina S. Y., Imas Widowati, Elly Setiadewi

Program Studi Manajemen Industri

STT. Wastukencana, Purwakarta

E-Mail: golby.t@nissan.co.id; ensy08@yahoo.com

Abstrak -- Suatu sistem kerja yang berjalan dengan baik dan lancar akan dapat meningkatkan produktivitas kerjanya. Dalam memenuhi permintaan pasar yang semakin besar, PT.Nissan Motor Indonesia khususnya di departemen Material Handling sebagai departemen pendukung yang bertugas untuk menyediakan barang atau material untuk kebutuhan proses produksi dinilai perlu melakukan perbaikan sistem kerja yang dianggap kurang efektif dan efisien.

Tujuan utama dari program perbaikan sistem kerja ini adalah untuk meningkatkan produktivitas kerja di departemen Material Handling, yaitu agar tidak terjadi keterlambatan supply dan kesalahan supply barang atau material untuk kebutuhan proses produksi yang dapat mengakibatkan terjadinya *loss time* atau *stop produksi* serta menghilangkan tujuh macam pemborosan seperti pemborosan terhadap waktu, gerakan dan lain sebagainya.

Metode yang digunakan untuk melakukan perbaikan sistem kerja ini adalah metode 5S (Seiri, Seiton, Seisou, Seiketsu dan Shitsuke). Dalam menjalankan metode 5S tersebut, dibuat suatu program kerja yaitu *MH 007 BOND*:

- **MH** = Departemen Material Handling
- **0** = Zero late supply (Tidak ada keterlambatan supply)
- **0** = Zero wrong Supply (Tidak ada kesalahan supply)
- **7** = Seven waste elimination (Membuang tujuh macam pemborosan)
- **B** = Be the best (Menjadi yang terbaik)
- **O** = Optimistic (Optimis)
- **N** = Never ending improvement (Tidak pernah berhenti melakukan perbaikan)
- **D** = Do more, talk less (Banyak bekerja, sedikit bicara)

Kata Kunci : Perbaikan Sistem Kerja, Metode 5S

I. PENDAHULUAN

PT. Nissan Motor Indonesia adalah sebuah perusahaan yang bergerak dibidang industri otomotif, saat ini pencapaian kapasitas produksinya hanya dapat mencapai angka 3000 unit (rata-rata setiap bulannya), angka tersebut masih dibawah target yang diharapkan, yaitu 4000 unit per bulannya. Hal ini disebabkan oleh

beberapa faktor penting yang menyangkut kelancaran dalam proses bekerja, salah satunya adalah adanya sistem kerja yang dinilai kurang efektif dan efisien, khususnya di departemen Material Handling.

Kinerja departemen Material Handling dinilai kurang baik, penilaian tersebut dapat dibuktikan bahwa sering kali terjadi stop line (*loss time*) pada proses produksi yang diakibatkan oleh:

- a. Keterlambatan proses supply (pengiriman) part/material ke area proses produksi, sehingga untuk melanjutkan proses produksi harus menunggu part/material dari departemen Material Handling.
- b. Kesalahan proses supply (pengiriman) part/material, part/material yang dikirim ke area proses produksi tidak sesuai dengan part/material yang dibutuhkan untuk proses produksi saat itu.
- c. Proses supply (pengiriman) part/material yang tidak lengkap atau jumlah part/material kurang dari jumlah yang seharusnya disupply, sehingga hasil pada unit produksi banyak terdapat part/material yang tidak terpasang (*Cripple*).

Perumusan Masalah

- a. Bagaimana kondisi lingkungan area kerja dan *kinerja* departemen material handling yang ada?
- b. Bagaimana perbaikan sistem kerja yang harus dilakukan di area departemen Material Handling?

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui proses kerja apa saja yang dinilai kurang efektif dan efisien dengan pertimbangan waktu dan tenaga, sehingga dapat diketahui bagaimana cara perbaikan proses kerja tersebut.
1. Mengetahui kondisi lingkungan area kerja dan *kinerja* departemen material handling ..
2. Merancang perbaikan sistem kerja terhadap proses kerja yang berlaku saat ini, sehingga dapat mempermudah dan mempercepat proses kerja tersebut serta dapat mengurangi dan menghilangkan adanya keterlambatan proses supply (pengiriman) part/material ke area proses

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder departemen material handling. Perbaikan sistem kerja dengan menggunakan metode 5S (Seiri, Seiton, Seisou, Seiketsu dan Shitsuke) dan dengan membuat suatu program perbaikan yang diberi nama

program MH-007 BOND yang kemudian dibuatkan jadwal pelaksanaannya secara rinci.

III.HASIL DAN ANALISA

Proses Kerja

Aktivitas-aktivitas yang dilakukan di departemen Material Handling adalah:

- a. Proses *receiving part/material*
- b. Proses *storage (penyimpanan) part/material*
- c. Proses *Unpacking part/material*
- d. Proses *Marshalling part/material*
- e. Proses *Picking part/material*
- f. Proses *supply part/material*

Aktivitas yang dilakukan berdasarkan diagram alir proses dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

Kondisi Lingkungan Kerja

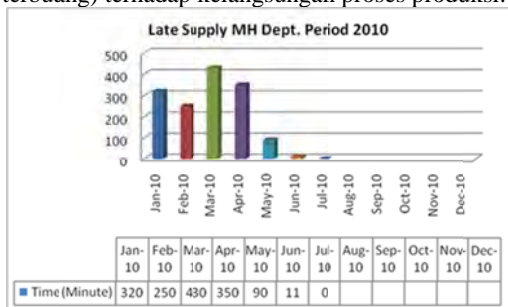
Kondisi lingkungan area kerja sangatlah penting untuk menunjang kelancaran dalam proses bekerja. Kondisi lingkungan area kerja pada departemen material handling berantakan, tidak tertata dengan rapih, serta kurang nyaman, sebagai gambaran kondisi area kerja dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini.

Kinerja Departemen Material Handling

Selama ini banyak sekali keluhan-keluhan dari departemen lain khususnya departemen produksi yang ditujukan pada departemen material handling, hal ini mencerminkan bahwa *kinerja* departemen material handling dalam menjalankan tugas dan tanggung jawabnya dinilai kurang baik.

Berikut adalah data-data aktual mengenai *kinerja* departemen Material Handling:

- a. Keterlambatan supply barang atau material yang mengakibatkan terjadinya *loss time* (Waktu yang terbuang) terhadap kelangsungan proses produksi.



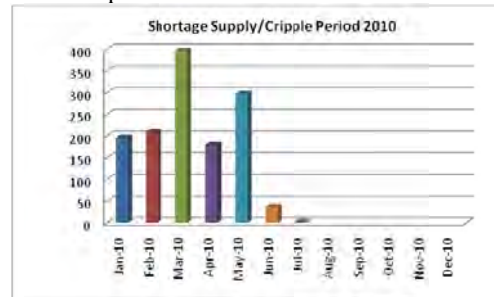
Gambar 1a Grafik Late supply periode Tahun 2010

- b. Kesalahan supply barang atau material:



Gambar 1b Grafik Wrong supply periode Tahun 2010

- c. Kekurangan jumlah barang atau material pada saat proses supply yang mengakibatkan *cripple* pada unit-unit produksi:



Gambar 1c Grafik Shortage supply/Cripple periode Tahun 2010

Perbaikan Sistem Kerja

Dalam melaksanakan perbaikan sistem kerja di departemen Material Handling, terdapat beberapa tahap pelaksanaannya, yaitu:

A. Membuat Program Perbaikan Sistem Kerja Dengan Metode 5S

Dalam menjalankan perbaikan sistem kerja dengan metode 5S ini, maka dibuat suatu program kerja yaitu *MH 007 BOND*:

- MH = Departemen Material Handling
- 0 = Zero late supply (Tidak ada keterlambatan supply)
- 0 = Zero wrong Supply (Tidak ada kesalahan supply)
- 7 = Seven waste elimination (Membuang tujuh macam pemborosan)
- B = Be the best (Menjadi yang terbaik)
- O = Optimistic (Optimis)
- N = Never ending improvement (Tida pernah berhenti melakukan perbaikan)
- D = Do more, talk less (Banyak bekerja, sedikit bicara)

Adapun tujuan utama dari program perbaikan sistem kerja ini adalah untuk meningkatkan produktivitas kerja di departemen Material Handling, yaitu agar tidak terjadi keterlambatan supply dan kesalahan supply barang atau material untuk kebutuhan proses produksi yang dapat mengakibatkan terjadinya *loss time* atau stop produksi serta menghilangkan tujuh macam pemborosan seperti pemborosan terhadap waktu, gerakan dan lain sebagainya.

Sebelum program MH 007 BOND dimulai, maka dilakukan analisa awal dengan menggunakan analisa *4 Boxes* yang dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.

Seven waste elimination (Menghilangkan tujuh macam pemborosan) adalah:

1. Pemborosan terhadap waktu (*time*)
2. Pemborosan gerakan (*motion*)
3. Pemborosan pada inventory
4. Pemborosan transportasi
5. Pemborosan terhadap produksi yang berlebih (*over production*)

6. Pemborosan terhadap banyaknya proses-proses yang dilakukan dalam bekerja
7. Pemborosan terhadap kecacatan (*defect*) unit, barang atau material

B. Membuat Lembar Evaluasi 5S.

Untuk mempermudah melakukan evaluasi pada saat sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan maka dibuat/dirancang lembar evaluasi 5S. Selengkapannya dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.

C. Jadwal Rencana Pelaksanaan Perbaikan Sistem Kerja

Jadwal rencana pelaksanaan perbaikan ini dibuat berdasarkan hasil observasi yang dilakukan langsung dengan melihat kondisi aktual yang ada dilapangan dan kemudian dikembangkan dengan menggunakan metode 5S. Jadwal selengkapannya dapat dilihat pada tabel 3.3 di bawah ini.






IV. KESIMPULAN

- a. Terdapat delapan kondisi area kerja yang kurang baik, sehingga akan menimbulkan ketidaknyamanan.
- b. Kinerja departemen ini dinilai kurang baik, karena adanya :
 1. Keterlambatan proses supply (pengiriman) part/material ke area proses produksi, sehingga untuk melanjutkan proses produksi harus









menunggu part/material dari departemen Material Handling.

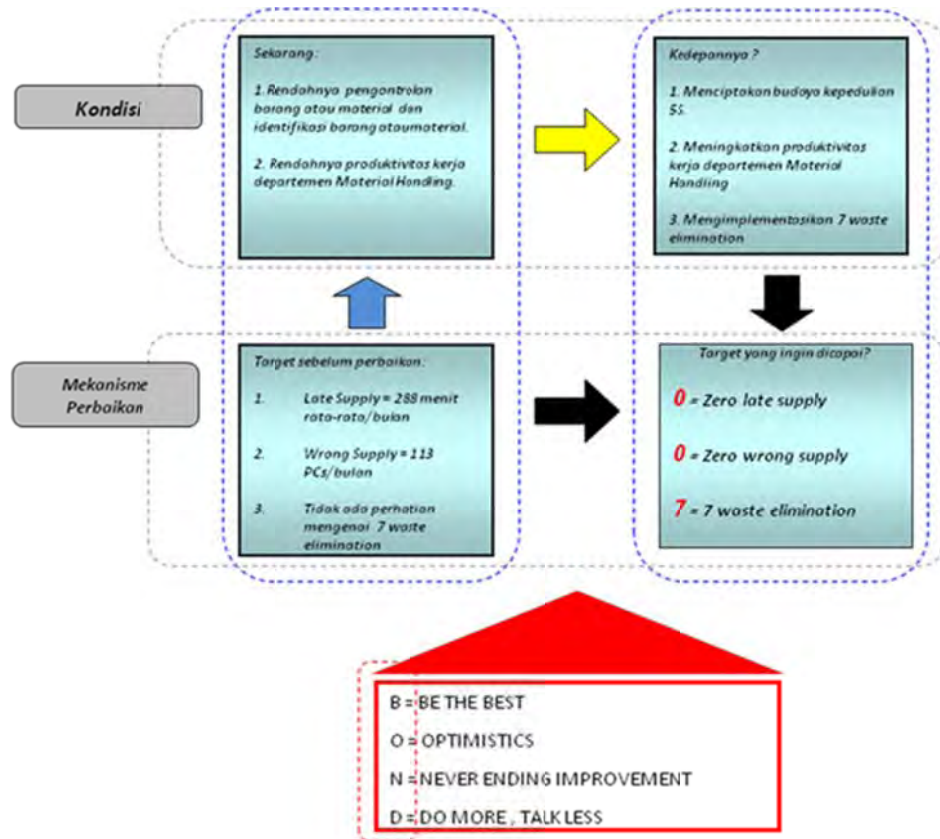
2. Kesalahan proses supply (pengiriman) part/material, part/material yang dikirim ke area proses produksi tidak sesuai dengan part/material yang dibutuhkan untuk proses produksi saat itu.
 3. Proses supply (pengiriman) part/material yang tidak lengkap atau jumlah part/material kurang dari jumlah yang seharusnya disupply, sehingga hasil pada unit produksi banyak terdapat part/material yang tidak terpasang (*Cripple*)
- c. Perbaikan sistem kerja dilakukan dengan:
1. Membuat program perbaikan sistem kerja dengan menggunakan metode 5S
 2. Membuat lembar evaluasi 5S
 3. Membuat jadwal rencana pelaksanaan perbaikan sistem kerja

Tabel 1 Aktivitas yang dilakukan berdasarkan diagram alir proses di departemen Material Handling

Lambang	Urutan	Uraian Kegiatan
	1	Proses receiving (penerimaan) part/material dari supplier.
	2	Proses unpacking part/material di area unpacking.
	3	Proses marshalling part/material ke rack chuter.
	4	Proses picking part/material ke dalam kit box atau rack special.
	5	Proses perakitan part/material di area produksi.
	1	Part/material yang telah diterima dibawa ke gudang penyimpanan.
	2	Part/material dibawa ke area unpacking untuk proses unpacking.
	3	Part/material dibawa (supply) ke area produksi untuk proses perakitan.
	1	Penyimpanan part/material di gudang penyimpanan setelah dilakukan proses receiving.
	1	Part/material menunggu untuk dilakukan proses unpacking.
	2	Part/material menunggu untuk dilakukan proses picking.
	3	Part/material menunggu untuk dilakukan proses supply ke area produksi.
	1	Pemeriksaan part/material pada saat proses unpacking berjalan.

Tabel 2 Kondisi lingkungan kerja di Departemen Material Handling

No		No	
1	 <p>Area kerja terlihat berantakan dan tidak tertata dengan rapih #Hal ini dapat menyebabkan ruang gerak untuk bekerja terasa sempit</p>	5	 <p>Layout atau tata letak area kerja berantakan dan tidak rapih #Dapat menyulitkan proses kerja dan akan memperlambat waktu untuk bekerja.</p>
2	 <p>Tidak ada garis pembatas pada setiap area kerja #Jika tidak ada garis pembatas, maka penempatan rack akan berantakan</p>	6	 <p>Peralatan kerja tidak disimpan pada tempat yang layak #Dapat memperpendek umur peralatan kerja yang digunakan.</p>
3	 <p>Tidak ada identifikasi atau penandaan pada setiap area kerja #Hal ini dapat memungkinkan seorang pekerja dapat melakukan pekerjaannya dimanapun yang disukainya</p>	7	 <p>Area kerja kotor akibat sampah</p>
4	 <p>Tidak ada identifikasi atau penandaan barang atau material #Memungkinkan seorang pekerja menyimpan barang atau material dimana saja dan menyulitkan pekerja lain untuk mencari atau mengambil material yang diperlukannya</p>	8	 <p>Barang atau material tercampur dengan sampah #Dapat memungkinkan terbuangnya barang atau material</p>



Gambar 2 Analisa 4 Boxes program MH 007 BOND

Tabel 3 Lembar evaluasi 5S

Lembar Evaluasi 5S



FORMS EVALUATION		Section : Material Handling	
No	5S	Check Items	Nilai
1	Seiri (Ringkas)	1. Apakah semua peralatan, perkakas, diletakkan pada tempatnya?	0
		2. Apakah ada material atau box yang menghalangi APAR?	1
		3. Apakah track jalan, batas area kerja diberi garis yang jelas dan tidak terputus/terhapus?	1
		4. Apakah petunjuk kerja dapat dimengerti, dan dibaca dengan jelas?	1
		5. Apakah ada petunjuk "jumlah pemakaian yang dibutuhkan, tempat yang ditetapkan, waktu yang ditetapkan"?	1
2	Seiton (Rapi)	1. Apakah tool/peralatan diletakkan pada tempatnya dan mudah diidentifikasi/langsung dikenali?	1
		2. Apakah material dan tool/peralatan yang diletakkan pada tempatnya tidak berantakan, melenceng, miring?	1
		3. Apakah benda yang berbahaya, yang beresiko tinggi, ditempatkan pada tempat khusus yang sudah ditentukan?	2
		4. Apakah tinggi penumpukan material sesuai dengan standar yang ditentukan?	1
		5. Apakah papan-papan petunjuk/address diletakkan di tempat yang mudah dilihat dan jelas? Mudah dimengerti?	1
3	Seisou (Resik)	1. Apakah kebersihan di tempat kerja terjaga? Tidak ada cecceran material, potongan kertas, atau kotoran lainnya?	1
		2. Apakah di area rak dan sekitarnya dilaksanakan aktivitas kebersihan?	1
		3. Apakah alat kebersihan yang diperlukan tersedia lengkap, dan diletakkan pada tempatnya?	1
		4. Apakah part yang belum terpakai, sisa part, kontainer, diletakkan terpisah? Dan ada pada tempatnya?	2
		5. Apakah kardus ex-part, sampah lainnya dibuang di tempatnya? Apakah ada debu menempel di meja, rak part, di lantai?	1
4	Seiketsu (Rawat)	1. Bersih dan rapikah seragam yang dipakai?	1
		2. Apakah pencahayaan di tempat kerja sudah memadai?	2
		3. Apakah TIDAK ada barang yang tidak diperlukan, TIDAK berserakan, TIDAK kotor dijalankan dengan baik?	1
		4. Apakah di lorong-lorong dari ujung satu ke ujung yang lain cukup bersih?	1
		5. Pada saat urgent, apakah material dan part yang dibutuhkan dapat dipersiapkan dengan tepat dan jelas?	1
5	Shitsuke (Rajin)	1. Apakah pelaksanaan kerja sesuai dengan standar kerja yang sudah ditentukan?	1
		2. Apakah check sheet diisi sesuai dengan standar kerja dan hasil check actual?	1
		3. Apakah sesama karyawan, atasan, dan bawahan saling bertegur sapa? Memberi salam?	2
		4. Apakah baju dan topi dikenakan dengan benar?	1
		5. Apakah sudah mentaati tepat waktu untuk meeting? Dan waktu untuk merokok?	1
		Total nilai =	28

PERIODE
03-05-2010

HASIL
NEED
IMPROVEMENT

Tabel 3 Jadwal program MH 007 BOND

No	Aktivitas	Juni 2010					Juli 2010				
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
1	Persiapan :										
	-Order Material	■									
	-Meeting/Sosialisasi	■									
2	Receiving (Penerimaan) Area :										
	-Setting layout area receiving		■								
	-Identifikasi area receiving		■								
3	Storage (Penyimpanan) Area :										
	-Setting layout area storage			■							
	-Identifikasi area storage			■							
4	Unpacking Area :										
	-Setting layout supply box (RV5)				■						
	-Identifikasi area unpacking				■						
	-Membuat Information board				■						
	-Membuat visual work instruction				■						
5	Marshalling Area :										
	-Membuat marshalling layout pada shooter					■					
	-Identifikasi alamat atau station shooter					■					
	-Identifikasi area marshalling					■					
	-Identifikasi part#					■					
6	Picking Area :										
	-Setting picking layout, Kit box area (empty)						■				
	-Identifikasi area picking						■				
	-Identifikasi part#						■				
	-Membuat picking list						■				
7	Supply :										
	-Membuat visual control sequence supply							■			
	-Setting waiting area supply							■			
	-Identifikasi lot# pada setiap rack supply							■			
8	Equipment & Tools										
	Forklift dan Truckee :										
	-Mapping area parkir								■		
	-Identifikasi area								■		
	-Membuat check sheet self maintenance								■		
	Working & Cleaning Tools :										
	-Setting area penyimpanan								■		
9	Garbage/Waste Area :										
	-Identifikasi area								■		
	-Membuat box tempat pembuangan sampah								■		
10	Training 5S & MH 007 BOND program									■	
11	Membuat tools paper 5S:										
	-Check sheet patrol 5S									■	
12	Memasang Slogan 5S pada setiap area										■

Analisa Produksi Kaleng Mauritius di Departemen Printing Perusahaan Perkalengan Indonesia Menggunakan Metode SPC

Hayu Kartika, Hari Purnomo
Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650
 e-mail : harrypurnomo@yahoo.com

Abstrak -- Dengan semakin ketatnya persaingan pasar di dunia perkalengan, setiap perusahaan dituntut untuk dapat mengendalikan kualitas produksi. Sehingga mampu untuk bertahan atau bahkan menjadi pemimpin pasar perkalengan. Namun dalam perjalanannya tidaklah mudah dan mengalami berbagai masalah. Salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh perusahaan perkalengan pada departemen printing tempat penulis bekerja adalah produksi kaleng Mauritius (jenis *drawn can*) pada saat proses *coating*. Aplikasi *coating* ke permukaan *sheet metal* mengalami berbagai permasalahan yang diakibatkan berbagai faktor yang saling terkait. Berbagai permasalahan tersebut adalah *eyehole*, *particle*, *bubble*, *carbon*, *wicker mark*, *dirty back*, *damage side* dan *scratch*. Permasalahan tersebut dapat datang dari proses produksi atau dari material bahan baku.

Dengan mengumpulkan data pada proses produksi Mauritius yang diambil pada bulan maret tahun 2011, data diambil dari 15 *skid* didapatkan hasil *reject* produksi produksi sebesar 8,39%, dengan total produksi sebanyak 17.868 *sheets*. Hasil ini dibawah dari target menejemen sebesar 10% dari total produksi, namun jika dilihat dari tiap-tiap *skid* yang diperiksa terdapat hasil lebih dari 10% dalam satu *skid* yaitu sebesar 15,21% pada *skid* pertama; 10,78 % pada *skid* ke 3; 17,44% pada *skid* ke-7; dan 10,54% pada *skid* ke-13. Setelah dilakukan analisa menggunakan statistika proses control, dihasilkan keadaan dimana proses produksi yang terjadi tidak terkendali. Penentuan jenis *problem* yang akan diatasi dengan menggunakan tool tersebut yaitu *eyehole* (27,40%), *carbon* (19,33%), *particle* (18,20%), dan *scratch* (16,07%) dari total *problem* yang terjadi yaitu 1500 *sheet*. Dalam hal ini perusahaan menetapkan bahwa setiap jenis *problem* yang terjadi tidak lebih besar dari 1% dari jumlah produksi harus segera diatasi.

Melalui fishbone diagram dari analisa lapangan, didapatkan bahwa masalah penyebab tertinggi dari *eyehole* adalah material

dari aluminize dan tin plate. Area kerja yang terkontaminasi oleh elemen lain yaitu: oli mesin dan area kerja yang kotor. Kemudian untuk *problem carbon* disebabkan karena pembersihan oven yang tidak sempurna, dilihat dari metode pembersihan dan periode pembersihan.

Kata Kunci: Analisa Kualitas, Statistical Process Control

I. PENDAHULUAN

Dalam suatu proses produksi, spesifikasi suatu produk dalam proses produksi harus tetap dapat dicapai agar konsumen mau menerima hasil dari proses produksi tersebut. Yang disebut dengan pengendalian kualitas pada proses produksi. Hal tersebut adalah sangat penting dalam upaya membangun kepercayaan konsumen terhadap produk. Dan membangun citra perusahaan kepada konsumen melalui produk yang dihasilkan. Produsen yang baik akan terus berusaha menghasilkan produk yang sesuai kualitas secara terus menerus. Dengan menekan biaya-biaya yang disebabkan kerusakan atau *reject* dari produk. Perusahaan akan terus meningkatkan kinerjanya sehingga dapat terus bertahan dan bersaing dengan perusahaan-perusahaan lain.

Salah satu permintaan pasar terhadap suatu barang adalah kemasan kaleng untuk makanan. Selain berfungsi sebagai kemasan untuk melindungi ketahanan produk, kaleng juga berfungsi sebagai media informasi antara kosumen dan produsen melalui tulisan pada dinding kaleng. Desain dari kaleng juga berfungsi penghematan tempat dibandingkan dengan menggunakan botol. Untuk itu proses pembuatan kaleng dirancang agar fungsi dari kaleng dapat selalu terpenuhi

Perusahaan perkalengan Indonesia memproduksi kaleng jadi sesuai desain dan jenis produk yang akan dikemas. Salah satu produk yang dihasilkan adalah kaleng *drawn can* 307 untuk menyuplai salah satu cabang di Mauritius Kepulauan Afrika.

Identifikasi Masalah

Adapun perumusan masalah yang diangkat dalam penulisan laporan tugas akhir ini adalah: *Reject* pada produksi kaleng desain *drawn can 307* Mauritius. Permasalahan dalam proses produksi kaleng departemen printing dalam memproduksi kaleng desain *drawn can 307* pada proses coating adalah *particle, carbon, bubble, scratch, dan eyehole*. Apakah penyebab dari permasalahan tersebut dan langkah apa yang harus diambil agar penyelesaiannya tepat dan cepat?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah: mengetahui besar jumlah *reject* yang dialami dalam proses produksi kaleng Mauritius departemen printing. Kemudian menganalisa terhadap proses tersebut penyebab terjadinya *reject*. Serta memberikan kesimpulan dan saran agar dapat diaplikasikan dalam departemen terkait dan memberikan efek positif terhadap hasil produksi.

II. LANDASAN TEORI

Pengertian kualitas menurut *American Society For Quality* yang dikutip oleh Heizer & Render (2006:253): "*Quality is the totality of features and characteristic of a product or service that bears on it's ability to satisfy stated or implied need.*" Artinya kualitas/mutu adalah keseluruhan corak dan karakteristik dari produk atau jasa yang berkemampuan untuk memenuhi kebutuhan yang tampak jelas maupun yang tersembunyi. Joseph Juran mempunyai suatu pendapat bahwa mutu sebagai kesesuaian terhadap spesifikasi.

Menurut Philip B. Crosby dalam bukunya "*Quality is Free*" menyatakan, bahwa kualitas adalah "*conformance to requirement*", yaitu mempresepsikan kualitas sebagai nihil cacat, kesempurnaan dan kesesuaian dengan persyaratan. W.Edwards Deming menyatakan, apapun yang menjadi kebutuhan dan keinginan konsumen

Apabila spesifikasi yang telah ditentukan oleh produsen sesuai dengan yang bisa dihasilkan oleh produsen itu sendiri. Maka dapat dikatakan produk tersebut berkualitas, menurut para ahli diatas. Apalagi dengan tingkat kerusakan kecil maka proses produksi tersebut lebih meningkat dalam urutan kualitas. Sedangkan spesifikasi itu sesuai dengan kebutuhan, keinginan, persyaratan dari konsumen. Pada saat produk terpenuhi oleh persyaratan yang diajukan oleh para konsumen sehingga konsumen merasa puas, maka dikatakan produk tersebut berkualitas. Dengan kata lain kualitas adalah suatu kepuasan pelanggan dalam pencapaian akhirnya.

Selanjutnya pengertian pengendalian kualitas dalam arti menyeluruh adalah sebagai berikut :

1. Pengertian pengendalian kualitas menurut Sofjan Assauri (1998:2 10) adalah:

Pengawasan mutu merupakan usaha untuk mempertahankan mutu/kualitas dari barang yang dihasilkan, agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijaksanaan pimpinan perusahaan.

2. Menurut Vincent Gasperz (2005 :480), pengendalian kualitas adalah: "*Quality control is the operational techniques and activities used to fulfill requirements for quality*".

Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendalian kualitas adalah suatu teknik dan aktivitas/ tindakan yang terencana yang dilakukan untuk mencapai, mempertahankan dan meningkatkan kualitas suatu produk dan jasa agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan dapat memenuhi kepuasan konsumen.

Tujuan dari pengendalian kualitas menurut adalah:

1. Agar barang hasil produksi dapat mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan.
2. Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat menjadi sekecil mungkin.
3. Mengusahakan agar biaya desain dari produk dan proses dengan menggunakan kualitas produksi tertentu dapat menjadi sekecil mungkin.
4. Mengusahakan agar biaya produksi dapat menjadi serendah mungkin.

Faktor-faktor Pengendalian Kualitas

Menurut Douglas C. Montgomery (2001:26) faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian kualitas yang dilakukan perusahaan adalah:

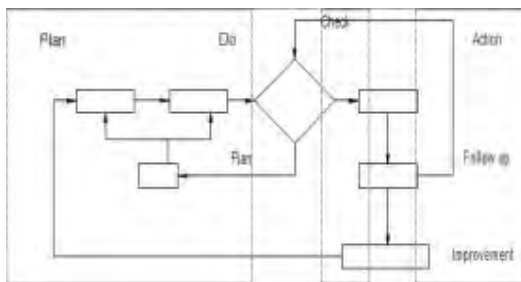
1. Kemampuan proses
Batas-batas yang ingin dicapai haruslah disesuaikan dengan kemampuan proses yang ada. Tidak ada gunanya mengendalikan suatu proses dalam batas-batas yang melebihi kemampuan atau kesanggupan proses yang ada.
2. Spesifikasi yang berlaku
Spesifikasi hasil produksi yang ingin dicapai harus dapat berlaku, bila ditinjau dari segi kemampuan proses dan keinginan atau kebutuhan konsumen yang ingin dicapai dari hasil produksi tersebut. Dalam hal ini haruslah dapat dipastikan dahulu apakah spesifikasi tersebut dapat berlaku dari kedua segi yang telah disebutkan di atas sebelum pengendalian kualitas pada proses dapat dimulai.
3. Tingkat ketidaksesuaian yang dapat diterima
Tujuan dilakukan pengendalian suatu proses adalah dapat mengurangi produk yang berada di bawah standar seminimal mungkin. Tingkat pengendalian yang diberlakukan tergantung pada banyaknya produk yang berada di bawah standar yang dapat diterima.
4. Biaya kualitas
Biaya kualitas sangat mempengaruhi tingkat pengendalian kualitas dalam menghasilkan

produk dimana biaya kualitas mempunyai hubungan yang positif dengan terciptanya produk yang berkualitas.

Langkah-langkah pengendalian kualitas

Pengendalian adalah keseluruhan fungsi atau kegiatan yang harus dilakukan untuk menjamin tercapainya sasaran perusahaan dalam hal kualitas produk dan jasa pelayanan yang diproduksi. Pengendalian kualitas mengacu pada siklus pengendalian (*control cycle*) dengan memutar siklus “Plan-Do-Check-Action” (P- D-C-A). Pola PDCA ini dikenal dengan “siklus Shewhart”, karena pertama kali dikemukakan oleh Walter Shewhart beberapa puluh tahun yang lalu. Namun dalam perkembangannya, metodologi PDCA lebih sering disebut “siklus Deming”. Hal ini karena Deming adalah orang yang mempopulerkan penggunaannya dan memperluas penerapannya.

Siklus PDCA umumnya digunakan untuk mengetes dan mengimplementasikan perubahan-perubahan untuk memperbaiki kinerja produk, proses atau suatu sistem di masa yang akan datang.



Gambar 1. Siklus PDCA

Penjelasan dari langkah dalam siklus PDCA adalah sebagai berikut

a) Langkah 1: Menentukan tujuan dan sasaran – *Plan*

Kebijakan manajemen dalam menentukan tujuan dan sasaran harus jelas, menurut dimensi yang bisa diukur. Dan yang lebih diperhatikan objektivitas dalam pengukuran itu juga harus dipertimbangkan, Kebijakan manajemen juga harus konsisten dan tidak mustahil dalam mencapainya.

b) Langkah 2: Metode untuk mencapai tujuan – *Plan*

Penetapan tujuan dan sasaran dengan tepat belum tentu tercapai tanpa metode yang tepat untuk mencapainya. Metode yang dipakai harus rasional, efektif, berlaku untuk semua dan mudah untuk dilakukan. Tanpa metode yang benar sangat susah untuk mencapai tujuan yang konsisten

c) Langkah 3: Menyelenggarakan pendidikan dan Latihan –*Do*

Metode yang digunakan perlu dikaji ulang dan disesuaikan dengan kemampuan dan pengetahuan karyawan, apabila belum mampu

maka perlu adanya training kerja, sehingga dengan metode kerja standar itu mereka mampu melakukannya

d) Langkah 3: Melaksanakan pekerjaan – *Do*

Setelah karyawan mampu untuk melakukan pekerjaan maka pekerjaan dapat dilaksanakan. Keberhasilan dalam menetapkan tujuan, metode (standar kerja), pendidikan dan latihan tidak akan menimbulkan masalah dalam pekerjaan??? hal itu belum tentu terjadi, namun dalam pelaksanaannya kondisi kerja tertentu tidak dapat menggunakan metode yang telah ditentukan. Ketrampilan dan pengalaman karyawan dapat dijadikan modal dasar untuk mengatasi ketidaksempurnaan standar kerja.

e) Langkah 5: Memeriksa akibat pelaksanaan – *Check*

Kejelasan dalam menentukan penyimpangan harus jelas dipahami oleh semua karyawan ataupun manajer. Meliputi kebijakan dasar, tujuan, metode, dan pendidikan. Untuk mengetahui penyimpangan, dapat dilihat dari akibat yang timbul dari pelaksanaan pekerjaan kemudian dicari penyebabnya.

f) Langkah 6: Mengambil tindakan yang tepat – *Action*

Pemeriksaan melalui akibat yang timbul bertujuan menemukan penyimpangan. Jika penyimpangan telah ditemukan, maka penyebab yang menimbulkan penyimpangan harus ditemukan untuk mengambil tindakan sehingga tidak terjadi penyimpangan kembali.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Agar penelitian berjalan dengan sistematis diperlukan adanya tahapan-tahapan dalam proses penelitian. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram dibawah ini



Gambar 2. Flow chart analisa produksi pada kaleng Mauritius

IV. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Hasil pengumpulan data produksi kaleng Mauritius departemen printing pada 5 Maret 2011. Data ini berisi jumlah produksi dan kerusakan produksi berdasarkan hasil sortir manual.

Gambar 3. Data Kerusakan Produksi

Analisa dengan menggunakan Statistical Process Control

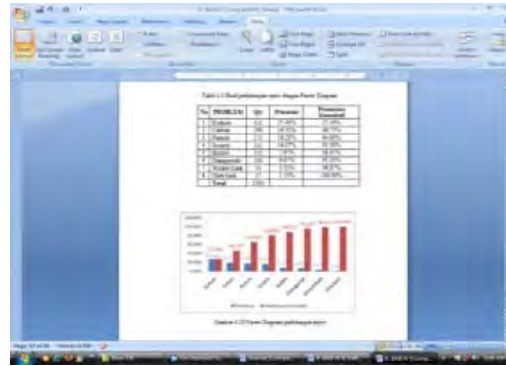


Gambar 4. Peta Kendali Proses Produksi

Dalam menggunakan tool ini dapat diketahui bahwa proses produksi yang dilakukan tidak terkendali. Untuk grafiknya dapat dilihat pada table dibawah ini.

V. ANALISA DATA

Pada diagram Pareto dapat diketahui nilai terbesar penyebab terjadinya kerusakan pada proses produksi. Dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 5. Diagram Pareto

Dari diagram diatas kemudian dianalisa penyebab kerusakan terbesar dengan menggunakan diagram sebab akibat sebagai berikut:



Gambar 6. Fish Bone Diagram

Selanjutnya dianalisa pula dengan menggunakan *fishbone* diagram untuk menemukan kerusakan yang lainnya yang tergolong kerusakan terbesar menurut manajemen. Langkah yang diambil sesuai analisa adalah pada gambar dibawah ini:

Gambar 7. Tabel Rencana Perbaikan

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan data produksi pada tanggal 5 Maret 2011 perusahaan perkalengan

- menghasilkan jumlah produksi 17.868 sheets dengan jumlah kerusakan sebesar 1.500 sheets atau dengan persentase sebesar 8,39. Jenis kerusakan yang terjadi adalah: *eyehole*, *carbon*, *particle*, *scratch*, *bubble*, *damage side*, *wicket mark*, dan *dirty back*. Nilai ini lebih kecil apabila dibandingkan dengan batas prosentase yang diijinkan oleh management sebesar 10%, namun ada beberapa proses yang melebihi persentase yang diijinkan, diantaranya skid no 1 (15,21%), 3 (10,78%), 7 (17,44%), 8 (10,12%), dan 13 (10,45%).
- Berdasarkan peta kendali *p* menggambarkan bahwa terdapat beberapa data yang diluar peta kendali, atau dengan kata lain proses yang terjadi tidak terkedali. Meskipun dengan rata-rata persentase dibawah 10%.
 - Kerusakan yang terjadi pada proses produksi sebesar 1500 sheets, berdasarkan diagram pareto adalah *eyehole* (27,4%), *carbon* (19,33%), *particle* (18,20 %), *scratch* (16,07%), *bubble* (7,67%), *damage side* (6,67%), *wicket mark* (3,53%), dan *dirty back* (1,13%).
 - Faktor yang menyebabkan kerusakan terbesar berdasarkan analisa diagram sebab akibat (*fishbone diagram*) adalah faktor manusia yaitu operator dan crew maintenance, material yaitu tinplate dan coating, mesin yaitu pada oven dan mesin coater, metode kerja yaitu tentang rutinitas kerja dan jadwal pembersihan, dan area kerja yang kotor.
- c) Lakukan pembersihan secara rutin dengan melibatkan superisor untuk pengecekan. Pastikan bahwa tidak ada material yang tersisa dari material proses sebelumnya.
- Carbon:**
- Lakukan pembersihan oven secara rutin, dan lakukan vacuum oven saat ditemukan problem *carbon*, cek oleh supervisor bila perlu.
 - Modifikasi roda wicket dengan menggunakan bearing.
- Particle:**
- Lakukan pembersihan rutin pada mesin, betuk sebuah tim yang berhubungan dengan kebersihan seperti tim khusus 5S. yang mengawasi tentang kebersihan dan kerapihan kerja.
 - Pasang saringan material pada mesincoater, dan lakukan penggantian secara rutin.
- Scratch :**
- Lakukan sampling produksi lebih ketat, pada setiap area yang berpotensi menyebabkan scratch, seperti oven inlet, feeder, coater, stacker dan loading roll. Dan lakukan perbaikan segera, kemudian tulis pada laporan history mesin. Apabila awal jalan produksi lakukan pengecekan penyebab potensi scratch sesuai dengan history scratch.
- Faktor dominan penyebab kerusakan yang terjadi adalah manusia dan mesin. Pengetahuan operator tentang mesin harus direview kembali. Skill operator dan kemampuan dalam menjalankan mesin harus diuji agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah. Perlu adanya pengecekan terhadap hasil kerja operator tentang setting mesin, apakah operator melakukan pengecekan dengan metode dan alat yang sama. Setelah dilakukan observasi terhadap mesin, banyak system yang tidak bekerja semestinya, jadwal preventive maintenance sering mundur atau bahkan tidak dilakukan maintenance. Untuk itu perlu dilakukan perencanaan maintenance agar tidak berbenturan dengan perencanaan produksi dengan benar.

Saran

- Dari hasil observasi data dan lapangan, maka perlu adanya pengendalian proses produksi dengan menggunakan metode statistic untuk mengetahui apakah proses terkendali atau tidak. Jika dilihat beberapa data dari proses produksi yang dihasilkan dapat berpotensi menyebabkan kerusakan lebih dari 10% bahkan 17%, hal ini dapat berpotensi membuat kerusakan rata-rata lebih dari 10%. Kemudian dari proses pengendalian secara statistic tersebut bisa dilakukan penentuan penyelesaian masalah penyebab kerusakan terbesar. Sehingga penyelesaian masalah yang dilakukan akan lebih efektif.
- Prioritas jenis kerusakan yang diatasi adalah 4 jenis yang terbesar yaitu *eyehole*, *carbon*, *particle*, dan *scratch*. Apabila keempat masalah tersebut dapat diatasi maka kerusakan yang terjadi akan menurun dengan efektif.

Eyehole:

- Mencari supplier material aluminize yang tidak bermasalah.
- Melakukan pengecekan kebocoran mesin secara rutin, terutama saat dan lakukan perbaikan apabila ditemukan kebocoran oli.

DAFTAR PUSTAKA

- Dorothea Wahyu Ariani, 2003. **Manajemen Kualitas Pendekatan Sisi Kualitatif**, Penerbit Ghalia Indonesia, Jakarta
- Dorothea Wahyu Ariani, 2004 **Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kualitatif dalam manajemen kualitas)** Penerbit ANDI Yogyakarta
- Montgomery, Douglas C. 2001. **Introduction to Statistical Quality Control**. 4th Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Ir. Torik Husein MT, **Analisa Perancangan Kerja**, Universitas Mercubuna.
- Nasution, M. N.. 2005. **Manajemen Mutu Terpadu**. Bogor:Ghalia Indonesia.
- Faiz Al Fakhri, 2010. **Analisis Pengendalian Kualitas Produksi UNDIP**

Analisa Penetapan Harga Pokok Biaya Sewa Area di PT. XYZ

Alfa Firdaus, Dwi Santoso

Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650

E-mail: alfa_firdaus@mercubuana.ac.id

Abstrak -- PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang trading, logistik, retail serta distributor yang bertempat di Jl. S. Parman kav 76, Slipi yang memiliki lebih dari 5 lantai di gedung tersebut dengan total luasan sebesar 6262 m² dan memiliki divisi sebanyak 20. Dengan luasan area serta jumlah divisi yang banyak dan juga untuk menjaga transparansi keuangan perusahaan secara internal itu sendiri, maka diperlukannya perhitungan harga pokoksewa area dimana harga sewa tersebut di peroleh dari total biaya sewa gedung, biaya-biaya penunjang operasional dengan kalkulasi penetapan biaya sewa menggunakan metode Full Costing. Dari analisa tersebut diperoleh biaya sewa sebesar Rp, 133,322 per m².

Kata Kunci: Harga Pokok Sewa, Full Costing, Akuntansi Biaya

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada masa era industri serta komunikasi seperti sekarang ini, suatu perusahaan dituntut untuk dapat memiliki kemampuan dalam menganalisa suatu kondisi yang terdapat dalam lingkungan bisnisnya, karena hal tersebut dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dari perusahaan tersebut untuk jangka waktu yang lebih lama lagi. Oleh karena itu, diperlukan kemampuan untuk dapat memanfaatkan sumber daya yang dimiliki secara efektif dan efisien, sehingga diperoleh biaya yang terukur tetapi tetap mengedepankan faktor yang tidak mengurangi kemampuan, kelayakan serta kebutuhan yang ada tetapi memperoleh profit yang besar.

Dalam menentukan harga pokok, biaya-biaya dihimpun menurut pekerjaan (jobs), bagian-bagian (departements) atau rinci lagi menurut pusat biaya (cost pools), baik itu produk atau jasa (Firdaus & Wasilah, 2009 :4)

Penentuan harga sewa area diperlukan pertimbangan yang cermat dan tindakan yang tepat dalam hal ini peranan sumber daya manusia diperusahaan sangat penting dan berpengaruh dalam menentukan besar kecilnya biaya sewa area yang harus dikeluarkan oleh perusahaan tersebut. Apabila harga pokok sewa yang di terlalu besar atau terlalu kecil, maka dapat mengakibatkan perusahaan akan mengalami kerugian. Sehingga diperlukan kecermatan

dan ketepatan analisis perhitungan harga sewa area yang sesuai.

Kegiatan perusahaan tidak terlepas dengan perhitungan dan pengendalian harga sewa area serta biaya-biaya yang timbul dari harga pokok sewa yang ada. Informasi mengenai harga pokok sewa area dapat digunakan sebagai alat bantu manajemen dalam menetapkan harga pokok pengeluaran yang dikeluarkan. Penetapan harga pokok pengeluaran sangatlah penting selain untuk penilaian efisiensi dan efektivitas operasi perusahaan juga sebagai dasar untuk mengambil keputusan dalam penetapan biaya operasional serta penilaian operasional perusahaan secara keseluruhan.

Agar aset dan investasi tetap terjaga maka diperlukan perhitungan penentuan harga sewa agar dapat menutup biaya operasional dan pemeliharaan, sehingga kegiatan operasi dan pemeliharaan dari kantor yang ada dapat berjalan dengan sebaik-baiknya. Dengan melakukan analisa harga pokok produksi yaitu dalam kasus ini berupa harga pokok sewa, penulis menggunakan pendekatan perhitungan menggunakan sistem full costing dengan pendekatan biaya taksiran sehingga nantinya diharapkan mendapatkan analisa perhitungan harga sewa yang akurat.

PT. XYZ yang terletak di Wisma 76, Jl. S. Parman Kav 76 yang berada di 5 lantai : lantai dasar, lantai 2, lantai 17, lantai 19 serta lantai 22 dengan total sebesar 6262 sq m2 memerlukan perhitungan dalam hal menentukan harga sewa area yang nantinya akan di bebaskan kepada departement-departement yang berada di organisasi dari PT. XYZ itu sendiri.

Disisi lain, hal ini akan memberikan system transparansi dari harga sewa yang akan di tanggung atau di bebaskan kepada divisi yang berada di bawah struktur organisasi PT. ZYX serta faktor-faktor dalam hal menentukan harga pokok biaya sewa itu sendiri. Jadi, adapun faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan besarnya biaya sewa dari PT. XYZ, yaitu

1. Besarnya biaya yang dikeluarkan oleh PT. XYZ untuk area yang ditempati yang dibayarkan kepada pemilik gedung
2. Pembagian biaya sewa yang diberikan kepada pemilik gedung yang dibagikan kepada divisi-divisi yang sesuai proporsi masing-masing

3. Besarnya biaya yang diperlukan untuk operasional dan pemeliharaan kantor diluar dari biaya yang dibayarkan ke pemilik gedung.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian tentang analisa penetapan harga sewa PT. XYZ penting untuk dilakukan.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Mengetahui faktor-faktor penunjang dalam penetapan harga sewa area yang ada di PT. XYZ berdasarkan biaya perawatan dan pemeliharaan sehingga terbentuknya harga pokok sewa dengan pendekatan metode full costing.
- Menentukan besaran biaya dari faktor-faktor penunjang yang ada dalam menentukan biaya sewa.
- Menentukan apakah harga sewa yang ditetapkan akan sesuai dengan divisi-divisi yang ada pada PT. XYZ
- Menetapkan harga sewa berdasarkan beberapa variabel diatas.

II. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam melakukan penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan cara :

- Observasi, yaitu melakukan peninjauan langsung ke object penelitian di PT. XYZ seperti melihat kondisi yang ada di perusahaan, kebutuhan serta masalah yang ada di perusahaan yaitu timbulnya kerja double karena tidak adanya penetapan harga sewa yang dimiliki perusahaan.
- Wawancara,yaitu melakukan tanya jawab dengan bagian akuntansi untuk memperoleh data-data yang relevan serta masalah yang mereka hadapi dengan tujuan penelitian serta bagian corporate services sebagai bagian yang mengurus masalah administrasi dan kegiatan operasional perusahaan itu sendiri, serta melakukan wawancara kepada pimpinan perusahaan mengenai usulan penetapan harga sewa. Proses wawancara dilakukan hampir lebih dari 1 bulan guna pengumpulan data-data serta kebutuhan perusahaan yang berlangsung dari bulan Januari 2012 sampai bulan Februari 2012.
- Dokumentasi, yaitu mencatat data-data yang diperlukan untuk penelitian dari bagian akuntansi dan corporate services. Data-data yang diambil mengenai metode penentuan harga pokok sewa adalah data pembayaran yang dilakukan perusahaan kepada pemilik atau pengelola gedung serta biaya-biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk menunjang kegiatan operasional perkantoran seperti biaya pemakaian listrik, biaya perawatan serta biaya kebersihan.Data-data yang diambil sebagai pedoman penetapan harga sewa dilakukan selama periode 2010 sampai dengan 2011.Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai yang hampir

sesuai dengan kondisi dari perusahaan itu sendiri.

Sedangkan pengolahan data dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Menentukan biaya tetap
- Menentukan biaya variabel
- Kalkulasi biaya-biaya tersebut kedalam metode full costing

Penetapan Perhitungan Biaya Sewa

Dari data yang diperoleh dari perusahaan, penulis mencoba menguraikan sebagai berikut :

- Biaya Tetap (*fix cost*)

Biaya tetap yang yang dijabarkan ini merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan secara tetap setiap bulannya.Adapun yang dikategorikan kedalam biaya tetap yaitu biaya sewa yang harus dibayarkan setiap bulan dari perusahaan ke pemilik / pengelola daripada Wisma 76.

Adapun besaran biaya yang harus dikeluarkan yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Biaya tetap} &= \text{biaya sewa} \times \text{luasan area} \\ &\text{yang dimiliki} \\ &= \text{Rp, } 117,150 \times 6262 \text{ m}^2 \\ &= \text{Rp, } 733,593,300,- \end{aligned}$$

- Biaya Variabel

Biaya variabel yang dimaksud adalah biaya yang harus dikeluarkan perusahaan yang besaran serja jumlah biayanya bervariasi setiap bulannya tergantung dari pemakaian, beban serta tugas yang dibebankan. Adapun yang terkategorikan dengan biaya variabel yaitu :

- Biaya tenaga kerja tidak tetap.

Dilihat dari biaya yang dikeluarkan setiap bulannya dalam periode 2010 sampai 2011 diperoleh rata-rata setiap bulannya dimana biaya tersebut sudah termasuk kedalam upah, tunjangan serta lembur yang ada. Adapun besarnya biaya rata-rata tersebut yaitu pada tahun 2010 sebesar Rp. 21,043,447 sedangkan pada tahun 2011 sebesar Rp. 21,986,900,-, sehingga dari kedua tahun tersebut diperoleh estimasi besarnya biaya tenaga kerja sebesar

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{biayatahun 2010} + \text{biayatahun 2011}}{2} \\ &= \frac{\text{Rp. } 21,043,447 + \text{Rp. } 21,986,900}{2} \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 21,515,189,-$$

Maka besarnya estimasi biaya tenaga kerja tidak tetap yang akan dibayarkan oleh perusahaan setiap bulannya sebesar Rp. 21,515,189,-

- Biaya Pemakaian Listrik

Dari perolehan data pemakaian listrik setiap bulannya dari tahun 2010 sampai dengan 2011 diperoleh rata-rata perlantai dengan besarnya biaya pemakaian listrik sebesar :

Tabel 1. Besaran biaya rata-rata pemakaian listrik tahun 2010~2011

	2010	2011
Lantai Dasar	4.346.358	7.797.300
Lantai 2	14.728.308	22.059.167
Lantai 17	15.251.050	17.827.133
Lantai 19	20.449.942	19.557.042
Lantai 22	16.534.592	19.401.101
Total	71.310.250	86.641.742

Dari data tabel diatas, maka diperoleh estimasi rata-rata pemakaian listrik sebagai berikut :

$$= \frac{\text{biaya tahun 2010} + \text{biaya tahun 2011}}{2}$$

$$= \frac{\text{Rp. 71,310,250} + \text{Rp. 86,641,742}}{2}$$

$$= \text{Rp. 78,975,996,-}$$

Jumlah tersebut merupakan jumlah estimasi dari pemakaian listrik yang harus dibayarkan setiap bulannya oleh perusahaan.

3. Biaya perawatan alat listrik dan kebersihan area

Dalam kurun waktu 2010 sampai 2011, seperti yang telah diuraikan diatas dimana biaya rata-rata yang dikeluarkan selama kurun waktu 2010 untuk peralatan listrik sebesar Rp. 401, 967 dan rata-rata untuk tahun 2011 sebesar Rp. 315,160, maka akan diperoleh estimasi rata rata biaya sebesar :

$$= (\text{biaya tahun 2010} + \text{biaya tahun 2011}) / 2$$

$$= (\text{Rp. 401,967} + \text{Rp. 315,160}) / 2$$

$$= \text{Rp. 358,563}$$

Biaya tersebut merupakan nilai dari estimasi perbulannya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk perawatan peralatan listrik, sedangkan untuk biaya kebersihan area yang dikeluarkan selama kurun waktu 2010 sampai dengan 2011, dilihat dari rata-rata pengeluarkannya, maka diperoleh estimasi biaya sebesar :

$$= (\text{biaya tahun 2010} + \text{biaya tahun 2011}) / 2$$

$$= (\text{Rp. 443,366} + \text{Rp. 392,865})$$

$$= \text{Rp. 418.115,-}$$

4. Metode Full Costing

Setelah mendapatkan besaran biaya tetap dan biaya variabel yang dikeluarkan perusahaan, dengan menggunakan metode Full Costing maka dijumlah dari besaran biaya-biaya tersebut dikalkulasikan dan di jumlahkan sehingga akan mendapatkan total biaya dari sewa area yang nantinya akan ditetapkan sebagai biaya sewa per meter persegi.

$$= \text{fixed cost} + \text{variabel cost}$$

= Biaya sewa + (biaya tenaga kerja tidak tetap + biayapemakaian listrik + biaya perawatan peralatan listrik + biaya perawatan kebersihan area)

$$= 733.593.300 + (21.515.189 + 78.975.996 + 358.563 + 418.115)$$

= Rp. 834.861.262,-

Dari jumlah tersebut maka akan didapatkan harga sewa area per m² dengan dibagi luasan area yang dimiliki perusahaan sebesar 6,262 m² maka akan diperoleh :

$$= \text{Rp. 834.861.262,-} / 6.262 \text{ m}^2$$

= Rp. 133.321,-

III. ANALISADAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya dimana dalam mendapatkan harga pokok sewa, dilakukan pendekatan dengan menggunakan metode full costing sehingga diperoleh harga pokok sewa sebesar Rp. 133.321,-. Dari harga pokok sewa tersebut, maka besarnya biaya yang akan dikeluarkan oleh masing-masing divisi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel. 2Biaya sewa seluruh divisi – Full Costing

Divisi	Luasan Area (m2)	Biaya sewa (Rp)
DSG	356,2	47.492.858
LF Fashion-F2	64,18	8.557.248
LF Logistics-LF Freight	36,46	4.861.285
LF Products-Home	2370,88	316.114.172
LF Sourcing-CA	627,84	83.711.163
LF Sourcing-EA	53,08	7.077.263
LF Sourcing-GB	299,57	39.942.267
LF Sourcing-GM	95,79	12.771.872
LF Sourcing-KS	272,78	36.370.303
LF Sourcing-LFUSA Sourcing	53,57	7.142.595
LF Sourcing-PB	271,9	36.252.971
LF Sourcing-SF	486,62	64.882.018
IDS Medical	699,41	93.253.734
ITS	163,75	21.833.115
FNA	156,31	20.841.125
Vendor Compliance	58,51	7.801.255
Corp. Services	62,9	8.386.583
HR	80,13	10.683.893
Head Corporate	52,12	6.949.264
Total	6262	834.924.984

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dengan melakukan pengukuran, penghitungan dan analisa terhadap data-data serta informasi yang didapatkan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Biaya-biaya serta faktor penunjang dalam penentuan harga pokok sewa area yang terbentuk diperoleh dari besarnya nilai biaya yang dikeluarkan perusahaan dalam kurun waktu 2 tahun terakhir yaitu dari tahun 2010 sampai dengan 2011
2. Adapun biaya yang digunakan dalam penentuan harga pokok sewa itu adalah biaya tetap berupa biaya yang dibayarkan perusahaan kepada pemilik gedung serta biaya variabel operasional perusahaan seperti biaya pemakaian listrik, perawatan, kebersihan serta biaya tenaga kerja tidak tetap.
3. Dengan diperolehnya biaya sewa sebesar Rp. 133,332 per m² dari data-data, maka hal tersebut akan dijadikan penetapan harga pokok sewa area dibebankan kepada divisi-divisi yang ada di PT. XYZ

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyadi. 2000. Akuntansi Biaya. Aditya Media. Yogyakarta
- [2] _____, 2003. Activity-Based Cost System. UPP AMP YKPN. Yogyakarta
- [3] Matz & Usry. 1967. Cost Accounting, 6th Edition Dunia, Firdaus A dan Abdulllah, Wasilah. 2009. Salemba Empat. Jakarta
- [4] Horngren, Charles T. Foster, George dan Datar, Srikant M. Alih Bahasa: Susilaningtyas, Endah 1995. Akuntansi Biaya, Salemba Empat, Jakarta
- [5] Carter, William K. 2009. Akuntansi Biaya. Salemba Empat. Jakarta
- [6] Wibowo, Sampurno, S.E., M.SI & Meliani, Yani. Akuntansi Biaya, 2009, Politeknik Telkom Bandung, Bandung

Analisa Keputusan Pemilihan Investasi Alat Berat di Pertambangan Batu Bara PT. IR

Alfa Firdaus, Andy Hariyanto

Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650

E-mail: alfa_firdaus@mercubuana.ac.id; andy.hari@gmail.com

Abstrak -- Pemilihan alternatif investasi bagi perusahaan sangat penting, selain masuk kedalam cash flow, perusahaan membutuhkan modal yang akan ditanamkan sebagai investasi pada setiap unit bisnis. Dikarenakan investasi memerlukan modal yang besar dan berdampak jangka panjang, aktivitas tersebut menuntut adanya keputusan strategis yang memerlukan pertimbangan teknik dan ekonomi yang baik.

Dari berbagai alternatif yang ada, penulis menggunakan analisa yaitu dengan menghitung produktivitas excavator dan metode ekonomi teknik sebagai tools untuk pemilihan investasi yaitu dengan metode Nilai Sekarang Bersih (NPV) dimana semua arus kas masuk dan keluar diperhitungkan pada waktu sekarang dan Nilai Tahunan Bersih dimana semua arus kas masuk dan keluar diperhitungkan merata pada setiap periode waktu.

Dengan perhitungan produktivitas dan investasi yang sudah dilakukan, alternative terbaik yang paling menguntungkan, lebih produktif, dipilihlah excavator Hitachi Zaxis 200 untuk diajukan kepada manajemen perusahaan untuk dibeli.

Kata Kunci: Investasi, Ekonomi Teknik, Produktivitas, NPV, Metode Nilai Tahunan

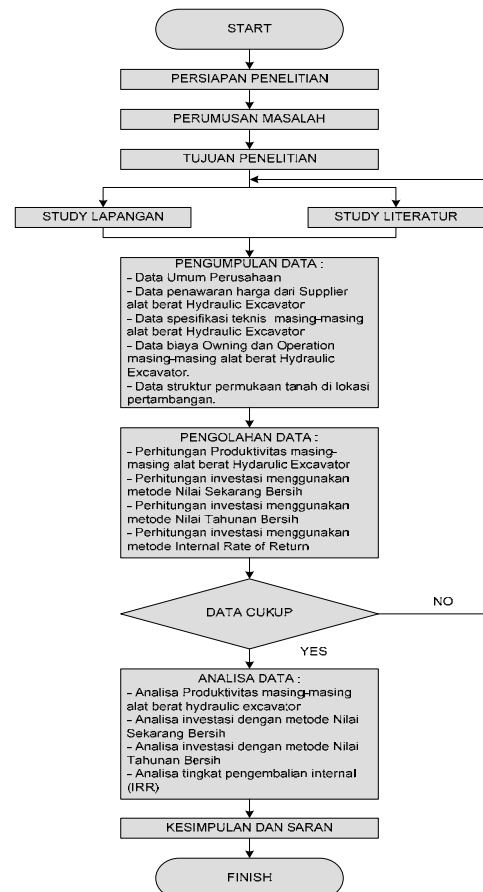
I. PENDAHULUAN

Peralatan berat sangat penting didalam proses pertambangan batu bara. Dikarenakan pentingnya peralatan berat ini, dan merupakan investasi yang besar dan sifatnya menunjang operasional dalam kegiatan pertambangan Batu Bara dibutuhkan suatu seleksi pemilihan yang tepat, efektif dan efisien sesuai dengan penggunaannya dan yang paling penting sesuai dengan budget dari perusahaan untuk pembelian asset (capital expenditures). Saat ini banyak distributor untuk penyedia peralatan berat yang cukup dikenal di Indonesia dengan merk, tipe dan spesifikasi masing-masing yang ditawarkan, tentunya dengan harga yang berbeda seperti PT Trakindo dengan merk Caterpillar produksi dari Amerika, PT United Tractor dengan merk Komatsu dari Jepang, PT Hexindo Adi Perkasa dengan merk Hitachi dari Jepang, Kobelco dari Jepang, Hyundai dan Samsung dari Korea Selatan serta manufaktur lain dari China.

Dibutuhkan suatu metode untuk menghitung seberapa tepatnya pemilihan peralatan berat dengan harga yang bersaing dan kualitas yang bagus, serta *after sales* nya mulai dari biaya perawatan, pemakaian bahan bakar, dan nilai sisa peralatan berat tersebut. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merencanakan investasi peralatan berat Hydraulic Excavator dalam rangka untuk membantu proses operasional penambangan di area atau konsesi pertambangan milik IR.
2. Menganalisa dan menilai kelayakan dari penambahan atau investasi peralatan berat Hydraulic Excavator sesuai dengan produktivitas alat tersebut.

II. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Kerangka Penelitian

III.PENGOLAHAN DATA

Didalam proses pengolahan data, hal pertama yang harus diketahui adalah produktivitas masing-masing alat berat didalam beroperasi dengan perbandingan *apple to apple*. Setelah itu baru kita hitung nilai investasi masing-masing alat berat excavator mana yang menguntungkan. Tahapan pengolahan data secara detail sebagai berikut :

1. Menghitung produktivitas masing-masing alat berat.
2. Menganalisa terhadap alternatif pilihan untuk investasi alat berat excavator dari beberapa alternatif manufaktur yang ditawarkan.
3. Menentukan pilihan investasi alat berat yang mana yang lebih menguntungkan untuk di usulkan kepada pihak manajemen perusahaan.



Gambar 2. Hydraulic Excavator

Perhitungan kapasitas produksi masing-masing alat berat

Data yang berhasil dikumpulkan untuk spesifikasi teknis masing-masing unit sebagai berikut :

BRAND	KOMATSU	HITACHI
TYPE	PC200-8	Zaxis 200-3
Engine Model	Komatsu SAA6D107E	Isuzu AA-6BG1T
Flywheel Power	148 hp (110 kW)	147 hp (108 kW)
Max. Pressure	37.300 kPa	-
Max. Flow	439 Liter / min	388 Liter / min
Swing Speed	12.4 rpm	13.3 rpm
Swing Hydraulic Pressure	28.900 kPa	30.405 kPa (4410 psi)
Operating Weight (Std. U/C)	20,001 kg	19,400 kg
Operating Weight (Long U/C)	21,437 kg	19,900 kg
Fuel Tank Capacity	400 L	360 L
Cooling System	20,4 L	23 L
Engine Oil	23.1 L	25 L
Swing Drive	6.6 L	6,2 L
Hydraulic Tank	135 L	135 L
Max. Travel Speed	5.5 kph	5,5 kph
Max. Drawbar Pull	178 kN (40,120 lb)	184 kN (41,500 lb)
Bucket Capacity	0,93 m ³	0,9 m ³
Max. Digging Depth	6,62 m	6,67 m
Max. Loading Height	7,11 m	6,78 m
Max. Digging Height	10,0 m	9,6 m
Max. Reach on Ground	9,87 m	9,75 m
Bucket Digging Force (SAE)	138 kN (31,080 lb)	129 kN (29,100 lb)
Stick Digging Force (SAE)	101 kN (22,710 lb)	102 kN (24,500 lb)
Distributor	PT. United Tractors	PT. Hexindo Adiperkasa

Untuk mendapatkan angka produksi aktual, menentukan efisiensi harus sesuai dengan kondisi operasi alat berat yang aktual pada saat bekerja. Akan tetapi dikarenakan produk alat berat ini termasuk baru/ unit new maka perhitungan efisiensi kerja yang didasarkan pada tabel ini diambil dengan kondisi operasi yang terbaik.

OPERATING CONDITIONS	JOB EFFICIENCY
Good	0.83
Average	0.75
Rather Poor	0.67
Poor	0.58

Waktu siklus atau cycle time excavator di hitung pada saat posisi bucket menggali/ mengisi (land bucket), boom mengayun (swing loaded), membongkar beban (dump bucket), dan mengayun balik tanpa beban (swing empty). Data yang didapatkan dari manufaktur untuk waktu siklus seperti terlihat dalam tabel dibawah ini :

	KOMATSU PC 200	HITACHI ZAXIS 200
Waktu Gali	10	12
Waktu Buang	6	6
Waktu Putar	6	4

Kapasitas bucket excavator sangat tergantung dari jenis material yang digali, oleh sebab itu ada faktor koreksi didalam menentukan kapasitas bucket sehingga volume dari bucket yang ada benar-benar terisi oleh material. Faktor koreksi tersebut dikalikan dengan kapasitas bucket (heaped capacity). Besarnya faktor koreksi dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

MATERIAL	BFF (%)
Tanah dan tanah organic	80 – 110
Pasir dan kerikil	90 – 100
Lempung keras	65 – 95
Lempung basah	50 – 90
Batuan dengan peledakan buruk	40 – 70
Batuan dengan peledakan baik	70 – 90

Dari data-data yang sudah didapat dan dikumpulkan dan setelah itu dihitung menggunakan rumus produktivitas masing-masing alat berat excavator didapatkan hasil sebagai berikut :

Jenis Excavator	Produktivitas (M ³ /jam)
Komatsu PC 200	74,1024
Hitachi	82,7446

Zaxis 200

Perhitungan investasi menggunakan metode Nilai Sekarang Bersih (Present Worth Method).

Dari alternatif pilihan investasi alat berat excavator yang diterima dari supplier/ distributor, didapatkan data-data seperti yang disampaikan pada tabel dibawah ini:

Keterangan	Komatsu PC 200	Hitachi Zaxis 200
Harga Mesin (US\$)	115.000	119.000
Umur Mesin (Tahun)	5	5
Biaya Operasional (US\$/ Tahun)	146.340	137.460
Biaya Perawatan (US\$/ Tahun)	24.000	25.500
Nilai Jual Kembali (US\$)	11.500	11.900
Bunga (%)	10	10

Dengan menggunakan metode net present value dimana semua arus kas keluar dan masuk dihitung berdasarkan nilai sekarang dengan menambahkan biaya investasi, biaya perawatan dan biaya operasional, didapatkan hasil nilai sekarang pengeluaran sebagai berikut :

Jenis alat berat	Currency	Total Pengeluaran nilai sekarang
Komatsu PC 200	US\$	760.723,168
Hitachi Zaxis 200	US\$	736.747,138

Selain pengeluaran dihitung pula nilai sekarang pendapatan untuk masing-masing excavator dan didapatkan hasil sebagai berikut :

Jenis alat berat	Currency	Nilai sekarang pendapatan (Nilai akhir)
Komatsu PC 200	US\$	7.140,58
Hitachi Zaxis 200	US\$	7.388,948

Perhitungan investasi menggunakan metode Nilai Tahunan (Annual Worth Method).

Metode nilai tahunan digunakan untuk mengetahui arus kas yang masuk dan keluar diperhitungkan dalam sederetan nilai uang tahunan yang sama besar. Dalam diagram arus kas yang ada untuk masing-masing alat berat excavator didapatkan nilai tahunan bersih pengeluaran sebagai berikut :

Jenis alat berat	Currency	Total Pengeluaran nilai tahunan
Komatsu PC 200	US\$	200.677
Hitachi Zaxis 200	US\$	194.352,63

Sedangkan untuk nilai tahunan pendapatan (nilai sisa) adalah sebagai berikut :

Jenis alat berat	Currency	Nilai tahunan pendapatan (Nilai akhir/ salvage value)
Komatsu PC 200	US\$	1.883,7
Hitachi Zaxis 200	US\$	1.949,22

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN**Analisa Produktivitas Excavator**

Produktivitas alat pada kenyataan di lapangan tidak sama jika dibandingkan dengan kondisi ideal alat dikarenakan hal-hal tertentu seperti topografi, keahlian operator, pengoperasian dan pemeliharaan alat. Berdasarkan teori yang ada, pengalaman di lapangan, serta perhitungan dapat diketahui bahwa faktor – faktor yang secara langsung menyebabkan tidak tercapainya target produksi *excavator* adalah waktu siklus/ cycle time dan produksi per siklus (kapasitas bucket dikalikan faktor koreksi) . Sedangkan faktor yang secara tidak langsung menyebabkan produksi tidak tercapai adalah kondisi alam/ topografi tanah.

Analisis waktu siklus/ cycle time excavator

Satu waktu edar *excavator* dihitung dari waktu penggalian – mengayun saat *bucketnya* penuh - waktu pemuatan truk – mengayun saat *bucketnya* kosong. Besarnya waktu edar *excavator* dipengaruhi oleh jenis material yang digali, besarnya sudut ayunan, dan kemampuan *excavator* itu sendiri. Dari rumus

menghitung produktivitas excavator, semakin tinggi waktu edar/ cycle time maka nilai produktivitas semakin rendah begitu pula sebaliknya semakin rendah waktu cycle time maka produktivitas yang dihasilkan semakin besar. Dari tabel yang ada cycle time excavator Hitachi lebih rendah artinya dalam bergerak atau bermanuver excavator ini lebih cepat daripada excavator Komatsu

Analisis keterisian bucket excavator

Produksi per siklus atau faktor keterisian bucket dihasilkan dari ukuran bucket dikali dengan faktor

Jenis alat berat	Currency	Nilai tahunan bersih (NTB)
Komatsu PC 200	US\$	- 198.793,3
Hitachi Zaxis 200	US\$	- 192.403,410

koreksi. Faktor koreksi disini perlu adanya untuk menyatakan volume dari bucket excavator yang benar-benar terisi oleh material.

Faktor koreksi ini disebut faktor keterisian *bucket* atau faktor keterisian *bucket*.

Semakin besar nilai faktor keterisian *bucket*, maka semakin besar produksinya. Dari perhitungan yang dihasilkan faktor keterisian bucket excavator Komatsu lebih besar dibandingkan dengan excavator Hitachi.

Kesimpulannya untuk produktivitas masing-masing alat berat excavator berdasarkan perhitungan dengan efisiensi kerja yang sama, tetapi dengan waktu siklus/ cycle time yang lebih rendah excavator **Hitachi Zaxis 200 lebih produktif dibandingkan Komatsu PC 200.**

Analisa pengambilan keputusan investasi excavator

Dari beberapa metode analisa ekonomi teknik untuk menghitung investasi mana yang terbaik untuk memilih alat berat excavator bagi PT IR, yang dipilih yaitu dengan menggunakan metode analisa nilai sekarang bersih (present worth analysis) dan metode analisa nilai tahunan bersih (annual worth analysis).

Analisa nilai sekarang bersih (present worth analysis)

Dengan menggunakan metoda nilai sekarang bersih (NSB = NPV), dimana semua arus kas masuk dan arus keluar diperhitungkan terhadap titik waktu sekarang, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Jenis alat berat	Currency	Nilai sekarang bersih (NPV)
Komatsu PC 200	US\$	- 753.582,588

Hitachi Zaxis 200	US\$	- 729.358,190
-------------------	------	---------------

Dari table hasil perhitungan nilai sekarang bersih (NSB = NPV) masing-masing alat excavator diketahui :

- NSB excavator Komatsu PC200 = - 753.582,588 US\$
- NSB excavator Hitachi Zaxis 200 = - 729.358,190 US\$

NSB Hitachi Zaxis 200 > NSB Komatsu PC200, untuk situasi dimana terdapat lebih dari satu alternative, maka alternatif dengan nilai NSB terbesar merupakan alternative investasi yang paling menarik untuk dipilih, maka **Hitachi Zaxis 200 lebih menguntungkan.**

Analisa nilai tahunan bersih (annual worth analysis)

Metode nilai tahunan bersih (annual worth analysis) digunakan untuk mengetahui arus kas masuk dan arus kas keluar yang terjadi setiap tahun dengan nilai uang tahunan yang sama besar, didapatkan hasil sebagai berikut :

NTB Hitachi Zaxis 200 > NSB Komatsu PC200, untuk situasi dimana terdapat lebih dari satu alternative, maka alternatif dengan nilai NTB terbesar merupakan alternative investasi yang paling menarik untuk dipilih, maka **Hitachi Zaxis 200 lebih menguntungkan.**

Pemilihan investasi alat berat hydraulic excavator

Dengan kondisi saat ini dimana harga minyak dunia sangat tinggi berbanding lurus dengan harga batu bara sebagai pengganti energy alternatif yang lain yang digunakan sebagai pembangkit listrik dan banyak digunakan di Negara China dan India. Selain itu diperkirakan pada tahun 2012 harga batu bara akan naik sampai 10% per ton nya (sumber <http://www.tempo.co/read/news/2012/01/21/090378742/Harga-Batu-Bara-Akan-Naik-10-Persen>), maka dengan investasi ini perusahaan optimis bisa cepat berproduksi dan mengembalikan modal usaha serta menghasilkan laba.

Pemilihan alternatif ini dilakukan oleh penulis agar jenis alat berat dari brand tertentu yang dipilih dari 2 alternatif yang ada, nantinya benar-benar bisa memberikan keuntungan bagi perusahaan. Dari *tools* ekonomi teknik yang digunakan, maka didapatkan perbandingan sebagai berikut :

Dari kesimpulan tabel analisa menggunakan metode perhitungan ekonomi teknik didapatkan pilihan alternatif investasi jatuh kepada mesin alat berat **Hitachi Zaxis 200** sehingga hasil inilah yang akan diajukan ke manajemen agar dipertimbangkan untuk dibeli.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dengan mengumpulkan data dan mengolah nya dengan cara perhitungan menggunakan rumus

produktivitas alat berat excavator dan *tools* ekonomi teknik, ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Produktivitas alat berat excavator dipengaruhi oleh kapasitas bucket, faktor koreksi, waktu siklus (cycle time) dan efisiensi kerja.
2. Dari perhitungan produktivitas antara excavator Komatsu PC200 dengan Hitachi Zaxis 200, diperoleh bahwa produktivitas Hitachi Zaxis 200 lebih produktif. Walaupun dari spesifikasi teknis Komatsu PC200 memiliki ukuran bucket lebih besar akan tetapi dari waktu siklus/ cycle time, Hitachi Zaxis 200 lebih cepat sehingga dalam perhitungan pembagiannya Hitachi Zaxis 200 lebih produktif.
3. Dalam membandingkan alternative-alternatif, harus dibuat konsekuensi-konsekuensi yang sesuai satu sama lainnya selama masih dapat dilaksanakan. Yaitu, konsekuensi itu harus dinyatakan dalam angka dan satuan-satuan yang sama harus digunakan pada angka-angka ini. Di dalam keputusan ekonomi, satuan-satuan uang merupakan satu-satunya yang memenuhi spesifikasi.
4. Walaupun terlihat harga mesin alat berat Hitachi Zaxis 200 lebih mahal dibandingkan dengan Komatsu PC200, dari perhitungan metode Nilai Sekarang Bersih dan Nilai Tahunan Bersih, investasi yang lebih menguntungkan yaitu dengan pembelian Hitachi Zaxis 200.
5. Biaya-biaya yang mempengaruhi didalam perhitungan investasi ini antara lain biaya investasi, biaya operasional, biaya perawatan dan nilai jual kembali.

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan perusahaan, antara lain sebagai berikut :

1. Dari produktivitas dan nilai investasi yang sudah dihitung, usulan agar dipertimbangkan oleh perusahaan yaitu membeli alat berat excavator Hitachi Zaxis 200.
2. Agar perusahaan didalam membandingkan alternatif tidak hanya didasarkan kepada harga yang murah, tetapi dari sisi lain perlu dicermati misalnya quality, delivery, biaya after sales (biaya operasional, perawatan dan biaya lainnya).
3. Dalam pengoperasian dilapangan ada faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja yaitu keahlian operator, oleh karena itu disarankan perusahaan merekrut operator yang ahli dan memberikan training yang tepat agar produktivitas alat berat terpenuhi sesuai harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afrizal Nursin. 1995. *Alat Berat*. Bandung: Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.
- [2] Bagus Juang. 2009. *Kajian Analisis Produktifitas Alat Berat*. Depok : Politeknik Negeri Jakarta Div Jalan Tol.

- [3] Degarmo E. Paul, Sullivan G. William, Bontadelli A. James, Wicks M. Elin. Alih Bahasa : Tim Penerjemah PT Prenhallindo. 2001. *Engineering Economy Tenth Edition*. Jakarta : PT Prenhallindo.
- [4] Ferianto. 2007. *Ekonomi Teknik : Analisa Pengambilan Keputusan*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- [5] Giatman M. 2005. *Ekonomi Teknik*. Jakarta : PT Raja Grafindo Persada.
- [6] Grant L. Eugene, Ireson W. Grant, Leavenworth S. Richard. Alih Bahasa : Rineka Cipta. 2001. *Dasar-dasar Ekonomi Teknik Jilid 1*. Jakarta : Rineka Cipta.
- [7] Indonesianto, Yanto. (2009), *Pemindahan Tanah Mekanis*, Jurusan Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta
- [8] Muhammad Kholil. *Modul Ekonomi Teknik*. Universitas Mercubuana : Pusat Pengembangan Bahan Ajar – UMB.
- [9] Pamangku Aji. 2011. *Evaluasi Teknis Produksi Excavator Untuk Pengupasan Lapisan Penutup Pada Penambangan Batu Bara PIT K, Site Binungan*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- [10] Syarifah. (2006), *Kajian Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut PT. Sapta Indra Sejati untuk Pengupasan Tanah Penutup Pada Penambangan Batubara Binungan Mine Operation PT. Berau Coal Kalimantan Timur*, Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".

Analisa DMAIC Pada Proyek Kerja Lapangan PT Kotaminyak Internusa

Muhammad Kholil, Timotius Andrianto

Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650

E-mail : m.kholil2009@gmail.com; timoismyname@yahoo.co.id

Abstrak -- Persaingan dalam dunia bisnis menyebabkan setiap perusahaan berusaha melakukan optimalisasi, salah satunya dengan meningkatkan produktifitas dan menekan anggaran perkerjaan. Masalah yang dihadapi adalah menganalisa masalah yang kompleks, sehingga didapatkan akar dari permasalahan, hal ini berkaitan dengan latar belakang perusahaan di bidang service dengan tipe pekerjaan yang tidak kontinyu sehingga mengakibatkan sulitnya menemukan akar permasalahan dari masalah yang timbul.

Keadaan tersebut mengakibatkan metode analisa DMAIC dipakai mencari akar dari permasalahan yang ada. Metode penelitian yang dipakai adalah studi pustaka serta studi lapangan. Sumber pustaka akan diambil dari buku-buku yang berkaitan dengan metode DMAIC. Sedangkan data uang akan dianalisa akan diambil dari laporan pengeluaran proyek selama 9 bulan periode Maret 2011- Februari 2012. Penelitian dilakukan di beberapa proyek dan dianalisa di workshop PT Kotaminyak Internusa.

Dengan adanya data-data pengeluaran proyek dan metode analisa DMAIC, maka penulis dapat menganalisa secara terperinci masalah-masalah yang berkaitan dengan produktifitas serta pengeluaran dalam proyek. Sehingga perbaikan yang dilakukan dapat tepat sasaran dan dapat diimplementasikan pada proyek yang akan datang. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penurunan produktifitas disebabkan oleh waktu menunggu peralatan dan bahan yang tidak lengkap. Ketidak lengkapan peralatan dan bahan tersebut mengakibatkan biaya dalam proyek meningkat, sehingga perbaikan dalam persiapan proyek merupakan solusi yang tepat dalam meningkatkan produktifitas kerja, serta penekanan pada kenaikan biaya selama proyek.

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan minyak dan gas alam ini perlu didukung oleh kehandalan peralatan, serta faktor keamanan semua peralatan di dalamnya. Satu kesalahan atau kegagalan peralatan dapat memberikan dampak yang serius, baik dalam keamanan maupun dalam produktifitas. Bila dikonversikan ke dalam nilai finansial akan membuat kerugian dalam jumlah yang sangat besar. Untuk mencitakan kehandalan dan nilai keamanan suatu sistem atau peralatan perlu dilakukan

tindakan perawatan atau maintenance. Tindakan perawatan dapat berupa tindakan perawatan sebagian atau parsial dan tindakan perawatan total.

PT Kotaminyak Internusa, khususnya divisi *service* adalah perusahaan yang melakukan tindakan perawatan dan perbaikan *valve* dalam proyek *Turn Around Maintenance*, kualitas serta ketepatan waktu merupakan hal yang utama untuk memuaskan konsumen. Dengan semakin tingginya persaingan di bidang perbaikan *valve* maka untuk membuat perusahaan semakin kompetitif diperlukan usaha-usaha perbaikan atau pengembangan yang bisa memperkecil biaya dalam proyek. Usaha pengembangan tersebut dapat dilakukan di *workshop* maupun pada saat pekerjaan di lokasi. Namun pengembangan atau perbaikan yang akan dilakukan sulit dilakukan karena masalah-masalah dalam proyek jangka pendek sangat bervariasi.

Keadaan ini mempersulit proses identifikasi permasalahan untuk melakukan pengembangan, oleh karena itu diperlukan alat pemecahan masalah yang sesuai dengan kondisi tersebut. Saat ini banyak pendekatan dan cara-cara untuk melakukan pengembangan dalam perusahaan, salah satunya dengan metode DMAIC. DMAIC biasa digunakan di perusahaan yang memiliki permasalahan yang susah diuraikan, DMAIC sendiri merupakan alat pemecahan masalah yang runtut dan berfungsi untuk menentukan prioritas masalah mana yang akan diselesaikan.

Identifikasi Masalah

1. Penerapan metode DMAIC untuk meningkatkan produktivitas proyek perbaikan *valve* di unit pengolahan minyak.
2. Penerapan metode DMAIC untuk menurunkan pengeluaran dalam proyek perbaikan *valve* di unit pengolahan minyak.

Tujuan Penelitian

Dengan adanya Tugas Akhir ini, kami berharap agar pembaca / perusahaan dapat:

1. Menemukan penyebab penurunan produktifitas dan peningkatan biaya pada saat perbaikan *valve*.
2. Menghasilkan usulan perbaikan untuk mengurangi jumlah pengeluaran di proyek

II. LANDASAN TEORI

Landasan – landasan teori yang menyangkut diantaranya :

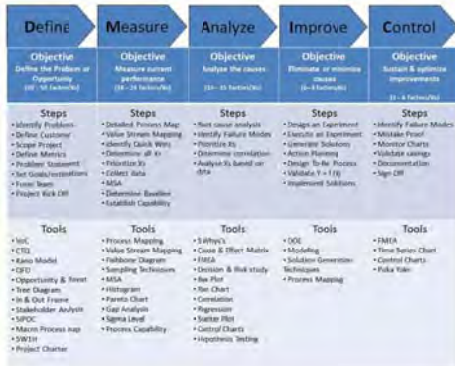
1. Manajemen proyek dan jenis proyek
2. Manajemen kualitas dan biaya kualitas

3. *Six sigma* dan DMAIC
4. DMAIC sebagai alat pemecahan masalah.
5. Tahap definisi
6. Tahap pengukuran
7. Tahap analisa
8. Tahap pengembangan
9. Tahap kontrol

DMAIC sebagai alat pemecahan masalah

Six sigma merupakan pendekatan menyeluruh untuk menyelesaikan masalah dan peningkatan proses melalui fase DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). DMAIC merupakan jantung analisis *six sigma* yang menjamin keinginan pelanggan yang berjalan dalam keseluruhan proses sehingga produk yang dihasilkan memuaskan pelanggan.

1. *Define* adalah fase menentukan masalah, menetapkan persyaratan-persyaratan pelanggan, mengetahui CTQ (*Critical to Quality*).
2. *Measure* adalah fase mengukur tingkat kecacatan suatu produk atau pelayanan.
3. *Analyze* adalah fase menganalisis faktor-faktor penyebab masalah/cacat.
4. *Improve* adalah fase meningkatkan proses dan menghilangkan faktor-faktor penyebab cacat.
5. *Control* adalah fase mengontrol hasil perubahan yang dilakukan



Tahap Definisi

Tahap *Define* atau definisi merupakan tahap awal dalam siklus DMAIC, tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan dengan mendeskripsikan suatu masalah yang bertujuan untuk meningkatkan kepuasan konsumen.

Langkah-langkah dari tahap ini adalah:

1. Menentukan masalah yang akan diselesaikan dengan matriks prioritas.
2. Mengidentifikasi pihak-pihak yang berkaitan dengan masalah yang akan dipecahkan melalui diagram SIPOC.
3. Mencari apa keinginan dari konsumen melalui *Voice Of Customer*.
4. Menentukan kebenaran dari suara konsumen melalui analisa Kano.

5. Menentukan keinginan konsumen yang akan dicapai secara terukur, melalui *Critical to Quality matrix*.

Tahap Pengukuran

Tahap *measure* atau pengukuran merupakan tahap untuk menentukan pokok pengukuran, tipe data yang nantinya akan diambil, cara pengumpulan data sehingga dapat menyajikan data yang akurat untuk proses analisa.

Langkah-langkah dari tahap ini adalah:

1. Mengidentifikasi proses yang berkaitan dengan permasalahan dengan menggunakan metode *process mapping*.
2. Membuat rencana pengumpulan data dan tipe data yang akan diambil.
3. Mengumpulkan data.
4. Membuat kesimpulan dari data yang sudah terkumpul.

Tahap Analisa

Tahap analisa merupakan tahap untuk mengidentifikasi masalah yang mempengaruhi hasil atau *output* dari proses yang berlangsung. Identifikasi ini untuk menentukan mana masalah mempengaruhi input secara signifikan, sehingga dapat dilakukan perbaikan pada input tersebut.

Langkah-langkah tahap analisa antara lain:

1. Mendiskusikan penyebab-penyebab masalah dengan metode *brainstorming*.
2. Menganalisa permasalahan dengan *fish bone diagram*.
3. Pokok permasalahan yang didapat dari *fish bone diagram* dianalisa ulang dengan *5 Why's analysis*.
4. Membuat kesimpulan dari hasil analisa.

Tahap Implementasi

Tahap implementasi merupakan hasil dari analisa rangkaian pemecahan masalah, dalam tahap ini suatu akar permasalahan akan dicari solusi yang paling memungkinkan. Tahapan dari proses implementasi adalah:

1. *Brainstorming* mengenai solusi permasalahan.
2. Memilih solusi dengan menggunakan *solution selection matrix*.
3. Membuat rencana implementasi dan mengimplementasikan solusi.
4. Mengevaluasi hasil implementasi dengan membandingkan hasil sesudah dan sebelum perbaikan.

Tahap Kontrol

Tahap kontrol merupakan tahap untuk menjaga hasil perubahan agar tetap kontinyu, hal ini merupakan hal yang penting dalam rangkaian proyek pemecahan masalah. Tahap kontrol dapat berupa standart prosedur dan dievaluasi dengan tabel statistik, urutan tahap kontrol adalah:

1. Pembaharuan prosedur standar karena ada perubahan yang ditimbulkan oleh perbaikan yang dilakukan.
2. Melakukan training kepada pihak yang berkaitan, mengenai perbaikan yang dilakukan.
3. Membuat pemantauan hasil dengan jangka waktu tertentu.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Objek / Subjek Penelitian

Objek penelitian adalah divisi *service* di PT Kotaminyak Internusa. Divisi *service* memiliki dua jenis pekerjaan utama, yaitu pekerjaan yang dikerjakan di *workshop* dan pekerjaan yang dikerjakan di lokasi/ insitu. Pekerjaan yang dilakukan di lokasi memiliki bobot 70 persen dari total pekerjaan di setiap tahunnya. Karena bobotnya yang lebih besar dan banyak permasalahan yang kompleks, maka pekerjaan di lokasi perlu mendapatkan perhatian dalam perbaikan.

Kualitas, ketepatan waktu dan biaya merupakan tolak ukur keberhasilan di divisi *service*. Faktor tersebut menjadi pertimbangan *Service Engineer* untuk merencanakan sebuah persiapan sebuah pekerjaan. Sehingga identifikasi aspek- aspek yang mempengaruhi mutu, ketepatan waktu dan biaya akan menjadi bahan pertimbangan untuk perbaikan. Penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan produktifitas dan pengurangan biaya dengan metode DMAIC dilakukan oleh tim *Engineer* di PT Kotaminyak Internusa.

Perumusan Masalah

Dalam perumusan masalah,peneliti fokus kepada bagaimana Penerapan metode DMAIC untuk meningkatkan produktivitas proyek perbaikan *valve* di unit pengolahan minyak dan Penerapan metode DMAIC untuk menurunkan pengeluaran dalam proyek perbaikan *valve* di unit pengolahan minyak.

Studi Pustaka & Studi Lapangan

Studi Pustaka dengan melakukan studi literatur dari buku, *e-book*, modul training, internet, tentang DMAIC sebagai alat pemecahan masalah. Studi Lapangan mengidentifikasi, analisa tim ataupun analisa personal berdasarkan data- data di lapangan.

Pengumpulan & Pengolahan data

Mengumpulkan dan mengolah data untuk mendapatkan akar permasalahan yang menyebabkan nilai dari suatu proyek dibawah standar yang telah ditentukan. Data diambil dari laporan keuangan proyek, *key performance indicator*, dan laporan proyek secara keseluruhan. Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis menggunakan metode studi lapangan dengan cara mencari data yang mengakibatkan tidak tercapainya kualitas, waktu dan biaya suatu proyek selama 9 bulan sebelum penelitian (Maret 2011- Februari 2012).

Analisa Data & Hasil

Dengan adanya data-data yang tersedia, maka penulis bisa menganalisa masalah dengan metode DMAIC, sehingga didapatkan pemecahan masalah yang diharapkan bisa meningkatkan produktifitas dan mengurangi biaya pekerjaan.

Kesimpulan & Saran

Setelah melakukan analisa data dan hasil penelitian, maka akan didapat beberapa kesimpulan dan saran perbaikan untuk perbaikan yang berkelanjutan di divisi servis PT Kotaminyak Internusa.

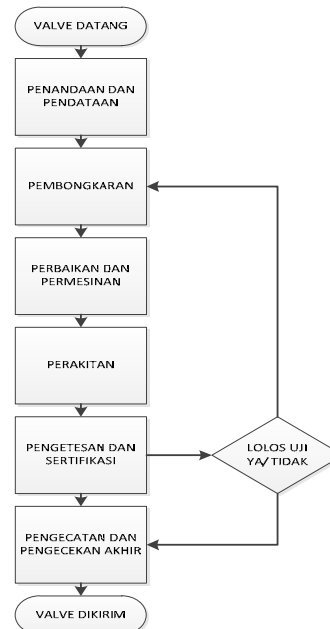
IV. PENGOLAHAN DATA

Profil Perusahaan

Kotaminyak Internusa dengan visinya “*The Gateway to Energy World and Beyond*” didirikan tahun 1999 sebagai perusahaan yang bergerak di dalam bisnis minyak dan gas alam. Usaha awal perusahaan ini dirintis dengan perdagangan serta supplier alat-alat di bidang minyak dan gas alam, salah satunya dengan perdagangan *valve*. Karena dinilai perlunya pelayanan purna jual, maka dibentuklah divisi servis yang fokus dalam perbaikan *valve*. Perbaikan *valve* dari lokasinya dapat dibedakan menjadi 2 macam, perbaikan yang dilakukan di *workshop* dan perbaikan yang dilakukan di area kerja atau sering disebut dengan perbaikan insitu.

Diagram alur perbaikan

Proses perbaikan *valve* melewati beberapa tahapan yang harus dilakukan agar mendapatkan kualitas produk yang dihasilkan sesuai dengan standar *American Petroleum Standart* atau sering disebut dengan standar API. Diagram alur perbaikan antara lain :



Pengeluaran proyek

Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian terhadap pengeluaran yang terjadi selama proyek atau pekerjaan insitu. Pengeluaran dalam suatu proyek dapat dibedakan menjadi 2 bagian besar, yaitu:

1. pengeluaran tetap, yaitu pengeluaran yang menjadi pengeluaran bulanan divisi servis. Contohnya pendapatan bulanan teknisi, sertifikasi alat dan pengecekan kesehatan.
2. Pengeluaran insitu, merupakan pengeluaran di site yang nanti akan menjadi faktor pengurangan dalam perhitungan produktifitas proyek. Contohnya: pembelian alat, pembelian bahan, transportasi, biaya komunikasi, dan akomodasi.

Pengumpulan Data

Setelah dilakukan pengamatan dan pencatatan secara langsung dilapangan, maka pengeluaran biaya digolongkan menjadi beberapa bagian,

1. MAN: biaya tenaga kerja diluar biaya pegawai tetap.
2. MOT: biaya perpindahan, dapat berupa biaya perpindahan barang ataupun biaya perpindahan tenaga kerja.
3. TO: biaya pembelian peralatan.
4. CO: biaya pembelian bahan baku.
5. COM: biaya komunikasi selama proyek.
6. AP: biaya untuk kelancaran proyek.
7. DOC: biaya dokumentasi dan laporan pekerjaan.

V. ANALISA DATA

Pekerjaan perbaikan *valve* di site tergolong sebagai pekerjaan proyek, hal ini dikarenakan ciri pokok proyek terdapat pada pekerjaan ini, ciri pokok proyek yang terdapat pada pekerjaan perbaikan *valve* adalah :

1. Pekerjaan perbaikan *valve* memiliki tujuan khusus, yaitu membuat *valve* berfungsi normal dengan kriteria tidak ada kebocoran dan hasil test lolos standar API.
2. Terdapat batasan biaya untuk mencapai kriteria kualitas yang sudah distandarkan.
3. Pekerjaan perbaikan *valve* memiliki tenggat waktu terbatas dan bersifat sementara, biasanya dikerjakan pada saat rentang berhentinya suatu unit.
4. Pekerjaan perbaikan *valve* merupakan pekerjaan non rutin, dikarenakan variasi pekerjaan didalamnya.

Sedangkan menurut komponen kegiatan utamanya, maka proyek perbaikan *valve* dapat digolongkan sebagai Proyek *Engineering Manufactur* karena proyek ini menghasilkan produk baru yang meliputi kegiatan analisa, desain *engineering*, pengembangan produk dan perakitan kembali.

Karena proyek perbaikan *valve* memiliki tujuan khusus, maka kualitas pekerjaan yang dihasilkan memiliki peranan yang penting untuk mencapai tujuan itu. Kualitas diidentikkan dengan kepuasan konsumen sehingga dalam proyek perbaikan *valve*, kualitas

dengan *manufacturing based approach* merupakan kesesuaian antara hasil perbaikan dengan standar yang ditentukan oleh BP Migas. Dalam hal ini standar API mencakup standar yang diberikan oleh BP Migas, sehingga *valve* yang diperbaiki layak digunakan untuk operasi perusahaan minyak dan gas.

Untuk menciptakan kualitas yang baik, maka dibutuhkan biaya. Biaya dalam proyek perbaikan *valve* merupakan sesuatu yang harus ditekan tanpa mengurangi kualitas pekerjaan, penurunan biaya bertujuan agar proyek itu semakin kompetitif sehingga dapat semakin bersaing dengan kompetitor lainnya. Usaha usaha penurunan biaya dilakukan, salah satunya dengan metode DMAIC, untuk menganalisa permasalahan dan menentukan solusi dari permasalahan itu.

Tahap Define

PT. Kotaminyak untuk mencapai visinya ” *The Gateway to Energy World and Beyond*” memerlukan perbaikan yang mendukung visi tersebut. Perbaikan yang akan dilakukan berlatar belakang pada pengeluaran yang keluar selama kurun waktu 9 bulan.



MATRIX DIAGRAM

No	Pengeluaran perusahaan	WD PERUSAHAAN "The Gateway to Energy World and Beyond"						SCORE TOTAL
		Proyeksi: 10 bulan sebelum berakhir			Memprediksi: 10 bulan setelah pengoperasian			
		Skala	Cara pelaksanaan	Struktur	Kualitas	Skala	Waktu	
1	Pembelian peralatan di luar rencana	3	3	3	3	3	3	42
2	Pembelian bahan di luar rencana	3	3	3	3	3	3	36
3	Biaya transportasi atau perpindahan	3	1	1	3	3	3	24
4	Biaya non teknis	3	3	1	1	3	1	12
5	Biaya logistik	3	1	1	1	3	3	12
6	Biaya tenaga kerja diluar rencana	3	1	1	1	3	3	18
7	Biaya dokumentasi	3	3	1	3	3	3	24
8	Biaya transportasi kerja	3	3	3	3	3	3	36
9	Biaya komunikasi	1	1	1	3	3	3	10

Legenda:
 Skala 1: sangat minim/kecil
 Skala 2: kecil
 Skala 3: ada/menggunakan secara berkala
 Skala 4: sangat banyak/sering
 Skala 5: sangat banyak/sering
 Skala 6: sangat banyak/sering

PROJECT TERPLIN: Pembelian peralatan di luar rencana

SIPOC DIAGRAM

PROCESS : PEKERJAAN REPAR VALVE

Supplier (s)	Input	Process	Output	Customer (s)
WAREHOUSE, ENGINEER	PERALATAN	Pekerjaan repar valve	KUALITAS DAN KETEPATAN HASIL SELESAINYA PEKERJAAN REPAR VALVE	EKSEKUTOR
EKSEKUTOR	TENAGA KERJA			KONSUMEN
WAREHOUSE	BAHAN BAKU			EKSEKUTOR
ENGINEER	ENERGI			EKSEKUTOR
ENGINEER	PERENCANAAN			KONSUMEN

Identify & prioritize Customer requirements

PROCESS : PEKERJAAN PERBAIKAN VALVE

No	OUTPUT	CUSTOMER	Customer Requirements		Categories of Requirements			Priority	Sering terdapat? Y/T	Data terdapat? Y/T	DECISION
			General (GOC)	Specific (CTQ)	Must be	More is better	Outright				
1.	EKSEKUTOR	ALAT DAN BAHAN SUDAH DIPERSIAPKAN SEBELUM PEKERJAAN DIMULAI	PERALATAN LENGKAP	V			2	Y	T	MENYUMBUHKAN DATA JUMLAH PERALATAN	
2.	PEKERJA	ALAT DAN BAHAN SUDAH DIPERSIAPKAN SEBELUM PEKERJAAN DIMULAI	PERALATAN RUPA DAN ADA INVENTORY PERALATAN	V			4	Y	T	DATA TIDAK TERSEDIA	
3.	PEKERJA	PEKERJAAN PERBAIKAN VALVE	TERSEDIA BAHAN SELAMA BERLANGSUNG	V			1	Y	Y	MENYUMBUHKAN DATA PEMBELIAN DI PROYEK	
4.	KONSUMEN	TEKAD ADA KETERLAMBATAN DARI PERENCANAAN DAN/ATAU	KETEPATAN PERHITUNGAN STANDAR WAKTU PEKERJAAN	V			5	T	Y	DATA TIDAK TERSEDIA	
5.	KONSUMEN	ADA STANDAR PEKERJAAN YANG DIJALANKAN	PEKERJAAN DIJALANKAN SESUAI STANDAR API	V			3	T	Y	DATA TIDAK TERSEDIA	

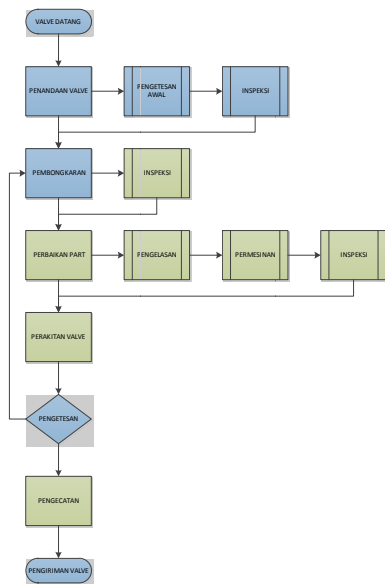
VOICE OF CUSTOMER: VALVE REPAIR

NO	COSTUMER	INPUT	SPECIFICATION	OTHER	TRUE NEED
1	KONSUMEN	KETEPATAN WAKTU DARI ESTIMASI YANG DIBERIKAN			TEKAD ADA KETERLAMBATAN DARI PERENCANAAN JERAL
2	PEKERJA		PERALATAN YANG LENGKAP DAN BAHU		
3	PEKERJA			PROGRES TERLAMBAT KARENA PERSIAPANNYA KURANG	ALAT DAN BAHAN SUDAH DIPERSIAPKAN SEBELUM PEKERJAAN DIMULAI
4	PEKERJA	BAHAN BAKU TIDAK TERLAMBAT DAN BAKU			
5	KONSUMEN	KUALITAS SESUAI STANDAR API			ADA STANDAR PEKERJAAN YANG DIJALANKAN BERDASARKAN STANDAR API

Kesimpulan dari analisa CTQ adalah pengumpulan data pembelian di proyek, karena pembelian data di proyek mengindikasikan bahwa adanya ketidak siapn yang dapat mempengaruhi produktifitas dan kualitas selama pekerjaan di lapangan.

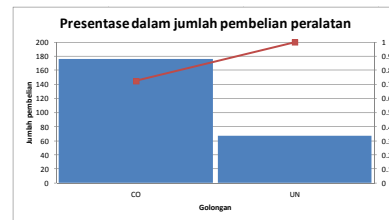
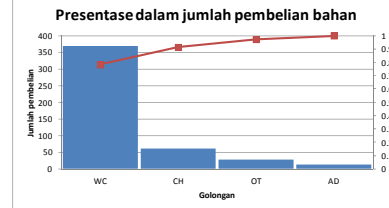
Tahap pengukuran

Tahap pengukuran adalah tahap mencari data yang sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan, tahap ini akan mengolah hasil yang didapatkan dari CTQ.



DATA COLLECTION PLAN

	CTQ: Data pembelian di proyek
Project measurements	Biaya proyek
Operational Definition	Pencatatan semua pengeluaran di proyek
Data Sources	Data dari manajer proyek
Sample Size	Data proyek 9 bulan terakhir
Sampling scheme	100%
PIC	Timotius Andrianto
Form	Project expense report
Procedure	1. Pencatatan semua pengeluaran di proyek 2. Pengelompokan pengeluaran 3. Meminta rincian pengeluaran dari procurement 4. Memasukkan data ke dalam form expense report



Kesimpulan tahap pengukuran:

1. Pembelian bahan-bahan yang umumnya dipersiapkan warehouse memiliki porsi tertinggi dalam presentase jumlah pembelian bahan.
2. Pembelian peralatan yang seharusnya tersedia di area kerja memiliki porsi tertinggi dalam presentase jumlah pembelian peralatan.

Tahap analisa

Dari kesimpulan tahap pengukuran didapatkan bahwa pembelian bahan yang seharusnya disediakan warehouse, dan pembelian peralatan yang seharusnya ada di area kerja merupakan penyebab menurkannya produktivitas dalam bekerja. Maka permasalahan itu akan dianalisa dengan berbagai metode.

BRAIN STORMING

MASALAH: BANYAKNYA PEMBELIAN BAHAN YANG SEHARUSNYA DISUPAI OLEH WAREHOUSE

NO	PENYEBAB MASALAH
1	PERSIAPAN KURANG
2	BARANG TERLAMBAT DATANG
3	BANYAK DISEMBANGKAN SEKITRI
4	PENAKSIAN TERLALU BURUK
5	TIDAK ADA TEMPAT KHUSIS BAHAN
6	ADA BAHAN YANG LUPA DIKIRIM

MASALAH: BANYAKNYA PEMBELIAN PERALATAN YANG SEHARUSNYA TERSEDIA DI AREA KERJA

NO	PENYEBAB MASALAH
1	ALAT SERING HILANG
2	WAREHOUSE LUPA MENGRIM
3	ALAT RUSAK
4	JUMLAH ALAT KURANG

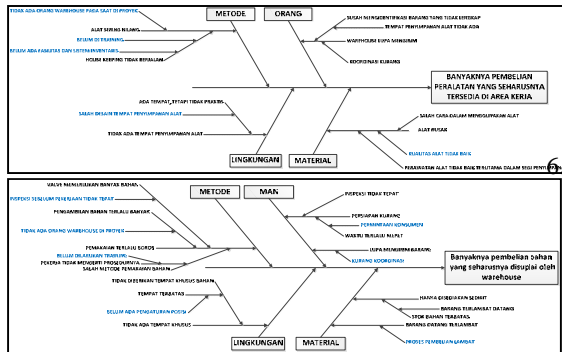
FISHBONE DIAGRAM

MASALAH: BANYAKNYA PEMBELIAN BAHAN YANG SEHARUSNYA DISUPAI OLEH WAREHOUSE

NO	KOLOMONGAN	AKAR PERMASALAHAN DARI DIAGRAM TULANG IKAN
1	ORANG	PERMINTAAN KONSUMEN YANG MENYERABIKAN WAKTU PERSIAPAN KURANG
2	ORANG	KURANG KOORDINASI
3	MATERIAL	PROSES PEMBELIAN LAMBAT
4	LINGKUNGAN	BELUM ADA PENGATURAN POSISI ATAU TATA LETAK KERJA
5	ORANG	BELUM DILAKUKAN TRAINING
6	METODE	TIDAK ADA ORANG WAREHOUSE DI PROYEK
7	METODE	INSPEKSI SEBELUM PEKERJAAN TIDAK TEPAT

MASALAH: BANYAKNYA PEMBELIAN PERALATAN YANG SEHARUSNYA TERSEDIA DI AREA KERJA

NO	KOLOMONGAN	AKAR PERMASALAHAN DARI DIAGRAM TULANG IKAN
1	MATERIAL	KUALITAS ALAT TIDAK BAIK
2	LINGKUNGAN	SALAH DISAIN TEMPAT PENYIMPANAN ALAT
3	METODE	BELUM ADA FASILITAS DAN SISTEM INVENTARIS ALAT
4	ORANG	BELUM DI TRAINING
5	METODE	TIDAK ADA ORANG WAREHOUSE SAAT DI PROYEK



Tahap implementasi

Dari akar permasalahan yang terpilih sebelum dibuat rencana perbaikan terlebih dahulu dicari solusi permasalahan dengan metode *brain storming* dan diagram matrik.

BRAIN STORMING

MASALAH: BANYAKNYA PEMBELIAN BAHAN YANG SEHARUSNYA DISUPAI OLEH WAREHOUSE
 MASALAH: BANYAKNYA PEMBELIAN PERALATAN YANG SEHARUSNYA TERSEDIA DI AREA KERJA

NO	SOLUSI MASALAH
1	MEMBUAT PAKET PERALATAN YANG LENGKAP
2	MEMBUAT SISTEM STOK BAHAN
3	MENAMBAH TENAGA KERJA DI AREA GUDANG
4	TEMPAT PERALATAN YANG SESUAI
5	MELAKUKAN TRAINING DAN PELATIHAN PROSEDUR YANG BENAR
6	MEMBUAT SISTEM INVENTARIS PERALATAN

MATRIX DIAGRAM

No	Pengeluaran perusahaan	MUDAI IMPLEMENTASIKAN			SCORE TOTAL
		Kemudahan	Biaya	Mania	
1	MEMBUAT PAKET PERALATAN YANG LENGKAP	9	3	9	21
2	MEMBUAT SISTEM STOK BAHAN	3	9	1	13
3	MENAMBAH TENAGA KERJA DI AREA GUDANG	1	1	1	3
4	TEMPAT PERALATAN YANG SESUAI	9	3	9	21
5	MELAKUKAN TRAINING DAN PELATIHAN PROSEDUR YANG BENAR	3	9	3	15
6	MEMBUAT SISTEM INVENTARIS PERALATAN	9	9	9	27

Skor 9 sangat memuaskan, skor 8 baik, skor 7 cukup memuaskan, skor 6 baik, skor 5 cukup memuaskan, skor 4 baik, skor 3 cukup memuaskan, skor 2 kurang memuaskan, skor 1 sangat kurang memuaskan.

IMPROVEMENT PLAN

NO	AKAR PERMASALAHAN	SOLUSI	DETAIL SOLUSI	PIC
1	TIDAK ADA SATU SET PERALATAN YANG SIAP	MEMBUAT SATU SET PERALATAN DENGAN TEMPAT YANG SESUAI	MEMBELI LEMARI PERALATAN	AGUNG
2	TIDAK ADA TEMPAT PERALATAN YANG SESUAI	KEBUTUHAN DI LAPANGAN, SERTA DILENGKAP SISTEM INVENTARIS PERALATAN TERSEBUT	MENGIKSI LEMARI TERSEBUT DENGAN SATU SET PERALATAN YANG LENGKAP	AGUNG
3	TIDAK ADA SISTEM INVENTARIS PERALATAN	MEMBUAT SISTEM INVENTARIS PERALATAN PADA LEMARI TERSEBUT	MEMBUAT SISTEM INVENTARIS PERALATAN PADA LEMARI TERSEBUT	TIMOTIUS
4	BELUM ADA TRAINING	MEMBERIKAN TRAINING KEPADA TEKNISI BARU	MEMBERIKAN PELATIHAN PROSEDUR KERJA KEPADA TEKNISI BARU	PRAMBLEDK
5	BELUM ADA SISTEM STOK BAHAN	MEMBUAT SISTEM STOK BAHAN	MEMBUAT SISTEM STOK BAHAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN STOK MATI	TIMOTIUS

Tahap Kontrol dan hasil setelah implementasi

Setelah tahap implementasi, maka hasil yang didapatkan antara lain:

PROJECT EVALUATION

NO	BEFORE	AFTER
1		
2		
3		
4		

Dari hasil analisa biaya maka terjadi penurunan sebesar 48 persen.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan perbaikan, maka didapatkan beberapa kesimpulan :

1. Ketidak lengkapan peralatan dan bahan menyebabkan pekerjaan terhenti, karena diperlukan waktu untuk pengadaan peralatan dan bahan tersebut. Kondisi tersebut mengakibatkan penurunan produktifitas kerja.
2. Ketidak lengkapan peralatan dan bahan menyebabkan naiknya biaya, karena lokasi proyek yang jauh dari pusat kota dan harga peralatan dan bahan baku yang lebih mahal. Kualitas peralatan dan bahan yang dibeli juga menjadi pertimbangan dalam pembelian di proyek.
3. Pelatihan tenaga kerja merupakan hal yang penting untuk menjamin kualitas dan pemakaian peralatan dan bahan yang benar, sehingga peralatan tidak cepat rusak dan bahan baku dapat dipakai secara optimal.

Saran

Penulis juga memberikan beberapa saran terhadap perusahaan yang kiranya diharapkan dapat membantu perusahaan kedepannya yang antara lain :

1. Disarankan perusahaan melakukan perbaikan yang berkelanjutan, dan menganalisa hasil perbaikan yang dilakukan dalam kurun waktu tertentu.
2. Disarankan perusahaan melakukan pelatihan kepada pekerjanya secara terencana, karena pekerja perlu mendapatkan pelatihan secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alexander Jhon, Six Sigma + Lean Toolset, Springer, 2008, Verlag Berlin Heidelberg
 [2] Hari Purnomo, Pengantar Teknik Industri ; Graha Ilmu, 2004, Yogyakarta, Indonesia
 [3] Loon Ching Tang, Six Sigma Advanced Tools For Black Belt and Master Black Belt ; John Wiley & Sons, 2006, Southern Gate, England
 [4] Thomas Pzydek, The Six Sigma Project Planner, McGraw-Hill, 2003, United State of America

Perencanaan Kebutuhan Material (MRP) dengan Menggunakan Teknik Lot Sizing pada Pembuatan Produk Kecap Manis 620 ml di PT. XYZ

Muhammad Kholil, Aquarina Limbong

Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650

E-mail: m.kholil2009@gmail.com;rina_limz@yahoo.com

Abstrak -- Dalam manajemen persediaan, bahan baku yang baik merupakan salah satu faktor keberhasilan perusahaan manufacturing untuk melayani kebutuhan baik secara internal (pabrik) dan eksternal (konsumen) dalam menghasilkan produk yang berkualitas dan tepat waktu. Untuk dapat mengatur satu tingkat persediaan optimal yang dapat memenuhi kebutuhan akan bahan baku dalam jumlah, mutu dan tepat waktu dengan jumlah biaya yang rendah seperti yang diharapkan oleh perusahaan maka diperlukan suatu sistem pengendalian pada perusahaan. PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan atau industri makanan dan minuman yang mempunyai tujuan memberikan pelayanan yang baik, kualitas yang bagus baik untuk kesehatan seluruh masyarakat. Perencanaan Kebutuhan Material sangat membutuhkan peramalan konsumen yang dihitung sesuai dari permintaan masa lalu, sehingga dapat memperkirakan kebutuhan dimasa yang akan datang. Dalam penelitian ini, yang akan dianalisa adalah biaya total kebutuhan material yang dihasilkan dengan menggunakan metoda seperti Teknik Lot Sizing. Teknik Lot Sizing yang digunakan ialah Fixed Order Quantity (Jumlah Pesanan yang Tetap), Economic Order Quantity (Pemesanan dengan Jumlah Ekonomis), Lot For Lot (Pemesanan sesuai dengan Jumlah yang dibutuhkan), dan Fixed Period Requirement (Pemesanan dengan periode Tetap). Setelah melakukan perhitungan dengan keempat Teknik Lot Sizing tersebut pada pembuatan produk kecap diperoleh biaya terendah dengan menggunakan metode Lot For Lot.

Kata Kunci: MRP, Peramalan, Persediaan, Teknik Lot Sizing

I. PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi persaingan perusahaan yang tidak lagi terbatas secara lokal, tetapi mencakup regional dan global. Dengan adanya persaingan tersebut maka Perusahaan dituntut untuk meningkatkan variasi produk dan kualitas produk yang dihasilkan agar sesuai dengan keinginan konsumen untuk mencapai kepuasan.

Setiap perusahaan pada umumnya memiliki satu tujuan yang utama, yaitu memperoleh laba. Untuk mencapai tujuan tersebut salah satu hal yang berpengaruh yaitu biaya produksi. Jika manajemen sebuah perusahaan dapat meminimumkan biaya produksi tanpa menurunkan mutu yang ada, maka daya saing dan penjualan akan meningkat, sehingga perusahaan diharapkan akan memperoleh laba.

Salah satu jenis biaya yang berpengaruh terhadap total biaya produksi adalah biaya persediaan bahan baku. Persediaan bahan baku memegang peranan yang sangat penting dalam keseluruhan proses produksi karena tanpa adanya perencanaan persediaan bahan baku, proses produksi tidak dapat berjalan dengan lancar. Apabila perusahaan tidak mengadakan persediaan bahan baku yang cukup, tentu perusahaan akan menghadapi kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan karena proses produksi terhenti, sedangkan jika perusahaan kelebihan bahan baku maka akan menimbulkan biaya penyimpanan yang terlalu besar.

Untuk memecahkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian. Penelitian yang akan dilakukan ini dianalisa berdasarkan data produksi, penjualan dan struktur produk. Kebutuhan Perencanaan Material Requirement Planning (MRP) adalah suatu sistem perencanaan dan penjadwalan waktunya secara bertahap memenuhi kebutuhan material untuk proses operasi produksi. Sistem MRP ini dimaksudkan untuk menyediakan pengurangan inventori, pengurangan dibagian produksi dan waktu lead time penerimaan, komitmen realistis dan meningkatkan efisiensi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan membuat daftar perencanaan yang akan dilakukan oleh PT. XYZ pada setiap level bisnis proses. Kemudian menelusuri aktivitas-aktivitas pada setiap level bisnis proses tersebut dengan cara melakukan wawancara dengan karyawan yang bersangkutan. Kemudian menganalisa aktivitas tersebut dengan menggunakan metode Lot Sizing, kemudian menganalisis aktivitas yang *added value* maupun *non added value*. Setelah didapatkan aktivitas-aktivitas yang *added value*, setelah menetapkan aktivitas kemudian menetapkan KPI per aktivitas.

Tahapan pengolahan data merupakan kegiatan yang dilakukan setelah data dikumpulkan. Proses

pengolahan data bisa juga disebut dengan proses penganggaran dengan metode Lot Sizing. Secaraterincipengolahan data yang dilakukanadalahsebagaiberikut:

1. Menghitung rencana pemesanan persediaan dengan metode lot sizing.
2. Membuat MPS (Master Production Scheduling)
3. Menghitung biaya total persediaan dengan metode lot sizing

III. ANALISA DATA

Manajemen Sumber Daya Manusia

Perusahaan yang baik tidak akan terlepas dari adanya kinerja manajemen yang baik. Manajemen yang baik akan dapat melaksanakan segala kegiatan perusahaan secara efektif dan efisien sehingga dapat dicapai keuntungan yang maksimal dan seimbang dengan modal yang telah dikeluarkan.

Data Permintaan Konsumen

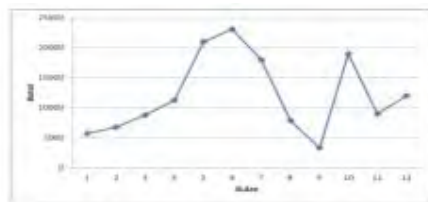
Pengumpulan data permintaan konsumen yang aktual dilakukan dan didapatkan di PT. XYZ dengan mengacu pada order yang diterima dari konsumen. Rentang waktu yang digunakan dalam penelitian ini selama 12 bulan, yaitu mulai Januari 2011- Desember 2011.

Permintaan Kecap Manis 620 ml Periode Januari – Desember 2011

Tabel 4.1. Permintaan Kecap Manis 620 ml Periode Januari – Desember 2011

Bulan	Periode (G)	Demand (G)
Januari	1	5700
Februari	2	6800
Maret	3	8790
April	4	11220
Mai	5	21000
Juni	6	23110
Juli	7	18000
Agustus	8	7854
September	9	3300
Oktober	10	19000
November	11	8976
Desember	12	12000
Total	78	145750

Sumber: PT XYZ



Gambar 4.2. Grafik Permintaan Kecap Manis 620 ml Januari – Desember 2011

Data Struktur Produk (Bill Of Material)

Merupakan daftar dari semua material, parts, dan subassemblies, serta kuantitas dari masing – masing yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit produk atau *parent assembly*. MRP menggunakan BOM sebagai basis untuk perhitungan banyaknya setiap material yang dibutuhkan untuk setiap periode waktu. Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan struktur produk Kecap Manis 620 ml:

Tabel 4.2. Data Struktur Produk Kecap Manis 620 ml

No	Nama Produk	Level	Satuan	Komposisi	Lead Time (Bulan)
1	Kecap Manis	0	Bot	620	1
2	Gula Jawa	1	Kg	0.70	1
3	Sari Kedelai	1	Lu	0.15	1
4	Larutan Garam 30%	1	Lu	0.07	1
5	Pengawet Makanan	1	Kg	0.0008	1
6	Air	1	Lu	0.15	1



Gambar 4.3. Struktur Produk Kecap Manis 620 ml

Struktur biaya:

Tabel 4.3. Struktur Biaya

No	Nama Produk	Level	Harga (Rp/Kg)	Ongkos Pemas (Rp/Pemas)	Ongkos Simpan (Kg/Tahun)
1	Kecap Manis	0	-	-	-
2	Gula Jawa	1	7.000	700	180
3	Sari Kedelai	1	1.800	180	18
4	Larutan Garam 30%	1	300	30	4
5	Pengawet Makanan	1	18.500	1.850	330
6	Air	1	50	5	1

Proses Produksi

Proses produksi pd pembuatan kecap manis yaitu:

Tahapan 1 : Fermentasi bibit / Pembibitan untuk membuat bibit kecap dari biji gandum dengan proses fermentasi dengan bantuan kapang *Aspergillus sp* didalam ruang koji dengan temperatur dan kelembapan yang dijaga 30° C dan 50-60%.

Tahapan 2 : Fermentasi garam untuk membuat sari kedelai dengan mixing fermentasi bibit kecap didalam bak yang berukuran 3 x 3 x 3 m³. Proses fermentasi ini dilakukan 4- 6 bulan untuk menghasilkan sari kedelai yang baik.

Tahapan 3 : Pengepresan, ini dilakukan setelah proses fermentasi selesai. Taucu tersebut dibentuk dalam 4 susunan dalam bentuk kotak –kotak dengan menggunakan saringan nilon dimana mesin pengepresan sebesar 150 ton. Pengepresan dilakukan selama ± 4 jam.

Tahapan 4 : Pemasakan Gula jawa, sari kecap jadi yang sudah diketahui kadar garam dan total nitrogennya akan dipompa kedalam ruang pemasakan gula. Pemasakan gula dilakukan sesuai dari formula yang sudah ada. Proses pemasakan gula dilakukan dengan steam 105°C dan tekanan 4- 6 bar selama ± 2- 2,5 jam.

Tahapan 5 : Penyaringan, setelah pemasakan gula maka akan dilakukan penyaringan dengan ukuran mesh 8 terbuat dari kawat ; kedua, penyaring dengan tiga lapis kain, dan ketiga, penyaring dengan ukuran 100 mesh.

Tahapan 6 : Pencampuran, proses pencampuran dilakukan dengan bahan pengawet makanan sesuai

takaran yang ada dan tidak melebihi ambang batas yang telah ditentukan oleh badan BPOM.

Tahapan 7 : Pemanasan , setelah proses pencampuran selesai maka akan dilakukan pre-heating yakni pemanasan tahap pertama dengan melewati pada PHE (Plat Heat Exchanger) sampai suhunya mencapai 80-100°C. Kemudian dialirkan ke separator untuk dilakukan pemisahan antara kecap dengan kotoran-kotoran halus yang masih terdapat dalam kecap. Kemudian kecap dilakukan heating dengan kembali melewati kecap pada PHE hingga suhunya mencapai 115°C. Selanjutnya masuk tahap precooling dan cooling, kecap didinginkan hingga suhunya mencapai 50°C dan dialirkan menuju tangki stok.

Tahapan 8 : Filling kecap kedalam kemasan Botol beling, dan di packing dengan dus.

Pengolahan Data

A.Perhitungan Peramalan Permintaan Peramalan Metode Trend Linear

Tabel 4.4. Peramalan Metode Trend Linear

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	t.y	t ²
Januari	1	5700	5700	1
Februari	2	6800	13600	4
Maret	3	8790	26370	9
April	4	11220	44880	16
Mei	5	21000	105000	25
Juni	6	23110	138660	36
Juli	7	18000	126000	49
Agustus	8	7854	62832	64
September	9	3300	29700	81
Oktober	10	19000	190000	100
November	11	8976	98736	121
Desember	12	12000	144000	144
Total	78	145750	985478	650
Kata-Kata	6,5	12145,83	-	-

$y = a + b.t$
 a. Menghitung nilai slope:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i y_i - (\sum_{i=1}^n t_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

$$= \frac{(12 \times 985478) - (78 \times 145750)}{(12 \times 650) - (78)^2} = 266,45$$

 b. Menghitung nilai intercept:

$$a = \bar{Y} - b \bar{X} = 12145,83 - (266,45 \times 6,5) = 10413,91$$

c. Persamaan Peramalan Linear
 $y = a + b.t$
 $y = 10413,91 + 266,45 t$

Tabel 4.5. Hasil Peramalan Metode Trend Linear

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	y'	y-y'	(y-y') ²	(t-y') ²	(y-y')x100
Januari	1	5700	10680,36	-4980	24800985,73	4980	-87,37
Februari	2	6800	10946,81	-4147	17196033,18	4147	-60,98
Maret	3	8790	11213,26	-2423	5872189,028	2423	-27,57
April	4	11220	11479,71	-260	67449,2841	260	-2,31
Mei	5	21000	11746,16	9254	85633554,75	9254	44,07
Juni	6	23110	12012,61	11097	123152064,8	11097	48,02
Juli	7	18000	12279,06	-4779	22729154,48	4779	-31,78
Agustus	8	7854	12545,51	-4692	22010266,08	4692	-59,73
September	9	3300	12811,96	-9512	90477383,04	9512	-288,24
Oktober	10	19000	13078,41	-4078	16628228,13	4078	-31,17
November	11	8976	13344,86	-4369	1906937,7	4369	-48,67
Desember	12	12000	13611,31	-1611	259519,216	1611	-13,43
Total	78	145750	145750	0	458690566,1	63988	-433,28

Desk tabel diatas, dilakukan perhitungan simpangan error berikut ini :

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{(n - 2)}} = \sqrt{\frac{458690566,1}{(12 - 2)}} = 6772,67$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{43328}{12} = 3610,67$$

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{y - y'}{y} \right| \times 100}{n} = \frac{433,28}{12} = 36,11$$

Metode Eksponensial

Tabel 4.6. Perhitungan Peramalan Metode Eksponensial

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	ln y (O)	t.ln y (O)
Januari	1	5700	8,65	8,65
Februari	2	6800	8,82	17,65
Maret	3	8790	9,08	27,24
April	4	11220	9,33	37,30
Mei	5	21000	9,95	49,76
Juni	6	23110	10,05	60,29
Juli	7	18000	9,80	68,59
Agustus	8	7854	8,97	71,73
September	9	3300	8,10	72,92
Oktober	10	19000	9,85	98,52
November	11	8976	9,10	100,13
Desember	12	12000	9,39	112,71
Total	78	145750	111,10	725,50

$$b = \frac{\sum t.ln y - \frac{\sum t \cdot \sum ln y}{n}}{\sum t^2 - \frac{(\sum t)^2}{n}} = \frac{(112,71) - \frac{(78 \cdot 111,10)}{78}}{725,50 - \frac{(78)^2}{78}} = 0,02 = \frac{112,71 - 104,20}{78} = 0,108$$

 Peramalan Peramalan Metode Eksponensial : $Y(t) = a \cdot e^{bt}$

$$Y(t) = 9,04 \cdot e^{0,02t}$$

Tabel 4.7. Hasil Peramalan Metode Eksponensial

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	Forecast (y')	y ²	(y-y') ²	(y-y')	(y-y')x100
Januari	1	5700	9,22	5600,78	32384947,39	5690,78	99,810985
Februari	2	6800	9,41	6700,59	46112120,9	6790,59	99,8613339
Maret	3	8790	9,60	8700,40	7709544,68	8780,40	99,8979833
April	4	11220	9,79	11210,21	12566874,29	11210,21	99,91271812
Mei	5	21000	9,99	20990,01	44633048,52	20990,01	99,9242502
Juni	6	23110	10,18	23099,81	5336010,22	23099,81	99,9358941
Juli	7	18000	10,40	17950,60	3236217,63	17950,60	99,9422369
Agustus	8	7854	10,61	7843,39	6151878,62	7843,39	99,9495201
September	9	3300	10,82	3309,18	1081868,58	3309,18	99,972035
Oktober	10	19000	11,04	18988,96	3693804,56	18988,96	99,9418894
November	11	8976	11,26	8964,74	8036643,98	8964,74	99,97450384
Desember	12	12000	11,49	11888,51	14372431,9	11888,51	99,9642526
Total	78	145750	123,83	1456267	223807749	1456267	1198,81468

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{(n - 2)}} = \sqrt{\frac{223807749}{(78 - 2)}} = 1677,74$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{43328}{78} = 555,33$$

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{y - y'}{y} \right| \times 100}{n} = \frac{433,28}{78} = 5,55$$

Metode Quadratic

Tabel 4.8. Perhitungan Peramalan Metode Quadratic

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	t.y	t ²	t ³	t ⁴	t ² .Y (O)
Januari	1	5700	5700	1	1	1	5700
Februari	2	6800	13600	4	8	16	27200
Maret	3	8790	26370	9	27	81	79110
April	4	11220	44880	16	64	256	179520
Mei	5	21000	105000	25	125	625	525000
Juni	6	23110	138660	36	216	1296	831960
Juli	7	18000	126000	49	343	2401	882000
Agustus	8	7854	62832	64	512	4096	502656
September	9	3300	29700	81	729	6561	267300
Oktober	10	19000	190000	100	1000	10000	1900000
November	11	8976	98736	121	1331	14641	1086096
Desember	12	12000	144000	144	1728	20736	1728000
Total	78	145750	985478	650	6084	60710	8014342

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2 Y(t_i) - n \sum_{i=1}^n t_i Y(t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^4 - n \sum_{i=1}^n t_i^2}$$

$$= \frac{(78 \cdot 8014342) - (12 \cdot 985478)}{(650)^2 - (12 \cdot 60710)} = -306020$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y(t_i) - n \sum_{i=1}^n t_i^2 Y(t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^4}$$

$$= \frac{(800 \cdot 145750) - (12 \cdot 8014342)}{(650) - (12 \cdot 6084)} = -22808$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n Y(t_i) - n \sum_{i=1}^n t_i^2 Y(t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^4}$$

$$= \frac{(800 \cdot 145750) - (12 \cdot 8014342)}{(650) - (12 \cdot 6084)} = -281,41$$

 Peramalan Quadratic : $Y(t) = a + b.t + c.t^2$

$$Y(t) = 1877,74 + 3924,79t - 281,41t^2$$

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Peramalan Metode Quadratic

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	Forecast (y ²)	y-y'	(y-y') ²	Iy-y' ²	(y-y') ² x 100
Januari	1	5700	6032,04	-333,04	110916,83	333,04	-8,73758074
Februari	2	6900	10832,00	-4032,00	1625664,00	4032,00	-59,02352594
Maret	3	8790	16134,80	-7394,80	54633097,04	7394,80	-84,12741752
April	4	11220	22079,46	-10859,46	117927871,5	10859,46	-96,78663102
Mai	5	21000	28236,00	-7236,00	52368216,00	7236,00	-35,89019048
Juni	6	23110	35577,20	-12467,20	155439788,8	12467,20	-53,90353968
Juli	7	18000	43140,36	-25140,36	632037709,9	25140,36	-139,6686667
Agustus	8	7854	31286,30	-43432,30	188634663	43432,30	-552,99529250
September	9	3300	59995,00	-56695,00	3214329828	56695,00	-1718,032121
Oktober	10	19000	69266,04	-50266,04	2526735097	50266,04	-264,5612692
November	11	8976	79101,00	-70125,00	4917521250	70125,00	-781,2504459
Desember	12	12000	89406,26	-77406,26	6009590383	77406,26	-842,8193383
Total	78	145750	511593,0	-365833,00	1958392929	365833,00	-4439,33047

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1958392929}{78 - 2}} = 15848,98$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{3658330}{78} = 4690,166667$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y - y'|}{y} \times 100}{n} = \frac{4439,33047}{78} = 56,91449372$$

Metode Eksponensial Smoothing $\alpha = 0,1$

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Peramalan Metode Eksponensial Smoothing $\alpha = 0,1$

Bulan	(t)	Demand (y)	Forecast (y')	y-y'	(y-y') ²	Iy-y' ²	(y-y') ² x 100
Januari	1	5700	5700	0	0	0	0
Februari	2	6900	5700	-1200	1440000	-1200	-17,39130435
Maret	3	8790	5810	-2980	8880400	-2980	-33,90215814
April	4	11220	6108	-5112	26122544	-5112	-45,61128125
Mai	5	21000	6619,2	-14380,8	206818864	-14380,8	-68,4746032
Juni	6	23110	8077,28	-15032,72	225982278,4	-15032,72	-65,07003272
Juli	7	18000	9562,55	-8437,45	71180050,25	-8437,45	-46,87500000
Agustus	8	7854	10406,63	-2621,63	68729,6769	-2621,63	-3,33848889
September	9	3300	10151,07	-6851,07	46936695,49	-6851,07	-207,60666667
Oktober	10	19000	9465,96	-9534,04	90896881,62	-9534,04	-50,18333333
November	11	8976	10418,36	-1524,36	23236,6896	-1524,36	-1,69888889
Desember	12	12000	10275,03	-1725,03	2975,9181	-1725,03	-1,43750000
Total	78	145750	92574,5	-53175,5	81791705	-53175,5	-36,54212485

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n}} = \sqrt{\frac{81791705}{78}} = 1024,52$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{53175,5}{78} = 681,737179$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y - y'|}{y} \times 100}{n} = \frac{36,54212485}{78} = 0,46848998$$

Metode Eksponensial Smoothing $\alpha = 0,2$

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Ekspensial Smoothing $\alpha = 0,2$

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	Forecast (y')	y-y'	(y-y') ²	Iy-y' ²	(y-y') ² x 100
Januari	1	5700	5700	0	0	0	0
Februari	2	6900	5700	1200	1440000	1200	17,39130435
Maret	3	8790	5920,00	2870,00	8236900	2870,00	32,85079348
April	4	11220	6494,00	4726,00	22335760	4726,00	42,11212121
Mai	5	21000	7429,20	13570,80	184066864	13570,80	64,573281
Juni	6	23110	10151,07	12958,93	168132576	12958,93	56,673451
Juli	7	18000	12743,00	5257,00	27635049	5257,00	29,23506667
Agustus	8	7854	13794,47	-5940,47	35289188,7	-5940,47	-75,8242141
September	9	3300	12606,38	-9306,38	86608402	-9306,38	-282,014084
Oktober	10	19000	10745,10	8254,90	68143358	8254,90	43,44883555
November	11	8976	12396,08	-3420,08	11698528	-3420,08	-3,81025089
Desember	12	12000	11712,00	288,00	82944,00	288,00	2,39944035
Total	78	145750	109701,74	36048,26	613059722	36048,26	41,99131952

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n}} = \sqrt{\frac{613059722}{78}} = 2785,43$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{36048,26}{78} = 462,157179$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y - y'|}{y} \times 100}{n} = \frac{41,99131952}{78} = 0,53835025$$

Metode Eksponensial Smoothing $\alpha = 0,3$

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Ekspensial Smoothing $\alpha = 0,3$

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	Forecast (y')	y-y'	(y-y') ²	Iy-y' ²	(y-y') ² x 100
Januari	1	5700	5700	0	0	0	0
Februari	2	6900	5700	1200	1440000	1200	17,39130435
Maret	3	8790	6030,00	2760,00	7617600	2760,00	31,39931741
April	4	11220	6850,00	4370,00	19096900	4370,00	38,87709535
Mai	5	21000	8166,80	12833,20	164694156	12833,20	61,11342857
Juni	6	23110	12016,62	11093,38	123080798	11093,38	48,00250974
Juli	7	18000	15344,63	2655,37	70509829	2655,37	14,52033333
Agustus	8	7854	16141,24	-8287,24	68774908	-8287,24	-105,5162185
September	9	3300	13855,07	-10555,07	111369072	-10555,07	-313,79002
Oktober	10	19000	10548,58	8451,42	71427016,2	8451,42	44,8131862
November	11	8976	13083,98	-4107,98	16875537,6	-4107,98	-45,6631711
Desember	12	12000	11851,59	148,41	22025,7648	148,41	1,28768384
Total	78	145750	119396,29	26353,71	596889358	26353,71	409,03715156

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n}} = \sqrt{\frac{596889358}{78}} = 27498,98$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{26353,71}{78} = 337,868077$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y - y'|}{y} \times 100}{n} = \frac{409,03715156}{78} = 5,23124566$$

Metode Eksponensial Smoothing $\alpha = 0,4$

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Ekspensial Smoothing $\alpha = 0,4$

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	Forecast (y')	y-y'	(y-y') ²	Iy-y' ²	(y-y') ² x 100
Januari	1	5700	5700	0	0	0	0
Februari	2	6900	5700	1200	1440000	1200	17,39130435
Maret	3	8790	6140,00	2650,00	7022500	2650,00	30,14789234
April	4	11220	7200,00	4020,00	16164000	4020,00	35,8285701
Mai	5	21000	8808,00	12192,00	148644864	12192,00	58,05714286
Juni	6	23110	13684,80	9425,20	88843395,6	9425,20	40,78407616
Juli	7	18000	17434,88	545,12	297558,04	545,12	3,02844444
Agustus	8	7854	17672,93	-9818,93	9641134707	-9818,93	-125,0181818
September	9	3300	13745,38	-10445,38	1091054781	-10445,38	-316,253989
Oktober	10	19000	9567,21	9432,79	889745021	9432,79	49,8492169
November	11	8976	13340,33	-4364,33	190473623	-4364,33	-48,6201795
Desember	12	12000	11594,60	405,40	164351,56	405,40	3,3783576
Total	78	145750	124908,10	15145,00	5758753052	64399,13	253,1188371

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n}} = \sqrt{\frac{5758753052}{78}} = 27284,94$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{64399,13}{78} = 825,63$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y - y'|}{y} \times 100}{n} = \frac{253,1188371}{78} = 3,24510111$$

Metode Eksponensial Smoothing $\alpha = 0,5$

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Ekspensial Smoothing $\alpha = 0,5$

Bulan	Periode (t)	Demand (y)	Forecast (y')	y-y'	(y-y') ²	Iy-y' ²	(y-y') ² x 100
Januari	1	5700	5700	0	0	0	0
Februari	2	6900	5700	1200	1440000	1200	16,17647059
Maret	3	8790	6250,00	2540,00	6451000	2540,00	28,89647327
April	4	11220	7300,00	3920,00	15366400	3920,00	34,84923769
Mai	5	21000	9970,00	11030,00	121660900	11030,00	55,86992538
Juni	6	23110	15185,00	7925,00	62805625	7925,00	34,29231408
Juli	7	18000	19147,50	-1147,50	1316756,25	-1147,50	-6,375
Agustus	8	7854	18737,5	-10919,5	119193001	-10919,5	-136,4877969
September	9	3300	13213,88	-9913,88	98280972,8	-9913,88	-300,4224545
Oktober	10	19000	8256,84	10743,08	115413391	10743,08	56,2423421
November	11	8976	13628,47	-4652,47	21645465,7	-4652,47	-51,83231673
Desember	12	12000	11302,23	697,77	486876,87	697,77	5,81471542
Total	78	145750	128147,37	17602,13	571474573	64799,48	265,0351681

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n}} = \sqrt{\frac{571474573}{78}} = 27077,79$$

$$MAD = \frac{\sum |y - y'|}{n} = \frac{64799,48}{78} = 830,76$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y - y'|}{y} \times 100}{n} = \frac{265,0351681}{78} = 3,39789985$$

Tabel 4.15. Perbandingan Nilai Kesalahan SSE, MAD dan MAPE

Metode Peramalan	SEE	MSE	MAPE
Trend Linear	6772,67	6323,33	-36,11
Eksponensial	16718,54	12155,51	99,88
Quadratic	46647,49	30486,08	-369,94
Eksponensial Smoothing $\alpha = 1$	7921,28	-1799,12	-141,058
Eksponensial Smoothing $\alpha = 2$	7465,43	615,29	-9,92
Eksponensial Smoothing $\alpha = 3$	7304,39	6014,03	-19
Eksponensial Smoothing $\alpha = 4$	7235,49	5854,47	-23,01
Eksponensial Smoothing $\alpha = 5$	7207,79	5888,13	-24,09

Perhitungan Peramalan pada bulan selanjutnya

Pada perhitungan diatas telah dipilih metode peramalan Trend Linear dan dari metode tersebut dilakukan perhitungan peramalan untuk bulan yang akan datang dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Y (t) = 10413.91 + 266.45 t$$

Dengan data dari permintaan konsumen yang akan datang didapat hasil peramalan sebagai berikut :

Tabel 4.16. Data Peramalan Permintaan Berdasarkan Metode Trend Linear

Bulan	Tahun	t	Demand Actual	Bulan	Tahun	T	Demand Peramalan
Januari	2011	1	5700	Januari	2012	13	13877,76
Februari	2011	2	6900	Februari	2012	14	14144,21
Maret	2011	3	8790	Maret	2012	15	14410,66
April	2011	4	11220	April	2012	16	14677,11
Mai	2011	5	21000	Mai	2012	17	14943,56
Juni	2011	6	23110	Juni	2012	18	15210,01
Juli	2011	7	18000	Juli	2012	19	15476,46
Agustus	2011	8	7854	Agustus	2012	20	15742,91
September	2011	9	3300	September	2012	21	16009,36
Oktober	2011	10	19000	Oktober	2012	22	16275,81
November	2011	11	8976	November	2012	23	16542,26
Desember	2011	12	12000	Desember	2012	24	16808,71
Total	78	148760		Total	222	184118,82	

Tabel 4.17. Perhitungan MRP pada Periode Bulan Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 1000 = Rp 4000
 Biaya Perencanaan: 1.50 x 100 = Rp 150
 Total Biaya: Rp 4000 + Rp 150 = Rp 4150

Tabel 4.18. Perhitungan MRP pada Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 1 = Rp 4
 Biaya Perencanaan: 1.5000 x 1 = Rp 15000
 Total Biaya: Rp 4 + Rp 15000 = Rp 15004

Perhitungan Menggunakan Metode Fix Order Quantity

Tabel 4.19. Perhitungan MRP pada Bulan Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 100 = Rp 400
 Biaya Perencanaan: 1.5000 x 100 = Rp 150000
 Total Biaya: Rp 400 + Rp 150000 = Rp 150400

Tabel 4.20. Perhitungan MRP pada Bulan Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 100 = Rp 400
 Biaya Perencanaan: 1.5000 x 100 = Rp 150000
 Total Biaya: Rp 400 + Rp 150000 = Rp 150400

Tabel 4.21. Perhitungan MRP pada Bulan Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 10 = Rp 40
 Biaya Perencanaan: 1.5000 x 10 = Rp 15000
 Total Biaya: Rp 40 + Rp 15000 = Rp 15040

Tabel 4.22. Perhitungan MRP pada Periode Bulan Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 1000 = Rp 4000
 Biaya Perencanaan: 1.50 x 100 = Rp 150
 Total Biaya: Rp 4000 + Rp 150 = Rp 4150

Tabel 4.23. Perhitungan MRP pada Desember dengan Metode PFO

Tahun	MRP Bulanan											
	Agust	Sept	Okto	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli
Permintaan Bersih	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Awal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Stok Akhir	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Biaya Perencanaan: 4 x 1 = Rp 4
 Biaya Perencanaan: 1.5000 x 1 = Rp 15000
 Total Biaya: Rp 4 + Rp 15000 = Rp 15004

IV. ANALISA HASIL Analisa Peramalan Permintaan

Pada grafik permintaan aktual (gambar 4.2.) terlihat bahwa permintaan bulan Januari 2011 sampai dengan Desember 2011 rata – rata permintaan semakin meningkat dan terjadi penurunan pada bulan September 2011. Dengan pola grafik seperti itu, maka Penulis melakukan pengolahan data peramalan tersebut dengan menggunakan empat metode yaitu : Metode *Trend Linear*, *Eksponensial*, *Quadratic*, dan *Eksponensial Smoothing* $\alpha = 1 - \alpha = 5$.

Untuk memilih metode peramalan terbaik dari keempat metode peramalan yang digunakan, maka dilakukan pemilihan berdasarkan nilai ketepatan peramalan dengan menghitung nilai SEE (*Standard Error Estimate*), MAD (*Mean Absolute Deviation*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dari masing – masing metode peramalan tersebut. Setelah melakukan perhitungan perbandingan Nilai Kesalahan dari SEE, MAD, dan MAPE, Metode peramalan yang dipilih adalah metode peramalan *Trend Linear*, karena mempunyai nilai kesalahan terkecil.

Analisa Verifikasi Hasil Peramalan

Dari hasil peramalan, Metode *Trend Linear* dipilih karena mempunyai nilai kesalahan akurasi terkecil, tetapi data dari hasil peramalan Metode *Trend Linear* harus diverifikasi terlebih dahulu untuk dinyatakan layak atau tidaknya data tersebut untuk dipergunakan pada perhitungan selanjutnya.

Verifikasi atau pemeriksaan hasil peramalan tersebut dilakukan dengan menggunakan *Peta Uji Verifikasi*. Peta ini digunakan untuk melihat hasil peramalan metode *Trend Linear*, apakah melewati garis batas kontrol yang telah ditentukan. Jika ditemukan satu titik yang berada diluar batas kendali pada saat peramalan verifikasi maka harus ditentukan apakah data harus diabaikan atau mencari peramalan baru.

Jika ditemukan sebuah titik berada diluar batas kendali maka harus diselidiki penyebabnya. Jika semua titik berada didalam batas kendali, diasumsikan bahwa peramalan permintaan yang dihasilkan telah cukup baik. Jika terdapat titik yang berada diluar batas kendali, jelas bahwa peramalan yang didapat kurang baik dan harus direvisi.

Adapun langkah yang harus dilakukan untuk verifikasi adalah:

- Menghitung selisih antara dua hasil peramalan dengan data historis permintaan $(\Delta y)_t = y_t - y_t$ dan hasil perhitungan tersebut dimasukkan kedalam peta uji verifikasi peramalan.
- Melakukan perhitungan *Moving Range (MR)* dan rata – rata *Moving Range (MR)* untuk menentukan batas – batas kontrol *UCL* (batas nilai atas), *CL* (batas nilai tengah) dan *LCL* (batas nilai bawah).
- Dari hasil verifikasi peramalan, data berada dalam batas kendali. Sehingga metode *Trend Linear* merupakan metode peramalan yang dapat dijadikan data permintaan yang aktual dan dapat digunakan untuk proses perencanaan produksi pada kecap manis 620 ml selama perencanaan 12 periode.

Analisa Data Pemakaian Bahan Baku

Data pemakaian Bahan Baku di PT. XYZ bersifat stokastik. Dimana dalam pemakaian tiap bahan baku yang berfluktuasi. Selain itu, PT.XYZ dalam berproduksi bersifat “*make to order*”, yaitu memproduksi sesuai dengan customer order atau pemesanan pelanggan. Sehingga pemakaian bahan baku sulit dipastikan tergantung jumlah pesanan yang diterima.

Analisa Perencanaan dan Kebutuhan Material (MRP)

Perencanaan Kebutuhan Material (MRP) menentukan inputan yaitu *Jadwal Induk Produksi (Master Production Schedule)*, *Status Persediaan* dan *Struktur Produk (Bill of Material)*. Adapun perhitungan dari perencanaan dan kebutuhan material (lihat pada point 4.2.4).

Model Persediaan yang digunakan dalam pengolahan data adalah :

1. Fixed Order Quantity (FOQ)
2. Economic Order Quantity (EOQ)
3. Lot For Lot (LFL)
4. Fixed Period Requirement (FPR)

Tabel 3.1. Biaya Total Dari Keempat Metode Lot Sizing

Tipe Lot Sizing	Biaya Total Material (Rp)					
	Gula Jawa	Sari Kedelai	Larutan Garam	Pengawet Bahan Makanan	Air	Jumlah Biaya Total
Lot For Lot	8480	2160	240	19800	60	30740
Economic Order Quantity	1079400	124884	11856	91080	2465	1309685
Fixed Period Requirement	18253300	872352	52232	55770	27958	19263612
Fixed Order Quantity	22096060	105848	95652	84480	36219	22418259
Perusahaan	1512035	73965	4536	6023	2362	1598921

Dari hasil perhitungan metode diatas metode yang menghasilkan jumlah biaya total optimal adalah Metode Lot For Lot dengan nilai Rp 30740. Dan perbandingan jumlah biaya total sistem perencanaan Kebutuhan bahan baku (MRP) lebih kecil dibandingkan dengan metode yang digunakan perusahaan saat ini. Dikarenakan metode LFL tidak mungkin diaplikasikan dalam perusahaan ini, karena tidak mungkin memesan bahan baku khusus nya bahan baku produk makanan dimana memesan sesuai yang dibutuhkan karena akan terjadi penyusutan jadi dikarenakan LFL tidak mungkin diaplikasikan diperusahaan ini maka sebaiknya Perusahaan memilih metode EOQ dimana jumlah biaya yang terkecil kedua setelah LFL.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat Penulis ambil, yaitu :

1. Pengolahan data permintaan dilakukan dengan menggunakan metode peramalan dengan tujuan untuk mengetahui permintaan konsumen untuk masa sekarang dan yang akan datang. Peramalan (*Forecasting*) ini menggunakan empat metode, yaitu metode Trend Linear, metode Ekspensial, metode Quadratic dan metode Ekspensial Smoothing $\alpha = 0,1 - \alpha = 0,5$. Lalu ditentukan nilai kesalahan dengan SEE, MAD, dan MAPE dari masing – masing metode. Kemudian dari keempat metode tersebut dipilih nilai yang memiliki tingkat akurasi kesalahan terkecil dan dilakukan uji verifikasi data dengan menggunakan Peta Moving Average. Peramalan yang dipilih dapat digunakan untuk perhitungan permintaan konsumen dimasa yang akan datang.
2. Dari hasil perhitungan Perencanaan Kebutuhan Material (MRP), Metode Lot For Lot merupakan metode yang menghasilkan Biaya Total yang optimal dibandingkan metode Lot Sizing lainnya.
3. Dikarenakan LFL tidak mungkin diaplikasikan diperusahaan karena kondisi bahan baku mengalami penyusutan, jadi sebaiknya Perusahaan memakai metode EOQ secara perhitungan merupakan metode terkecil kedua setelah LFL.

Saran

Berikut ini beberapa saran yang dapat menjadi masukan bagi perusahaan dan menjadi bahan pertimbangan untuk memperbaiki sistem persediaan yang lebih baik lagi diperusahaan dan untuk kelancaran proses produksi :

1. Untuk meningkatkan perkembangan perusahaan sangatlah diperlukan peramalan terhadap permintaan konsumen dengan tujuan untuk merencanakan kapasitas produksi diperiode yang akan datang agar dapat memenuhi permintaan konsumen dengan baik.
2. Dari hasil peramalan permintaan dapat digunakan untuk Perencanaan Kebutuhan Material (MRP), sehingga dapat dilakukan rencana pesan bahan baku secara optimal dan dapat memperkecil biaya pemesanan terhadap bahan baku untuk mencapai efisiensi produksi yang optimum.
3. Perusahaan sebaiknya menggunakan sistem MRP, karena dengan menggunakan sistem MRP Perusahaan dapat menentukan secara tepat kapan suatu pekerjaan harus selesai atau material harus tersedia untuk memenuhi permintaan produk dari pelanggan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Assauri, Sofjan. Edisi Empat. 1993. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- [2] Baroto, Teguh. Edisi ke-1. 2002. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Galia Indonesia.
- [3] Biegel, Jhon E. 1992. *Pengendalian Produksi*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- [4] Gasperz, Vincent. 1998. *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [5] Hakim, N Arman. 2006. *Manajemen Industri*. Yogyakarta: Andi.
- [6] Hardianto. 2003. *Perencanaan Pengendalian Persediaan Bahan Baku dengan Memperhatikan Kapasitas Gudang di perusahaan Sumber Jaya*. Skripsi. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- [7] Hartini, Sri. Edisi ketiga. 2006. *Production Planning and Control*. Laboratorium Sistem Produksi Teknik Industri UNDIP.
- [8] Herjanto, E. Edisi Kedua. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta : PT. Grasindo.
- [9] Heyzer, Jay dan Barry Render. Buku 2. Edisi Ketujuh 2005. *Operations Management : Manajemen Operasi*. Jakarta : Salemba Empat.
- [10] Kholil, Muhammad, Ir. 2008. *Modul Kuliah Pengendalian dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Universitas Mercu Buana.
- [11] Makridakis, S Steven C Wheelwright. 5 Edition. 1992. *Forecasting Methods for Management*. New York: John Willey and Sons.

Business Process Improvement Sebagai Dasar Perbaikan Proses Penerbitan Dokumen Work Completion Certificate (WCC) Menggunakan Metode Streamlining di PT XYZ

Muhammad Kholil, Daryono

Program Studi Teknik Industri - Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650

E-mail : m.kholil2009@gmail.com

Abstrak -- PT. XYZ adalah perusahaan jasa yang bergerak dibidang telekomunikasi yang diberikan kepercayaan oleh salah satu perusahaan provider telekomunikasi besar dalam pembangunan infrastruktur Base Transmision Station (BTS). Kepercayaan yang diberikan Provider mencakup beberapa daerah operasional proyek, antara lain : Jabotabek, Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Nusa Tenggara. Sertifikasi terhadap hasil pekerjaan atau performance merupakan hal yang penting sebagai indikator kesuksesan partner/subcont dalam hal penyelesaian pekerjaannya. Sertifikasi ini yang biasa disebut dengan Work Completion Certificate (WCC) adalah suatu dokumen yang menyatakan bahwa order yang diberikan oleh perusahaan dalam hal ini adalah PT XYZ sudah diselesaikan sesuai dengan standarisasi yang sudah ditetapkan dalam kontrak bisnis antar keduanya.

Business Process Improvement atau BPI, sebagai salah satu metode dalam menjalankan Continuous Improvement, dapat memberikan suatu sistem yang akan membantu dalam proses penyederhanaan (streamlining) proses-proses bisnis, dengan memberi jaminan bahwa pelanggan internal dan eksternal dari organisasi akan mendapatkan output yang lebih baik dari sebelumnya. Masalah yang terjadi adalah lamanya proses penerbitan dokumen WCC selama 14 hari sehingga efeknya adalah backlog quantity Purchase Order (PO) yang mencapai 11% dan terjadi variant budget sebesar 7% dari hasil analisa dan pengolahan data produktivitas PO yang sudah diterbitkan. Targetnya adalah penurunan quantity dan value yang menjadi backlog atau selisih tersebut. Dari analisa diagram Fish Bone, terdapat tiga penyebab utama lamanya waktu proses tersebut yaitu faktor prosedur, faktor manusia atau pelaku aktifitas dan faktor fasilitas sehingga mengganggu kelancaran proses.

Dengan analisa Streamlining sebagai upaya perbaikan proses yaitu dengan simplifikasi proses dan pengurangan waktu perputaran proses penerbitan dokumen WCC yang sebelumnya 14 hari menjadi 7 hari. Eliminasi birokrasi dan aktivitas juga dilakukan. Realisasi terhadap upaya perbaikan tersebut adalah terjadi penurunan backlog quantity

PO dan penurunan selisih budget pada dua bulan setelah perbaikan. Jadi upaya perbaikan ini efektif dan efisien diterapkan dan diharapkan dapat memperlancar proses bisnis seterusnya (continous improvement) agar dapat diketahui potensi-potensi masalah pada tiap-tiap proses.

Kata Kunci: Work Completion Certificate (WCC), Business Process Improvement (BPI), Continuous Improvement, Purchase Order (PO), Streamlining.

I. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu perusahaan telekomunikasi yang besar PT XYZ sangat mementingkan kepuasan customer maupun partner yang tentunya dengan kerjasama bisnis yang baik serta komitmen yang tinggi menjadi acuan segalanya berjalan sesuai dengan target yang ditetapkan customer. Sertifikasi terhadap pekerjaan atau performance merupakan hal yang penting sebagai indikator kesuksesan partner dalam hal penyelesaian pekerjaannya. Sertifikasi ini yang biasa disebut Works Completion Certificate (WCC) adalah suatu dokumen yang menyatakan bahwa order yang diberikan ke partner sudah terselesaikan sesuai dengan standarisasi yang sudah dalam kontrak bisnis antar keduanya. Efektifitas dan efisiensi dalam proses penerbitan WCC ini menjadi tolak ukur produktivitas kerja perusahaan dalam progress implementasi pekerjaan.

Identifikasi Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengapa terjadi keterlambatan proses penerbitan WCC ?
- b. Faktor apakah yang menjadi penyebab terjadinya keterlambatan proses penerbitan WCC, ?
- c. Upaya apakah untuk memperbaiki proses agar lebih baik ?

Tujuan Penelitian

Dalam melakukan penelitian tentu mempunyai tujuan yang hendak dicapai guna menghasilkan sesuatu yang diinginkan. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Untuk mengetahui proses bisnis penerbitan WCC yang efektif dan efisien terhadap PO-PO yang sudah diterbitkan oleh perusahaan.
- b) Mengidentifikasi potensi penyebab keterlambatan proses penerbitan WCC ini.
- c) Menentukan langkah-langkah sekaligus usulan perbaikan sebagai bahan evaluasi perusahaan untuk lebih meningkatkan kualitas proses dan terus melakukan perbaikan yang berkesinambungan.

II. LANDASAN TEORI

Definisi Business Process Improvement (BPI)

Business Process Improvement didefinisikan sebagai kerangka sistematis yang dibangun untuk membantu organisasi dalam membuat kemajuan yang signifikan dalam pelaksanaan proses bisnisnya. BPI memberikan suatu system yang akan membantu dalam proses penyederhanaan (*streamlining*) proses-proses bisnis, dengan memberi jaminan bahwa pelanggan internal dan eksternal dari organisasi akan mendapatkan output yang lebih baik dari sebelumnya (Harrington, 1991).

Manfaat BPI

Dengan adanya proses bisnis yang terukur, maka manfaat yang akan didapat perusahaan adalah (Harrington, 1991) :

- a. Eliminasi kesalahan-kesalahan
- b. Maksimasi penggunaan asset-aset
- c. Minimalisasi waktu tunggu (*delay*)
- d. Memberikan pemahaman dan memudahkan penggunaan
- e. Dekat dengan pelanggan internal dan eksternal
- f. Kemampuan adaptif terhadap keinginan pelanggan
- g. Memberikan perusahaan keuntungan yang kompetitif
- h. Menghilangkan kelebihan-kelebihan pengeluaran

Sasaran Utama BPI

Perbaikan proses bisnis ini memiliki sasaran-sasaran utama sebagai berikut (Harrington, 1991) :

- a. Membuat proses efektif, yaitu mengeluarkan hasil yang diinginkan
- b. Membuat proses efisien, yaitu meminimasi sumber daya
- c. Membuat proses adaptif, yaitu dapat beradaptasi terhadap perubahan kebutuhan pelanggan maupun kebutuhan bisnis.

Dasar Pemilihan Bisnis Proses Untuk Diperbaiki

Pada umumnya, dipilihnya suatu proses untuk diperbaiki adalah sebagai berikut (Harrington, 1991) :

- a. Adanya keluhan-keluhan atau masalah-masalah dari pelanggan
- b. Proses-proses berbiaya tinggi
- c. Proses dengan siklus waktu panjang
- d. Adanya cara atau proses yang lebih baik
- e. Tersedianya teknologi baru

- f. Aturan manajemen untuk menerapkan metode baru.

Fase-Fase Pada BPI

Fase-fase perbaikan yang digunakan disini berdasarkan pada konsep *Business Process Improvement* (Harrington, 1991), terdiri dari :

- a. Mengorganisir perbaikan bertujuan menjamin kesuksesan dengan cara membangun kepemimpinan
- b. Pemahaman proses bertujuan memahami seluruh dimensi dari proses bisnis yang sedang berlangsung
- c. Penyederhanaan proses bertujuan memperbaiki efisiensi dan efektifitas serta adaptabilitas dari proses bisnis
- d. Implementasi, pengukuran dan control bertujuan mengimplementasikan suatu system untuk mengontrol jalannya proses perbaikan.
- e. Perbaikan berkelanjutan bertujuan mengimplementasikan proses perbaikan selanjutnya.

Metode Dalam BPI

Metode yang harus dilewati adalah dengan *streamlining* yaitu inisiasi perubahan proses kerja sehingga tercipta suatu proses baru yang lebih sederhana dengan pencapaian tujuan yang sama dan tetap. Ada beberapa cara atau tools yang bisa ditempuh untuk melakukan *streamlining* terhadap bisnis proses tersebut, yaitu :

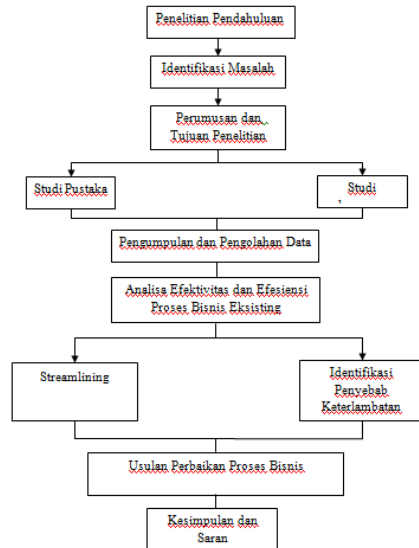
1. Eliminasi birokrasi yaitu menghilangkan tugas administrasi, penggunaan kertas kerja yang tidak perlu.
2. Eliminasi duplikasi yaitu menghilangkan suatu kegiatan serupa yang terjadi pada suatu bagian dari proses yang berbeda.
3. Evaluasi nilai tambah yaitu mengevaluasi setiap kegiatan dalam proses bisnis untuk menentukan kontribusinya pada kebutuhan pelanggan.
4. Simplifikasi yaitu mengurangi kompleksitas suatu proses.
5. Pengurangan perputaran waktu proses yaitu menentukan cara untuk mengurangi waktu siklus dan ongkos penyimpanan.
6. Pencegahan kesalahan yaitu membuat kondisi sehingga sulit melakukan kesalahan.
7. Upgrading yaitu membuat tingkat efektifitas lebih tinggi dalam meningkatkan performansi dalam proses bisnis.
8. Penyederhanaan bahasa yaitu mengurangi kompleksitas.
9. Standarization, yaitu memilih salah satu cara pembakuan dalam melakukan aktivitas,
10. Peningkatan kualitas input karena output proses mempunyai ketergantungan yang tinggi terhadap kualitas input proses yang diterima.
11. Pengembangan secara global yaitu teknik yang digunakan jika kesepuluh peralatan

penyederhanaan diatas tidak memberikan hasil yang diinginkan.

- Otomatisasi dan atau mekanisasi yaitu penerapan peralatan dan computer pada pekerjaan yang membosankan dan rutin

III.METODOLOGI PENELITIAN

Agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan sistematis diperlukan tahapan-tahapan proses penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah Penelitian pendahuluan, Identifikasi masalah, Perumusan dan tujuan penelitian, Pengumpulan dan pengolahan data, Analisis data, Usulan perbaikan dan kesimpulan dan saran.



Gambar 1. Kerangka Metode Penelitian

IV.PENGOLAHAN DATA

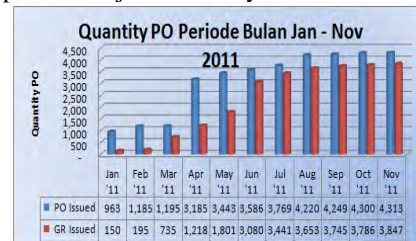
Tahap Identifikasi Quantity PO yang sudah di Goods Receipt / WCC yang sudah diterbitkan.

Tahap ini dilakukan identifikasi quantity PO yang sudah di goods receipt terhadap PO yang diterbitkan. Terlihat dari 4,313 PO yang sudah diterbitkan, baru 3,847 PO yang sudah di goods receipt atau ada selisih 466 PO atau 11% yang masih belum close. Untuk detail datanya dapat ditabel berikut:

Tabel 1. Data quantity PO period Jan-Nov 2011

Periode (QTY)	PO Issued	Cumm. PO Issued	GR Issued	Cumm.GR Issued
Jan '11	963	963	150	150
Feb '11	222	1,185	45	195
Mar '11	10	1,195	540	735
Apr '11	1,990	3,185	483	1,218
May '11	258	3,443	583	1,801
Jun '11	143	3,586	1,279	3,080
Jul '11	183	3,769	361	3,441
Aug '11	451	4,220	212	3,653
Sep '11	29	4,249	92	3,745
Oct '11	51	4,300	41	3,786
Nov '11	13	4,313	61	3,847

Dari data tersebut kemudian dibuatkan grafik, dapat terlihat jelas selisihnya.



Gambar 2. Grafik quantity PO period Jan-Nov 2011

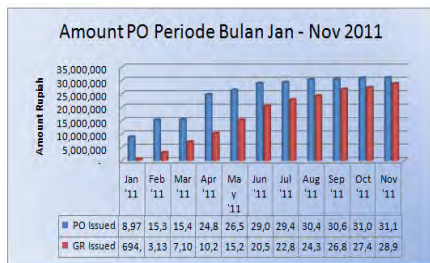
Tahap Identifikasi Value PO yang sudah di Goods Receipt / WCC yang sudah diterbitkan.

Dalam tahap ini yang harus dilakukan adalah mengetahui selisih atau variant budget terhadap PO yang belum close tersebut. Dari total nilai PO Rp 31,122,468, baru Rp 28,924,918 atau masih ada selisih 7% yang masih belum close. Untuk detail datanya dapat dilihat ditabel berikut :

Tabel 2. Data value PO period Jan-Nov 2011

Periode (AMT)	PO Issued	Cumm. PO Issued	GR Issued	Cumm.GR Issued
Jan '11	8,974,331	8,974,331	694,947	694,947
Feb '11	6,386,085	15,360,416	2,437,522	3,132,468
Mar '11	68,096	15,428,512	3,971,504	7,103,973
Apr '11	9,412,581	24,841,094	3,189,676	10,293,649
May '11	1,664,320	26,505,414	5,003,694	15,297,343
Jun '11	2,571,104	29,076,517	5,209,758	20,507,101
Jul '11	373,504	29,450,021	2,377,482	22,884,583
Aug '11	995,709	30,445,730	1,486,764	24,371,347
Sep '11	198,348	30,644,078	2,458,213	26,829,560
Oct '11	361,707	31,005,785	641,021	27,470,581
Nov '11	116,683	31,122,468	1,454,337	28,924,918

Dari data tersebut kemudian dibuatkan grafik, dapat terlihat jelas selisihnya.

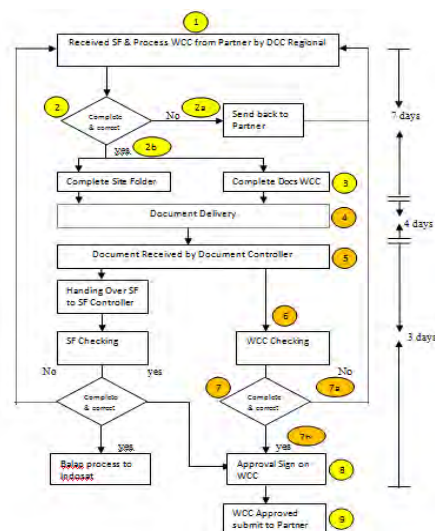


Gambar 3. Grafik value PO period Jan-Nov 2011

Tahap Identifikasi Waktu Siklus Eksisting (workhours) terhadap WCC

Adapun waktu siklus proses WCC adalah 14 hari sampai dokumen tersebut terselesaikan dimana quantity WCC yang dihasilkan adalah sama dengan PO yang sudah di goods receipt, dengan perhitungan sebagai berikut : WCC yang dihasilkan = 3,847 WCC. Jika diperhitungkan dengan jam, maka 14 hari kerja x 8 jam = 112 jam.

Untuk mengetahui alur proses penerbitan Work Completion Certificate (WCC), dapat dilihat gambar alur proses dibawah ini :



Gambar 4. Alur Process Penerbitan WCC

lamanya waktu proses penerbitan dokumen WCC, yaitu :

1. Faktor Prosedur, yaitu adanya duplikasi birokrasi dan aktivitas serta lamanya proses delivery dokumen dari Regional ke Head Office.
2. Faktor Manusia, yaitu sering terjadinya kesalahan input data karena keterbatasan skill
3. Faktor Fasilitas, yaitu keterbatasan jaringan dan keyuser sehingga update data dapat terganggu.

Tindakan Perbaikan Sebagai Improvement Dari Proses Bisnis Yang Ada

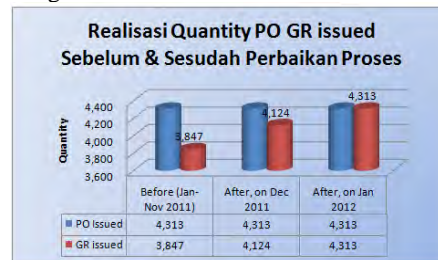
Tindakan perbaikan yang dilakukan adalah dengan metode *Streamlining*, yaitu :

- a. Simplifikasi, yaitu memotong kompleksitas proses dengan konsentrasi proses hanya sampai di Regional saja.
- b. Pengurangan waktu proses, menjadi 7 hari kerja dengan mengeliminasi birokrasi dan duplikasi aktivitas. Selain itu dapat menghilangkan waktu proses delivery dokumen ke Head Office.
- c. Peningkatan input proses dengan sosialisasi dan training system atau tools yang dikuasai oleh pelaku aktivitas dan diharapkan mampu meningkatkan kualitas output proses.

Aplikasi Terhadap Data dan Proses Yang Ada

- a. Realisasi terhadap quantity WCC / PO yang sudah *diissued*.

Dari 3,847 WCC yang sudah *issued* adanya realisasi pergerakan dibulan pertama setelah perbaikan yaitu menjadi 4,124 WCC atau tinggal 4% dan dibulan kedua *closing PO* terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat grafik berikut :



Gambar 6. Realisasi quantity PO/WCC issued

V. ANALISA PEMBAHASAN Analisa dengan Diagram Fish Bone



Gambar 5. Diagram Fish Bone

Dari hasil analisa berdasarkan diagram Fish Bone tersebut dapat diketahui penyebab utama

- b. Realisasi terhadap value WCC / PO yang sudah *diissued*.

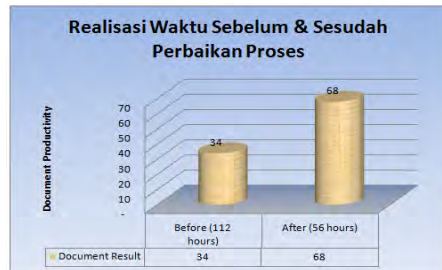
Dari nilai PO Rp 28,924,918 adanya realisasi pergerakan dibulan pertama setelah perbaikan yaitu menjadi Rp 29,622,468 atau tinggal 5% dan dibulan kedua terjadi *closing*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat grafik berikut :



Gambar 7. Realisasi value PO/WCC issued

- c. Realisasi terhadap waktu proses WCC dari 14 hari menjadi 7 hari kerja.
- Waktu proses 14 hari → 3,847 WCC : 112 jam = 34 dokumen per jam
- Waktu proses 7 hari → 3,847 WCC : 56 jam = 68 dokumen per jam

Berarti ada efisiensi waktu 50% dari hasil perbaikan tersebut. Sehingga dari hasil tersebut diharapkan mampu menghasilkan WCC sebanyak dua kali lipat. Dan dapat dilihat realisasi perbaikannya pada grafik berikut :



Gambar 8. Realisasi waktu proses penerbitan WCC

Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Proses Perbaikan.

Setelah dilakukan perbaikan, dapat dilihat perbandingan sebelum dan sesudah proses :

Tabel 3. Perbandingan hasil perbaikan dari sebelum dan sesudah proses

Proses Sebelum	Proses Sesudah	Kekurangan
Terdapat 13 aktivitas proses penerbitan WCC	Dibuatkan 11 aktivitas proses penerbitan WCC	Pengurangan jumlah aktivitas
Waktu proses	Pengurangan kompleksitas	Waktu proses lebih singkat
Terdapat waktu proses penerbitan WCC 112 jam	Terdapat waktu proses penerbitan WCC 56 jam	Maksimal waktu 50%
Waktu delivery dan pengesahan dokumen di Head Office 7 hari	Tidak ada delivery dan pengesahan dokumen di Head Office	Efisiensi waktu dan saving delivery cost
Outstanding quantity PO 11% dari 1.947 outstanding PO terhadap 4.110 PO issued	Mengurangi penunasan outstanding menjadi 4%	Minimasi beban mengibahkan di bulan pertama dan menjadi tidak ada outstanding di bulan kedua
Adanya variant budget 7% atau lebih 93% closed	Mengurangi penunasan variant budget menjadi 3% dibulan pertama	Closing PO
Kelelahan orang karena tidak ada keterbatasan skill	Sosialisasi dan Training untuk meningkatkan keahlian input	Peningkatan output proses, profesionalisme dan attitude yang baik
Double bookless dan duplikasi	Dikonvertasikan pada satu unit driver saja	Eliminasi bookless dan duplikasi
Aktivitas yang belum terintegrasi	Aktivitas terintegrasi dengan bantuan system informasi	Dapat mengantisipasi perubahan informasi secara online

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan terdapat selisih kuantitas PO yang masih belum closed sebanyak 466 PO atau 11% sampai dengan bulan November 2011, dan dilihat dari sisi budget terdapat selisih atau variant sebanyak 7% atau Rp 2,197,549 sampai pada bulan yang sama. Dan setelah dilakukan analisa dan upaya streamlining terhadap *Business Process Improvement*, realisasi terhadap perbaikan yang dilakukan adalah adanya penurunan backlog quantity PO menjadi 4% dibulan pertama dan close dibulan kedua. Demikian juga realisasi yang terjadi terhadap selisih value, dibulan pertama setelah perbaikan terjadi penurunan selisih menjadi 5% dan close dibulan kedua. Dari sisi pengurangan waktu perputaran proses dari 14 hari menjadi 7 hari waktu proses sebagai hasil dari simplifikasi proses, eliminasi birokrasi dan duplikasi dapat diketahui efisiensi waktu 50% yang diharapkan mampu meningkatkan hasil dua kali lipat nya.
2. Berdasarkan analisa *fish bone* diagram, ada tiga faktor penyebab keterlambatan proses yang dikarenakan waktu proses yang lama. Yang pertama adalah pada faktor prosedur yaitu adanya duplikasi birokrasi dan duplikasi aktivitas, selain adanya factor waktu dan biaya pengiriman dokumen, faktor manusia selaku pelaku aktivitas dan faktor fasilitas. Ketiga penyebab utama ini telah diupayakan perbaikan dengan melakukan *streamlining* terhadap proses tersebut.

Saran

1. Perbaikan yang dilakukan diharapkan dapat dilakukan secara terus menerus (*continuous improvement*), untuk menganalisa terjadi *bottle neck* pada masing-masing proses.
2. Memberikan training atau pelatihan kepada karyawan untuk meningkatkan input proses agar dapat meningkatkan output proses tersebut.
3. Agar tidak terjadi masalah atau *bottle neck* proses, diharapkan semua elemen atau lini proses dapat saling mensupport dan bekerja sama agar masalah tersebut terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Chase et al. *Operation & Supply Management*. 11th Edition. ISBN: 0073525227. 2011.

[2] Chopra and Meindl. *Supply Chain Management*. 2nd Edition. Prentice Hall, 2001.

[3] Harmon, Paul and Kaufmann, Morgan. *Business Process Change*. 2nd Edition, 2007. <http://id.shvoong.com/books/dictionary/2181634-business-process-change-chapter-13/>

[4] Harrington, H. James. *Business Process Improvement, The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productive and Competitiveness*, Mc Graw-Hill, inc., USA, 1991.

- [5] Heizer, J., and Barry R., *Operation Management*, Upper Saddle, Pearson Prentice Hall. 2004. <http://www.wikepedia.com>
- [6] Jacka J. Mike and Keller J. Paulette. *Business Process Mapping Work Book*, Penerbit PPM, Jakarta. 2010.
- [7] John Naylor., *Introduction of Operation Management*, FT Prentice Hall, 2002. <http://www.scribd.com/doc/59123034/makalah-SCM>
- [8] Kalakota. *Supply Chain Management*. 2001. "http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Manajemen_rantai_suplai&oldid=4946689".
- [9] Mursyid Hasan Basri. *Peta Bisnis Proses*. 2010. <http://manajemenoperasional.com/peta-proses-bisnis>.
- [10] Tenner, Arthur, De Thoro Irving J., *Process Redesign, The Implementation Guide for Manager*, Addison-Wesley, Canada. September 1996.
- [11]Turban, Rainer, Porter. *Managemen Rantai Supply*, h321. 2004. http://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen_rantai_suplai.
- [11]Yudha Arisanto. *Business Process Improvement Sebagai Dasar Perancangan Sistem Informasi Pada Proses Pendidikan dan Pelatihan Karyawan/ti di PT Pos Indonesia Bandung*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Industri, STT Telkom Bandung. 2005.

Pemanfaatan Teknologi Informasi *E-Commerce* Hasil Kerajinan Tangan Siswa-Siswi Panti Sosial Bina Netra Menggunakan Metode B2C

Linda Marlinda¹, Harsih Rianto²

Manajemen Informatika, AMIK Bina Sarana Informatika

Jl. RS. Fatmawati No. 24 Pondok Labu Jakarta 12450

E-mail : linda_marlinda2000@yahoo.com¹, anto_184@yahoo.com²

Abstrak-- Dewasa ini teknologi informasi memadukan informasi yang disimpan dalam bentuk dokumen dengan informasi yang dapat dilihat pada layar monitor yang terdiri dari kata, angka, diagram, video, suara dan gambar. Namun, visualisasi tersebut hanya dapat dinikmati bagi mereka yang tidak memiliki keterbatasan. Lalu apakah mereka yang memiliki keterbatasan penglihatan menikmati kecanggihan teknologi?; Apakah hasil kerajinan yang mereka hasilkan melalui tangan mereka dapat dipublikasikan dan dipasarkan keseluruh Indonesia?; Jawaban dari kedua pertanyaan tersebut adalah sudah pasti dapat. Jika pihak-pihak yang berkompeten khususnya dalam dunia IT (*Information Technology*) berkontribusi dalam membantu saudara-saudara kita yang memiliki keterbatasan penglihatan menikmati kecanggihan, kemajuan dan manfaat dari teknologi informasi. Faktor tersebutlah yang pada akhirnya teknologi informasi *E-Commerce* dibuat dengan metode B2C (*Bussiness To Customer*).

Kata Kunci : Teknologi Informasi, Ecommerce, B2C (*Bussiness To Customer*), Kerajinan Tangan

I. PENDAHULUAN

Teknologi informasi yang dilukiskan sebagai perpaduan antara teknologi komputer dan teknologi komunikasi telah mempengaruhi cara hidup kita. Teknologi ini mengubah cara kita berkomunikasi dengan orang lain, dengan diri kita sendiri dan dengan dunia. Daya komputer, yang merupakan pusat dari teknologi ini memiliki kemampuan menyimpan informasi dalam jumlah besar di dalam ruang fisik yang termasuk kecil dipadukan dengan kemampuan menyampaikan sumber daya tersebut melalui peralatan komunikasi atau jaringan.

Model Komunikasi dapat dilakukan melalui sambungan langsung (menggunakan berbagai jenis kabel) atau melalui penyiaran (*broadcast*). Informasi yang disajikan tidak hanya hadir dalam bentuk statis tetapi juga dalam bentuk dinamis. Pengguna dapat berinteraksi dengan teknologi informasi tersebut dan dapat mengubahnya serta memberikan respon atau jawaban.

Namun pada kenyataannya, masih terdapat beberapa aspek yang belum terjamah oleh teknologi.

Sebagai contoh adalah pemasaran hasil kerajinan tangan siswa/i Panti Sosial Bina Netra. Selama ini hasil kerajinan yang mereka buat hanya dipasarkan di dalam lingkup panti saja, dan selebihnya hanya sebagai penghias ruangan.

Sedangkan pemanfaatan teknologi informasi *e-commerce* untuk memasarkan produk telah banyak digunakan secara luas terutama di negara-negara yang sudah maju. Dengan penyediaan katalog (*online*) yang dapat diakses dengan cepat dan mudah merupakan salah satu contoh nyata yang dapat meningkatkan produktivitas dan pendapatan siswa/i Panti Sosial Bina Netra.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang, menganalisa dan memanfaatkan teknologi informasi *e-commerce* hasil kerajinan tangan siswa/i Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat Bekasi agar dikenal luas oleh masyarakat.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh penulis, dimana belum adanya pihak-pihak yang berkompeten di bidang Teknologi Informasi berperan serta dalam membantu memasarkan hasil kerajinan tangan siswa/i Panti Sosial kepada masyarakat luas tak terbatas hanya dalam negeri namun juga luar negeri. Sesungguhnya Departemen Sosial telah banyak mempublikasikan tentang Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat ini, akan tetapi semua itu hanya sebatas informasi tentang kurikulum dan kegiatan para siswa/i bukan informasi tentang hasil kerajinan tangan yang telah mereka hasilkan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

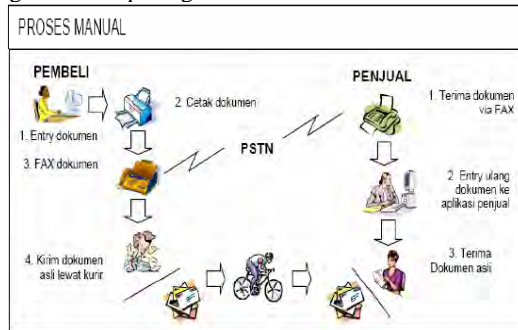
Metode analisis terdiri dari observasi, yaitu pengamatan langsung terhadap kegiatan yang terjadi pada siswa/i Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat Bekasi, interviewing (Wawancara) dengan cara melakukan tanya jawab dengan pengurus panti dan siswa/i Panti Sosial Bina Netra dan research dengan metode studi pustaka, penulis mendapatkan sumber informasi dan data dari buku serta makalah yang berhubungan dengan studi literature yang berkaitan dengan perancangan sistem informasi *e-commerce*.

Pada tahapan ini dilakukan perancangan system dengan menggunakan analisa desain berbasis object dengan UML (*Unified modeling Language*).

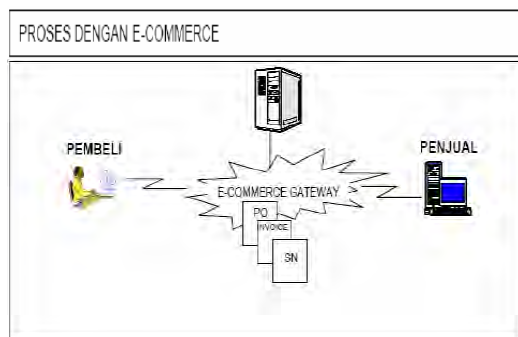
III. PERANCANGAN DAN HASIL PENELITIAN

E-commerce adalah penggunaan komunikasi elektronik dan teknologi pengolahan informasi digital dalam transaksi bisnis untuk membuat, memodifikasi, dan mendefinisikan kembali hubungan dengan menciptakan nilai antara organisasi dan individu atau perseorangan. ^[1]

Perbedaan umum antara proses bisnis secara manual dengan menggunakan *e-commerce* dapat digambarkan pada gambar di bawah ini. ^[6]



Gambar 1. Proses Bisnis Secara Manual



Gambar 2. Proses Bisnis dengan *E-commerce*

Dengan melihat ke dua gambar di atas, perbedaan antara proses bisnis secara manual dengan penggunaan *e-commerce* sangat signifikan. Pada proses bisnis dengan *e-commerce* terjadi efisiensi pada penggunaan fax, pencetakan dokumen, entry ulang dokumen, dan biaya kurir. Efisiensi tersebut menunjukkan pengurangan biaya dan waktu atau kecepatan proses. Kualitas transfer pun lebih baik, karena tidak dilakukan entry ulang yang memungkinkan terjadinya kesalahan manusia (*human error*).

B2C (*Business to Customer*) merupakan salah satu jenis *e-commerce*. Tidak hanya B2C, masih terdapat 3 jenis *e-commerce* lainnya yaitu B2B, C2C, dan G2C yang masing-masing memiliki makna dan karakteristik berbeda.

B2C adalah bentuk jual beli produk yang melibatkan perusahaan penjual dan konsumen akhir yang dilakukan secara elektronik. ^[4]

Karakteristik dari B2C adalah:

1. Terbuka untuk umum, dimana informasi disebarkan secara umum pula

2. Pelayanan yang diberikan bersifat umum sehingga mekanisme dapat digunakan oleh banyak orang
3. Pelayanan yang diberikan adalah berdasarkan permintaan konsumen

Berdasarkan landasan teori yang telah dipelajari dari beberapa sumber, maka penulis memulai untuk melakukan analisa atau penelitian pada Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat yang merupakan Unit Pelaksana Teknis (UPT) di lingkungan Kementerian Sosial RI memberikan pelayanan kesejahteraan sosial bagi penyandang cacat netra untuk meningkatkan kemampuan fisik, mental dan sosial agar menjadi warga masyarakat yang produktif.

Atas ide Prof. Sumantri Praptokusumo yang diresmikan oleh Bapak Moeljadi Djoyomartono dengan nama Pilot Proyek Asuhan Keluarga Anak-anak Tuna Netra "Wisma Tan Miyat" yang berarti "Rumah Tanpa Sinar", maka berdirilah Panti Rehabilitasi Penderita Cacat Netra "Wisma Tan Miyat" yang diresmikan oleh Menteri Kesejahteraan Sosial pada tanggal 20 Desember 1959, berlokasi di Jalan R.S Fatmawati, Jakarta Selatan.

Kemudian pada tahun 1992 berdasarkan Surat Keputusan Menteri Sosial RI No. 47/HUK/1992 Panti Rehabilitasi Penderita Cacat Netra (PRPCN) "Wisma Tan Miyat" dipindahkan ke Jalan H. Moelyadi Djoyomartono No. 19, Bekasi Timur.

Sedangkan nama panti berubah pada tahun 1995 berdasarkan Surat Keputusan Menteri Sosial RI No. 22/HUK/1995 menjadi Panti Sosial Bina Netra (PSBN) "Tan Miyat" Bekasi.

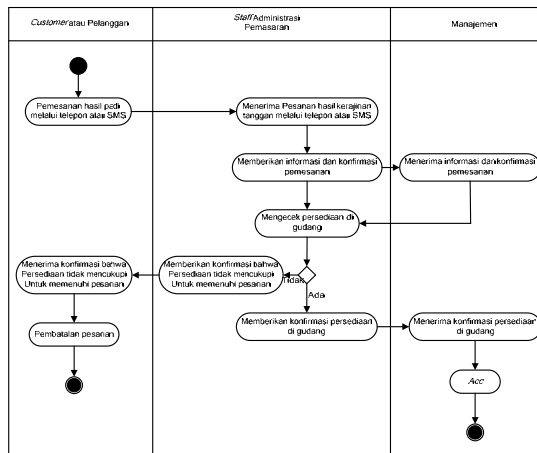
Saat ini PSBN "Tan Miyat" memiliki 120 peserta didik yang nantinya diharapkan dapat mandiri dan berdiskusi walaupun memiliki keterbatasan dalam penglihatan.

A. PERANCANGAN SISTEM

1. Activity Diagram

a. Proses pemesanan

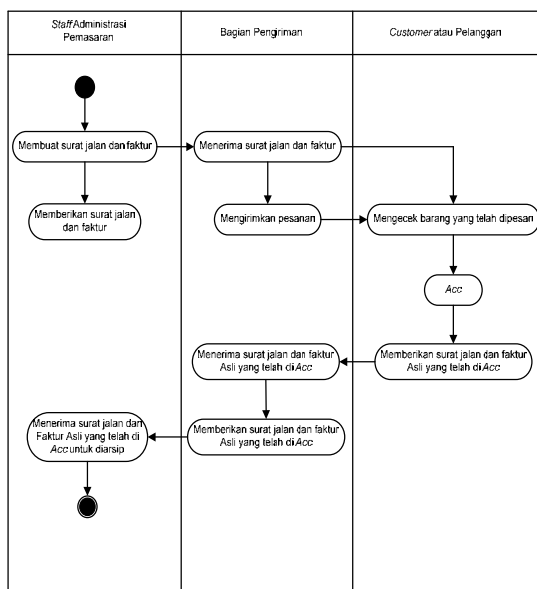
Pelanggan melakukan pemesanan hasil kerajinan tangan melalui telepon atau sms (*short message service*) kepada staff administrasi pemasaran. Staff administrasi pemasaran memberikan informasi dan konfirmasi pemesanan kepada manajemen. Staff administrasi pemasaran kemudian mengecek persediaan di gudang. Jika persediaan mencukupi untuk memenuhi pesanan, maka staff administrasi pemasaran memberikan konfirmasi persediaan di gudang kepada manajemen untuk disetujui. Namun jika persediaan tidak mencukupi, staff administrasi pemasaran memberikan konfirmasi kepada pelanggan bahwa persediaan tidak mencukupi untuk memenuhi pesanan. Dan pelanggan berhak untuk membatalkan pesanan.



Gambar 3. Activity Diagram Proses Pemesanan

b. Proses pengiriman barang pesanan

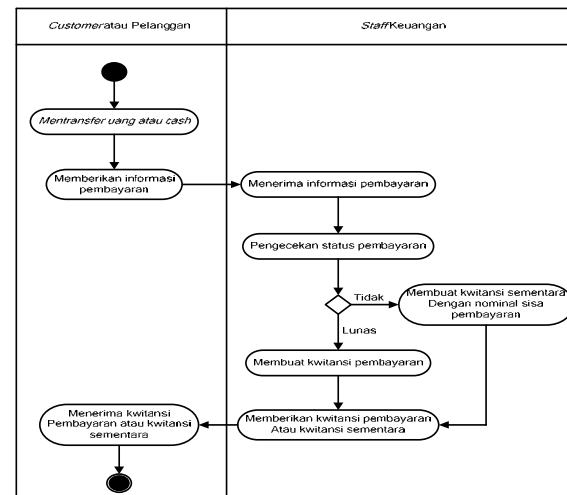
Dalam proses pengiriman barang pesanan, staff administrasi pemasaran membuat surat jalan dan faktur untuk diberikan kepada bagian pengiriman. Jika seluruh dokumen telah lengkap, maka bagian pengiriman siap untuk mengirimkan pesanan kepada pelanggan. Sesampainya di tempat tujuan, bagian pengiriman memberikan surat jalan dan faktur yang dibawanya. Pelanggan kemudian mengecek barang yang telah mereka pesan berdasarkan faktur dan surat jalan. Jika semuanya sesuai, maka pelanggan menandatangani surat jalan dan faktur yang membuktikan bahwa barang pesanan telah diterima. Setelah ditandatangani oleh penerima, maka surat jalan dan faktur asli diberikan kepada bagian pengiriman yang kemudian akan diteruskan kepada staff administrasi pemasaran untuk diarsipkan.



Gambar 4. Activity Diagram Proses Pengiriman Barang Pesanan

c. Proses pembayaran

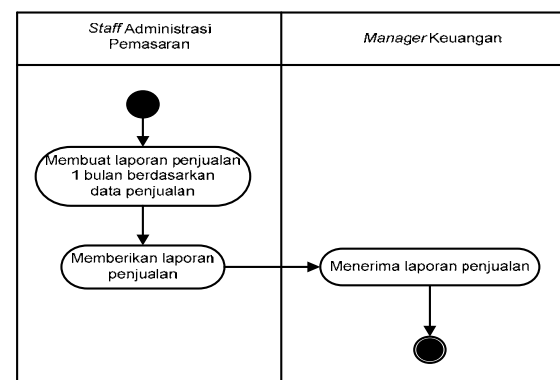
Pelanggan yang telah menerima barang pesanan dapat melakukan proses pembayaran. Proses pembayaran dilakukan dengan men-transfer uang dengan jumlah pembelian atau membayar tunai. Tidak hanya men-transfer sejumlah uang, pelanggan juga memberikan informasi pembayaran kepada staff keuangan. Setelah menerima informasi tersebut, staff keuangan mengecek status pembayaran tersebut. Jika nominal yang dibayarkan sesuai dengan jumlah faktur atau dibayar lunas, maka staff keuangan membuat kwitansi lunas. Namun jika masih ada pembayaran yang ditungguhkan, maka staff keuangan membuat kwitansi sementara dengan mencantumkan sisa pembayaran. Salah satu dari dokumen tersebut diberikan kepada pelanggan.



Gambar 5. Activity Diagram Proses Pembayaran

d. Proses pembuatan laporan

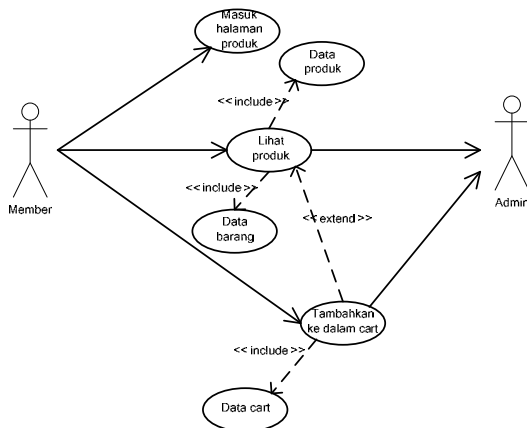
Proses terakhir dalam sistem penjualan pada umumnya adalah pembuatan laporan penjualan secara berkala yang dibuat oleh staff administrasi pemasaran berdasarkan data penjualan selama 1 bulan yang kemudian diserahkan kepada manager keuangan.



Gambar 6. Activity Diagram Proses Pembuatan Laporan

2. Use Case Diagram

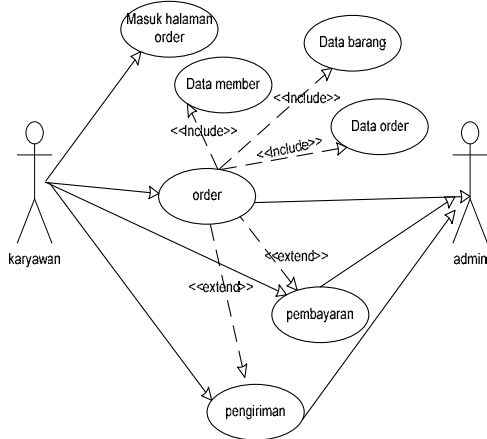
a. Use case diagram produk



Gambar 7. Use Case Diagram Produk

Nama : proses produk
 Actor : member, admin
 Deskripsi : member masuk ke halaman produk lalu melihat dan memilih produk yang diinginkan ke dalam cart. Setelah itu, admin akan memproses daftar cart yang dimiliki member.
 Nama use case : <<include>> data barang, data produk <<include>> data cart <<extend>> tambah ke dalam cart

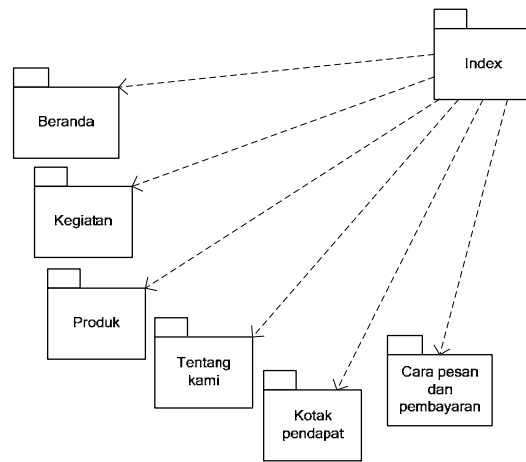
b. Use case diagram order



Gambar 8. Use Case Diagram Order

Nama : proses order
 Actor : karyawan, admin
 Deskripsi : karyawan masuk ke halaman order. Setelah itu karyawan dapat melihat detail, menginput data pembayaran dan pengiriman order.
 Nama use case : << include >> data member, data order, data barang << extend >> pembayaran, pengiriman

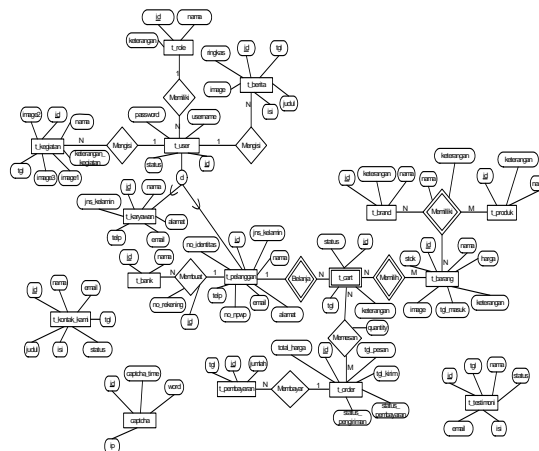
3. Package Diagram



Gambar 9. Package Diagram

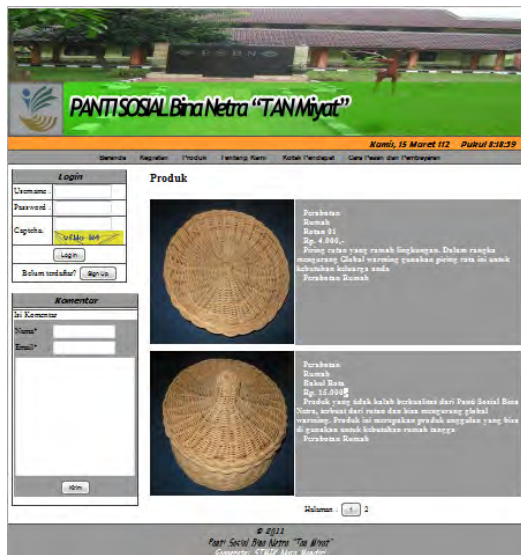
Deskripsi : diagram di atas menggambarkan pengelompokan elemen-elemen yang terdapat dalam system informasi e-commerce ini.

ERD (Entity Relationship Diagram)



Gambar 20. ERD (Entity Relationship Diagram)

Tampilan Halaman Web



Gambar 11. Tampilan Web

B. HASIL PENELITIAN

Setelah perancangan web *e-commerce* hasil kerajinan tangan siswa/i Panti Sosial Bina Netra dibuat, maka langkah selanjutnya adalah perancangan dan penerapan aplikasi tersebut terhadap objek penelitian, yaitu dalam hal ini pengurus Panti Sosial Bina Netra yang ingin mengaplikasikan dan memanfaatkan teknologin informasi berbasis web ini sert mencari infomasi yang dibutuhkan.

Menetapkan item – item kuesioner yang nantinya dijadikan sebagai parameter penilaian penelitian,

- a. Observasi lapangan untuk menentukan tempat yang akan dijadikan sebagai penelitian.
- b. Melakukan *survey* dan *interview* awal terhadap 10 reponden siswa/i serta pengurus Panti Sosial Bina Netra melalui pengisian kuesioner untuk pengurus panti dan wawancara untuk siswa/i panti.
- c. Penerapan web pemasaran hasil kerajinan tangan sebagai alat bantu informasi pemasaran *alternative*.
- d. Melakukan *survey* untuk mendapatkan data melalui pengisian kuesioner oleh para pengurus panti.
- e. Melakukan analisa hasil pengukuran penelitian.

Pada saat peneliti melakukan riset menggunakan media kuesioner dan wawancara untuk mengetahui apakah penelitian ini bermanfaat atau diinginkan oleh siswa/i dan pengurus panti dengan jumlah 10 responden dengan 5 pertanyaan yang berkaitan langsung dengan penelitian. Hasil pengamatan penggunaan web pemasaran hasil kerajinan tangan sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Skor Pertanyaan

Responden	Skor Pertanyaan					Skor Total
	1	2	3	4	5	
1	3	4	3	4	2	16
2	3	4	4	2	3	16
3	4	3	2	4	3	16
4	3	4	3	4	2	16
5	4	2	4	3	4	17
6	3	4	3	4	4	18
7	4	4	4	4	4	20
8	2	3	4	3	4	16
9	3	3	3	4	2	15
10	4	4	2	4	3	17
Jumlah	33	35	32	36	31	167

Hasil kuesioner tersebut diolah dengan menggunakan SPSS metode Bivariate Pearson (korelasi produk momenn pearson) adalah analisis dengan cara mengorelasi masing – masing skor item dengan skor total.

Hasil pengujian berdasarkan isian responden sebagai berikut:

	ITEM1	ITEM2	ITEM3	ITEM4	ITEM5	ITEMTOT	
ITEM1	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	1 ,125 10	-,518 ,346 10	-,334 ,429 10	,283 ,416 10	,132 ,717 10	,337 ,341 10
ITEM2	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,518 ,125 10	1 ,656 10	-,161 ,707 10	-,136 ,057 10	-,617 ,057 10	-,207 ,566 10
ITEM3	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,334 ,346 10	-,161 ,656 10	1 ,044 10	-,645* ,191 10	,450 ,191 10	,367 ,297 10
ITEM4	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,283 ,429 10	-,136 ,707 10	-,645* ,044 10	1 ,416 10	-,290 ,191 10	,207 ,566 10
ITEM5	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,132 ,717 10	-,617 ,057 10	,450 ,191 10	-,290 ,416 10	1 ,047 10	,637* ,047 10
ITEMTOT	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,337 ,341 10	-,207 ,566 10	,367 ,297 10	,207 ,566 10	,637* ,047 10	1 ,047 10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Gambar 12. Hasil Pengujian

Dari hasil analisis didapat nilai korelasi antara skor item dengan skor total. Nilai ini dibandingkan dengan nilai r tabel pada signifikansi 0,05 dengan uji 2 sisi dan jumlah data responden (n) = 10, maka didapat r tabel sebesar 0,47.

Berdasarkan hasil analisis didapat nilai korelasi untuk item 3, 4, 5 memiliki nilai item lebih dari 0,47 dan dapat disimpulkan bahwa butir pertanyaan yang diajukan pada saat melakukan riset tersebut signifikan dengan perincian sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Pertanyaan

No	Pertanyaan	Hasil SPSS
Kemandirian		
1	Apakah anda setuju, penggunaan web pemasaran hasil kerajinan tangan siswa/i panti dapat meningkatkan penjualan dan pemasaran kepada konsumen	0,337
Kecepatan		
2	Apakah anda setuju bahwa adanya Web pemasaran hasil kerajinan tangan mempercepat proses pencarian harga, informasi produk dan kemudahan pembayaran secara cepat dan efisien	-0,207
Kemudahan		
3	Apakah anda setuju, bila penggunaan web pemasaran hasil kerajinan tangan memudahkan dalam proses pencarian informasi penjualan produk	0,367
Kegunaan		
4	Apakah anda setuju web pemasaran hasil kerajinan tangan dapat dijadikan alternatif pengganti metode penjualan secara manual	0,207
Motivasi		
5	Apakah anda setuju dengan adanya web pemasaran hasil kerajinan tangan dapat memotivasi para siswa/i dan pengurus panti untuk memanfaatkan teknologi informasi yang sedang berkembang saat ini	0,637

yang telah diberikan sehingga makalah ini selesai tepat pada waktunya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andam, Ruth, Zorayda. 2003. *E-Commerce and E-Business*. [http://www.apdip.net/publications/iespprimers/epimer-ecom.pdf].
- [2] ^ a b c d e f g Dharwiyanti, Sri. 2003. Pengantar Unified Modeling Language (UML). [http://IlmuKomputer.com.]
- [3] Jogiyanto, H.M. 2005. Analisis dan desain. Sistem Informasi. Pendekatan Terstruktur Teori dan Praktek Aplikasi Bisnis. Yogyakarta : Andi Offset.
- [4] Kadir, Abdul, dkk. 2003. Pengenalan Teknologi Informasi. Yogyakarta : Andi Offset.
- [5] Marlinda, Linda. 2004. Sistem Basis Data. Yogyakarta : Andi Offset.
- [6] Widodo, Suryarini. 2004. *E-commerce*. [http://wiwied.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/9036/slide_E-Commerce.pdf].

IV. KESIMPULAN

Penerapan pemasaran produk secara modern dengan berbasis web bertujuan untuk mengubah metode pemasaran yang sebelumnya dengan cara tradisional menjadi konvensional, sehingga memberikan kelancaran usaha.

Pemanfaatan teknologi informasi yang belakangan ini marak digunakan oleh seluruh organisasi dapat diterapkan pula di Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat sebagai sarana untuk membantu siswa/i melalui binaan dari para pengurus panti.

Penyampaian informasi dan peluang mempromosikan produk hasil kerajinan tangan yang dibuat oleh siswa/i Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat yang berada di Bekasi menjadi lebih luas lagi, karena internet tidak mengenal batas wilayah, usia, profesi dan waktu.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan dan tanpa mengurangi rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh siswa/i Panti Sosial Bina Netra Tan Miyat Bekasi, seluruh pengurus Panti Sosial yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian dan hingga pada akhirnya dapat menuangkannya dalam sebuah sistem dan makalah. Tak lupa pula terima kasih kepada rekan-rekan yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu per satu.

Dan yang terpenting adalah terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala nikmat

Sistem Informasi Berbasis *Citizen Science* untuk Keanekaragaman Hayati di Daerah Perkotaan

Irya Wisnubhadra¹, Ardianto², Pramana Yuda³, Benyamin L. Sinaga⁴

^{1,2,4}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri,

Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

³Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

Email : irya@mail.uajy.ac.id¹, pramyd@mail.uajy.ac.id³, blsinaga@mail.uajy.ac.id⁴

Abstrak-- Pembangunan wilayah untuk memenuhi kebutuhan dan pertumbuhan populasi manusia telah mengubah kawasan-kawasan alamiah menjadi kawasan binaan. Kawasan pedesaan juga terus berkembang menjadi kawasan perkotaan. Penduduk dunia yang tinggal di kota terus bertambah besar.

Salah satu permasalahan perkotaan adalah berkurangnya keanekaragaman hayati. Kehilangan keanekaragaman hayati yang diperkirakan sejalan dengan berkembangnya urbanisasi sering kali sulit diketahui. Penelitian yang dilakukan masih terkendala waktu dan biaya serta minimnya jumlah peneliti. Salah satu fenomena kolaborasi di internet yang dimanfaatkan untuk penelitian ini adalah *citizen science / wiki*.

Penelitian ini mengembangkan Sistem Informasi berbasis *citizen science / wiki* untuk keanekaragaman hayati yang bertujuan untuk membantu masyarakat maupun peneliti memberikan dan mendapatkan informasi mengenai keanekaragaman hayati perkotaan. Sistem informasi ini digabungkan dengan informasi geografis dengan menggunakan media peta yang akan menyajikan informasi fauna dan flora yang berada pada lokasi tertentu di Yogyakarta. Aplikasi ini dibuat dengan menggunakan pemrograman dengan PHP (*PHP Hypertext Pre-Processor*).

Kata kunci : Keanekaragaman hayati, Citizen science, Wiki, Sistem Informasi

I. PENDAHULUAN

Pembangunan wilayah untuk memenuhi kebutuhan dan pertumbuhan populasi manusia telah merubah kawasan-kawasan alamiah menjadi kawasan binaan. Kawasan pedesaan juga terus berkembang menjadi kawasan perkotaan. Penduduk dunia yang tinggal di kota terus bertambah besar. Pada tahun 2005 penduduk yang tinggal di kota sudah 49%, dan diperkirakan

akan menjadi 60 % pada tahun 2030 (DESA-UN 2006). Oleh karenanya Komisi Brundland dalam laporannya -*Our Common Future* – memasukan masalah perkotaan sebagai salah satu tantangan dalam pembangunan yang berkelanjutan (WCED 1987).

Salah satu permasalahan perkotaan adalah berkurangnya keanekaragaman hayati. Seberapa besar kehilangan keanekaragaman hayati sejalan dengan perkembangannya urbanisasi sering kali sulit diketahui. Kondisi ini disebabkan karena untuk menjawab pertanyaan tersebut diperlukan penelitian dan pemantauan jangka panjang. Sementara itu kajian tentang keanekaragaman hayati di perkotaan (urban) di Indonesia masih terbatas, dan kalau ada juga terbatas dalam skala ruang dan waktu kajiannya.

Program penelitian di kawasan yang luas (seperti kota) dan program pemantauan jangka panjang menghadapi permasalahan yang sama yaitu pengumpulan data. Peneliti sering kali tidak bisa mengatasinya karena keterbatasan dana. Untuk mengatasi masalah ini peneliti di negara maju memanfaatkan para sukarelawan yang terlatih (*citizen scientists*) (McCaffrey 2005). Di Amerika pendekatan tersebut telah dikerjakan pada berbagai program penelitian ekologi, misalnya keterkaitan antara makroinvertebrata dengan kesehatan sungai (Fore, Paulsen et al. 2001), status populasi ikan karang dan amfibi (Pattengill-Semmens and Semmens 2003), distribusi dan kelimpahan kupu-kupu raja (Anonim. 2001). Bidang kajian yang paling banyak memanfaatkan pendekatan ini adalah penelitian burung (Lepczyk 2005.).

II. URBANISASI DAN DAMPAKNYA

Perubahan daerah pedesaan atau daerah alamiah menjadi perkotaan (urbanisasi) merupakan salah satu konsekuensi dari pertumbuhan populasi manusia. Secara global proporsi penduduk yang tinggal di kota terus meningkat. Pada tahun 1950 proporsinya hanya 29%, dan diestimasi pada tahun 2030 proporsinya

menjadi 59,9%. Kecenderungan ini tidak hanya terjadi di negara-negara maju di Eropa dan Amerika Utara, tetapi juga di negara-negara lain di dunia ini (DESA-UN 2006). Di Indonesia prosentasi urbanisasasi juga meningkat, pada tahun 2000 sebesar 42,4 % dan diperkirakan menjadi 63,5% pada tahun 2025 (BPS 2005).

Urbanisasi merupakan penggerak modernisasi, pertumbuhan ekonomi dan pembangunan. Namun pertumbuhannya yang cepat, terutama di kota-kota besar, juga menimbulkan berbagai masalah seperti, pengangguran, kemiskinan, kesehatan, sanitasi, keamanan pangan, pemukiman, kemacetan jalan raya, kawasan kumuh dan penurunan kualitas lingkungan (WCED 1987). Permasalahan lingkungan yang terjadi akibat urbanisasi terkait dengan kenaikan suhu, ketersediaan air bersih, polusi dan rusaknya habitat.

Fenomena pulau panas kota (*urban heat island*) terjadi akibat lebih banyaknya sinar matahari yang datang lebih banyak dari absorpsi oleh kota. Selain itu panas juga ditimbulkan oleh kegiatan transportasi, dan system pendinginan/pemanasan di perumahan atau industri di kota dan sekitarnya. Kondisi tersebut menyebabkan kota lebih panas 1 – 6° C dari bentang lahan di sekitarnya. Kegiatan perkotaan juga meningkatkan emisi gas karbon dioksida, yang lebih jauh mempunyai andil dalam perubahan suhu global. Dampak urbanisasi terhadap perubahan suhu diperkirakan antara 0,06 atau 0,15°C tiap abadnya, tergantung pada metode yang digunakan. Jika digabungkan dengan perubahan tata-guna lahan akibat pertanian, dampaknya terhadap kenaikan suhu permukaan bumi sebesar 0,27° C tiap abadnya (Kalnay and Cai 2003).

Urbanisasi secara langsung mengakibatkan hilangnya, rusak atau terfragmennya habitat bagi kehidupan liar. Pembangunan perumahan di daerah Muara Angke (Jakarta), misalnya, telah menghilangkan sebagian besar ekosistem lahan basah di daerah tersebut. Fungsi lahan basah sebagai daerah penyangga banjir di daerah tersebut hilang, yang berakibat terjadi banjir di jalan tol ke bandara, Selain itu konversi tersebut telah menghilangkan habitat bagi berbagai jenis burung dan satwa liar lainnya (Esanawati, Rizki et al. 2007).

Konversi lahan untuk pertanian dan urbanisasi juga mengakibatkan terfragmennya habitat yang sebelumnya merupakan satu kesatuan habitat tidak terputus menjadi fragmen-fragmen habitat yang terpisah dan terisolasi

Kondisi ini akan mengakibatkan terputusnya aliran gen antar populasi yang hidup di habitat yang terfragmen tersebut.

III. FAUNA KOTA DI YOGYAKARTA

Kota sebagian besar kawasannya berupa ekosistem buatan manusia. Gedung-gedung untuk berbagai keperluan dan bangunan sarana pendukung kegiatan kota lebih mendominasi dibanding ekosistem alami. Untuk menjaga keseimbangan lingkungan, kota memerlukan ruang terbuka hijau (RTH) untuk memfasilitasi kehidupan sosial manusia maupun untuk menyediakan habitat bagi kehidupan lain. Kawasan ruang terbuka hijau (RTH) di Yogyakarta hanya mencakup 16% dari total luas wilayah. Rendahnya prosentasi ini salah tidak terlepas dari kondisi perkembangan dan pembangunan kota yang tergolong maju. Lebih-lebih perkembangan pariwisata di Yogyakarta yang diduga memicu konversi lahan (Pujirahayu 2010). Prosentasi luas RTH ini masih di bawah ketentuan minimum RTH di Indonesia. Menurut Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 RTH di wilayah kota paling sedikit 30 persen.

RTH memiliki beberapa fungsi, yaitu ekologis, sosial, ekonomi dan estetika (arsitektural). Salah satu fungsi ekologisnya adalah sebagai habitat bagi satwa liar. Di Yogyakarta ditemukan RTH yang berfungsi sebagai habitat burung. Menurut Bura (2000) di kawasan pertamanan di kompleks Candi Prambanan ditemukan 36 jenis burung. Di arboretum Fakultas Kehutanan UGM hidup koloni berbiak Cangak abu (*Ardea cinerea*) dan Kowak maling (*Nycticorax nycticorax*).

Beberapa jenis burung liar bahkan telah beradaptasi dengan lingkungan kota yang didominasi gedung/bangunan. Gedung-gedung di kota telah banyak digunakan oleh berbagai jenis burung bukan hanya untuk tempat mencari makan, tetapi juga sebagai habitat berbiak dan berlindung. Jenis-jenis burung yang memanfaatkan berbagai jenis gedung di kota Yogyakarta untuk berbiak antara lain burung hantu (*Tyto alba*) di Candi Prambanan (*pers obs*) dan atap berbagai gedung (misal kampus UPN; Liem, 2009 *pers.comm*); gelatik jawa (*Padda oryzivora*) di Candi Prambanan (Laudisensius, Putro et al. 2000) dan di atap Hotel di sekitar Malioboro (Yuda 2008); burung gereja (*Passer montanus*), sriti (*Collocalia esculenta*), dan walet (*Collocalia fuchipaga*). Selain itu ada juga yang hanya menggunakan gedung sebagai tempat beristirahat, seperti Layang-layang asia (*Hirundo*

rustica) dan Layang-layang kabel (*Hirundo tahitica*) (*pers.obs*).

Yogyakarta juga mempunyai kebun binatang yang merupakan habitat fauna yang ditangkarkan. Kebun binatang Yogyakarta termasuk salah satu kebun binatang tertua di Indonesia.

IV. BURUNG SEBAGAI BIOINDIKATOR

Burung merupakan vertebrata terrestrial yang paling banyak dikaji. Sebagian besar burung aktif di siang hari (diurnal) dan relatif mudah untuk diamati. Oleh karena itu pula burung sering juga digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan. Burung Kenari, misalnya, digunakan sebagai indikator untuk mengetahui keberadaan gas-gas beracun di daerah pertambangan. Contoh lain adalah burung pemangsa (raptor) sebagai indikator tingkat polusi DDT (Temple 1988).

BirdLife International, suatu lembaga konservasi burung dan habitatnya, telah mengusulkan beberapa indikator berbasis pada burung. Suatu indikator yang disebut *Common Bird Indicator* digunakan untuk mengukur kesehatan lingkungan dan habitat kunci di Negara-negara yang tergabung dalam Uni Eropa. Indikator ini berdasarkan pada data kecenderungan populasi jenis-jenis burung, hasil dari program pemantauan burung umum (*The Pan-European Common Bird Monitoring Scheme*). Indikator lain yang diusulkan BirdLife Internasional adalah pendekatan *Important Bird Area* (IBA) untuk menentukan prioritas penentuan kawasan konservasi (BirdLife International 2011) dan *Red List Index* sebagai dasar penentuan status keterancaman suatu jenis burung (BirdLife International 2011).

Suatu daerah termasuk dalam IBA jika di daerah tersebut hidup jenis burung yang terancam punah atau jenis-jenis burung yang populasinya menurun serta daerah tersebut layak untuk dikonservasi. Berdasarkan kriteria ini di dunia telah diidentifikasi sekitar 7500 IBA, dan Indonesia memiliki 227 IBA yang tersebar di 24 propinsi, terbanyak di Asia Tenggara (Rudyanto 1995). Penetapan suatu kawasan menjadi IBA tidak hanya bermanfaat bagi konservasi burung, tetapi juga bermanfaat bagi keanekaragaman hayati lainnya di kawasan tersebut.

Beberapa kajian mencoba menggunakan komunitas burung sebagai indikator kesehatan suatu ekosistem/lingkungan tertentu. Hasil penelitian di daerah Mediteranian mengindikasikan bahwa komunitas burung air

bisa digunakan sebagai peringatan dini tentang dampak kegiatan manusia terhadap suatu sistem perairan (Larsen, Sorace et al. 2010). Bahkan sejak tahun 1967 di Eropa telah dikembangkan indikator burung pertanian (*Farmland Bird Index*) untuk mengetahui kesehatan lahan pertanian (RSBP 2011)

V. PENDEKATAN *CITIZEN SCIENCE*

Pengelolaan kawasan memerlukan informasi tentang potensi dan permasalahan di kawasan tersebut. Permasalahannya informasi yang diperlukan tersebut sering terbatas atau bahkan tidak tersedia. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut dilakukan program penelitian/survei. Keterbatasan tenaga ahli dan tenaga lapangan serta ketersediaan dana dan sarana pendukung lainnya seringkali menjadi kendala pelaksanaannya. Lebih-lebih jika program penelitian pada kawasan yang luas (seperti kota) dan program pemantauan jangka panjang. Permasalahan yang dihadapi sama yaitu bagaimana cara pengumpulan data yang efektif.

Untuk mengatasi masalah ini peneliti atau lembaga penelitian di negara maju memanfaatkan para sukarelawan yang terlatih atau ada yang menyebutnya *citizen scientists* (McCaffrey 2005). Di Amerika pendekatan tersebut telah dikerjakan pada berbagai program penelitian ekologi, misalnya keterkaitan antara makroinvertebrata dengan kesehatan sungai (Fore, Paulsen et al. 2001), status populasi ikan karang dan amfibi (Pattengill-Semmens and Semmens 2003), distribusi dan kelimpahan kupu-kupu raja (Anonim. 2001). Bidang kajian yang paling banyak memanfaatkan pendekatan ini adalah penelitian burung (Lepczyk 2005.).

Program pemantauan burung yang melibatkan para voluntir telah banyak dikerjakan di Amerika Utara, Eropa dan Australia. Program yang dilaksanakan di Amerika misalnya *Cristmast Bird Count* dan *Breeding Bird Survey*. Program *Bird Atlas* sudah dijalankan di Inggris, Negara Eropa lainnya dan Australia. Dalam skala yang lebih kecil di Indonesia telah dimulai program *Sensus Burung Pantai*. Beberapa pengamat dan peneliti juga sudah berpartisipasi dalam pengamatan burung migran, baik burung air (*Asean Waterbird Census* yang diorganisir oleh *Wtland Internasional*) dan burung raptor migrant (*Raptor Watch*).

Penelitian atau program pemantauan burung dengan pendekatan ini mempunyai beberapa keuntungan. Selain mendapat bantuan dari para relawan dalam pengumpulan data, program ini

juga meningkatkan partisipasi publik dalam proses ilmiah pengumpulan data yang sangat diperlukan dalam pengambilan keputusan pembangunan. Lebih jauh partisipasi tersebut menimbulkan kesadaran akan kondisi lingkungan bagi para partisipan, minimal pada daerah yang menjadi tempat pengamatannya (McCaffrey 2005).

VI. WEB DATABASE

Salah satu teknologi paling efektif dalam pengumpulan data, pengolahan data dan penyajian informasi saat ini adalah penggunaan teknologi web dan internet. Media internet sebagai media online yang dapat diakses selama 7 * 24 jam dalam seminggu merupakan alat yang paling efektif dan efisien untuk pengolahan dan diseminasi informasi.

Teknologi web yang dipadukan dengan database (*Web Database*) telah banyak digunakan para ilmuwan untuk membantu mereka dalam melakukan penelitian pada *life science*. Salah satunya adalah DNA Data Bank of Japan (DDBJ) yang berlokasi di Shizuoka Prefecture di Jepang. Bank Data ini telah digunakan dalam pertukaran data dengan laboratorium biologi molekuler European Bioinformatics Institute di Eropa dan GenBank di National Centre for Biotechnology Information. (Tateno Y et al, 2002). *National DNA Data Bank of Canada* juga menggunakan cara yang sama yaitu memanfaatkan basis data DNA untuk membantu polisi dalam menginvestigasi kejahatan melalui identifikasi DNA, (<http://www.nddb-bndg.org>).

Life Science Database Directory Service System di Singapura merupakan layanan web one-stop directory service yang berhubungan dengan life science. Layanan ini menghubungkan semua basis data life science seperti bioinformatics institute, genome institute of Singapore, Institute of Molecular and Cell Biology, National Cancer Centre, dan institusi lainnya (<http://lsdb.bii.a-star.edu.sg>). Kebutuhan untuk data-data life sciences bagi industri di Singapura dan bahkan di dunia dapat dilayani dari situs ini. Negara Swiss juga mempunyai Switzerland's Biotechnology Life Sciences Database yang menyediakan data-data lifesciences kepada industry di Swiss (<http://swisslifesciences.ch>)

Penggunaan internet di Indonesia terus meningkat yang ditunjukkan dengan grafik yang naik secara pesat dari tahun 2001 sampai pada tahun 2009, dan telah mencapai 8.7% dari seluruh penduduk Indonesia pada tahun 2009

(Bank Dunia, Indikator pembangunan dunia). Penetrasi penggunaan smartphone dan harganya yang terus merosot menambah meningkatnya pengguna internet dan menambah keefektifan diseminasi informasi menggunakan web di Indonesia. Meningkatnya penggunaan internet di Indonesia ternyata tidak diimbangi dengan berkembangnya konten informasi dan data yang berkaitan dengan life sciences, padahal Indonesia dikenal dunia sebagai negara dengan kekayaan dan keaneka ragaman hayati tertinggi didunia. Hal ini perlu dipicu melalui penelitian-penelitian yang kemudian dipublikasikan dan didokumentasi dalam *web database* yang dapat dimanfaatkan di waktu yang akan datang.

Salah satu fenomena penting penggunaan internet pada dekade ini adalah kemunculan situs jejaring sosial, aplikasi berbasis wiki, kolaboratif *software*, dan blog yang telah mampu mengubah dunia (Turban E, 2010). Informasi yang pada awalnya mengalir bahkan dimonopoli oleh pihak-pihak tertentu, telah berubah menjadi milik semua orang. Seseorang bebas menuliskan informasi apapun di internet dan dapat diakses oleh orang lain di seluruh dunia.

Selain aplikasi berbasis *web database* yang sangat membantu dalam pemanfaatan penelitian bersama adalah aplikasi berbasis kolaborasi dan wiki. Wiki adalah sebuah situs web (atau koleksi dokumen hiperteks lainnya) yang memungkinkan dengan mudah pembuatan dan editing dari sejumlah halaman web yang terkait, menggunakan bahasa mark up sederhana dalam browser. Wiki sering digunakan untuk membuat situs web kolaboratif, memberdayakan situs komunitas, dan untuk mengambil catatan. Salah satu situs wiki yang paling dikenal adalah Wikipedia yang merupakan ensiklopedia kolaboratif, yang berkembang terus karena peran komunitas (<http://wikipedia.org>). Peran komunitas dalam penelitian *life sciences* selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk kolaborasi, saling memperkaya dan memanfaatkan data-data penelitian *life sciences* untuk kepentingan yang lebih besar.

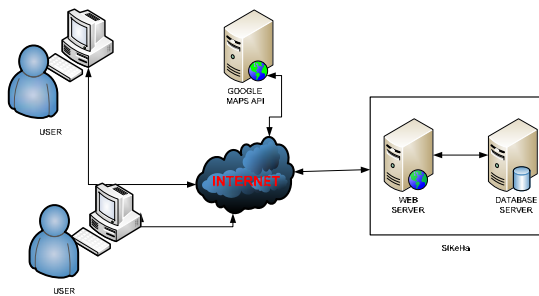
VII. PEMBANGUNAN PERANGKAT LUNAK

Salah satu prototype system informasi keanekaragaman hayati yang dibangun adalah SIGKeHa (Sistem Informasi Geografis Keanekaragaman Hayati). SIGKeHa merupakan system informasi yang dikembangkan untuk membantu memberikan informasi mengenai keanekaragaman hayati di Yogyakarta. Sistem

Informasi Geografis ini dibangun berbasis web dengan menggunakan media peta yang akan menyajikan informasi mengenai spesies keanekaragaman hayati (flora dan fauna) serta letak geografis daerah mana saja yang mempunyai spesies tersebut dan sebarannya. Sistem ini juga bermuatan informasi local berupa nama daerah dan sebutan di Indonesia.

SIGKeHa ini mempunyai fasilitas untuk pengguna (*citizen*) memberikan informasi, mengunggah informasi mengenai temuan fauna atau flora, dan pengguna lain (peneliti senior) dapat menyunting informasi yang ada.

Sistem Informasi dipadukan dengan peta / geografis dengan tujuan untuk memperlihatkan sebaran dari spesies flora dan fauna tersebut.



Gambar 1. Arsitektur Sistem SIGKeHa

Beberapa screen shot dari perangkat lunak ini tampak pada gambar dibawah ini :



VIII. KESIMPULAN

Sistem Informasi *Citizen Science* untuk keanekaragaman hayati telah berhasil dikembangkan. Perangkat Lunak ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi keanekaragaman hayati di Indonesia. Perangkat Lunak ini akan terus dikembangkan dengan memadukan aplikasi dengan *location based services*, mengintegrasikannya dengan sistem informasi lain yang telah ada pada lembaga-lembaga yang berkompeten. Tujuan akhir penelitian ini adalah memberikan data dan informasi yang dapat digunakan oleh masyarakat maupun penentu keputusan, seperti : keputusan konservasi, keputusan karena perubahan iklim, atau keputusan memaksimalkan manfaat keaneka-ragaman hayati bagi kesejahteraan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Ardianto, 2011, *Pembangunan Sistem Informasi Geografis keanekaragaman hayati daerah Istimewa Yogyakarta berbasis Web*, Tugas Akhir pada program studi Teknik Informatika, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

- [2]. Brooks, M., 2004, *Service Oriented Architecture and Grid Computing*, The MITRE Corporation
- [3]. BirdLifeBiro Pusat Statistik, 2005, *Urbanisasi di Indonesia*, Retrieved 15 Maret, 2011, from <http://www.datastatistik-indonesia.com/content/view/923/939>.
- [4]. Bura, S, 2000, *Keanekaragaman jenis burung di Candi Prambanan*, *Biologi*. Yogyakarta, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- [5]. DESA-UN, 2006, *World Urbanization Prospects - The 2005 Revision*, New York, United Nations.
- [6]. Irwin, A., 1995, *Citizen science: a study of people, expertise, and sustainable development*. London:, Routledge.
- [7]. Kalnay, E. and M. Cai, 2003, *Impact of urbanization and land-use change on climate*, *Nature*, 23.
- [8]. Larsen, S., A. Sorace, et al., 2010, *Riparian Bird Communities as Indicators of Human Impacts Along Mediterranean Streams*, *Environmental Management* **45**,(2): 261-273.
- [9]. Laudisensus, F. O., T. A. Putro, et al., 2000, *Burung Gelatik Jawa (Padda oryzivora) di Yogyakarta*, *Biota* **V**(1): 29-34.
- [10]. Lepczyk, C. A., 2005, *Integrating published data and citizen science to describe bird diversity across a landscape*, *Journal of Applied Ecology* **42**: 672-677.
- [11]. McCaffrey, R. E., 2005, *Using Citizen Science in Urban Bird Studies*, *Urban Habitats* **3**(1): 70-86.
- [12]. BAPPENAS, 2003, *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan*, National Document.
- [13]. Pattengill-Semmens, C. V. and B. X. Semmens, 2003, *Conservation and management applications of the reef volunteer fish monitoring program*, *Environmental Monitoring and Assessment* **81**: 43-50.
- [14]. Pujiarhayu, Y. , 2010, *Identifikasi karakteristik ruang terbuka hijau pada kota dataran rendah di Indonesia (Studi Kasus: Kota Banjarmasin, Yogyakarta, dan Medan)*, *Arsitektur Lanskap*, Bogor, Institut Pertanian Bogor.
- [15]. RSBP, 2011, *Farmland Bird Indecator*, Retrieved 20 April 2011, from <http://www.rspb.org.uk/ourwork/farming/advice/conservation/fbi/index.aspx>.
- [16]. Rudyanto, 1995, *Important Bird Area (IBA) dan Kegunaannya bagi Konservasi Keanekaragaman Hayati di Indonesia*, Bogor, BirdLife Indonesia Programme.
- [17]. Temple, S, 1988, *Can birds be indicators of environmental hazards?*, *The Passenger Pigeon* **50**(4).
- [18]. WCED, 1987, *Our Common Future Oxford*, Oxford University Pres.
- [19]. Yuda, P., 2008, *Conservation Genetics of the Java sparrow (Padda oryzivora) and an analysis of its viability*, *Marine and Tropical Biology*, Cairns, James Cook University, **PhD**.
- [20]. Tateno Y, Imanishi T, Fukami-Kobayashi K, Saitou N, Sugawara H et al, (2002), *DNA Data Bank of Japan (DDBJ) for genome scale research in life science*, *Nucleic Acids Res* **30**(1) : 27 – 30.
- [21]. Turban E., Volonino, 2010, *Information Technology for Management, Improving Performance in the Digital Economy*, 7th ed, John Wiley and Sons, Inc.

Sistem Informasi *Project Tracker* Menggunakan Metode Singleton dan Mediator Pattern

Ratna Mutu Manikam, Arief Suwandi, Julianti Munthe

Program Studi Sistem Informasi Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Mercu Buana
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650

Email: ratnamanikam@gmail.com, ariefsuwandi@gmail.com, juli.munthe@gmail.com

Abstrak -- Dalam proyek perangkat lunak perlu adanya pengaturan dan pemantauan perkembangan proyek yang sedang dilakukan, dengan demikian dibutuhkan sistem informasi project tracker yang merupakan aplikasi pengelolaan proyek yang berguna membantu tercapainya sasaran objectivitas suatu perusahaan dalam meningkatkan produktivitas karyawan yang terlibat dalam proyek perangkat lunak. Design pattern memberikan pemecahan masalah yang sederhana dan rapi pada masalah yang sering ditemukan kode yang berulang. Kata “kode yang berulang” menjadi petunjuk untuk menerapkan design pattern. Hal ini disebabkan design pattern menawarkan solusi untuk masalah “kode yang berulang”. Dalam rekayasa perangkat lunak ini menggunakan metode singleton pattern yang menerapkan penggunaan kelas yang hanya dapat diinstansiasi menjadi satu objek sedangkan mediator pattern yang mendefinisikan sebuah kelas dengan mengenkapsulasi kumpulan objek yang saling berinteraksi.

Kata Kunci: Project Tracker, singleton pattern, mediator pattern

I. PENDAHULUAN

Istilah *design pattern* sudah sangat dikenal saat ini dilingkungan pengembang perangkat lunak. Salah satu tahapan yang merupakan langkah awal dari pengembangan sistem yang menjadi dasar untuk menentukan keberhasilan suatu sistem informasi adalah tahap analisis. Tahap analisis sangat penting karena sangat menentukan bentuk sistem yang akan dibangun. Seorang sistem analis harus mampu menerjemahkan, menggambarkan dan mendeskripsikan kebutuhan pengguna kepada para pengembang perangkat lunak. Ketika sistem analis dihadapkan dengan suatu masalah dalam hal merancang perangkat lunak, maka sistem analis harus mampu menemukan solusi terbaik untuk masalah tersebut.

Sistem informasi yang berjalan saat ini menerapkan metode pemrograman prosedural, sedangkan Sistem informasi yang akan diusulkan menerapkan metode pemrograman berorientasi objek. Aplikasi yang menggunakan metode pemrograman

secara prosedural memiliki ciri-ciri kode yang berulang. Salah satu contoh yang memperlihatkan pengulangan adalah kode untuk membuka koneksi antara *user interface* ke dalam *database*. Setiap *user interface* harus memiliki koneksi ke *database*, sehingga terdapat perintah yang berulang untuk menghubungkan kedua objek tersebut. Hal ini menyebabkan penulisan kode yang sama pada setiap *user interface*. Apabila ada perubahan pada kode untuk koneksi ke *database* maka perubahan kode harus dilakukan juga pada *user interface* lain. Dengan demikian, pengembang membutuhkan waktu lebih banyak untuk melakukan perubahan pada *user interface*. Penggunaan *design pattern* oleh para pengembang perangkat lunak diyakini mampu mengatasi permasalahan pada kode yang berulang.

Penerapan *design pattern* dalam rancang bangun Sistem Informasi *Project Tracker* adalah kegiatan merancang kembali perangkat lunak tersebut dan menerapkan *design pattern* dengan metode pemrograman berorientasi objek.

Ruang lingkup pada rancang bangun Sistem Informasi *Project Tracker* dengan menerapkan *design pattern* adalah untuk menangani hal-hal yang dijabarkan sebagai berikut :

- Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *log in* bagi pengguna. Apabila pengguna sudah memiliki *username* dan *password* maka pengguna diberi hak akses menggunakan fitur yang tersedia pada aplikasi. Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *change password* bagi pengguna yaitu untuk mengubah kata sandi.
- Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *Project* untuk mengelola proyek, antara lain melihat daftar proyek, menambah, mengubah dan menghapus data proyek. Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *Project*, antara lain melihat daftar proyek, menambah, mengubah dan menghapus data proyek.
- Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *Schedule* untuk mengelola jadwal, antara lain melihat daftar jadwal, menambah dan menghapus data *schedule*.
- Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *Issue* untuk mengelola topik *bugs/error*,

- antara lain melihat daftar *issue*, menambah, mengubah dan menghapus data *issue*.
- e. Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *Document* untuk mengelola dokumen proyek, antara lain melihat daftar dokumen, menambah, mengubah, *upload* file dan menghapus dokumen.
- f. Sistem Informasi *Project Tracker* menyediakan fasilitas *Report* yakni menampilkan data proyek dalam bentuk laporan.

Tujuan yang dicapai adalah menghasilkan suatu rancangan Sistem Informasi *Project Tracker* dengan menerapkan *design pattern*. Penerapan *design pattern* ini juga bertujuan untuk membantu meningkatkan kualitas Sistem Informasi *Project Tracker*, mempermudah pemeliharaan dan mengurangi waktu pengembangan perangkat lunak.

II. ANALISA DAN PERANCANGAN

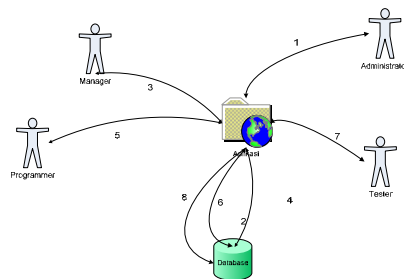
Analisis Sistem

Adapun target yang ingin dicapai dalam rancang bangun Sistem Informasi *Project Tracker* adalah menghasilkan rancangan dan implementasi Sistem Informasi *Project Tracker* dengan menerapkan *design pattern*. Dengan menerapkan *design pattern* pada rancangan Sistem Informasi *Project Tracker* maka metoda pemrograman yang semula adalah prosedural akan berubah menjadi berorientasi objek.

Berdasarkan analisis pada Sistem Informasi berjalan maka terdapat beberapa penambahan fitur pada Sistem Informasi *Project Tracker* yang dikembangkan, antara lain :

1. Autentikasi pengguna pada saat *login* dikategorikan berdasarkan peran setiap pengguna, sehingga informasi yang ditampilkan sesuai dengan hak akses. Pengguna dikategorikan menjadi 4 yaitu : *Administrator*, *manager*, *programmer* dan *tester*. Dilengkapi dengan fitur *change password*.
2. Aplikasi mengakomodir kebutuhan pengguna untuk menambah, memperbaharui dan menghapus data *issue*.
3. Aplikasi mengakomodir kebutuhan pengguna untuk menambah dan menghapus data *schedule*.
4. Aplikasi dapat menampilkan laporan proyek.

Pada gambar berikut ini diuraikan proses bisnis terhadap Sistem Informasi *Project Tracker* yang dibangun.



Gambar 1. Proses bisnis Sistem Informasi project Tracker

Keterangan gambar :

1. *Administrator* melakukan *login* ke dalam aplikasi kemudian melakukan pengelolaan terhadap *user* yaitu menambah, memperbaharui, dan menghapus data *user* melalui aplikasi.
2. Aplikasi melakukan autentikasi. Data yang ditambah, diperbaharui dan dihapus melalui aplikasi akan disimpan/diperbaharui/dihapus dari *database*.
3. *Manager* melakukan *login* kedalam aplikasi kemudian melakukan pengelolaan yaitu menambah, memperbaharui, dan menghapus data *project*, *issue*, *schedule*, *document*, *issue*, dan *report*.
4. Aplikasi melakukan autentikasi. Data yang ditambah, diperbaharui dan dihapus melalui aplikasi akan disimpan/diperbaharui/dihapus dari *database*.
5. *Programmer* melakukan *login* ke dalam aplikasi kemudian melakukan pengelolaan yaitu melihat data *project*, *schedule*, memperbaharui *issue* dan *document*.
6. Aplikasi melakukan autentikasi. Data yang ditampilkan dan diperbaharui melalui aplikasi akan disimpan atau diperbaharui dari *database*.
7. *Tester* melakukan *login* ke dalam aplikasi kemudian melakukan pengelolaan yaitu melihat data *project*, *schedule*. *Tester* dapat menambah, memperbaharui dan menghapus *issue* dan *document*.
8. Aplikasi melakukan autentikasi. Data yang ditampilkan, ditambah, diperbaharui dan dihapus melalui aplikasi akan disimpan/ diperbaharui/ dihapus dari *database*.

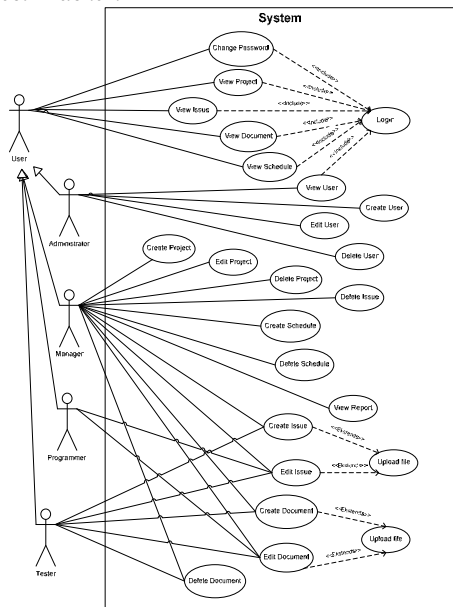
Penerapan Design Pattern

Pada rancang bangun Sistem Informasi *project tracker*, ada 2 *design pattern* yang diterapkan yaitu *singleton* dan *mediator*.

1. *Singleton pattern*
Singleton pattern menerapkan penggunaan kelas yang hanya dapat diinstansiasi menjadi satu objek. Sebagai contoh, koneksi ke *database* hanya membutuhkan satu kali instansiasi objek dalam aplikasi sehingga kode program untuk membuka dan menutup koneksi ke *database* tidak perlu berulang kali dituliskan. Setiap kode untuk koneksi ke *database* cukup dengan menggunakan objek yang telah diinstansiasi.
2. *Mediator Pattern*
Mediator pattern merupakan *pattern* yang bertujuan untuk mendefinisikan sebuah kelas yang mengenkapsulasi kumpulan objek yang saling berinteraksi. Dengan demikian operasi yang dimiliki setiap *user interface* dapat dimasukkan dalam satu kelas sehingga memberikan kemudahan dalam hal *maintain* kode program ketika terjadi penambahan *method()*.

Use Case Diagram Sistem Informasi Project Tracker

Berikut use case diagram Sistem Informasi Project Tracker.



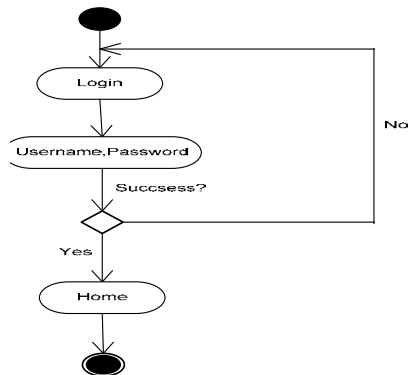
Gambar 2. Use case diagram Sistem Informasi project tracker

Activity Diagram Sistem Informasi Project Tracker

Detail aktivitas setiap pengguna Sistem Informasi Project Tracker diuraikan dalam bentuk activity diagram. Berikut digambarkan activity diagram SI ProjectTracker.

1. Activity Diagram Login

Pengguna harus melakukan login terlebih dahulu sesuai dengan hak akses yang telah diberikan. Ketika validasi username dan password berhasil dilakukan maka pengguna dapat melihat tampilan utama aplikasi.

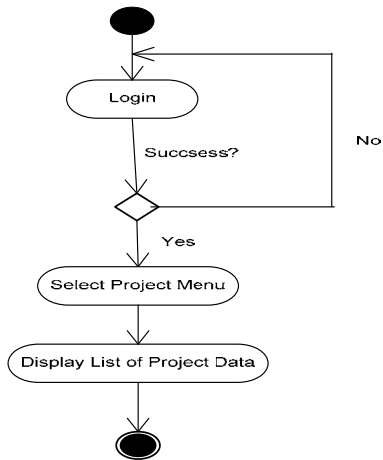


Gambar 3. Aktifitas login

2. Activity Diagram View Project

Pengguna melakukan login, jika berhasil maka pengguna dapat memilih menu Project dan melihat daftar dan detail proyek yang telah

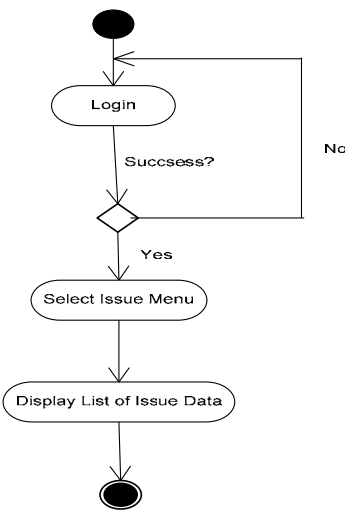
terdaftar pada sistem informasi. Namun jika pengguna gagal melakukan login, maka tetap berada pada tampilan login.



Gambar 4. Aktifitas view project

3. Activity Diagram View Issue

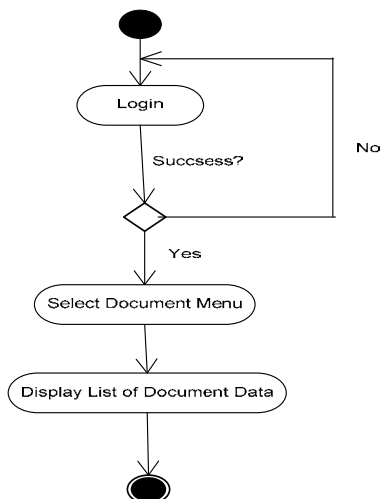
Pengguna melakukan login, jika login berhasil maka pengguna dapat memilih menu Issue dan melihat daftar dan detail issue. Namun jika pengguna gagal melakukan login, maka tetap berada pada tampilan login.



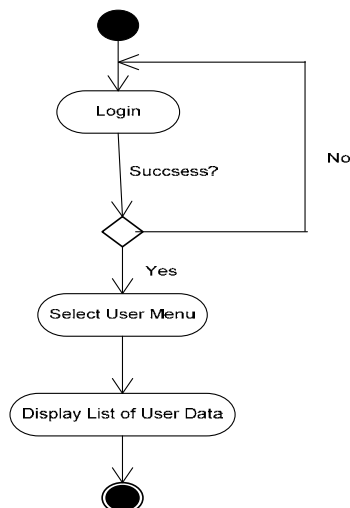
Gambar 5. Aktifitas view issue

4. Activity Diagram View Document

Pengguna melakukan login, jika login berhasil maka pengguna dapat memilih menu Document dan melihat daftar dan detail dokumen. Namun jika pengguna gagal melakukan login, maka tetap berada pada tampilan login.



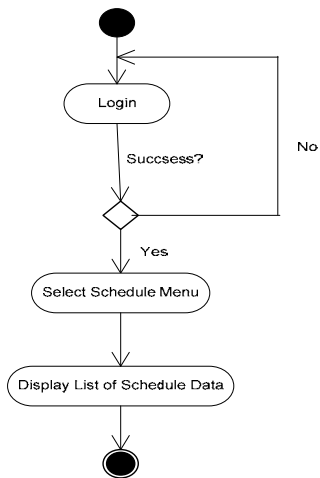
Gambar 6. Aktifitas view dokumen



Gambar 8. Aktifitas view user

5. Activity Diagram View Schedule

Pengguna melakukan login, jika login berhasil maka pengguna dapat memilih menu Schedule dan melihat daftar dan detail jadwal. Namun jika pengguna gagal melakukan login, maka tetap berada pada tampilan login.



Gambar 7. Aktifitas view schedule

6. Activity Diagram View User

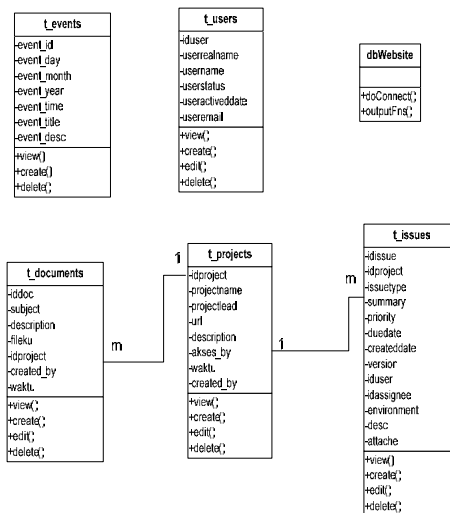
Pengguna melakukan login, jika login berhasil maka pengguna dapat memilih menu User dan melihat daftar user. Namun jika pengguna gagal melakukan login, maka tetap berada pada tampilan login.

Class Diagram Sistem Informasi Project Tracker

Class diagram menggambarkan kelas-kelas dalam sebuah sistem dan hubungan antara satu kelas dengan kelas yang lain serta dilengkapi dengan atribut dan operasi. Class diagram Sistem Informasi Project Tracker dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Class diagram software

Pada diagram kelas software diterapkan singleton pattern. Singleton pattern diterapkan pada kelas dbWebsite yang memiliki dua methodo dbConnect() dan outputFns(). Kelas tersebut diinstansiasi dan pengaksesan terhadap kelas dbWebsite menjadi global sehingga tidak perlu menulis ulang kode program untuk membuka dan menutup koneksi ke database.



Gambar 9. class diagram software

III. KESIMPULAN

Design pattern yang diterapkan pada rancangan Sistem Informasi *Project Tracker* ada dua yaitu *singleton* dan *mediator*. *Pattern* ini terlihat pada *class diagram software* dan *class diagram sistem*. Kesimpulan yang diperoleh dalam Penerapan *design pattern* dalam rancang bangun Sistem Informasi *Project Tracker* antara lain :

1. *Singletonpattern* digambarkan pada *class diagram software* yaitu kelas *dbWebsite*. Kelas ini berfungsi untuk membuka dan menutup koneksi ke database dan kelas ini selalu digunakan pada setiap bagian kode program yang menggunakan data dari *database*. Dengan menerapkan *singletonpattern* maka akan memberikan kemudahan ketika terjadi perubahan pada kode program koneksi, maka perubahan kode hanya dilakukan pada kelas *singleton*. Halini juga membantu mengurangi waktu pengembangan.
2. *Mediatorpattern* digambarkan pada *class diagram sistem* yaitu kelas *outputWeb*. Kelas ini berfungsi untuk menjalankan proses seperti menampilkan , menambah, memperbaharui dan menghapus data. Ketika terjadi perubahan kode program untuk melakukan query maka perubahan tersebut hanya dilakukan pada kelas *outputWeb*, tidak pada form *project, issue, schedule, document* dan *user*. Dengan demikian akan mempermudah pemeliharaan kode dan mengurangi waktu pengembangan.

Berikut adalah beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut dalam penerapan *design pattern* pada Sistem Informasi *Project Tracker* yaitu:

1. Mengimplementasikan *pattern* selain *singleton* dan *mediator*, langkah dalam pengimplementasian dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan deskripsi setiap *pattern*.
2. Mengimplementasikan fungsi report dengan menambah kategori dan report diimplementasikan dalam bentuk PDF untuk kemudian di *print*.
3. Melakukan pengujian menggunakan metode *whitebox*. Hal ini bermanfaat untuk meningkatkan kualitas program dari segi kode program yaitu kumpulan algoritma yang terdapat dalam kode program.

DAFTAR PUSTAKA DAN RUJUKAN

- [BGJ98] Booch, G., Jacobson, I., and Rumbaugh, J. "*The Unified Modeling Language User Guide*", Addison-Wesley, Reading, MA, 1998.
- [CMJ03] Cholones, Michael Jesse and Schardt, James A. "*UML 2 for Dummies*", Hungry Minds, 2003, ISBN:0764526146.

RUJUKAN

- [ERR95] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides : "*Design Pattern s, Elements of Reuseable Object Oriented*

Software", Addison Wesley, first edition, January 1995.

- [RSP01] Roger S.Pressman, Ph.D: "*Software Engineering A Practitioner's Approach*", Mc Graw Hill, fifth edition, 2001, ISBN 0073655783.

Rancang Bangun Sistem Informasi Tata Letak Puskesmas Pada Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta

Sarwati Rahayu¹⁾, Rizky Yoga Aditya²⁾

^{1,2}Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kebun Jeruk, Jakarta Barat 11650

Telp : (021) 5840816 Ext 5712, Fax : (021) 5861906

E-mail : sarwati2112@gmail.com¹⁾, rizky.yoga@yahoo.co.id²⁾

Abstrak -- Informasi merupakan kebutuhan vital dalam peranan kegiatan dan pengambilan keputusan yang akan mempengaruhi perkembangan suatu organisasi. Dengan adanya informasi yang akurat, lengkap, mudah, terpercaya maka organisasi dapat memenangkan persaingan bisnis jasa. Pusat Kesehatan Masyarakat atau lebih yang di kenal Puskesmas adalah layanan kesehatan bagi masyarakat pada suatu wilayah tertentu. Puskesmas sangat diminati masyarakat bagi yang sedang sakit terutama bagi kalangan menengah ke bawah. Dengan harga yang sangat terjangkau dan dilengkapi dengan sarana dan prasarana yang memadai, serta dokter umum maupun dokter spesialis yang berpengalaman, maka Puskesmas menjadi tempat favorit bagi masyarakat yang akan mengobati penyakitnya. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan Metodologi Rekayasa Perangkat Lunak yaitu Metode Waterfall. Sedangkan dalam Pemodelan Sistem menggunakan Unified Modelling Language (UML). Hasil Akhir Penelitian ini diharapkan masyarakat mengetahui tata letak puskesmas di sekitar wilayah DKI Jakarta.

Kata kunci : Informasi, Puskesmas, UML, Waterfall, UML

I. PENDAHULUAN

Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta merupakan salah satu provinsi yang terdapat di Indonesia. Setiap kota yang terdapat dalam sebuah provinsi memiliki beberapa puskesmas. **Pusat Kesehatan Masyarakat**, disingkat **Puskesmas**, adalah Organisasi fungsional yang menyelenggarakan upaya kesehatan yang bersifat menyeluruh, terpadu, merata, dapat diterima dan terjangkau oleh masyarakat, dengan peran serta aktif masyarakat dan menggunakan hasil pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tepat guna, dengan biaya yang dapat dipikul oleh pemerintah dan masyarakat. Upaya kesehatan tersebut diselenggarakan dengan menitikberatkan kepada pelayanan untuk masyarakat luas guna mencapai derajat kesehatan yang optimal, tanpa mengabaikan mutu pelayanan kepada perorangan.

Puskesmas merupakan unit pelaksana teknis kesehatan di bawah supervisi Dinas Kesehatan

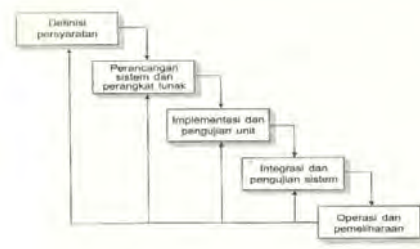
Kabupaten/Kota. Secara umum, mereka harus memberikan pelayanan preventif, promotif, kuratif sampai dengan rehabilitatif baik melalui upaya kesehatan perorangan (UKP) atau upaya kesehatan masyarakat (UKM). Puskesmas dapat memberikan pelayanan rawat inap selain pelayanan rawat jalan. Hal ini disepakati oleh puskesmas dan dinas kesehatan yang bersangkutan. Perawat memberikan pelayanan di masyarakat, puskesmas biasanya memiliki subunit pelayanan seperti puskesmas pembantu, puskesmas keliling, posyandu, pos kesehatan desa maupun pos bersalin desa (polindes). Layanan Puskesmas Provinsi DKI Jakarta meliputi Puskesmas Layanan 24 Jam sebanyak 44 puskesmas kecamatan, Layanan Puskesmas Rawat Inap meliputi 10 Puskesmas Kecamatan, dan Dukungan Pelayanan Kesehatan Masyarakat sebanyak 44 puskesmas kecamatan dan 295 Puskesmas kelurahan. Dengan adanya Perancangan Sistem Informasi ini, diharapkan masyarakat mengetahui tata letak puskesmas yang ada di DKI Jakarta.

II. METODOLOGI PERANCANGAN

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metodologi sebagai berikut :

Rekayasa Perangkat Lunak

Rekayasa Perangkat Lunak menggunakan model *waterfall* dapat dilihat pada gambar 1 [2]:



Gambar 1. Metode Waterfall

Pemodelan Sistem

Untuk memodelkan sistem digunakan diagram-diagram UML (*Unified Modelling Language*), yaitu use case diagram, Sequence diagram, dan Activity Diagram. [3]

Perancangan Basis Data

Aktivitas perancangan basis data akan mentransformasi spesifikasi kebutuhan untuk tempat penyimpanan data yang akan dikembangkan selama analisis basis data kedalam spesifikasi terstruktur untuk memandu implementasi langsung basis data. Ada 2 bentuk spesifikasi, yaitu : [1]

- Perancangan Basis Data Secara logika

Sasaran perancangan basis data secara logika adalah untuk menterjemahkan perancangan konseptual (yang mencerminkan kebutuhan data pada organisasi yang kita analisis di tahap – tahap sebelumnya) ke perancangan basis data logika yang dapat langsung di implementasikan pada sistem basis data yang dipilih.

- Perancangan Basis Data Secara Fisik

Merupakan tahapan untuk menuangkan perancangan basis data yang bersifat logis menjadi basis data fisis yang tersimpan pada media penyimpanan eksternal.

III. ANALISA DAN PERANCANGAN

Sistem Berjalan

Sistem informasi yang sedang berjalan, belum adanya informasi dokter yang bertugas dalam sebuah puskesmas di DKI Jakarta.

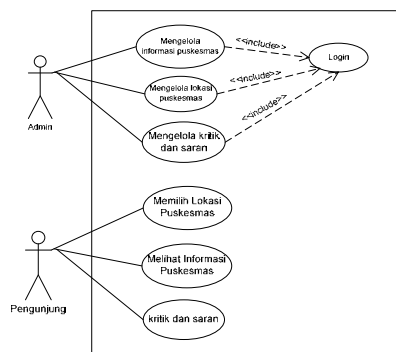
Sistem Usulan

Dari sistem yang sedang berjalan, maka disini peneliti ingin mencoba untuk membentuk suatu sistem baru yang dapat diterapkan dalam sebuah aplikasi. Dari sekian banyak pilihan yang tersedia untuk membuat sistem yang baru, pilihan jatuh kepada pembuatan sistem dengan menggunakan *Web* dan *MySQL* sebagai basis datanya.

Dari perancangan Sistem yang di usulkan, maka maka pemodelan sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

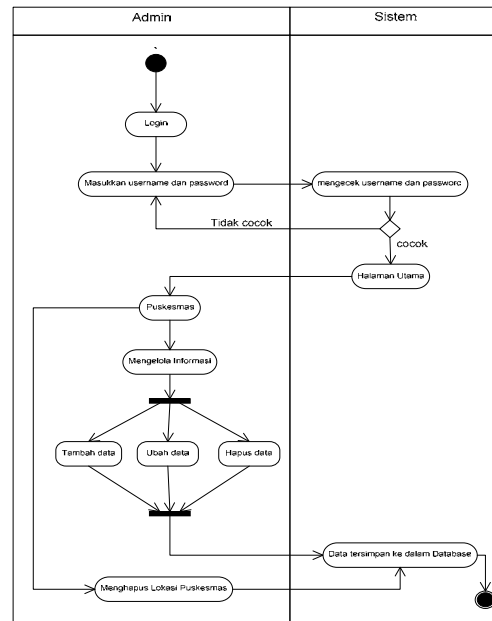
Dalam perancangan ini, peneliti menggunakan metode UML (*Unified Modeling Language*). Pemodelan dengan UML menggambarkan yang ada dalam dunia nyata ke dalam bentuk yang dapat dipahami dengan menggunakan notasi standar UML.

UseCase Diagram



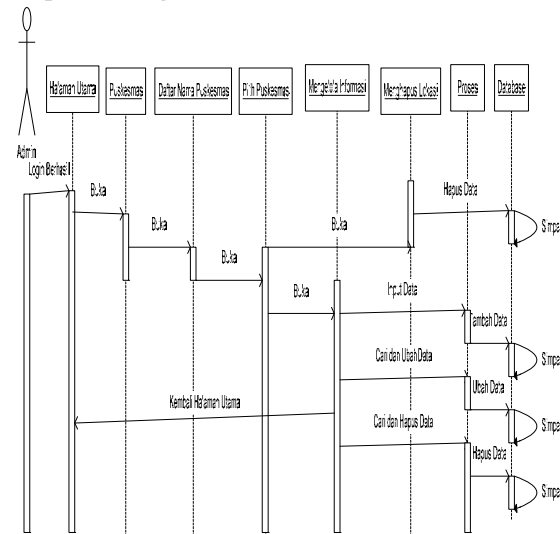
Gambar 2. Use Case Diagram Pendokumentasian Jurnal Tugas Akhir

Activity Diagram



Gambar 3. Activity Diagram Mengelola Informasi Puskesmas

Sequence Diagram

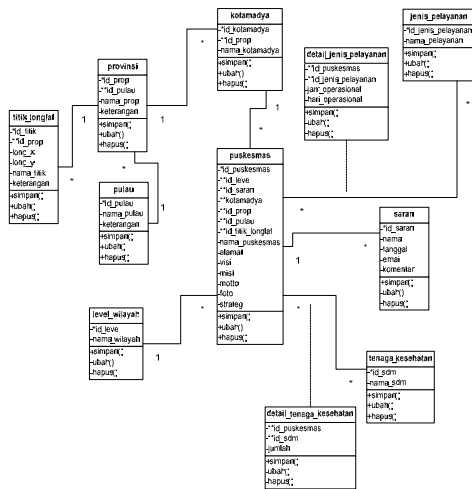


Gambar 4. Sequence Diagram Mengelola informasi puskesmas

Perancangan Basis Data

Rancangan basis data (*database*) bertujuan untuk diperolehnya basis data yang efisiensi dalam penggunaan ruang penyimpanan, cepat dalam pengaksesan dan mudah untuk memanipulasi data serta bebas dari redundansi.

Dalam merancang Basis Data, peneliti menggunakan Class Diagram seperti pada gambar 5.



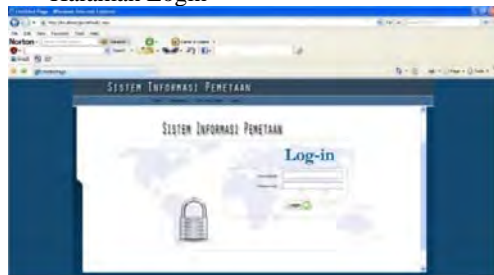
Gambar 5. Class Diagram Sistem Informasi Tata letak Puskesmas

IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Tahap perancangan dalam pembuatan program merupakan suatu hal yang sangat penting, karena didalam perancangan tersebut terdapat elemen-elemen yang mewakili isi atau *content* didalamnya. Arsitektur dalam perancangan website harus memiliki konstruksi yang baik, proses pengolahan data yang tepat dan akurat mempunyai nilai tersendiri dan memiliki dasar-dasar untuk pengembangan sistem selanjutnya.

Dasar dari sebuah sistem haruslah mudah dipahami, sehingga user dapat menangkap informasi yang disajikan. Pemrogram sebaiknya jangan terlalu cepat mengambil keputusan dalam merancang / menyusun arsitektur program yang dibuat, supaya hasil yang didapat sesuai dengan harapan.

- Halaman Login



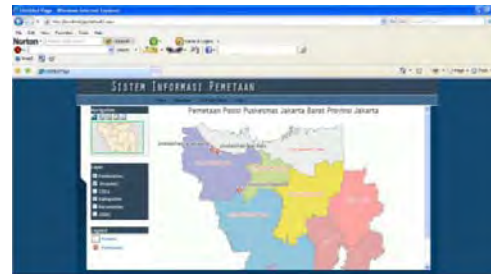
Gambar 6. Tampilan Login Sistem Informasi Tata Letak Puskesmas DKI Jakarta

- Halaman Utama Home



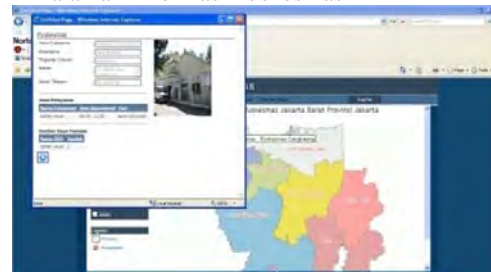
Gambar 7. Tampilan Layar Home Pada User

- Halaman Peta



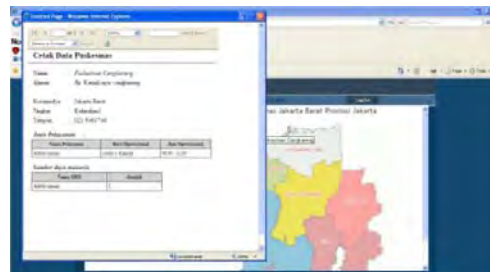
Gambar 8 . Tampilan Layar melihat Lokasi

- Halaman Informasi Puskesmas



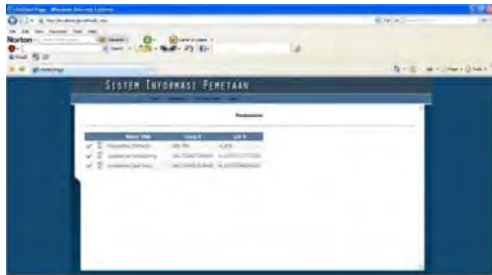
Gambar 9 . Tampilan layar informasi puskesmas

- Halaman cetak data Puskesmas



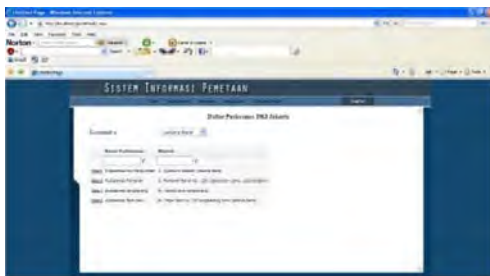
Gambar 10. Tampilan halaman cetak data puskesmas

- Halaman kritik dan saran



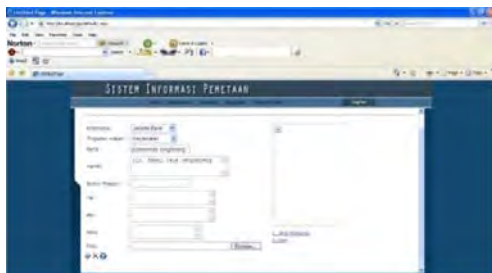
Gambar 11. Tampilan kritik dan saran

- Halaman home untuk admin



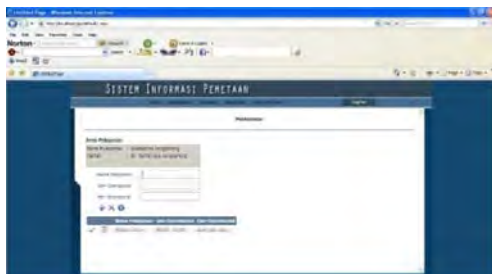
Gambar 12. Tampilan Halaman home untuk admin

- Halaman edit puskesmas



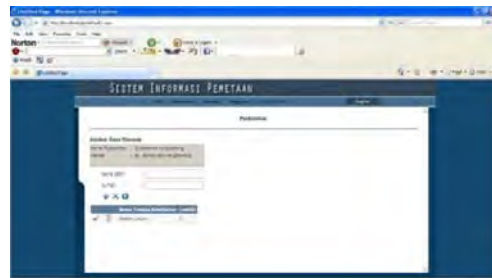
Gambar 13 . Tampilan Halaman edit puskesmas

- Halaman edit jenis pelayanan



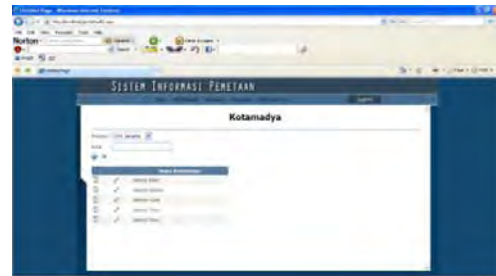
Gambar 14. Tampilan Halaman edit Jenis Pelayanan

- Halaman edit SDM



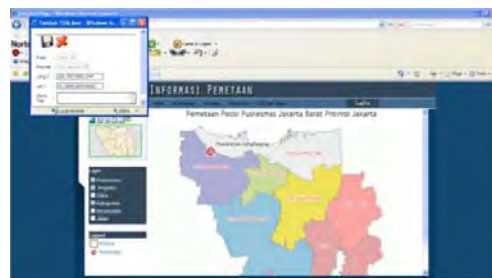
Gambar 15. Tampilan Halaman edit SDM

- Halaman Layar Kotamadya



Gambar 16. Tampilan Halaman kotamadya

- Halaman Menambah Puskesmas



Gambar 17. Tampilan Halaman menambah puskesmas

Skenario pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk menguji validitas sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan.

Tabel 1. Skenario Pengujian Sistem

No	Antar Muka	Unit Program (Uji Coba)	Status Aplikasi	Skenario Pengujian	Hasil Yang Diharapkan
1	Tamp. Login	Proses Login	Tampilan Login sudah terbuka	Input urut name dan password lalu klik "login"	Agar User dan Password Benar maka akan masuk ke halaman utama. Jika tidak maka akan tetap di menu login.
2	Tamp. Halaman Home	Menguji semua link menu yang terdapat pada halaman utama.	Masuk halaman utama	Klik link menu satu persatu.	Link menu yang dipilih dapat membuka halaman yang dimaksud.
3	Tamp. Halaman Edit Puskesmas	Menguji tombol tambah dan hapus data puskesmas	Halaman Edit Puskesmas sudah terbuka	Mengklik centang untuk mengedit data puskesmas, dan tanda hapus untuk menghapus data puskesmas.	Jika mengklik tombol edit record maka akan menampilkan data puskesmas yang diubah, dan jika mengklik tombol hapus maka akan menghapus data puskesmas.
4	Tamp. Halaman edit Kotamadya	Menguji tombol-tombol yang ada di halaman edit kotamadya.	Halaman edit kotamadya sudah terbuka	Klik tombol yang ingin diuji.	Maka data kotamadya akan diproses sesuai dengan tombol yang diuji.
5	Tamp. Halaman edit Level	Menguji tombol tambah, edit, dan hapus.	Halaman edit sudah terbuka.	Mengklik tombol yang ingin diuji.	Jika mengklik tombol add record maka data level akan bertambah, jika mengklik tombol select maka akan mengedit data level, dan jika mengklik tombol hapus, maka data level akan terhapus.
6	Tamp. Halaman Edit Jenis Pelayanan	Menguji Simpan dan batal.	Halaman Edit sudah terbuka.	Mengklik tombol yang ingin diuji.	Jika mengklik tombol simpan maka data jenis pelayanan akan bertambah, dan jika mengklik tombol batal maka data yang sudah diisi akan hilang.
7	Tamp. Halaman Pemetaan	Menguji tombol-tombol yang ada di halaman pemetaan.	Halaman pemetaan sudah terbuka	Klik tombol yang ingin diuji.	Maka data puskesmas akan diproses sesuai dengan tombol yang diuji.
8	Tamp. Halaman Ganti Password	Menguji tombol simpan	Halaman Ganti Password sudah terbuka	Mengklik tombol simpan	Maka password lama akan terganti dengan password baru.
9	Tamp. Halaman Kritik dan Saran	Menguji tombol pilih	Halaman Kritik dan Saran sudah terbuka	Mengklik tombol pilih	Maka akan tampil isi kritik dan saran dari pengunjung website.

Dan berguna juga untuk SUDIN KESEHATAN DKI Jakarta karena dapat mengetahui saran dan kritik dari pengguna website / masyarakat..

2. Dalam rancangan informasi ini, SUDIN KESEHATAN dapat dengan cepat memperoleh laporan kritik dan saran dari masyarakat, sehingga perkembangan maju mundurnya puskesmas dapat dengan cepat diketahui oleh SUDIN KESEHATAN.
3. Kesalahan-kesalahan yang disebabkan oleh keterbatasan seperti human error ataupun ketidak sengajaan dapat dikurangi dengan menggunakan sistem komputerisasi.
4. Kesulitan dalam pencarian informasi puskesmas, dapat dipermudah dan dipercepat dengan adanya sistem komputerisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adi Nugroho., 2005. *Konsep Pengembangan Basis Data*. Penerbit INFORMATIKA, Bandung.
- [2] Ian Sommerville., 2000, *Rekayasa Perangkat Lunak*. Erlangga, Jakarta.
- [3] Munawar., 2005 *Pemodelan Visual dengan UML ed1*. Penerbit Graha Ilmu, Jakarta.
- [4] M. Syafi'i., 2004 *Membangun Aplikasi Berbasis Php dan MySQL*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [5] Nugroho, Bunafit., 2004 *Database Relasional dengan MySQL*. Penerbit Andi, Yogyakarta
- [6] Welling Luke, etc., 2001, **PHP and MySQL Web Development**, SAMS

Hasil Pengujian

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem

No	Antar Muka	Unit Program (Uji Coba)	Status Aplikasi	Skenario Pengujian	Hasil Yang Diharapkan	Hasil
1	Tamp. Halaman Home	Menguji semua link menu yang terdapat pada halaman utama.	Tampilan halaman home	Klik menu yang dipilih	Link menu yang dipilih dapat membuka halaman yang dimaksud.	Link berhasil terhubung
2	Tampilan halaman pemetaan	Menguji halaman pemetaan	Tampilan halaman pemetaan sudah terbuka	Pilih puskesmas yang diinginkan	Maka akan menampilkan informasi puskesmas.	Link berhasil terhubung
3	Tampilan halaman informasi puskesmas	Menguji tombol tambah dan hapus data puskesmas	Tampilan halaman informasi puskesmas sudah terbuka	Mengklik tombol edit	Maka informasi puskesmas yang dipilih akan tampil di form.	Link berhasil terhubung
4	Tamp. Halaman Kritik dan Saran	Menguji tombol simpan dan batal.	Tampilan halaman kritik dan saran sudah terbuka.	Mengklik tombol yang ingin diuji.	Jika mengklik tombol edit maka data kritik dan saran akan disimpan dan akan tampil kembali saat akan di klik.	Data tersimpan ke dalam database
5	Tamp. Login	Proses Login	Tampilan Login sudah terbuka	Input urut name dan password lalu klik "login"	Apabila User dan Password Benar maka akan masuk ke halaman utama. Jika tidak maka akan tetap di menu login.	Link berhasil terhubung
6	Tamp. Halaman Home	Menguji semua link menu yang terdapat pada halaman utama.	Masuk halaman utama	Klik link menu satu persatu.	Link menu yang dipilih dapat membuka halaman yang dimaksud.	Link berhasil terhubung
7	Tamp. Halaman Edit Puskesmas	Menguji tombol tambah dan hapus data puskesmas.	Halaman Edit Puskesmas sudah terbuka	Mengklik centang untuk mengedit data puskesmas, dan tanda hapus untuk menghapus data puskesmas.	Jika mengklik tombol edit maka akan menampilkan data puskesmas yang diubah, dan jika mengklik tombol hapus maka akan menghapus data puskesmas.	Data tersimpan ke dalam database
8	Tamp. Halaman edit Kotamadya	Menguji tombol-tombol yang ada di halaman edit kotamadya.	Halaman edit kotamadya sudah terbuka	Klik tombol yang ingin diuji.	Maka data kotamadya akan diproses sesuai dengan tombol yang diuji.	Link berhasil terhubung
9	Tamp. Halaman edit level	Menguji tombol tambah, edit, dan hapus.	Halaman edit Level sudah terbuka.	Mengklik tombol yang ingin diuji.	Jika mengklik tombol add record maka data level akan bertambah, jika mengklik tombol select maka	Data tersimpan ke dalam database

V. SIMPULAN

Berdasarkan uraian-uraian yang telah dipaparkan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem komputerisasi sangat mendukung untuk pengguna website/masyarakat yang membutuhkan informasi puskesmas seperti layanan-layanan, tata letak puskesmas, dan jam operasional. yang ada pada setiap puskesmas.

Mining Association Rules with Rough Sets For Classifying E-Mail

Sudirman

*Department of Information Science, Faculty of Computer Science and Information Technology,
University Mercu Buana, Jakarta, Indonesia*

*Department of Information Science, Faculty of Computer Science and Information Technology,
University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia*

E-mail:

Abstract-- This research was conducted at University of Malaya Malaysia, that focus on the process of classifying email using Artificial Intelligent Rough Set technique that aims to make decision whether the email was in University of Malaya Malaysia, in a safe or no virus and threat from outside. Data were collected from e-mail at Server University of Malaya Malaysia. The data has been collected and analyzed and studied and formulated so as to produce the decision system. Decision system is aided by the technique of Artificial Intelligent Rough Sets. From this research we found that the Artificial Intelligent techniques Rough Sets a reliable technique for making the decision because it can analyze data in large scale and can help making timely decisions.

Keywords: Data Mining, E-mail, Rough Sets, Decision Making.

I. INTRODUCTION

Therefore e-mail is the communication medium most widely used, both for individuals and for the needs of the organization, even the email address is an attribute of the identity of a person or organization. With a growing relationship allows the owner of the email address to receive lots of emails every day, and growing without us the chance to read one by one. Yet from these e-mails allows a lot of valuable information that we have to know and many e-mails that have to be careful, e-mails that contain viruses, e-mails containing threats or attacks or emails containing valuable secrets that can not be measured with money value of the loss if this information leaks. In fact we may never receive the e-mail do not need to read and only meets our email database because the e-mails were sent by spammers.

II. LITERATURE REVIEW

1. Rough Sets

Rough Set is an efficient technique for knowledge discovery in databases (exchangeable) process and data mining [1],[2]. In general, the Rough Set theory has been used in many applications such as

medicine, Pharmacology, Business, banking, engineering design, image processing and decision analysis.

Artificial Intelligent Techniques Rough Set is a mathematical technique developed by Pawlack in 1980. This technique is used to handle the problem Uncertainly, (Missing Data, data and Inconsistency Incomplete data, Imprecision, and vagueness) in the application of Artificial Intelligent (AI). In a decision-making, AI techniques Rough Set is one of the techniques appropriate for use where the Rough Set AI techniques would be later obtained a result of knowledge or Pattern that can be used in making a decision, by which the stages of exchangeable consists of data selection, data cleaning, data transformation, data mining and evaluation[3],[4],[5],[6].

2. E-mail Work Systems

E-mail work systems which are widely used today many Unix E-mail using the model. This model is able to send and receive E-mail both at the local company (intranet) and also in a global environment (internet). Unix E-mail three model content[7]:

1. Message Transfer Agent (MTA)
2. Message Delivery Agents (MDA)
3. Message User Agent (MUA)

MTA, MDA, MUA, and all along with e-mail database is stored in an E-mail server. This server can be accessed locally or via the internet [8].

3. Spam

Spam is unsolicited email. Name is derived from food cans World War II era, that is not desirable than fresh meat or ham is synchronized with the email that was desired. Spam first discovered in May 1978, marked with the message that contains an ad that is sent to every owner of an email account on the West Coast, which has customers more than 600 people. In 1994, when a programmer is hired write spam program. Since then the spam growing out of control. The first is a famous spammer Jeff Slaton, dubbed the "Spam King". Spam slowly into a business[9],[10].

III. METHODOLOGY

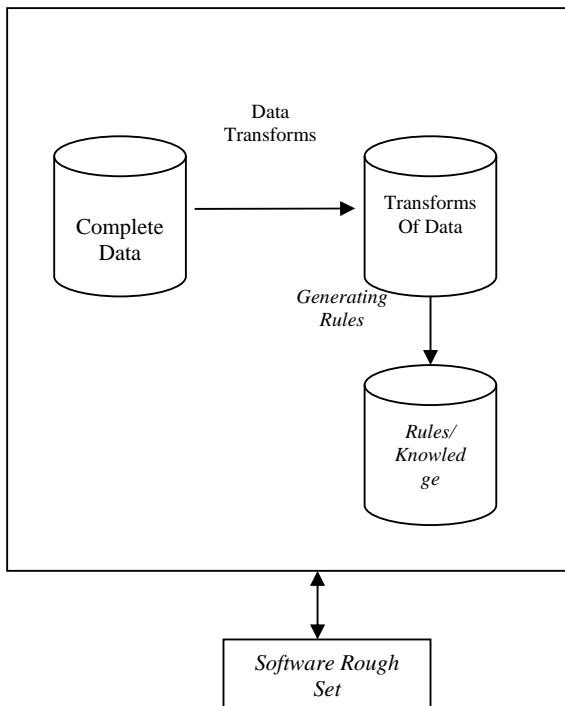


Figure.1 : Design of Clasifying E-mail

Figure.1 Explaining grouping E-mail the consist of three main parts: Databases, Models and Dialogue. Database to be processed are obtained from the data clustering.

Table. 1: Example Database E-mail

No	Subject	Type	Dec.
1	Research	Text	Important
2	Task	Text	Privacy
3	Advertising	Tag HTML	Spam
4	Research	Tag HTML	Spam
5	Advertising	Text	Spam
6	Task	Text	Privacy
7	Research	Text	Important
8	Research	Text	Important
9	Advertising	Tag HTML	Spam
10	Advertising	Tag HTML	Spam
.....

IV. DATA PROCESSING

1. 1. Indiscernibility (similarity)

Indiscernibility is namely classifying a set of objects that have the same decision value, as in Table.2:

Table. 2: Indiscernibility

Class	Subject	Content Type	Dec	Indiscernibility Relation
EC1	Research	Text	Important	E1, E7, E8
EC2	Task	Text	Personal	E2, E6
EC3	Advertising	Tag HTML	Spam	E3, E9, E10
EC4	Advertising	Text	Spam	E5
EC5	Research	Tag HTML	Spam	E4
.....

2. Equivalence Class

Equivalence Class is to group a set of objects that have the same attribute value, as in table. 3:

Table.3: Equivalence Class

Class	Subject	Content Type	Dec	Num_obj
EC1	Research	Text	Important	3
EC2	Task	Text	Privacy	2
EC3	Advertising	Tag HTML	Spam	3
EC4	Advertising	Text	Spam	1
EC5	Research	Tag HTML	Spam	1
.....

Simplification of equivalence classes in table.3, the numerical representation is by way of classifying such data, as in the Table.4:

Table.4 : Numerical Representation

Subject	Content Type	Dec
Advertising = 1	Tag HTML = 4	Important = 6
Research = 2	Text = 5	Privacy = 7
Task = 3		Spam = 8

From above the numerical representation of the grouping obtained an equivalence class table as shown in table.5:

Table.5 : Numerical Representation Equivalence class

Class	Subject	Content Type	Dec.	Num_obj
EC1	2	5	6	3
EC2	3	5	7	2
EC3	1	4	8	3
EC4	1	5	8	1
EC5	2	4	8	1
.....

3. Matrix Discernibility

Discernibility Matrix is a grouping of several attributes which are grouped only conditional attributes only. Examples can be seen in the Matrix Discernibility Table.6:

Table.6: Matrix Discernibility

	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5
EC1	X	A	AB	A	B
EC2	A	X	AB	A	AB
EC3	AB	AB	X	B	A
EC4	A	A	B	X	AB
EC5	B	AB	A	AB	X
.....

4. Matrix Discernibility Modulo D

Matrix Discernibility Modulo D is a grouping of several attributes of different conditionals and have decision. Example Matrix Discernibility Modulo D can be seen in table.7:

Table.7: Matrix Discernibility Modulo D

	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5
EC1	X	A	AB	A	B
EC2	A	X	AB	AB	AB
EC3	AB	AB	X	X	X
EC4	A	A	X	X	X
EC5	B	AB	X	X	X
.....

5. Calculation Reduct

Calculation Reduct is the minimal attribute selection (interesting attribute) from the set of attributes by using the prime condition implicate Boolean functions. A Collection of all the prime implicate sets of determination reduct. Reduct resulting calculation can be seen in table.8:.

Table.8: Reduct

Class	CNF of Boolean Function	Prime Implicate	Reducts
E1	$A \wedge (A \vee B) \wedge A \wedge B$	$A \wedge B$	{A,B}
E2	$A \wedge (A \vee B) \wedge (A \vee B) \wedge (A \vee B)$	A	{A}
E3	$(A \vee B) \wedge (A \vee B)$	$A \vee B$	{A,B}
E4	$A \wedge A$	A	{A}
E5	$B \wedge (A \vee B)$	B	{B}
.....

- If A = "Advertising" then Decision "Spam"
- 5. If B = 4 then Dec = 8
- If A = "Tag HTML" then Decision "Spam"

V. TESTING SYSTEMS

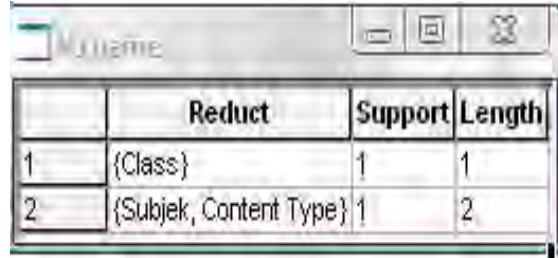


Figure.2: Reduct View

6. Generation Rules

Generation Rules is a method for producing the Rough Set rules/knowledge-based equivalence classes and reduct. Generating rules can also be regarded as an algorithm of Data Mining, which can be used in the process of generating rules and will result in rules / knowledge that can be used in a decision-making. Can be seen in table.9:

Table.9: Example Generation Rules

Class	A	B	Dec	Reducts
EC1	2	5	6	{A,B}
EC2	3	5	7	{A}
EC3	1	4	8	{A,B}
EC4	1	5	8	{A}
EC5	2	4	8	{B}
.....

Figure.3 : Generation Rule View

So which is formed from the reduct rules that has been done is as follows:

1. a2b5 → d6
2. a3 → d7
3. a1b4 → d8
4. a1 → d8
5. b2 → d8

Understanding of the Generated Rules is as follows:

1. If A = 2, or B = 5 then Dec. = 6
If A = "Research" , or B = "Text" then Decision "Important"
2. If A = 3 then Dec = 7
If A = "Task" then Decision "Privacy"
3. If A = 1, or B = 4 then Dec = 8
If A = "Advertising", or B = "Tag HTML" then Decision "Spam"
4. If A = 1 then Dec = 8

Figure.4: Statistic View

VI. CONCLUSION

1. Using Data Mining Techniques and Rough Set method can determine the number and types of incoming e-mail.
2. The method of Rough Sets in Data Mining based on type of data entered in the database.
3. The results of this research is to produce association rules, to obtain important information on the e-mail grouping and extraction of data used for repairs Service Quality of the data complex.

REFERENCES:

- [1]. Jay E., Aronson and Efrain Turban, Decision Support Systems Zdislaw Pawlak, Jerzy Grzymala-Busse, Roman Slowinski, dan Wojciech Ziarko, "Rough Sets"
- [2]. R Yudho Giri Sucahyo "Data mining – Menggali Informasi Yang terpendam"
- [3]. Bell, D.A.: Guan, J.W.1998,"Computational Methods for Rough Classification and Discovery"Journal of the American Society for Information Science, Special topic issue on Data Mining, Vol.49(1998),No.5,403-414
- [4]. Guan,J.W.: Bell,D.A.: Liu,D.Y.2003, "Rough Classification and Knowledge Discovery",Proceedings of The 2003 International Conference on Artificial Inteligence (IC-AI'03), Monte Carlo Resort & Casino, 377 Las Vegas Blvd.,South, Las Vegas, Nevada, USA, June 23-26,2003
- [5]. K. Wang, S.Q. Zhou, S C.Liew, Building Hierarchical Classifiers Using Class Proximity, In Proc. Of 1999 Int.Conf.on Very Large Data Bases, Edinburgh, UK, 1999, pp. 363-374
- [6]. R.Agrawal, T. Imilienski, and A.Swami. Mining Association Rules Between Sets of Item in Large Databases. In Proc. Of 1993, ACM-SIGMOD Int.Conf.Management of Data, Washington, DC, 1993, pp. 207-216
- [7]. Jiawei Han, Micheline Kamber, Data Mining: Concepts and Techniques, Morgan Kaufman, 2006
- [8]. Hua,Z., (1998)." On-Line Analytical Mining of Association Rules",MSc. Thesis Simon Fraser, December 1998.
- [9]. Yongjian, F., (1996). " Discovery of Multiple Level Rules From Large Databases",Ph.D.Thesis Simon Fraser, July 1996.
- [10]. G.Dong, J. Li, Efficient Mining of Emerging Patterns: Discovering Trends and Differences. In Proc. of SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, San Diego, CA, 199, pp. 43-52
- [11]. K. Wang, S.Q. Zhou, S C.Liew, Building Hierarchical Classifiers Using Class Proximity, In Proc. Of 1999 Int.Conf.on Very Large Data Bases, Edinburgh, UK, 1999, pp. 363-374
- [12]. R.Agrawal, T. Imilienski, and A.Swami. Mining Association Rules Between Sets of Item in Large Databases. In Proc. Of 1993, ACM-SIGMOD Int.Conf.Management of Data, Washington, DC, 1993, pp. 207-216

Rancang Bangun Perangkat Lunak Pembelajaran Komponen *Listening Comprehension* TOEFL dengan Sumber Soal *Online* secara *Asynchronous* dan Sumber Soal *Offline*

Anis Cherid

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Mercu Buana

Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650

E-mail : anis.cherid@mercubuana.ac.id

Abstrak -- Salah satu komponen ujian Bahasa Inggris TOEFL yang sulit dipelajari adalah komponen *listening comprehension*. Penelitian ini berusaha merancang dan membuat aplikasi pembelajaran yang dapat membantu pemakainya untuk melatih kemampuan *listening* Bahasa Inggris. Untuk mencapainya, aplikasi ini mengambil artikel berita dari situs web Kantor Berita “Reuters” dan menjadikannya soal-soal latihan *listening comprehension* Bahasa Inggris. Artikel berita yang telah diunduh dari Internet, dibagi-bagi menjadi kalimat-kalimat. Lima buah kalimat dipilih secara acak dan ditampilkan sebagai pilihan jawaban. Salah satu dari kelima pilihan jawaban akan diperdengarkan kepada pemakai aplikasi, dengan teknologi penghasil suara dari tulisan (*text-to-speech technology*) dari Microsoft. Untuk meningkatkan kemampuan *listening comprehension*, kelima kalimat yang dijadikan pilihan jawaban tidak ditampilkan seluruh isi kalimatnya, tetapi hanya ditampilkan sebagian kata penyusun kalimat yang dipilih secara acak. Juga untuk meningkatkan kemampuan *listening comprehension*, kalimat yang diperdengarkan bukan hanya kalimat yang benar, tetapi juga dua kalimat pengecoh yang dipilih secara acak dari artikel berita. Agar semakin mirip dengan ujian Bahasa Inggris TOEFL, latihan *listening comprehension* dilengkapi dengan *timer* untuk setiap soal yang dikerjakan. Sedangkan untuk mempermudah pemakainya, aplikasi dilengkapi dengan kemampuan mengambil materi artikel berita secara *asynchronous*. Aplikasi juga dilengkapi dengan fasilitas untuk merekam secara *offline* artikel berita yang telah diunduh dari Internet, sehingga dapat dipergunakan lagi tanpa harus terhubung dengan Internet. Berdasarkan hasil pengujian aplikasi telah berfungsi sesuai dengan tujuan pembuatannya, meskipun sama sekali tidak menggunakan perangkat pengolahan bahasa alami (*natural language processing, NLP*).

Kata Kunci: TOEFL, *listening comprehension*, aplikasi pembelajaran, *text to speech, NLP*.

I. PENDAHULUAN

Kesulitan utama dalam mempersiapkan materi yang berkaitan dengan pelatihan komponen *listening comprehension* adalah harus tersedianya rekaman suara yang akan diperdengarkan kepada orang yang akan dilatih kemampuannya. Padahal, menyediakan materi pelatihan Bahasa Inggris yang tanpa rekaman suara saja sudah merupakan hal yang sangat sulit dan membutuhkan tenaga ahli yang menguasai hal tersebut. Sementara materi yang sudah tersedia dalam bentuk buku memiliki kelemahan seperti halnya latihan yang tersedia di Internet, yaitu bahwa soal yang sudah disediakan dalam sebuah buku, jumlahnya sudah tetap dan tidak bisa ditambah lagi.

Pada saat yang sama, Internet menyediakan materi-materi tulisan dalam Bahasa Inggris yang secara tidak langsung merupakan materi pembelajaran potensial yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembelajaran Bahasa Inggris. Masalahnya adalah bagaimana memanfaatkan dan memodifikasi berbagai materi yang berbentuk teks ini menjadi soal-soal yang dapat mengasah kemampuan *listening comprehension* dalam ujian TOEFL. Jika berbagai materi yang tersedia di Internet, terutama yang berasal dari situs-situs berita, dapat diubah menjadi soal-soal pembelajaran *listening comprehension*, tentu berbagai materi yang bersifat dinamis ini akan menjadi sumber latihan yang tidak terbatas bagi orang yang ingin mengasah kemampuannya dalam mendengarkan dan memahami pembicaraan dalam Bahasa Inggris.

Terdapat dua penelitian yang berkaitan dengan cara memperoleh materi untuk dijadikan soal-soal pembelajaran Bahasa Inggris, yang telah diangkat menjadi tugas akhir mahasiswa di Program Studi Teknik Informatika Universitas Mercu Buana. Penelitian yang dilakukan oleh Tia Astiyah Hasan (2010) berhasil memperoleh kosa kata bahasa Inggris dan definisi berbagai kosa kata tersebut, sehingga dapat dijadikan permainan tebak kata “Hangman”. Penelitian yang secara khusus berkaitan dengan *listening comprehension* adalah penelitian yang dilakukan oleh Lokih Nahta (2011). Aplikasi yang dihasilkan dalam penelitian ini berhasil memperoleh berbagai artikel dari Kantor Berita “Reuters”, untuk kemudian dijadikan soal latihan *listening*

comprehension yang mengharuskan pemakai program untuk melengkapi kalimat yang dipenggal menjadi dua bagian. Aplikasi ini juga menyediakan soal berupa sebuah paragraf yang terdiri dari beberapa kalimat yang diacak dan tugas pemakai aplikasi adalah mengurutkan susunan kalimat menjadi susunan kalimat yang benar.

Sumber-sumber teks di Internet dapat diperoleh dan diakses menggunakan aplikasi yang telah tersedia kode sumbernya (*source code*) di Internet. Skripsi dari salah satu mahasiswa Program Studi Teknik Informatika (Tia Astiyah Hasan, 2010) telah berhasil mengintegrasikan aplikasi yang dapat mengambil teks dari sebuah situs kamus *online* di Internet dan mengubahnya menjadi sebuah permainan “Hang Man” untuk menambah kosa kata Bahasa Inggris bagi pemakai aplikasi tersebut. Secara umum aplikasi pengambil teks dari Internet bekerja dengan cara mengirimkan perintah dalam format HTTP ke situs Internet yang dituju dan kemudian menerima pesan yang diterima dari situs tersebut serta menghapus berbagai teks yang tidak relevan dengan data yang dibutuhkan.

Untuk dapat menghasilkan soal-soal bagi komponen *Listening Comprehension* TOEFL dari sumber-sumber teks di Internet, selain dibutuhkan aplikasi yang dapat mengambil sumber-sumber teks tersebut, juga dibutuhkan sebuah sistem yang dapat melakukan simulasi terhadap proses ujian TOEFL, khususnya untuk *komponen listening comprehension* ini. Menurut pendapat penulis, cara yang paling baik untuk melakukan simulasi terhadap ujian TOEFL adalah dengan membuat aplikasi yang dapat menirukan para penghasil soal ujian komponen *Listening Comprehension* TOEFL.

Saat ini telah banyak dilakukan penelitian yang berkaitan dengan topik menghasilkan sistem yang dapat menghasilkan soal-soal atau pertanyaan-pertanyaan secara otomatis. Salah satu publikasi tentang aplikasi penghasil soal yang sangat melibatkan manusia dalam menghasilkan pertanyaan adalah tulisan yang dihasilkan oleh Spahiu dan kawan-kawan (2008). Di dalamnya dibahas tentang sebuah aplikasi komputer yang dapat digunakan untuk memuat materi pembelajaran dan kemudian pemakai aplikasi tersebut dapat menggunakan aplikasi tersebut untuk membuat berbagai pertanyaan berdasarkan template yang sudah disediakan maupun menggunakan template yang baru. Pertanyaan dibuat dengan cara secara spesifik menentukan dari kalimat yang mana pertanyaan akan dibuat dan dengan cara mencocokkan template yang mana yang sesuai untuk kalimat tersebut. Aplikasi tersebut juga memiliki alat pemetaan konsep (*concept-mapping tool*), sehingga seorang pemakai dapat membuat peta konsep yang disampaikan di dalam konten pembelajaran dan memeriksa jika pertanyaan yang dihasilkan telah meliputi semua konsep tersebut.

Dari berbagai publikasi tentang pembuatan soal atau pertanyaan secara otomatis, dengan menggunakan sedikit campur tangan dari manusia, ada

yang membahas tentang dihasilkannya soal mengisi titik-titik atau *fill-in-the-blank* (Agarwal & Mannem, 2011), sebagian yang lain membahas tentang menghasilkan pertanyaan yang melibatkan pertanyaan 4W-1H (*what/where/when/who/which & how*) serta pertanyaan *yes/no*. Beberapa dari publikasi tersebut membahas tentang cara menghasilkan pertanyaan yang memiliki konteks kalimat atau konteks paragraf (Heilman & Smith, 2010). Ini berarti bahwa pertanyaan dihasilkan dari dan dapat dijawab menggunakan sebuah kalimat atau sebuah paragraf. Kalady dan kawan-kawan (2010) menjelaskan tentang cara menghasilkan pertanyaan yang memiliki konteks penuh dari sebuah konten pembelajaran. Di dalam publikasi mereka, dijelaskan tentang cara menghasilkan pertanyaan dengan menggunakan konsep-konsep kunci yang ditemukan di dalam konten pembelajaran.

Seluruh publikasi yang berkaitan dengan dihasilkannya soal-soal secara otomatis, melibatkan penggunaan algoritma dan berbagai perangkat pengolahan bahasa alami (*Natural Language Processing*, NLP). Berbagai perangkat ini dipergunakan untuk menyederhanakan kalimat yang rumit, mengambil bagian-bagian kalimat (*part-of-speech*) dari kalimat yang sudah disederhanakan dan menghasilkan pertanyaan dengan memanipulasi posisi dari berbagai bagian pertanyaan ini. Heilman (2011) menjelaskan berbagai tantangan dalam menghasilkan pertanyaan dari sebuah kalimat atau sebuah paragraf. Berbagai tantangan tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tantangan yang bersifat leksikal, sintaksis, diskursus dan tantangan yang berkaitan dengan perangkat penganalisa dan penghasil bahasa alami. Sebagian dari masalah ini belum memiliki solusi. Seluruh masalah tersebut adalah masalah yang dihadapi oleh seluruh publikasi yang ditelaah penulis, kecuali publikasi yang berkaitan dengan menghasilkan pertanyaan berjenis *fill-in-the-blanks question*. Karena adanya berbagai tantangan ini, proses menghasilkan kalimat dengan 4W-1H masih menyisakan beberapa masalah.

Aplikasi yang dihasilkan oleh dua mahasiswa UMB, memiliki sebuah kelemahan utama yaitu bahwa kedua aplikasi hanya dapat berjalan jika komputer sedang terhubung dengan Internet atau *online*. Kelemahan lainnya adalah bahwa waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh data tekstual dari Internet cukup lama, sehingga diperlukan metode untuk pengambilan data yang bersifat *asynchronous*. Artinya, pengambilan data harus dilakukan sementara pemakai aplikasi sedang sibuk memanfaatkan aplikasi untuk berlatih. Dengan kata lain, pengambilan data dilakukan di latar belakang, sehingga pemakai aplikasi tidak perlu menunggu pengambilan data dan dapat melakukan aktifitas berlatih mengerjakan soal sementara data diunduh dari Internet. Sedangkan kelemahan dari aplikasi yang dibuat mahasiswa UMB berkaitan dengan metode latihan *listening Bahasa Inggris* adalah bahwa metode penyampaian soal dan

metode menjawab yang disediakan oleh aplikasi belum bersinggungan dengan metode di dalam ujian TOEFL.

Dengan memperhatikan berbagai latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat perangkat lunak pembelajaran yang mampu:

1. Mendapatkan sumber-sumber teks dari Internet
2. Mengubah berbagai materi teks tersebut menjadi soal yang dapat dipergunakan untuk melatih kemampuan *listening comprehension*.
3. Memperdengarkan materi-materi teks tersebut menjadi suara untuk kemudian menjadi pertanyaan yang harus dijawab oleh pemakai aplikasi secara interaktif, sehingga ada persinggungan dengan metode dalam ujian TOEFL.
4. Beroperasi secara *online* maupun secara *offline*, sehingga tidak mengharuskan selalu tersedianya hubungan ke Internet.
5. Melakukan pengunduhan data dari Internet secara *asynchronous*, sehingga pemakai aplikasi dapat tetap berlatih menyelesaikan soal sementara data diunduh dari Internet.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dipergunakan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah yang akan dihadapi dalam penelitian ini adalah:
 - a. Penentuan metode penyampaian soal dan metode menjawab yang bersinggungan dengan metode yang digunakan dalam ujian TOEFL.
 - b. Perancangan dan implementasi pemrograman untuk mengambil materi soal online secara *asynchronous*
 - c. Perancangan dan implementasi pemrograman untuk menyimpan dan menampilkan kembali secara *offline* soal yang telah diperoleh dari Internet.
 - d. Perancangan dan implementasi antar muka prototipe perangkat lunak pembelajaran
2. Penelusuran literatur yang dapat dijadikan rujukan untuk memecahkan berbagai masalah yang telah diidentifikasi.
3. Penentuan metode penyampaian soal dan metode menjawab yang bersinggungan dengan metode yang digunakan dalam ujian TOEFL.
4. Perancangan dan implementasi pemrograman untuk mengambil materi soal online secara *asynchronous*
5. Perancangan dan implementasi pemrograman untuk menyimpan dan menampilkan kembali secara *offline* soal yang telah diperoleh dari Internet.
6. Perancangan dan implementasi antar muka perangkat lunak
7. Pengujian keberhasilan fungsi-fungsi perangkat lunak secara umum (bebas kesalahan dalam pembuatan program)
8. Penarikan kesimpulan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen *listening comprehension* dalam ujian TOEFL yang bersifat tertulis (*paper based*), terdiri dari kelompok soal yang mengharuskan peserta ujian mendengarkan dialog di antara dua orang dan kelompok soal yang mengharuskan peserta ujian mendengarkan paragraf tentang suatu topik tertentu. Kemudian peserta ujian harus mendengarkan soal yang berkaitan dengan dialog atau topik dan memilih jawaban yang benar dari beberapa pilihan yang jawaban yang disediakan secara tertulis.

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, menghasilkan pertanyaan 4W-1H dari sebuah kalimat atau sebuah paragraf masih memiliki banyak kendala (Heilman, 2011). Dalam penelitian ini, penulis tidak berusaha untuk menghasilkan pertanyaan 4W-1H seperti yang dilakukan oleh Heilman (2011). Penulis hanya berusaha untuk tetap dapat memanfaatkan sumber-sumber tekstual yang terdapat di Internet sebagai soal-soal latihan dalam meningkatkan kemampuan dalam menjawab komponen *listening comprehension* TOEFL.

Kesulitan terbesar dalam menjawab soal-soal *listening comprehension* TOEFL adalah tidak diketahuinya konteks dari dialog atau paragraf yang diperdengarkan. Cara tercepat untuk mengetahui konteks dari dialog atau paragraf adalah dengan mendengarkan dialog atau paragraf dan pada saat yang sama membaca berbagai pilihan jawaban yang tertulis pada lembaran soal ujian TOEFL. Untuk mencapai tujuan ini, soal latihan *listening comprehension* dihasilkan dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Sebuah artikel berita diambil situs berita "Reuters"
2. Artikel tersebut dipotong-potong menjadi kalimat-kalimat.
3. Lima buah kalimat dipilih secara acak dari kumpulan kalimat di dalam artikel.
4. Satu dari lima buah kalimat dipilih secara acak untuk menjadi jawaban yang benar (sehingga empat kalimat lainnya menjadi pilihan pengecoh).
5. Tiga puluh persen dari kata yang dipilih secara acak dalam masing-masing kalimat, ditampilkan sebagai pilihan yang harus dijawab oleh pemakai aplikasi.
6. Dua buah kalimat pengecoh yang tidak sama dengan kelima kalimat sebelumnya dipilih secara acak dari artikel berita.
7. Satu buah kalimat yang benar dan dua buah kalimat pengecoh dapat dipilih oleh pemakai aplikasi untuk diperdengarkan.

Dengan cara ini, pemakai aplikasi harus memperdengarkan ketiga kalimat dan berusaha menentukan salah satu dari lima pilihan kalimat adalah potongan-potongan dari kalimat yang diperdengarkan.

Untuk memperjelas proses pembuatan soal latihan *listening comprehension* TOEFL, di bawah ini disajikan sebuah artikel berita yang terdiri dari 13 kalimat:

1. *Lee Westwood was forced to apologize after his mum caught him swearing on live television at last week's Qatar Masters, the world number three said on Tuesday.*
2. *The incident occurred during the 38-year-old Briton's closing 69 Sunday, a round that left him in a tie for 12th place behind tournament winner Paul Lawrie who finished on 15-under-par.*
3. *"My mum was the first person on the phone and she said you might want to apologize," Westwood told reporters ahead of this week's Dubai Desert Classic.*
4. *"I didn't think that down at four-under-par I would be on TV. It's amazing how sensitive these microphones are."*
5. *After the conversation with his mum, Westwood issued an immediate apology on his Twitter account.*
6. *"Sorry about swearing on the 16th tee. Came off like a rocket and thought it was going further! Wash my mouth out! Perils of live tv!," he wrote.*
7. *Westwood, who also finished in a tie for 17th at the Abu Dhabi Championship two weeks ago, said he had mixed feelings about his early-season form.*
8. *"If I was making an appraisal of the first couple of weeks, I've hit it a lot better than I normally do," he explained.*
9. *"My putts are quite nice, I'm starting to roll a few longer ones in, but it's just been early-season sloppiness really, making too many bogeys and not making a birdie when I should."*
10. *"My wedge shots also haven't been quite as sharp as they ought to have been."*
11. *Westwood said he would need to be accurate off the tee at the Dubai Desert Classic starting Thursday.*
12. *"Normally they grow the rough up a little bit here," he said. "They've also got the greens firm so it puts a bit of a demand on hitting the fairways."*

Dari duabelas kalimat yang terdapat di dalam artikel berita tersebut, dipilih lima (5) kalimat secara acak dan misalnya terpilih kalimat nomor 4, 9, 10, 2 dan 12. Kelima kalimat tersebut secara lengkap disajikan di bawah ini:

- A. *"I didn't think that down at four-under-par I would be on TV. It's amazing how sensitive these microphones are."* (kalimat nomor 4)
- B. *"My putts are quite nice, I'm starting to roll a few longer ones in, but it's just been early-season sloppiness really, making too many bogeys and not making a birdie when I should."* (kalimat nomor 9)
- C. *"My wedge shots also haven't been quite as sharp as they ought to have been."* (kalimat nomor 10)
- D. *The incident occurred during the 38-year-old Briton's closing 69 Sunday, a round that left him in a tie for 12th place behind tournament winner Paul Lawrie who finished on 15-under-par.* (kalimat nomor 2)
- E. *"Normally they grow the rough up a little bit here," he said. "They've also got the greens firm so it puts*

a bit of a demand on hitting the fairways." (kalimat nomor 12)

Selanjutnya ditampilkan secara acak 30% dari kata yang terdapat pada kelima kalimat tersebut. Contoh hasil pemilihan kata-kata secara acak disajikan di bawah ini:

- A. "I – at – I – be – on TV.
- B. putts – quite – to – few – longer – in, – but – sloppiness – really, – and
- C. "My – also – haven't – as – day
- D. the – 38-year-old – closing – 69 – a – left – behind – incident – occurred
- E. they – up – little – bit – "They've – so – puts – bit – a

Langkah terakhir dalam pembuatan soal latihan *listening comprehension* TOEFL adalah menentukan secara acak, pilihan mana yang merupakan pilihan yang benar. Misalnya ditentukan bahwa pilihan yang benar adalah pilihan B (kalimat no 9). Selanjutnya, dipilih dua (2) kalimat baru dari dalam artikel berita, yang dipergunakan untuk mengecoh pendengaran pemakai aplikasi. Misalnya secara acak dipilih kalimat nomor 1 dan nomor 2, sehingga seluruh kalimat yang diperdengarkan kepada pemakai aplikasi disajikan di bawah ini:

- Kalimat Pengecoh 1: *Lee Westwood was forced to apologize after his mum caught him swearing on live television at last week's Qatar Masters, the world number three said on Tuesday.*
- Kalimat Pengecoh 2: *The incident occurred during the 38-year-old Briton's closing 69 Sunday, a round that left him in a tie for 12th place behind tournament winner Paul Lawrie who finished on 15-under-par.*
- Kalimat yang Benar 9: *"My putts are quite nice, I'm starting to roll a few longer ones in, but it's just been early-season sloppiness really, making too many bogeys and not making a birdie when I should."*

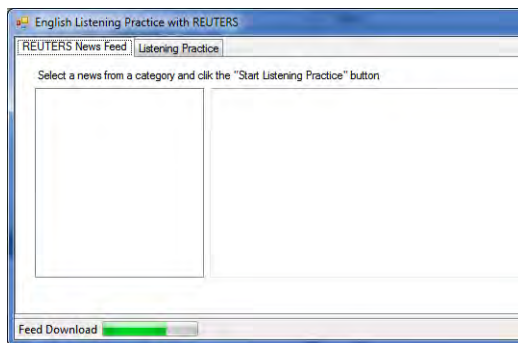
Selanjutnya pemakai aplikasi dipersilakan memperdengarkan satu dari ketiga kalimat, yaitu kalimat nomor 9 (pilihan B, pilihan yang benar), kalimat nomor 2 dan kalimat nomor 1. Tugas pemakai aplikasi adalah menentukan yang mana dari ketiga kalimat yang diperdengarkan, yang potongan kata-katanya terdapat di dalam pilihan. Dalam contoh yang telah diuraikan di atas, pilihan B (kalimat nomor 9) adalah pilihan yang benar, karena satu dari ketiga kalimat yang diperdengarkan adalah kalimat nomor 9. Kalimat nomor 9 adalah kalimat yang sebagian kata-kata penyusunnya ditampilkan sebagai pilihan B. Sedangkan dua dari kalimat yang diperdengarkan (kalimat nomor 2 dan nomor 1), tidak ada kata-kata penyusunnya yang ditampilkan sebagai pilihan jawaban.

Dengan teknik penyampaian seperti ini, pemakai aplikasi harus dapat menyimak dengan baik masing-masing dari tiga (3) kalimat yang diperdengarkan, untuk disesuaikan dengan lima (5) pilihan potongan-potongan kata yang tersedia. Penulis mengharapkan

bahwa pemakai aplikasi akan terdorong kemampuannya untuk menyimak kalimat dan pada saat yang sama membaca teks atau tulisan yang ditampilkan pada layar monitor. Kemampuan untuk mendengar sambil membaca, adalah salah satu kemampuan yang harus dimiliki oleh seorang yang mengikuti ujian TOEFL berbasis tulisan. Jika seseorang yang mengikuti ujian TOEFL menguasai kemampuan ini dengan baik, maka proses untuk memperoleh konteks dari pilihan jawaban yang disajikan akan meningkat. Semakin cepat konteks dari dialog atau paragraf yang diperdengarkan diketahui oleh seseorang, maka akan semakin mudah baginya untuk memahami kalimat tersebut.

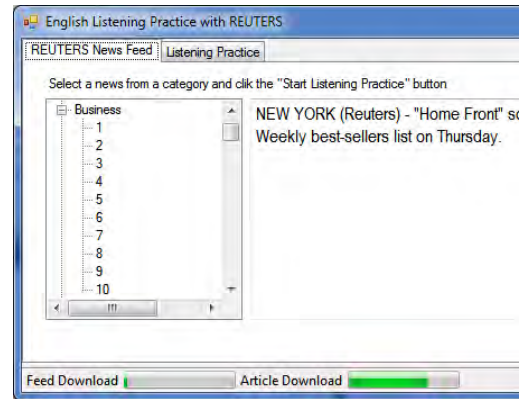
Cara menggunakan aplikasi ini adalah sebagai berikut:

1. Pemakai menjalankan aplikasi dan otomatis masuk ke halaman "REUTERS News Feed".
2. Jika kategori berita belum disimpan di dalam *hard-disk*, maka aplikasi akan mengunduh kategori berita dari Internet. Proses pengunduhan kategori berita dapat dilihat pada Gambar 1.



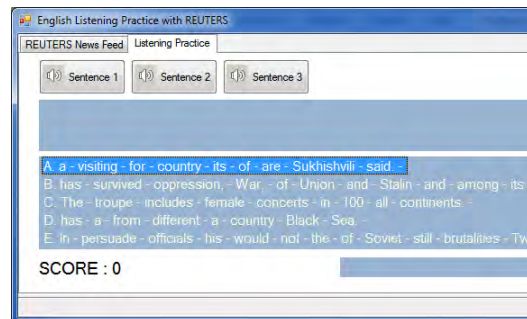
Gambar 1 Proses Pengunduhan Kategori Berita yang Sedang Berlangsung

3. Jika sudah ada kategori berita yang telah memiliki "anak" artikel berita (ditandai dengan tanda "+" pada pohon kategori berita), maka salah satu berita tersebut dapat dipilih untuk diunduh menjadi soal latihan. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa sementara proses pengunduhan kategori berita belum selesai, proses pengunduhan artikel berita sudah dapat dilakukan. Proses pengunduhan artikel berita dilakukan dengan cara memilih salah satu berita (misalnya nomor 1) dan kemudian melakukan klik pada tombol "Download Article for Listening Practice".
4. Jika proses pengunduhan artikel berita selesai dilakukan, maka aplikasi secara otomatis akan berpindah ke halaman "Listening Practice" (Gambar 3).



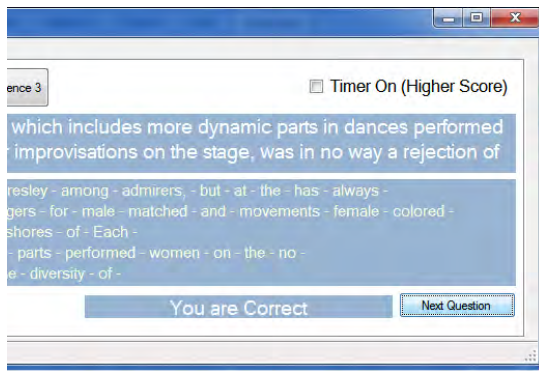
Gambar 2 Proses Pengunduhan Artikel Berita yang Dilakukan Bersama dengan Pengunduhan Kategori Berita

5. Untuk mulai melakukan latihan, pemakai aplikasi harus melakukan klik pada tombol "Start". Tampilan aplikasi akan berubah seperti dalam Gambar 3, yaitu ketika aplikasi sudah menampilkan pilihan jawaban dan tombol "Start" sudah berubah menjadi tombol "Evaluate".

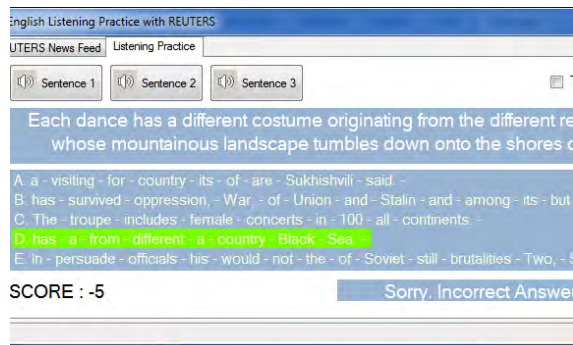


Gambar 3 Halaman Latihan Soal Ketika Pilihan Jawaban Sudah Ditampilkan

6. Selanjutnya pemakai aplikasi dapat melakukan klik pada salah satu tombol suara (ditandai dengan gambar *loudspeaker*), untuk mendengar kalimat yang mana yang potongan kata-katanya terdapat dalam pilihan jawaban. Lokasi ketiga tombol suara dapat dilihat pada sudut kiri atas Gambar 3.
7. Jika pemakai aplikasi sudah memutuskan untuk memilih salah satu jawaban, maka pemakai dapat melakukan klik pada salah satu jawaban dan kemudian melakukan klik pada tombol "Evaluate". Jika jawaban pemakai benar, maka aplikasi akan menampilkan kalimat lengkap yang benar di bagian atas tampilan seperti pada Gambar 4. Jika jawaban pemakai salah, maka aplikasi akan menampilkan kalimat lengkap yang benar di bagian atas tampilan serta menampilkan jawaban yang seharusnya dipilih dengan sorotan warna hijau (lihat Gambar 5).

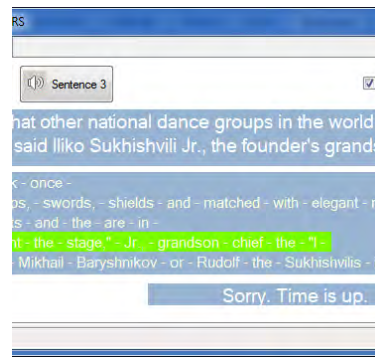


Gambar 4 Respon Aplikasi Jika Jawaban Pemakai Benar



Gambar 5 Respon Aplikasi Jika Jawaban Pemakai Salah

8. Jika pemakai aplikasi ingin mendapatkan pengalaman yang mirip dengan ujian TOEFL, maka pemakai dapat menggunakan *timer* ketika mengerjakan soal-soal *listening practice*. Untuk menggunakan *timer*, pemakai aplikasi dapat melakukan klik pada *check-box* "Timer On" di bagian kanan atas tampilan. Pada saat pemakai melakukan klik, aplikasi akan menampilkan *dialog-box* yang meminta pemakai untuk menentukan batas waktu maksimum untuk menjawab sebuah soal. Satuan batas waktu yang dipergunakan dalam aplikasi ini dinyatakan dalam satuan milidetik. Semakin kecil batas waktu maksimum yang ditentukan oleh pemakai aplikasi, semakin tinggi nilai yang diperoleh jika pemakai aplikasi menjawab soal dengan benar.
9. Jika pemakai aplikasi menggunakan *timer*, maka pada bagian bawah aplikasi akan tampak waktu yang masih tersisa bagi pemakai aplikasi untuk menjawab sebuah soal. Jika waktu yang tersisa habis dan pemakai tidak memberikan jawaban, maka aplikasi akan menyampaikan bahwa waktu habis dan tampilan aplikasi berubah seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Respon Aplikasi Jika Pemakai Tidak Menjawab Sampai Habis Waktu

10. Jika pemakai aplikasi sudah menjawab soal dengan benar, atau memberikan jawaban yang salah atau kehabisan waktu, maka pemakai dapat melakukan klik pada tombol "Next Question" untuk menampilkan soal berikutnya.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membuahkan sebuah aplikasi yang dapat memberikan latihan yang strukturnya mirip dengan ujian TOEFL, khususnya untuk komponen *listening comprehension*. Kemiripan ini tidak dicapai dengan menggunakan perangkat pengolahan bahasa alami (*natural language processing tools*), tetapi dicapai dengan melakukan teknik pemenggalan kata-kata dari sebuah kalimat secara acak. Terdapat 5 kalimat yang hanya sebagian kata-katanya ditampilkan sebagai pilihan dan hanya terdapat 1 jawaban benar. Kemudian pemakai aplikasi diharuskan mendengarkan 2 kalimat yang dipilih secara acak serta tidak terdapat di antara kelima pilihan, ditambah 1 kalimat yang merupakan jawaban benar dan merupakan satu dari lima pilihan yang harus dipilih oleh pemakai aplikasi. Kemiripan juga dicapai dengan penggunaan waktu atau *timer*, sehingga pemakai aplikasi dipaksa untuk berlatih mendengarkan suara sambil membaca dan mencari pilihan jawaban yang benar, dengan kendala waktu yang terbatas.

Aplikasi yang dibuat telah berhasil melakukan pengunduhan data secara *asynchronous*, sehingga pemakai aplikasi dapat langsung melakukan latihan soal, meskipun belum seluruh tautan *news-feed* selesai diunduh. Hal ini dimungkinkan karena proses pengunduhan *news-feed* dilakukan di latar belakang aplikasi, sehingga proses pengunduhan artikel berita dapat dilakukan bersamaan dan alur utama program untuk melakukan latihan soal tetap dapat berjalan.

Aplikasi yang dihasilkan telah memiliki komponen *offline*. Dengan demikian, jika data kategori berita dan berbagai *news-feed* dari masing-masing kategori sudah pernah diunduh, maka data tersebut sudah tidak perlu diunduh lagi ketika aplikasi dijalankan pada kesempatan yang lain. Disimpannya kategori berita dan *news-feed* ke dalam *hard-disk*, mempercepat proses berjalannya aplikasi ketika baru dieksekusi.

Jika komponen kategori berita tidak disimpan secara *offline*, maka dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk melakukan pengunduhan data.

Selain dapat menyimpan data kategori berita dan *news-feed* secara lokal, aplikasi ini juga dapat menyimpan artikel berita yang pernah diunduh. Tidak seperti penyimpanan kategori berita dan *news-feed* yang dilakukan secara otomatis, penyimpanan artikel berita dilakukan jika pemakai aplikasi memerintahkan aplikasi untuk melakukannya. Dengan tersedianya fasilitas ini, jika sebelumnya telah ada artikel berita yang disimpan secara *off-line*, maka aplikasi dapat dieksekusi dan pemakai aplikasi dapat berlatih komponen *listening comprehension* tanpa harus terhubung ke Internet.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, M. & Mannem, P. "Automatic Gap-fill Question Generation from Text Books" in Proceedings of the Sixth Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications, pages 56–64, Portland, Oregon, 24 June 2011. Association for Computational Linguistics, 2011.
- Heilman, M. Automatic Factual Question Generation from Text. Ph.D. Dissertation of Language Technologies Institute, School of Computer Science, Carnegie Mellon University. 2011.
- Heilman, M. & Smith, N.A., "Extracting Simplified Statements for Factual Question Generation", in Proceedings of Third Workshop on Question Generation. 2011.
- Kalady et al. "Natural Language Question Generation Using Syntax and Keywords", in Proceedings of Third Workshop on Question Generation. 2011.
- Lokih Nahta. "Rancang Bangun Aplikasi Latihan *Listening* Bahasa Inggris dengan Bersumber pada Kantor Berita REUTERS", Skripsi Program Studi Teknik Informatika, 2012. Tidak dipublikasikan.
- Spahiu, et al. "Question generation for learning evaluation" in Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology, pp. 509 – 513, IEEE, 2008.
- Tia Astiyah Hasan. "Pengembangan Aplikasi Tebak Kata Hangman dengan Menggunakan Kamus Online di Internet", Skripsi Program Studi Teknik Informatika, Universitas Mercu Buana, 2011. Tidak dipublikasikan.

Industri Manufaktur Turbin Air di Indonesia

Suryo Busono & Endang Sri Hariatie

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

JL. M.H. Thamrin 8, Jakarta, 11640

Telp. (021) 3169763 Fax.(021) 3169765

e-mail : suryob@hotmail.com & endangsrih@yahoo.com

Abstrak—Turbin air adalah teknologi konversi energy dengan fluida kerja adalah air, dimana teknologinya relatif telah proven dibandingkan dengan fluida kerja uap ataupun fluida kerja Gas demikian pula energinya yang termasuk bersih bersih. Fluida air adalah fluida incompressible yang tentunya lebih mudah dalam desain dibandingkan dengan mesin konversi energi yang menggunakan fluida kerja compressible. Namun demikian pada kenyataannya Industri turbin air tidak dapat memproduksi secara massal (“mass production”) mengingat Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sangat site specific .

Dengan demikian untuk menumbuhkan Industri turbin air dalam negeri perlu dilakukan penentuan skala ekonomi (economic of scale) dari suatu PLTA. Untuk itu dalam makalah ini penulis berusaha melakukan penelitian untuk melakukan “rationalisasi” turbin air agar industri turbin air dalam negeri dapat lebih cepat berkembang, mengingat pemanfaatannya baru mencapai 6 % dari seluruh potensi yang ada.

Standarisasi, dari satu desain model test turbin air dapat digunakan untuk beberapa site, sehingga hanya diperlukan scale up atau scale down dari satu jenis type turbin air untuk beberapa site yang similar dengan sedikit mengorbankan efisiensi.

Kata Kunci : Standarisasi , model test, mass production, economic of scale, local content.

I. PENDAHULUAN

Potensi tenaga air yang cukup besar di Indonesia yang mencapai 75 GW, dan baru dimanfaatkan sebesar kurang lebih 6.6 % dari potensi yang ada, mendorong kita untuk melakukan kajian untuk memperbesar pemanfaatannya. Sebagai perbandingan Norwegia telah memanfaatkan hampir 95 % dari potensi tenaga air untuk tenaga listrik, hal ini menjadikan Negara tidak terlalu tergantung oleh naik turunnya harga BBM maupun adanya polusi udara akibat pembakaran minyak maupun pembakaran Batu Bara. Salah satu kelemahan terbesar dari pembangkit Listrik tenaga Air adalah karena sifatnya yang sangat “ site specific “, karena tidak ada sungai didunia yang sama persis , sehingga tiap sungai dilakukan desain tersendiri untuk pemanfaatannya. Berbeda dengan pembangkit Listrik Uap atau Gas

yang telah tertentu kapasitasnya misalnya kapasitas turbin Uap ataupun turbin gas pada kelas 100 MW, kelas 600 MW dan seterusnya, didesain sekali. Oleh karenanya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) menjadi sebuah pembangkit listrik yang sangat site specific, dengan demikian maka diperlukan standarisasi atau pengelompokan dari masing-masing potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air, agar memudahkan melakukan desain ataupun perencanaannya dalam satu kelompok.

Untuk teknologi Turbin Air dengan kapasitas < 1.000 kW telah banyak diproduksi oleh industri dalam negeri dengan type turbin “Cross Flow “, sehingga dalam makalah ini kami hanya ingin melakukan kajian mengenai hambatan industry manufacture dalam negeri untuk kelas PLTA dengan Kapasitas > 1 MW, selain type crossflow.

Pada saat ini untuk turbin air dengan Kapasitas < 0.8 MW pada umumnya menggunakan type turbin Banki atau dikenal turbin “ Cross Flow “ sedangkan untuk turbin air diatas 1 MW, ada beberapa macam type turbin air sesuai dengan parameter Tinggi Jatuh (Head) dalam satuan Meter dan parameter debit air (Q) dalam satuan m³/sec , yang hasil perkaliannya dengan menggunakan beberapa faktor menjadikan Daya Listrik (P) dalam satuan kW (kilo Watt) , hingga secara matematis ditulis secara sederhana :

$$P = k \cdot \eta \cdot Q \cdot H \quad \text{kW} \dots \dots \dots (1.1)$$

Dimana :

k = Konstanta

η = efisiensi turbin bersama generator

Oleh karena parameter-parameter tersebut yaitu Q dan H sangat tergantung dengan kondisi sungai, maka setiap potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di suatu sungai dilakukan perhitungan dan desain dari Type Turbin , yang mengakitnya setiap akan memanfaatkan potensi PLTA diperlukan desain tersendiri yang mengakibatkan biaya investasi (\$/kW) menjadi relative mahal, untuk itulah agar tidak setiap sungai melakukan desain tersendiri ,maka diperlukan “ Standarisasi” atau “pengelompokan “ turbin air, sehingga dapat dilakukan “ mass production “ oleh Industri dalam negeri . Grouping turbin air ini adalah terdiri dari hanya 3 type turbin yaitu :

- Type Francis.
- Type Kaplan
- Type Pelton

Untuk standarisasi Turbin air > 1 MW, dan tidak termasuk jenis Crossflow.

II. METHODA PENELITIAN

Methoda penelitian ini dilakukan dengan methoda literature, survey dan analisa “step by step” artinya dari literature & survey, step pertama adalah studi literature , kemudian dilanjutkan dengan inventarisasi Potensi Tenga air yang ada di seluruh P. Sumatra, dan di Papua. Demikian selanjutnya telah didapat hydro Potential Study untuk potensi disekitar 1M keatas , baru kemudian dilakukan inventarisasi atau pengelompokan potensi , dan dilanjutkan dengan penentuan type turbin air berdasarkan parameter Q dan H, dari suatu model test turbin air.

Dari penentuan type model test turbin ini maka dapat ditentukan kapasitas nya untuk dilakukan Scale Up maupun scale Down , setelah ditentukan nilai Specific speed (Ns) dari suatu model test turbin .

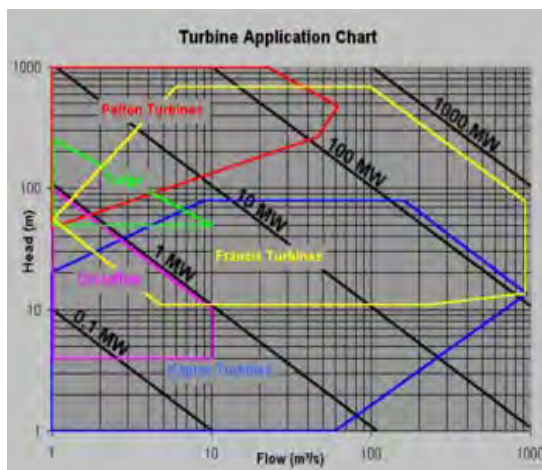
Setelah didapat model test turbin, maka selanjutnya dilakukan inventarisasi kemampuan industri dalam negeri yaitu Industri Turbin air “ PT Barata “ yang telah berpengalaman dalam manufacture industry turbin air.

III. JENIS MANUFACTURE TURBIN AIR

Tinggi jatuh (H) dari suatu sungai adalah fix dalam arti tidak dapat diperbesar lagi, sedangkan debit air (Q) dapat disesuaikan dengan kebutuhan, maka dikenal istilah specific speed (Ns) dari suatu turbin, yaitu adalah dalah jumlah putaran per menit (ppm) atau *rotation per minute* (Rpm) dari suatu runner turbin dengan menghasilkan daya effectif 1 HP dari tinggi jatuh 1 feet . yang dari beberapa percobaan didapat suatu rumus empiris yaitu :

$$Ns = \{ N \cdot \sqrt{P} \} / [H^{5/4}] , \dots\dots\dots (1.2)$$

Gambar di bawah adalah contoh Chart dari satu desain turbin dari salah satu manufacture turbin air diluar negeri, seperti terlihat pada Gambar 1..



Gambar 1. Contoh Grouping turbin air oleh salah satu manufacture di luar negeri

Dari Gambar tersebut diatas , dapat dilihat untuk 1 Jenis turbin Francis (Warna Kuning) dapat di scale up atau di scale down mulai dari 0.9 MW s/d 900 MW , dengan variasi H dan Q (ada didalam “Chart Kuning “.)

Pengertian ini dapat dilihat dengan melihat gambar 1 dari “chart” suatu manufacture turbin air diluar negeri yang telah di desain dengan kecepatan specific tertentu, sehingga dalam implementasinya apabila debit air sungai (Q) berlebih , maka turbin air dapat dipilih 2 atau 3 buah turbin air menjadi 2 x 10 MW (H= 100 m ; Q = 10 m³/sec) atau 3 x 6.5 MW (H = 100 m ; Q = 3.5 m³/sec) Sedangkan Tinggi jatuh tetap sama 100 m, dan jenis type “model test turbin” tetap sama. Tabel dibawah ini menunjukkan nilai kecepatan specific speed rata-rata dari beberapa manufacture turbin yang ada diluar negeri. .

Warna pada gambar dalam “chart” adalah merupakan satu type turbin air yang sama “model testnya “

Tabel 1. Contoh tabel

No.	Jenis Turbin	Kecepatan specific (Ns)
1.	Turbin Pelton (one jet)	4 → 30
	Turbin Pelton (Multi bucket)	30 → 70
2	Francis	
	Francis Ns Rendah	50 → 125
	Francis Ns Normal	125 → 200
	Francis Ns Tinggi	200 → 350
3.	Propeller	
	Sudu tetap (turbin Nagler)	400 → 800
	Sudu Diatur (Kaplan)	500 → 1000

IV. STUDI KASUS PENERAPAN TURBIN

Dari Persamaan matematika (1.1) dapat ditentukan lokasi sungai yang mempunyai kesamaan atau identik walaupun lay out sungai sangat berbeda ,untuk model test turbin telah dimanufacture oleh PT Barata , dengan turbin type Francis, saat ini diterapkan untuk Lokasi PLTA San Sarino dan Sawi Dago2 di Sulawesi Tengah. Model test turbin Turbin air ini akan distandarisasi dan akan diterapkan di Propinsi

Bengkulu, Propinsi Sumut, Jawa Timur dan dilanjutkan dengan Propinsi Papua Barat .

Untuk Proyek Percontohan Pembangkit Listrik Tenaga Air PLTA dalam arti semua komponen buatan dalam negeri telah dilakukan seleksi lokasi oleh BPPT yaitu di Propinsi Bengkulu dan telah dilakukan studi kelayakan antara BPPT & PLN-JTK yaitu di desa Aur Gading , kecamatan Kerkap, Kab. Bengkulu Utara dengan kondisi parameter sbb :

$$H_{\text{net}} = 35 \text{ meter}$$

$$Q_{\text{av.}} = 4 - 7.29 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

Sedangkan Lokasi lainnya yang similar bisa dilakukan standardization dengan mereview kembali beberapa site mengingat perubahan tata guna lahan di daerah Catchment area .

Turbin air yang digunakan direncanakan adalah type Francis Horizontal, akan tetapi dengan material casting yang tertentu

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisa dan data dilapangan maka dapat diusahakan untuk menurunkan biaya investasi (\$/kW) dari suatu pembangkit Listrik tenaga Air (PLTA) kapasitas kurang lebih diatas 1 MW, dengan menggunakan satu model test turbin Francis horizontal .

Dengan demikian diharapkan dari hasil test dalam Laboratorium Hydraulic, turbin type Francis Horizontal ini dapat digunakan sebagai Standart turbin kapasitas 1 – 15 MW dengan konsekwensi menurunkan tingkat efisiensi konversi dengan melakukan “Scale Up” atau “ scale Down “ , akan tetapi tidak perlu melakukan desain baru sehingga dapat “langsung” di terapkan di sebuah sungai dengan kondisi setempat .

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bernhard Pelikan. (2004). European Small Hydro Power Association, *Guide on how to Develop a small Hydropower Plant* - . Part I, ESHA Publising
- [2] Bernhard Pelikan. (2004). European Small Hydro Power Association, *Guide on how to Develop a small Hydropower Plant* - . Part II, ESHA Publising
- [3] J.J Doland, (2000) “ Hydro Power Engineering “, The Roland Press Co, New York 2000
- [4] Mosonyi Emil (1960), *Water Power Development*, . Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Honggaria

Analisa Kinerja dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Supra X 125 FI dan Supra X 125 Karburator

Tri Agustianto, Nanang Ruhyat
Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650
 Email:

Abstrak -- Penulisan ini bertujuan untuk membandingkan emisi gas buang antara Honda Supra X 125 Injeksi dengan Honda Supra X 125 Karburator dengan metode pengujian yang dilakukan membandingkan konsumsi 100 ml bahan bakar dan diukur waktu yang mampu dicapai hingga bahan bakar tersebut habis.

Untuk pengujian konsumsi bahan bakar, Honda Supra X 125 Injection lebih irit dibandingkan dengan Karburator. Pada pengujian pertama dengan tingkat kecepatan 20 km/jam Honda Supra X 125 Injection 14,07 % lebih hemat bahan bakarnya dibandingkan dengan Karburator. Untuk 40 km/jam Honda Supra X 125 Injection 16,47 % lebih hemat bahan bakarnya dibandingkan dengan Karburator. Sedangkan untuk tingkat kecepatan 60 km/jam Honda Supra X 125 Injection 18,54 % lebih hemat bahan bakarnya. Untuk pengujian CO, volume CO pada Honda Supra X 125 Injection mengalami penurunan volume 63,47%, Tetapi pada Honda Supra X 125 Karburator mengalami kenaikan 54,55%.

Honda Supra X 125 Injection secara umum dapat digunakan sebagai pengganti dari Honda Supra X 125 Karburator dalam memenuhi kebijakan langit biru anti polusi yang dikeluarkan oleh Pemda DKI Jakarta.

I. PENDAHULUAN

Lapisan ozon pada bumi kita saat ini mulai menipis karena di pengaruhi oleh penggundulan hutan di dunia ini, pembangunan infrastruktur gedung-gedung bertingkat di tambah dengan adanya gas buang (asap knalpot) pada kendaraan bermotor. Atmosfir bumi yang disebut udara terutama terdiri dari dua kandungan gas yaitu Oksigen (O_2) sebanyak 21% volume atmosfer, dan Nitrogen (N_2) sebanyak 78% volume atmosfer. Sisahnya sebanyak 1% terdiri dari berbagai macam macam-gas terbentuk argon (Ar) yang berjumlah 0,94%.

Kendaraan bermotor roda dua maupun roda empat atau lebih, merupakan salah satu penyumbang polusi udara terbesar di perkotaan dengan polutan gas utama seperti : CO (karbon monoksida) 90%, HC (Hidrokarbon) 60% juga NO_x (Oksida nitrogen) 40%,

SO_x (Oksida sulfur) 40%, Pb (Timbal) 100% dan CO_2 (Karbon dioksida) 70%. Seiring dengan berjalannya waktu perkembangan teknologi di seluruh dunia terutama di bidang otomotif yang mana telah banyak penemuan-penemuan untuk mencegah terjadinya bahaya pencemaran udara di bumi ini dan telah berhasil mengembangkan temuannya tersebut agar dapat dipergunakan oleh manusia yang ada di seluruh dunia pada setiap kendaraan yang dijual kepada masyarakat.

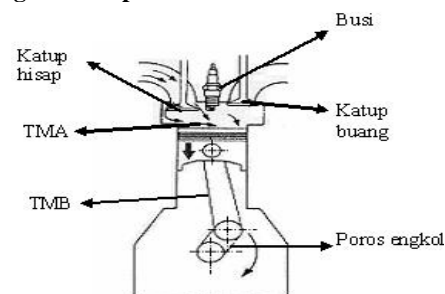
Teknologi yang sedang hangat saat ini adalah teknologi penghematan bahan bakar dan polusi gas buang (emisi) yang ramah lingkungan, Honda saat ini telah berkembang dari mesin yang menggunakan sistem Karburator menjadi sistem *EFI (electric fuel injection)* disamping penghemat bahan bakar juga di harapkan menghasilkan emisi gas buang yang lebih ramah lingkungan.

II. TEORI

Pengertian 4 Tak

Four Stroke Engine atau Motor empat langkah adalah motor yang siklusnya (1 kali pembakaran) dalam 2 kali engkol.

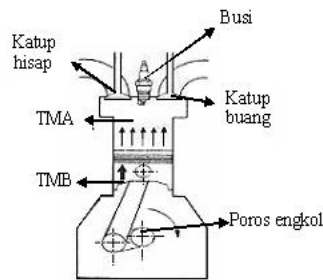
a. Langkah Hisap



Gambar 1. Langkah Hisap Pada Motor 4 Langkah

Langkah hisap adalah langkah dimana campuran bahan bakar dan udara dihisap ke dalam silinder. Proses yang terjadi pada langkah hisap adalah posisi katup hisap terbuka sedangkan katup buang tertutup, torak bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB). Gerakan torak menyebabkan ruang didalam silinder menjadi vakum, sehingga campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder.

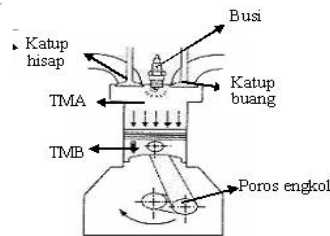
b.LangkahKompresi



Gambar 2. Langkah Kompresi Pada Motor 4 Langkah

Langkah kompresi adalah langkah dimana campuran bahan bakar dan udara dikompresikan atau ditekan di dalam silinder. Proses yang terjadi pada langkah hisap adalah posisi kedua katup yaitu katup hisap dan katup buang tertutup, torak bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju ke Titik Mati Atas (TMA). Karena gerakan torak volume ruang bakar mengecil sehingga membuat tekanan dan temperatur campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder naik. Poros engkol sudah berputar satu kali saat torak mencapai TMA.

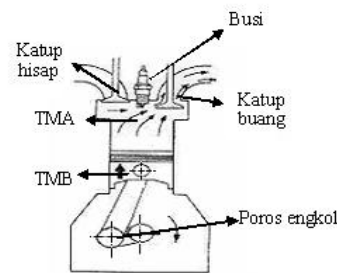
c.Langkah Kerja



Gambar3. Langkah Kerja Pada Motor 4 Langkah

Langkah kerja adalah langkah dihasilkannya kerja dari energi pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder. Posisi kedua katup tertutup, beberapa saat sebelum torak mencapai TMA busi memercikan bunga api pada campuran bahan bakar dan udara yang telah dikompresi dan terjadi pembakaran. Terjadinya pembakaran menyebabkan gas didalam silinder mengembang, tekanan dan temperatur naik. Tekanan pembakaran mendorong torak bergerak ke TMB, gerakan inilah yang menjadi tenaga motor.

d.Langkah Buang



Gambar 4. Langkah Buang Pada Motor 4 Langkah

Langkah buang adalah langkah dimana gas sisa pembakaran dikeluarkan dari silinder. Katup hisap tertutup dan katup buang terbuka, torak bergerak dari TMB menuju ke TMA, gas sisa hasil pembakaran akan terdorong ke luar dari dalam silinder melalui katup buang. Saat torak sudah mencapai TMA poros engkol sudah berputar dua kali.

Pengertian EFI

Sistem *EFI*(*Electric Fuel Injection*) menentukan jumlah bahan bakar yang optimal disesuaikan dengan jumlah dan temperatur udara yang masuk, kecepatan mesin, posisi katup throttle pengembunan oksigen didalam exhaust pipe dan kondisi penting lainnya.

Pengertian Karburator

Karburator bekerja menggunakan Prinsip Bernoulli, semakin cepat udara bergerak maka semakin kecil tekanan statisnya, namun semakin tinggi tekanan dinamisnya.

Pengertian EURO

EURO adalah standar emisi gas buang di Eropa dan memang menjadi standarisasi untuk dunia. Yang menjadi dasar adalah perhitungan jumlah besaran CO+NOx,CO,NOx, serta jumlah partikulat pada diesel.

Emisi Gas buang

Atmosfir bumi yang biasa disebut ” udara ”, terdiri dari : Oksigen (O_2) yang menempati 21 % volume atmosfir dan Nitrogen (N_2) yang menempati 78 % volume atmosfir. Sisanya yang 1% ditempati oleh berbagai macam gas, termasuk Argon (Ar) yang berjumlah 0,94 % dari sisa 1 % dan Karbondioksida (CO_2).Disamping gas Argon dan Karbondioksida, masih banyak lagi zat yang dihasilkan manusia, seperti gas Carbonmonoksida (CO), Hidrocarbon (HC), Nitrogenoksida (Nox), Sulfurdioksida (So_2) dan lain – lain. Zat yang tidak diinginkan ini disebut ” Air Polutan ” atau ” Pencemar Udara ”. Zat pencemar udara tersebut dihasilkan oleh gas buang kendaraan bermotor, thermo electric power plant, heater

bangunan, asap pembakaran sampah, asap dari pabrik-pabrik dan masih banyak lainnya.

Pengaruh Emisi Gas Buang Terhadap Lingkungan

Secara umum pengaruh emisi gas buang terhadap lingkungan dapat dikelompokkan kedalam 5 kategori, yaitu :

1. Pengaruh terhadap kesehatan dan keselamatan manusia.
2. Pengaruh terhadap tumbuhan dan binatang.
3. Pengaruh terhadap material dan bangunan.
4. Pengaruh terhadap gangguan baut dan nilai estetika.
5. Pengaruh terhadap ekosistem (udara, tanah, dan air).

III. METODE PENGUJIAN

Sebelum melakukan pengujian emisi kita harus mengetahui standarisasi yang akan kita gunakan. Standarisasi yang akan saya gunakan disini adalah Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) seperti Uji emisi, Akselerasi, dan Perbandingan konsumsi bahan bakar. Untuk pengujian konsumsi bahan bakar pengujian dilakukan pada kondisi idle (kendaraan tidak bergerak) dengan volume bahan bakar 100 cc.

Kendaraan uji yang dipersiapkan yaitu :

- a. Honda Supra X 125 Karburator dan
- b. Honda Supra X 125 Injeksi

Alat-alat serta bahan-bahan pengujian adalah sebagai berikut :

- a. Alat uji emisi (*Gas Analyzer*)
- b. *Stopwatch*
- c. Gelas ukur
- d. *Solar Cell Technometer*

Pengujian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan dengan cara memperhatikan berapa waktu konsumsi bahan bakar (100 cc) pada variasi kecepatan yang berbeda secara konstan.

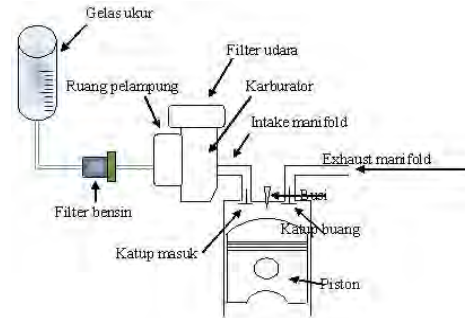
Masing – masing waktu lama habisnya bahan bakar diukur menggunakan stopwatch, setiap 100 cc digunakan pada variasi kecepatan berbeda secara konstan dengan metode seperti berikut :

- 20 km/jam dilakukan 5 kali pengujian
- 40 km/jam dilakukan 5 kali pengujian
- 60 km/jam dilakukan 5 kali pengujian

Langkah – langkah dalam pengujian pemakaian bahan bakar sebagai berikut:

1. Siapkan kendaraan yang akan diuji.
2. Hidupkan mesin sampai kondisinya stasioner.
3. Menyetel putaran idle dengan cara memutar sekrup idle searah dengan jarum jam pada karburator.
4. Melakukan pengujian dengan cara memperhatikan berapa waktu pemakaian bahan bakar (100 ml) pada beberapa tingkat. Masing-masing waktu habisnya bahan bakar diukur menggunakan stopwatch.
5. Teliti dan catat lamanya bahan bakar habis.

6. Ulangi langkah-langkah pengujian tersebut sampai batas yang diinginkan.



Gambar 5 Instalasi Pengukuran Bahan Bakar

Pengujian Akselerasi Pada Jalan Raya

Setiap kali pengujian akselerasi selalu dimulai dari titik berhenti. Pengujian yang dilakukan meliputi kecepatan :

- 0 – 20 km/jam
- 0 – 40 km/jam
- 0 – 60 km/jam
- 0 – 80 km/jam

Pengujian Emisi Gas Buang

Sebelum dilakukan pengukuran emisi gas buang maka dilakukan test awal (*primary test*) dengan menarik gas hingga putaran maksimal sebanyak 3 kali untuk mengurangi kotoran di dalam sistem knalpot. Pengujian ini dilakukan hanya pada tingkat putaran tertentu. Tingkat putaran yang dilakukan untuk pengujian adalah pada putaran sebagai berikut :

- Putaran 2000 rpm.
- Putaran 4000 rpm .
- Putaran 6000 rpm



Gambar 6 Pengujian Emisi Gas Buang

IV. HASIL PENGUJIAN

Hasil Pengujian Pada Honda Supra X 125 Injeksi

Adapun hasil yang diperoleh dari setiap pengujian dapat dilihat pada data berikut :

a. Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 1 Konsumsi Bahan Bakar dengan kecepatan 20 km/jam

Kecepatan km/jam	Volume cc	Percobaan	Waktu (s)
20	100	I	854
20	100	II	850
20	100	III	853
20	100	IV	854
20	100	V	851

Tabel 2 Konsumsi Bahan Bakar dengan kecepatan 40 km/jam

Kecepatan km/jam	Volume cc	Percobaan	Waktu (s)
40	100	I	729
40	100	II	726
40	100	III	730
40	100	IV	728
40	100	V	729

Tabel 3 Konsumsi Bahan Bakar dengan kecepatan 60 km/jam

Kecepatan km/jam	Volume cc	Percobaan	Waktu (s)
60	100	I	647
60	100	II	649
60	100	III	646
60	100	IV	646
60	100	V	648

b. Pengujian Akselerasi

Tabel 4 Akselerasi 0 - 20 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 - 20	1	I	3,12
0 - 20	1	II	3,08
0 - 20	1	III	3,04

Tabel 5 Akselerasi 0 - 40 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 - 40	1	I	6,15
0 - 40	1	II	5,58
0 - 40	1	III	6,07

Tabel 6 Akselerasi 0 - 60 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 - 60	1	I	9,48
0 - 60	1	II	9,27
0 - 60	1	III	9,13

Tabel 7 Akselerasi 0 - 80 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 - 80	1	I	11,48
0 - 80	1	II	12,03
0 - 80	1	III	11,53

c. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

Tabel 8 Emisi Gas Buang

RPM	CO (ppm)	NOx (ppm)	HC (ppm)	CO2 (ppm)
2000	4,27	1001	279	10,3
4000	1,56	1097	145	12,2
6000	1,76	1051	190	12,6

Hasil Pengujian Pada Honda Supra X 125 Karburator

Adapun hasil yang diperoleh dari setiap pengujian dapat dilihat pada data berikut :

a. Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 9 Konsumsi Bahan Bakar dengan kecepatan 20 km/jam

Kecepatan km/jam	Volume cc	Percobaan	Waktu (s)
20	100	I	734
20	100	II	730
20	100	III	733
20	100	IV	734
20	100	V	731

Tabel 10 Konsumsi Bahan Bakar dengan kecepatan 40 km/jam

Kecepatan km/jam	Volume cc	Percobaan	Waktu (s)
40	100	I	609
40	100	II	606
40	100	III	610
40	100	IV	608
40	100	V	609

Tabel 11 Konsumsi Bahan Bakar dengan kecepatan 60 km/jam

Kecepatan km/jam	Volume cc	Percobaan	Waktu (s)
60	100	I	527
60	100	II	529
60	100	III	526
60	100	IV	526
60	100	V	528

b. Pengujian Akselerasi

Tabel 12 Akselerasi 0 - 20 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 – 20	1	I	3,38
0 – 20	1	II	3,35
0 – 20	1	III	3,29

Tabel 13 Akselerasi 0 - 40 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 – 40	1	I	6,30
0 – 40	1	II	7,02
0 – 40	1	III	6,10

Tabel 14 Akselerasi 0 - 60 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 – 60	1	I	10,04
0 – 60	1	II	9,90
0 – 60	1	III	8,22

Tabel 15 Akselerasi 0 - 80 km/jam

Kecepatan km/jam	Gigi	Percobaan	Waktu (S)
0 – 80	1	I	12,03
0 – 80	1	II	11,58
0 – 80	1	III	12,12

c. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

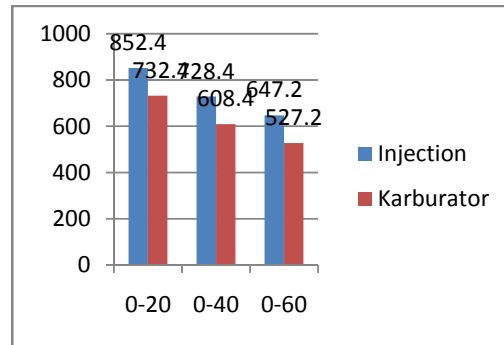
Tabel 16 Emisi Gas Buang

RPM	CO (ppm)	NOx (ppm)	HC (ppm)	CO2 (ppm)
2000	4,30	951	950	10,3
4000	9,46	762	849	7,9
6000	5,32	990	1326	8,2

Analisa Hasil Uji

a. Analisa Hasil Uji Konsumsi Bahan Bakar

Bila kita perhatikan Dari tabel 1 konsumsi rata-rata 852,4 s/100 cc bahan bakar sedangkan dari tabel 9 konsumsi rata-rata 732,4 s/100 cc bahan bakar. Dari tabel 2 konsumsi rata-rata 728,4 s/100 cc sedangkan dari table 10 konsumsi rata-rata 608,4 s/100 cc. Dari tabel 3 konsumsi rata-rata 647,2 s/100 cc. Sedangkan dari tabel 11 konsumsi rata-rata 527.2 s/100 cc.

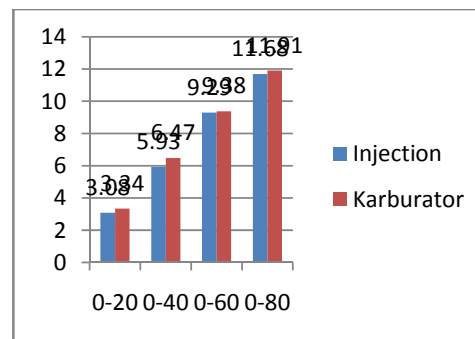


Tingkat Kecepatan (Km / jam)
Gambar 7 Diagram Konsumsi Bahan Bakar

Dari diagram di atas terlihat bahwa waktu yang diperlukan untuk menghabiskan 100 cc bahan bakar pada Honda Supra X 125 Injection lebih lama 16,36% bila dibandingkan dengan Honda Supra X 125 Karburator.

b. Analisa Hasil Uji Akselerasi

Hasil uji akselerasi untuk kecepatan 0-20 km/jam dari tabel 4 waktu tempuh rata-ratanya 3,08 s sedangkan dari tabel 12 waktu tempuh rata-ratanya 3,34 s. Untuk kecepatan 0-40 km/jam dari tabel 5 waktu tempuh rata-ratanya 5,93 s sedangkan dari tabel 13 waktu tempuh rata-ratanya 6,47 s. Untuk kecepatan 0-60 km/jam dari tabel 6 waktu tempuh rata-ratanya 9,29 s dan dari tabel 14 waktu tempuh rata-ratanya 9,38 s. Kemudian untuk kecepatan 0-80 km/jam dari tabel 7 waktu tempuh rata-ratanya 11,68 s sedangkan dari tabel 15 waktu tempuh rata-rata 11,91 s.



Tingkat Kecepatan (Km / jam)

Gambar 8 Diagram Akselerasi

Diagram tersebut memperlihatkan bahwa Honda Supra X 125 Injection memiliki akselerasi lebih cepat dibandingkan Honda Supra X 125 Karburator. Hal tersebut berkaitan dengan proses pembakaran yang lebih sempurna, sehingga membuat tenaga maksimal dan perawatan lebih murah.

c. Analisa Hasil Uji Emisi Gas Buang

Gas Buang CO

Dari pengambilan data, volume CO yang didapat pada putaran 2000,4000 & 6000 rpm pada Honda Supra X 125 Injection 4,27%, 1,56%, 1,76%, Sedangkan pada Honda Supra X 125 Karburator 4,30%, 9,46%, 5,32%.

Terlihat bahwa volume CO pada Honda Supra X 125 Injection mengalami penurunan volume hingga 63,47%. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pembakaran pada putaran tinggi merupakan pembakaran yang mendekati sempurna. Tetapi pada Honda Supra X 125 Karburator mengalami kenaikan hingga 54,55% karena campuran udara dalam pembakaran berkurang, sehingga berdampak pada berkurangnya oksigen dalam darah pada tubuh manusia.

Gas Buang HC

Dari pengambilan data, volume HC yang didapat pada putaran 2000,4000 & 6000 rpm pada Honda Supra X 125 Injection 279, 145, 190, Sedangkan pada Honda Supra X 125 Karburator 950, 849, 1326,

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian tersebut, terdapat perubahan kinerja mesin dan emisi gas buang antara Honda Supra X 125 Injection dengan Honda Supra X 125 Karburator:

Sebelum melakukan pengujian emisi kita harus mengetahui standarisasi yang akan kita gunakan. Standarisasi yang akan saya gunakan disini adalah Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) seperti menTune-up dahulu kendaraan yang akan kita uji, Uji emisi, Akselerasi, dan Perbandingan konsumsi bahan bakar

Untuk pengujian konsumsi bahan bakar, Honda Supra X 125 Injection lebih irit dibandingkan dengan Honda Supra X 125 Karburator. Pada pengujian pertama dengan tingkat kecepatan 20 km/jam Honda Supra X 125 Injection 14,07 % lebih hemat bahan bakarnya dibandingkan dengan Honda Supra X 125 Karburator untuk konsumsi 100 ml bahan bakar. Untuk 40 km/jam Honda Supra X 125 Injection 16,47 % lebih hemat bahan bakarnya dibandingkan dengan Honda Supra X 125 Karburator. Sedangkan untuk tingkat kecepatan 60 km/jam Honda Supra X 125 Injection 18,54 % lebih hemat bahan bakarnya. Efisiensi konsumsi bahan bakar pada Honda Supra X 125 Injection lebih baik dari pada Honda Supra X 125 Karburator.

Untuk pengujian akselerasi, terlihat bahwa Honda Supra X 125 Injection memiliki akselerasi lebih responsif dibandingkan Honda Supra X 125 Karburator. Untuk tingkat kecepatan 0-20 km/jam Honda Supra X 125 Injection 7,78 % lebih cepat dari pada Honda Supra X 125 Karburator. Untuk tingkat kecepatan 0-40 km/jam Honda Supra X 125 Injection 8,35 % lebih cepat dibandingkan Honda Supra X 125

Karburator. Untuk tingkat kecepatan 0-60 km/jam Honda Supra X 125 Injection lebih cepat 0,96 % dari pada Honda Supra X 125 Karburator. Sedangkan untuk tingkat kecepatan 0-80 km/jam Honda Supra X 125 Injection lebih cepat 1,93 % dari pada Honda Supra X 125 Karburator.

Untuk pengujian CO, volume CO pada Honda Supra X 125 Injection mengalami penurunan volume. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pembakaran pada putaran tinggi merupakan pembakaran yang mendekati sempurna. Tetapi pada Honda Supra X 125 Karburator mengalami kenaikan karena campuran udara dalam pembakaran berkurang, sehingga berdampak pada berkurangnya oksigen dalam darah pada tubuh manusia, dan

Honda Supra X 125 Injection secara umum dapat digunakan sebagai pengganti dari Honda Supra X 125 Karburator dalam memenuhi kebijakan langit biru anti polusi yang dikeluarkan oleh Pemda DKI Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto. "Pengerak Mula Motor Bakar", Edisi Kelima, Bandung, 1987.
- Chigier, Norman, "Energi, Combustion and Environment", USA, Mc Braw Hill Book Company, inc, 1981.
- Ferguson C., "Internal , Combustion Engines, Aplied Tremosesciences", New York, John Willey Sons, 1985.
- F.Young, James. "*Material dan proses*", Edisi:3, Tokyo, Charles E. Turtle Company, 1980.
- Japanese Standar Association, "*JIS Handbook 1983 Machine Element*", Japan, 1987.
- Khurmi, R.S. Gupta, J.K. "*Text Book of Machine Design*", Edisi:3. New Delhi, Eurasia Publishing House (PVT) LTD.
- Sularso, Suga Kiyokatsu. "*Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*". PT. Pradnya Paramitha, 1987.

Analisa Pengelasan Beda Material Stainless Steel (SUS 316L) dengan Karbon (SA 516 Gr 70) untuk Item HP Vent Ko Drum

Nanang Ruhyat, Hendry Purwanto

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650

Email: nanang@mercubuana.ac.id

Abstrak -- Rekayasa industri engineering seperti *fabricator pressure vessel, oil and gas, chemical plant dan power plant*, salah satu proses penyambungan yang paling penting adalah pengelasan atau welding. Oleh sebab itu setiap spesifikasi pengelasan akan mengacu beberapa standart atau code seperti ASME, AWS, DIN, JIS, *Turbular Exchanger Manufacture Associate (TEMA)*, *British Petroluem, API* dan lain sebagainya. Proses dan teknik pengelasan beda material Stainless Steel (SUS 316L) dengan Karbon (SA 516 Gr 70) yang berbeda karakteristik dan komposisi material memberikan informasi dengan pengujian Struktur Makro, Tensile Test, Hardness Test, dan Bend Test. Tensile Test diterima karena tensile stress yang terkecil adalah 579 N/mm². Tensile Test diterima karena tensile stress yang terkecil adalah 579 N/mm².

I. LATAR BELAKANG

Di dunia rekayasa industri engineering seperti *fabricator pressure vessel, oil and gas, chemical plant dan power plant*, salah satu proses penyambungan yang paling penting adalah pengelasan atau welding. Oleh sebab itu setiap spesifikasi pengelasan customer akan mengacu beberapa standart atau code seperti *American society of Mechanical Engineering (ASME)*, *American Welding Society (AWS)*, *DIN, JIS, Turbular Exchanger Manufacture Associate (TEMA)*, *British Petroluem, API* dan lain sebagainya.

II. MATERIAL

Dua jenis main material yang berbeda atau main material yang berbeda karakteristik dan komposisi kimianya antara *Low Carbon steel (SA 516 Gr 70)* dengan *stainless steel (SA 240 316 L)*, sedangkan material pengisi atau filler yang digunakan dalam pengelasan beda material diatas adalah ER 309L. Code yang digunakan adalah ASME IIA (*Ferrous material spesification*) dan ASME IIC (*spesification for welding rods, Electrodes, and filler metal*).

Base Material Stainless Steel SUS 316L dengan Karbon SA 516 Gr 70.

1. Low Carbon steel (SA 516 Gr 70) :
 - Manufacture : JFE Steel Corporation
 - Spesifikasi : ASME SA-516 GRADE 70

- Tebal : 12,7 mm
- Heat Number : PL 31806 19183
- Certificate no. : ASHEX-1741-001

Komposisi Kimia	
C	0,19
Si	0,27
Mn	0,117
P	0,016
S	0,002
Cu	0,01
Ni	0,02
Mo	0,01
Cr	0,05
Al	0,32
Ti	0,002

Tensile Test (N/mm ²)		
Y.S	T.S	EL
50,9	77,0	26%

2. Stainless Steel SA 240 316L :
 - Manufacture : OUTO KUMPU
 - Spesifikasi : SA 240 316L
 - Tebal : 12 mm
 - Heat Number : 402026-003
 - Certificate no. : 6610/1000022474

Komposisi Kimia	
C	0,020
Si	0,55
Mn	1,25
P	0,031
S	0,001
Cr	16,96
Ni	10,13
Mo	2,04
Nb	0,007
Cu	10,13
Co	2,04
N	0,007

Tensile Test (N/mm ²)		
Y.S	T.S	EL
330	337	52%

3. Filler metal / kawat las ER 309/309L :
 - Manufacture : OXFORD
 - Spesifikasi : AWS A5.9 (ASME SFA 5.9, Section II, Part C)
 - Diameter : 2,4 mm
 - Heat Number : E85484
 - Certificate no. : 3.1 AS IN EN 10204

Komposisi Kimia		Tensile Test (N/mm ²)		
C	0,020	Y.S	T.S	EL
Cr	0,55			
Ni	1,25	400	590	40%
Mo	0,031			
Mn	0,001			
Si	16,96			
P	10,13			
S	2,04			

Konsentrasi pada pengelasan ini adalah menjaga terjadinya *under bead* (*cold cracking*). Biasanya keretakan ini terjadi pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) adalah daerah yang tidak terjadi pencairan atau *molted* pada saat pengelasan terjadi yang mengakibatkan microstructure didaerah HAZ berubah. *Cold cracking* terjadi karena hidrogen yang datang terperangkap dalam lasan yang tidak mencair pada saat pengelasan .

Berbagai jenis cacat yang umum dijumpai pada lasan antara lain :

1. Retak (*Cracks*).
2. *Voids*.
3. *Inklusi*
4. Kurangnya fusi atau penetrasi (*lack of fusion or penetration*).
5. Bentuk yang tak sempurna (*imperfect shape*).

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dengan logam yang sejenis (*similar*) atau penyambungan logam dengan logam yang tidak sejenis (*dissimilar*) menggunakan energi panas / proses pembakaran (titik cair material yang disambung) sehingga logam menjadi satu dengan atau tanpa tekanan. Disamping itu pengelasan dapat dilakukan dengan menggunakan kawat las (logam pengisi) atau tanpa menggunakan kawat las (logam pengisi). Pengelasan beda material (*dissimilar metal*) dapat dilakukan dengan proses fusion weld seperti *Shielded Metal Arc Weld* (SMAW) , *Flux Core Arc Weld* (FCAW), *Gas Tungsten Arc Weld* (GTAW), *Plasma Arc Weld* (PAW).

1. *Shielded Metal Arc Weld* (SMAW).

Pengelasan *Shielded Metal Arc Weld* (SMAW) yang juga dikenal dengan Las Stick adalah proses las busur listrik merupakan proses las dimana sumber panasnya dihasilkan oleh karena adanya busur (*arc*) listrik antara kedua kutub positif dan negative . Pengelasan busur listrik dengan electrode terbungkus *Shielded Metal Arc Weld* (SMAW) bertujuan agar cairan logam yan melebur terhindar dari pengaruh atmosfer udara yang mengakibatkan terbentuknya lapisan terak (*slag*) karena mencairnya electrode pembungkus .

2. *Flux Core Arc Weld* (FCAW).

Pengelasan *Flux Core Arc Weld* (FCAW) adalah metode las busur yang prinsip kerjanya sama dengan *Shielded Metal Arc Weld* (SMAW), dimana

logam pengisi (*electrode*) dan base metal yang mencair / meleleh bercampur saat logam pengisi (*electrode*) dipanaskan busur listrik antara base metal dengan logam pengisi (*electrode*). Daerah lasan dilindungi oleh fluks (lapisan luar dari electrode) yang ikut mencair pada saat pengelasan yang berfungsi agar oksigen tidak masuk kedalam cairan lasan.

3. *Gas Tungsten Arc Weld* (GTAW)

Pengelasan *Gas Tungsten Arc Weld* (GTAW) juga dikenal sebagai las *tungsten inert gas* (TIG) , adalah proses pengelasan yang menggunakan *nonconsumable tungsten elektroda* untuk menghasilkan las . Daerah las dari kontaminasi dilindungi atmosfer oleh gas pelindung (biasanya seperti gas *argon*/nitrogen), dan *logam pengisi* biasanya digunakan, meskipun beberapa lasan, yang dikenal sebagai *autogenous* lasan, tidak memerlukan hal itu. Sebuah *konstan-arus las listrik* menghasilkan energi yang dilakukan di busur melalui kolom gas dan uap yang sangat terionisasi logam dikenal sebagai *plasma* .

4. *Plasma Arc Weld* (PAW).

Pengelasan *Plasma Arc Weld* (PAW), adalah proses pengelasan yang menggunakan *nonconsumable tungsten elektroda* untuk menghasilkan las yang prinsip kerjanya sama dengan pengelasan *Gas Tungsten Arc Weld* (GTAW). Daerah las dari kontaminasi dilindungi atmosfer oleh gas pelindung (biasanya seperti gas *argon* / nitrogen), dan *Plasma Arc Weld* (PAW) tidak memerlukan logam pengisi (mencairkan sambungan kedua base metal). Sebuah *konstan-arus las listrik* menghasilkan energi yang dilakukan di busur melalui kolom gas dan uap yang sangat terionisasi logam dikenal sebagai *plasma* . Pengelasan pada umumnya yang dilakukan ditempat penulis adalah proses pengelasan *Gas Tungsten Arc Weld* (GTAW) dan *Plasma Arc Weld* (PAW).

Jenis sambungan yang biasa digunakan dalam proses pengelasan :

- a. Sambungan tumpu (*butt joint*); kedua bagian benda yang akan disambung diletakkan pada bidang datar yang sama dan disambung pada kedua ujungnya.
- b. Sambungan sudut (*corner joint*); kedua bagian benda yang akan disambung membentuk sudut siku-siku dan disambung pada ujung sudut tersebut.
- c. Sambungan tumpang (*lap joint*); bagian benda yang akan disambung saling menumpang (*overlapping*) satu sama lainnya.
- d. Sambungan T (*tee joint*); satu bagian diletakkan tegak lurus pada bagian yang lain dan membentuk huruf T yang terbalik.
- e. Sambungan tekuk (*edge joint*); sisi-sisi yang ditekuk dari ke dua bagian .

III. INSPEKSI DAN PENGUJIAN

Inspeksi dan pengujian pengelasan ada beberapa cara untuk mengetahui kualitas pengelasan diantaranya dengan inspeksi tanpa merusak atau *Non Destructive Test* (*NDT*) dan test merusak atau *Destructive Test* (*DT*).

Pengujian Tanpa Merusak ini langsung dilakukan pada benda kerja setelah proses pengelasan selesai dan dilakukan proses finishing pada permukaan lasan. Ada beberapa metode yang sering dilakukan dalam pemeriksaan hasil lasan antara lain :

- Dye Penetran Test .
- Magnetic Particle Test .
- Ultrasonis Test .
- Radiography Test .

Dye Penetran Test .

Pengujian ini dilakukan langsung pada permukaan lasan benda kerja dengan menggoles / menyemprot pada permukaan lasan benda kerja dengan cairan kimia (*Penetran & Developer*) dan bila ada cacat lasan akan tampak oleh visual (*bintik – bintik warna merah*).

Magnetic Particle Test .

Metode ini dapat mengetahui cacat pada lasan sampai kedalaman 3 ~ 5 mm dari permukaan lasan . Kelemahan dari metode ini hanya dapat dilakukan pada *base metal* yang main material karbon steel , jadi tidak bisa digunakan pada pengelasan beda material (*SA 516 Gr70 dengan SA240 316 L*)

Ultrasonis Test .

Metode ini dapat mengidentifikasi cacat lasan atau *defect* didalam lasan dan material , kekurangannya metode ini menggunakan gelombang ultrasonic maka akan ada perbedaan velositi antara material karbon steel dengan stainless steel yang akan mengakibatkan hasilnya kurang akurat .

Radiography Test .

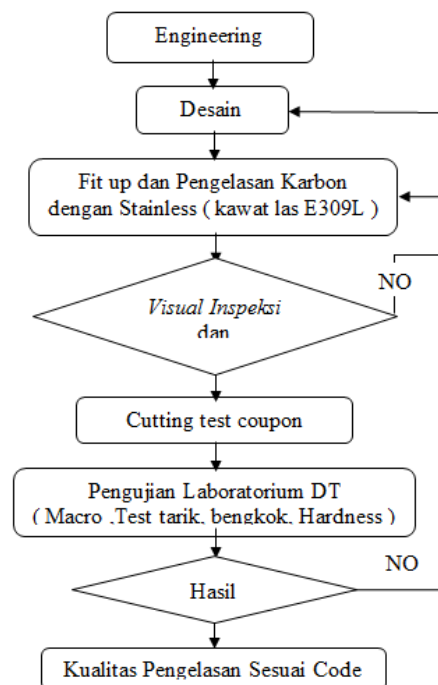
Metode ini dapat mengetahui cacat lasan yang berada didalam lasan, metode ini sangat baik dilakukan untuk pengujian hasil dari lasan tetapi sangat berbahaya untuk lingkungan sekitarnya , karena metode ini dapat memancarkan radiasi yang berbahaya untuk makhluk hidup . Idealnya metode ini dilakukan di tempat khusus yang ada pelindung nya (*timah hitam*) dan jauh dari jangkauan manusia .

Pengujian Merusak (*Destructive Test*) .

Pengujian merusak ini dapat disebut juga *Mechanical Test* , yang diuji didalam laboratorium (dengan peralatan khusus) dimana pengujian yang diperlukan diantaranya Uji tarik (*Tension Test*) , Uji Tekuk (*Bend Test*), Uji kekerasan dan Uji Macro Etsa.

Diagram Proses Pengujian

Proses pengambilan data pada penelitian pengelasan beda material (*dissimilar metal*) SA 516 Gr 70 dengan SA 240 316L untuk pembuatan prosedur pengelasan di gambarkan dalam diagram proses sebagai berikut :



Test coupon adalah material yang disiapkan untuk contoh pengelasan menggunakan prosedur pengelasan yang dirancang oleh engineer yang tujuannya untuk pengujian , apakah prosedur pengelasan tersebut dapat digunakan kepada material atau pengelasan *pressure vessel* sesuai dari spesifikasi dari pemesan yang disebut juga *Product Quality Test* (*PQT*) .

Setelah selesai proses pengelasan sesuai dengan prosedur pengelasan yang dirancang oleh engineer , *test coupon* harus segera dilakukan inspeksi yang

bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak adanya cacat pengelasan di permukaan atau didalam lasan , adapun inspeksi yang dilakukan sesuai dengan material test coupon dan sesuai dengan code yang di pesan oleh customer . beberapa inspeksi sebagai berikut :

- Visual inspeksi ini untuk mengetahui bentuk lasan dan ukuran lasan apakah sudah sesuai dengan desain seperti tinggi bead, cacat permukaan seperti *porosity* , *surface crack* , *under cut* , dan *incomplete weld* atau pengelasan yang belum komplit dan *incomplete penetration* .
- Dye penetrant test ini untuk mengetahui cacat dipermukaan yang menjalar kedalam lasan seperti *porosity* , *crack* . Hasil pengujian ini diterima / *accepted* sesuai dengan *Acceptance criteria ASME VIII Appendix 8* .
- Pengujian radiography untuk mengetahui cacat *Linear Indication* seperti *crack* / retak , tembusan yang tidak penuh, penetrasi yang kurang dan slag yang terlihat di film radiography, dimana panjangnya tidak boleh lebih dari 3x dari lebarnya dan *Rounded Indication* seperti *porosity* , *inclusion* , dan *slag tungsten* yang terlihat didalam radiography, dimana panjangnya tidak boleh lebih dari 3x dari lebarnya, cacat biasanya bentuknya bulat, ellip/lonjong, tidak beraturan. Hasil *radiography test* , pengelasan test plate yang diijinkan sesuai dengan *Acceptance criteria ASME VIII Appendix 4* .

Pengujian Mecahnical Test

Pengujian yang dilakukan dalam pengelasan ini adalah *Macro test* , *Hardness test* , *Tensile test* , dan *Bend test* .

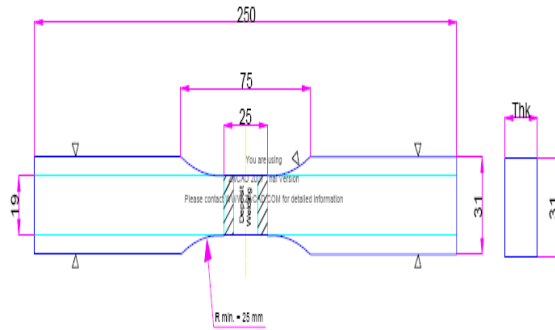
Pengujian Macro test bertujuan untuk melihat bentuk macro material pada daerah pengelasan sesuai dengan ASME Section IX yaitu *Base metal* , *Heat Affected Zone* , dan lasan agar bentuk dari lasan dapat terlihat maka permukaan harus halus dengan dilakukan proses *machining* , *gerinding* , dan *polishing* kemudian pada daerah lasan di etcha dengan cairan kimia diantaranya Acid nitrid, Asam HCl dan air, agar bentuk dari lasan antara *weld metal* , HAZ, dan *base metal* terlihat jelas. Dari hasil test macro ini dapat diketahui visual kualitas lasan dan bentuk lasan .

Hardness test untuk mengetahui ketahanan metal dari deformasi plastik kekerasan material setelah mengalami pemanasan didaerah base metal, HAZ, dan weld.

Gambar Test Piece Macro & Hardness Test

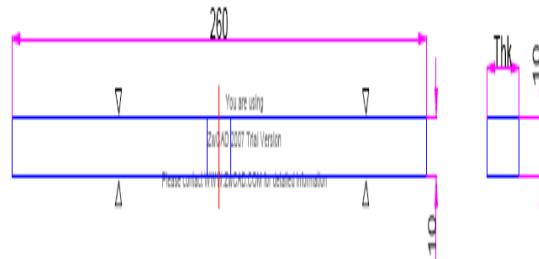
Tes tarik dilaksanakan untuk menentukan kekuatan tarik, titik mulur (kekuatan lentur) las, pemanjangan dan pengurangan material las . Cara pengujian sangat simple dengan memberikan beban tarik sampai material tersebut putus dan pada proses material di beri baban tarik awal sampai putus , proses

tersebut direcord pada mesin tersebut (hasil record diplot dalam grafik). Dari grafik tersebut dapat dilihat kuat tarik (*yield strength*) dan kemuluran (*elongation*) .



Gambar Tensile Test (ukuran dalam mm)

Side bending test (test bengkok) bertujuan untuk melihat tahanan lentur suatu material yang dibengkokkan sampai 180° . Pada bagian luar daerah bengkok yang mulur dapat ditemukan cacat atau kerapuhan material . Kriteria yang diterima (*Acceptance criteria*) diatur di ASME IX QW.163 dimana lasan dan daerah HAZ pada *transfersal/side weld bend* harus masih utuh atau tidak adanya cacat setelah dilakukan uji bengkok . Tidak boleh ada cacat retak atau *crack* pada daerah lasan dan HAZ .



Gambar Side Bend Test (ukuran dalam mm)

Pengujian Mechanical Test

Pada pengujian mechanical test hasil pengelasan sesuai dengan WPS No. 003-WPS-ASME-MMF-2010 dilakukan di Laboratory of Mechanical Testing PT. Hi-Test di Bumi Serpong Damai – Tangerang – Indonesia . Hasil pengujian ini akan menjadi *record* atau *Product Qualification Record* menjadi pembandingan apakah parameter dan range yang ada di WPS sudah sesuai dengan *specification* dari *customer* akan di buktikan dalam *mechanical test* . Pengujian mechanical tersebut adalah :

1. Macro Test
2. Hardness Test
3. Tensile Test
4. Bend Test (Side Bend)

1. Macro Test .

Pengujian Macro test bertujuan untuk melihat bentuk macro material pada daerah pengelasan sesuai

dengan ASME Section IX yaitu *Base metal*, *Heat Affected Zone*, dan lasan agar bentuk dari lasan dapat terlihat maka permukaan harus halus dengan dilakukan proses *machining*, *gerinding*, dan *polishing* kemudian pada daerah lasan di etcha dengan cairan kimia diantaranya Acid nitrid, Asam HCl dan air, agar bentuk dari lasan antara *weld metal*, HAZ, dan *base metal* terlihat jelas. Dari hasil test macro ini dapat diketahui visual kualitas lasan dan bentuk lasan.

Hasil dari pengujian Macro Test dapat diketahui sebagai berikut :

1. Pengisian lasan sempurna, tidak terlihat adanya slag.
2. Penetrasi pengelasan sempurna.
3. *Undercut* tidak ada.
4. Retak Lasan tidak ada.
5. Gas terperangkap tidak ada.

Gambar . Macro Test

2. Hardness Test

Hardness test untuk mengetahui ketahanan metal dari deformasi plastik kekerasan material setelah mengalami pemanasan didaerah base metal, HAZ, dan weld. Ada 3 macam hardness test yang digunakan dengan keakuratan terjamin yaitu :

a) Brinell Hardness.

Brinell hardness artinya menghantam atau menumbukkan baja keras atau carbide sphere dari diameter spesifik dengan beban spesifik yang diterima material kemudian diukur diameter tumbukan. Bola baja biasanya dipakai berdiameter 10 mm. Beban ditahan 10 sampai 15 detik, setelah itu diameter yang terbentuk dimaterial diukur diameternya dengan toleransi ± 0.05 mm menggunakan alat magnification portable microscope.

Formula Brinell :

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana :

- P : Beban (N)
- D : Diameter Bola (mm)
- d : Diameter Tumbukan (mm)

b) Rockwell Hardness Test.

Rockwell hardness adalah penggetesan kekerasan material berdasarkan rata-rata penambahan kedalaman beban aplikasi. Kekerasan ini tidak ada satuan atau unit seperti contohnya 60 HRB, dimana beban yang terukur sebesar 60 dengan skala B. Skala di *Rockwell test* adalah skala B dan skala C.

c) Vickers Hardness Test.

Vickers hardness test ini adalah standart untuk mengukur kekerasan metal, vickers menggunakan *pyramid shape diamond*. Hasil tumbukan diukur diagonal dengan menggunakan microscope, bentuk tumbukan pyramid kotak dengan sudut diagonal 136° .

Beban intan yang ditumbukkan ke material dirange beban sampai 1176,8 N (120 Kg.f).

Formula Vickers :

$$VHN = \frac{1.72P}{d1^2}$$

Dimana :

- P : Beban (N)
- d1: Diagonal (mm)

Vickers cocok untuk mengukur kekerasan metal dan metodenya sama dengan Brinell test. Terlampir hasil dari pengukuran Vickers pada hasil pengelasan WPS No. 003-WPS-ASME-

MMF-2010

Hasil Vickers Harness Test

3. Tensile Test (Test Tarik)

Tes tarik dilaksanakan untuk menentukan kekuatan tarik, titik mulur (kekuatan lentur) las, pemanjangan dan pengurangan material las. Cara pengujian sangat simple dengan memberikan beban tarik sampai material tersebut putus dan pada proses material di beri baban tarik awal sampai putus, proses tersebut direcord pada mesin tersebut (hasil record diplot dalam grafik). Dari grafik tersebut dapat dilihat kuat tarik (*yield strength*) dan kemuluran (*elongation*).

Besar beban dan perpanjangan tergantung dari dimensi *test piece*. Beban dan pemuluran material masing – masing mempunyai parameter yaitu *engineering Stress* dan *engineering Strain*. Dengan formula sebagai berikut

Formula *Engineering Stress* :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dimana :

- σ : Tegangan Tarik (N/mm²)
- F : Beban (N)
- A₀ : Ukuran Awal sebelum diberi beban (mm²)

Pada *test piece* no.1 dengan ukuran Tebal (T) = 11.85 mm dan Lebar (W) 19.14 mm, dimana luas area (A) = T x W dan beban maksimum yang didapat pada saat ditarik sebesar 131 kN, maka tegangan tarik (*tensile stress*) material tersebut adalah :

- Dimana : P : 131.000 N
- A : 11.85 mm x 19.14 mm = 226.81 mm²
- Maka :
- $\sigma = 131.000 \text{ N} / 226.81 \text{ mm}^2$
- $= 577.6 \text{ N} / \text{mm}^2$
- $= 577.6 \text{ MPa}$

Gambar Grafik *Tensile Test* No: 1

Pada *test piece* no.2 dengan ukuran Tebal (T) = 11.80 mm dan Lebar (W) 19.15 mm , dimana luas area (A) = T x W dan beban maksimum yang didapat pada saat ditarik sebesar 131 kN , maka tegangan tarik (*tensile stress*) material tersebut adalah :

Dimana :

P : 131.000 N

A : 11.80 mm x 19.15 mm = 225.97 mm²

Maka :

$\sigma = 131.000 \text{ N} / 225.97 \text{ mm}^2$

= 577.6 N/mm²

= 579.7 MPa

Gambar Grafik *Tensile Test* No: 2

Kriteria yang diizinkan atau *Acceptance Criteria* pada uji tarik sesuai code ASME IX Part QW. 153 dan *minimum specification tensile* di QW. 422

1. Diiijinkan juga dengan ketentuan minimum kekuatan tarik tidak kurang dari minimum kekuatan tarik material induk .
2. Minimum kekuatan tarik dari dua material yang berbeda , pada pengelasan antara SA 516 Gr 70 dengan SA 240 TP 316L kekuatan tarik yang paling rendah adalah material SA 516 Gr 70 yaitu sebesar 528.1 Mpa .
3. Jika spesimen putus diarea *base metal* dengan HAZ maka hasil tersebut diterima , dan apabila kurang dari minimum *strength base metal* , maka toleransi yang diijinkan adalah 5% dari minimum *tensile strength base metal* .

Hasil dari pengujian test tarik pada pengelasan diatas , material putus di daerah *base metal* dan dari hasil pengujian test taril 1 dan 2 diatas terhadap pengelasan dapat disimpulkan minimum *tensile strength* dari pengujian test tarik diatas adalah = 577.6 MPa .

4. *Side Bend Test* (Test Tekuk) .

Side bending test (test bengkok) bertujuan untuk melihat tahanan lentur suatu material yang dibengkokkan sampai 180° . Pada bagian luar daerah bengkok yang mulur dapat ditemukan cacat atau kerapuhan material . Kriteria yang diterima (*Acceptance criteria*) diatur di ASME IX QW.163 dimana lasan dan daerah HAZ pada *transfersal/side weld bend* harus masih utuh atau tidak adanya cacat setelah dilakukan uji bengkok . Tidak boleh ada cacat retak atau *crack* pada daerah lasan dan HAZ . Dari hasil pengujian *side bend* terhadap pengelasan WPS No. 003-WPS-ASME-MMF-2010 dapat disimpulkan hasil *side bend test* dapat diterima sesuai dengan code karena tidak ada cacat yang timbul setelah material tersebut di uji bengkok

Hasil pengujian *Side Bend Test*

IV. KESIMPULAN

Hasil pengelasan sesuai dengan persyaratan code / standard, dalam hal ini mengacu pada ASME Section IX QW 420 dan QW 430. Pada pengelasan dua material yang berbeda secara karakteristik dan komposisi kimia, seperti material carbon SA 516 Gr 70 dengan Stainless steel SA 240 316L, yang harus dijadikan acuan dalam membuat procedure pengelasan tersebut sebagai berikut :

1. Kelompok atau penggolongan material induk (*base metal*) atau dalam istilahnya P Number yang mengacu pada ASME Section IX QW 420 – Carbon Steel SA 516 Gr 70 digolongkan dalam P.No. 1 dan Group No. 2 sedangkan Stainless steel SA 240 316 L digolongkan dalam P.No. 8 dan Group No. 1 .
2. *Welding Squence* dan bentuk sambungan (bevel) dari pengelasan beda material antara Carbon Steel SA 516 Gr 70 dengan SA240 316L harus sesuai dengan *Procedure Qualificatio Record* (PQR)
3. Melakukan inspeksi & pengujian tanpa merusak atau *Non Destructive Test* (NDT) dan test merusak atau *Destructive Test* (DT).

Pengujian tanpa merusak (NDT)

- a. Dye Penetran Test .
- b. Magnetic Particle Test .
- c. Ultrasonis Test .
- d. Radiography Test .

Pengujian merusak (DT) / Mechanical Test

- a. Macro Test

Hasil dari pengujian Macro Test sebagai berikut :

- Pengisian lasan sempurna , tidak terlihat adanya slag .
- Penetrasi pengelasan sempurna .
- *Undercut* tidak ada .
- Retak Lasan tidak ada .
- Gas terperangkap tidak ada .

- b. Hardness Test

Hasil dari pengujian Hardness Test sebagai berikut :

- Base metal SA 516 70 Gr 70 rata – rata = 158 HV dan base metal SA 240 316L rata – rata = 192.6 HV.
- HAZ material SA 516 70 Gr 70 rata – rata = 212.3 HV dan base metal SA 240 316L rata – rata = 192.6 HV.
- Pada lasan base metal SA 516 70 Gr 70 dengan base metal SA 240 316L rata – rata = 192 HV .

- c. *Tension Test* . (Tes Tarik)

Hasil dari pengujian tes tarik (*Tension Test*) diterima / *accepted* dengan acuan sebagai berikut : pengujian test tarik pada pengelasan material dengan WPS No. 003-WPS-ASME-MMF-2010 material putus di daerah *base metal* (SA 516 Gr 70) dan minimum *tensile strength* dari pengujian test tarik diatas adalah = 577.6 MPa sedangkan minimum

tensile strength dari base metal SA 516 Gr 70 adalah = 528.1 Mpa .

d. Tes bengkok (*Side Bend test*)

Hasil dari pengujian tes bengkok diterima dengan pertimbangan karena visual pada area lasan yang dibengkok-kan tidak terdapat cacat lasan seperti retak (*crack*) atau laminasi .

Dari hasil pengujian diatas didapat data – data sebagai berikut :

1. Struktur Makro :
 - a. Fusion : Baik
 - b. Penetration : Baik
 - c. Udara terjebak : Tidak ada
 - d. Undercut : Tidak ada
 - e. Crack : Tidak ada
 - f. Slag : Tidak ada
- 2 Hardness Test :
 - a. Base Metal SA 516 Gr 70 rata – rata 158 HV dan SUS 316L rata – rata 177 HV.
 - b. HAZ Material SA 516 Gr 70 rata – rata 212 HV dan SUS 316L rata – rata 192 HV.

c. Weld Metal SA 516 Gr 70 dengan SUS 316L rata – rata 192 HV.

3. Tensile Test diterima karena tensile stress yang terkecil adalah 579 N/mm².
4. Bend Test diterima karena visual pada area bending tidak ada indikasi cacat material seperti crack atau patahan .

DAFTAR PUSTAKA

American Society Mechanical Engineering Section II Part A , *Ferrous Material Specification , Edition 2004* .

American Society Mechanical Engineering Section II Part C , *Specification for Welding Rod Electrodes , and Filler Metal , Edition 2004*.

American Society Mechanical Engineering VIII Division 1, *Rules for Construction of Pressure Vessels , Edition 2004*.

American Society Mechanical Engineering Section IX, *Qualifications Standard for welding and Barzing Procedures, Welders, Brazers , and Welding Brazing Operators , Edition 2004*.

Peningkatan Kinerja Melalui Grafik *Yamazumi* pada Suatu Industri Komponen Otomotif

Djoko Agustono

*Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian - LIPI
Gedung 410 Kawasan Puspiptek, Setu, Tangerang Selatan – 15314.
E-mail : djokoagustono@yahoo.co.uk*

Abstrak-- Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh pemanfaatan grafik Yamazumi terhadap kinerja perorangan/stasiun-stasiun kerja pada suatu industri. Industri yang dijadikan obyek penelitian adalah sebuah industri yang bergerak di bidang komponen otomotif. Guna mengantisipasi order dari salah satu pelanggan potensial, telah dilakukan uji coba produksi terhadap barang yang akan dipesan tersebut. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mengamati cycle time setiap proses untuk setiap workstation yang diperkirakan akan menangani pembuatan part tersebut. Langkah berikutnya adalah menghitung takt time per part dan takt time per lini, dengan menggunakan data kebutuhan pelanggan tersebut dan efisiensi 95% serta performance plan sebesar 97%. Dengan menggunakan instrumen grafik Yamazumi, maka dari hasil uji coba ternyata diperoleh hasil performance plan sebesar 71,2%. Hal ini berarti performance plan perlu ditingkatkan. Untuk itu dilakukan langkah-langkah analisis lebih jauh terhadap proses produksi. Hasil analisis permasalahan menyatakan perlunya melakukan perubahan proses produksi serta mengurangi jumlah workstation yang digunakan. Setelah melaksanakan perbaikan, maka dimulai lagi ujicoba produksi. Dengan menggunakan teknik Yamazumi chart, maka diperoleh hasil perhitungan performance plan sebesar 98,91%, yang berarti memenuhi syarat untuk melaksanakan produksi part yang dipesan oleh pelanggan. Salah satu kesimpulan dari penelitian ini adalah, dengan menggunakan Yamazumi chart maka suatu industri dapat meningkatkan kinerjanya.

Kata Kunci : Yamazumi chart, peningkatan kinerja, industri komponen otomotif.

I. PENDAHULUAN

PT "X" merupakan salah satu industri yang bergerak dalam produksi beberapa komponen otomotif. Perusahaan tersebut berlokasi di daerah Tangerang.

PT "X" diperkirakan akan menerima order pembuatan suatu komponen otomotif dalam jumlah yang relatif besar. Guna mengantisipasi masalah yang akan timbul sehubungan dengan produksi komponen

tersebut, maka manajemen memutuskan untuk membentuk satu Tim Khusus yang bertugas untuk melakukan langkah-langkah persiapan dengan baik.

Salah satu hal yang dirasakan akan menghambat kesuksesan perusahaan dalam memenuhi order tersebut di atas adalah, tingkat kinerja di beberapa stasiun kerja berada di bawah tingkat kinerja minimum yang dibutuhkan. Untuk meyakinkan hal tersebut, sekaligus mencari pemecahan masalah, maka Tim melakukan uji coba pembuatan produk, sekaligus melakukan perhitungan tingkat kinerja yang dibutuhkan.

Sebagai instrumen pengukur kinerja Tim sepakat untuk menggunakan "Yamazumi Chart". Yamazumi chart merupakan instrumen yang baru pertamakali digunakan di perusahaan tersebut.

Penelitian ini yang dilakukan selama dua bulan, bertujuan untuk mengetahui apakah Yamazumi chart dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan kinerja pada industri komponen otomotif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Kinerja

Pengertian kinerja bervariasi, hal itu tampak dari berbagai definisi yang dikemukakan para ahli yang dapat ditemukan di buku-buku manajemen, ataupun di website. Sebagai contoh maka berikut dicuplik beberapa pengertian kinerja:

Menurut Sulistiyani [1] kinerja seseorang merupakan kombinasi dari kemampuan, usaha, dan kesempatan yang dapat dinilai dari hasil kerjanya. Sedangkan menurut Bernardin dan Russel yang dicuplik dari sumber yang sama menyatakan bahwa kinerja merupakan catatan outcome yang dihasilkan dari fungsi pegawai tertentu atau kegiatan yang dilakukan selama periode waktu tertentu.

Kinerja sebagai hasil-hasil fungsi pekerjaan/kegiatan seseorang atau kelompok dalam suatu organisasi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor untuk mencapai tujuan organisasi dalam periode waktu tertentu. [2]

Menurut Rivai dan Basri [3] pengertian kinerja adalah kesediaan seseorang atau kelompok orang untuk melakukan sesuatu kegiatan dan menyempurnakannya sesuai dengan tanggung jawab dengan hasil seperti yang diharapkan.

Menurut Bambang Guritno dan Waridin [4] kinerja merupakan perbandingan hasil kerja yang

dicapai oleh karyawan dengan standar yang telah ditentukan. Sedangkan menurut Menurut Hakim [5] kinerja merupakan hasil kerja yang dicapai oleh individu yang disesuaikan dengan peran atau tugas individu tersebut dalam suatu perusahaan pada suatu periode waktu tertentu, yang dihubungkan dengan suatu ukuran nilai atau standar tertentu dari perusahaan dimana individu tersebut bekerja.

Definisi kinerja yang lain adalah, kinerja merupakan perbandingan hasil kerja yang dicapai oleh pegawai dengan standar yang telah ditentukan. [6]

Pengertian Yamazumi Chart

Yamazumi chart (grafik Yamazumi) adalah sebuah grafik batang ditumpuk yang menunjukkan keseimbangan beban kerja waktu siklus antara sejumlah operator biasanya di jalur perakitan atau sel kerja. Grafik Yamazumi dapat berupa untuk satu produk atau lini produk perakitan. [7]

Kata Yamazumi berasal dari Jepang, yang secara harfiah berarti menumpuk.

Grafik Yamazumi adalah grafik yang menggambarkan keseimbangan antara waktu baku masing-masing operator (*cycle time*) dengan waktu standar yang ditetapkan perusahaan (*takt time*).

Definisi lain dari grafik Yamazumi adalah: A modification of *yamadzumi*, a Japanese term meaning 'huge mound or heap'. A 'Yamazumi board' is a takt/cycle chart, used to balance a process to takt time. The board features vertical bars of varying heights (representing relative time to complete a task), which can be moved from operation to operation in order to balance the process. [8]

Penggambaran grafik Yamazumi adalah dengan mengkombinasikan grafik balok dengan grafik garis. Dimana grafik balok menandakan waktu baku masing-masing operator (*cycle time*) dan grafik garis menandakan waktu standar yang ditetapkan perusahaan (*takt time*).

Kelebihannya dibandingkan dengan grafik yang lain adalah dapat membandingkan antara *cycle time* dan *takt time* sehingga dapat diketahui operator memiliki kelebihan atau kekurangan waktu dalam bekerja dan dapat mengoptimalkannya.

III. PENERAPAN YAMAZUMI CHART PADA SUATU LINI PRODUKSI

Perencanaan Langkah-langkah Penerapan

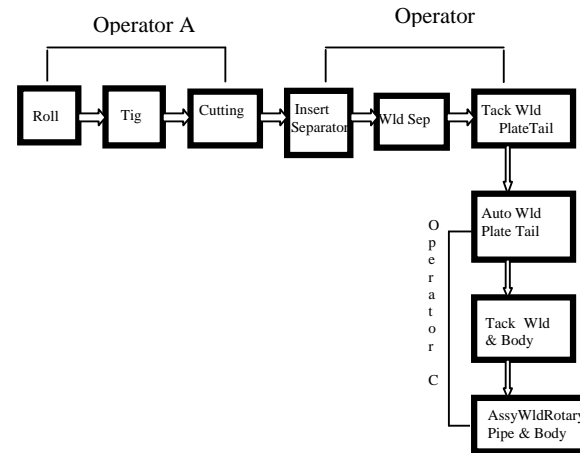
Langkah-langkah dalam penerapan grafik Yamazumi pada suatu lini produksi yang dijadikan proyek percontohan adalah sebagai berikut:

1. Penggambaran proses produksi sebelum perbaikan.
2. Pengamatan lapangan (pengukuran) *cycle time* setiap proses dari setiap operator.
3. Analisis permintaan pelanggan potensial.
4. Pembuatan grafik Yamazumi sebelum perbaikan.
5. Analisis kelemahan proses produksi.
6. Penggambaran proses produksi setelah perbaikan
7. Ulangi pengamatan lapangan (pengukuran) *cycle time* setiap proses dan setiap operator.

8. Perekaman dalam grafik Yamazumi
9. Evaluasi hasil
10. Membuat kesimpulan hasil akhir.

Pelaksanaan Rencana

1. Penggambaran proses produksi sebelum perbaikan



Gambar 1: Urutan Proses Produksi Suatu Komponen Otomotif Sebelum Perbaikan

2. Pengamatan lapangan (pengukuran) *cycle time* setiap proses dari setiap operator:

Tabel 1: Pengamatan Lapangan Waktu Siklus Proses

Operator	Proses	Cycle Time (Ct)	Ct/Operator
A	Roll	15 detik	42 detik
	Tig Argon	17 detik	
	Cutting	10 detik	
B	Insert Separator	12 detik	53 detik
	Weld Separator	21 detik	
	Tack Wld Plate tail	20 detik	
C	Auto Weld Plate Tail	25 detik	54 detik
	Tack Weld Pipe & Body	12 detik	
	Weld Assy Rotary Pipe & Body	17 detik	

Cycle Time seluruh proses = 249 detik

3. Analisis Permintaan Pelanggan Potensial
 Kebutuhan pelanggan adalah sebesar: 6500 pcs /bln, Dalam satu bulan terdapat 21 hari kerja (1 shift)
 Kapasitas produksi untuk memenuhi order pelanggan : 350 / shift,
 Waktu kerja: 480 menit/shift, Efisiensi : 95%., dan Performance plan: 97%

Takt Time Part

$$= \frac{\text{Waktu Operasi} \times \text{Efisiensi} \times \text{Performance}}{\text{Volume kebutuhan} / \text{hari}}$$

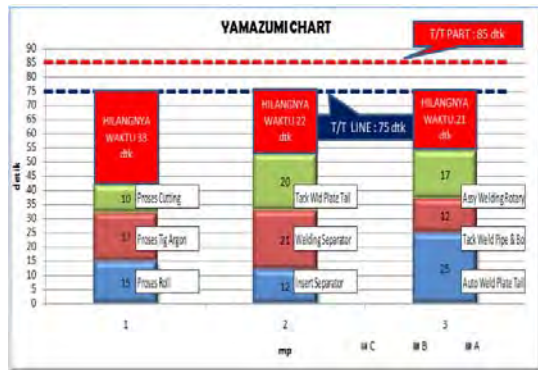
Takt Time Part = (480*0.95*0.97*60) / (6500 / 21)

$$= 85.61 \text{ detik / pcs}$$

$$\text{Takt Time Lini} = \frac{\text{Waktu Operasi} \times \text{Efisiensi} \times \text{Performance}}{\text{Kapasitas Produksi}}$$

$$= \frac{(480 \times 0.95 \times 0.97 \times 60)}{(350)} = 75.83 \text{ detik / pcs}$$

4. Pembuatan grafik Yamazumi sebelum perbaikan



Gambar 2: Grafik Yamazumi Sebelum Perbaikan

Kesimpulan dari grafik Yamazumi tersebut di atas, T/T= 85.61 detik dan T/T line = 75.83 detik.

Bila dilihat di masing-masing proses, yaitu balok merah dari:

- Proses 1=33 detik,
- Proses 2= 22 detik,dan
- Proses 3= 21 detik.

Performance line, dihitung berdasarkan cycle time proses terlama yaitu pada proses ke 3 sebesar 54 detik.

Dengan demikian Performance Plan dari proses yang ada adalah sebesar:

$$PF = 54 : T/T \text{ line } 75.83 \times 100 = 71,2 \%$$

Jadi Performance Plan hanya 71,2 %

5. Analisis kelemahan proses produksi.

Dari grafik Yamazumi tampak dengan jelas bahwa beban kerja tiap operator berbeda. Operator A membutuhkan waktu = 42 detik, dan operator B membutuhkan waktu = 53 detik, sedang operator C membutuhkan waktu = 54 detik.

Selain itu tampak dengan jelas pula bahwa waktu luang setiap operator juga berbeda. Operator A = 33 detik, operator B = 22 detik, operator C = 21 detik. Suasana semacam ini bukanlah suasana yang baik. Untuk itu perlu dicarikan jalan ke luar agar setiap tenaga kerja memiliki beban dan waktu luang yang hampir sama.

Apabila waktu luang yang ada pada operator A dan B digabungkan (33 + 22 = 55 detik), masih memungkinkan untuk mengerjakan tugas yang diberikan pada Operator C yaitu sebesar 54 detik.

Dengan demikian untuk memecahkan masalah penyeimbangan beban kerja, maka bisa dilakukan pembagian tugas yang baru pada masing-masing operator. Dengan memperhatikan ct tiap-tiap proses, maka secara sederhana dapat dilakukan pembagian kerja sebagai berikut:

Operator A mengerjakan proses-proses berikut:

- Roll
- Tig argon
- Cutting
- Insert separator
- Weld separator.

Operator B mengerjakan proses-proses:

- Tack Weld Plate Tail
- Auto Weld Plate Tail
- Tack Weld Pipe & Body
- Weld Assy Rotary Pipe and Body.

Dengan demikian pada pembagian proses yang baru hanya membutuhkan dua orang operator.

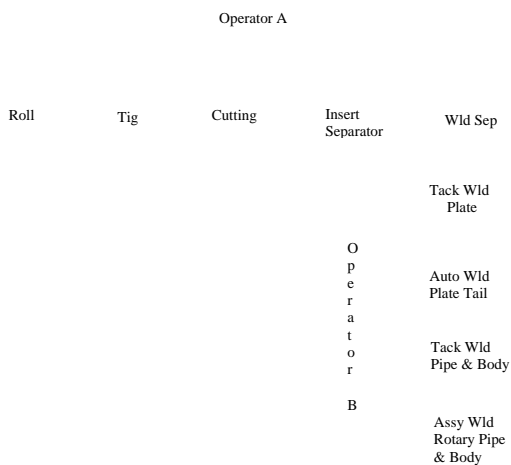
Dalam prakteknya Operator A pada proses yang telah diperbaiki belum tentu sama dengan Operator A dari proses sebelumnya, tetapi mungkin orang yang tadinyadisebut operator B atau C. Begitu juga dengan operator B pada pembagian proses yang baru.

Penetapan operator A atau B dilakukan berdasarkan pemilihan yang teliti menyangkut berbagai aspek seperti keterampilan, sifat-sifat, dan sebagainya.

6. Penggambaran proses produksi setelah perbaikan

Pelaksanaan kegiatan berdasarkan pembagian tugas operator, dapat digambarkan sebagaimana gambar 6.

7. Ulangi pengamatan lapangan (pengukuran) cycle time setiap proses dari setiap operator.



Gambar 3: Operator Pelaksana Setiap Proses Setelah Perbaikan

Tabel 2: Waktu Siklus Setiap Operator Setelah Perbaikan

Operator	Proses	Cycle Time (Ct)	Ct/Operator
A	Roll	15 detik	75 detik
	Tig Argon	17 detik	
	Cutting	10 detik	
	Insert Separator	12 detik	
	Weld separator	21 detik	
B	Tack Wld Plate tail	20 detik	74 detik
	Auto Weld Plate Tail	25 detik	
	Tack Weld Pipe & Body	12 detik	
	Weld Assy Rotary Pipe & Body	17 detik	

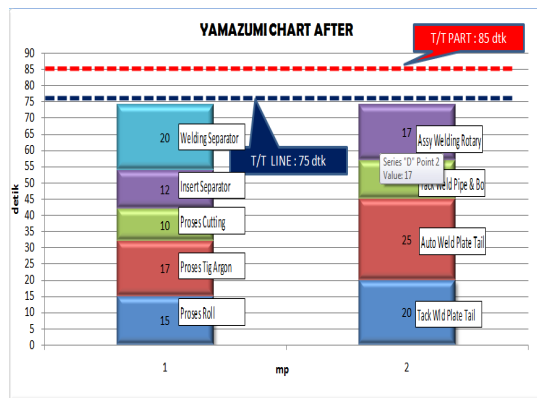
8. Perekaman dalam grafik Yamazumi

Hasil-hasil pengamatan pelaksanaan kegiatan yang baru kemudian direkam dalam grafik Yamazumi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.

Dari grafik tersebut di atas, dapat dibaca di masing –masing proses yaitu:

- a. Balokmerah proses 1 = 0 detik dan proses 2 = 1 detik, jadi waktu yang hilanghanya 1 detik,
- b. Dari 3 operator sebelumnya, setelah beban kerja dibalans, kini hanya dibutuhkan 2 orang operator.
- c. Perhitungan Performance Line yang baru adalah:

$$PF = Ct/operator\ terlama, \text{ dibagi Takt Time Lini} \\ = 75 : 75.83 \times 100\% \\ = 98,91\%$$



Gambar 4: Grafik Yamazumi Setelah Perbaikan

9. Evaluasi hasil

Apabila dibandingkan hasil-hasil sebelum dan sesudah perbaikan, maka akan hasil sebagaimana dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3: Hasil Perbaikan

No	Sebelum	Sesudah	Hasil
	Beban Kerja: Operator A: 42 detik Operator B: 53 detik Operator C: 54 detik	Beban Kerja: Operator A: 74 detik Operator B: 75 detik	Beban kerja operator relatif seimbang
	Operator yang dibutuhkan 3 orang	Operator yang dibutuhkan 2 orang	Jumlah operator yang dibutuhkan berkurang .
			Kinerja meningkat dari 71,2% menjadi 98,91%

IV. KESIMPULAN

Dari uraian singkat di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- 1. Dengan memanfaatkan grafik Yamazumi dapat dilakukan pembebanan kerja yang seimbang pada operator/stasiun kerja.
- 2. Sangat mungkin baik jumlah personil/operator dapat dikurangi

Dengan demikian sebagai kesimpulan utama dari penelitian ini adalah:“Metode Grafik Yamazumi dapat digunakan secara efektif dalam meningkatkan kinerja operator/stasiun kerja di suatu industri komponen otomotif”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulistiyani, A.T. dan Rosidah. (2003). *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Graha Ilmu: Yogyakarta
- [2] Tika, P. (2006). *Budaya Organisasi Dan Peningkatan Kinerja Perusahaan*. PT Bumi Aksara. Jakarta.
- [3] Rivai, V. dan Basri. (2005). *Performance Appraisal: Sistem Yang Tepat Untuk Menilai Kinerja Karyawan Dan Meningkatkan Daya Saing Perusahaan*. Rajagrafindo Persada. Jakarta.
- [4] Guritno, B. dan Waridin. (2005). Pengaruh Persepsi Karyawan Mengenai Perilaku Kepemimpinan, Kepuasan Kerja Dan Motivasi Terhadap Kinerja. *JRBI, Vol 1. No 1. Hal: 63-74*.
- [5] Hakim, A., (2006). Analisis Pengaruh Motivasi, Komitmen Organisasi dan Iklim Organisasi Terhadap Kinerja Pegawai Pada Dinas Perhubungan dan Telekomunikasi Provinsi Jawa Tengah. *JRBI, Vol 2. No. 2*.

- [6] Masrukhin dan Waridin. (2004). Pengaruh Motivasi Kerja, Kepuasan Kerja, Budaya Organisasi dan Kepemimpinan Terhadap Kinerja Pegawai, *EKOBIS.Vol 7. No. 2*.
- [7] <http://www.acsco.com/Yamazumi.htm>, diunduh pada tanggal 21 Maret 2012.
- [8] <http://www.nwlean.net/leandefs.htm>, diunduh pada tanggal 22 Maret 2012.

Analisis Cacat untuk Peningkatan Kualitas dan Produktivitas pada Suatu Proses Produksi Tread Ban

Djoko Agustono

*Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian - LIPI
Gedung 410 Kawasan Puspiptek, Setu, Tangerang Selatan – 15314.
E-mail : djokoagustono@yahoo.co.uk*

Abstrak -- Kualitas suatu produk merupakan salah satu faktor dalam meningkatkan daya saing produk tersebut. Dalam melakukan perbaikan kualitas secara terus menerus dan pencegahan kerusakan yang terjadi, diperlukan penerapan sistem pengendalian mutu.

Pada proses pembuatan tread ban, dengan menggunakan mesin ekstruder, dapat terjadi kerusakan atau cacat yang menyebabkan produktivitas menurun. Dengan menggunakan data produksi bulan Agustus sampai November beberapa tahun yang lalu, telah dilakukan analisis terhadap pembuatan tread ban pada PT. X.

Sebagai alat untuk analisis, digunakan diagram pareto dan diagram sebab – akibat. Salah satu hasil penelitian menunjukkan bahwa cacat tebal shoulder sering terjadi karena disebabkan oleh faktor-faktor: lingkungan, material, mesin, metoda kerja, serta operator.

Kata Kunci: sistem pengendalian mutu, tread ban, cacat.

I. PENDAHULUAN

Untuk dapat tetap mempertahankan atau meningkatkan daya saing, salah satu caranya adalah produsen harus meningkatkan produktivitasnya. Menurut menurut International Labor Organization (ILO) Produktivitas adalah perbandingan antara elemen-elemen produksi dengan yang dihasilkan merupakan ukuran produktivitas. Elemen - elemen produksi tersebut berupa: tanah, kapital, buruh dan organisasi. [1] . Sedangkan menurut Peter F. Drucker: “Produktivitas adalah keseimbangan antara seluruh faktor-faktor produksi yang memberikan keluaran yang lebih banyak melalui penggunaan sumber daya yang lebih sedikit”

Produktivitas dapat ditingkatkan dengan berbagai cara: menurunkan ongkos/biaya, meningkatkan efisiensi material yang digunakan, atau meningkatkan kualitas produk. Mengurangi jumlah produk cacat, juga termasuk dalam peningkatan produktivitas.

Biaya kualitas pada umumnya dibagi dalam empat kategori: biaya appraisal, biaya pencegahan,

biaya kegagalan internal, dan biaya kegagalan eksternal. [2]

Analisis efektif cacat kualitas sangat penting untuk mencapai kesimpulan yang tepat yang berhubungan dengan bagaimana menangani cacat bila terjadi cacat pada produk atau bagaimana mencegah terjadinya cacat. Kecenderungan dalam analisis cacat adalah dengan menggunakan lebih dari satu pendekatan

Kepuasan konsumen merupakan salah satu hal yang akhir-akhir ini mendapatkan perhatian khusus dari para pengusaha/produsen. Hal ini berkaitan dengan persaingan di dunia industri yang semakin ketat dalam era pasar global. Dalam mempertahankan citranya dan mendapat dukungan dari konsumen, perusahaan harus dapat meningkatkan mutu produk yang dihasilkan sesuai dengan tuntutan dari konsumen.

PT. X adalah sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pembuatan ban, salah satu proses produksinya yaitu ban dengan segala macam tipe untuk industri otomotif, juga tidak luput dari hal tersebut di atas. Perusahaan dengan berbagai cara berusaha mempertahankan, bahkan bila mungkin meningkatkan, pangsa pasarnya. Untuk itu strategi yang digunakan adalah dengan menjaga agar kualitas produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Kegiatan menjaga kualitas produk bukanlah suatu hal yang mudah. Banyak sekali masalah yang dihadapi oleh perusahaan tersebut. Salah satu masalah yang dihadapi adalah bagaimana melaksanakan pengawasan terhadap jalannya proses produksi, agar dapat mencapai kualitas produk yang diharapkan dengan tingkat kerusakan sekecil mungkin dan mencapai target produksi yang maksimal.

Salah satu bagian dari proses produksi ban adalah proses produksi pembuatan tread ban. Permasalahan yang akan dibahas adalah penganalisaan cacat produksi pada pembuatan Tread ban dengan menggunakan sistem pengendalian mutu yang baik.

Tujuan penelitian adalah untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan yang timbul pada waktu proses pembuatan tread ban, serta membuat usulan dan langkah-langkah perbaikan untuk mengurangi kerusakan tersebut.

Analisis dilakukan terhadap data produksi bulan Agustus – Oktober. Sedangkan alat pengendali yang dipergunakan adalah peta kontrol, diagram pareto dan diagram sebab akibat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Mutu.

Seperti telah diketahui bahwa mutu dipengaruhi oleh faktor-faktor yang menentukan bahwa suatu barang dapat memenuhi tujuan pembuatannya. Di bawah ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi mutu antara lain:

- Fungsi suatu barang.
- Wujud luar.
- Biaya barang tersebut.

2.2 SPC (Statistical Process Control).

SPC (*Statistical Process Control*) merupakan bagian dari SQC (*Statistical Quality Control*) yang merupakan langkah awal yang dilakukan bangsa Amerika untuk memperbaiki kualitas dari produk yang dihasilkan. Lalu metode ini digunakan pula oleh negara-negara lain, SPC merupakan suatu pengolahan kontrol kualitas dengan metode statistic. [3]

Adapun rumus yang sering digunakan pada masalah kualitas adalah:

$$QI = PM + ST + PS$$

Dimana : QI: Quality Improvement

PM: Participate Management

ST: Statistical Tool

PS: Problem Solving

2.3 Analisis Kemampuan Proses

Analisis kemampuan proses merupakan suatu studi guna menaksir kemampuan proses dalam bentuk distribusi probabilitas yang mempunyai bentuk, rata-rata (*mean*), dan penyebaran (*standar deviasi*). Analisis kemampuan proses dapat dilakukan tanpa mengingat spesifikasi pada karakteristik mutu, tetapi dapat kita nyatakan sebagai persentase yang diluar spesifikasi. Manfaat analisis kemampuan proses antara lain :

- a. Kualitas dapat dipertahankan atau bahkan ditingkatkan.
- b. Memperkirakan seberapa baik proses akan memenuhi toleransi.
- c. Mengurangi variabilitas dalam proses produksi.
- d. Merencanakan urutan proses produksi.

2.4 Alat-alat Pengendali Mutu.

Ada sejumlah alat dasar yang dibutuhkan untuk melakukan analisa pengendalian mutu (*Quality Control*), di antaranya alat pengendalian mutu tersebut adalah :

- ❖ Peta kontrol (*Control Chart*)
- ❖ Diagram Pareto
- ❖ Diagram Sebab Akibat (*Fish Bone*)

Hal terpenting dalam pembuatan peta kontrol adalah kemampuan membaca grafik dari peta kontrol tersebut. Jadi walaupun sampel berada dalam daerah

diterima, tidak otomatis proses produksi dilanjutkan. Akan tetapi, amati perilakunya agar variasi produk yang dihasilkan berada didaerah yang diterima (*accepted area*) dan berlaku normal (*normal behavior*).

2.5 Peta Kontrol Untuk Data Atribut.

Data atribut merupakan data kualitatif yang dapat dihitung untuk pencatatan dan analisis. Contohnya : banyaknya botol yang pecah (cacat) dalam produksi.

Dalam analisis ini yang digunakan adalah peta kontrol p yang digunakan untuk data atribut. Model peta kontrol p

$$\text{Batas kontrol atas (UCL)} = \bar{p} + 2 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}}$$

$$\text{Batas Tengah (CL)} = \bar{p}$$

$$\text{Batas kontrol bawah (LCL)} = \bar{p} - 2 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}}$$

Dimana : \bar{p} = Rata-rata bagian tak sesuai

n = Jumlah produksi

2.6 Diagram Pareto.

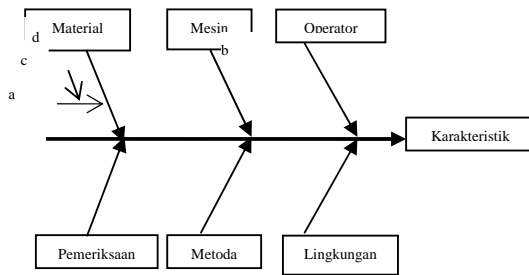
Diagram Pareto adalah *serangkaian seri diagram batang yang menggambarkan frekuensi atau pengaruh dari proses/keadaan/masalah*. Diagram diatur mulai dari yang paling tinggi sampai paling rendah dari kiri ke kanan. Diagram batang bagian kiri relatif lebih penting daripada sebelah kanannya. Nama diagram Pareto diambil dari prinsip Pareto, yang mengatakan bahwa 80% gangguan berasal dari 20% masalah yang ada. [4]

2.7 Diagram Sebab Akibat.

Diagram sebab akibat juga dikenal sebagai diagram tulang ikan (*fishbone*) ataupun diagram Ishikawa [5], yang dapat memperlihatkan karakteristik mutu (sebab) dan dapat menyebabkan keragaman ataupun keabnormalan. Latar belakang timbulnya diagram sebab akibat sebenarnya adalah disebabkan sulitnya mengontrol mutu ataupun proses karena terlalu banyak faktor penyebab yang saling berkaitan secara kompleks.

Di bawah ini gambar diagram sebab akibat dan manfaat diagram sebab akibat yang dapat dipergunakan untuk hal-hal berikut :

1. Mengkategorikan berbagai sebab potensial dari suatu masalah atau pokok persoalan dengan cara yang rapih.
2. Menganalisa apa yang sesungguhnya terjadi dalam suatu proses.
3. Mengajarkan kepada tim atau individu tentang proses serta prosedur saat ini atau yang baru.



Gambar 1. Diagram Sebab Akibat

Dalam diagram sebab akibat (tulangnya ikan), Garis a disebut garis tulang punggung (*backbone*) sedang garis b disebut garis tulang besar (*bigbone*), garis c sebagai tulang ukuran sedang (*medium size bone*), serta d sebagai tulang kecil atau duri ikan.

2.8 Konstruksi Ban.

Ban memiliki konstruksi yang terdiri dari lapisan-lapisan yang saling tumpang tindih. Setiap lapisan mempunyai peran dan kegunaan yang tidak sama, tetapi semuanya terpadu menciptakan kekuatan ban. Sejumlah lapisan penguat tersebut terdiri atas jalinan benang, lapisan karet dan kawat. Ban terbagi dalam tiga macam yaitu: ban radial, ban bias, ban belted.

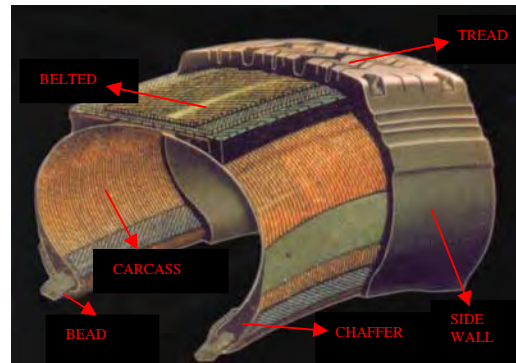
Corak, ukuran, dan jenis ban didesain sejak awal oleh pabrik dengan kegunaan yang berbeda-beda. Dengan demikian diperlukan parameter dalam menentukan ukuran sebuah ban yang tepat dan proposional, berikut ini beberapa parameter yang diperlukan untuk menentukan akurasi ukuran sebuah ban adalah :

1. *Section height*
2. *Section width*
3. *Overall width*
4. *Overall diameter*



Gambar 2. Penampang Iris Ban

Susunan ply yang ditempatkan antara tread dan carcass. Berfungsi memperkuat daerah tread agar keras dan rata ketika menyentuh jalan dan meredam getaran.



Gambar 3. Bagian Konstruksi Ban Radial

Tread adalah bagian telapak ban yang berfungsi untuk melindungi ban dari benturan, tusukan obyek dari luar yang dapat merusak ban. Tread dibuat banyak pola yang disebut Pattern. [6]

III. PENGUMPULAN DATA

3.1 Kerusakan-kerusakan Pada Proses Extruder.

Kerusakan-kerusakan yang sering terjadi pada saat pengoperasian proses extruder berlangsung adalah sebagai berikut :

- a. Cacat pada lebar total.
- b. Tidak terbentuknya lapisan STC (*Splice Tread Cement*).
- c. Tread terlalu panjang atau pendek.
- d. Tebal shoulder tidak sama.
- e. Tidak terlihatnya warna penandaan Tread.
- f. Berat Tread lebih atau kurang.
- g. Cacat pada tebal garis tengah.

3.2 Data Pemeriksaan Tread Ban.

Data-data yang digunakan adalah data-data yang diperoleh pada saat proses produksi Tread ban selama tiga bulan yaitu bulan Agustus – Oktober. Tabel 3.1 merupakan salah satu contoh data yang diperoleh.

Tabel 3.1 Data Pemeriksaan Tread Ban Pada bulan Agustus

No. Pengamatan (minggu)	Produksi (pcs) n	Jumlah Kerusakan pn	Bagian tak sesuai p%
1	3374	32	0.948
2	3614	45	1.245
3	3818	52	1.361
4	3584	37	1.032
Jumlah	14390	166	

3.5. Data Pemeriksaan Untuk Spesifikasi Kerusakan.

Data pemeriksaan untuk spesifikasi kerusakan Tread selama tiga bulan telah diperoleh, sebagai contoh diperlihatkan pada table 3.2

Tabel 3.2 Data Pemeriksaan Untuk Spesifikasi Kerusakan bulan Agustus

No.	Tread panjang	Tebal Shoulder tidak sama	Berat kurang	Garis tengah cacat	Tak ada lapisan STC
1	3	15	2	10	2
2	2	21	7	14	1
3	6	30	1	12	3
4	2	28	5	2	1
Jml	13	94	15	38	7

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengendalian Mutu Proses Pembuatan Tread Pada Mesin Extruder.

Pengendalian mutu pada proses pembuatan Tread dilakukan dengan cara :

1. Pemeriksaan oleh operator.

Setiap kali proses operator diwajibkan memeriksa hasil produksi yang dihasilkan, apabila ditemukan produk yang tidak sesuai dengan standar, operator wajib mencatat jumlah dan jenis kerusakan yang terjadi, bila ditemukan diluar spesifikasi yang ditetapkan maka operator wajib melaporkan kepada foreman untuk diambil keputusan apakah produk tersebut diterima atau ditolak.

2. Pemeriksaan oleh foreman.

Foreman bertugas mengawasi pelaksanaan metoda kerja serta membantu mengatasi hambatan yang muncul dalam proses produksi.

3. Pemeriksaan oleh petugas QC (*Quality Control*).

Setiap harinya petugas quality control memeriksa hasil produksi secara acak (random), pemeriksaan dilaksanakan dalam empat kali atau empat periode setiap shiftnya.

4.2 Penggolongan Cacat Yang Terjadi Pada Proses Pembuatan Tread Pada Mesin Extruder.

Pada proses pembuatan Tread terdapat bermacam-macam cacat yang dapat dilihat secara langsung tanpa alat bantu khusus. Proses terjadinya cacat pada proses pembuatan Tread dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu :

- Kesalahan mesin.
- Kesalahan manusia.

4.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Proses Pembuatan Tread Ban.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembuatan Tread adalah: material, mesin, operator, metoda kerja, dan lingkungan tempat kerja.

4.3.1 Material.

Material yang digunakan dalam proses pembuatan Tread adalah karet alam/syntetis $\pm 52\%$, carbon black $\pm 26\%$, benang nylon $\pm 9\%$, kawat baja $\pm 3\%$, bahan-bahan kimia $\pm 10\%$. Kandungan karbon sangat mempengaruhi kekuatan pada ban.



Gambar 4. Tread Ban

4.3.2 Mesin.

Mesin yang digunakan pada proses pembuatan Tread adalah mesin Extruder.

4.3.3 Metoda Kerja.

Perusahaan menekankan pada operator untuk melaksakan dengan baik metoda kerja yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

4.3.4 Operator.

Pendidikan seorang operator tamatan sekolah menengah kejuruan, selama tiga bulan pekerja baru diberikan pelatihan dan pengarahan tentang jenis pekerjaannya

4.3.5 Lingkungan.

Lingkungan kerja yang baik akan membantu pekerja berkonsentrasi dalam menghadapi pekerjaannya, dengan begitu produk yang dihasilkan akan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

4.4 Pembuatan Peta Kontrol p Untuk Proses Pembuatan Tread Ban.

Data-data yang digunakan berasal dari tabel 3.1

- Menghitung rata-rata jumlah produksi (n)

$$n = (\sum \text{jumlah produksi}) / (\text{periode pengamatan}) = 3597.5$$

- Menghitung rata-rata bagian tak sesuai (\bar{p})
 $\bar{p} = ((\sum \text{jumlah kerusakan}) / (\sum \text{jumlah produksi})) \times 100\% = 1.15\%$

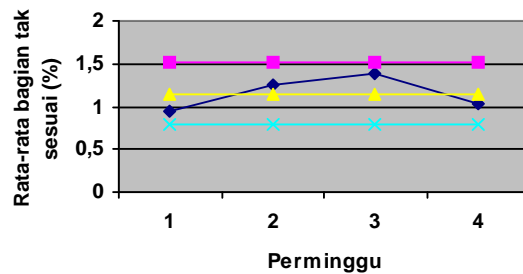
- Menghitung simpangan baku kontrol 2-sigma dengan tingkat kepercayaan 95% ($2S_p$)

$$S_p = 2 \sqrt{\frac{p(100 - p)}{n}} = 0.356$$

- Menghitung batas-batas kontrol
 - Batas kontrol atas (UCL)
 $UCL = \bar{p} + S_p = 1.506$
 - Batas tengah (CL)
 $CL = \bar{p} = 1.15$
 - Batas kontrol bawah (LCL)
 $LCL = \bar{p} - S_p = 0.794$

Tabel 4.1 Perhitungan seluruhnya untuk proses pembuatan Tread selama bulan Agustus

No	Prod (unit)	Jml Rusak pn (unit)	p %	UCL	CL	LCL
1	3374	32	0.948	1.506	1.15	0.794
2	3614	45	1.245	1.506	1.15	0.794
3	3818	52	1.381	1.506	1.15	0.794
4	3584	37	1.032	1.506	1.15	0.794



Gambar 5. Peta Kontrol p Tread Bulan Agustus

Data-data yang digunakan berasal dari tabel 3.2

- Menghitung rata-rata jumlah produksi (\bar{n})
 $\bar{n} = (\sum \text{jumlah produksi}) / (\text{periode pengamatan}) = \frac{\sum n}{4} = 3545$
- Menghitung rata-rata bagian tak sesuai (\bar{p})
 $\bar{p} = ((\sum \text{jumlah kerusakan}) / (\sum \text{jumlah produksi})) \times 100\% = \frac{214}{14180} \times 100\% = 1.51\%$
- Menghitung simpangan baku 2-sigma dengan tingkat kepercayaan 95% ($2S_p$)
 $S_p = 2 \sqrt{\frac{P(100 - P)}{n}} = 0.401$
- Menghitung batas-batas kontrol
 - Batas kontrol atas (UCL) = $\bar{p} + S_p = 1.911$
 - Batas tengah (CL) = $\bar{p} = 1.51$
 - Batas kontrol bawah (LCL) = $\bar{p} - S_p = 1.109$

4.5 Analisa Peta kontrol p.

Jika suatu benda atau beberapa titik dari peta kontrol p terletak diluar batas kontrol atas atau terletak diluar batas kontrol bawah menunjukkan pola yang tidak random, maka dikatakan bahwa peta kontrol tersebut tak terkendali pada tingkat yang ditunjukkan oleh peta tersebut.

4.5.1 Analisa Peta Kontrol p Untuk Tread Ban.

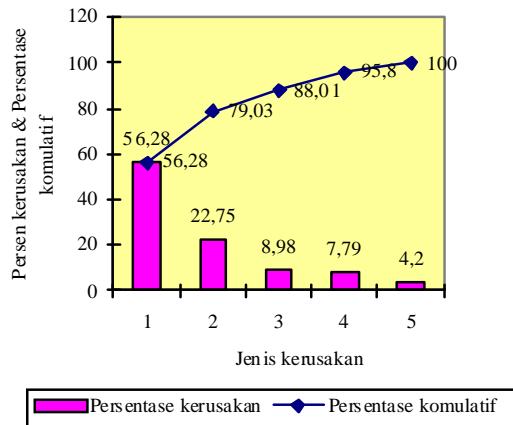
Terdapat beberapa buah titik yang jatuh di luar batas kontrol pada peta kontrol p untuk Tread ban. Titik tersebut terletak pada minggu ke-2, 3 dan 4 bulan September. Jadi dapat disimpulkan bahwa peta kontrol p untuk proses pembuatan Tread ban menunjukkan keadaan yang tak terkendali pada tingkatan 0.858%, 0.962% dan 2.545% pada bulan September, maka hal ini menunjukkan adanya ketidakwajaran yang mempengaruhi jalanya proses. Oleh karena itu perlu ditemukan penyebabnya, kemudian dilakukan perbaikan sehingga diharapkan proses tetap berjalan normal atau terkendali.

Langkah selanjutnya adalah membuat diagram pareto. Sedangkan diagram pareto untuk spesifikasi cacat diperlihatkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Pemeriksaan Untuk Spesifikasi Kerusakan Bulan Agustus

No	p %	Jenis Kerusakan	Banyaknya Kerusakan	Persentase Kerusakan	Persentase Kumulatif
1	56.28	Tebal shoulder tidak sama	94	56.28	56.28
2	22.75	Garis tengah cacat	38	22.75	79.03
3	8.98	Berat kurang	15	8.98	88.01
4	7.79	Tread panjang	13	7.79	95.8
5	4.20	Tak ada lapisan STC	7	4.20	100
		Jumlah	167		

Data persen dan persentase komulatif untuk proses pembuatan Tread ban selama bulan Agustus diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram Pareto Jenis Cacat Tread Ban Bulan Agustus

4.7 Penggunaan Diagram Sebab Akibat Sebagai Alat Bantu Untuk Melacak Penyimpangan Spesifikasi Mutu.

Penggunaan diagram sebab akibat pada proses pembuatan Tread ban dimaksudkan untuk membantu memilih penyebab terjadinya cacat yang terjadi pada waktu proses pembuatan Tread ban dan mengorganisasikan hubungannya.

4.8 Penyebab Terjadinya Cacat pada Tread Ban.

Dari seluruh faktor yang menjadi penyebab terjadinya cacat pada proses pembuatan tread ban, kemudian ditentukan beberapa faktor utama yang dikendalikan.

Faktor-faktor utama tersebut adalah :

1. Penyetingan mesin harus dengan standar atau spesifikasi yang sudah ditetapkan dan harus dilakukan oleh orang yang sudah ahli agar tidak terjadi cacat.
2. Tidak adanya bagian yang secara khusus untuk mengawasi material yang ada didalam gudang, sehingga material kotor dan lembab.
3. Kesalahan operator yang kurang disiplin dan teliti dalam bekerja.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa pengendalian mutu terhadap proses pembuatan Tread ban selama bulan Agustus – Oktober dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Cacat yang sering terjadi pada pembuatan Tread ban pada mesin ekstruder dapat diklasifikasikan sebagai berikut :
 - Tebal shoulder tidak sama rata-rata 61.23%.
 - Garis tengah cacat rata-rata 19.89%.
 - Tread panjang rata-rata 8.16%.
 - Berat kurang rata-rata 6.98%.
 - Tak ada lapisan *splice tread cement* rata-rata 3.72%.
2. Bila kita lihat dari diagram pareto, maka cacat yang paling sering terjadi adalah tebal shoulder

tidak sama sebesar 64.65% pada bulan September 2005 dan perlu segera diambil langkah-langkah perbaikan.

3. Dengan menggunakan peta kontrol p dapat diketahui bahwa proses produksi Tread bulan September tak terkendali pada tingkatan 0.858%, 0.962% dan 2.545% yang ditunjukkan oleh peta kontrol.
4. Apabila dilihat dari diagram sebab akibat cacat tebal shoulder sering terjadi karena disebabkan oleh faktor-faktor :
 - Lingkungan.
 - Material.
 - Mesin.
 - Metoda kerja.
 - Operator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.scribd.com/doc/55223903/4/A-DEFINISI-PRODUKTIVITAS-SECARA-UMUM>, diunduh 20 Maret 2012.
- [2] Evans, James R., William M. Lindsay. (2002). *The Management and Control of Quality*, 5th ed., Ohio: South-Western,
- [3] Ariani, D. W. (2003). *Pengendalian Kualitas Statistik*. Andi, Yogyakarta.
- [4] <http://ilmusdm.wordpress.com/2008/01/23/mengenal-konsep-pareto/>, diunduh 20 Maret 2012.
- [5] <http://www.weha.web.id/2010/05/fishbone-diagram-ishikawa-diagram.html>, diunduh 20 Maret 2012.
- [6] <http://www.scribd.com/doc/59703720/MAKALA-H-RODA-v>, diunduh 20 Maret 2012.

Fluid –Induced Vibration pada Sistem Pemipaan Minimum Flow Boiler Feed Water

Yogie Maradona, Abdul Hamid

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

E-mail: abdulhamid@mercubuana.ac.id

Abstrak -- Dalam makalah ini, penulis menganalisa aliran minimum akibat buka- tutup valve pada jalur pipa air umpan pembangkit uap. Analisis dilakukan dengan analisis sederhana (screening dengan kurva tingkat keseriusan getaran, metoda displacement, screening dengan metoda LOF-MTD.Ltd) dan analisis detail (perangkat lunak analisis hidrolik – AFT IMPULSE, analisis modal dan metoda kuasi statik dengan perangkat lunak CAESAR II.5.1). Data pengukuran getaran dilapangan dilakukan dengan menggunakan analyzer data collector. Hasil analisis menunjukkan bahwa pipa mengalami resonansi pada frekuensi 3,46 Hz; 3,738 Hz; 8,125 Hz; dan 8,75 Hz yang diakibatkan oleh aliran laminar (fluktuasi volume aliran fluida) karena buka-tutup katup valve. Exciting force dari hasil perhitungan analisis sederhana dan hasil analisis hidrolik (detail) telah di masukkan dalam model sistem pemipaan CAESAR II.5.1 dan menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan setelah dimodifikasi dengan penambahan penguat getar berada dalam batas aman.

Kata kunci: fluid induced vibration, penguat getar, resonansi , analyzer data collector.

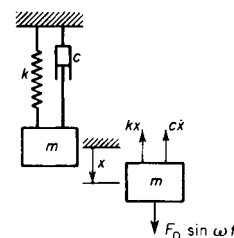
I. PENDAHULUAN

Fenomena vibrasi pada sistem pemipaan biasanya tidak dapat diantisipasi pada tahap desain, terutama vibrasi yang disebabkan oleh perilaku fluida dan kondisi operasi. Vibrasi tidak dapat dihilangkan akan tetapi harus dikurangi atau diturunkan tingkat keseriusannya, jika dibiarkan bisa menyebabkan kerusakan yang fatal yang akhirnya akan mengganggu proses produksi. Karena fenomena vibrasi ini merupakan masalah yang rumit dan kompleks, tidak jarang eksperimen (trial and error) dengan melakukan perbaikan-perbaikan yang bersifat sementara (temporary/ short term solution) misal memasang perancah (scaffolding) dilakukan dan diuji terlebih dahulu untuk menguranginya.

II. DASAR TEORI

Damped Forced Vibration.

Sketsa diagram gaya dari system vibrasi ini terlihat seperti pada Gambar 1 seperti yang terlihat dibawah ini.



Gambar 1. Sketsa diagram gaya damped forced vibration

Bila $F(t) = F_0 \sin \omega_0 t$ adalah gaya luar (external force) dalam sistem ini, maka persamaan differensial bagi persamaan gerak massa tersebut :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \sin \omega_0 t \dots (1)$$

Dan solusi khusus persamaan diatas adalah dalam bentuk:

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \frac{F_0}{(k - m\omega_0^2)^2 + c^2\omega_0^2} [(k - m\omega_0^2) \cos \omega_0 t + c\omega_0 \sin \omega_0 t] \\ &= \frac{F_0}{(k - m\omega_0^2)^2 + c^2\omega_0^2} [(k - m\omega_0^2)^2 + c^2\omega_0^2]^{1/2} \cos(\omega_0 t - \delta) \\ &= \frac{F_0 \cos(\omega_0 t - \delta)}{[(k - m\omega_0^2)^2 + c^2\omega_0^2]^{1/2}} \end{aligned} \quad (2)$$

dimana $\tan \delta = c\omega_0 / (k - m\omega_0^2)$. Karenanya setiap solusi $x(t)$ dari Pers.(1) adalah dapat ditulis:

$$x(t) = \phi(t) + \psi(t) = \phi(t) + \frac{F_0 \cos(\omega_0 t - \delta)}{[(k - m\omega_0^2)^2 + c^2\omega_0^2]^{1/2}} \quad (3)$$

disini $\phi(t)$ adalah solusi dari persamaan homogeneous yang akan mendekati nol dengan $t \rightarrow \infty$, sehingga untuk harga t yang besar maka $x(t) = \psi(t)$. Dan $\psi(t)$ disebut bagian steady state sedangkan $\phi(t)$ disebut bagian transient dari solusi sistem vibrasi ini.

Terlihat bahwa dalam Pers.(2), bila $\omega_n = \omega_0$ maka kondisi apa yang disebut “resonansi “ akan terjadi.

Masalah ini dapat diperlihatkan bahwa amplitude X dari steady state atau harmonic response adalah seperti yang dibawah ini:

$$X = \frac{F_0}{[(k - m\omega_0^2)^2 + c^2\omega_0^2]^{1/2}} \quad (4)$$

Atau

$$X = \frac{F_0/k}{[(1 - m/k\omega_0^2)^2 + (\omega c/k)^2]^{1/2}} \quad (5)$$

Dan,

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\omega c}{k - m\omega_0^2}$$

atau

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\omega c/k}{1 - \omega_0^2 m/k} \quad (6)$$

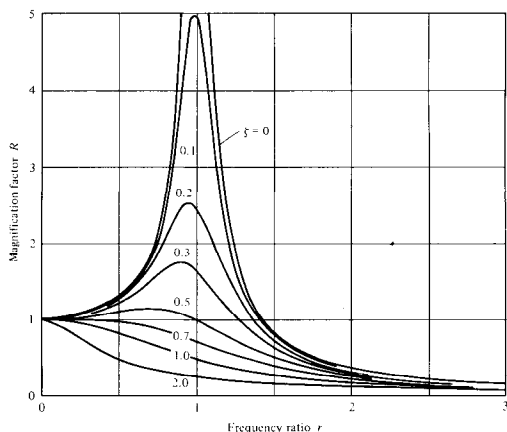
Disini X adalah amplitude respons steady state and $-\delta$ adalah sudut phase of $\psi(t)$ relative terhadap gaya eksitasi $F_0 \cos \omega_0 t$, yaitu displasemen terlambat sebesar δ radian dari gaya eksitasi. Untuk mempermudah pengertian, dua persamaan diatas yang terakhir pada umumnya ditulis dalam bentuk nondimensional, yaitu dengan mensubstitusi notasi $k/m = \omega_n^2$ dan $\omega_0 c/k = 2\zeta\omega_0/\omega_n$ dan mendefinisikan $r = \omega_0/\omega_n$, maka persamaan yang tersebut tadi dapat ditulis dalam bentuk,

$$\frac{X}{F_0/k} = \frac{1}{[(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2]^{1/2}} = R \quad (7)$$

Dan

$$\delta = \tan^{-1} \frac{2\zeta r}{1 - r^2} \quad (8)$$

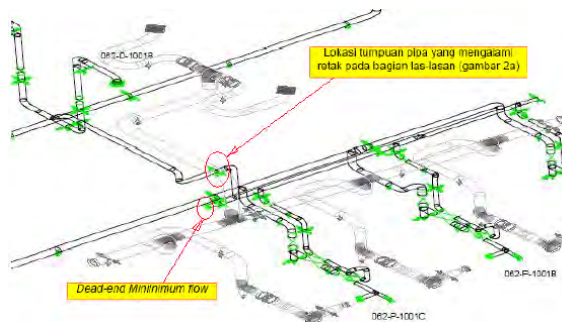
Pers. (7) dapat diplot seperti pada Gambar 3 dengan ζ sebagai parameter.



Gambar 2. Diagram persamaan (7)

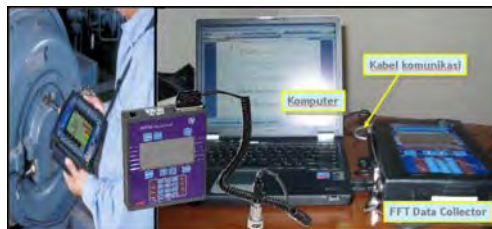
III. METODA PENELITIAN Pengukuran Getaran

Jalur pemipaan yang dibahas dalam makalah ini dapat terlihat seperti pada gambar 1 dibawah.



Gambar 3. Jalur minimum flow menuju daerator.

Pengukuran vibrasi dilakukan dilapangan dengan menggunakan *analyzer data collector* Gambar 2) dan kemudian di-plot terhadap batas kurva tingkat keseriusan vibrasi dan berada pada tingkat “koreksi” yang berarti bahwa sistem perpipaan harus dimodifikasi atau diperbaiki supaya tingkat vibrasinya turun pada batas yang diizinkan.



Gambar 4. FFT Analyzer data collector

Metoda Analisa Vibrasi pada Pipa

Analisis statik dan dinamik ini sengaja dilakukan untuk memberikan gambaran bahwa untuk mengantisipasi atau menyelesaikan masalah vibrasi dapat dilakukan dengan banyak cara, dapat membandingkan proses analisa, mengetahui kemudahan dan kesulitan serta akurasi hasil antara analisis statik dan dinamik.

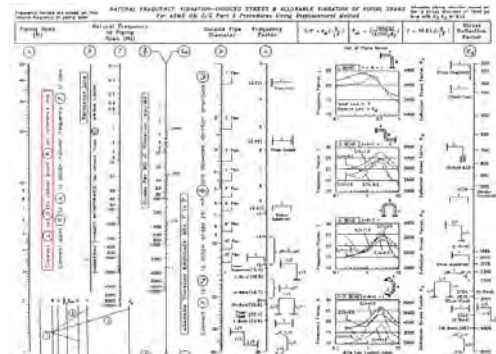
Analisis Statik

Analisis statik meliputi proses perhitungan manual dengan metoda LOF dan *input displacement*, dimana input displacement ini akan dilakukan dengan dua cara yakni dengan bantuan “*nomograph*” yang merujuk pada standard internasional ANSI/ ASME OM-3 dan dengan bantuan perangkat lunak CAESAR 5.1. (metoda *pseudo static*).

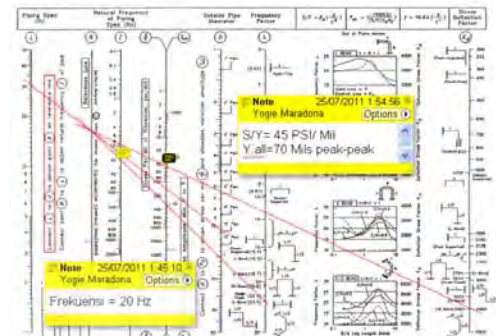
Analisis ini meliputi cara membandingkan data hasil vibrasi dengan kurva batas izin untuk menentukan tingkat keseriusan vibrasi yang terjadi, dengan Metode *Displacement* (ANSI/ASME OM-3) cara pemakaian “*NOMOGRAM*” dan Metode *Likelihood of Failure* (MTD Ltd), melakukan analisis statik menggunakan perangkat lunak CAESAR dengan 2 cara yaitu *Input displacement* dari hasil pengukuran getaran dan input gaya transien (metoda *pseudo static*).

Metode Input Displacement ANSI/ASME OM-3)

Untuk mudahnya pengecekan getaran dengan metoda ini dapat mempergunakan nomograph sebagai berikut:



Gambar 5. Nomograph metoda displacement



Gambar 6. Denah monitoring metoda displacement

Tabel 1 Hasil analisa metoda displacement

1. Frekuensi elemen pipa berada dikisar 20 Hz, dimana berada pada interval hasil pengukuran analyzer tersebut diatas, yakni antara 1.87 – 45.6 Hz
2. $\frac{S}{Y} = 45 \frac{PSI}{Mil}$ Stress per mil of vibration
3. $Y_{all} = 70$ Mills peak-peak Allowable vibration amplitude
4. $y_{meas} = 18.5$ mils p-p (hasil pengukuran di titik-4..... Measured vibration

Tabel 2. Hasil analisa metoda displacement (lanjutan)

	ASME-OM3	
Batas lelah (fatigue atau endurance limit) - Se	7690 PSI	(JC Wachel $\approx 12.8\% \sigma_u$)
S/Y	45 PSI/Mil	
C ₂ K ₂	5,12	*JC Wachel
y _{meas}	18,15 Mills p-p	
S=(S/Y)*y _{meas} *C ₂ K ₂	4181,76 PSI	≈ 28.83 MPa
Ratio	72,51 %	

Dimana:
 C₂ = Secondary stress index ditentukan oleh kode BPV (Boiler Pressure Vessel code)
 K₂ = Local stress index ditentukan oleh kode BPV (Boiler Pressure Vessel code)
 Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban dinamis yang terjadi adalah 72,51% dari batas lelahnya, namun demikian dilapangan telah ditemukan ada tumpuan pipa yang mengalami crack sehingga dengan hitungan kasar ini dapat diperkirakan bahwa pipa mengalami beban dinamis dengan siklus yang lebih besar dari 7000 sehingga ada faktor f yang akan mengurangi batas lelah (endurance limit) bahkan telah melewati kekuatan lelahnya (endurance or fatigue strength).

Metoda LOF-MTD Ltd.

Faktor aliran penyebab getaran (Fv-Flow Induced Vibration) dan LOF aliran penyebab turbulensi

Tabel 3. Nilai LOF

NPS pipa	inch		24	8	10	16
Tebal dinding Pipa	t	STD (ASME 40)	17,48	8,18	9,27	12,7
Diameter Luar Pipa	D _o	mm	609,4	219,08	273,05	406,4
Kepentingan fluida	v	mdet	21	32	1,00	2,17
			943,70	4433,55	1658,58	64,04
$w = -283921 + 370 \cdot \text{Dext} - 0,11068 \cdot (\text{Dext}) \cdot 1,501$			309399,00	364980,60	384949,50	434289,00
Flow Induced Vibration Factor	$F_v = w(D_o/t)^3$		-0,79	-0,90	-0,88	-0,84
LOF untuk Aliran turbulensi	$LOF = (p_v)^2 / F_v$		40131,19	27736,74	25828,26	30005,27

Bila harga LOF ≤ 0.3 maka disarankan bahwa untuk melakukan visual survey untuk melihat kekurangan konstruksi dan atau bentuk dan atau tumpuan pipa pada pipa utama (main line) dan atau kemungkinan adanya transmisi getaran dari sumber yang lain.

Tabel 4. Nilai LOF bagi penutupan katup (valve)

Maklumat Tekanan Transmisi	P ₁ p.p.v	N/m ²	38	48	10975637,51	7643310,77	1705810,77
		Kg/cm ²			111,00	28,90	17,30
Maklumat Gaya Transmisi	F = P * A	kN			323,30	83,77	82,17
		Kg force			32867,86	8542,10	8378,87

Jarak antara pompa dan katup (upstream length) adalah 1,8 meter dan F_{max} > 1 kN, sehingga langkah selanjutnya waktu penutupan katup harus diperhitungkan.

L _{up}	Upstream length	m	0,67	1,18	1,80	1,80	1,80
T _{time}		det	100	8,000	8,000	8,000	8,000
w	$(-2,266/T_{time}) \pm 0,32$	close=8 detak	100	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60
Φ	$(p^* + 1) \cdot w \cdot \Phi / P_1$		100	-0,002	-0,00041	-0,00025	-0,00025
P ₁ p.p.v	$P_1 \cdot (0,72 + 0,2 \cdot v)$	N/m ²	100	8593,80	139,09	85,06	85,06
		Kg/cm ²		0,0876	0,0014	0,0009	0,0009
P ₂ p.p.v		N/m ²	LAMP-D4	6570455,50	6570455,50	6570455,50	6570455,50
		N/m ²		100	1087375,30	1078870,59	1078816,56
		Kg/cm ²		11,09	11,00	11,00	11,00
F _{max}	P ₂ p.p.v * A	kN		32,03	31,79	51,97	51,97
		Kg force		3266,63	3241,23	5299,01	5299,01
Gaya penutupan (limit force)	F _{lim}	kN		3,90	3,90	7,54	7,54
LOF untuk Pembukaan Katup	F _{lim} /F _{max}			8,22	8,16	6,89	6,89

LOF akibat penutupan katup ini termasuk besar yakni 8.22 maka disarankan untuk:

1. Melakukan detil analisis, karena dirasa perlu untuk melakukan modifikasi jalur pipa utama (main line) atau penambahan pipe support
2. Getaran yang terjadi harus terus dimonitor
3. Tindakan perbaikan harus dipikirkan dan dilakukan secepatnya
4. Sambungan terhadap pipa kecil SBC harus dievaluasi.



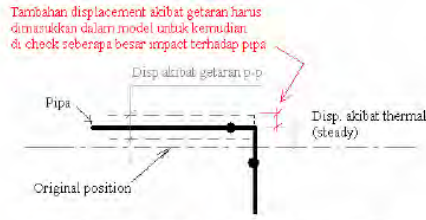
Displacement pada kondisi operasi dari hasil pengukuran getaran adalah:

Trik	Vertical Direction (y)			Horizontal Direction (x)			Axial Direction (z)		
	Displacement	Frequency		Displacement	Frequency		Displacement	Frequency	
1	0,32	320,294	45,6	0,16	159,512	1,25	0,17	168,402	3,738
2	0,56	559,816	8,75	0,55	552,45	8,75	0,23	231,648	26,875
3	0,30	302,514	23,75	0,34	339,7504	8,75	0,15	146,05	1,875
4	0,46	461,01	19,375	0,22	218,44	8,125	0,12	124,206	3,463

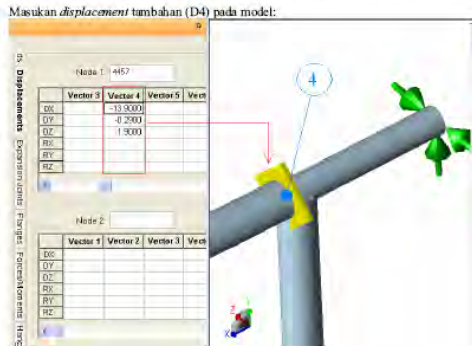
Displacement pada kondisi operasi (T=120°C) akibat ekspansi thermal adalah:

NODE	LCASE_NUM	CASE	DX	DY	DZ	DUNITS	EX	EY	EZ	RUNITS	TRK
4510	4	CASE-4 (OPE) W-4D1-T34P1	-7,07	0,02	0,40	mm	-0,09	0,03	0,01	deg	3
4530	4	CASE-4 (OPE) W-4D1-T34P1	0,35	-0,90	0,91	mm	-0,10	0,01	0,02	deg	2
4550	4	CASE-4 (OPE) W-4D1-T34P1	2,60	0,00	0,00	mm	-0,11	0,03	0,03	deg	1

Gambar 7. Kondisi awal displacement pada titik –titik pengukuran



Gambar 69 Konsep dasar input displacement untuk analisis getaran sederhana



Gambar 8. Detil modifikasi dari gambar 7

Setelah displacement akibat getaran dimasukkan (Gambar 8) dalam model dan secara statik dianalisa (Tabel 5), menunjukkan hasil perhitungan masih aman (PASSED) dengan rasio 55% yang tidak berbeda jauh dengan kondisi sebelumnya.

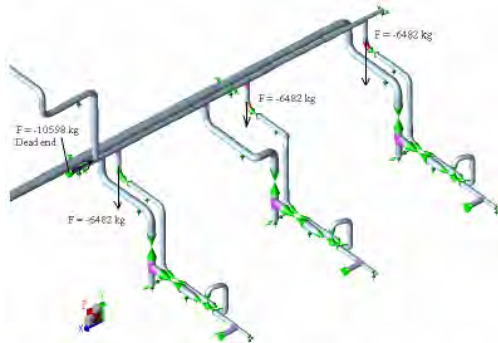
Tabel 5 Hasil nilai pengukuran

*** CODE COMPLIANCE EVALUATION PASSED ***

Highest Stresses: (kg./sq.cm.)
 CodeStress Ratio (%) is 55.0 at Node 8010 LOADCASE: 8 (SUS) W+P1
 Code Stress: 773.4 Allowable: 1406.1
 Axial Stress: 812.6 @Node 8120 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP
 Bending Stress: 1465.3 @Node 7050 LOADCASE: 2 (OPE) W+D1+T1+P1
 Torsion Stress: 359.7 @Node 3568 LOADCASE: 9 (EXP) L9=L2-L8
 Hoop Stress: 1680.0 @Node 8120 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP
 3D Max Intensity: 2022.8 @Node 7050 LOADCASE: 2 (OPE) W+D1+T1+P1

3.2.1.3 Metoda *pseudo static* dengan bantuan perangkat lunak CAESAR 5.1.

Sebelum Modifikasi



Gambar 72 Input gaya transient pada model caesar akibat penutupan katup ARV

Piping Code: B31.3 = B31.3 -2006, May 31, 2007

*** CODE COMPLIANCE EVALUATION FAILED ***

Highest Stresses: (kg./sq.cm.)
 CodeStress Ratio (%) is 112.7 at Node 4450 LOADCASE: 11 (EXP) L11=L4-L8

Gambar 9 Kondisi awal jaringan pipa

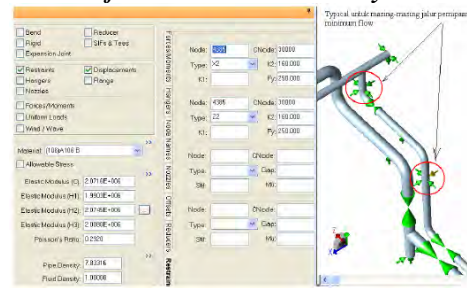
Tabel 6. Hasil analisa pada kondisi awal gambar 9

Code Stress: 3360.7 Allowable: 2982.4
 Axial Stress: 812.6 @Node 8120 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP
 Bending Stress: 3527.1 @Node 4450 LOADCASE: 4 (OPE) W+D3+T3+P1+F1
 Torsion Stress: 607.5 @Node 4510 LOADCASE: 11 (EXP) L1=L4-L8
 Hoop Stress: 1680.0 @Node 8120 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP
 3D Max Intensity: 3846.3 @Node 4450 LOADCASE: 4 (OPE) W+D3+T3+P1+F1

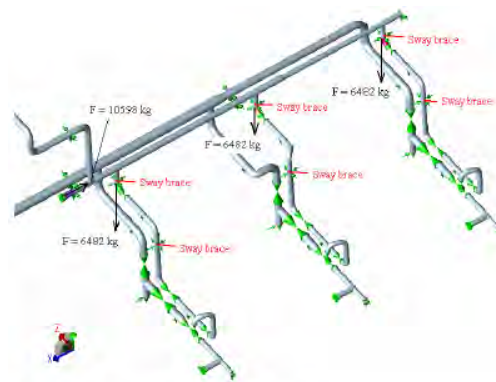
Hasil perhitungan gaya transient paling besar terjadi katup menutup sebesar 3241 N pipa 6 inch cabang dari header dan 5299N pipa header 10 inch – *dead end*. Asumsi bahwa DLF adalah 2 maka gaya yang dimasukkan dalam model sebesar $F = 2 \times 3241 = 6482$ N dan $F = 2 \times 5299 = 10598$ N.

Setelah gaya transien dimasukkan dalam model, hasil perhitungan GAGAL karena tegangan berlebih untuk case ekspansi (*overstress*) pada nodal 4450 yang bertepatan dengan point-4 dimana pengukuran getaran maksimum terjadi.

Setelah Modifikasi – Penambahan sway-braces



Gambar 10. Modifikasi dari gambar 9



Piping Code: B31.3 = B31.3 -2006, May 31, 2007

*** CODE COMPLIANCE EVALUATION PASSED ***

Highest Stresses: (kg./sq.cm.)
 CodeStress Ratio (%) is 50.7 at Node 2030 LOADCASE: 8 (SUS) W+D5+P1
 Code Stress: 712.8 Allowable: 1406.1
 Axial Stress: 812.6 @Node 8120 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP

Gambar 11. Detail modifikasi gambar 9

Tabel 7 Hasil analisa setelah modifikasi

Perbandingan untuk case yang sama dimana sistem pemipaan GAGAL (*FAILED*) sebelum modifikasi dan BERHASIL (*PASSED*) tampak pada tabel dibawah ini

Parameter	Unit	Sebelum Modifikasi	Setelah Modifikasi
Nodal		4450	4450
CodeStress Ratio	(%)	113%	56%
Tegangan Ekspansi (EXP) L11=L4-L8	Kg/cm2	3360,7	1667,51
Batas lain	Kg/cm2	2982,4	2982,4

Mengacu pada hasil penilaian LOF >= 1 akibat aliran tansien (*surgin*) bahwasanya detail analisis

perlu dilakukan, telah dibuktikan oleh analisa sederhana dengan metoda quasi statik seperti diatas yang hasilnya GAGAL, sehingga tindakan modifikasi perlu dilakukan. Modifikasi yang telah dilakukan adalah dengan menambahkan pipe support penguat getar (*sway braces*).

Tampak pada hasil analisis diatas bahwa penambahan sway braces berhasil mengatasi tegangan berlebih untuk case ekspansi.

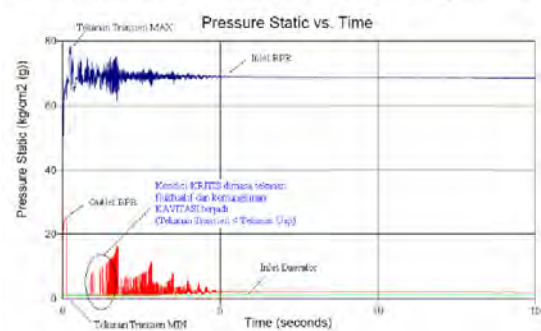
Dimana setelah dimodifikasi tegangan akibat ekspansi berkurang sebesar 57% dari kondisi sebelumnya 113%.

Analisis Dinamik

Analisis dinamik meliputi perhitungan hidraulik dengan bantuan perangkat lunak AFT-IMPULS dan analisis modus getar serta tegangan pipa dengan bantuan perangkat lunak CAESAR 5.1.

Analisa transient menggunakan perangkat lunak AFT-IMPULS

Hasil analisis dalam bentuk grafik "tekanan-waktu" (P-t) tampak seperti gambar berikut:



Gambar 11 Hasil analisa pressure static vs time

Tabel 8 Hasil analisa akibat tekanan transient

Pipe	Max. Stag. Pressure (kg/cm ² (g))	Max. Stag. Pressure Time (seconds)	Max. Stag. Pressure Station	Min. Stag. Pressure (kg/cm ² (g))	Min. Stag. Pressure Time (seconds)	Min. Stag. Pressure Station
1	5,915	0,5763	51	0,9929	0,6027	19
2	10,684	0,2563	1	1,0011	0,3371	0
3	77,856	0,2540	1	51,5705	0,01165	4
4	77,832	0,2579	2	48,9519	0,01010	2
5	6,674	0,2205	0	1,9147	7,695	0
6	78,395	0,2672	10	50,3593	0,01553	10
7	25,089	0,1125	0	0,9964	1,741	4

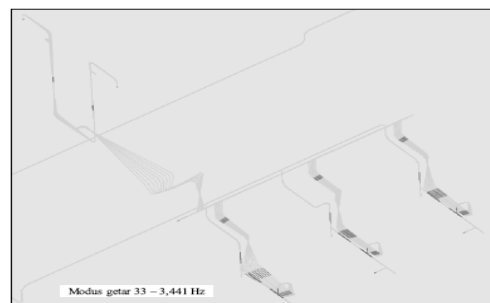
Dari analisa dinamik ,dapat disimpulkan sebagai berikut:

- (i) Maksimum tekanan transien atau surging pada jalur minimum flow (P6) adalah 78,4 N/cm² melebihi tekanan desain sistem perpipaan 78 N/cm² , akan tetapi masih dalam batas aman karena lebih kecil dari batas izin tekanan maksimum 103,7 N/cm².
- (ii) Minimum tekanan transien atau surging dibagian hilir (downstream) BPR (P7) adalah 0,9964 Kg/cm² lebih rendah dari tekanan uapnya adalah 1,02 Kg/cm² sehingga terjadi kavitasi.
- (iii) Fenomena kavitasi inilah yang kemungkinan besar menghasilkan lonjakan energi dan memiliki frekuensi 3,46 Hz; 3,738 Hz; 8,125 Hz; dan 8,75 Hz

sebagai sumber eksitasi dan beresonansi dengan sistem perpipaan.

Analisa dinamik menggunakan CAESAR 5.1

Analisis modal sangat berguna untuk melihat karakter pergerakan (symptom) sistem pemipaan pada tiap-tiap frekuensi pribadinya pada model yang sedang dianalisa, yang selanjutnya karakter pergerakan tersebut akan dibandingkan dengan kondisi getaran yang terjadi dilapangan sehingga dapat diperkirakan sistem beresonansi pada frekuensi berapa, sehingga sumber eksitasi dapat diketahui serta langkah modifikasi selanjutnya dapat didesain dengan menggeser sejauh mungkin frekuensi pribadi dari sumber eksitasi (biasanya ± 20%) dan karakteristik pergerakannya dapat dianalisis kembali.

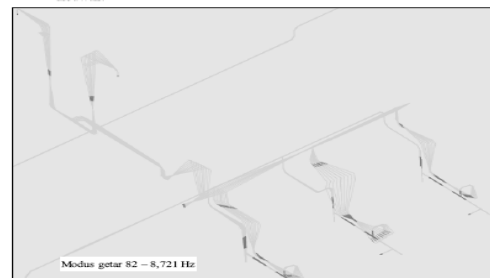


Gambar 12.Kondisi awal modus getar ke 33

Tabel 9 Hasil analisa bagi modus getar ke 33

Modus getar ke-33 pada frekuensi pribadi 3,441 Hz

- Interval resonansi ± 20% (2,753 Hz - 4,129 Hz).
- Hasil pengukuran getaran tercatat 3,46 Hz; 3,738 Hz; dan berada dalam interval analisa modal.
- Pergerakan terjadi dalam satu sumbu-z saja (1 axis) seperti tampak pada gambar dibawah.



Gambar 13 Modus getar ke 82

Tabel 10

Modus getar ke-82 pada frekuensi pribadi 8,721 Hz

- Interval resonansi ± 20% (6,977 Hz - 10,465 Hz).
- Hasil pengukuran getaran tercatat 8,125 Hz; 8,75 Hz (3x); dan berada dalam interval analisa modal.
- Pergerakan terjadi dalam dua arah sumbu-z dan sumbu-x (2 axis) seperti tampak pada gambar dibawah.

Tabel 11. Frekuensi natural hasil analisa
Masing-masing frekuensi pribadi hasil analisis modal adalah

MODE	(Hz)	(Radians/Sec)	(Sec)
FREQUENCY	FREQUENCY	PERIOD	
1	0.900	5.652	1.112
2	0.953	5.986	1.050
3	1.006	6.324	0.994
4	1.053	6.615	0.950
5	1.107	6.958	0.903
6	1.157	7.273	0.864
7	1.353	8.499	0.739
8	1.411	8.863	0.709
14	1.748	10.985	0.572
15	1.875	11.783	0.533
16	1.894	11.900	0.528
17	1.969	12.369	0.508
18	2.262	14.210	0.442
19	2.396	15.057	0.417
31	3.349	21.044	0.299
32	3.419	21.480	0.293
33	3.441	21.623	0.291
34	3.608	22.673	0.277
35	3.646	22.912	0.274
36	4.131	25.954	0.242
37	4.311	27.084	0.232
80	8.439	53.021	0.119
81	8.664	54.440	0.115
82	8.721	54.798	0.115
83	8.816	55.390	0.113
96	10.654	66.943	0.094
97	10.715	67.322	0.093
98	10.970	68.925	0.091
99	11.088	69.669	0.090
100	11.106	69.778	0.090

IV. KESIMPULAN

Dari analisa dan pengukuran diatas ,dapat disimpulkan hasil² sebagai berikut:

1. Suatu boiler atau pembangkit uap yang dioperasikan tanpa kondisi air yang baik , cepat atau lambat akan menimbulkan masalah-masalah yang berkaitan dengan kinerja dan kualitas dari sistem pembangkit uap. Kondisi air dengan temperatur kerja yang tinggi 120°C, debit aliran dan tekanan yang harus dikontrol dalam interval tertentu menjadikan jalur sistem perpipaan air umpan pembangkit uap (*boiler feed water*) ini banyak menghadapi masalah teknis. Fluktuasi tekanan yang terjadi akibat bukatutup katup untuk mengontrol debit dan tekanan air diperkirakan mampu menghasilkan frekuensi yang mendekati frekuensi pribadi dari sistem perpipaan sehingga terjadi osilasi pada frekuensi 3,46 Hz; 3,738 Hz; 8,125 Hz; dan 8,75 Hz yang menyebabkan pipa bergetar. Hasil analisis hidrolik telah membuktikan bahwa getaran pada jalur *minimum flow* ini disebabkan karena fenomena kavitasi.

2. Data hasil pengukuran getaran dilapangan telah di *plot* pada kurva batas tingkat keseriusan getaran, menunjukkan berada pada tingkat *correction* (kurva wachel) dan pada tingkat *concern* (kurva MTD) yang berarti bahwa tindakan perbaikan harus segera dilakukan. Namun demikian jika tegangan yang terjadi akibat beban dinamik tersebut (getaran) di *plot* terhadap kurva S-N (Kurva Tegangan-Siklus) masih jauh berada di batas izin lelahnya (*endurance limit*).

3. Hasil analisis dengan metoda LOF (*Likelihood of Failure*) adalah sebagai berikut:

1. LOF aliran penyebab turbulensi = $0,16 < 0,3$
2. LOF perubahan momentum/ surging akibat bukatutup katup = $8,22 > 1$
3. LOF akan kemungkinan kavitasi atau *flashing* = $0 < 0,3$ (tidak terjadi kavitasi)

Dimana penilaian LOF adalah disebabkan oleh perubahan momentum akibat penutupan katup ARV dan disarankan agar dilakukan analisis detil, memonitor getaran dan dilakukan perbaikan secepatnya.

4. Hasil analisis dengan metoda *displacement* baik yang merujuk pada ANSI/ASME OM-3 – J.C.Wachel maupun perangkat lunak CAESAR II.5.1 berada dalam batas AMAN (*PASSED*)

5. Gaya transien hasil perhitungan sederhana (manual) adalah 6482 kg (Tekanan transient total = 11 Kg/cm²) dan hasil perhitungan hidrolik dengan perangkat lunak AFT adalah 13120 kg (Max Tekanan transien = 78 Kg/cm²), kedua gaya inilah yang menyebabkan timbulnya ketidaksetimbangan momentum pada sistem pemipaan dan harus mampu ditahan atau diserap oleh sistem.

6. Hasil analisis kuasi statik dengan perangkat lunak CAESAR II.5.1 pada sistem pemipaan sebelum modifikasi dengan memasukan gaya transien sebesar 6482 kg adalah GAGAL (*FAILED*) dengan ratio tegangan *Code* sebesar 113%. Setelah sistem pemipaan dimodifikasi dengan penambahan sway braces hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi berada dibawah batas izin *Code* (*PASSED*) dengan rasio tegangan 56%.

7. Hasil analisis menunjukkan bahwa aliran transien yang terjadi adalah fenomena surging bukan palu air (*waterhammer*) sehingga analisis detail tidak dapat dilakukan secara dinamik dengan perangkat lunak CAESAR II.5.1, namun demikian cara kuasi statik tetap dilakukan dengan memasukan gaya transien hasil perhitungan hidrolik-AFT sebesar 13120 N pada sistem perpipaan. Rasio tegangan *code* yang terjadi cukup tinggi yakni 90% akan tetapi masih berada dalam batas izinnya (*PASSED*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A Soedrajat A.S, "Mekanika Fluida dan Hidrolika", NOVA Bandung, 1983.
- [2]. Bambang Triatmodjo, "Hidrolika II", Beta Offset, Yogyakarta, 2003.
- [3]. Mekanika Fluida Jl. 1 & 2 Ed. 4 Penerbit Erlangga ISBN 9797413926, 9789797413927.
- [4]. Suriady Sihombing, "Kajian Experimental Susunan Pompa Secara Paralel terhadap Karakteristik Vibrasi Pompa Sentrifugal", Tesis UNSU, Medan, 2008.

- [5]. Danang Arif Agustiyana, Dr Bambang Lelono Widjiantoro ST,MT. Jurnal tentang “Simulasi Kavitasasi Pada Control Valve”.
- [6]. Muhammad Muhtadi, DR. Bambang L. Widjiantoro, ST.MT, Hendra Cordova, ST.MT). Jurnal tentang “Analisis Reduksi Intensitas Kavitasasi Pada Control Valve Akibat Pressure Drop Dengan Metoda Pressure Recovery Factor Di Vico Indonesia”.
- [7]. Charles Becht IV, ” Process Piping : The Complete Guide to ASME B31.3” Edition 3,2004.
- [8]. H&S Executive, ”Vibration Induced Fatigue” ,Energy Institute.
- [9]. J. C. Wachel, PVP-Vol. 313-2, displacement-methode-for-determining-acceptable pipingvibration-amplitudes.
- [10]. Singiresu S.Rao, “Mechanical Vibrations”, Prentice Hall, 2005.
- [11]. Abdullah Mappaita, “Analisa Eksperimental Dan Teoritis Modus Getaran Beam Yang Ditumpu Sederhana”, ITB, 1987.
- [12]. Kaneko, Nakamura, Inada, Kato, “Flow-Induced Vibrations. Classifications and Lessons from Practical Experiences”, Amsterdam: Elsevier, 2008.
- [13]. Technical Paper, “Flow Of Fluids”, Crane Co, 1982.

Perancangan Awal Sistem Penyala Mula Roket Padat (Studi Kasus Roket Padat Ø 320 mm)

Ganda Samosir

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

Abstrak -- Motor roket padat yang menggunakan bahan bakar komposit dari jenis HTPB (Hydroxyl Terminated Poly Butadiene), umumnya tidak mudah untuk terbakar. Agar bahan bakar padat non-hypergolic ini bisa terbakar, diperlukan kondisi lingkungan yang cukup ekstrim, yakni tekanan sekitar 40 bar dan temperatur 280°C. Kondisi ekstrim ini harus bisa di ciptakan oleh sistem penyala mula (igniter) yang di teliti. Ada 2 (dua) faktor penting yang dapat memengaruhi unjuk kerja dari sebuah igniter, yakni: faktor internal, berupa: ramuan squib, bahan filament, komposisi primer, bahan isian utama, sedangkan faktor eksternal, berupa: jenis propelan, dimensi dan konfigurasi ruang bakar motor roket. Dengan kata lain; sistem igniter yang akan di gunakan, sangat tergantung kepada tipe dan misi roket nya. Dari hasil penelitian pada makalah ini, diperoleh beberapa besaran penting dari isian igniter untuk keperluan roket padat kelas 320 mm sebagai berikut: berat propelan; $W_{igl} = 420,5$ gr, diameter luar; $\phi_l = 45$ mm, tebal; $t_{cl} = 8,5$ mm, dan panjang; $L_{prop} = 430$ mm.

Kata kunci: kondisi ekstrim, faktor internal, faktor eksternal

1. PENDAHULUAN

Igniter pada suatu motor roket padat berfungsi sebagai pemasok energi aktivasi (activated energy), yakni menciptakan kondisi lingkungan tertentu agar bahan bakar (propelan) bisa terbakar guna dapat menghasilkan gaya dorong roket (*thrust*).

Mengingat unjuk kerja igniter dipengaruhi oleh banyak faktor, maka penelitian dan perancangannya, praktis tidak dapat dilakukan secara analitis (matematis) murni, tetapi lebih ke cara empiris. Hal ini yang menyebabkan penelitian, perancangan dan pengembangan sebuah igniter tidak pernah bisa tuntas, karena untuk tipe dan misi roket tertentu, harus menggunakan tipe dan jenis igniter yang tertentu pula.

Sistem igniter adalah bagian tak terpisahkan dari sebuah teknologi roket, yang dengan sedikit rekayasa, bisa di jadikan *senjata pemusnah*, sehingga mempunyai tingkat ke rahasiaan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, segala sesuatu yang

menyangkut tentang roket, termasuk igniter, harus dilakukan secara swa-sembada.

Kurangnya wacana sebagai dasar perancangan igniter ini, memicu penulis mencoba melakukan pendekatan, yakni dengan menerapkan teori perhitungan propulsi roket. Dalam hal ini, igniter di asumsikan sebagai sebuah roket kecil dengan luas kerongkongan nosel (nozzle throat area) nya sama dengan jumlah luas total dari lubang-lubang kecil (orifices) penyembur atau pengarah nyala api yang ada pada igniter.

Sehingga dengan demikian rumus-rumus yang biasanya di gunakan dalam penelitian dan perancangan sistem propulsi roket, terutama pada perancangan nosel roket, dapat diterapkan.

Gambar 1, menunjukkan sebuah ruang bakar (combustion chamber) motor roket padat, sekaligus komponen-komponen utama yang terdapat di dalamnya.

II. DASAR TEORI

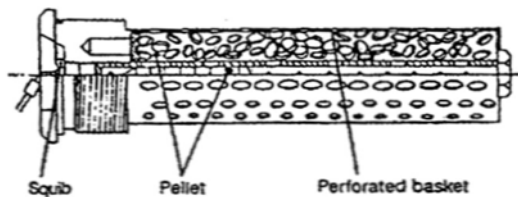
Diperlukan adanya 3 (tiga) besaran penting agar suatu proses pembakaran dapat berlangsung dengan baik, yang dikenal dengan nama “ segitiga pembakaran “ (*combustion triangle* atau *fire triangle*). Ke-3 unsur tersebut, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2, adalah: bahan bakar (*fuel*), oksidator (*oxidizer*) dan energi aktivasi (*activated energy*), yang apa bila salah satu dari ke-3 unsur itu tidak ada, maka proses pembakaran tidak akan dapat berlangsung. Fungsi utama dari igniter adalah menciptakan tekanan (p) dan temperatur (T) yang cukup, dimana untuk tipe propelan HTPB diperlukan $p = \pm 40$ bar dan $T = \pm 280$ °C agar proses pembakaran dapat berlangsung dengan baik dan stabil.



Gambar 2. Segitiga Proses Pembakaran.

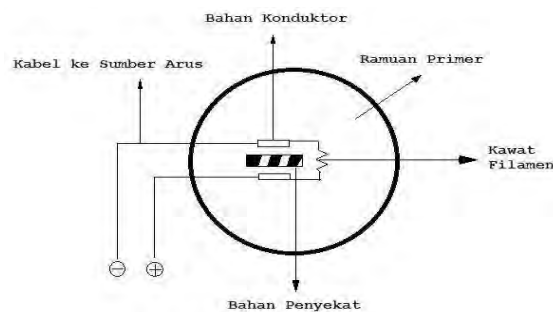
Ada banyak tipe igniter yang digunakan pada motor roket, seperti: *bag igniter*, *poeder can igniter*, *jelly roll igniter*, *film igniter* dan *basket igniter(perforated igniter type)*, yang masing-masing penggunaannya tergantung kepada banyak faktor. Karena roket Ø 320 mm yang menjadi studi kasus, mempunyai misi sebagai roket sonda, maka tipe igniter yang akan digunakan adalah *basket igniter(perforated igniter type)*. Tipe igniter ini terdiri dari 2 (dua) selongsong (*casing*), dimana casing yang satu berada di dalam casing lain yang ukurannya lebih besar. Casing yang kecil berisi serbuk propelan, sedangkan yang lebih besar berisi batangan propelan silindris ber-rongga (*hollow*). Pada tahap perancangan awal ini, hanya akan dibahas masalah-masalah yang terkait dengan isian dari ke-2 casing igniter tersebut. Bahan casing biasanya aluminium alloy yang di buat ber-lubang-lubang sedemikian rupa, sehingga "lidah api" akan menyembur ke segala arah untuk membakar propelan roket, seperti yang diharapkan, propelan roket akan terbakar dengan arah aksial sekaligus radial.

Gambar sketsa sebuah igniter tipe basket, dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini



Gambar 3. Igniter Tipe Basket (Perforated)

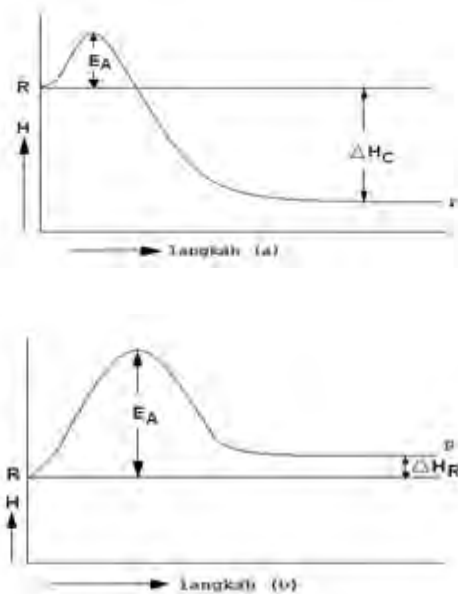
Karena isian (ingredient) igniter juga dari propelan, maka untuk dapat membakarnya, diperlukan kawat filamen (*electric squib*) yang berfungsi untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi panas. Secara skematis, sebuah electric squib dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Skema Electric Squib

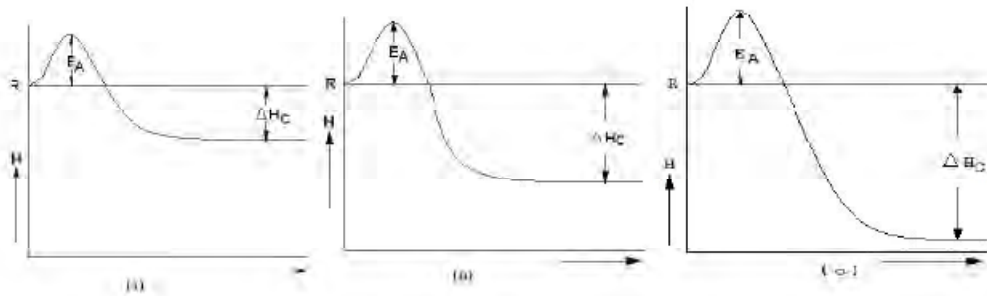
Electric squib ini sudah harus bisa menyala hanya dengan tegangan listrik yang kecil, maka bahan-bahan yang umum digunakan adalah: *wolfram*, *nikelin*, *tembaga*, dan lain-lain.

Dengan menggunakan diagram entalpi, maka proses pembakaran isian igniter, dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. (a). Diagram Pembakaran Eksotermis dan (b). Diagram Pembakaran Endotermis

Penjelasan simbol-simbol pada Gambar 5 adalah sebagai berikut; H = entalpi, R = entalpi reaktan, P = entalpi produk, E_A = energi aktivasi, ΔH_C = panas pembakaran, dan ΔH_R = panas reaksi. Gambar 5(a), menjelaskan: proses pembakaran merupakan reaksi eksotermis, yakni membebaskan kalor sebesar ΔH_C . Sedangkan Gambar 5(b), menjelaskan proses reaksi kimia yang merupakan reaksi endotermis, yakni membutuhkan panas sebesar ΔH_R . Panas reaksi, tidak selalu positif (membutuhkan panas), bisa juga negatif, yang berarti mengeluarkan panas, seperti halnya ΔH_C . Agar pembakaran bisa berlangsung kontinu, maka $\Delta H_C > E_A$, sebab sebagian dari ΔH_C yakni sebesar E_A diperlukan untuk energi aktivasi guna pembakaran awal propelan roket.



Gambar 6. Hirarki Pola Pembakaran

Gambar 6(a), menunjukkan pola pembakaran dari ramuan *primer*, sedangkan gambar 6(b), menunjukan pola pembakaran muatan utama igniter (igniter main charge) dan gambar 6(c), menyatakan pola pembakaran propelan roket. Pola-pola ini kemudian di jadikan tolak ukur dalam memilih bahan-bahan ramuan primer, isian utama igniter dan propelan roket.

Bahan ramuan primer haruslah mempunyai energi aktivasi yang kecil, yakni hanya dengan beberapa *Amper*, sudah harus bisa terbakar, karena itu bahan ramuan nya harus yang reaktif, misalnya: *nitrogliserin, asam pikrat, trinitrolaluena (TNT), timbale acid, mercan fulminet*, dll.

Igniter main charge, umum nya terdiri dari *fuel* dan *oxidizer*, yang akan terbakar akibat panas yang di timbulkan olehelectric squib, oleh karena itu bahan yang digunakan adalah: *ALNO powder (black powder + logam Al)*.

Seperti telah di singgung sebelumnya, selain panas (temperatur) maka tekanan juga memegang peranan yang penting agar propelan dapat terbakar dengan baik dan stabil.

Tekanan pembakaran propelan ini, di antisipasi melalui perhitungan volume bebas awal ruang bakar atau di kenal dengan istilah: *initial combustion chamber free volume* atau secara singkat sering disebut: *initial free volume*.

III. PERHITUNGAN

Igniter main charge, di tempatkan didalam casing yang ber lubang-lubang, sedemikian rupa sehingga dalam perhitungannya, dapat dianggap sebagai “roket kecil”, dimana jumlah luas seluruh lubang, sama dengan luas leher nosel roket. Massa propelan nya sama dengan massa bahan isian utama dan tekanan kerja didalam casing di asumsi sama dengan $0,3 P_C$ (tekanan kerja di ruang bakar motor roket).

Data-data balistik propelan HTPB adalah sebagai berikut:

- kecepatan pembakaran; $r = 7$ mm/det, untuk tekanan ruang bakar = 7 MPa. Untuk tekanan pembakaran yang lain, maka berlaku rumus, $r_i =$

$$r \left(\frac{P_{igl}}{P_C} \right)^n \text{ dengan } P_C = 70 \text{ atm dan } n =$$

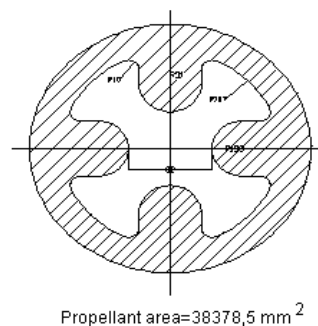
konstanta = 0,31.

- densitas; $\rho_{igl} = 1,83 \text{ gr/cm}^3$
- suhu pembakaran; $T_C = 3650 \text{ K}$
- massa molekul gas hasil pembakaran; $M_{ghpl} = 30,4 \text{ gr/mol}$
- fraksi partikel ter-kondensasi; $\sigma_{igl} = 0,37$
- rasio kapasitas panas; $\gamma = C_v / C_p = 1,1315$
- tekanan pada casing luar; $P_{igl} = 21 \text{ atm}$

Volume Awal Ruang Kosong; V_{DC}

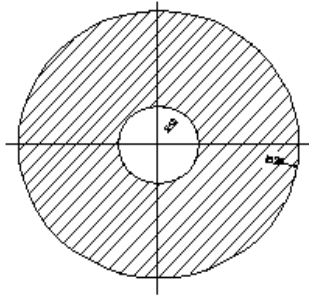
Volume awal ruang kosong (initial free volume); V_{DC} adalah volume ruang kosong di luar casing igniter di dalam ruang bakar roket, sebelum pembakaran propelan terjadi.

Bentuk dan dimensi utama grain propelan roket 320 mm yang menggunakan tipe *double grain*, yakni sebagian berbentuk *wagon wheel* dan lain nya *cylinder (hollow)*, seperti yang terlihat pada Gambar 7(a) dan 7(b) di bawah ini:



Gambar 7(a). Grain Wagon Wheel

Panjang *wagon wheel*; $L_{ww} = 112$ cm dan jari-jari propelan (utuh); $r_{pu} = 13,8$ cm, maka volume awal ruang kosong; V_{ww} adalah: $V_{ww} = (\pi \cdot r_{pu}^2 - prop.area) \times L_{ww} = 24024 \text{ cm}^3$



Gambar 7(b). Grain Cylinder

Bagian *cylinder* ini mempunyai panjang; $L_C = 1667$ mm dan jari-jari ruang kosong; $r_C = 4$ cm, sehingga volume ruang kosong adalah: $V_C = \pi \cdot r_C^2 \cdot L_C = \pi \cdot 4^2 \cdot 166,7 = 83792,5 \text{ cm}^3$

Dengan demikian, volume awal ruang kosong untuk *double configuration propellant* ini adalah:

$$V_{DC} = V_{ww} + V_C = 107816 \text{ cm}^3$$

Suhu Pembakaran; T_{igl}

T_{igl} adalah suhu pembakaran untuk bahan isian casing luar pada tekanan $P_{igl} = 21$ atm, sedangkan dari data balistik propelan HTPB diketahui suhu pembakarannya adalah $T_C = 3650$ K. Oleh karena itu, T_{igl} harus di koreksi dengan menggunakan hubungan persamaan termodinamika, sebagai berikut:

$$\left| \frac{P_{igl}}{P_C} \right| = \left| \frac{T_{igl}}{T_C} \right|^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right)} \Rightarrow T_{igl} = 3173,4 \text{ K}$$

Berat Dan Dimensi Isian Casing Luar; W_{igl}

Bahan isian casing luar igniter dapat di hitung dengan memodifikasi persamaan gas ideal, sehingga diperoleh:

$$W_{igl} = \frac{1}{1 - \sigma_{igl}} \frac{V_{DC} \cdot P_{igl}}{\left(\frac{R}{M} \right) T_{igl}} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan:

$$R = \text{konstanta gas ideal} = 0,082 \left(\frac{\text{ltr.atm}}{\text{gmol.K}} \right)$$

$$V_{DC} = 107816 \text{ cm}^3 = 107,6 \text{ ltr}$$

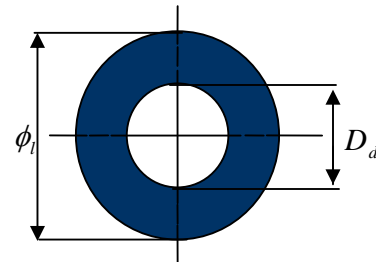
$$M = \text{massa molekul rerata gas hasil pembakaran} = 30,4 \text{ gr/gmol.}$$

Dengan memasukkan besaran-besaran lainnya yang di dapat dari data balistik propelan, maka akan di peroleh:

$$W_{igl} = 420,5 \text{ gr.}$$

Bahan Isian Casing Luar

Dimensi bahan isian casing luar igniter dapat di tentukan dengan bantuan Gambar 8 berikut ini:



Gambar 8. Penampang Isian Casing Luar

Karena ϕ_{lc} = diameter luar casing igniter yang di asumsi = 51 mm dan t_c = tebal casing = 3 mm, maka:

$$\phi_l = \phi_{lc} - 2(t_c) \dots \dots \dots (3.2)$$

$$= 45 \text{ mm}$$

Dimensi isian casing luar igniter, di tentukan melalui persamaan-persamaan sebagai berikut:

- Volume bahan isian.

$$V_{prop} = \frac{W_{igl}}{\rho_{igl}} = \frac{420,5 \text{ gr}}{1,83 \text{ gr/cm}^3} = 230 \text{ cm}^3$$

- Luas penampang isian.

$$A_{pi} = \frac{V_{prop}}{L_{prop}} = \frac{230}{34} = 6,76 \text{ cm}^2$$

$$= 676 \text{ mm}^2$$

dengan:

$$L_{prop} = \text{panjang isian casing luar} = \text{panjang casing luar} - \text{tebal penutup}$$

$$= 357 - 17 = 340 \text{ mm} = 34 \text{ cm}$$

Diameter dalam isian casing luar; D_d , dai peroleh dari persamaan dibawah ini:

$$A_{pi} = \frac{\pi}{4} (\phi_l^2 - D_d^2) \Rightarrow D_d = 34 \text{ mm}$$

Dengan demikian, tebal isian casing luar adalah:

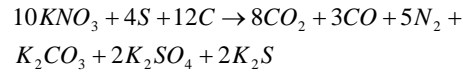
$$t_{cl} = \frac{\phi_l - D_d}{2} = 8,5 \text{ mm}$$

Bahan Isian Casing Dalam

Bahan isian untuk casing dalam, berbeda dari isian casing luar, karena fungsinya juga berbeda. Casing dalam ini biasanya di isi bahan yang explosive, seperti *black powder*, yakni: campuran heterogen antara Kalium Nitrat (KNO_3), Sulfur (S) dan Karbon (C) dengan persentase tertentu.

Setelah melalui proses-proses tertentu, makacampuran ini akan ber bentuk batangan yang sangat rapuh, dimana fraksi padatan pada gas buang nya akan cukup besar, sehingga impuls spesifik nya relatif lebih rendah. Sebelum di jadikan bahan isian casing dalam, batangan tadi di giling, sehingga menghasilkan serbuk black powder dan energy aktivasi untuk membakar nya, diperoleh dari electric squib.

Proses pembakaran black powder ini dapat di jelaskan melalui persamaan atau reaksi kimia sebagai berikut:



Dari persamaan reaksi kimia tersebut di atas, maka di peroleh:

- fraksi padatan; $\sigma_{igd} = 0,55$
- temperatur pembakaran; $T_o = 2590\text{ K}$
- tekanan pembakaran; $P_{igd} = 7\text{ atm}$
- temp. pembakaran hasil koreksi; $T_{igd} = 1764,5\text{ K}$
- densitas black powder; $\rho_{igd} = 2,199\text{ gr/cm}^3$
- massa molekul rerata; $M_{ghpd} = 36\text{ gr/gmol}$
- rasio kapasitas panas; $\gamma_d = 1,2$

Berat Isian Casing Dalam; W_{igd}

Berat black powder sebagai bahan isian casing dalam, dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (3.1) diatas hanya dengan mengubah indeks nya saja, yakni:

$$W_{igd} = \frac{1}{1 - \sigma_{igd}} \frac{V_{rd} \cdot P_{igd}}{\left(\frac{R}{M_{ghpd}}\right) T_{igd}}$$

dengan:

V_{rd} = volumeruang di dalam casing luar yang tidak terisi oleh bahan isian, diasumsi = 0,23 ltr.
 Sehingga dengan demikian;

$$W_{igd} = 0,75\text{ gr.}$$

IV. KESIMPULAN

Karena memang masih dalam tahap perancangan awal sistem igniter yang di fokuskan pada bahan isian, belum membahas masalah casing beserta lubang-

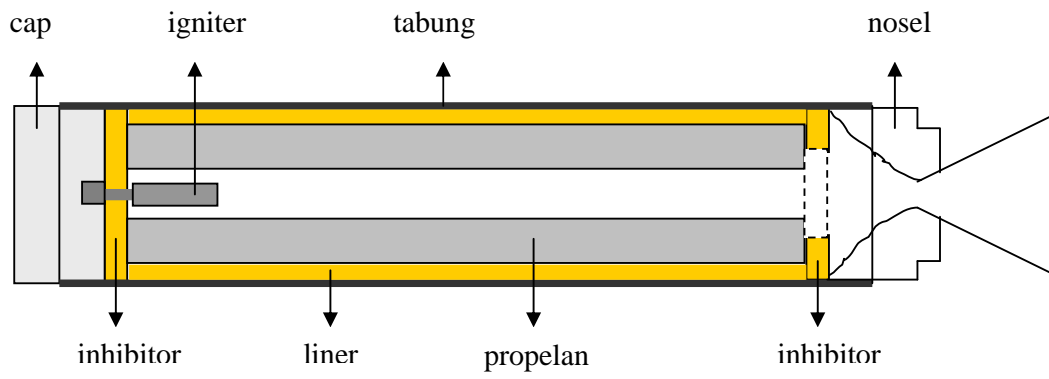
lubang (orifices) pengarah nyala api, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Untuk menghitung dan menentukan jumlah atau massa bahan isian casing, maka di gunakan modifikasi prinsip dasar Gas Ideal ($PV = n.R.T$).
- b. Volume gas hasil pembakaran isian cukup untuk memenuhi atau mengisi seluruh ruang kosong (initial free volume) di dalam ruang bakar roket, sehingga dengan demikian nyala apinya mampu membakar propelan roket secara merata.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson Jr. J. D, 2003. *Modern Compressible Flow 3rd Edition*, McGraw-Hill International.
 Dardare. J., Meriguet. J, Vailhe.I.,1981. *Reacteur-Fusees Tome I; La Pousee, Les Propergols, Les Echanges Thermiques*, E.N.S.A.E - Sup'Aero. Toulouse-France.
 George Emmanuel, 1986. *Gas Dynamics: Theory And Application*, New York- London: AIAA Education Series.
 Marty.D.,1986. *Conception Des Vehicules Spatiaux*, Masson, Paris-Sao Paulo - London Milan-New York.
 Sutton. G .P., 2001. *Rocket Propulsion Elements 7th Edition*, John Wiley & Sons.
 Yahya. S .M., 2005. *Fundamentals of Compressible Flow With Aircraft And Rocket Propulsion*, SI - Unit, New Age International Publisher, New Delhi-India.

Gambar 1. Ruang Bakar Motor Roket Padat



Rancang Bangun Rig Uji Kinerja Turbin Zanette Pada Pembebanan Konstan

Bambang Sumiyarso¹⁾, Susilo Adi Widyanto²⁾, Syaiful²⁾, Sugeng Ariyono¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof.H. Sudarto, SH, Tembalang, Kotak Pos 6199/SMS, Semarang 50329

²⁾ Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang 50275

Telp. (024)7460059-70420846, Email: mtm_pps@undip.ac.id

E-mail : bambang_sumi@yahoo.com, s.ariyono@yahoo.com

Abstrak-- Turbin Air Aliran Melintang (Cross Flow Water Turbine: CFWT) adalah salah satu jenis turbin yang dapat dimanfaatkan untuk potensi aliran head rendah seperti aliran sungai, danau dan aurs laut. Akibat interaksi struktur-fluida, CFWT dihadapkan kepada sebuah rezim beban fatik yang besar dan siklus tegangan penuh secara kontinyu di setiap putaran. Analisis distribusi tegangan dan kelelahan material sangat penting dilakukan untuk memastikan daya tahan yang sesuai dan daya kinerja turbin. Analisis struktur sudu bentuk delta pada turbin aliran melintang pada berbagai variasi geometri telah dilakukan oleh J. Zanette (2010). Tujuan penelitian ini adalah menganalisis struktur sudu delta pada turbin aliran melintang dengan variasi jumlah sudu berturut-urur 3, 4, 5 dan 6 sudu. Perilaku struktur masing-masing sudu dibandingkan secara diskriptif. Selain itu juga, dilakukan kajian eksperimental kinerja turbin akibat perubahan jumlah; sudu tersebut. Hasil penelitian berdasarkan model-model CFWT sudu delta dengan skala 1:4 menunjukkan bahwa yang terbaik adalah turbine Zanette dengan jumlah sudu 6 chord 5o dibandingkan dengan jumlah sudu 3,4 dan 5.

Kata Kunci : CFWT, delta shaped blade, perilaku struktur sudu.

I. PENDAHULUAN

Selama ini energi listrik disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), namun masih belum dirasakan secara merata oleh masyarakat terutama masyarakat pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Menurut direktur PT PLN Edy Widyanto, desa-desa di seluruh nusantara yang sudah terjangkau jaringan listrik sampai tahun 2006 mencapai 47 persen (Sutisna, 2007). Sisanya adalah daerah pelosok yang belum terjangkau jaringan listrik. Beberapa desa yang belum terjangkau listrik PLN memiliki potensi mikrohidro yang belum dimanfaatkan. Potensi mikrohidro di Indonesia diperkirakan sebesar 460 MW, sedang yang telah dimanfaatkan sekitar 64 MW (Zulkarnain dkk, 2004).

Gejolak harga minyak dunia memicu kenaikan subsidi BBM nasional, termasuk subsidi untuk listrik, karena kontribusi 60% biaya produksi listrik nasional

berasal dari BBM. Sejak tahun 2006 pemerintah menerbitkan kebijakan pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan

Konsep sentralisasi pembangkit listrik skala besar harus dievaluasi dan disesuaikan dengan kondisi kepulauan Indonesia yang mempunyai sungai dan anak sungai, termasuk konsep pembangunan dam besar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang ternyata banyak menimbulkan masalah pada kehidupan manusia, hewan, tumbuhan dan lingkungan setempat. Pembangunan jaringan transmisi dari PLTA menuju ke konsumen juga membutuhkan biaya relatif besar dan juga rugi-rugi listrik yang harus dibayar oleh konsumen.

Satu terobosan gagasan aplikatif memanfaatkan energi arus sungai untuk pembangkit listrik skala kecil dan pompa air untuk irigasi pertanian setempat adalah Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (PLTAS), yang tidak perlu bangunan dam, tanpa pipa pesat, tidak ada bangunan power house, jaringan distribusi minim dan lainnya. Konsep PLTAS adalah desentralisasi pembangkit listrik yang relatif dekat dengan konsumen, sehingga biaya investasi dan operasi relatif rendah. PLTAS dibangun diatas ponton/keramba berada di tengah sungai arus deras dan dekat lokasi pemukiman rakyat untuk memenuhi kebutuhan daya listrik dan irigasi pertanian setempat.

Klasifikasi pembangkit listrik tenaga hidro adalah PLTA lebih dari 50 MW per unit, PLTMiniHidro 100 kW ~ 50 MW, dan PLTMikroHidro kurang dari 100 kW, yang semuanya memanfaatkan potensi gravitasi ketinggian (head) dan debit air, umumnya berada di lokasi yang jauh dari pemukiman rakyat, maka membutuhkan jaringan transmisi & distribusi dan right of way melewati hutan yang sulit dan biaya tinggi.

Sedangkan pada pengembangan PLTASungai memanfaatkan energi kinetik arus sungai (nyaris 'zero head'), sehingga dapat dipasang di sepanjang aliran sungai dari hulu, hilir dan dekat muara sungai. Dan lokasi PLTASungai dapat dibangun dekat dengan lokasi pemukiman rakyat konsumen listrik, dan tidak membutuhkan dam, pipa pesat, bangunan power house, dan jaringan listrik sederhana, maka biaya investasi dan operasinya relatif lebih murah

dibandingkan dengan biaya PLT MikroHidro atau sejenisnya.

Turbin Harvest merupakan pengembangan dari turbin Darius yang sudah diteliti sejak beberapa tahun silam. Alasan pengembangan ini antara lain adalah terbatasnya kemampuan/efisiensi yang dihasilkan turbin Darius.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian-penelitian terdahulu tentang pengembangan pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan turbin tipe Darrieus.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Maryono (2005), dalam bukunya menuliskan bahwa karakteristik kecepatan air sungai hampir sama dengan karakteristik kecepatan air di saluran terbuka (open channel) dan semakin tidak teratur tampang saluran, distribusi kecepatan semakin tidak seragam.

Triatmojo (2003), mengemukakan bahwa prinsip energi yang diturunkan melalui pipa juga dapat diterapkan pada saluran terbuka, energi kinetic pada saluran terbuka diberikan oleh $v^2/2g$, dengan adalah kecepatan rata-rata aliran tampang saluran tersebut, apabila koefisien koreksi energi α diperhitungkan maka energi kinetic dapat dirumuskan sebagai $E_k = \alpha v^2/2g$, nilai α antara 1,05 sampai 1,2 yang tergantung pada distribusi kecepatan.

Betz (1919), mengemukakan bahwa batasan untuk mengkonversi energi kinetic fluida ke dalam bentuk energi yang menggerakkan rotor tidak dapat melebihi 16/27 atau 59,3 %. Batasan ini tidak ada kaitannya dengan efisiensi generator akan tetapi lebih kepada parameter turbin itu sendiri. Batasan ini kemudian dikenal dengan Betz Limit.

Sukanto (2008), menyatakan bahwa aplikasi airfoil untuk blade turbin sesuai untuk system konversi energi pada saluran ultra low head. Turbin dengan diameter 600 mm dan jumlah sudu 3 mampu membangkitkan daya 240,61 watt pada aliran air irigasi dengan kecepatan permukaan 0,92 m/s dan debit 0,2329 m³/s. Jenis turbin ini dapat dipasang pada sungai maupun saluran irigasi.

Sasongko, et.al (2007), mengemukakan bahwa daya turbin Francis pada unit PLTA Jelok, Semarang, dipengaruhi oleh laju aliran massa yaitu ketika laju aliran massa mengalami penurunan sampai laju aliran massa terkecil dengan nilai 4370 kg/s dan daya outputnya 5.232 MW dan begitu sebaliknya daya turbin cenderung besar ketika laju aliran massa mengalami kenaikan dengan mencapai 10.330 kg/s daya

Shiono, et.al (2002), mengemukakan bahwa turbin Darrius yang diaplikasikan untuk konversi energi arus laut akan lebih efektif apabila model blade-nya berbentuk helical. Hal ini berdasarkan 7 model turbin yang diuji coba dengan membandingkan performa model blade lurus dan model helical. Untuk model helical efisiensi maksimum diperoleh dengan turbin yang mempunyai soliditas 0,4.

Reksoatmojo (2004), mengemukakan bahwa dari daya teoritis 1000 watt yang dapat diperoleh dari angin, turbin Savonius yang dirancang menghasilkan daya 400 watt dan ini dapat diaplikasikan untuk memenuhi satu unit rumah dengan asumsi untuk rumah sangat sederhana, PLN mengalokasikan 450 watt/rumah.

Lanzatane dan Messina (2007), mengemukakan bahwa untuk mengoptimalkan teori Momentum Betz dalam aplikasi blade turbin dapat dilakukan dengan menerapkan teori Glaurent dimana dapat meningkatkan koefisien daya (power factor) dari rotor.

Sedangkan menurut Gorban, et.al (2002), efisiensi turbin dapat ditingkatkan dengan memodifikasi aliran Kirchoof dimana dapat meningkatkan efisiensi hingga mencapai 38 %. Hal ini tentu lebih baik bila dibandingkan dengan turbin propeller yang diaplikasikan pada free flow yang efisiensinya berkisar 10 – 20 %.

Gorlov (2001), mengemukakan bahwa untuk turbin helical yang diaplikasikan untuk mengkonversi energi arus laut maupun sungai dapat bekerja dengan efisiensi 35 %. Turbin ini merupakan pengembangan dari turbin Darrius yang mempunyai blade lurus.

Bernard et.al (2008), mengemukakan bahwa dalam proses konversi energi arus laut digunakan sebuah generator untuk menghasilkan energi, mengubah energi kinetic arus untuk menghasilkan gaya dari turbin air ke arus laut. Dalam analisa numeric aliran arus pada turbin Achard digunakan software Fluent 6.3. 2D numerik yang dilakukan dengan komputasi software Fluent 6.3., untuk menggambarkan lintas arus yang stabil di sekitar bagian dari blade dari turbin Achard. Nilai dari kecepatan upstream diambil agar bilangan Reynolds pada profil tetap melampaui 105, sehingga arus dapat diasumsikan memiliki karakteristik yang sama seperti pada kasus rotasi nyata. Dalam kenyataannya bahwa kecepatan rotasi turbin dibatasi oleh fenomena kavitasi. Itu terjadi ketika sebagian tekanan air lokal jatuh di bawah tekanan uap air dan dapat menyebabkan kerusakan serius pada blade turbin. Cavitation terjadi ketika blade turbine bergerak terlalu cepat melalui air, sehingga kecepatan turbin harus dibatasi. Kecepatan maksimum dari blades turbin relatif terhadap air terjadi pada titik dimana turbin bergerak berlawanan arah air yang mengalir. Dengan demikian, diameter turbin dan kecepatan aliran membatasi kecepatan rotasi turbin. Jari-jari turbin yang besar dan tingginya kecepatan air mengalir menyiratkan kecepatan rotasi yang rendah dan sebaliknya.

Guittet, et.al, (2004) mengemukakan bahwa turbin air sumbu vertikal merupakan turbin yang dapat bekerja secara efisien dalam mengkonversi tenaga dari aliran air.

Zanette, et.al.(2007), mengemukakan bahwa pengembangan geometri baru dalam desain turbin memiliki beberapa keuntungan-keuntungan mengenai aspek mekanis. Penggerusan menekankan katup rata-

rata dan amplituda dari pemuatan yang siklis dapat mengurangi dengan mantap gejala kelelahan, meningkat;kan daya tahan dan penampilan operasi dari turbin. Penyelarasan usapan sudu dengan akar variasi panjangnya boleh memberi suatu cara yang potensial untuk turbin

Antheaume, et.al (2007), mengemukakan bahwa berdasarkan simulasi dan eksperimen diperoleh efisiensi maksimum untuk turbin Darrius 23 %, turbin Gorlov 35 % dan turbin Harvest (Zanette 2007) sebesar 39,4 %. Hal ini merupakan inovasi baru dalam pengembangan turbin air poros vertical dengan model blade helical.

Georgescu, et.al.(2007), mengemukakan bahwa aplikasi turbin Achard pada wind tunnel dengan memanfaatkan kecepatan aliran angin dengan aplikasi turbin Achard pada aliran air menunjukkan kinerja yang hampir sama sehingga ekspektasi untuk menerapkan hukum similaritas dalam konsep pengembangang turbin angin dapat diaplikasikan pada system konversi energi arus air.

Lebih lanjut Georgescu, et.al., (2007) menggunakan software Comsol Multiphysics 2D Flow melakukan simulasi turbin Achard dengan memodelkan blade turbin menggunakan profil NACA 4518 hasilnya koefisien drag dan koefisien lift tidak ada perbedaan dengan profil NACA 0018. Tidak ada perbedaan-perbedaan yang penting antara

Nilai-nilai koefisien-koefisien hambat dan lift baik bersifat percobaan dan yang di hitung serta melalui simulasi.

Alexander, et.al (2008), mengemukakan bahwa turbin aliran axial yang bekerja pada rentang head 4 – 0 m menghasilkan efisiensi hydraulic 68 %, akan tetapi turbin ini tidak dapat bekerja pada head yang lebih rendah atau tidak beroperasi pada ekstra low head.

Kirke, (2006) mengemukakan bahwa aplikasi turbin arus dengan memanfaatkan tunnel/ducted dapat menghasilkan efisiensi yang lebih besar dari Betz limits sehingga memungkinkan untuk menghasilkan konversi energi arus air dengan efisiensi lebih dari 60%.

Antheaume, et.al. (2008) mengemukakan bahwa turbin Darrius yang diaplikasikan sebagai Cross Flow Water Turbin mempunyai efisiensi sebesar 40,5 % sedangkan jika diaplikasikan sebagai Axial Flow Turbine efisiensinya 34,85 % sehingga CFWT lebih efisien 6% dibandingkan AFWT.

Maître, et.al. (2008) mengemukakan bahwa Turbin Achard mempunyai efisiensi lebih baik dibandingkan turbin axis lainnya. Dari hasil pengujian diperoleh frekuensi putaran 30 Hz untuk 3 Blade dan 10 putaran per sekon.

Hansen (2008) mengemukakan bahwa pada desain blade turbin harus memperhatikan teori momentum elemen bade (Blade Element Momentum) yang dikemukakan ole Galueret (1935). Dengan mengaplikasikan algoritma BEM dalam control volume, tangensial dan distribusi normal beban, dapat

diketahui parameter umum seperti daya mekanik, daya dorong serta momen lenturnya yang merupakan parameter penting dalam sebuah desain turbin.

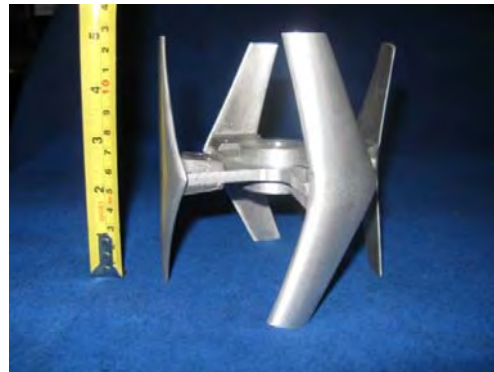
III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut

1. Pembuatan alat rancang bangun rig uji
2. Instalasi pengujian alat rancang bangun rig uji
3. Tahapan pengujian kinerja turbin

2.1 Pembuatan Alat rancang bangun rig uji

Turbin aliran melintang terdiri dari runner turbin dan rumah turbin. Runner turbin berjumlah 4 buah dengan variasi jumlah sudu 3, 4, 5 dan 6 sudu, dengan variasi sudut serang 00, 50, dan 100 terbuat dari aluminium cor yang dibentuk dengan proses pengecoran, dengan ukuran diameter 125 mm dan tinggi 125 mm seperti Gambar 1. Rumah turbin dibuat dari acrylic lembaran tebal 10 mm, rumah turbin dilengkapi dengan sudu pengarah yang berfungsi sebagai pengarah aliran masuk turbin . Bagian depan rumah turbin dibuat dari acrylic. Hal ini dimaksudkan agar runner turbin bisa dilihat dari luar waktu aliran fluida mengenai turbin.



Gambar 1. Runner turbin Zanette 2007/ Sayap Delta.

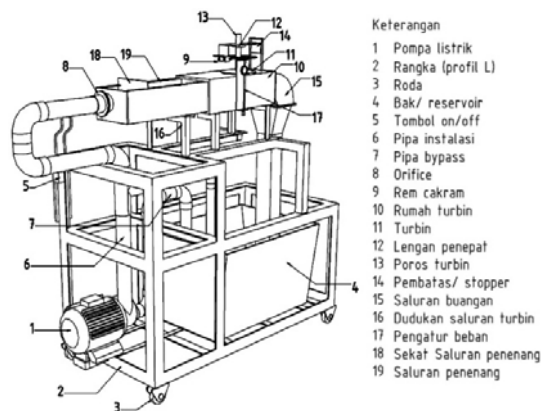
Rangka, berfungsi untuk menopang dan penempatan peralatan pada alat uji seperti turbin, generator, bak air, perpipaan, dan lain-lain.. Rangka dibuat dari baja profil -L ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dan dibuat kokoh untuk menopang beban 135kg ,meredam getaran. Kaki-kaki rangka diberi roda agar praktis dalam pemakaian. Ukuran rangka menyesuaikan kebutuhan ruang untuk penempatan peralatan.

Bak air, berfungsi untuk mensuplai dan menampung air. Ukuran bak air 125 liter menyesuaikan kebutuhan air pada alat uji turbin.

Instalasi pipa, berfungsi sebagai penghantar aliran (pipa pesat) dari bak air ke turbin. Instalasi pipa terdiri dari pipa PVC 3 inci, perlengkapan pipa (sambungan dan belokan), dilengkapi dengan katup gerbang untuk mengatur aliran, dan alat ukur aliran orifis.

Komponen lain, yang merupakan komponen utama instalasi pengujian adalah pompa sentrifugal, rem/generator listrik. Pompa sentrifugal berfungsi untuk mensirkulasikan air dari bak air ke nosel turbin. Pompa yang digunakan mempunyai kapasitas 1000 l/menit dengan head 14 m. Sebagai penggerak pompa biasanya digunakan motor listrik 3 fasa daya pompa 1500 watt. Oleh karena tidak semua tempat bisa menyediakan sumber listrik 3 fasa, maka akan digunakan penggerak motor bakar torak. Generator listrik berfungsi untuk merubah kerja mekanik turbin menjadi energi listrik, bisa juga diganti dengan rem sepeda untuk pembebanan. Alat ukur, digunakan untuk mengukur parameter-parameter yang diperlukan dalam pengujian yang meliputi Termometer air untuk mengukur temperatur air, Tabung (selang) manometer untuk mengukur tinggi-tekan air pada orifis, Manometer Bourdon untuk mengukur tekanan isap tekan pompa dan nosel, Stopwatch untuk mengukur waktu, Torsi meter untuk mengukur torsi keluaran turbin, Tachometer untuk mengukur putaran poros turbin,

Instalasi pengujian, komponen-komponen yang telah dibuat seperti telah disebutkan di atas dirangkai menjadi instalasi pengujian turbin Zanette 2007/ Sayap Delta seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Instalasi pengujian turbin Zanette 2007/Sayap Delta.

2.2 Tahapan Pengujian

Uji yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin yang dilakukan terhadap 4 runner turbin Zanette dengan variasi jumlah sudu 3, 4, 5, 6 buah sudu. Hasil uji berupa grafik karakteristik masing-masing runner dibandingkan dan dikaji unjuk kerjanya.

Langkah-langkah pengujian meliputi:

Persiapan, dilakukan untuk mengecek instalasi pengujian dari kebocoran, mempersiapkan alat ukur dan mengkalibrasi, serta perlengkapan lain yang digunakan untuk pencatatan data.

Pelaksanaan pengujian, dimana pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah beda tekanan pada orificemeter, putaran dan torsi poros turbin, serta

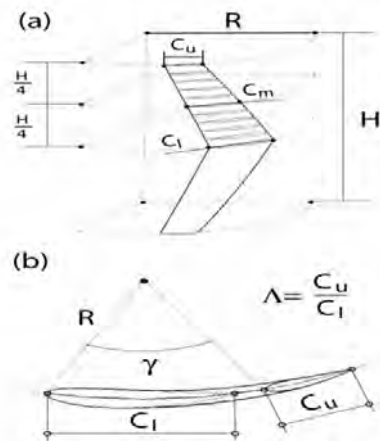
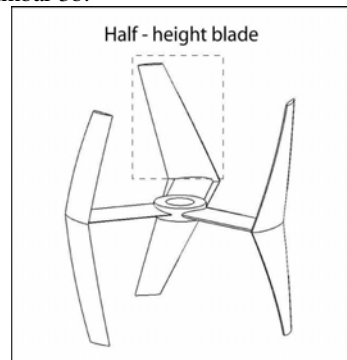
tegangan dan arus listrik keluaran generator. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah jumlah sudu runner turbin. Beban pada generator divariasikan hingga 5 kali dan setiap variasi dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter di atas.

Pengolahan dan Analisis, data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan debit aliran air, daya kinetik pancaran air darisudu pengarah, daya poros dan daya hidrolik turbin, efisiensi turbin. Hasil pengolahan kemudian dipajangkan dalam bentuk grafik karakteristik turbinZanette. Unjuk kerja masing-masing turbin dikaji dan dibandingkan. Analisis akan menghasilkan kesimpulan pada turbin mikro Crossflow dengan sudut sudu tertentu yang mempunyai unjuk kerja terbaik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

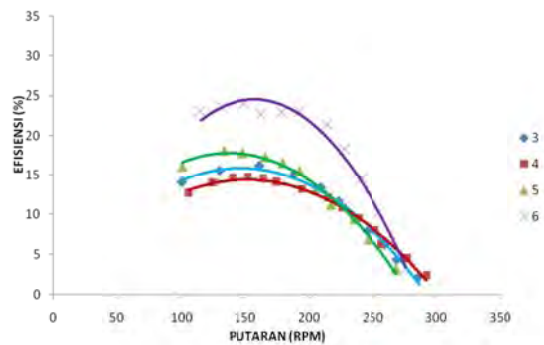
3.1.Hasil

Turbin Zanette sayap delta dibuat dari alumunium alloy setelah melalui rekayasa dan gambar teknik menggunakan perangkat lunak Solidwork. Bentuk dan dimensi turbin Zanette 2007/ Sayap Delta seperti diperlihatkan dalam gambar 3. Profil secara *cross section* dari setiap sudu turbin diperlihatkan pada gambar 3b.



Gambar 3. Typical Zanette 2007 turbine: $N=3,4,5,6$, $R=62.5mm$, $H=125mm$, $\gamma=30^\circ$, $C_u=15,3mm$, and $C_i=30,51mm$ ($C_m=22,9mm$, $A=0,5$, $S=1,1$)

Turbin Zanette/Sayap Delta dengan jumlah sudu 6 memiliki karakteristik yang lebih baik dari jumlah sudu 3,4 dan 5 seperti Gambar 4 grafik di bawah ini



Gambar 4 Karakteristik turbin *Zanette* jumlah sudu 3, 4, 5 dan 6 sudut $chord 5^0$.

3.2 Analisis Pembahasan

- Mesin rancang bangun rig uji yang dibuat bisa digunakan untuk praktikum penelitian kinerja turbin aliran terbuka seperti turbin *Zanette*.
- Mesin rig uji bisa digunakan untuk variasi kecepatan aliran fluida.
- Mesin rig uji bisa digunakan untuk menguji turbin aliran melintang (CFWT) skala laboratorium.

V. KESIMPULAN

Turbin *Zanette* sudu 4 mempunyai efisiensi paling rendah (14%), diantara 4 sudu turbin yang diteliti.

Dari keempat percobaan penelitian yang telah dilakukan mempunyai garis kecenderungan (trendline) yang sama, tetapi mempunyai efisiensi yang berbeda

Dari grafik Gambar 9 terlihat jelas bahwa turbin *Zanette* dengan jumlah sudu 6 mempunyai nilai efisiensi 25% pada putaran poros turbin 160(rpm), lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *Zanette* dengan jumlah sudu 3,4,dan 5, kemudian akan menurun dengan bertambahnya putaran poros turbin

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrei-Mugur dkk, 2007, Numerical Modelling Comparison Between Airflow And Water Flow Within The Achard-Type Turbine, 2nd IAHR International Meeting of the Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems Timisoara, Romania
- [2] By Alexander M. Gorlov, A., M., 2005, Hydraulic Cross-Flow Turbines,
- [3] Maître, T., dan Achard,J.L., 2005, Marine Turbine Development: Numerical And Experimental Investigations,
- [4] Sutisna N. 2007. Departemen Energi Kembangkan Sistem Mikrohidro. Tempo News Room. <http://www.tempo.co.id/hg/nusa/jawamadura/..brk,20040417-08,id.html>

- [5] Pugh, Stuart (1990), “ Total Design “, Addison-Wesley Publishing Company
- [6] Sylvain dkk, 2007, A Innovative Modelling Approach To Investigate The Efficiency Of Cross Flow Water Turbine Farms, 2nd IAHR International Meeting of the Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems Timisoara, Romania
- [7] ZANETTE, J., IMBAULT, D., dan TOURABI, A., 2007, Fluid-Structure Interaction And Design Of Water Current Turbines, 2nd IAHR International Meeting of the Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems Timisoara, Romania
- [8] Zulkarnain, Soekarno, H, Berlian A. 2004. Sistem Piko Hidro untuk Daerah terpencil.

Tracking OCL IC-Engine Using PID for Vehicle Equipped With EMDAP-CVT

Sugeng Ariyono¹, Bambang Supriyo², H.Saptono¹, Nanang Budi Sriyanto¹

¹Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof.H. Sudarto, SH, Tembalang, Kotak Pos 6199/SMS, Semarang 50329

²Jurusan Teknik Electro Politeknik Negeri Semarang, Contract Staff at UTM, Malaysia

E-mail : s.ariyono@yahoo.com¹, bsupriyo7763@yahoo.com², herusaptono57@yahoo.co.id

Abstract— *Continuously variable transmissions (CVT) have received great interest as a viable alternative to discrete ratio transmission in the passenger vehicle. It is generally accepted that CVTs have the potential to provide such desirable attributes as: a wider range ratio, better fuel economy, shifting ratio continuously and smoothly and good driveability. With the introduction of Continuously Variable Transmission (CVT), maintaining constant engine speed based on either its optimum control line or maximum engine power characteristic could be made possible. This paper describes the simulation work in drivetrain area using PID controller as main control to maintain engine speed at the optimum speed. Even though the drive train model is highly non-linear; and it could not be controlled satisfactorily by common linear control strategy but with the help of electromechanical CVT with a discrete ratio change the use of PID could be made possible. PD is uses as the transmission control unit (TCU) for electromechanical CVT to control ratio change. In this work, the simulation results of PID into drive train model showed that this highly non-linear behaviour could be controlled satisfactorily.*

Keyword: *electromechanical CVT, engine speed control, CVT control, PID Controls*

I. INTRODUCTION

One of the major challenges faced by car industry today is the reduction of the fuel consumption of automobiles. For this task to be accomplished a combination of the following three approaches has to be employed.

- reduction of car mass
- increase of fuel efficiency of the engine

In this paper, we will focus on the 3rd aspect which is increasing fuel efficiency of the engine by operating the engine at its optimum conditions. As seen in Fig. 1, the typical engine map shows the torque curve, fuel consumption and its power for every throttle opening. Increase of fuel efficiency of the engine can be done by running the engine along its optimum control operating line (OCL). It is almost impossible to maintain engine speed on its OCL by using fix gear transmission. Continuously variable

transmission (CVT) enables the engine to run at either its fuel-efficient operating point or its maximum power for any vehicle load, due to its wide range coverage of the transmission ratio, hence improving the engine optimisation. Although well known for quite a long time this technology never gained much attention because of its limited power range and due to a reliability problem. Since in both respects remarkable progress has been made CVT's have become a very interesting preposition.

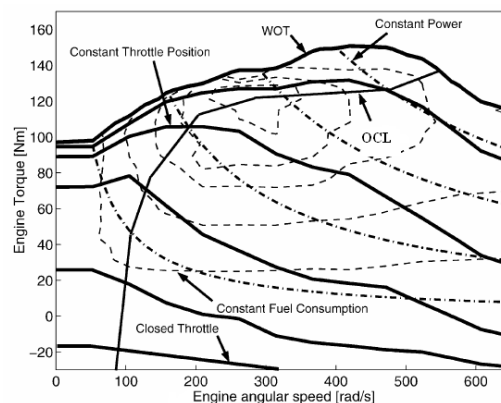


Figure 1. Typical engine map with the optimum control line (OCL)

Many researchers have done in controlling the CVT by many different approaches such as: Guzzella stated that based on his experience with classical control such as PID approach the outcome was not very encouraging, unless reinforced with a gain scheduled controller with typically 100 difference gain points [1]. Masayuki Fuchino and his partner Kouhei Ohsono, both came from Honda R & D Co. Ltd. They started controlling CVT with a very basic control system by giving read data obtained throughout their company experiment involving CVT since 1962, [2]. In 1962, the company introduced the first mass production hydraulically operated CVT into the market with the Juno, a scooter with a 0.175 liter engine generating 8.8 KW. Until the end of 1996 this company has successfully developed a new generation CVT for the 1.6 liter economy car, Civic series.

Fuchino M., Ohsono K. (1996) introduced

synthesized control method that can be used for maintaining engine being the optimal working point according to road load by regulating the transmission ratio and throttle opening, [3,4]. Because the characteristic of the engine and the transmission varies greatly under different road conditions. It is very difficult to control the transmission ratio and throttle opening to meet such demand.

II. DRIVE TRAIN MODEL

A vehicular drive train is depicted in Fig. 2. It consists of the engine, clutch, EMDAP-CVT transmission, final drive, drive shaft and wheels. In this section basic equations for the drive train will be derived including the forces acting on the wheels. These equations are influenced by aerodynamic drag, rolling, gradient and acceleration resistances. The dynamic behaviour of the clutch is neglected because the drive train model is assumed to be controlled when the clutch is fully engaged. The EMDAP-CVT does not need a clutch when changing the transmission ratio. The clutch is only needed when the vehicle starts or stops moving.

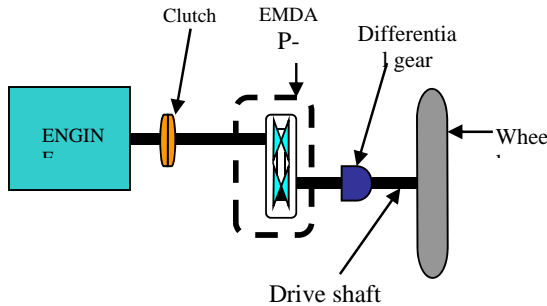


Figure 2. A vehicular drive train

With the above assumption, the vehicle drive train in Figure 3.1 can be simplified in the form of a drive train model as shown in Figure 3, where the dynamics of the drive train is divided into three parts: engine (a), transmission (EMDAP-CVT) (b) and wheel (c).

Engine: The output torque of an internal combustion engine (ICE) is characterised by the driving torque resulted from combustion. The output torque is a function of throttle angle, $\theta_{throttle}$, and engine speed, ω_e . The engine model is based on the engine torque characteristic obtained experimentally.

$$\dot{\omega}_e = \frac{1}{I_e} [T_e - T_{e,cvt}]$$

Transmission: Usually, a transmission has a set of gear ratios, but an EMDAP-CVT has the continuous transmission ratio within is limiting. The EMDAP-CVT model is implemented in the drive train system. This transmission has continuous ratio change within a range of 3.2 to 0.6.

Wheel: The wheels are the representation of the vehicle overall payload when the vehicle is moving.

This payload has to be overcome by the engine power. The required power at the wheel is transmitted by the engine through a specific transmission ratio.

$$\dot{\omega}_w = \frac{1}{I_w} [T_{cvt,w} - T_w] \tag{2}$$

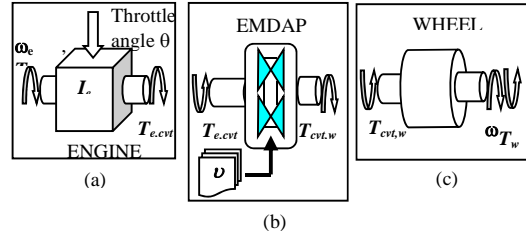


Figure 3 Drivetrain model

Most researchers use Euler's equation as the basic equation and derived based on Figure 3 [1,5,6,7,8,9].

Since the function of EMDAP-CVT is to transfer torque from the engine to the wheels, $T_{e,cvt}$ denotes the torque applied to CVT by the engine. By modelling the EMDAP-CVT as single integrator (refer Figure 2b.) [1,9], the equation of torque relation can be given as:

$$T_{cvt,w} = v T_{e,cvt} \tag{3}$$

$$\dot{v}(t) = u(t) \tag{4}$$

The kinematics relationship of the shaft speed on either side of the EMDAP-CVT is given by:

$$v \omega_w = \omega_e \tag{5}$$

Simplifying equations (1)-(5), the vehicle engine angular acceleration will be given as:

$$\dot{\omega}_e = \frac{v T_e - (\dot{\omega}_w I_w + T_w)}{I_e v} \tag{6}$$

And the vehicle engine torque, T_e , will be given by:

$$T_e = f(\omega_e, \theta_{throttle}) \tag{7}$$

Most of the current researches [1,5,6,7,8,9], the engine torque was approximated by second order polynomial, but actually the engine torque map is very complicated and almost impossible to develop the model by second order polynomial. Thus the author tries to develop the engine map model using the look-up table based on the data experiments.

(1) The external torque in the equation (6) is equal to the sum of total resistance multiplied by effective radius of tyre.

$$T_w = (Ra + Rr + Rg + Ri) * r \tag{8}$$

The external resistance of drag resistance, Ra , rolling resistance, Rr , and acceleration resistance, Ri , are the function of vehicle speed. Whereas gradient resistance is the function of road slope.

Both vehicle speed and road gradient are the external disturbance in the vehicle controller. When the throttle opening remained constant, transformation of the road gradient will have an increase with transformation of the engine speed. Therefore, to keep engine speed constant, the transmission ratio needs to be adjusted throughout the controller. This external vehicle load is unpredictable throughout the road condition resulting from a highly non-linear problem.

III. THE PROPOSED DRIVE TRAIN CONTROLLER

The development of drive train model has been discussed in section II, where the vehicle speed is controlled by the throttle opening, $\theta_{throttle}$, and the desired gear ratio, ν . Any external disturbance either comes from road profile or headwind will affect the vehicle speed as well as engine speed. Figure 4. It shows a typical transmission ratio performance for maximum engine power when the throttle is fully opened (WOT) based on the Daihatsu Mira 660 cc engine.

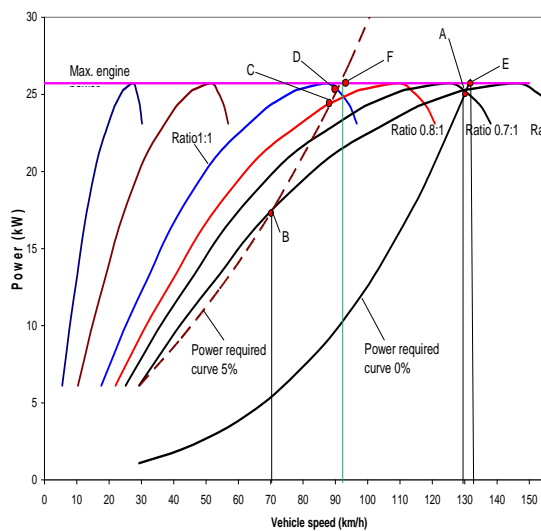


Figure 4. Calculated of typical transmission ratio performance for maximum engine power based on the Daihatsu Mira 660 cc engine.

When a vehicle is moving on a flat road, the maximum speed achieved for a gear ratio of 0.6:1 is 130 km/h as shown by point A, which is the intersection between power required at 0% road gradient and gear ratio 0.6:1 curve. However, at the point A the engine power is not at the maximum engine power. The control strategy is to ensure the engine speed operates at its maximum engine power. For the maximum engine power requirements, the required gear ratio is given by point E, which is in-between 0.7:1 and 0.6:1 of the discrete gears. For discrete gear system, the transmissions with either settle to gear ratio of 0.7:1 or 0.6:1 which will result

with the engine speed not operates at the maximum engine power. Similarly, if the road slope is 5%, the power required to overcome the load is shown by power required curve 5%. For a constant gear ratio of 0.6:1 the vehicle speed will be 70 km/h as given by point B. Using the same control strategy, the required gear ratio is given by the point of intersection between the power required line and the maximum power line at point F. For discrete gear ratio transmission this cannot be achieved since the gear ratio of 1:1 is given by point D and 0.8 is given by point C, which do not meet the maximum engine power requirement. Therefore, the control strategy that ensures the engine speed is at the maximum engine power can only be achieved using CVT, where the power line saturates at the maximum engine power once the low gear reach the maximum power.

With this control rule, a controller algorithm is proposed as an outer loop controller namely PID controller. Figure 5. It shows the control scheme of PID classical control as the outer loop controller.

IV. PID OUTER LOOP CONTROL SCHEME

The control scheme consists of an inner loop and an outer loop sub-systems. The inner loop control system is used to rotate the two DC motors independently and accordingly to obtain the desired ratio. The inner loop controller is the same for both control schemes. The outer loop control system evaluates the interaction between the engine, EMDAP-CVT and load dynamics as well as the driver's demand and road condition and produces the desired ratio used by the inner loop control system as its input.

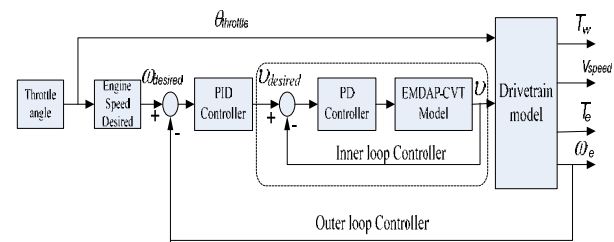


Figure 5. PID controller used for outer loop drive train control.

In the inner loop, although the clamping force required by the pair of pulley sheaves to hold the metal belt without slip is almost 20 kN, with the used of the gear reduction and power screw mechanism. Classical control such as PD controller is sufficient to control the two DC motors with output torque of one Nm.

B. Inner Loop Control System

The electromechanical dual acting pulley CVT (EMDAP CVT) system utilizes two DC motors as actuators. These two DC motors have to be control independently and accordingly to produce the desired ratio. The input shaft with input pulley sheaves is

designed in such a way that the displacement of the moveable power screws is the same as the pulley sheave. The rotation of the primary DC motor can directly measure the displacement of the primary pulley sheave; hence the measure of the radius of the belt at the primary pulley will determine the EMDAP-CVT ratio.

The length of the metal pushing V-belt is always constant, but the relationship between the input pulley radius and output pulley radius is non linear, hence a more advance control strategy for the DC motor is needed. The output shaft with secondary pulley sheaves has been designed to reduce slip due to transient force during ratio change. A spring disc is inserted at the back of each secondary pulley sheave to provide a continuous clamping force.

The belt radius at the primary pulley is not equal to the radius at the secondary pulley, and hence the rotation of DC motor for the primary pulley should not be equal to the secondary pulley as shown in Figure 6. Strategies the rotation of the two DC motors is handled by the inner loop controller using the PD type controller.

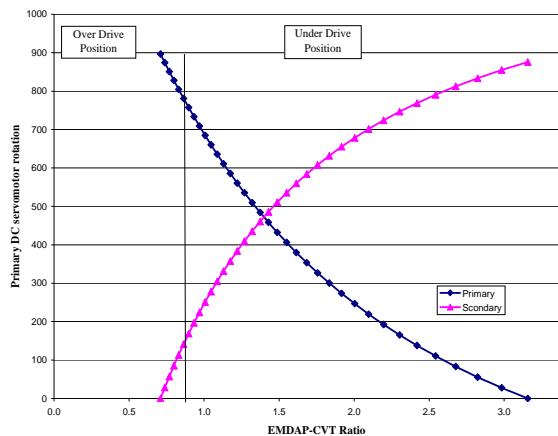


Figure 6. EMDAP-CVT ratio based on the DC motor rotation.

Figure 6 shows that the rotation of the primary DC motor is not equal to the rotation of the secondary DC motor. When the EMDAP-CVT ratio is in the underdrive position, the secondary DC motor encoder must be 788.29, and the primary DC motor encoder must be in the zero position. Conversely, if the EMDAP-CVT ratio is at maximum overdrive, the primary DC motor encoder has the value of 900 and secondary DC motor encoder must be in zero positions. The curves shown in Figure 6 are used as the reference for the two DC motors to rotate in order to obtain the desired EMDAP-CVT ratio. Because the transient force has been overcome by the disc spring, the rotation of both DC motors can either be rotated simultaneously or with delay.

C. Simulink Block Diagram of EMDAP-CVT

Figure 7 shows the complete Simulink diagram of EMDAP-CVT with PD controller to control the

position of the DC motor. This block diagram is built based on rotation of the two DC motors independently and accordingly. Each of the DC motors rotates to achieve its position by tracking the curve as shown in Figure 6. Two functions; (GRset to Rp_set) and (Rp_set to Xp_set); We are used to determine the pulley sheave position. The position of secondary DC motor is determined using function (Xp_act to Xs_set) based on the secondary pulley curve shown in Figure 6.

By controlling the two DC motor positions the ratio change of EMDAP-CVT can be controlled according to the desired ratio to keep the engine speed constant although in the presence of vehicle load.

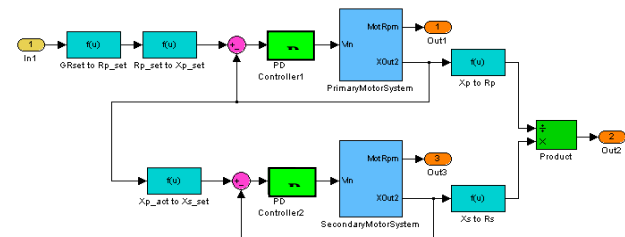


Figure 7. Simulink block diagram of EMDAP-CVT with PD

Persamaan matematika ditulis menggunakan format rata tengah dan diberi nomor yang ditulis di dalam kurung yang ditempatkan di margin kanan dari baris persamaan tersebut. Persamaan sebaiknya dituliskan menggunakan MS Equation pada MS Word. Persamaan (1) menunjukkan contoh penulisan persamaan.

$$F = m.a \tag{1}$$

V. RESULTS AND DISCUSSION

A. Performance of Inner Loop Control System

Figure 8 shows the simulation results of the performance of PD controller for the EMDAP-CVT ratio change from a low gear to a high gear. The PD gains were obtained using Ziegler-Nichols method with the value of 120 and 20 respectively. The time required to reach high gear from low gear is almost 10 seconds and vice versa. With this response of almost 10 second, the PD controller is quite sufficient to be used as the inner loop controller. Because for the vehicle acceleration performance where the car with manual transmission reaches the speed of 100 km/h within 10 seconds, it can be reached by using the transmission ratio up to 3rd gear ratio instead of 5th gear ratio. Due to the dynamic behaviour of the system it is almost impossible to follow the trajectory of a pulse generator exactly. In real implementation, the EMDAP-CVT ratio change is gradual as shown in Figure 9 in the form of the triangle.

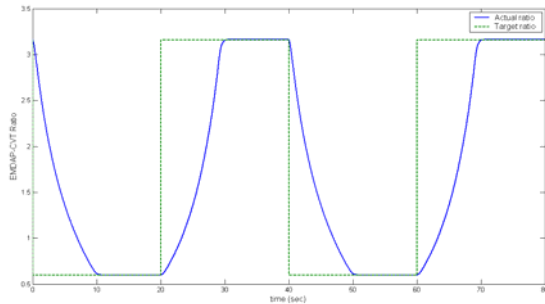


Figure 8. The response of PD controller with pulse generator input

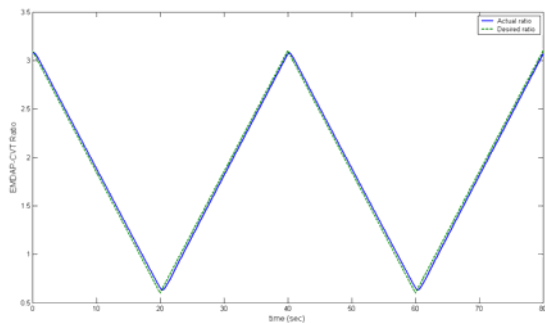


Figure 9 The response of PD controller with triangle form input

When the EMDAP-CVT ratio change in a triangular form, the output response of the inner loop system using PD controller with the same gains values are shown to have the ability to track the target ratio as shown in Figure 4.8. Even there is the phase shift in the graph, but the error is below 2% or 0.06 EMDAP-CVT ratio and considered as the steady state. These simulation results also demonstrate that the tracking errors are small, as shown in Figure 10. This indicates that the PD controller is suitable for the inner loop controller.

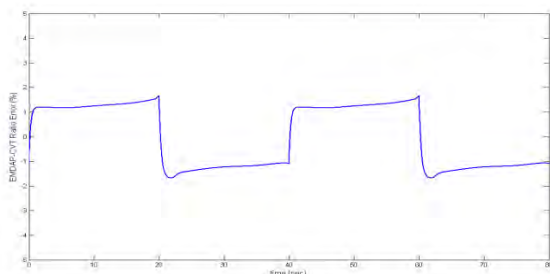


Figure 10. Error of the inner loop controller

B. Performance of Outer Loop Controller

Controlling the engine speed at its desired speed based on the appearance driving is the objective of the proposed drive train control scheme. To study and evaluate the effectiveness of the outer loop PID controller performance for the drive train model, several throttle openings were used. Different road

gradients were used as road disturbance that represented a real road condition. Using Simulink program with Heun method, fixed step solver option and single tasking, the simulation results are presented below.

The outer loop performance using PID controller is shown in Figure 11. The throttle opening is adjusted at three different level 15, 40 and 80% respectively. With 0% road gradient the desired engine speed can be achieved in about 100 seconds. Figure 11 shows that the time response for every throttle set is almost similar to throttle opening of 15, 40 and 80%. The desired engine speed can be reached by adjusting the EMDAP-CVT ratio as shown in Figure 11(b). At 0% road gradient the steady states are achieved when the EMDAP-CVT ratio is at overdrive position, where the EMDAP-CVT ratio is below 1:1. Figure 11(c) shows that the engine speed error is almost equal and reached steady states in 120 seconds.

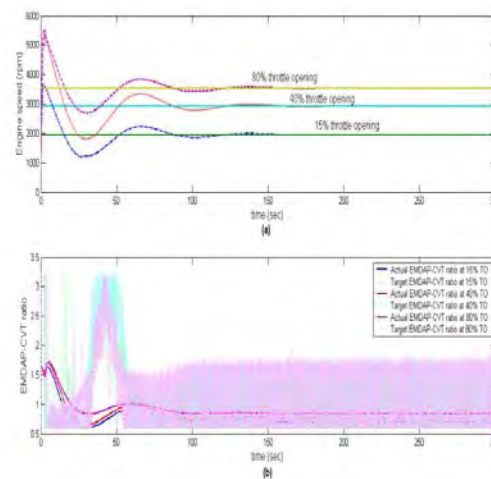


Figure 11. PID simulation results for various constant throttles opening at 0% road gradient

The overall simulation results are acceptable but the output of the outer loop PID controller is chattering as shown in Figure 12. This phenomenon occurs at any throttle angle and various road gradients. According to Guzzella and Schimd, (1995), the PID controller is not suitable for non linear equation; this may be the reason why the output of the outer loop controller using PID is chattering. Since the output of the outer loop controller is chattering, implementation in the real system will result with poor performance.

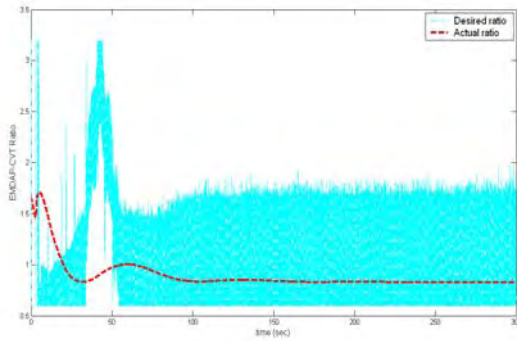


Figure 12. The EMDAP-CVT desired ratio and the actual ratio at 40% throttle opening.

C. Constant Throttle Opening With Road Gradient Variation

Figure 13 shows the simulation result of the outer loop controller using PID control system. The throttle is set at 80% and road gradient is assumed to be 3, 5, 7, and 10% inclination. The time response is almost similar to the different road gradients, but the overshoot for every road gradient is slightly different as shown in Figure 13(a). The EMDAP-CVT ratio response to keep the engine speed constant at its desired speed is presented in Figure 13(b), where the outputs of the outer controller are chattering.

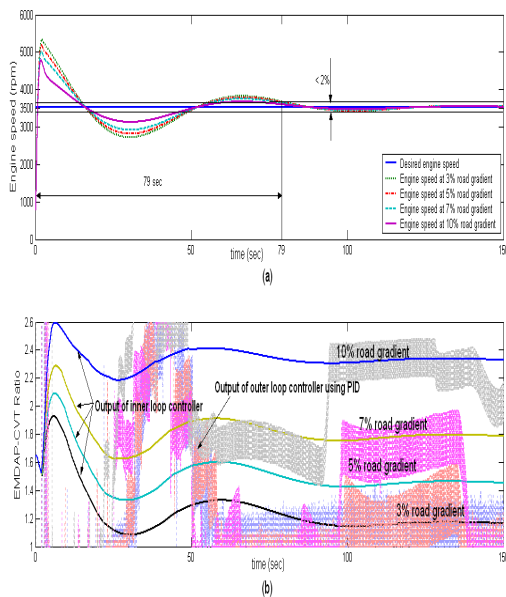


Figure 13. Performance of PID controller as the outer loop controller at 80% throttle opening with road gradient variation

Figure 4.13(b) shows that high inclination road gradient will increase the EMDAP-CVT ratio. As the road gradient increases, the vehicle load will increase. Hence to overcome the increase load the EMDAP-CVT ratio has to be increased. The vehicle load of 10% load gradient is higher than the vehicle load at

7% road gradient, so that the transmission ratio at 10% road gradient is higher than the ratio at 7% road gradient.

D. Effect of Different Throttle Opening Profile and Road Gradient Variation

To simulate a normal driving condition, the throttle opening is set at three different profiles, which are sinusoidal wave, trapezoid wave and mixed profile. Five different road gradients studied are 0, 3, 5, 7 and 10% inclination to test the climbing ability of the vehicle. Figures 14(b), 15(b) and 16(b) show the different responses of the outer loop controller system subjected to different road gradients. Basically, these three figures have the similar response time, where the desired engine speed can be reached in about 120 second for most of the throttle opening. In Figure 14(b), the desired engine speed can be reached in 120 seconds when the road gradient is above 3%. At 0% road gradient, the actual engine speed could hardly to track the desired speed with the same PID gain. This may be due to the vehicle load for 0% road gradient is less and the PID gain has to be readjusted [1]. The outer loop controller output is also chattering as observed in the previous simulation. Similar results were obtained for the other two throttle opening profiles. Figure 15(a) shows the trapezoid wave throttle opening, and the desired engine speed can be reached in 120 seconds as shown in Figure 15(b). But for mixed profile throttle opening the desired speed is reached in about 160 seconds.

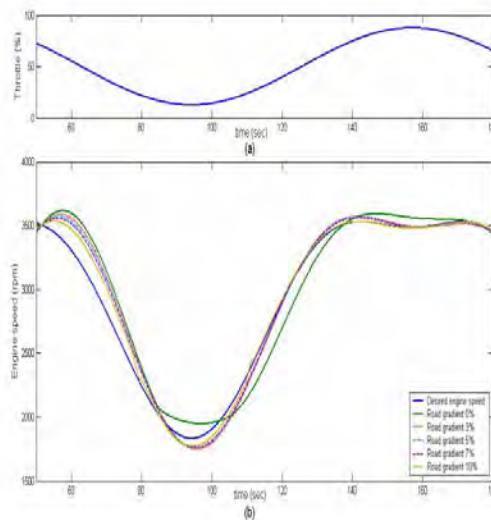


Figure 14. Sinusoidal wave throttle opening with road gradient variation using PID controller

The mixed profile throttle opening is set between 45 and 90% so that the torque generated by mixed profile throttle opening is also higher. Logically, with a higher generated torque the faster will be the response. This indicates that the PID controller is unsuitable for nonlinear system. Chattering of the outer loop controller output will make the

performance of a real system poor. This simple PID controller is impractical unless a gain scheduled controller as suggested by Guzzella and Schmid (1995) is implemented. Based on their experience with classical control approach the outcome is not very encouraging, unless reinforced with a gain scheduled controller with typically 100 difference gain points.

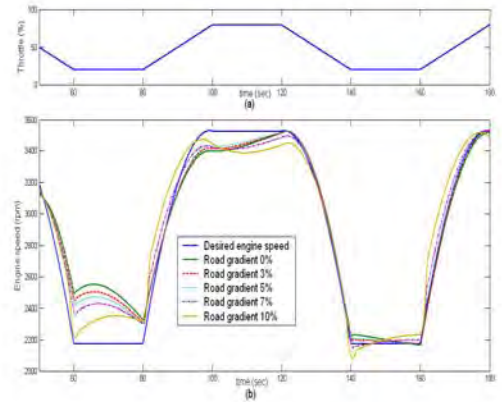


Figure 15. Trapezoid wave throttle opening with road gradient variation using PID controller, where the first 100 sec still in transient response.

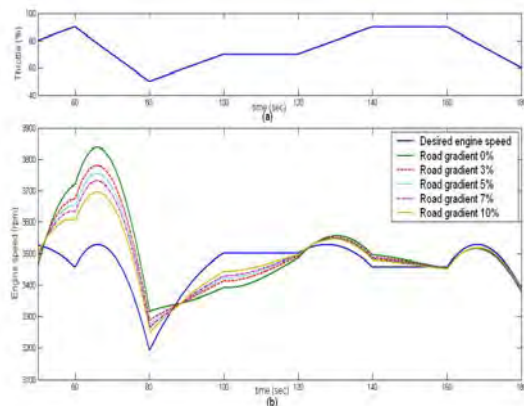


Figure 16. Mixed profile throttle opening with road gradient variation using PID controller

VI. CONCLUSION

The group has successfully developed a CVT controller using PID as outer loop control to maintain vehicle engine speed of a vehicle that traveled on various road gradients. PID is used to control the behavior between the engine and vehicle dynamic due to road condition, while the inner loop PID is used to control inner CVT ratio by controlling two DC motor simultaneously to achieve the desired ratio. The control model is implemented in Matlab/Simulink environment and is capable of simulating ratio and engine speed during ratio change due to external disturbance such as the road gradient. This serial control is working well but shows chattering, and it proves that PID can maintain engine speed to its referent by changing the ratio of the CVT.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the financial supported by Ministry of Science through the Esience programs for giving us the budget to do this research. Thanks to Automotive Laboratory Faculty Mechanical UMP to provide equipment for testing the engine performance and staffs of the Automotive Laboratory which give us very kind help.

REFERENCES

- [1] Guzzella L. & Schmid A, (1995), "Feedback Linearisation on Spark-Ignition Engines with Continuously Variable Transmission.", IEEE, Swiss Federal Institute Of Technology (ETH), Zurich, Switzerland, P 54-60
- [2] Sharon Liu and Anna G. Stefanopoulou (2002), "Effects of Control Structure on Performance for an Automotive Powertrain With a Continuously Variable Transmission", IEEE Transaction on Control Systems Technology, vol. 10, no. 5, September
- [3] Fuchino M., Ohsono K. (1996), "Development of Fully Electronic Control Metal Belt CVT", SAE Technical Paper Series 9636286
- [4] Hongyan W., Yunshan Z., Boying Z., Xiding Q (1999). "Research on Integrated Control Strategy of CVT for passenger cars", Proceedings of the American Control Conference, Arlington, VA June.
- [5] Kolmanovsky I., Sun J., Wang L. (1999), "Coordinated Control of Lean Burn Gasoline Engines with Continuously variable Transmission", Proceedings of the American Control Conference, San Diego, California, USA, p. 2673-2677
- [6] Liu S., Paden B. (1997), "A Survey of Today's CVT Controls", Proceeding of the 36th Conference on Decision and Control, San Diego, California USA, December, p. 4738-4743.
- [7] Hongyan W., Yunshan Z., Boying Z., Xiding Q.(1999), "Research on Integrated Control Strategy of CVT for Passenger Cars", Proceedings of the American Control Conference, Arlington, p. 401-405.
- [8] Foley D.C., Sadegh N., Barth E.J., and Vachtsevanos G.J. (2001), "Model Identification and Back stepping Control of Continuously Variable Transmission System", Proceedings of the American Control Conference, Arlington, June, p. 4591-4596.
- [9] Setlur P., J.R. Wagner, D.M. Dawson and B. samuels (2001), "Non-linear Control of a Continuously Variable Transmission (CVT) for Hybrid Vehicle Power trains", Proceedings of the American Control Conference, Arlington, p. 1304-1309.
- [10] Rumelhart, D.E., Hilton, G.E., and Williams, R.J. (1986). "Learning Internal Representations by Error Propagation. In Rumelhart, D.E., and McClelland, J.L. (editor), Parallel Distribution

- Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition”, chapter 8. MIT Press, Cambridge, MA, and London, England.
- [11] Bryson, A.E. and Ho, Y.C. (2001) “Applied Optimal Control”, Blaisdel, New York.
 - [12] Mohd. Yatim A.H. and Utomo W. M. (200) “Adaptive Neural Network Efficiency Optimization Control of A Variable Speed Compressor Motor Drive”
 - [13] Astrom, K. J. and Wittenmark, B. (1995). Adaptive Control. USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co Inc.
 - [14] Narendra, K. S., and Parthasarathy, K. (1990). Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks. IEEE Transactions Neural Networks. 1(1): 4-27.
 - [15] Mills, P. M., Zomaya, A. Y. and Tode, M. O. (1996). Neuro Adaptive Process Control. England, John Willey and Son Ltd
 - [16] Gupta, M. M. and Sinha, N. K. (1995). Intelligent Control Systems Theory and Applications. IEEE Press. New York.
 - [17] Lu, Z. Y. (1996). Industrial Intelligent Control. England, John Willey and Son Ltd.

Audit Energi pada Sistem Kelistrikan di Industri Pengolah Emas

Yuriadi Kusuma

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650

Email: yuriadi@mercubuana.ac.id

Abstrak -- Audit Energi adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui pola konsumsi dan distribusi energi pada suatu industri. Dari sini kita akan dapat menemukan potensi penghematan energi, sehingga hasil akhir dari suatu Audit Energi adalah sederet usulan rekomendasi penghematan. Tulisan ini menjelaskan tentang Audit Energi khususnya pada sistem kelistrikan di industri Pengolahan Emas milik PT.Antam di Pongkor. Proses Audit Energi dimulai dengan melakukan pengukuran terhadap peralatan utama sistem kelistrikan serta dilanjutkan dengan analisa terhadap data-data hasil pengukuran.

I. KUALITAS DAYA DAN EFISIENSI

Kualitas daya sangat erat hubungannya dengan hal-hal sebagai berikut:

a. Fluktuasi tegangan, merupakan rentang perubahan tegangan maksimum dan minimum. Besarnya tegangan sangat berpengaruh terhadap pengoperasian suatu peralatan. Apabila tegangan yang disuplai ke beban melebihi tegangan nominalnya maka akan terjadi *over voltage* dan kemungkinan terjadinya gradien tegangan lebih besar, dan bisa menyebabkan *discharge*. Sebaliknya bila tegangannya rendah jauh melebihi tegangan nominalnya, akan berakibat terhadap tidak berfungsinya peralatan listrik dengan baik, dan juga dapat menyebabkan arus lebih. Fluktuasi tegangan menunjukkan karakteristik fluktuasi beban konsumen, semakin rendah fluktuasi tegangan menunjukkan kondisi beban cukup baik.

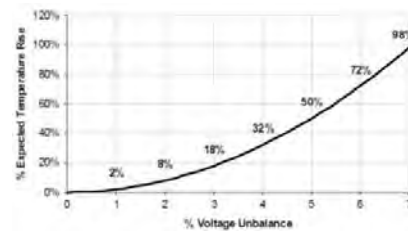
b. Ketidakseimbangan tegangan merupakan prosentase perbedaan tegangan antar fasa. Ketidakseimbangan tegangan terjadi apabila tegangan tiap fasa mempunyai besar dan sudut tegangan yang tidak standar, sehingga tegangan antara fasa tidak sama. Ketidak seimbangan tegangan sangat berpengaruh terhadap beban tiga fasa seperti motor dan trafo. Hal ini akan menyebabkan kenaikan temperatur, rugi-rugi panas dan energi serta penurunan kemampuan operasi.

Tegangan turun, tegangan lebih dan tegangan tak seimbang membawa dampak buruk berikut :

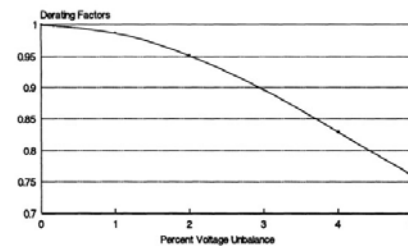
- Motor panas berlebih & berlanjut pada kerusakan isolasi.
- Arus beban yang tidak seimbang pada 3 fasa

- Urutan tegangan negatif.
- Merusak bearing motor listrik.
- Kecepatan motor bervariasi.
- Mengurangi mutu produksi.
- Mengurangi efisiensi motor.

Gambar-gambar dibawah ini menunjukkan hubungan antara ketidakseimbangan tegangan dengan hilangnya energi, naiknya temperatur motor dan berkurangnya daya motor (*horsepower derating*).

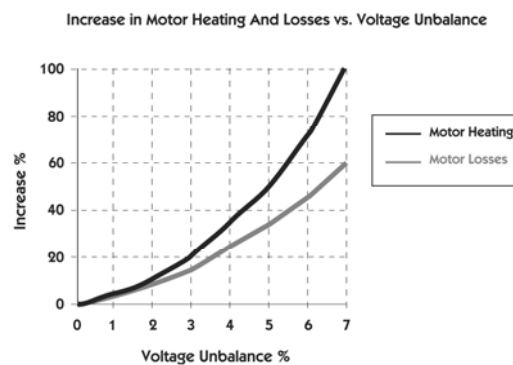


Gambar 1 Hubungan ketidak seimbangan beban terhadap temperatur motor.



Gambar 2

Hubungan antara ketidakseimbangan tegangan dengan berkurangnya daya motor



Gambar 3 Hubungan antara ketidakseimbangan tegangan dan rugi-rugi energi.

c. Ketidakseimbangan arus beban. Idealnya arus masing-masing fasa sebaiknya sama besar. Bila arus fasa tidak seimbang, maka akan berakibat terhadap pemanasan peralatan terutama pada transformator dan motor. Jika arus antar fasa tidak seimbang, maka akan meningkatkan tegangan pada fasa netral, membahayakan rangkaian elektronik, komputer. Arus tidak seimbang membawa dampak buruk berikut ini ;

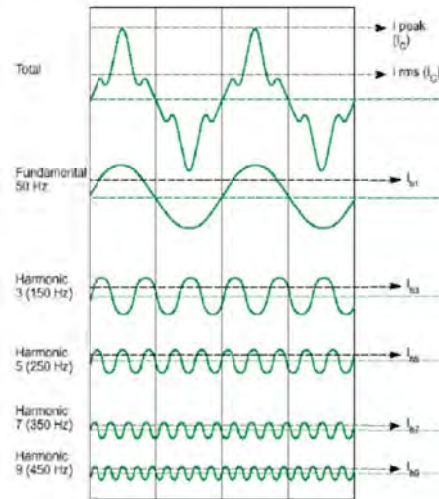
- Urutan tegangan negatif
- Menimbulkan arus sirkulasi pada sisi primer trafo 20 kV.
- Meningkatkan arus pada penghantar netral.
- Meningkatkan tegangan Netral-ke-Pentanahan.
- Motor panas berlebih.
- Menurunkan efisiensi motor diakibatkan rusaknya bearing motor.
- Meningkatkan biaya pemeliharaan motor dan alat.
- Energi terbuang/biaya listrik naik.

d. Harmonisa tegangan merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang fundamental (sinusoidal) tegangan, sehingga bentuk gelombang tegangan menjadi buruk (tidak sinusoidal) murni. Harmonisa tegangan ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan dan kualitas operasi yang buruk pada kinerja peralatan.

e. Harmonisa arus merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang fundamental (sinusoidal) arus, sehingga bentuk gelombang arus menjadi buruk (tidak sinusoidal) murni. Penyebab utama timbulnya harmonik adalah adanya peralatan listrik yang bersifat non linier, seperti komputer, inverter, UPS, DC *drive* dan *battery chargers*. Adanya harmonisa arus ini dapat menyebabkan beberapa kerugian pada peralatan diantaranya *overheating*, penurunan *life time* peralatan dan rugi-rugi energi. Berdasarkan standar IEEE-519, secara umum dipersyaratkan :

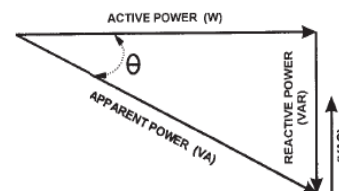
- THD tegangan maksimum adalah 3 %.
- THD arus maksimum adalah 10 %

Variabel yang diambil dalam pengukuran harmonisa pada Audit Energi ini adalah THD (Total harmonic Distorsion). THD adalah penjumlahan total dari keseluruhan harmonisa yang muncul, secara skematik bisa dilihat pada gambar dibawah ini ;



Gambar 4. Harmonisa

f. Faktor daya merupakan pergeseran fasa antara tegangan dan arus, yang didapatkan dari perkalian bilangan kompleksnya. Faktor daya dapat bersifat leading (arus mendahului tegangan) dan dapat juga lagging (arus tertinggal dari tegangan). Faktor daya leading disebabkan oleh beban yang bersifat kapasitif dan lagging karena beban induktif. Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada saluran, tidak optimalnya kontrak daya (kVA) dan biaya tambahan akibat denda faktor daya. Denda ini akan ditagih oleh PLN dihitung berdasarkan kVar yang dihasilkan. kVar adalah daya yang hilang yang merupakan rugi-rugi pada mesin-mesin, lampu, dan peralatan lain yang memiliki kumparan magnetik. Untuk memahami prinsip ini, dijelaskan dengan segitiga dibawah ini ;



Gambar 5 Segitiga Daya

Apparent Power adalah daya listrik yang disuplai oleh Perusahaan Penyedia listrik misalnya PLN. Active Power adalah daya berguna yang dimanfaatkan oleh konsumen energi listrik, dan besarnya tertulis dalam tagihan rekening listrik. Sedangkan Reactive Power adalah daya yang hilang pada peralatan pemakai energi listrik. $\cos \theta$ adalah perbandingan antara active power dan apparent power. Besarnya $\cos \theta$ maksimal adalah 1 yang berarti tidak ada rugi-rugi energi. PLN akan menjatuhkan denda kepada pemakai listrik jika angka $\cos \theta$ lebih

rendah dari 0.85. Beberapa hal yang menjadi penyebab rendahnya faktor daya (*power factor*) adalah sebagai berikut ;

- a. Lampu Fluorescent dengan ballast magnetik (pf sekitar 40 - 60%)
- b. Las Busur Listrik (arc weldesr) dengan pf sekitar 60 - 70 %
- c. Solenoids (pf sekitar 20 – 50 %)
- d. Peralatan pemanas induksi (pf sekitar 60-90 %)
- e. Lifting Magnet (Pf sekitar 20 – 50 %)
- f. Motor induksi (pf sekitar 55 – 90 %)

Berkaitan dengan kualitas daya listrik pada PT Antam Unit Industri, perlu dilakukan pengukuran di beberapa titik terutama pada sisi , Trafo, MDP dan SDP, namun pada saat melakukan pengukuran terdapat banyak kendala seperti, panel dilindungi dengan sistem vakum sehingga tidak bisa dibuka pintunya, jarak antar kabel yang terlalu rapat, sempitnya ruang untuk melakukan pengukuran, kesulitan dalam memasang alat ukur dan lain sebagainya, sehingga pengukuran dengan alat ukur HIOKI tipe 3286-20 dan Power Quality Analyzer HIOKI tipe 3197 hanya dilakukan pada beberapa tempat dengan hasil sebagai berikut:

- a. Pengukuran dengan alat ukur HIOKI tipe Power Quality Analyzer HIOKI tipe 3197 pada MDP Crusher yang melayani mesin Crusher dan Screening dengan jumlah motor sebanyak ;
 - Motor untuk Primary Crusher ; 90 kW
 - Motor Secondary Crusher ; 150 kW
 - Motor 11 kW ; sebanyak 3 buah
 - Motor 5,5 kW ; sebanyak 1 buah.
 - Motor hidraulik ; sebanyak 1 buah.
 - Motor Conveyor masing-masing ; 22 kW 2 buah, 11 kW 1 buah dan 7,5 kW 1 buah.
- b. Pengukuran dengan alat ukur Power Quality Analyzer HIOKI tipe 3197 pada MDP IPAL yang melayani pompa sebanyak 3 buah motor ber kapasitas masing-masing 2 buah berkapasitas 100 kW, dan 1 buah berkapasitas 55 kW.

Pengukuran juga dilakukan pada pernah dilakukan pada Trafo dengan ringkasan hasil pengukuran sebagai berikut ;

Tabel 1 Hasil pengukuran kualitas daya pada Trafo

No	Substation Distribution	Trafo Cap	Max load	Vunbal	Iunbal
		kVA	kVA	%	%
1	CL600 kbCicau	500	317.9	2.77	18,24
2	TR02-800 bengkel	800	27,1	2,09	110,66
3	TR02B-630 bengkel	630	312	2,84	4,32

4	TR07-1 CL500	500	103,1	2,01	28,41
5	TR07-2 CL500	500	206,1	3,00	18,78
6	TR09 CL500	800	229,4	1,85	5,64
7	TR12 backfill Dam	1250	627,7	2,31	17,68
8	TR16 CL700	1000	335,3	2,65	19,48
9	TR17 crushing	1250	852,5	2,80	13,14
10	TR18 Plant-1	1250	814,7	7,04	12,42
11	TR19 Plant-2	2000	1274,2	5,72	7,27
12	TR22 pabrik	300	182	2,28	17,36

No	Substation Distribution	V THD max (%)			I THD max (%)		
		R	S	T	R	S	T
1	CL600 kbCicau	2,4	2,4	2,8	4	4,4	4,8
2	TR02-800 bengkel	2,6	2,5	2,8	21,5	42,4	67,2
3	TR02B-630 bengkel	1,9	1,7	2,1	2,3	2,4	2,5
4	TR07-1 CL500	2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,5
5	TR07-2 CL500	7,2	11,1	11,2	12,4	13,2	12,4
6	TR09 CL500	1,8	2	2,1	1,7	1,8	2,2
7	TR12 backfill Dam	2	2,1	2,3	3,2	3,2	3,2
8	TR16 CL700	2,4	2,6	2,6	9,8	10,3	9,9
9	TR17 crushing	2,8	3,1	4,1	2,9	6,7	2,9
10	TR18 Plant-1	13,7	22	32,3	7,2	7,5	8,1
11	TR19 Plant-2	8,4	11,5	12,6	4,5	6,2	5
12	TR22 pabrik	3,2	4,1	4,4	3,1	3,2	3,5

Tabel 2. Hasil pengukuran faktor daya pada Trafo

No	Substation Distribution	KF (R)	KF (S)	KF (T)
1	CL600 kbCicau	0,98	0,98	0,96
2	TR02-800 bengkel	0,98	0,98	0,97
3	TR02B-630 bengkel	0,98	0,97	0,96
4	TR07-1 CL500	0,97	0,97	0,96
5	TR07-2 CL500	0,95	0,92	0,85
6	TR09 CL500	0,98	0,97	0,98
7	TR12 backfill Dam	0,98	0,98	0,97
8	TR16 CL700	0,98	0,97	0,96
9	TR17 crushing	0,94	0,9	0,87
10	TR18 Plant-1	0,91	0,9	0,88
11	TR19 Plant-2	0,95	0,94	0,93
12	TR22 pabrik	0,93	0,86	0,97

II. HASIL PENGUKURAN

Seperti yang dapat dilihat dari laporan perusahaan, konsumsi energi listrik untuk mengoperasikan peralatan proses produksi PT Antam sepanjang tahun 2009 sampai 2010 dan pemakaian energi listrik dari tahun 2009 ke tahun 2010 mengalami kenaikan sebesar 2,64 %, sehingga yang pada tahun 2009 konsumsi sebesar 50.016.640 kWh, pada tahun 2010 naik mencapai 51.335.328 kWh. Dengan demikian dapat diperkirakan pemakai energi listrik rata-rata perbulan sebesar 4.222.999 kWh. Kalau diasumsikan PT Antam UBP Emas beroperasi sepanjang tahun kecuali hari Ahad dan libur (diasumsikan semuanya berkisar 80 hari), maka dapat dihitung penggunaan daya listrik rata-rata adalah sebesar 7122,276 kW atau 7913,64 kVA bila faktor daya diasumsikan sebesar 0,9.

Dilihat dari daya tersambung ke PT PLN (Persero) sebesar 10.200 kVA, maka dapat dikatakan bahwa penggunaan daya pada PT Antam UBP Emas belum optimum. Namun, bila dilihat dari kapasitas transformator yang digunakan rata-rata pembebanannya adalah 45,7 % , ini kelihatannya over sized. Rincian dari pembebanan Transformer dapat dilihat pada tabel 3 Kapasitas transformator yang optimum adalah sebesar 83%. Dan pembebanan transformator sebesar 83% ini merupakan titik efisiensi maksimum suatu transformator.

Tabel 3. Hasil Pengukuran faktor beban pada trafo

No	Substation Distribution	Trafo Cap (kVA)	Max Load (kVA)	Load %
1	CL600 kbCicau	500	317,9	63,6 %
2	TR02-800 bengkel	800	27,1	3,4 %
3	TR02B-630 bengkel	630	312	49,5 %
4	TR07-1 CL500	500	103,1	20,6 %
5	TR07-2 CL500	500	206,1	41,2 %
6	TR09 CL500	800	229,4	28,7 %
7	TR12 backfill Dam	1250	627,7	50,2 %
8	TR16 CL700	1000	335,3	33,5 %
9	TR17 crushing	1250	852,5	68,2 %
10	TR18 Plant-1	1250	814,7	65,2 %
11	TR19 Plant-2	2000	1274,2	63,7 %
12	TR22 pabrik	300	182	60,7 %

III. ANALISA DATA

Dari hasil pengukuran kualitas daya listrik terlihat bahwa:

- Terjadi ketidakseimbangan beban yang didasarkan pada besarnya daya aktif yang dilayani oleh masing-masing fasa pada semua panel yang diukur seperti diberikan pada tabel 4 Ketidak seimbangan beban ini juga menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan tegangan.

Tabel 4. Ketidakseimbangan tegangan pada Travo

No	Substation distribution	Vunbal %
1	TR02-800 bengkel	2,09
2	TR02B-630 bengkel	2,84
3	TR17 crushing	2,80
4	TR18 Plant-1	7,04
5	TR19 Plant-2	5,72
6	TR22 pabrik	2,28

- Beberapa Trafo mengalami faktor beban rendah seperti diberikan pada tabel 5

Tabel 5. Trafo dengan faktor beban rendah

No	Substation Distribution	Trafo Cap (kVA)	Max Load (kVA)	Load %
1	TR02-800 bengkel	800	27,1	3,4 %
2	TR02B-630 bengkel	630	312	49,5 %
3	TR07-1 CL500	500	103,1	20,6 %
4	TR07-2 CL500	500	206,1	41,2 %
5	TR09 CL500	800	229,4	28,7 %
6	TR12 backfill Dam	1250	627,7	50,2 %
8	TR16 CL700	1000	335,3	33,5 %

- c. Baik THD tegangan maupun THD arus pada beberapa panel yang diukur memperlihatkan nilai yang cukup tinggi.

Tabel 6. Total Harmonik Distorsion pada Trafo

N	Substation Distribution	V THD max (%)			I THD max (%)		
		R	S	T	R	S	T
2	TR02-800 bengkel	2,6	2,5	2,8	21,5	42,4	67,2
5	TR07-2 CL500	7,2	11,1	11,2	12,4	13,2	12,4
10	TR18 Plant-1	13,7	22	32,3	7,2	7,5	8,1
11	TR19 Plant-2	8,4	11,5	12,6	4,5	6,2	5

- d. Terjadi ketidak seimbangan tegangan pada sub distribution panel TR02-800 bengkel sebesar 2,09 %
- e. Terjadi ketidak seimbangan tegangan pada sub distribution panel TR02B-630 bengkel sebesar 2,84 %
- f. Terjadi ketidak seimbangan tegangan pada sub distribution panel TR17 crushing sebesar 2,80 %
- g. Terjadi ketidak seimbangan tegangan pada sub distribution panel TR18 Plant-1 sebesar 7,04 %
- h. Terjadi ketidak seimbangan tegangan pada sub distribution panel TR19 Plant-2 sebesar 5,8 %
- i. Terjadi ketidak seimbangan tegangan pada sub distribution panel TR22 pabrik sebesar 2,28 %

IV. POTENSI PENGHEMATAN ENERGI SISTEM KELISTRIKAN SISI SUPLAJ

Dari analisis di atas beberapa potensi penghematan energi sistem kelistrikan sisi suplai dapat dicatat sebagai berikut:

- a. Penyeimbangan beban. Beban yang tidak seimbang dapat mengakibatkan rugi-rugi energi. penurunan efisiensi sistem sebesar 2%.

- b. Ketidak seimbangan tegangan menghasilkan rugi-rugi energi sekitar 10 – 20 % pada motor.
- c. Pengurangan THD. Harmonisa berkontribusi sekitar 20 % dari rugi-rugi energi pada Travo.
- d. Pemasangan VSD pada motor.
- e. Pengurangan jam produksi pada waktu beban puncak (WBP).
- f. Pemasangan ballast elektronik. Berdasarkan pada acuan “*Energy Audit Guide, Part B*” dari *Centre for Renewable Energy Sources*, selisih daya yang dihasilkan dari penggantian setiap *ballast* adalah 12 W atau penghematan energi sebesar 13% (penggunaan daya untuk *ballast* biasa dan *ballast* elektronik adalah masing-masing 87 W dan 75 W).
- g. Penggantian dan pengoptimalan penggunaan tranformator sehingga sesuai dengan pembebanan optimum dan efisiensi maksimum. Terdapat 7 buah Trafo dengan pembebanan di bawah 60 %. Upaya ini akan mengurangi losses beban nol tinggi yaitu biasanya sebesar 3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Milan Crithoper, *Industrial Audit Guided Book*, Bonneville Power, Oregon USA.
- Kreith Frank, *Energy Management and Conservations Handbook*, CRC Press, 2008, Boca Raton USA
- IEEE Recommended Practice For Energy Management, 1995, New York.
- Benchmarking The Energy Consumption of Canadian Underground Bulk Mining, 2005, Ottawa.
- Papar Riyaz dkk, Increasing Energy efficiency of Mine Ventilation system.
- Energy Eficien Ways, Ministry For The Environment New Zealand.
- Benchmarking The Energy Consumption of Canadian Open Pit Mine, 2005, Ottawa
- Rene Van Berkel, *Eco-efficiency in the Australian Minerals Processing Sectors*, 2005, Journal of Cleaner Productions
- Turner, Wayne, *Energy Management Handbook*, 5 th edition, 2004, Fairmont Press New York.
- Energy Audit Guide, ADAPT, Athena 2000
- Thomas Key, *Cost And Benefits of Harmonic Current Reduction*

Penentuan Specific Energy Consumption (SEC) pada Industri Pengolahan Emas

Yuriadi Kusuma

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650

Email: yuriadi@mercubuana.ac.id

Abstract -- Specific Energy Consumption (SEC) adalah rasio antara besarnya energi yang dikonsumsi dengan besarnya produk yang dihasilkan dalam jumlah tertentu. Nilai SEC dibutuhkan untuk menilai apakah suatu industri efisien dalam menggunakan energinya. Nilai ini biasanya dibandingkan antara suatu perusahaan dengan perusahaan lain yang sejenis sebagai suatu ukuran untuk melihat tingkat kompetisi diantara mereka. Tulisan ini berisi tentang proses menentukan nilai SEC pada industri pengolahan emas khususnya di PT.ANTAM Pongkor.

I. GAMBARAN UMUM

PT.Aneka Tambang Tbk.UBP Emas berlokasi di desa Bantarkaret, Kecamatan Nanggung, Bogor Jawa Barat. PT Antam merupakan perusahaan pertambangan yang terdiversifikasi dan terintegrasi secara vertikal yang berorientasi ekspor. Melalui wilayah operasi yang tersebar di seluruh Indonesia yang kaya akan bahan mineral, kegiatan PT Antam mencakup eksplorasi, penambangan, pengolahan serta pemasaran dari sumber daya mineral yang dimiliki. PT Antam memiliki konsumen jangka panjang yang loyal di Eropa dan Asia. Mengingat luasnya lahan konsesi pertambangan dan besarnya jumlah cadangan dan sumber daya yang dimiliki, PT Antam membentuk beberapa usaha patungan dengan mitra internasional untuk dapat memanfaatkan cadangan yang ada menjadi tambang yang menghasilkan keuntungan

Tambang emas Pongkor memiliki tiga urat emas utama yakni Ciguha, Kubang Cicau dan Ciurug. Metode penambangan menggunakan *conventional cut and fill stoping* pada urat emas Ciguha dan Kubang Cicau. Pada urat emas Ciurug, PT Antam menggunakan metode penambangan *mechanised cut and fill* dengan peralatan *hydraulic jumbo drill* dan *load haul dump* (LHD) sejak tahun 2000. Penggunaan metode *mechanised cut and fill* tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan produksi namun juga menurunkan biaya produksi untuk meningkatkan efisiensi. Tambang emas Pongkor diperkirakan memiliki usia tambang sampai dengan tahun 2019 dengan cadangan dan sumber daya logam emas diperkirakan sebesar 1,3 juta oz.

Setelah bijih emas ditambang, bijih emas kemudian diolah melalui beberapa proses seperti *crushing*, *milling*, *cyanidation*, *carbon leaching* dan *stripping*, *electro winning* dan *casting* untuk

memproduksi *bullion/dore*. Limbah dari pabrik diolah di pabrik detoksifikasi yang terdiri dari dua tanki untuk menurunkan kandungan sianida di tailing menjadi di bawah batas 0.5 ppm. Setelah diolah, *tailing* kembali dimasukkan ke tambang di dalam sistem total *tailing backfill system* dengan kombinasi semen.

Produksi dari PT.Antam UBP Emas adalah batangan emas yang masih mengandung perak (*dore bullion*) . seperti diberikan pada gambar 2.3, kemudian akan dimurnikan kembali menjadi emas di PT.Logam Mulia yang berlokasi di Pulo Gadung. Total produksi batang emas pada tahun 2008 adalah sebesar 2.833 kg, dan produksi pada tahun 2009 menurun sebesar 7,5 % menjadi 2625,58 kg dan produksi pada tahun 2010 kembali menurun sebesar 5,4 % menjadi 2.485,30 kg.

Mesin-mesin produksi yang dipergunakan pada proses produksi PT. Antam UBP Emas Pongkor diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Mesin produksi PT Antam

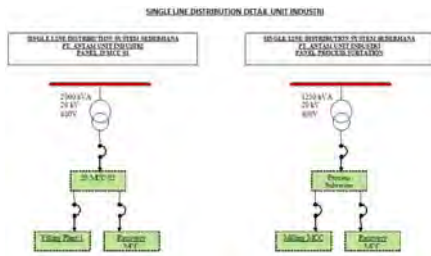
No.	Mesin Produksi	Jumlah
1	Crusher	2 Unit
2	Screening Machine	1 Unit
3	Ball Mill	2 Unit
4	Mill Cyclone	2 Unit
5	MAG Screen	1 Unit
6	Thickener	5 Unit
7	Electrowining	2 Unit
8	Agitator	20 Unit
9	Smelting	1 Unit
10	Thermal Oil	1 Unit

II. POLA PENGGUNAAN ENERGI

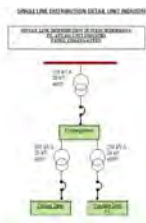
Energi listrik disuplai oleh PT.PLN. Daya terpasang saat ini adalah 10,4 mVA dengan sistem distribusi tegangan menengah 20 kV dan sistem tegangan rendah 380 Volt yang dipergunakan untuk keperluan kegiatan pengolahan di pabrik. Adapun sebagai back up power dari PLN terpasang genset dengan kapasitas 3 x 1500 kVA. Distribusi sistem kelistrikan di PT Antam Unit Industri ditunjukkan oleh *single line diagram* pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 3.



Gambar 1. Diagram distribusi listrik keseluruhan PT Antam



Gambar 2 Diagram distribusi listrik Panel 20 MCC 02 dan Panel process substation



Gambar 3. Diagram distribusi listrik Panel Cimanganten

Penjelasan rinci dari *single line wiring* diagram pada PT.Antam Unit Industri adalah sebagai berikut:

a. Substation PLN

Dari gardu induk PLN daya tersambung sebesar 10,2 mVA dan tegangan 20 kV, didistribusikan melalui kabel tanah ke substation PLN di PT. Antam yang dilengkapi dengan metering kWh untuk mengetahui total konsumsi energi listrik setiap bulan.

b. Power Plant.

Incoming daya dari PLN melalui substation PLN, selanjutnya disalurkan ke breaker-breaker di Power Plant, dengan kapasitas terpasang sebesar 10,2 mVA. Pada station ini dilakukan control dan monitoring daya secara terintegrasi yang mencatat setiap waktu indikasi dan fluktuasi besaran daya, beban, gangguan dll. Dengan kapasitas Genset 3 x 1.500 kVA, power plant ini difungsikan sebagai back up bilamana pasokan daya dari PLN mengalami gangguan. Apabila terjadi pengurangan beban maka yang akan dilakukan sistem adalah sebagai berikut ;

- Genset 3 x 1500 kVA khusus melayani tambang

- Pasokan PLN jalur Serang-Rangkasbitung melayani pabrik, Crushing dan Emplacement.

c. Main Service

Incoming 20 kV PLN dari Power Plant selanjutnya diterminasikan di Main Surface pabrik, yang merupakan kios utama untuk memenuhi pasokan daya ke Plant 1, Plant II, Ballmill I dan Ballmill II, Crushing dan jalur alternatif ke tambang.

d. Substation Plant I

Sub station Plant I dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan pasokan daya pada area Plant I, yang terdiri dari motor-motor penggerak : Balmill I, Milling I, Leaching, pompa-pompa dll, dengan kapasitas terpasang sebesar 1.250 kVA.

e. Substation Plant II

Dengan kapasitas terpasang sebesar 2.000 kVA, pasokan daya dari substation Plant II ini didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan daya pada area Plant II dan sekitarnya yang terdiri dari motor-motor penggerak : Balmill II, Milling II, pompa-pompa dan lainnya.

f. Substation Crushing

Daya yang tersambung ke substation crushing dikoneksi dari Main Surface pabrik, dengan kapasitas 800 kVA, substation ini dimaksudkan untuk memenuhi daya di area crushing seperti ; Motor Jaw Crusher, Rollercon Crusher, Apron feeder, conveyor, IPAL tambang dan pompa-pompa.

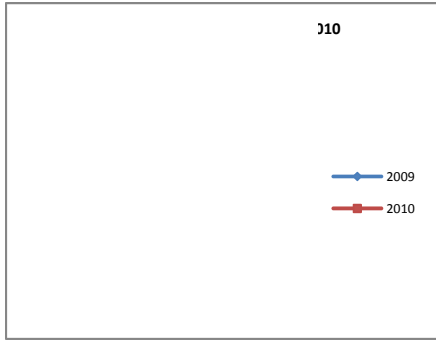
Daya yang tersambung dari substation Crushing juga dikoneksi ke tambang gudang handak dengan kapasitas 1200 kVA, untuk kebutuhan daya blower, jumbo drill, pompa-pompa penerangan.

III. INTENSITAS ENERGI

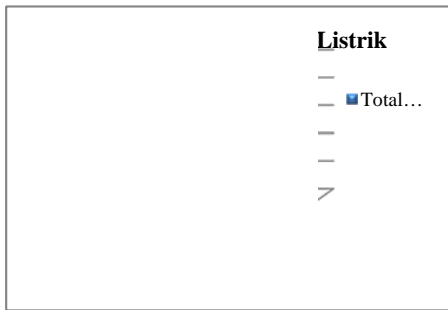
Konsumsi energi listrik yang digunakan oleh PT Antam Unit Industri untuk menggulirkan produksinya pada tahun 2009 dan 2010 diberikan pada tabel 2.3 dan gambar 2.8 sampai 2.10.

Tabel 2. Konsumsi energi listrik

No.	Bulan	2009 (kWh)	2010 (kWh)
1	Januari	4.378.200	4.208.040
2	Februari	3.924.000	3.465.840
3	Maret	4.367.760	4.101.768
4	April	4.249.080	3.890.520
5	Mei	4.407.720	4.293.720
6	Juni	4.406.640	4.227.360
7	Juli	4.528.920	4.592.280
8	Agustus	4.367.520	4.617.636
9	September	3.893.760	4.263.912
10	Oktober	3.866.320	4.446.600
11	November	3.813.360	4.418.520
12	Desember	3.813.360	4.809.132
	Total	50.016.640	51.335.328
	Rata-Rata	4.168.053,3	4.277.944



Gambar 4. Diagram fluktuasi konsumsi energi listrik



Gambar 5. Diagram total konsumsi energi listrik pertahun



Gambar 6. Diagram konsumsi energi listrik rata-rata

Biaya dari konsumsi listrik untuk proses produksi PT Antam Unit Industri selama 6 bulan diberikan pada Tabel 3 dan Gambar 7

Tabel 3. Konsumsi dan biaya energi listrik

No.	Bulan	Biaya Listrik (Rp)	LWBP (kWh)	WBP (kWh)
1	Sep 10	3.813.639.261	3.520.752	743.160
2	Okt 10	3.813.741.209	3.701.400	745.200
3	Nov 10	3.879.323.220	3.641.760	776.760
4	Des 10	4.310.570.832	3.964.860	844.272
5	Jan 11	4.151.240.544	3.823.104	809.869
6	Feb 11	3.617.955.984	3.332.280	705.624



Gambar 7. Distribusi Konsumsi energi listrik perbulan.

Pada tabel 4 dan gambar 8, masing-masing dapat dilihat konsumsi bahan bakar minyak bumi dalam 3 tahun.

Tabel 4 Konsumsi bahan bakar minyak bumi

No.	Jenis Bahan Bakar	Produksi (kilo liter)		
		2008	2009	2010
1	Solar	3.380	3.322	2.003
2	Premium	92,2	65,2	82,5
Total		3472,2	3387,2	2085,5



Gambar 8 Grafik konsumsi bahan bakar minyak dalam kilo liter/tahun

IV. ANALISA INTENSITAS SPESIFIK ENERGI PERUSAHAAN

Untuk menghitung penggunaan energi (kWh) dalam menghasilkan produk, maka pemakaian semua sumber energi harus ditransformasi dulu ke dalam satuan yang sama dan biasanya yang digunakan adalah

satuan kWh listrik. Untuk itu satuan minyak solar (liter) harus dikonversi dulu ke dalam kWh. Perhitungan konversi dari liter solar ke kWh listrik adalah sebagai berikut ;

Diketahui ;

Nilai kalor netto (LHV) minyak diesel = 37,0 MJ/liter.

Efisiensi konversi bahan bakar ke listrik dari genset diesel = 30 %.

Maka :

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$$

Kebutuhan minyak diesel untuk membangkitkan 1 kWh listrik =

$$(100/30) \times (3,6/37) = 0,324 \text{ liter.}$$

Sedangkan untuk minyak bensin diketahui Nilai Kalor (LHV) minyak bensin = 35,0 MJ/liter

Efisiensi konversi bahan bakar listrik dari genset bensin = 30 %.

Maka :

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$$

Kebutuhan minyak bensin untuk membangkitkan 1 kWh listrik =

$$(100/30) \times (3,6/35) = 0,342 \text{ liter}$$

maka ekivalen energi minyak solar dan minyak bensin menjadi energi listrik dapat dihitung dan hasilnya diberikan pada tabel 4.1.

Tabel 5 Konsumsi energi listrik konversi solar, kWh

No	Jenis	2008	2009	2010
1	Solar	10432098	10253086	6182098
2	Premium	269590	190643	241228
	Total	10701688	10443729	6423326

Bila konsumsi energi listrik dari PT PLN (Persero) digabungkan dengan konsumsi energi listrik konversi solar, maka akan diperoleh konsumsi energi total (dalam kWh listrik) untuk menghasilkan produksi Dore Bullion (dalam ton) dan dari kedua besaran ini (energi dalam kWh dan produks Dore Bullion dalam kg) akan memberikan *specific energy consumption* (SEC) dalam Ton/kWh untuk tahun 2009 sampai tahun 2010 seperti dapat dilihat pada tabel 4.2 . SEC rata-rata yang diperoleh menjadi 0,043 g/kWh

Tabel 6 SEC tahun 2009 sampai tahun 2010

Tahun	Produksi Dore Bullion (g)	Konsumsi energi (kWh-listrik)	SEC (g/kWh)
2009	2.625.580	60460369	0,043
2010	2.485.300	57758654	0,043
Total	5.110.880	118219023	0,043

V. KESIMPULAN

Dari perhitungan yang dirngkum pada tabel 6, rata-rata Specific Energy Consumption di Industri Pengolahan Emas yang dalam hal ini pengolahan emas milik PT.Antam Pongkor adalah 0,043 g/kWh. Artinya dibutuhkan rata-rata energi total setara dengan listrik 0,043 kWh untuk mengolah biji besi menjadi dore bullion setiap gramnya.

Sayangnya kami tidak memperoleh data yang lengkap mengenai konsumsi energi baik dalam bentuk listrik dan thermal, sehingga perhitungan ini didasarkan pada data-data yang terbatas.

Jika data penggunaan energi perproses bisa diketahui dengan tepat, maka akan bisa dihitung nilai SEC untuk setiap proses, sehingga akan lebih mudah untuk membuat perbandingan secara rinci dengan industri sejenis di Indonesia atau bahkan dengan industri di negara produsen emas lainnya. Sayangnya di Indonesia tidak ada data tentang angka SEC untuk industri pengolah emas lainnya, sehingga sulit untuk membandingkan tingkat efesiensi antara satu pabrik dengan pabrik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Milan Cristhoper, *Industrial Audit Guided Book*, Bonneville Power, Oregon USA.
- Kreith Frank, *Energy Management and Conservations Handbook*, CRC Press, 2008, Boca Raton USA
- IEEE Recommended Practice For Energy Management, 1995, New York.
- Benchmarking The Energy Consumption of Canadian Underground Bulk Mining, 2005, Ottawa.
- Papar Riyaz dkk, Increasing Energy efficiency of Mine Ventilation system.
- Energy Eficien Ways, Ministry For The Environment New Zaeland.
- Benchmarking The Energy Consumption of Canadian Open Pit Mine, 2005, Ottawa
- Rene Van Berkel, *Eco-efficiency in the Australian Minerals Processing Sectors*, 2005, Journal of Cleaner Productions

Kompensasi Daya Reaktif pada Saluran Distribusi Kabel bawah Tanah

Hamzah¹, Abdullah Asuhaimi bin Mohd Zin²

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Univ. Lancang Kuning¹
 Departement. of Electrical Power Engineering, Universiti Teknologi Malaysia²
 Jl. Yos Sudarso, km 8 Rumbai, Pekanbaru, 28265, Indonesia¹
 Skudai, Johor Bahru Darul Ta'zim, Johor, 81310, Malaysia²
 E-mail : hamzah128@yahoo.com¹, abdullah@fke.utm.my²

Abstrak – Sistem distribusi kabel bawah tanah merupakan solusi alternatif pada sistem distribusi energi di perkotaan. Pengaruh kapasitansi yang besar merupakan persoalan tersendiri yang harus dicarikan penyelesaiannya. Efek kapasitansi yang besar pada Express Feeder sepanjang 10 km ini telah mengakibatkan rugi daya melebihi 100 MW per bulan. Pada kondisi tanpa beban, tercatat arus kirim sebesar 10 Ampere, dan tegangan pada sisi terima naik sebesar 200 – 500 Volt, dengan faktor daya leading. Pemasangan induktor untuk menurunkan rugi dielektris kabel dengan merubah faktor daya (power factor) menjadi 0,85 lagging. Setelah pemasangan induktor sebesar 5 mH/700 kVAr, rugi dielektris dapat berkurang sampai 3,61% dari 105.983 kW menjadi 102.195 kWh per bulan. Sementara arus bocor kapasitif menjadi 245,17 Ampere dimana sebelumnya sebesar 249,61 Ampere.

Kata Kunci : Kompensasi daya reaktif, Kabel Bawah Tanah, Sistem 20 kV, Kota Pekanbaru

I. PENDAHULUAN

Kuantitas dan kualitas penyaluran energi listrik sangat di perlukan oleh konsumen ketenagalistrikan. Kuantitas penyaluran diperlukan untuk lebih mendistribusikan energi listrik kepada semua masyarakat / konsumen yang berada pada suatu daerah atau kawasan yang dilayani, sehingga masyarakat dapat menikmati manfaat dari keberadaan energi listrik. Dengan kuantitas penyaluran energi listrik yang meningkat akan mengakibatkan rasio elektrifikasi suatu daerah akan meningkat pula. Sementara Kualitas penyaluran energi listrik diperlukan untuk menjaga ketersediaan energi listrik di konsumen sesuai dengan standar yang digunakan.

Kuantitas dan kualitas penyaluran energi listrik di perkotaan sering menghadapi masalah, antara lain sulitnya mendapatkan daerah aman (ROW = right of way) untuk jaringan transmisi maupun distribusi. Mengingat proses pembebasan lahan untuk keperluan tersebut bukanlah suatu hal yang mudah dilakukan pada saat ini. Karena sempitnya lahan yang dapat digunakan untuk saluran udara (*over head*).

Sistem distribusi kabel bawah tanah merupakan solusi alternatif untuk mendistribusi energi listrik di perkotaan, agar kota dapat terlihat rapi dan bersih. Namun biaya yang dikeluarkan untuk membangun jaringan kabel bawah tanah per km-nya jauh lebih besar dari saluran udara[1]. Untuk pengembangan jaringan relatif lebih sulit dilakukan, proses karena pencabangan (*tapping*) jauh lebih sulit jika dibandingkan dengan saluran udara. Namun, saluran kabel bawah tanah lebih terlindung dari gangguan angin, sambaran petir, dan gangguan binatang (seperti kera), yang dapat mengakibatkan gangguan hubung singkat.

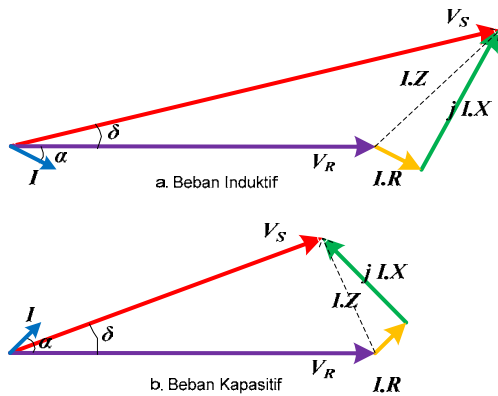
Pelaksanaan Musabaqoh Tilawatil Qur'an (MTQ) tingkat nasional yang dilaksanakan pada pertengahan tahun 1980an di kota Pekanbaru yang merupakan ibu kota propinsi Riau. Besarnya daya yang dibutuhkan untuk melayani seluruh kegiatan sudah tidak dapat di layani oleh penyulang (*feeder*) yang ada di daerah "Simpang Tiga" dan sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan penambahan penyulang khusus untuk dapat melayani kebutuhan beban MTQ dan beban lain yang berada di sekitar lokasi acara.

Pada saat yang sama, masalah padatnya kota dan terbatasnya lahan yang dapat digunakan serta dorongan untuk memperhatikan masalah keindahan dan penataan kota Pekanbaru. Hal ini mengakibatkan sudah tidak mungkin untuk penambahan penyulang baru dengan menggunakan saluran udara tegangan menengah (SUTM). Maka untuk tetap dapat melayani kebutuhan daya tersebut, pihak PT. PLN Pekanbaru membangun Ekspres Feeder saluran kabel bawah tanah antara Gardu Induk (GI) Teluk Lembu (TLB) dan Gardu Hubung (GH) MTQ.

II. LANDASAN TEORI

Perbedaan level tegangan pada sisi kirim dan sisi terima disebabkan oleh parameter dari saluran (R, L, C) tersebut. Jika level tegangan pada sisi terima lebih rendah pada sisi kirim hal ini disebabkan oleh pengaruh R dan L, sehingga dirasakan sebagai beban induktif. Sementara jika level tegangan pada sisi terima lebih besar dari sisi kirim, hal ini disebabkan oleh pengaruh R dan C, sehingga dirasakan sebagai beban kapasitif. Kedua hal ini dapat diuraikan dari

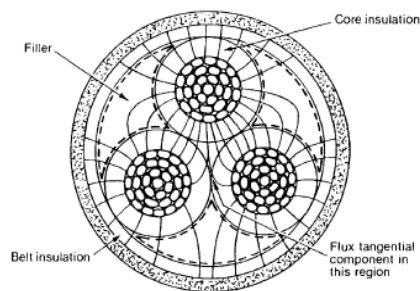
diagram fasor sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram fasor arus dan tegangan pada saluran tenaga listrik

Pihak PT. PLN (persero) sendiri mempunyai standar toleransi tegangan yang diterima di sisi pelanggan adalah sebesar +5% dan -10% dari tegangan kerja (sistem). Jatuh tegangan (*voltage drop*) yang besar akan merugikan kedua belah pihak pengguna maupun penyedia layanan listrik. Untuk menjaga perbedaan tegangan pada kedua sisi biasanya digunakan kompensasi daya reaktif induktif ataupun daya reaktif kapasitif.

Sementara beda potensial juga terjadi antara konduktor (penghantar) saluran yang digunakan dengan media yang berhubungan langsung dengan isolator dari konduktor. Beda potensial ini akan mengakibatkan timbulnya kapasitansi. Semakin besar beda potensial yang terjadi, maka akan menimbulkan distribusi fluks yang cukup kompleks, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2. Stress (tegangan) maksimum terjadi pada permukaan konduktor, dan bervariasi pada permukaan isolator. Tekanan ini akan berkurang pada daerah yang semakin jauh dari permukaan konduktor [2].



Gambar 2. Distribusi fluks yang terjadi pada kabel dengan tiga inti.

Besar kapasitansi pada konduktor tunggal dapat dihitung dengan persamaan (1)

$$C_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot l}{\ln\left(\frac{r_1}{r_c}\right)} \quad [\text{Farad}] \quad (1)$$

Untuk konduktor dengan 3 (tiga) fasa, maka digunakan persamaan (2)

$$C_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot l}{\ln\left(\frac{D}{r_c}\right)} \quad [\text{Farad}] \quad (2)$$

Untuk jarak antar fasa yang simetris, maka besar kapasitansi C_0 adalah :

$$C_0 = C_1 + 3 \cdot C_2 \quad [\text{Farad}] \quad (3)$$

TABEL I
DATA KELISTRIKAN DARI KABEL CROSSLINKED POLYETHYLENE (XLPE)

Description	Value
Type	GP 8
Volume resistivity (min) at 20°C (Ω m)	1 x 10 ¹⁴
Permittivity at 50 Hz	2.3-5.2
tan σ at 50 Hz	0.0004-0.005

Tabel I memperlihatkan data kelistrikan dari kabel bawah tanah yang menggunakan bahan isolasi dari XLPE. Senyawa dengan sifat kelistrikan yang baik sangat diperlukan untuk kabel distribusi dengan tegangan operasi di atas 3 kV. Dalam standar IEC502 mensyaratkan produk haruslah yang mempunyai permitivitas dan sudut rugi-rugi dielektrik (*DLA = Dielectric Loss Angle*) tidak lebih besar dari 0.75 dengan rentang sudut ambien 85 °C. Disamping itu DLA pada 80 °C tidak boleh melebihi nilai pada 60 °C. Hal ini utama yang mensyaratkan ini adalah bahwa ketika terjadi gangguan hubung terbuka (*open circuited*) sementara kabel bertegangan yang cukup tinggi, maka kabel akan panas meskipun tidak ada arus yang mengalir ke sisi terima[2]. Rugi-rugi daya per fasa yang diakibatkan oleh efek ini adalah :

$$\Delta P_{1\phi} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \tan \sigma \cdot V^2 \quad [\text{Watt}] \quad (4)$$

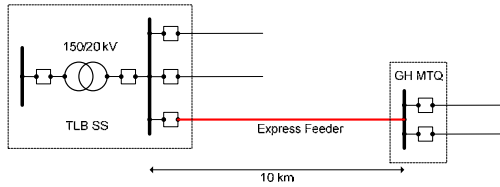
dimana :

- ΔP_1 = Rugi Daya Isolasi [Watt]
- F = Frekuensi [Hz]
- C = Kapasitansi [Farad/meter]
- V = Tegangan fasa-netral [Volt]
- tan σ = Sudut rugi-rugi dielektrik

III. ANALISIS SISTEM

Saluran distribusi kabel bawah tanah bertegangan menengah yang menghubungkan GI TLB – GH MTQ, ditanam dengan ke dalam 80 – 100 cm di bawah permukaan jalan. Jalur yang digunakan adalah menelusuri pinggir jalan Tanjung Rhu, jalan Dr. Sutomo, jalan Hang Tuah, jalan Pattimura, dan jalan

Jendral Sudirman. Adapun diagram satu garisnya adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 3. Diagram satu garis saluran distribusi GI Teluk Lembu – GI MTQ.

Express Feeder sepanjang 10 km ini menggunakan konduktor Aluminium yang berisolasi XLPE (*Cross Linked Poly Ethylene*) dari jenis NA2XSEFGbY yang berukuran 3 x 240 mm². Penyulang yang akhirnya dikelola PT. PLN (Persero) Rayon Simpang Tiga ini mendapat suplai dari Gardu Induk (GI) Teluk Lembu, dengan menggunakan saluran kabel bawah tanah 20 kV[3].

Adapun data teknis dari kabel tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel II[4].



Gambar 4. Gambar Kabel Tanah NA2XSEFGbY (Courtesy of Kabel Metal Indonesia)

Selanjutnya profil tegangan dan arus yang dikirimkan dari GI Teluk Lembu, berdasarkan data operasi jam pada tanggal 6 Desember 2010. Datanya adalah sebagaimana terlihat pada tabel III. Dari tabel, terlihat bahwa beban puncak bermula pada jam 18.00 sampai dengan jam 21.00 WIB. Dimana beban maksimumnya terjadi pada fasa ‘T’ pada jam 19.00, dengan beban puncak rata-ratanya adalah sebesar 237,66 Ampere. Penambahan beban yang cukup besar terjadi pada saat jam 17.00 – 18.00 WIB. Kenaikannya mencapai 17%, dimana pada jam 17.00 beban rata-rata baru sebesar 190,66 Ampere dengan tegangan 20,3 kV, sementara pada jam 18.00 WIB naik menjadi 224.33 Ampere. Sementara beban puncak minimum terjadi pada jam 06.00 WIB, dengan penurunan terbesar terjadi pada periode 21.00 – 22.00 WIB.

Dari tabel juga terlihat bahwa, tegangan puncak maksimum terjadi pada jam 18.00 WIB, sebesar 20.600 Volt. Terlihat bahwa tegangan puncak ini terjadi pada saat beban rata-rata cukup besar (224,33 Ampere). Sementara tegangan puncak minimum terjadi pada jam 01.00 WIB. Hal lain yang perlu

dicatat adalah pada jam 01.00 – 02.00, pada saat ini tegangan sistem berada di bawah 20 kV. Bisa jadi beberapa saat sebelumnya telah terjadi gangguan pada saluran ini.

TABEL II
DATA TEKNIS KABEL BAWAH TANAH
NA2XSEFGbY 240 MM².

Description	Value
Cross Section of Conductor (mm ²)	240
Conductor Diameter (mm)	18.7
Insulation Thickness (mm)	55
Insulation Diameter (mm)	31.3
Armor Thickness (mm)	0.80
Sheath Thickness (mm)	3.6
Cable Weight (kg/km)	9.600
Min. Bending Radius (mm)	78.0
Overall Cable Diameter (mm)	85
DC Resistance at 20 °C (Ω/km)	0.125
DC Insulation Resistance at 20 °C (MΩ.km)	700
Current Carrying Capacity (A)	385
Capacitance per phase (µF/km)	0.307
Inductance per phase (mH/km)	0.302
Max short circuit current of screen (kA/sec)	4.53
Max short circuit current of conduct (kA/sec)	22.98

TABEL III
DATA BEBAN GI - TELUK LEMBU FEEDER GH - MTQ

Jam	Arus Exp MTQ			Tegangan (kV)
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	
01:00	167	167	178	19.200
02:00	165	165	175	19.900
03:00	160	160	172	20.100
04:00	157	157	168	20.200
05:00	155	155	165	20.200
06:00	150	150	160	20.300
07:00	154	153	163	20.500
08:00	170	176	174	20.000
09:00	170	177	173	20.000
10:00	176	179	178	20.200
11:00	182	187	185	20.200
12:00	180	179	181	20.300
13:00	178	186	183	20.500
14:00	187	195	191	20.200
15:00	190	197	196	20.300
16:00	185	186	194	20.300
17:00	187	187	198	20.300
18:00	220	219	234	20.600
19:00	233	233	247	20.100
20:00	231	231	245	20.200
21:00	220	220	235	20.200
22:00	195	196	196	20.100
23:00	199	182	187	20.100
24:00	193	192	190	20.200

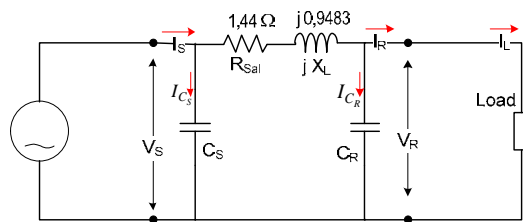
Selanjutnya data sistem yang ada pada GH MTQ adalah sebagaimana terlihat pada tabel IV. Dari tabel terlihat bahwa pada jam 19.00 WIB, terjadi beban rata-rata terbesar dimana pada saat tersebut tegangan yang terukur pada GH tersebut adalah lebih rendah dari pada yang lainnya.

TABEL IV
DATA BEBAN GARDU HUBUNG MTQ

Waktu	Outgoing		Incoming		Tegangan (kV)
	Jur	I (Amp)	Jur	I (Amp)	
17:00	L1	195	L1	192	20.5
	L2	201	L2	200	
	L3	200	L3	196	
18:00	L1	211	L1	206	20.7
	L2	217	L2	213	
	L3	216	L3	212	
19:00	L1	249	L1	245	20.1
	L2	252	L2	251	
	L3	255	L3	254	
20:00	L1	240	L1	236	20.8
	L2	242	L2	239	
	L3	245	L3	242	
21:00	L1	236	L1	233	20.4
	L2	240	L2	239	
	L3	242	L3	241	

IV. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam menganalisis sistem distribusi ini adalah dengan menggunakan model rangkaian “phi” (π). Dimana diasumsikan bahwa kapasitansi yang merata disepanjang kabel, dimodelkan terbagi sama besar pada kedua ujung saluran kabel bawah tanah sepanjang 10 km ini. Model rangkaian ini adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Dari gambar terlihat bahwa C_S dan C_R adalah kapasitansi dari saluran yang berada pada sisi kirim (*sending end*) dan sisi terima (*receiving end*).

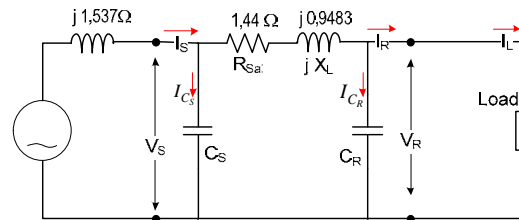


Gambar 5. Model Jaringan Distribusi GI Teluk Lembu – GH MTQ

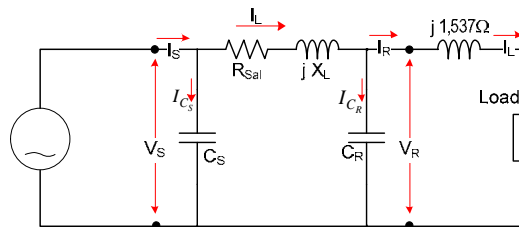
Penggunaan kabel bawah tanah mengakibatkan besarnya efek kapasitansi. Pada sistem ini faktor kerjanya (*power factor*) adalah sebesar 0.9 mendahului (*leading*). Untuk itu perlu ada faktor kompensasi daya reaktif. Mengingat sistemnya adalah

kelebihan daya reaktif kapasitif, maka yang perlu ditambahkan adalah daya reaktif induktif. Untuk itu perlu ditambahkan Induktor sebagai suplai daya reaktif induktifnya.

Analisis penambahan induktor ini dilakukan dengan 2 (dua) skenario. Skenario pertama ialah dengan menempatkan atau memasang Induktor pada sisi kirim (*sending end*) atau pada sisi GI TLB. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap sistem. Rangkaianya adalah seperti terlihat pada Gambar 6. Sementara skenario kedua adalah dengan menempatkan atau memasang Induktor pada sisi terima (GH) MTQ. Rangkaianya adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Induktor dipasang pada sisi kirim atau GI Teluk Lembu



Gambar 7. Induktor dipasang pada sisi terima atau pada GH MTQ

Dengan menggunakan analisis rangkaian listrik di hitunglah besar arus bocor kapasitif yang terjadi pada kedua sisi. Setelah itu baru dihitung rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran pada saat ini (sebelum dipasang Induktor). Hal ini adalah untuk mengetahui bagaimana profil dari sistem yang ada.

Selanjutnya dihitung kebutuhan daya reaktif induktif dari sistem. Yang kemudian dengan menggunakan data itu, dilakukan analisis yang sama dengan menggunakan skenario 1 dan skenario 2. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (software) Matrix Laboratory (MatLab). Perhitungan dilakukan pada setiap jamnya, mulai dari jam 01.00 sampai 24.00 WIB.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari analisis yang dilakukan pada ketiga rangkaian gambar 5, gambar 6 dan gambar 7 adalah sebagaimana terlihat pada tabel V.

TABLE V
PROFIL TEGANGAN DAN ARUS SEBELUM DAN SETELAH PEMASANGAN INDUKTOR

Jam	Sebelum Pemasangan Induktor				Induktor di TLB			Induktor di MTQ		
	Tegangan		Arus Bocor [A]	Rugi2 saluran [kWh]	Tegangan MTQ [Volt]	Arus Bocor [A]	Rugi2 saluran [kWh]	Tegangan MTQ [Volt]	Arus Bocor [A]	Rugi2 saluran [kWh]
	TLB [Volt]	MTQ [Volt]								
01:00	19,200.00	19,651.42	9.89	133.13	19,223.27	9.85	131.73	19,196.67	9.72	128.53
02:00	19,900.00	20,345.78	10.25	142.86	19,922.55	10.21	141.43	19,894.98	10.08	138.15
03:00	20,100.00	20,534.70	10.35	145.63	20,121.67	10.31	144.23	20,093.83	10.18	141.00
04:00	20,200.00	20,626.15	10.39	147.01	20,221.01	10.35	145.62	20,193.03	10.23	142.44
05:00	20,200.00	20,620.13	10.39	146.97	20,220.59	10.35	145.60	20,192.61	10.23	142.46
06:00	20,300.00	20,707.28	10.44	148.32	20,319.63	10.40	146.99	20,291.51	10.29	143.93
07:00	20,500.00	20,916.00	10.55	151.29	20,520.15	10.51	149.92	20,491.76	10.39	146.77
08:00	20,000.00	20,458.75	10.30	144.37	20,023.42	10.26	142.89	19,995.72	10.13	139.51
09:00	20,000.00	20,458.75	10.30	144.37	20,023.42	10.26	142.89	19,995.72	10.13	139.51
10:00	20,200.00	20,670.06	10.41	147.32	20,224.13	10.36	145.79	20,196.15	10.23	142.29
11:00	20,300.00	20,788.20	10.46	148.90	20,325.37	10.42	147.30	20,297.25	10.28	143.64
12:00	20,300.00	20,777.86	10.46	148.83	20,324.64	10.41	147.26	20,296.52	10.28	143.68
13:00	20,500.00	20,982.28	10.56	151.77	20,524.86	10.52	150.17	20,496.47	10.38	146.52
14:00	20,200.00	20,704.51	10.41	147.57	20,226.58	10.37	145.92	20,198.60	10.22	142.16
15:00	20,300.00	20,813.18	10.47	149.08	20,327.15	10.42	147.39	20,299.03	10.27	143.55
16:00	20,300.00	20,797.67	10.46	148.97	20,326.05	10.42	147.33	20,297.93	10.28	143.61
17:00	20,300.00	20,803.70	10.47	149.01	20,326.47	10.42	147.36	20,298.35	10.28	143.59
18:00	20,600.00	21,190.93	10.64	154.03	20,632.52	10.59	152.04	20,603.99	10.42	147.57
19:00	20,100.00	20,725.20	10.39	147.00	20,135.18	10.34	144.92	20,107.34	10.16	140.32
20:00	20,200.00	20,820.07	10.44	148.40	20,234.77	10.39	146.34	20,206.79	10.21	141.75
21:00	20,200.00	20,771.75	10.43	148.05	20,231.35	10.38	146.17	20,203.36	10.22	141.92
22:00	20,100.00	20,616.52	10.37	146.22	20,127.47	10.32	144.53	20,099.63	10.17	140.71
23:00	20,100.00	20,600.15	10.36	146.10	20,126.31	10.32	144.47	20,098.47	10.17	140.76
24:00	20,200.00	20,706.23	10.42	147.58	20,226.70	10.37	145.93	20,198.72	10.22	142.16

a. Kondisi saat ini (Existing)

Pada kondisi ini terlihat bahwa tegangan rata-rata di sisi GH MTQ lebih besar 2.43% dari sisi kirimnya (GI TLB). Dengan total arus bocor kapasitif yang terjadi selama 24 jam adalah 249,61 Ampere. Sementara rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran adalah sebesar 3,53 MW. Jika diasumsikan 1 bulan adalah 30 hari dan profil sistem adalah tetap, maka rugi-rugi dayanya adalah sebesar 105,98 MW per bulan.

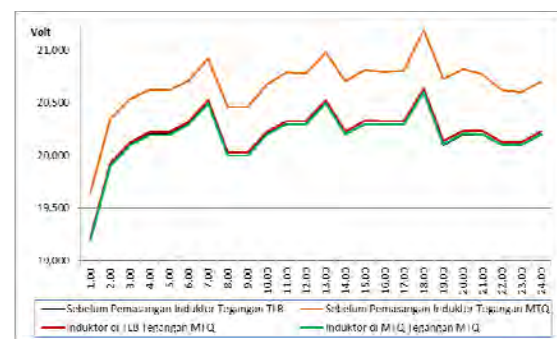
b. Skenario 1

Dengan penambahan induktor yang diletakkan pada sisi kirim (gambar 6), maka terjadi perbaikan pada dari pada sistem. Dimana tegangan yang ada pada sisi terima hanya naik 0,13% dari sisi kirim. Sementara total arus bocor kapasitifnya juga turun sebesar 1,06 Ampere menjadi 248,55 Ampere. Sedangkan rugi-rugi dayanya turun menjadi 3,49 MW. Dengan asumsi yang sama, maka perbulannya akan berkurang rugi-rugi daya sebesar 1,16 MW, menjadi 104,83 MW.

c. Skenario 2

Sementara pada skenario ini hasil yang diperoleh adalah lebih baik dari skenario pertama. Dimana tegangan rata-rata yang ada pada isi terima adalah

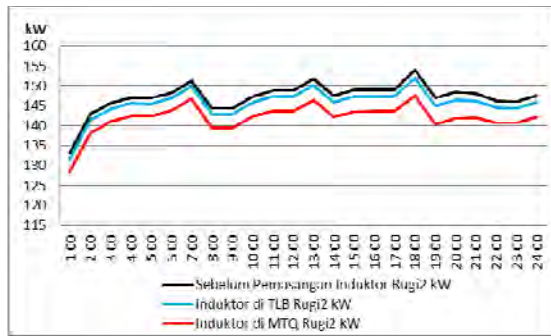
hampir sama dengan sisi kirim, iaitu lebih rendah sebesar 0,01%. Sementara arus bocor kapasitifnya juga turun cukup besar menjadi 245,17 Ampere saja. Hal ini mengakibatkan rugi-rugi daya yang ada pada salurannya menjadi turun cukup banyak sebesar 126,25 kW dari kondisi eksisting, menjadi 3,41 MW. Atau jika dibandingkan skenario 1, maka turunya rugi-ruginya adalah sebesar 87,69 kW. Akhirnya jika kita gunakan asumsi yang sama, maka rugi-rugi per bulannya bisa hemat 3,79 MW (3,61%) menjadi 102,19 MW saja.



Gambar 8. Grafik profil tegangan yang terjadi pada ketiga keadaan

Selanjutnya dengan kedua skenario tersebut terlihat bahwa pemilihan lokasi pemasangan induktor juga ikut mempengaruhi performa dari pada sistem. Skenario pertama dan kedua sama-sama menunjukkan perbaikan pada sistem. Namun, apa yang diperoleh jika menggunakan skenario kedua adalah jauh lebih baik. Hal ini terlihat dari tegangan, arus bocor kapasitif dan rugi-rugi saluran yang semakin menurun.

Pada gambar 8 dapat dilihat grafik profil tegangan yang terjadi selama 24 jam. Terlihat bahwa grafik tegangan sisi kirim (GI TLB) berhimpitan dengan grafik tegangan sisi terima (GH MTQ) pada saat posisi induktor berada di GH MTQ. Sementara pada gambar 9, terlihat grafik dari pada rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran kabel bawah tanah selama 24 jam. Dari grafik terlihat bahwa pada saat Induktor dipasang pada GH MTQ menghasilkan rugi-rugi jaringan yang jauh lebih rendah.



Gambar 9. Grafik besar rugi-rugi daya yang terjadi selama 24 jam

Dengan demikian, dengan menggunakan skenario kedua maka akan menghasilkan secara teknis sistem yang lebih baik. Disamping itu, pihak PT. PLN (persero) akan dapat menghemat kerugian teknis yang terjadi pada sistem mereka. Dengan menggunakan biaya yang hampir sama, tentunya skenario kedua adalah pilihan yang lebih baik dilakukan, mengingat hasilnya yang secara signifikan lebih baik.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian, diatas maka terlihat bahwa skenario kedua adalah jauh lebih baik dari pada skenario pertama. Dimana dengan posisi induktor diletakkan pada sisi terima atau pada GH MTQ. Hal ini dapat menghemat kerugian PT. PLN (persero) per bulannya sebesar 3,79 MW (3,61%). Jika dibandingkan dengan skenario pertama hanya menghemat sebesar 1,16 MW (1,09%) saja perbulannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. L. Theraja, *A Textbook of Electrical Technology: Electronic devices & circuits in S.I. system of units*: S. Chand & Company Ltd., 2005.
- [2] G. F. Moore and B. C. Ltd, *Electric Cables Handbook*: Blackwell Science, 1997.
- [3] PT.PLN(Persero), "Generating and Transmission Data of Central Sumatra," P3BS, Ed., ed. Padang, 2010.
- [4] S. N. Indonesia, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000," vol. SNI 04-0225-2000, ed. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2000.

Simulasi Penghitungan Bit Error Rate dengan Pengkodean Hamming

Setiyo Budiyo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

JL. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650

E-mail : setiyo.budiyo@mercubuana.ac.id

Abstrak – Bit error merupakan salah satu noise yang terdapat sepanjang saluran transmisi pada sistem komunikasi digital, yang mana hal tersebut merupakan suatu kendala yang paling berat untuk diatasi. Data pada sisi penerima akan menjadi rusak atau bahkan tidak bisa diterjemahkan pada suatu sistem komunikasi digital yang didalamnya terkandung bit error. Berbagai solusi metode penanganan error dengan pemeriksaan bit diantaranya *Backward Error Control* (BEC) dan *Forward Error Control* (FEC) dapat digunakan sebagai upaya penanganan error dengan cara mengurangi dampak noise terhadap data maupun pengurangan noise pada saluran transmisi. Penelitian yang dilakukan menggunakan prinsip kerja *Forward Error Control* (FEC) yaitu menggunakan teknik pengkodean untuk menangani masalah error pada data. Beberapa teknik pengkodean pada *Forward Error Control* (FEC), diantaranya : Kode Hamming, Kode Reed-Solomon, Kode BCH dan lain-lain. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan simulasi Pengkodean Hamming untuk menghitung *Bit Error Rate* (BER). Efisiensi probabilitas error kanal dengan memperkecil nilai *Bit Error Rate* (BER) merupakan tujuan yang diharapkan dari penelitian yang dilakukan, sebagai contoh sebelum digunakan pengkodean Hamming *Bit Error Rate* (BER) bernilai $5,3 \times 10^{-2}$, maka setelah digunakan pengkodean Hamming diperoleh *Bit Error Rate* sebesar $7,25 \times 10^{-3}$.

Kata Kunci : bit error, backward error control, forward error control, bit error rate

I. PENDAHULUAN

Komunikasi digital merupakan alternatif pilihan terbaik pada dunia telekomunikasi khususnya saluran transmisi dewasa ini, hal ini dikarenakan suatu komunikasi digital memiliki tingkat ketahanan yang lebih tinggi terhadap noise, karena memiliki metode pengendalian error yang hanya bisa diterapkan pada sistem komunikasi digital. Metode yang dimaksudkan adalah *Backward Error Control* (BEC) dan *Forward Error Control* (FEC). Kedua metode tersebut hanya bisa diterapkan pada sistem komunikasi yang memanfaatkan binary digit (bit), dimana data yang dikirimkan diubah ke dalam bit-bit terlebih dahulu. Pada sisi penerima dilakukan pemeriksaan untuk

mengetahui data yang diterima terdapat error atau tidak. Efisiensi transmisi data diharapkan dapat terwujud dengan memperkecil nilai error yang terdapat pada saluran transmisi.

Suatu komunikasi dinyatakan sukses apabila informasi yang diterima sesuai dengan informasi yang dikirimkan, dengan kata lain informasi yang diterima adalah bebas error. Untuk itu sangat diperlukan pemahaman terhadap metode penanganan error, diketahui kemampuan suatu metode dalam menangani error serta selanjutnya mampu menerapkan metode yang paling cocok digunakan pada suatu sistem telekomunikasi agar sistem tersebut bebas dari error. Penelitian akan membahas salah satu dari metode penanganan error yaitu *Forward Error Control* (FEC) yang memiliki kemampuan untuk mengoreksi error yang terdapat pada saluran transmisi. *Forward Error Control* (FEC) terdiri dari beberapa teknik pengkodean yang dapat digunakan untuk mengoreksi error pada data yang diterima, seperti Kode Hamming, Kode BCH, Kode Reed Solomon, dan lain-lain. Penelitian menggunakan pengkodean hamming sebagai metode yang digunakan untuk pengontrolan error yang terdapat pada saluran transmisi data.

II. PENGKODEAN DAN KODE HAMMING Sistem Komunikasi Digital

Komunikasi digital dewasa ini lebih banyak digunakan pada suatu transmisi data dibandingkan dengan komunikasi analog, hal tersebut dikarenakan komunikasi digital mempunyai beberapa keuntungan sebagai berikut [1][2] :

1. Regenerasi (pengembalian menjadi bentuk yang semula)
Sinyal digital lebih mudah diregenerasi dibandingkan sinyal analog
2. Tingkat Distorsi dan Intereferensi
Pada rangkaian digital tingkat distorsi dan intereferensi lebih rendah dibandingkan dengan rangkaian analog
3. Teknik deteksi kesalahan dan koreksi
Sistem komunikasi digital memiliki teknik deteksi kesalahan dan koreksi, sehingga dapat mengurangi tingkat kesalahan, sedangkan pada sistem komunikasi analog tidak
4. Biaya produksi
Pembuatan rangkaian digital membutuhkan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan dengan

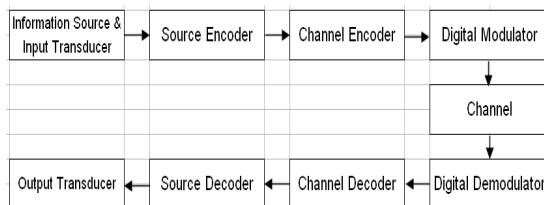
rangkaian analog
5. Kompatibilitas

Perangkat sistem komunikasi digital lebih mudah untuk dikombinasikan (compatible) dengan perangkat lainnya bila dibandingkan dengan perangkat dari sistem komunikasi analog.

Elemen Dasar Sistem Komunikasi Digital

Elemen-elemen dasar dari sistem komunikasi digital ditunjukkan pada Gambar 1, dengan keterangan sebagai berikut:

Blok pertama menunjukkan Input dari sistem komunikasi digital yang dapat berupa sinyal analog maupun sinyal digital. Dalam sistem komunikasi digital sinyal yang digunakan adalah sinyal digital, sehingga, sinyal analog harus dikonversi menjadi sinyal digital terlebih dahulu. Selain itu sinyal digital juga perlu dikompresi atau diminimalisasi ukuran informasinya untuk menyesuaikan dengan bandwidth transmisi yang tersedia. Proses konversi dan kompresi ini biasa disebut juga source coding atau data compression, yang ditunjukkan pada blok kedua. Setelah diproses pada blok kedua, maka dihasilkan deretan digit biner yang biasa disebut juga deretan informasi. Deretan informasi ini kemudian masuk ke blok ketiga yaitu channel encoder, yang berfungsi untuk mengkodekan sinyal agar pada sisi penerima dapat dilakukan decode untuk mendeteksi error dan memperbaiki error yang timbul. Sinyal yang telah dikodekan kemudian di modulasi pada blok keempat dengan menggunakan digital modulator. Tujuan dari proses modulasi ini adalah supaya sinyal dapat disesuaikan dengan kondisi dari kanal transmisi yang digunakan. Pada kanal transmisi yang ditunjukkan pada blok kelima, sinyal yang dikirimkan akan dipengaruhi oleh noise ataupun interferensi. Kemudian pada sisi pengirim sinyal didemodulasikan oleh digital demodulator, seperti yang ditunjukkan pada blok keenam. Setelah didemodulasikan, kemudian sinyal didekodekan sesuai dengan teknik yang digunakan pada enkoder di sisi pengirim untuk diperiksa dan dikoreksi error-nya. Kemudian sinyal didekoder lagi oleh source decoder sesuai dengan teknik yang digunakan oleh source encoder pada sisi pengirim untuk mendapatkan sinyal informasi aslinya.



Gambar 1. Blok Diagram Komunikasi Digital

Pendekodean Hamming

Bit stream dari sumber data yang masuk ke enkoder dikodekan dengan menggunakan suatu generator. Oleh karena itu dalam proses pengkodean Kode Hamming diperlukan suatu generator matriks. Kode Hamming diperoleh dari hasil perkalian antara bit stream dengan generator matriks kode Hamming. Generator matriks kode Hamming yang dipilih adalah generator matriks Kode Hamming yang sistematis. Kode Hamming ini disimpan dalam matriks array 2 dimensi. Sebagai contoh Kode Hamming (7,4) yang mengkodekan 4 bit stream menjadi 7 bit kode yang akan dikirimkan yaitu sbb:

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks generator diatas diperoleh dari operasi sebagai berikut : Misalkan p1,p2,p3 adalah bit parity dari Kode Hamming, dan d1,d2,d3,d4 adalah bit data yang akan ditransmisikan. Hubungan antara bit pariti dan bit data dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Gambar Diagram Bit pariti dan data

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa bit pariti p1 melakukan pengoperasian dan pengecekan terhadap bit data d2,d3,d4, bit pariti p2 melakukan pengoperasian dan pengecekan terhadap bit data d1,d3,d4, dan bit pariti p3 melakukan pengoperasian dan pengecekan terhadap bit data d2,d1,d4. Dimana operasi bitnya sebagai berikut [4]:

$$p1 = d2 + d3 + d4$$

$$p2 = d1 + d3 + d4$$

$$p3 = d1 + d2 + d4$$

Untuk mencari bit-bit pariti dari data tersebut, misalkan data yang dikirimkan adalah :

$$d1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad d4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

maka diperoleh matriks untuk p1 adalah sebagai berikut :

Dari pariti bit diatas, dapat dibentuk matriks generator yang sistematis dengan menggunakan rumus sebagai berikut [1]:

$$G = [P | I]$$

dimana G merupakan matriks generator, P merupakan matriks kolom pariti yang sudah dibuat diatas, dan I merupakan matriks identitas. Pendekodean Kode Hamming dilakukan dengan cara menghitung sindrom yang dihasilkan dengan cara mengalikan bit Kode Hamming yang diterima dengan matriks cek pariti yang disesuaikan dengan generator kode Hamming yang digunakan pada sisi penerima. Sebagai contoh, matriks cek pariti yang sesuai dengan contoh generator matriks untuk Kode Hamming(7,4) sbb:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks untuk cek pariti ini dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut [1]:

$$H = [I | PT]$$

dimana H merupakan matriks cek pariti, I merupakan matriks Identitas, dan PT merupakan hasil transpose dari matriks pariti P

Dari matriks Pariti cek diatas dapat dihitung sindrom dengan rumus [1]:

$$S = r \cdot HT$$

Dimana :

S = Sindrom

r = bit Kode Hamming yang diterima

HT = transposisi dari matriks cek pariti

Setelah didapat sindromnya, maka dapat diketahui apakah kode yang diterima ada error atau tidak dan dimana letak error-nya bila ada. Jika sindrom yang dihasilkan adalah 0, maka berarti tidak terjadi error, selain itu, berarti ada terjadi error. Untuk mengetahui letak error-nya, maka sindrom yang sudah diperoleh harus disesuaikan dengan matriks HT, bila sindrom sesuai dengan salah satu kode pada matriks HT, berarti pada posisi tersebut telah terjadi error. Lalu ubahlah posisi yang error tersebut dengan menginvertkan kode yang diterima. Kemudian ambillah 4 bit kode yang terakhir sebagai bit stream data.

III. PENGKODEAN DAN ANALISA PROGRAM SIMULASI

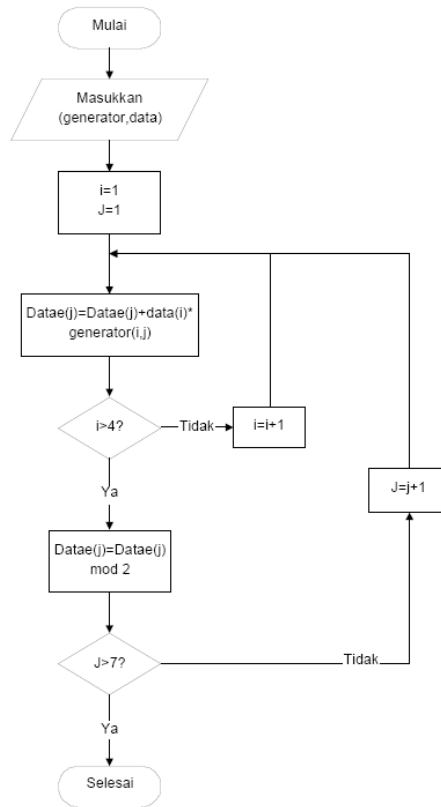
Pada sistem komunikasi digital masalah yang muncul pada umumnya adalah bit error rate dari data yang diterima, yang diakibatkan oleh noise dan

interferensi yang timbul sepanjang kanal transmisi. Untuk mengatasi bit error rate ini, maka digunakan teknik pengkodean yang dapat meminimalisasi terjadinya bit error rate yang timbul. Ada berbagai teknik pengkodean dalam sistem komunikasi digital, salah satunya adalah Kode Hamming. Teknik ini memiliki keunggulan dimana dapat tepat mengoreksi satu kesalahan bit yang timbul. Untuk menganalisa bit error rate pada suatu sistem komunikasi digital dapat dilakukan dengan cara menggunakan metode analitik maupun simulasi. Akan tetapi dengan metode analitik, hasil yang diperoleh hanya berupa probabilitas yang belum pasti. Sehingga perlu digunakan metode simulasi, dimana hasil yang diperoleh lebih mendekati kondisi nyata.

Beberapa asumsi yang berhubungan dengan program simulasi Pengkodean Hamming adalah sebagai berikut:

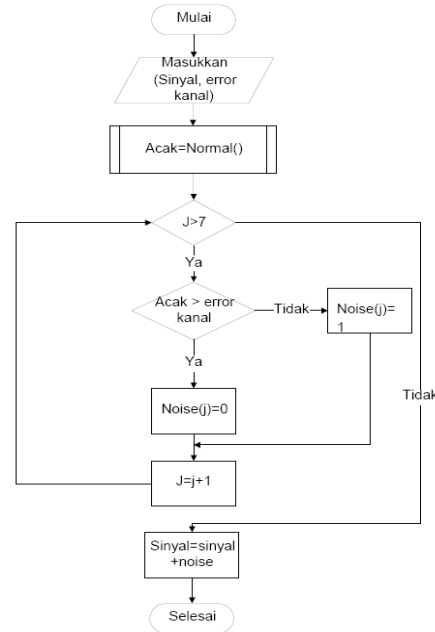
- a. Sumber data yang digunakan berupa sumber data digital yang dibangkitkan dengan menggunakan bilangan acak Poisson
- b. Probabilitas error kanal yang diinput merupakan probabilitas error yang masih muncul setelah dilakukan berbagai teknik modulasi maupun filterisasi
- c. Noise transmisi dibangkitkan dengan membandingkan bilangan acak Normal dengan probabilitas error kanal
- d. Sumber data yang dikirimkan terdiri dari 4 bit
- e. Dianggap tidak ada error yang disebabkan oleh noise dalam rangkaian digital pembangkit sumber data, enkoder/dekoder.

Proses pengkodean dilakukan dengan cara menggunakan dua masukan yaitu data dan generator. Data tersebut berupa deretan biner yang disimpan dalam bentuk matriks 1x4, dan generator disimpan dalam bentuk matriks 4x7. Matriks data dan matriks generator dikalikan dan dihasilkan matriks data yang telah dikodekan dalam bentuk matriks 1x7. Urutan langkahnya dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Enkoder

dekoder untuk melakukan pengecekan. Apabila matriks sindrom sama dengan matriks dekoder, berarti pada posisi bit tersebut terdapat error dan data pada posisi tersebut akan diubah nilainya dari 0 menjadi 1 atau 1 menjadi 0. Urutan langkahnya dapat dilihat dalam Gambar 5.



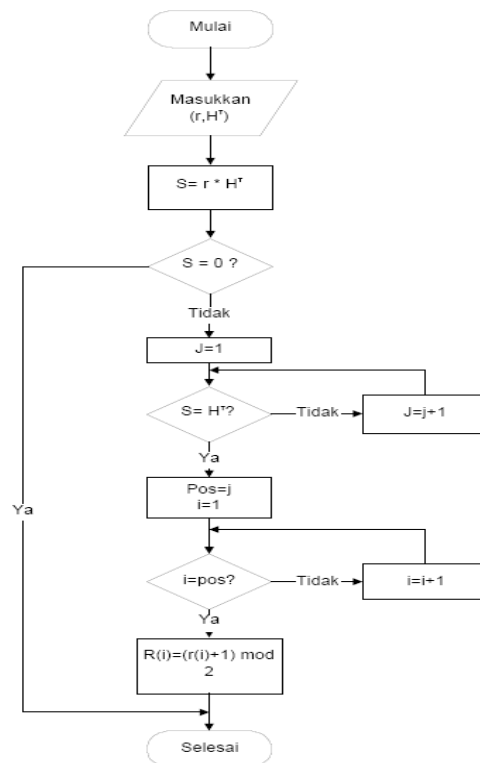
Gambar 4. Diagram alir kanal

Diagram alir kanal

Proses yang dilakukan adalah pembangkitan noise dan penjumlahan noise dengan data yang telah dikodekan. Dalam melakukan pemrosesan di dalam kanal diperlukan data yang telah dikodekan dan probabilitas error kanal. Pembangkitan noise dilakukan dengan cara melakukan pembangkitan bilangan acak Normal, kemudian bilangan acak ini dibandingkan dengan probabilitas error kanal. Bila bilangan acak lebih kecil atau sama dengan probabilitas error kanal, maka sinyal noise berupa 1, dan sebaliknya bila lebih besar, maka sinyal noise berupa 0. Sinyal noise ini kemudian dijumlahkan dengan data yang telah dikodekan. Urutan langkahnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Diagram alir Decoder

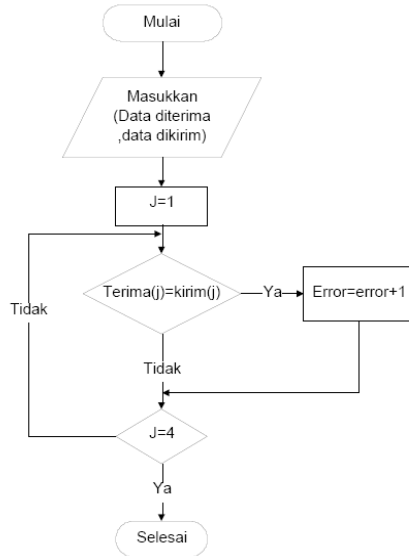
Proses dekoder memerlukan masukan berupa data yang diterima, yaitu data yang telah dikodekan dan dijumlahkan dengan noise, dan matriks untuk mendekodekan data yang diterima. Data yang diterima berupa matriks 1x7, data ini dikalikan dengan matriks dekoder berukuran 7x3 dan dihasilkan sindrom dalam bentuk matriks berukuran 1x3. Apabila sindrom dari hasil perkalian adalah 0, berarti data yang diterima tidak terdapat error, sebaliknya bila sindrom tidak nol, maka akan dilakukan pengecekan dengan membandingkan matriks sindrom dengan matriks



Gambar 5. Diagram alir decoder

Diagram Alir Data yang Diterima

Pada blok ini dilakukan perbandingan data yang diterima dengan data yang dikirimkan untuk mendapatkan jumlah error yang terdapat dalam data yang diterima. Urutan langkahnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Data yang Diterima

Implementasi Program Simulasi

Program Simulasi ini dirancang dengan menggunakan Aplikasi pemrograman Microsoft Visual Basic 6.0 yang menggunakan bahasa pemrograman Basic. Program Simulasi yang dirancang memiliki interface yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan program simulasi

Program Simulasi ini memiliki input-input sebagai berikut :

1. Jumlah pengiriman untuk menentukan jumlah pengiriman yang akan dilakukan oleh program. Jika

jumlah simulasi diisi 1, maka akan dilakukan satu kali simulasi saja, dimana satu kali simulasi berarti melakukan pengiriman data sebesar 4 bit sebanyak satu kali.

2. Kecepatan Simulasi untuk menentukan kecepatan berlangsungnya simulasi, sehingga memungkinkan pemakai untuk mengamati setiap simulasi dengan baik.
3. Probabilitas error kanal untuk menentukan error yang timbul sepanjang perjalanan dari enkoder ke dekoder.
4. Tombol Simulasi untuk menjalankan simulasi baru dengan data yang sudah diinput.
5. Tombol Hentikan/Lanjutkan untuk menghentikan dan melanjutkan simulasi, supaya pemakai dapat mengamati dan mengambil data simulasi.
6. Tombol Keluar untuk keluar dan menutup program simulasi.

Sedangkan untuk outputnya adalah sebagai berikut :

1. Sinyal pertama untuk menandakan sinyal yang dibangkitkan dengan menggunakan bilangan acak.
2. Enkoder menampilkan matriks generator yang digunakan untuk melakukan encode terhadap sinyal yang dibangkitkan.
3. Sinyal kedua untuk menampilkan sinyal setelah diencodekan.
4. Noise untuk menandakan noise yang timbul dalam kanal transmisi yang dibangkitkan dengan menggunakan bilangan acak.
5. Sinyal ketiga untuk menandakan sinyal setelah melewati kanal transmisi dan sudah dipengaruhi oleh noise.
6. Dekoder untuk menampilkan matrik yang digunakan untuk melakukan proses dekoder.
7. Sinyal keempat untuk menandakan sinyal yang dihasilkan setelah dilakukan proses dekoder dan pengkoreksian error.
8. Daftar bilangan acak yaitu berisi daftar bilangan acak yang dibangkitkan.
9. Error kanal untuk menampilkan jumlah error yang muncul pada kanal.
10. Bit error rate(BER) kanal untuk menampilkan BER dari kanal.
11. Error untuk menampilkan jumlah kesalahan bit dari data yang diterima.
12. Bit error rate untuk menampilkan bit error rate dari hasil simulasi. Misalnya untuk mencari bit error rate pada sistem komunikasi digital yang menggunakan Kode Hamming(7,4), dan memiliki probabilitas error sepanjang perjalanan dari enkoder ke dekoder sebesar 10-1, dengan jumlah pengiriman sebanyak 1 kali. Maka hasil akhirnya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Tampilan Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa bit yang dikirimkan sebanyak 4 bit, jumlah bit error pada kanal adalah 1 dan bit error rate(BER) kanal adalah 0,142, jumlah bit error yang timbul pada waktu data diterima adalah 0 bit, dan BER setelah dilakukan pengkodean dengan Kode Hamming adalah 0.

Tahapan jalannya program adalah sebagai berikut:

1. Ketika tombol simulasi ditekan, komputer akan membangkitkan bilangan acak Poisson yang hasilnya adalah 5. Kemudian bilangan acak ini akan diubah kedalam bentuk biner yaitu 0101.
2. Bilangan biner tersebut akan dikalikan dengan enkoder sehingga dihasilkan sinyal dalam bentuk 7 bit yaitu 0100101.
3. Selanjutnya program melakukan pembangkitan bilangan acak serta membandingkan dengan probabilitas error kanal yang dimasukkan yaitu 0,1. Jika bilangan acak lebih kecil dari probabilitas error kanal, maka noise bernilai 1, selain itu bernilai 0. Sehingga terbentuk deretan noise yaitu 0001000.
4. Deretan noise tersebut ditambahkan menurut gerbang XOR sehingga terbentuk sinyal yang diterima yaitu 0101101.
5. Sinyal yang diterima ini dikalikan dengan dekoder dan dihasilkan sindrom 011. Sindrom ini kemudian dibandingkan dengan deretan bit dekoder dan didapatkan error pada posisi bit ke 4, sehingga sinyal tersebut diubah menjadi 0100101 dan data yang dikirimkan diambil dari 4 bit terakhir yaitu 0101.
6. Data yang diterima ini dibandingkan dengan data semula dan hasilnya sama, sehingga jumlah error adalah 0 dan bit error rate adalah 0

Analisa bit error rate dengan Program Simulasi

Program simulasi yang telah selesai dirancang akan digunakan untuk melakukan analisa terhadap hubungan antara probabilitas error kanal dengan bit error rate setelah menggunakan Kode Hamming(7,4). Parameter yang digunakan adalah probabilitas error kanal yang berubah-ubah dan jumlah pengiriman yang disesuaikan dengan probabilitas error kanal. Dari Hasil Simulasi diperoleh data sebagai berikut :

1. Untuk probabilitas error kanal 10-1 dan jumlah pengiriman 80

Dengan menggunakan simulasi diperoleh data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Simulasi Untuk BER kanal 10⁻¹

No.	Waktu Simulasi	BER Kanal (X)	BER Data (Y)	(X-µX)/Kanal	(Y-µY)/Data
1	1 detik	8,57E-02	0,065625	1,68686E-05	0,00029541
2	1 detik	8,04E-02	0,04375	1,5625E-06	2,19727E-05
3	1 detik	7,14E-02	0,0375	0,000103603	0,000119629
4	1 detik	0,075	0,046875	4,36543E-05	2,44141E-06
5	1 detik	7,68E-02	0,03125	2,32462E-05	0,00029541
6	1 detik	8,04E-02	0,046875	1,5625E-06	2,44141E-06
7	1 detik	7,68E-02	0,05625	2,32462E-05	6,10352E-05
8	2 detik	0,0875	0,04375	3,47258E-05	2,19727E-05
9	1 detik	0,0875	0,04375	3,47258E-05	2,19727E-05
10	1 detik	7,32E-02	0,053125	7,04401E-05	2,19727E-05
11	2 detik	9,82E-02	0,08125	0,000275797	0,00107666
12	1 detik	0,0875	0,046875	3,47258E-05	2,44141E-06
13	2 detik	6,43E-02	0,021875	0,000300032	0,000705566
14	1 detik	8,57E-02	0,03125	1,68686E-05	0,00029541
15	1 detik	7,14E-02	0,03125	0,000103603	0,00029541
16	2 detik	6,43E-02	0,034375	0,000300032	0,000197754
17	1 detik	7,86E-02	0,05625	9,21556E-06	6,10352E-05
18	2 detik	8,93E-02	0,0375	5,89605E-05	0,000119629
19	1 detik	0,0875	0,04375	3,47258E-05	2,19727E-05
20	1 detik	7,32E-02	0,03125	7,04401E-05	0,00029541
21	1 detik	8,57E-02	0,040625	1,68686E-05	6,10352E-05
22	1 detik	9,29E-02	0,059375	0,000126563	0,000119629
23	1 detik	7,68E-02	0,065625	2,32462E-05	0,00029541
24	2 detik	9,11E-02	0,065625	8,95727E-05	0,00029541
25	1 detik	0,10535714	0,071875	0,000564063	0,000549316
26	1 detik	7,14E-02	0,040625	0,000103603	6,10352E-05
27	2 detik	9,82E-02	0,090625	0,000275797	0,001779785
28	2 detik	0,0875	0,04375	3,47258E-05	2,19727E-05
29	1 detik	7,86E-02	0,0375	9,21556E-06	0,000119629
30	1 detik	6,61E-02	0,053125	0,000241358	2,19727E-05

Karena menggunakan jumlah percobaan sebanyak 30 kali maka hasil simulasi merupakan distribusi normal. Dengan menggunakan derajat kepercayaan 99,02% maka probabilitas yang digunakan adalah $\frac{1}{2}(0,9902) = 0,4951$. Untuk probabilitas 0,4951 nilai z adalah 2,58. Selang kepercayaan untuk hasil simulasi akan dihitung dengan menggunakan rumus[8] :

$$\mu = \bar{X} \pm z \sigma_{\bar{x}}$$

Dari Tabel 1 diperoleh hasil perhitungan :

- Selang kepercayaan untuk bit error rate(BER) kanal adalah $8,1607 \times 10^{-2} \pm 4,744 \times 10^{-3}$.
- Selang kepercayaan untuk bit error rate(BER) data adalah $4,84375 \times 10^{-2} \pm 7,328059 \times 10^{-3}$.

2. Untuk probabilitas error kanal 10-2 dan jumlah pengiriman 800

Dengan menggunakan derajat kepercayaan dan jumlah percobaan yang sama dengan probabilitas error kanal 10-1 akan dihitung selang kepercayaan dari hasil simulasi yang ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Simulasi Untuk BER kanal 10⁻²

No.	Waktu Simulasi	BER Kanal (X)	BER Data (Y)	(X-μX)/Kanal	(Y-μY)/Data
1	13 detik	0,0171875	0	2,00629E-07	2,40896E-06
2	12 detik	0,0178125	0,001875	3,13585E-08	1,04275E-07
3	12 detik	0,0175	0,0015625	1,83377E-08	1,08507E-10
4	12 detik	0,0175	0,0028125	1,83377E-08	1,58865E-06
5	13 detik	0,0178125	0,0021875	3,13585E-08	4,03754E-07
6	12 detik	0,0175	0,001875	1,83377E-08	1,04275E-07
7	13 detik	0,0178125	0,0021875	3,13585E-08	4,03754E-07
8	12 detik	0,0184375	0,0028125	6,43338E-07	1,58865E-06
9	12 detik	0,0175	0	1,83377E-08	2,40896E-06
10	12 detik	0,016875	0	5,78234E-07	2,40896E-06
11	13 detik	0,0171875	0,0015625	2,00629E-07	1,08507E-10
12	12 detik	0,0184375	0,0025	6,43338E-07	8,98546E-07
13	12 detik	0,0171875	0,001875	2,00629E-07	1,04275E-07
14	12 detik	0,0175	0,003125	1,83377E-08	2,47407E-06
15	12 detik	0,0175	0,0021875	1,83377E-08	4,03754E-07
16	13 detik	0,0171875	0	2,00629E-07	2,40896E-06
17	13 detik	0,018125	0,0025	2,39692E-07	8,98546E-07
18	12 detik	0,01875	0,0028125	1,2423E-06	1,58865E-06
19	12 detik	0,0175	0,0025	1,83377E-08	8,98546E-07
20	12 detik	0,0175	0,0021875	1,83377E-08	4,03754E-07
21	13 detik	0,016875	0	5,78234E-07	2,40896E-06
22	13 detik	0,0171875	0	2,00629E-07	2,40896E-06
23	13 detik	0,018125	0,001875	2,39692E-07	1,04275E-07
24	13 detik	0,0175	0	1,83377E-08	2,40896E-06
25	12 detik	0,016875	0	5,78234E-07	2,40896E-06
26	13 detik	0,01875	0,0028125	1,2423E-06	1,58865E-06
27	12 detik	0,0175	0	1,83377E-08	2,40896E-06
28	12 detik	0,01875	0,0028125	1,2423E-06	1,58865E-06
29	13 detik	0,0171875	0	2,00629E-07	2,40896E-06
30	12 detik	0,0175	0,0025	1,83377E-08	8,98546E-07

Dari Tabel 2. diperoleh hasil perhitungan :

- Selang kepercayaan untuk bit error rate(BER) kanal adalah $8,101 \times 10^{-3} \pm 5,7 \times 10^{-4}$.
- Selang kepercayaan untuk bit error rate (BER) data adalah $4,89583 \times 10^{-4} \pm 2,83613 \times 10^{-4}$.

3. Untuk probabilitas error kanal 10⁻³ dan jumlah pengiriman 8000

Dengan menggunakan derajat kepercayaan dan jumlah percobaan yang sama dengan probabilitas error kanal 10⁻¹ akan dihitung selang kepercayaan dari hasil simulasi yang ditunjukkan Tabel 3.

Dari Tabel 3 diperoleh hasil perhitungan :

- Selang kepercayaan untuk bit error rate(BER) kanal adalah $7,91815 \times 10^{-3} \pm 9,19963 \times 10^{-5}$.
- Selang kepercayaan untuk bit error rate(BER) data adalah $3,125 \times 10^{-6} \pm 7,92699 \times 10^{-6}$.

Tabel 3. Hasil Simulasi Untuk BER kanal 10⁻³

No.	Waktu Simulasi	BER Kanal (X)	BER Data (Y)	(X-μX)/Kanal	(Y-μY)/Data
1	126 detik	7,14E-04	0	6,01086E-09	9,76563E-12
2	127 detik	8,21E-04	0,00009375	8,76935E-10	8,21289E-09
3	128 detik	7,86E-04	0	3,72245E-11	9,76563E-12
4	126 detik	8,21E-04	0	8,76935E-10	9,76563E-12
5	127 detik	8,93E-04	0	1,02094E-08	9,76563E-12
6	127 detik	0,00075	0	1,74853E-09	9,76563E-12
7	127 detik	8,21E-04	0	8,76935E-10	9,76563E-12
8	126 detik	9,11E-04	0	1,41369E-08	9,76563E-12
9	128 detik	0,00075	0	1,74853E-09	9,76563E-12
10	127 detik	8,21E-04	0	8,76935E-10	9,76563E-12
11	125 detik	0,00075	0	1,74853E-09	9,76563E-12
12	125 detik	5,89E-04	0	4,10183E-08	9,76563E-12
13	125 detik	0,00171875	0	8,59208E-07	9,76563E-12
14	126 detik	5,71E-04	0	4,85704E-08	9,76563E-12
15	127 detik	6,96E-04	0	9,09866E-09	9,76563E-12
16	128 detik	6,43E-04	0	2,21886E-08	9,76563E-12
17	128 detik	8,21E-04	0	8,76935E-10	9,76563E-12
18	126 detik	7,68E-04	0	5,74002E-10	9,76563E-12
19	125 detik	0,00075	0	1,74853E-09	9,76563E-12
20	126 detik	8,57E-04	0	4,26767E-09	9,76563E-12
21	125 detik	7,68E-04	0	5,74002E-10	9,76563E-12
22	126 detik	9,64E-04	0	2,9746E-08	9,76563E-12
23	125 detik	6,61E-04	0	1,71875E-08	9,76563E-12
24	125 detik	6,07E-04	0	3,4104E-08	9,76563E-12
25	125 detik	7,68E-04	0	5,74002E-10	9,76563E-12
26	125 detik	6,96E-04	0	9,09866E-09	9,76563E-12
27	125 detik	8,21E-04	0	8,76935E-10	9,76563E-12
28	126 detik	6,61E-04	0	1,71875E-08	9,76563E-12
29	125 detik	7,14E-04	0	6,01086E-09	9,76563E-12
30	125 detik	8,39E-04	0	2,25342E-09	9,76563E-12

Analisa bit error rate secara Analisis

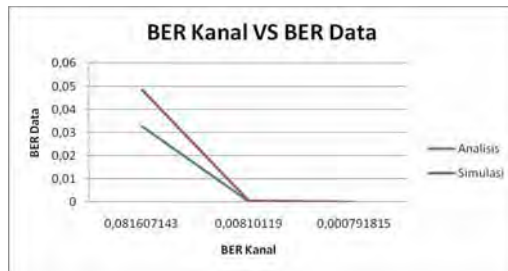
Bit error rate secara analisis dapat dihitung dengan menggunakan rumus [1]:
 $PB \approx p - p (1 - p) n - 1$; dimana p adalah probabilitas error kanal. Hasil perhitungan BER secara analisis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Tabel Hubungan BER kanal dan BER data secara Analisis

BER kanal	BER data Analisis
0,081607143	0,032640632
0,00810119	0,000385886
0,000791815	3,75439E-06

Grafik Hubungan antara BER kanal dan BER data

Hasil simulasi dan analisa yang telah dihitung diatas akan digambarkan dalam sebuah grafik untuk membandingkan BER yang dihitung secara analisis dan secara simulasi. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Probabilitas *Error* Kanal Vs *Bit Error Rate*

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perancangan simulasi Pengkodean Hamming dapat diambil kesimpulan :

1. Program dapat digunakan untuk mensimulasikan proses pengkodean dengan Kode Hamming(7,4) dan menghitung bit error rate.
2. Penggunaan simulasi dengan menggunakan jumlah simulasi yang lebih banyak akan menghasilkan hasil simulasi yang lebih akurat.
3. Pengkodean Hamming dapat mendeteksi tepat satu error dan dapat memperkecil bit error rate dalam sistem komunikasi digital.

Saran

Dari kesimpulan yang diperoleh, maka saran yang dapat diberikan penulis adalah :

1. Simulasi dapat dikembangkan dengan mengubah matriks generator untuk Kode Hamming lainnya .
2. Simulasi dapat dikembangkan dengan mengubah bilangan acak yang digunakan.
3. Simulasi dapat dikembangkan dengan menyertakan parameter-parameter sistem komunikasi digital lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sklar, Bernard. 2001. Digital Communications. New Jersey : Prentice Hall.
2. Proakis, John G. 2001. Digital Communications. Singapore : McGraw-Hill.
3. Couch, II. 2001. Digital and Analog Communication Systems. United States of America : Prentice Hall.
4. Dipperstein, Michael. 2008. Hamming (7,4) Code Discussion and Implementation. <http://michael.dipperstein.com/hamming/index.html>
5. Law, Averill M. and W. David Kelton. 2000. Simulation Modeling and Analysis. Singapore : McGraw Hill Book. Hal 1-6 dan hal 403-413.
6. Banks, dkk. 1996. Discrete Event System Simulation. United States of America : Prentice Hall. Hal 1-6 dan hal 322-348.
7. Jeruchim, dkk. 1992. Simulation of Communication Systems. United States of America : Plenum Press. Hal 192-202 dan hal 275-282.
8. Walpole, Ronald E.. 1992. Pengantar Statistika. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama. Hal 130-142 dan hal 237-247.

Sistem Gerak Robot Barang via Jalur Garis Hitam Berbasis Controller

A. Sofwan, M.Febriansyah, H.E. Havitz dan A.Priyono
 Program Studi Teknik Elektro, FTI- Institut Sains dan Teknologi Nasional
 Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa Jakarta 12640
 Email: asofwan31@yahoo.com

Abstrak--. System gerak robot ini diatur 3 motor DC yang berputar differential sebagai mekanik penggerakannya. Putaran arah motor DC yang dirancang pada robot menggunakan driver motor DC dengan IC L293D. Untuk gerak maju, belok kanan, belok kiri, ataupun mundur; digunakan 2 motor DC disisi kiri dan kanannya. Sedangkan motor DC lainnya digunakan sebagai mekanik pendorong barang. Robot ini dilengkapi dengan sensor-sensor infra merah dengan menggunakan IC 4093. Tiga fungsi Sensor Infra merah yakni sebagai pendeteksi jalur lintasan pergerakan, pendeteksi tempat tujuan persediaan barang, dan pendeteksi jenis barang yang akan dipindahkan. Robot dirancang hanya bergerak pada lintasan acuan tertentu berupa garis hitam sejauh 194.6cm dan lebar 1.5cm Untuk Keseluruhan robot dikendalikan oleh mikrokontroler AT89S52. Sehingga secara fungsi operasionalnya robot dapat optimal mendeteksi sesuai dengan programnya. Instruksi input mikrokontroler dihubungkan pada push button dan interface parallel port oleh PC menggunakan aplikasi visual basic. Dengan pemberian tegangan 8volt pada mekanik penggerak jalan robot didapat kecepatan rata-rata stabil dalam pendeteksian objek oleh sensor IR sebesar $4.203995 \pi \text{ cm/s}$. Untuk robot yang berbelok stabil pada jalur lintasan sudut dirancang $\frac{1}{4}$ lingkaran dengan jarak radius 10 cm. Tingkat keberhasilan robot sesuai tujuan 95% dalam 100 percobaan. Paper ini memaparkan rekayasa robot mobil pemindah barang dengan basis mikrokontroler AT89S52.

Kata Kunci: robot, mikrokontroler, sensor infra merah, penggerak differential.

I. PENDAHULUAN

Kecenderungan pada masa mendatang adalah penggunaan perangkat keras yang dapat menggantikan tenaga manusia secara penuh. Hal ini tentunya dapat memudahkan pekerjaan manusia secara efektif dan efisien, baik dalam hal waktu pelaksanaan maupun cara pengoperasian yang mandiri.

Sehingga timbul gagasan dalam hal perancangan dan implementasi suatu alat yang dapat memindahkan barang secara otomatis pada suatu sistem keadaan tertentu. Perancangan alat yang bekerja secara otomatis ini sering disebut sebagai robot cerdas. Robot

cerdas yang digunakan berupa robot mobil yang bergerak dengan menggunakan dua penggerak differential yakni dua buah motor DC.

Otomatisasi robot mobil pemindah barang ini menggunakan sistem kendali otomatis yang disebut mikrokontroler AT89S52. Robot ini dirancang untuk dapat membedakan jenis barang yang akan dipindahkan, dan juga dirancang untuk membedakan jenis tempat persediaan barang. Untuk menempuh tiap-tiap tempat persediaan barang, robot dirancang hanya bergerak melalui lintasan acuan garis hitam yang telah dirancang.

Barang yang dipindahkan terdiri dari dua jenis barang yang dibedakan oleh pola warna hitam-putih pada sisi sampingnya yakni berupa balok berdimesi $4 \times 4 \times 1,7 \text{ cm}^2$ dengan massa 20 gr. Sedangkan untuk tempat persediaan barang atau gudang barang dibedakan menjadi 3 jenis gudang berdasarkan pola warna hitam-putih. Instruksi perintah pengoperasian program pemindahan barang dapat dilakukan dengan memberikan input yang berasal dari *push button* atau *parallel port*.

Ada 2 macam mode pemindahan barang secara otomatis, yakni :

- *Mode default*

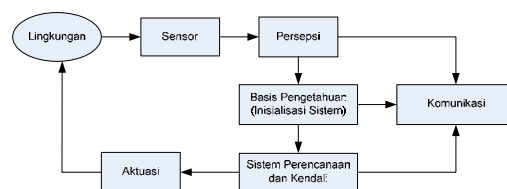
Mode ini dimaksud untuk memindahkan barang secara normal, dimana barang-barang yang berasal dari gudang A dipindahkan ke tempat masing-masing, seperti : barang X dipindahkan ke gudang B sedangkan barang Y dipindahkan ke gudang C.

- *Mode decision*

Mode ini adalah mode pilihan, apakah semua jenis barang dipindahkan ke gudang B saja atau semua jenis barang dipindahkan ke gudang C saja.

II. DASAR ROBOT

Hubungan antar sub bagian digambarkan pada Gambar 1.



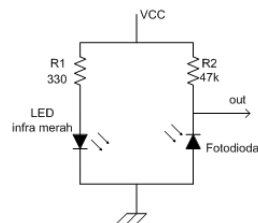
Gambar 1. Hubungan Antara Sub Bagian Sistem Robot

Struktur sistem robot dapat dibagi menjadi :

- Lingkungan, yakni suatu ruang keadaan yang nantinya akan dikondisikan oleh robot mobil.
- Sub bagian sensor, berfungsi untuk mengenali dan mendeteksi lingkungan yang ditemukan robot. Sensor digunakan untuk mengubah variasi sinar, mekanis, magnetik, panas, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik.
- Sub bagian persepsi, merupakan tahap awal sebelum ditentukannya setpoint sebagai inialisasi masukan sistem yang terdeteksi robot. Biasanya data masukan ini masih berupa data analog.
- Sub bagian basis pengetahuan. Sub bagian ini merupakan inialisasi masukan dari sensor yang telah ditentukan *setpoint*-nya kemudian diubah menjadi algoritma-algoritma tertentu sebelum diproses di sistem kendali. *Setpoint* ini disebut sebagai masukan logika “*Low Level* atau *High Level*” pada sistem kendali.
- Sub bagian sistem perencanaan dan kendali, yakni suatu sistem pemrosesan algoritma-algoritma perencanaan tertentu untuk disesuaikan ke suatu aktuasi. Pengendalian sistem meliputi perencanaan pergerakan, navigasi, *piloting* dan pengendali pengeksesian perintah.
- Komunikasi, merupakan penghubung antara persepsi, basis pengetahuan, dan sistem perencanaan/ kendali sehingga informasi yang disampaikan antar sistem berfungsi secara efektif dan maksimal.
- Sub bagian aktuasi, merupakan eksekusi perintah akhir. Pada robot mobil berupa mekanik penggeraknya, seperti penggunaan motor DC yang menghasilkan perintah robot maju, berhenti, mundur, belok kiri, belok kanan.

Sensor Infra Merah Reflektif

Sensor IR bekerja berdasarkan prinsip gambar berikut:



Gambar 2. Rangkaian Sensor Infra Merah Reflektif

Sensor deteksi objek dapat diimplementasikan dengan banyak cara. Cara yang sering digunakan adalah dengan memanfaatkan sifat halangan yang dapat memantulkan gelombang cahaya. Untuk sensor halangan yang menggunakan gelombang cahaya sebagai medianya, cahaya yang digunakan adalah cahaya infra merah. Sensor halangan dengan media sinar infra merah terdiri dari dua bagian yaitu bagian *transmitter* infra merah dan bagian *receiver* infra

merah. Perangkat yang digunakan untuk menangkap radiasi infra merah adalah fotodioda.

Dengan menggunakan IC 4093 maka dapat ditentukan keluaran logika “*low* atau *high*” dari sensor infra merah reflektif. Jika infra merah ditembakkan pada permukaan hitam, maka cahaya infra merah akan diserap oleh permukaan yang gelap tersebut, sensor akan berlogika 0 “*low*”. Jika infra merah tersebut dipantulkan pada permukaan yang terang (putih), maka infra merah tersebut akan dipantulkan sesuai sudut datangnya. Pantulan tersebut akan keluaran dari sensor ini akan berlogika 1 “*high*”.

Penggerak Robot Mobil

Aktuator yang digunakan untuk membentuk sistem penggerak diferensial adalah dua buah motor DC. Motor DC dipasang di kedua sisi robot yang berfungsi untuk menggerakkan roda-roda robot. Motor DC juga digunakan pada pendorong barang sistem mekanik robot. Pengendalian motor DC tetap dilakukan oleh mikrokontroler yang dihubungkan pada *driver* motor DC menggunakan rangkaian *H-bridge* yang terintegrasi yaitu IC L293D, sehingga arah putar masing-masing motor DC dapat diputar searah atau berlawanan arah jarum jam. Dengan memberikan gelombang pulsa “1” dan “0” pada driver motor DC dengan periode tertentu maka dapat diatur putaran arah dan kecepatan motor DC tersebut.

Untuk mendapatkan kecepatan roda robot dapat diperoleh dari :

$$V_R = r_R \omega_R \quad \text{atau} \quad V_R = r_R 2\pi f_R \dots\dots\dots (2-1)$$

$$V_L = r_L \omega_L \quad \text{atau} \quad V_L = r_L 2\pi f_L \dots\dots\dots (2-2)$$

V_R = Kecepatan roda kanan robot, V_L = Kecepatan roda kiri robot, ω_R = Kecepatan sudut roda kanan robot, ω_L = Kecepatan sudut roda kiri robot, r_R = jari-jari roda kanan robot, r_L = jari-jari roda kiri robot, f_R = jumlah putaran roda kanan dlm tiap detik, f_L = jumlah putaran roda kiri dalam tiap detik

Input Mikrokontroler

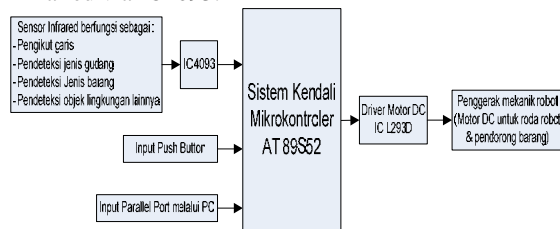
Input *push button* berlogika “*low level*” tegangan pada mikrokontroler jika tombol *push button* ditekan. Input DB25 atau *parallel port* dapat memberikan logika “*high* atau *low*” level tegangan pada mikrokontroler. Nanti DB25 dihubungkan ke PC (Personal Computer).

Tabel 1. Pin-Pin Parallel Port DB25

Pin	Signal	Arah I/O	Register
1	nStrobe	In/Out	Control
2	Data 0	Out	Data
3	Data 1	Out	Data
4	Data 2	Out	Data
5	Data 3	Out	Data
6	Data 4	Out	Data
7	Data 5	Out	Data
8	Data 6	Out	Data
9	Data 7	Out	Data
10	nAck	In	Status
11	Busy	In	Status
12	Paper-Out/ Paper-End	In	Status
13	Select	In	Status
14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control
15	nError/ nFault	In	Status
16	nInitialize	In/Out	Control
17	nSelect-Printer/ nSelect-In	In/Out	Control
18-25	Ground	Gnd	

III. PERANCANGAN SISTEM

Secara umum bentuk perancangan alat dalam proses pembuatan robot ini dapat dilihat pada gambar 3. Sistem kendalinya berada pada mikrokontroller AT 89S52, dimana pada masukannya dilengkapi sensor infra red via IC4093.



Gambar 3. Diagram Blok Rancangan Robot

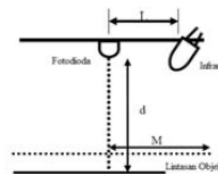
Robot Pengikut Garis

Rancangan dasar robot pemindah barang melalui jalur satu garis ini adalah dengan pembuatan robot pengikut garis (*line follower robot*). Untuk pendeteksian jalur robot mempunyai 2 pasang sensor infra merah yang keaktifan pendeteksian objeknya ditentukan oleh output IC 4093. Ketika sensor mendeteksi objek berwarna hitam, output dari sensor infra merah menjadi low logic, karena sebagian sinar dari infra merah diserap oleh bahan berwarna hitam tersebut. Sedangkan ketika sensor mendeteksi objek berwarna putih output dari sensor menjadi high logic.

Output sebagai eksekusi perintah akhir atas algoritma program yang terlaksana dikirim ke aktuator motor DC. Sebelum instruksi penggerak aktuator masuk ke motor DC, terlebih dahulu mikrokontroler menghubungkan output algoritma tertentu ke L293D sebagai inputannya. IC L293D digunakan sebagai motor *driver* untuk mengendalikan arah putaran dan kecepatan dari motor DC. Bentuk pemasangan sensor IR tersebut diperlihatkan pada gambar 5 (pendeteksi Line follower), gambar 6 IR sebagai pendeteksi gudang dan gambar 7 sebagai pendeteksi barang.

Keterangan Ukuran :

d = 1,4 cm
L = 2 cm



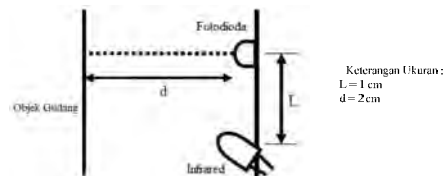
Gambar 4. Sensor IR sebagai Line Follower

Pergerakan robot hanya dibatasi 4 hal utama dan reaksi dari sensor Infra Red, sebagaimana dapat dilihat pada tabel2.

Tabel 2. Pergerakan Robot Line Follower

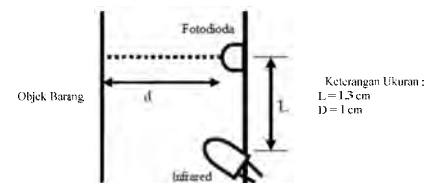
Sensor Infrared sisi kiri	Sensor Infrared sisi kanan	Pergerakan Robot
Berlogika "high"	Berlogika "high"	Maju
Berlogika "high"	Berlogika "low"	Belok Kanan
Berlogika "low"	Berlogika "high"	Belok Kiri
Berlogika "low"	Berlogika "low"	Maju Perlahan

Robot Sebagai Pendeteksi Jenis



Gambar 5. Sensor IR Pendeteksi Gudang

Robot Pemindah Barang ini dirancang memiliki pendeteksi jenis barang dengan menggunakan sensor infra merah reflektif, yakni hanya dibatasi oleh 2 jenis barang tertentu saja. Selain itu pendeteksi jenis barang ini dihubungkan dengan mekanik pendorong barang.



Gambar 6. Sensor IR sebagai Pendeteksi Barang

Adapun jenis barang yang akan dijadikan objek dalam penelitian ini dibedakan atas dua jenis, yaitu barang X dan Y, sedangkan jenis gudang diklasifikasikan dengan 3 bentuk, yang memvariasikan bentuk dan warna hitam putih. Hal tersebut dapat dilihat pada table 3 dan table 4.

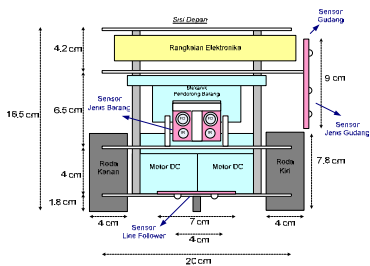
Tabel 3. Jenis Barang-Barang yang dipindahkan

Jenis Barang	Bentuk Fisik
Barang X	
Barang Y	

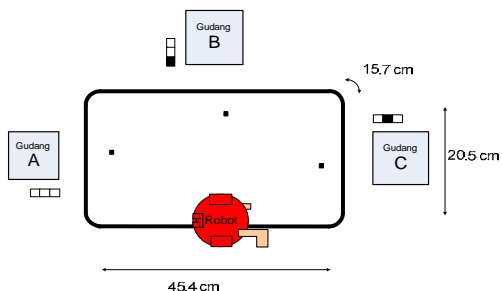
Tabel 4. Jenis-Jenis Gudang

Jenis Gudang	Bentuk Fisik
Gudang A	
Gudang B	
Gudang C	

Bentuk perancangan mobil robot diperlihatkan pada gambar 8, walau tampak dari potongan samping.



Gambar 7. Platform Robot Tampak Depan



Gambar 8. Lingkungan yang Dilintasi Robot

Gambar 8 memperlihatkan platform robot yang tampak dari depan beserta ukurannya, sedangkan lintasan yang dijadikan lintasan hitam putih oleh robot pendeteksi tersebut ditampilkan pada gambar 10. Fungsi input push button pada robot dan status aktivasinya dibentuk dalam tabel dan diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Fungsi Input Push Button pada Robot

Input Push Button	Status Aktivasi	Keterangan
SW_1	Low	Mode default akan aktif
SW_2	High	
SW_3	High	

SW_4	High	Mode decision1 akan aktif
SW_1	High	
SW_2	Low	
SW_3	High	
SW_4	High	Mode decision2 akan aktif
SW_1	High	
SW_2	High	
SW_3	Low	
SW_4	High	Mode akan direset
SW_1	High	
SW_2	High	
SW_3	High	
SW_4	Low	

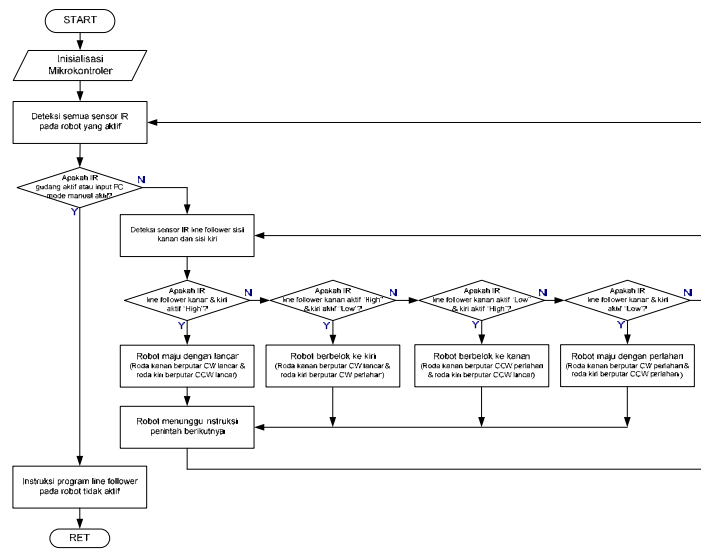
Pengguna sistem robot ini dapat memberikan instruksi perintah pada robot menggunakan tombol keyboard dengan ASCII CODE (*American Standard Code for Information Interchange*) atau menekan mouse. Program software PC yang digunakan adalah software visual basic 6.0. Input 0 menandakan perintah dari PC ke robot tak aktif, sedangkan Input 1 menginformasikan perintah aktif. Secara lengkap Input parallel port sebagai mode pemindah ditampilkan dalam tabel 6 dan tabel 7 menyusun tombol keyboard sebagai mode pemindah manual.

Tabel 6. Input Parallel Port sebagai Mode Pemindah

Input Parallel Port P3.7 P3.6 P3.5 P3.4 P3.3 P3.2 P3.1 P3.0	Keterangan
0 0 0 0 0 0 0 0	perintah dari PC ke robot tidak aktif
1 0 0 0 0 0 0 0	perintah PC robot otomatis akan aktif
1 0 0 0 0 0 0 1	mode default akan aktif
1 0 0 0 0 0 1 0	mode decision1 akan aktif
1 0 0 0 0 1 0 0	mode decision2 akan aktif

Tabel 7. Tombol Keyboard Mode Pemindah Manual

Tombol Keyboard	Dec	Input Parallel Port P3.7 P3.6 P3.5 P3.4 P3.3 P3.2 P3.1 P3.0	Keterangan
Simbol "w"	119	0 1 0 0 0 0 0 1	Robot maju
Simbol "s"	115	0 1 0 0 0 0 1 0	Robot mundur
Simbol "a"	97	0 1 0 0 0 1 0 0	Robot putar kiri
Simbol "d"	100	0 1 0 0 1 0 0 0	Robot putar kanan
Simbol "="	61	0 1 0 1 0 0 0 0	Pendorong keluar
Simbol "_"	45	0 1 1 0 0 0 0 0	Pendorong masuk



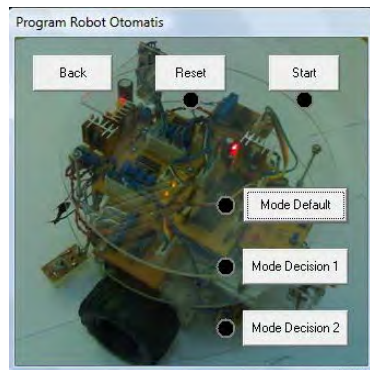
Gambar 9. Flowchart Sub Bagian Sistem Robot

Pada gambar 9 ditampilkan urutan kerja dari sub bagian dari sistem robot yang mengikuti gerak berdasarkan garis (line follower), sedangkan gambar 12 memaparkan bentuk robot mobil yang dibuat sebagai objek yang akan diatur, dimana terdapat tombol strat, reset dan beberapa mode decision. Program robot manual dan decisionnya dapat menggunakan bantuan fasilitas software visual basic.

Bila semua 0 atau semua 1 atau 1100 atau 0011 maka gerak robot berhenti.

Tabel 8. Hasil Pengamatan Sensor IR Reflektif

No	Jarak Sensor pada Objek	Keadaan Led	Output
1	Jarak 1 cm	Nyala	high (1)
2	Jarak 2 cm	Nyala	high (1)
3	Jarak 3 cm	Nyala	high (1)
4	Jarak 3,2 cm	Mati	low (0)



Gambar 10. Tampilan Program Robot Manual dan Decision Menggunakan Software Visual Basic 6.0

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengukuran Photo Dioda sebagai Penerima IR

Dalam pengujian yang dilakukan terhadap sensor infra merah sering terjadi gangguan akibat terkena cahaya matahari langsung, sehingga menyebabkan sensor tidak bekerja secara optimal sesuai dengan program yang dibuat. Hal ini dikarenakan sensor infra merah terkena interferensi cahaya matahari. Hasil dari pengamatan terhadap sensor InfraRed akibat adanya pencahayaan dengan mengukur jarak antara sensor dan objek (1.0cm-3,2cm) diperlihatkan pada Tabel 8. Pada tabel 9 memaparkan hasil uji dari sistem penggerak robot mobil dengan mengkombinasikan kode 0 dan 1.

Pengujian Mekanik Penggerak Robot

Pengujian terhadap sistem gerak robot juga dilakukan dengan variasi sebanyak 12 macam gerak, seperti mundur belok kanan, maju belok kanan dan mundur belok kiri. Secara lengkap dapat dilihat dalam tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Sistem Penggerak Robot Mobil

No	P1.4 P1.5 P1.6 P1.7	Gerakan robot mobil
1	0000	Diam
2	0001	Mundur Belok Kanan
3	0010	Maju Belok Kanan
4	0011	Diam
5	0100	Mundur Belok Kiri
6	0101	Maju Belok Kanan
7	0110	Putar searah jarum jam
8	0111	Mundur Belok Kiri
9	1000	Maju Belok Kiri
10	1001	Putar berlawanan arah jarum jam

11	1010	Maju
12	1011	Maju Belok Kiri
13	1100	Diam
14	1101	Mundur Belok Kanan
15	1110	Maju Belok Kanan
16	1111	Diam

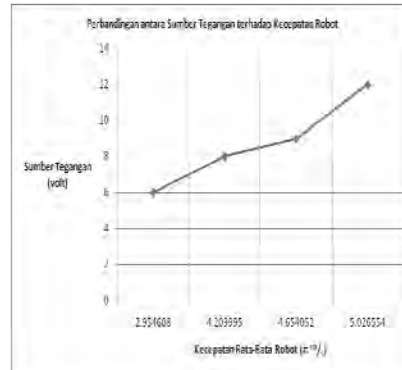
Aktivasi level tegangan dari mikrokontroler untuk menggerakkan motor DC pada robot berupa "High" dan "Low" level tegangan. Untuk level tegangan "High" atau "1" yang diberikan pada driver motor DC yakni 4,6 V. Sedangkan untuk level tegangan "Low" atau "0" yang diberikan pada driver motor DC yakni sebesar 0 V. Kecepatan motor DC dipengaruhi oleh pemberian tegangan referensi yang dihubungkan pada driver motor DC.

Untuk mendapatkan kecepatan putar roda robot maksimal dan stabil terhadap pendeteksian sensor infra merah maka perlu adanya pengujian pemberian tegangan pada motor DC. Pemberian tegangan referensi pada motor DC diuji cobakan dengan sumber tegangan bervariasi, mulai 6v, 8volt, 9 volt, dan 10 volt. Berikut ini merupakan tabel percobaan kecepatan roda robot terhadap sumber tegangan referensi.

Tabel 10. Kecepatan Robot terhadap Sumber Tegangan

No	Sumber Tegangan (volt)	Kecepatan Rata- Rata Robot (π cm/s)	IR Keberhasilan Mendeteksi Objek (dlm 10x uji)	% Keberhasilan
1	6	2.954608	10	100 %
2	8	4.203995	10	100 %
3	9	4.654052	9	90 %
4	12	5.026554	8	80 %

Dengan memvariasikan tegangan input maka dapat menghasilkan perbedaan kecepatan robot dan bergerak, dimana hasil dipaparkan pada tabel 10. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan robot hamper berbanding lurus dengan sumber tegangan yang diberikan pada motor DC. Bentuk garis tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hubungan antara Sumber Tegangan Dengan Kecepatan Motor DC

Uji Keberhasilan Robot Secara Keseluruhan

Bentuk uji keberhasilan gerak robot secara keseluruhan dan dalam menghadapi belokan. Telah diuji dengan memvariasikan radius belok, maka diperoleh tingkat keberhasilan gerak robot dalam mengikuti jalurnya tersebut.

Tabel 11. Pengujian Keberhasilan Robot Tikungan

No.	Radius Belok (cm)	Keberhasilan (kali)	% Keberhasilan	Keberhasilan
1	6	75	75%	Tidak
2	7	90	90%	Kurang
3	8	100	100%	Berhasil
4	9	100	100%	Berhasil
5	10	100	100%	Berhasil
6	11	100	100%	Berhasil

Maka didapat range kestabilan radius belokan jalur lintasan robot yang stabil pada jarak lebih dari 8 cm. Apabila radius belokan pada sudut jalur lintasan kecil dari 8 cm maka akan menyebabkan robot sering keluar jalur lintasan acuan. Tingkat keberhasilannya dapat dilihat pada tabel 11. Adapun tabel 12 dan 13 menampilkan tingkat keberhasilan pengujian instruksi pemindahan barang.

Tabel 12. Hasil Pengujian Instruksi Pemindahan Barang Mode Decision 1

No. Percobaan	Status	Waktu Tempuh ke Gudang B (s)	Waktu Tempuh kembali ke Gudang A (s)
1	Berhasil	9.44	32.09
2	Berhasil	9.56	31.55
3	Berhasil	9.23	31.65
4	Berhasil	9.33	31.69
5	Berhasil	9.90	30.78

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{9.44 + 9.56 + 9.23 + 9.33 + 9.90}{5} = 9.492 \text{det}$$

Tabel 13. Pengujian Instruksi Pemindahan Barang Mode Decision 2

No. Percobaan	Status	Waktu Tempuh ke Gudang C (s)	Waktu Tempuh kembali ke Gudang A (s)
1	Berhasil	15.58	31.57
2	Berhasil	15.22	30.68
3	Berhasil	15.00	31.35
4	Berhasil	15.21	31.21
5	Berhasil	15.71	30.97

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{15.58 + 15.22 + 15.00 + 15.21 + 15.71}{5} = 15.344 \text{detik}$$

Dalam tabel ditampilkan hanya 5 percobaan dari 100 kali uji coba dengan tingkat keberhasilannya. Jadi, perhitungan keberhasilan robot dalam pengoperasian mode pemindahan barang otomatis selama 100 kali percobaan didapat :

$$A = \frac{\sum \text{banyaknya keberhasilan pengujian}}{\text{banyaknya pengujian}}$$

$A \times 100\% = 0.95 \times 100\% = 95\%$ sehingga diperoleh persentase keberhasilan robot dalam mode pemindahan barang otomatis sebesar 95%.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tentang rancang sistem robot mobil sebagai pemindah barang dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Menurut data hasil pengujian dari mekanik penggerak jalan robot, pemberian sumber tegangan sebesar 8 volt terhadap motor DC akan menghasilkan kecepatan rata-rata tercepat dan stabil sebesar $4.203995 \pi \text{ cm/s}$ dalam hal pendeteksian sensor infra merah terhadap lingkungan robot.

- Agar robot dapat tetap bergerak pada jalur lintasan acuan lingkungannya, maka pada jalur lintasan belokan, setiap sudutnya dirancang $\frac{1}{4}$ lingkaran dengan batas radius kestabilan minimum 8 cm.
- Pada pengoperasian mode pemindahan barang otomatis (untuk mode default dan mode decision) didapatkan tingkat keberhasilan robot memindahkan barang sesuai gudang tujuan adalah 95% dalam 100 kali percobaan.
- Sistem ini teruji stabil, saat robot memindahkan barang dari gudang A ke gudang tujuan dengan waktu tempuh yang konstan atau mendekati waktu tempuh rata-rata. Diperoleh pengukuran waktu tempuh rata-rata pemindahan barang dari gudang A ke B selama 9.492 s. Untuk waktu tempuh rata-rata pemindahan barang dari gudang A ke gudang C selama 15.344 s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiharto, Widodo. *Membuat Robot Cerdas*. 2006. PT Elex Media Komputindo. Jakarta
- [2] Budiharto, Widodo. *Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler*. 2005. Penerbit PT Elex Media Komputindo. Jakarta
- [3] Malik, Moh. Ibnu & Anistardi. *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8031*. 1997. Penerbit PT Elex Media Komputindo. Jakarta
- [4] Budiharto, Widodo & Rizal, Gamayel. *12 Proyek Mikrokontroler untuk Pemula*. 2007. PT Elex Media Komputindo. Jakarta
- [5] Wahyudin, Didin. *Belajar Mudah Mikrokontroler AT89S52 dengan Bahasa Basic menggunakan BASCOM-8051.07*. ANDI. Yogya
- [6] Tim. Lab Mikroprosesor BLPT Surabaya. *Pemrograman Mikrokontroler AT89S51 dengan C/C++ dan Assembler*. 2007. ANDI. Yogyakarta
- [7] The City College of New York. *Mobile Robot*
- [8] Rahman, Achmad. *Keterampilan Elektronika 2*. 1997. Penerbit Ganeça Exact Bandung. Bandung
- [9] Rahman dan Suhendi. *Keterampilan Elektronika 3*. 1997. Penerbit Ganeça Exact Bandung.
- [10] Team Batara. *CD Panduan Penggunaan Latih-51P*. 2004. Batara Elektrindo
- [11] Tim Batara. *Mikrokontroler Dasar*. B. Elektrindo
- [12] LP2M ARAY. *Modul Microcontroller*
- [13] Ramadhan, Arief. *Visual Basic 6.0*. 2004. Penerbit PT Elex Media Komputindo. Jakarta

Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Harmonik pada Beban Mesin Welding Berbasis Mikrokontroler

A.Sofwan, A.Ponco Putro dan A.Priyono

Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN Ciganjur Jakarta 12640

E-mail: asofwan31@yahoo.com

Abstrak-- Untuk mengatasi atau memproteksi sistem terhadap gangguan harmonic akan dikaji pada paper ini. Beban non linear seperti pada mesin Welding atau diode atau thyristor rectifiers membuat arus yang tidak sinusoidal pada jaringan listrik dan mengakibatkan penurunan power quality pada utility di sistem tenaga listrik di industri. Pada penulisan ini sebuah Active Filter yang dikendalikan dengan mikrokontroler digunakan untuk meredam harmonisa yang terjadi akibat penggunaan mesin welding dalam kapasitas laboratorium. Metode yang digunakan untuk menguraikan harmonisa menggunakan peralatan Power Analyzer untuk mendapatkan data besarnya THDi dan THDv yang pada sistem jaringan listrik. Beban non linier yang diukur adalah mesin welding dengan karakteristik daya 12 kW, 18,5 kVA, 380V, 3 Ph, 50/60 Hz, yang diberikan filter aktif dan dikendalikan dengan bantuan pengontrolan berbasis mikrokontroler. Diperoleh hasil berupa penurunan harmonik yang sangat signifikan. Hasil simulasi dengan memasang filter aktif pada sistem distribusi, diperoleh dalam pengukuran diperoleh % THDi sebesar 5.14 % dan % THDv sebesar 3.82 % yang telah sesuai dengan standar %THD. Filter aktif yang dipasang pada sistem ini, selain dapat meredam gangguan harmonik filter aktif ini juga dapat meningkatkan atau memperbaiki nilai dari faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 35% yaitu dari 0,71 hingga mencapai 0,96.

Kata Kunci: Proteksi, Gangguan Harmonik, Filter Aktif, Mikrokontroler dan welding.

I. PENDAHULUAN

Peralatan-peralatan listrik yang berbasis elektronik umumnya menarik arus dari sumber dengan bentuk non sinusoidal, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai bentuk beban non linier. Pada beban non linier selalu terdapat converter berupa penyearah yang mengkonversikan tegangan bolak-balik dari utility ke tegangan searah untuk mengoperasikan peralatan elektronika.

Besanya arus harmonik yang dibangkitkan setiap peralatan elektronik akan proporsional terhadap kapasitas dayanya. Secara individual arus harmonik yang dibangkitkan oleh peralatan elektronik relative kecil, tetapi jika diakumulasikan seluruh peralatan

pada gedung-gedung komersial arus harmonik menjadi sangat signifikan terhadap sistem.

Dalam keadaan normal, arus beban setiap fasa dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya pada beban non linier satu fasa, akan timbul harmonik kelipatan tiga ganjil yang disebut *triple harmonic* (harmonik ke tiga, kesembilan, kelima belas dan seterusnya). Harmonik ini tidak menghilangkan arus netral, tetapi dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi.

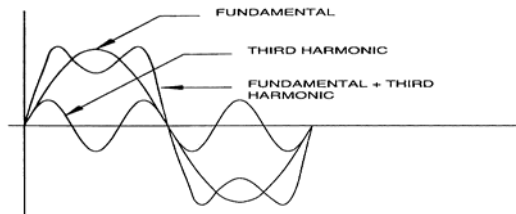
Tingginya tingkat kandungan harmonik yang terdapat dalam sistem distribusi tenaga listrik dapat menyebabkan kualitas daya pada sistem menjadi lebih buruk karena faktor daya sistem menjadi lebih rendah, bentuk gelombang sistem terdistorsi, rugi-rugi daya sistem meningkat sehingga efisiensi energi semakin rendah. Arus harmonis dihasilkan oleh beban tidak linier, salah satu beban non linier yang terjadi di workshop adalah peralatan mesin welding.

Hal ini terjadi karena pada saat proses pengelasan, arus yang masuk pada mesin welding selalu berubah-ubah. Fenomena ini mengakibatkan bentuk sinusoidal pada sistim distribusi tenaga menjadi cacat, dan dapat mengurangi kualitas listrik yang disalurkan. Akibat dari cacat gelombang tersebut, sering terjadi kerusakan di beberapa peralatan listrik yang lain

II. TEORI DASAR

Prinsip Harmonik

Gangguan harmonik dapat terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, itu merupakan gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Jika frekuensi dasar sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya bergelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ke-3 dapat mencapai 150 Hz dan seterusnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gelombang Fundamental Harmonik sebagai fungsi waktu.

Sistem Harmonik Sistem Distribusi Listrik

Harmonik yang terjadi pada system tenaga listrik harus mengacu pada standar IEEE yang merupakan badan regulasi international yang menangani tentang masalah kelistrikan dunia. Standar IEEE 519-1992 Rekomendasi Praktis dan Syarat Kontrol Harmonik pada Sistem Tenaga Listrik (Distorsi Arus untuk tegangan berkisar 120V – 69 kV). Tabel 1 memberikan gambaran tentang batas distorsi arus harmonik dalam prosentase dan dilengkapi dengan nilai ratio I scc dan I beban.

Tabel 1. Batas Distorsi Arus Harmonik

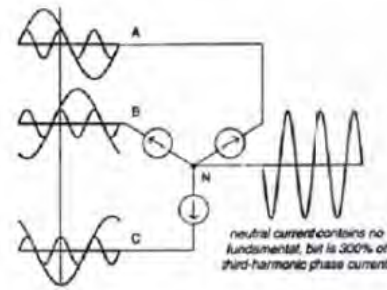
Ratio I _{scc} / Iload	Harmonic odd numbers (<11)	Harmonic odd numbers (>35)	THD-i
< 20	4.0 %	0.3 %	5.0 %
20 – 50	7.0 %	0.5 %	8.0 %
50 – 100	10.0 %	0.7 %	12.0 %
>1000	15.0 %	1.4 %	20.0 %

Triplen Harmonik

Triplen harmonik merupakan kelipatan ganjil dari harmonik ketiga (h = 3, 9, 15, 21,...dan seterusnya). Triplen harmonik harus mendapat perhatian khusus, karena respon sistem yang terjadi saat triplen harmonik umumnya berbeda dengan respon dari orde harmonik yang lain. Triplen harmonik menjadi persoalan yang penting bagi sistem jaringan bintang yang ditanahkan (grounded wye systems) dengan arus yang mengalir pada netral sistem tersebut [12]

Arus pada netral menjadi overload, karena arus antar fasanya tidak saling menghilangkan melainkan saling menjumlahkan. Terkadang, suatu peralatan dapat salah beroperasi karena tegangan fasa yang terjadi distorsi cukup parah akibat dari triplen harmonik pada konduktor netral.

Untuk lebih memberikan gambaran yang jelas tentang triplen harmonik tersebut, berikut ditampilkan sebuah gambar arus yang mengalir pada sisi netral sistem fasa tiga akibat adanya triplen harmonik di ketiga fasanya seperti diperlihatkan pada Gambar 2. berikut:



Gambar 2. Arus Netral pada Sistem WYE-Akibat Triplen Harmonik.

Sistem pada gambar ini merupakan sistem yang seimbang, diasumsikan komponen harmonik ketiga hadir dalam sistem. Komponen arus fundamental dari setiap fasa yang mengalir pada konduktor netral sistem akan saling menghilangkan, namun ternyata pada sistem ditemukan bahwa arus pada konduktor netral tidak nol, melainkan ada komponen arus triplen harmonik dari ketiga fasa yang saling menjumlahkan. Sehingga arus triplen harmonik yang mengalir pada konduktor netral adalah tiga kali dari arus triplen pada setiap fasanya. Hal ini disebabkan karena fasa dan waktu dari arus triplen yang sama dari setiap fasanya

Pengontrolan Harmonik

Ketika sebuah sistem tenaga listrik mengalami permasalahan distorsi akibat adanya gelombang harmonik, ada beberapa cara dasar untuk mengatasinya, yaitu dengan:[8]

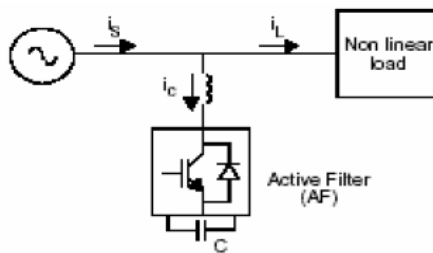
1. Mengurangi besar arus harmonik yang dihasilkan oleh adanya beban tersebut.
2. Memberikan tambahan berupa sebuah filter untuk mengalihkan arus harmonik dari sistem, memblok arus yang memasuki sistem, atau melokalisir arus harmonik.
3. Merubah respon frekuensi dengan bantuan menggunakan beberapa tambahan berupa: filter, induktor, dan kapasitor.

Filter Aktif

Beberapa prinsip dasar tentang filter aktif sebagai berikut:

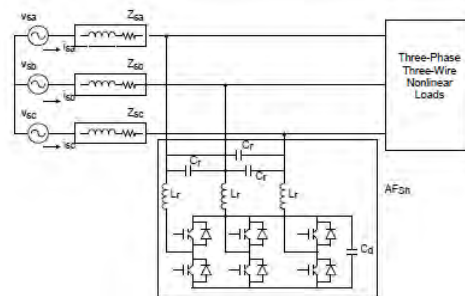
1. Prinsip dasar Filter aktif berfungsi untuk membangkitkan arus atau tegangan yang sesuai dengan bentuk sinyal harmonisa pada sistem tetapi berbeda fasa 180° sehingga penjumlahan total adalah nol, dengan konsep inilah harmonisa pada system dapat direduksi. Untuk membangkitkan arys atau tegangan kompensasi yang sesuai atau mendekati komponen harmonisa menggunakan inverter. Filter aktif dapat dipasang paralel atau seri dengan sumber.
2. Filter aktif merupakan tipe baru untuk suatu peralatan filter eliminasi harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Filter aktif ini disusun dari peralatan peralatan yang berbasis elektronika daya.

Banyak metode yang telah dikembangkan oleh pakar elektronika daya untuk mengeliminasi harmonisa dalam sistem tenaga listrik dengan menggunakan filter aktif, seperti digambarkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Rangkaian filter aktif pada sistem.

Salah satu keunggulan filter aktif adalah dapat meredam harmonisa dari beban non linier yang semakin besar dan kontinu. Dalam rangkaian tersebut filter aktif akan menginjeksi arus untuk membatalkan harmonisa yang terkandung pada arus beban. Pada sistem 3 fasa, filter aktif dapat dirangkai sedemikian rupa seperti gambar di bawah ini. Peralatan switching yang digunakan untuk filter aktif dapat berupa mosfet, IGBT, transistor daya, GTO, PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan memerakukan pensaklaran antara peralatan dan juga periode arus nol. Gambar 4 menggambarkan rangkaian filter aktif 2 fasa yang dihubungkan dengan sumber 3 fasa.[1]



Gambar 4. Rangkaian filter aktif 3 fasa

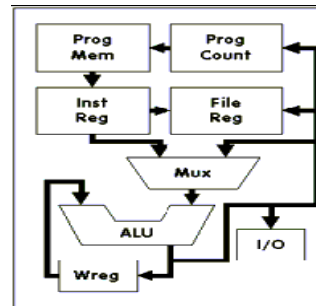
Dalam rangka untuk mengeliminasi gelombang harmonisa berfrekuensi tinggi yang terkandung dalam PWM, filter induktor dan kapasitor diletakkan pada sisi bolak balik (AC). Kapasitor di sisi AC dapat juga berperan sebagai jalur arus ketika peralatan dihidupkan melalui saklar.

Mikrokontroler PIC

Suatu komponen PIC (Peripheral Interface Controller) adalah IC dimana dibuat untuk mengontrol bagian bagian yang terpasang didekatnya (peripheral device), membantu kerja fungsi CPU. Jika dibandingkan dengan tubuh Manusia , CPU sebagai otaknya dan PIC sebagai syarafnya.

Device ini mempunyai fungsi perhitungan dan memory seperti CPU dan dikontrol dengan software. Tetapi hanya mempunyai kapasitas memory yang

tidak terlalu besar. Tergantung dari jenis PIC nya dan nilai maximum operation clock frequency hanya 20 MHz dan kapasitas memory untuk menulis program hanya 1K sampai 4K word. Clock frequency akan berkaitan dengan kemampuan membaca program dan menjalankan instruksi. Pada architecture yang sama dengan menggunakan clock yang lebih tinggi akan menghasilkan kinerja yang lebih tinggi, seperti digambarkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Skema Mikroprocessor

Pada memory program digunakan satuan WORD untuk menyatakan kapasitasnya. Ini menunjukkan bahwa satu instruksi sama dengan 1 word. Dan juga digunakan BYTE untuk menyatakan kapasitas dari memory. 1 byte sama dengan 8 bits. Bit dimana atom menunjukkan kondisi 1 atau 0. Instruction dari PIC16F84A dibuat pada 14 bits. Yaitu $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$ bits jadi jika diconversikan ke word menjadi 1K. Jika dikonversikan ke byte menjadi $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75K$ bytes. [13]

Harmonik dalam Sistem Distribusi Listrik

Suatu gelombang periodik non sinusoidal dapat dinyatakan dalam jumlah seri harmonik frekuensi dasar yang dinyatakan dengan analisis persamaan fourier sebagai berikut :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

Dimana :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

= nilai f dasar untuk satu periode dari 0 hingga T

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt$$

= 2x nilai rata-rata f(t)cos n untuk 1 periode gel.

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega_0 t dt$$

= 2 kali nilai rata-rata f(t) sin n untuk satu periode gelombang.

n = indeks gelombang.

Untuk memperoleh suatu parameter yang dipakai untuk mengukur Total Harmonic Distortion (THD) perlu diketahui prosentase tegangan dan arus harmonik, yang besarnya :

$$\begin{aligned} \% V_h &= \frac{V_h}{V_s} \times 100 \\ &= h \frac{\left(\frac{I_h}{I_i} \right)}{\left(\frac{I_{sc}}{I_i} \right)} \\ &= h \frac{I_h}{I_{sc}} \times 100 \\ \% I_h &= \frac{I_h}{I_s} \times 100 \end{aligned}$$

Dimana :

- Vh = Tegangan harmonic
- Vs = Tegangan system
- Ih = Arus harmonic
- Isc = Arus Short Circuit
- h = harmonic ke - n
- Isc / Ii = Perbandingan pada tabel limit distorsi arus harmonic
- Ii = Arus yang mengambil daya beban elektronik

Dari persamaan di atas, maka dapat diperoleh nilai Total Harmonic Distortion (THD) adalah :

$$\begin{aligned} \text{» Arus THD} &: I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \% \\ \text{» Tegangan THD} &: \\ V_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100 \% \end{aligned}$$

III. ANALISIS DAN PENGUKURAN

Perhitungan Filter Harmonik

Langkah awal dari perhitungan filter berdasarkan pengukuran besaran pada sisi out going, yaitu :

- Power Factor = 0,86
- Tegangan 3 phasa $V = \sqrt{3} \times V_{LL} = 17,098 \text{ kV}$
- $I_L = 152 \text{ Ampere}$
- $S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_L = 4,5011 \text{ MVA}$

Daya efektif yang dihubungkan untuk memperbaiki power faktor dapat dilakukan dengan perhitungan berikut :

- $Q_1 = S \times \sin(\arccos \Theta) = 2,296 \text{ MVAR}$

Apabila power faktor dinaikan menjadi 0,95 besar menjadi :

- $Q_2 = S \times \sin(\arccos \Theta) = 4,501 \times \sin(\arccos 0,95) = 1,405 \text{ MVAR}$

Maka total daya reaktif yang dibutuhkan filter untuk mengkompensasi adalah :

- $Q_c = Q_1 - Q_2 = 2,296 - 1,405 = 0,891 \text{ MVAR} = 891 \text{ kVAR}$

Kemudian menentukan reaktansi filter (X_{filter}) dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} X_{filter} &= \frac{V^2 (1000)}{Q_c} \\ X_{filter} &= \frac{17,098^2 (1000)}{891} = 328 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Sedangkan masing-masing nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada frekuensi penalaan 100 Hz (harmonik pada orde ke 2) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} X_c &= \left| \frac{h^2}{h^2 - 1} \right| \cdot X_{filter} \\ X_c &= \left| \frac{1,8^2}{1,8^2 - 1} \right| \cdot 328,1 \\ &= 474,5 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Dimana h adalah harmonik ke n

$$h = n - (10\% n) \implies 2 - (0,2) = 1,8$$

Menentukan nilai kapasitor :

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2 \pi f X_c} \\ C &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 474,5} = 0,000006711 \text{ F} \\ &= 6,711 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Sedangkan menentukan nilai induktansi adalah :

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} = \frac{474,5}{1,8} = 146,47 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \pi f}$$

$$L = \frac{146,7}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,4664 \text{ H} = 466 \text{ mH}$$

Rangkaian filter terdiri dari R, L dan C yang memiliki nilai, dan didapat dari perhitungan di atas, maka penentuan nilai R adalah :

Q bernilai antara 20 – 100, dipilih Q = 50, maka ;

$$Q = \frac{nX_L}{R} \text{ maka } R = 5,85 \Omega$$

Pengukuran THDi dan THDv Tanpa Filter

Pengukuran THDi tanpa filter dilakukan 3 kali percobaan untuk menghasilkan data yang valid. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2 dan 4.7 di bawah ini :

Tabel 2 Pengukuran THDi tanpa Filter

Arus	P1	P2	P3	P rata	Teg.
I_{RMS}	49,55	40,74	38,86	40,05	
I₁	34,24	34,40	34,56	34,40	
I₃	7,70	7,84	7,83	7,79	
I₅	5,51	5,46	5,47	5,48	250
I₇	4,49	4,49	4,49	4,49	350
I₉	2,92	3,00	2,96	2,96	
I₁₁	2,88	2,85	2,85	286	
THDi (%)	32,90 %	32,84 %	32,83 %	32,86 %	

Tabel 3 Pengukuran THDv tanpa Filter

Teg.	P1	P2	P3	P rata	Hz
V₁	89,21	89,04	88,93	89,06	
V₃	1,11	1,02	1,02	1,05	
V₅	2,25	2,18	2,38	2,27	250
V₇	1,88	1,54	2,22	1,88	350
V₉	2,12	2,17	2,01	2,1	
V₁₁	1,59	1,56	1,59	1,58	
THDv (%)	4,50 %	4,51 %	4,49 %	4,50 %	

Pengukuran THDi-THDv Dengan Active Filter

Rangkaian filter yang dikendalikan dengan mikroprosesor PIC PIC16F84A terdapat jalur input dan out put. Jalur input digunakan untuk mendeteksi adanya lonjakan frekuensi saat proses proses welding, sedangkan jalur output digunakan sebagai pengendali rangkaian filter untuk meredam harmonisa.

Rangkaian kendali, relai dal filter harmonik untuk sebuah orde harmonik dapat dilihat pada tabel respon tiap relai untuk nilai frekuensi terpilih.

Tabel 4. Respon Relai tiap perubahan frekuensi

Frek. Hz	Relai 1	Relai 2	Relai 3	Relai 4	Relai 5	Relai 6
50	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
150	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
250	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
350	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
450	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
550	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
650	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON

Relai akan bekerja menghubungkan filter sesuai dengan kenaikan frekuensi yang terjadi. Pengukuran THDi dengan filter aktif dilakukan 3 kali percobaan

untuk menghasilkan data yang valid. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.8 dan 4.9 di bawah ini :

Tabel 5. Pengukuran THDi dengan dipasang Filter Aktif

Arus	P1	P2	P3	P rata	Teg.
I_{RMS}	40,15	40,22	40,20	40,19	
I₁	35,76	37,75	35,74	35,75	
I₃	1,24	1,31	1,26	1,27	
I₅	0,86	0,9	0,85	0,87	250
I₇	0,82	0,9	0,83	0,85	350
I₉	0,50	0,46	0,51	0,49	
I₁₁	0,35	0,4	0,39	0,38	
THDi (%)	5,12 %	5,17 %	5,13 %	5,14 %	

Tabel 6. Pengukuran THDv dengan dipasang Filter Aktif

Teg.	P1	P2	P3	P rata	Teg.
V₁	88,76	88,74	88,75	88,75	
V₃	2,45	2,47	2,46	2,46	
V₅	1,54	1,55	1,59	1,56	250
V₇	1,23	1,24	1,25	1,24	350
V₉	0,99	0,93	0,93	0,95	
V₁₁	0,75	0,78	0,78	0,77	
THDv (%)	3,82 %	3,82 %	3,82 %	3,82 %	

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai-nilai % THD dari arus maupun tegangan sudah dapat diterima/sesuai dengan standart THD yang diperbolehkan.%THD tegangan sudah dapat diterima karenastandard THD untuk tegangan yaitu 5%, untukt tegangan dibawah 69 kV. Dengan ISC = 10 kA dan IL= 25.54 A, maka :

$I_{sc}/ I_L = 10 \text{ kA}/ 25.54 = 391.54$ (antara 100-1000,sesuai tabel standard minimum THDi), dengan demikian standart THD yang digunakan untuk arus adalah 15%.

IV. KESIMPULAN

1. Untuk mengatasi harmonik akibat mesin welding, pada saat pengelasan akan terjadi fluktuasi arus yang sangat signifikan. Hal ini akan menjadi gangguan harmonik yang cukup signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut perlu didisain filter dengan menggunakan filter aktif.
2. Pengukuran pada panel TR 23 yang didalamnya terdapat. Beberapa mesin welding harmonik pada panel TR 23 dan terjadi melewati batas toleransi telah dapat diukur dimana pada pengukuran ini diperlukan pemasangan filter kapasitor harmonik.
3. Dikarenakan filter aktif dapat mengatur jumlah filter yang dibutuhkan sesuai dengan perubahan beban non linier maka dengan demikian bahwa Filter Aktif tersebut lebih baik dibandingkan filter pasif.

4. Filter kapasitor harmonik yang dipasang pada panel TR 23 merupakan filter yang sederhana tapi telah menunjukkan kehandalan untuk mampu menurunkan nilai THD arus dari 32,86 % menjadi 5,14 %
5. Apabila ada penambahan beban, khususnya beban non linier maka dilakukan pengukuran ulang untuk menentukan spesifikasi filter kapasitor harmonik yang akan dipasang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ambrish Chandra, Bhim Singh, B.N. Singh and Kamal-Al-Haddad and "An improved control algorithm of shunt active filter for voltage regulation, harmonic elimination, power-factor correction, and balancing of nonlinear loads" IEEE Trans on Power Electronics Vol. 15, no 3, pp 495 – 507, May 2000.
- [2]. Arrilaga, J, Bradley, D, A, Bodger P.S *Power Syatem Harmonics*, NewYork : John Wiley and Sons Inc.
- [3]. Cividino, *Power Factor, Harmonics Distortion; Cause Effect and Considerans*, IEEE Telecommunications Energy Conference, INTELEC'92, October 1992,
- [4]. Dahono, Pekik A, *Pengaruh Harmonisa pada Sistem Distribusi Energi Listrik Jakarta : Pelatihan Kualitas Daya dan Harmonisa*, 2007
- [5]. Dahono, Pekik A., *Kajian Indek Kualitas Tenaga Listrik Jakarta : Pelatihan Kualitas Daya dan Harmonisa* 2007
- [6]. El-Habrouk, M., Darwish, M.K., and Mehta, P.: 'Active power filters: A review', IEE Proc., Electr. Power Appl. vol. 147, pp. 493–413, 2000.
- [7]. Hermanto, Bambang, *Phenomena Harmonik di Sistem Distribusi Tenaga Listrik : Masalah, Penyebab dan Mengatasinya*, Energi dan Listril Vol VII, 1996
- [8]. I Nengah Suweden, I Wayan Rinas, *Analisa Penanggulangan THD pada Sistem elistrikan di RSUP Sanglah*, Jurnal Vol 8 No. 2 Juli – Desember 2009 Teknik Eelektro Fakultas Teknik Universitas Udayana 2009
- [9]. IEEE Load Characteristics Task Force, *The effect of The Power System Harmonics and Power System Equipment and Load*, IEEE Trans. Power App, Sys. Vol 104 1985
- [10]. IEEE *Guide for harmonic control and reactive compensation of Static Power Converters*, IEEE Std. 519-1992.
- [11]. Limantara, Limboto, *Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa pada Sistem Pembangkitan di Industri*, Jurnal teknik Elektro Vol 2 No. 1 Maret 2002
- [12]. M. H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems", *Standard Publishers Distributors*, First Indian Edition, 2001, Delhi.
- [13]. Sharon. D, *Robotic and Automated Manufacturing.*, Pitman Publishing London 1992
- [14]. Wardani, *Pengaruh Beban Industri pada Mutu Tenaga Listrik*, Energi dan Listrik, Vol 4 No. 2 Juni 1996

A Low Cost Microcontroller-Based Automatic Transfer Switch for Portable Generator

Budhi Anto

Electrical Engineering Department, University of Riau

Jl. HR. Subrantas km 12,5, Pekanbaru - Indonesia, telp/fax 0761-66596/0761-66595

e-mail: budhianto.ur@gmail.com

Abstract -- Automatic transfer switch is electro-mechanical controllable apparatus used to transfer electrical supply from utility network to secondary supply such as generating set when utility network supply fails. This apparatus automatically switches its contacts to utility supply if electricity from utility network returns back to normal. Local-made automatic transfer switch for portable generator is not available in the market, however the imported one is offered at costly price. This condition drives people to use manual transfer switches for controlling their portable generators. This paper presents microcontroller-based auto-matic transfer switch for portable generator which is designed to meet cost effective product. The design is based on ATMEL ATtiny2313 micro-controller platform with 2 (two) units of 30-ampere power contactor as actuators so that power capacity of the apparatus reaches 6600 volt-amperes at 220 volt working voltage. Several functional tests conducted in the laboratory show that the apparatus successfully makes transition between the two sources of electricity at the right time.

Keywords: automatic transfer switch, ATtiny2313 microcontroller

I. INTRODUCTION

Automatic transfer switch (ATS) has been used in industrial installations, office buildings, shopping centers, hospitals, etc, to enhance electrical system reliability. During normal condition the ATS contacts connect electrical load to utility network such as PLN network. When utility network fails to supply electricity, ATS transfers its contacts so that the load will be connected to secondary supply such as engine-driven generator or commonly known as generating set (genset). ATS will transfer its contacts back to normal position when electricity supply from utility network returns to normal. Loss of electricity supply duration can be reduced by installing the ATS, hence high reliability electrical system can be achieved.

Behind features offered by the manufacturers, ATS should have 3 (three) basic functions. It must be able to monitor the status of utility supply, the status of genset supply and make transition between the 2 (two) sources of electricity at the right time [1]. Several requirements that should be added to the ATS

that will be installed in a high reliable power system have been explained in [2]. For this kind of installation, the ATS must be able to operate under 2 (two) modes of operation, manual mode and automatic mode. Under manual mode of operation, the transition between the 2 sources of supply is made manually utilizing mechanical gear equipped on the ATS. Within automatic mode, the transition is made automatically by the controller unit. The ATS controller may use discrete components such as electromagnet relays and timers or using programmable logic controller. Contacts transition of the ATS may use break-before-make procedure or may use make-before-break procedure. Within first procedure, the ATS contacts connecting electrical load to utility network is firstly open before the contacts connecting electrical load to genset is made to close. Within later procedure, the ATS contacts connecting electrical load to genset is firstly made to close before the contacts connecting ATS to utility network is made to open. Make-before-break procedure is intentionally used in installation that requires high reliability of electricity supply and the installed genset must be equipped with voltage synchronizing apparatus. Other requirement that shall have to be provided in the ATS is the ability to control genset starting and shutting down process.

Portable generator is other type of genset usually used as secondary supply in residential and small business installations. Typical portable generators generate single-phase alternating current with power capacity up to 10 kVA. Like other types of genset, portable generator is equipped with automatic voltage regulator to control generator output voltage and speed governor to control the speed of engine shaft [3].

ATS for portable generator is not common in the market therefore this apparatus is rarely installed. This is due to its costly price felt by common people. For example, the US-made ATS for portable generator, the ASCO ULATS1651001 [4], with power capacity up to 24 kVA in single-phase 3-wire 120/240 volt, 60 Hz installation, is offered at USD 779 [5]. This is as the price of FIRMAN portable generator with power capacity 5 kVA [6]. Because of the above reason, people prefer to use manual transfer switch such as utilizing the cam switches to operate their portable generators.

Publications and patents related with the ATS for portable generator have been searched for. Patent of

ATS for portable generator which is equipped with features to start and stop the genset is described in [7]. This ATS is controlled by microcontroller and several SPDT type of relays are used as actuators. Other patent is described in [8]. This ATS is also controlled by microcontroller and it uses special electro-mechanical drive to make transition between electricity sources. The ATS describing in these patents are installed in single-phase 3-wire installation complying the NEC standard.

Local made ATS for portable generator is not available in the market, though potential usage of this apparatus is promisingly high due to relatively low reliability of PLN electricity supply at many places in Indonesia. This paper presents ATS for portable generator which is designed by considering low material cost to achieve low price of product. By this concept, the end product will be widely used in residential and small business installations.

II. DESIGN OF AUTOMATIC TRANSFER SWITCH

Low material cost has become constraint that is considered during design phase of this portable generator ATS. Therefore this portable generator ATS is designed to comply with standard type of ATS as explained in previous chapter, i.e. it must be able to monitor the status of utility supply, the status of portable generator supply and to make transition between the sources of supply at the right time. This standard type of ATS is suitable for residential and small business installations since they do not need high reliability supply of electricity. Block diagram of portable generator ATS is shown in Figure 1. Operating principle of the apparatus is explained as follows;

Information about the state of electricity supply either from utility network or portable generator is provided by voltage sensor 1 and voltage sensor 2. The state of the sensors becomes digital input for process controller unit. Other digital input is RESET BUZZER pushbutton switch. Hence totally there are 3 (three) digital input. Process controller unit will control the operation of contactor K1, contactor K2 and buzzer, based on information gained from digital input devices. Hence process controller has 3 (three) digital output, one digital output is used to energize/de-energize contactor K1, one digital output to energize/de-energize contactor K2 and one digital output to energize/de-energize buzzer.

Process controller unit uses ATMEL ATtiny2313 microcontroller [9]. This type of microcontroller is chosen due to its channel capacity enough for controlling the process with 3 (three) digital input and 3 (three) digital output and also this microcontroller is cheaper than other types of microcontroller available in the market.

The microcontroller chip controls the process based on the program embedded in. The BASCOM-AVR language is used for programming ATtiny2313 [10]. The program takes control the process by following the procedure as explained herein. If electricity is available at utility network, the state of voltage sensor 1 output will be LOW. By this input, the microcontroller chip will command to de-energize contactor K2 before commands to energize contactor K1, hence electrical load will be connected to utility network. If electricity is not available at utility network, the state of voltage sensor 1 output will be HIGH, hence process controller unit will command to deenergize contactor K1 and then electrical load will not be connected to utility network. The program continues to read the state of voltage sensor 2 output.

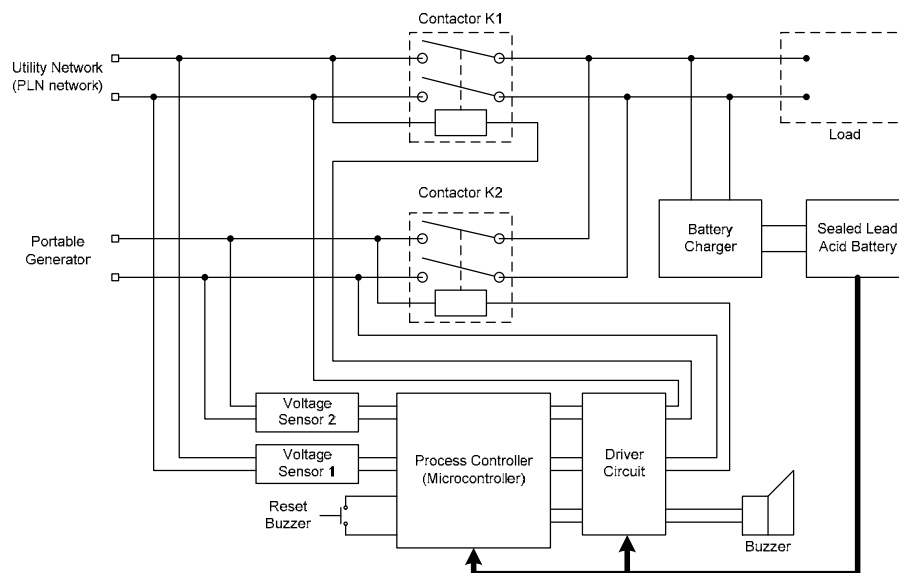


Figure 2. Schematic diagram of voltage sensor circuit

If the state of voltage sensor 2 output is LOW (which means electricity available at portable generator), process controller will command to energize contactor K2, so that electrical load will be connected to portable generator. If the state of voltage sensor 2 output is HIGH, process controller will command to de-energize contactor K2, and then electrical load will not be connected to portable generator. If both the state of voltage sensor 1 and the state of voltage sensor 2 are LOW at the same time, process controller will energize buzzer to warn the genset operator to stop the engine, contactor K2 will be de-energized after that, and after 10 seconds process controller will energize contactor K1, so electrical load will be connected to utility network. Buzzer will remain sounding until the operator stops the engine and pushes RESET BUZZER switch.

The contactors need 220 volts, 50 Hertz electricity to energize their coil. Coil of contactor K1 is driven by utility network voltage and coil of contactor K2 is driven by portable generator output voltage. Main contacts of both contactors have current carrying capacity of 30 amperes, providing the power capacity of ATS reaches 6600 VA at 220 volts working voltage. This power capacity is maximum load for re-residential installation type R1 PLN metering tariff [11].

Electronic circuits of the ATS and buzzer is powered by 12-volt sealed lead acid battery with capacity of 7.5 Ah. The 12-volt voltage level is regulated to 5-volt level using linear voltage regulator LM7805 to supply microcontroller circuits. The floating mode battery charger is continuously connected to voltage source to hold 13.8 volts between battery terminals.

III. DESIGN IMPLEMENTATION

The design of automatic transfer switch for portable generator is implemented on ATtiny2313 microcontroller circuit as will be explained herein.

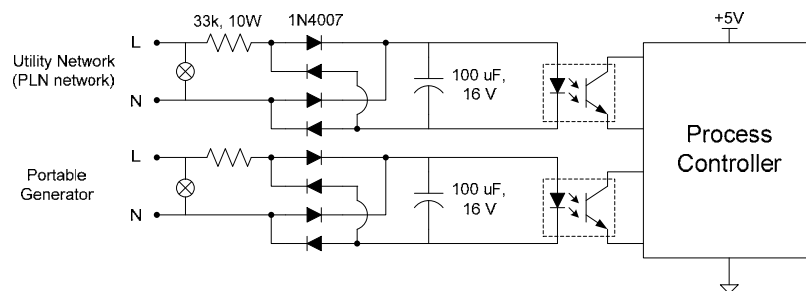


Figure 2. Schematic diagram of voltage sensor circuit

A. Voltage Sensor

The voltage sensors monitor the state of utility network voltage and the state of portable generator output voltage. Sensor circuit is basically a single-phase bridge rectifier with capacitor filter to feed dc current to emitter part of the optocoupler. If ac voltage is available at sensor input, dc current will flow

through emitter part and then phototransistor part of the optocoupler will be at conduction state. The input unit of process controller will acknowledge that condition as LOW state input. If ac voltage at input sensor is disappeared then there is no dc current through emitter and phototransistor will be at cut-off state. Process controller will acknowledge the input as a HIGH logic state. Therefore the state of current flowing through emitter part of optocoupler will become digital input to process controller. Schematic diagram of voltage sensor circuit is shown at Figure 2.

B. Process Controller

The process controller unit is an ATtiny2313 microcontroller based circuit. This chip is 8-bit microcontroller product of ATMEL Corporation in DIP 20 pins. ATtiny2313 is chosen due to its input/output channel capacity suiting for the application and the price of the chip is not expensive. ATtiny2313 has 18 programmable input/output channels. This number of channel is enough to control the process with 3 digital inputs and 3 digital outputs. The 3 digital inputs are from voltage sensor 1, voltage sensor 2 and RESET BUZZER pushbutton switch. Those input devices are connected to port D0 (PD0), port D1 (PD1) and port D2 (PD2) respectively through optocoupler circuit. The output devices are driven by port B0 (PB0), port B1 (PB1) and port B2 (PB2). PB0, PB1 and PB2 are connected to the actuators through buffer inverter gate 74LS05 and optocouplers. Schematic diagram of process controller circuit is shown in Figure 3.

ATtiny2313 is programmed with BASCOM-AVR language. The program composes of 3 (three) main processes, they are reading digital input status, data processing and updating output status. Those 3 main processes are executed sequentially and cyclic. Program flowchart is shown in Figure 4 and explained as follows:

At the beginning program reads the states of PD0,

PD1 and PD2. Variable M4 is used to state whether PD0 and PD1 are at LOW state at the same time which means electricity available at both utility network and portable generator output. If M4 is at HIGH state then PB2 port will be at HIGH state, hence buzzer which is connected to it will generate sound. Buzzer will stop sounding only if electricity

supply from portable generator is stopped and RESET BUZZER pushbutton switch is pushed. The program will go to next step to process information from voltage sensor 1. If the state of voltage sensor 1 output is LOW, then variable M1 will be at HIGH state. The

load will be connected to utility network. If the state of voltage sensor 1 output is HIGH, then the state of M1 variable is LOW, the contactor K1 will be deenergized, hence electrical load will not be connected to utility network. Next, the program will process infor-

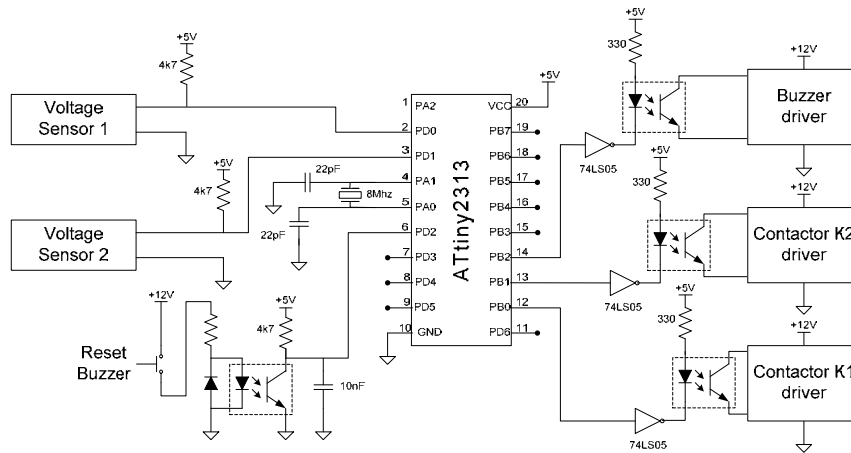


Figure 3. Schematic diagram of process controller circuit

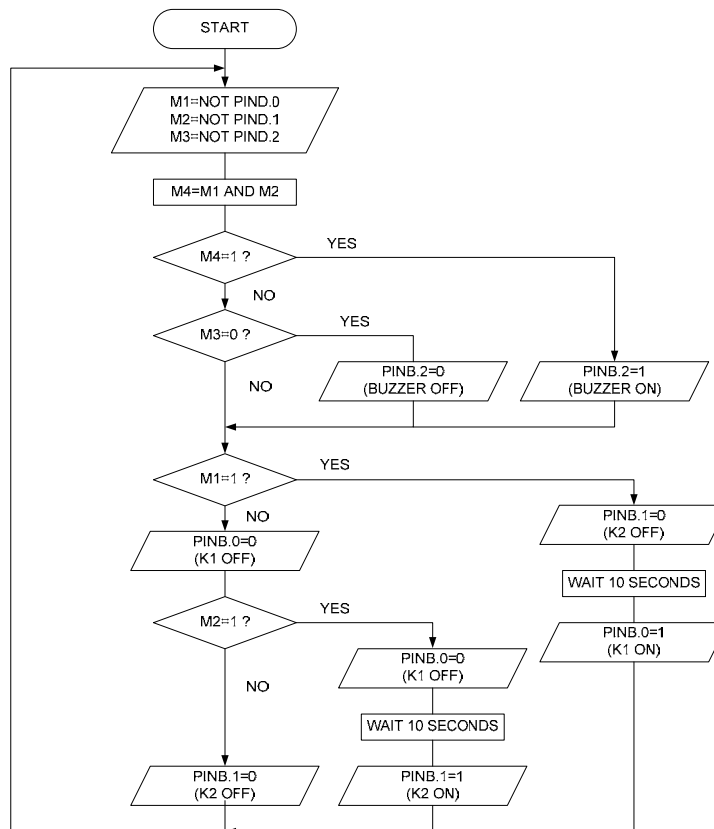


Figure 4. Flowchart for programming ATtiny2313 microcontroller

program will command to deenergize contactor K2 and after it waits for 10 seconds, PB0 which is connected to contactor K1 coil will be at HIGH state and contactor K1 will be energized, so the electrical

information gained from voltage sensor 2 circuit. If the state of voltage sensor 2 output is LOW, then M2 will be at HIGH state, hence the program will command to deenergize contactor K1 and after it waits for 10

seconds, port PB1 which is connected to contactor K2 will be at HIGH state, then contactor K2 will be energized and the electrical load will be connected to portable generator. If the state of voltage sensor 2 output is HIGH, variable M2 will be at LOW state, hence the contactor K2 will be deenergized and so the electrical load will not be connected to portable generator. The program will loop back to the first step for next cycle of its process controlling.

C. Actuator Driver Circuit

There are 3 (three) driver circuits to drive 3 output devices. They are contactor K1 driver circuit, contactor K2 driver circuit and buzzer driver circuit. Each driver circuit uses a pcb-mounted relay which is controlled by a pnp transistor switch. The state of transistor base current is controlled by microcontroller digital output. The driver circuit and microcontroller chip is electrically isolated by placement of optocoupler. The driver circuit is powered by 12-volt sealed lead acid battery. Schematic diagram of contactor driver circuit is shown in Figure 5(a) and schematic diagram of buzzer driver circuit is shown in Figure 5(b).

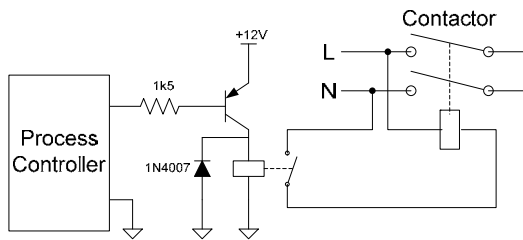


Figure 5(a). Contactor driver circuit diagram

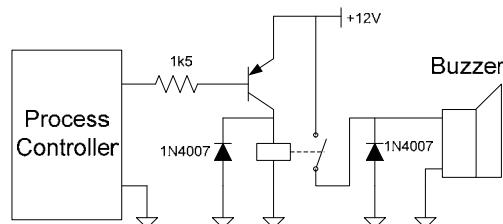


Figure 5(b). Buzzer driver circuit diagram

D. Battery Charger and Power Supply

Electronic circuits of this portable generator ATS is powered by 12-volt sealed lead acid (SLA) battery with 7.5 Ah charge capacity. Charging circuit for the battery uses floating mode which is implemented by continuously hold 13.8 volt between battery terminals. For this purpose, an adjustable voltage regulator LM317 has been used. The LM317 input comes from single-phase bridge connection rectifier through 220 volt/ 15 volt step down transformer. The 12-volt battery voltage is regulated to 5 volt stabilized supply by a fixed voltage regulator LM7805 to feed microcontroller circuit. Schematic diagram of battery charger circuit together with power supply circuit is shown in Figure 6.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The implementation of portable generator ATS on a panel box base plate is shown in Figure 7. There are 2 (two) circuit boards mounted on the base plate. The first circuit board is the ATtiny2313 microcontroller circuit completed with voltage sensors, actuator drivers and power supply. Second circuit board is a floating mode battery charger. The assembled portable generator ATS inside a panel box is shown in Figure 8.

The assembled portable generator ATS has been tested its functionality under several conditions. In the first test the ATS is loaded with a group of six 15-watt incandescent lamps. The reason of using lighting load is that the transition between the sources of electricity can be indicated by its light. The ATS is wired to PLN network as prime source and also wired to portable generator as secondary source. The portable generator is of YAMAWA type YMW4500XE with power capacity of 3000 VA at 220 volt, 50 hertz working voltage. The test bench and its photograph are shown in Figure 9 and Figure 10. The test procedure is explained as follows. First the load is fed through PLN network for 15 minutes, and then the electricity supply is cut out by breaking circuit breaker Q1. And then the load is connected to portable generator by closing circuit breaker Q2 which is installed on portable generator for 15 minutes. And then electricity supply from PLN network is fed to ATS by closing circuit breaker Q1, hence there are 2 supplies available for the lamps. The states of contactor K1, contactor K2 and buzzer are observed and results are presented in Table 1.

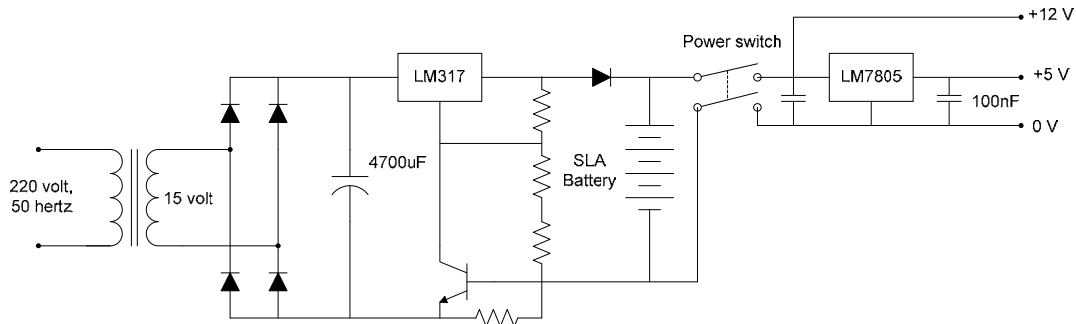


Figure 6. Battery charger and power supply circuit diagram

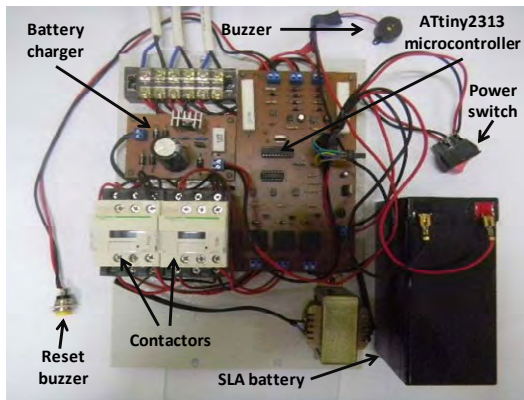


Figure 7. Photograph of automatic transfer switch components

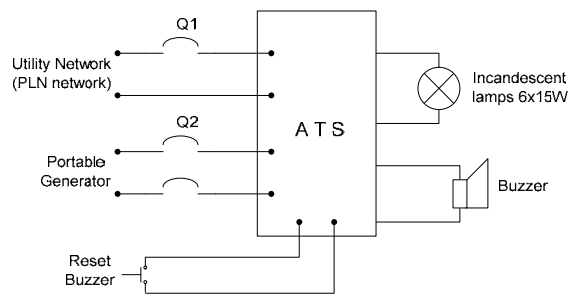


Figure 9. ATS loading test bench using 6x15W incandescent lamps



Figure 8. Photograph of assembled automatic transfer switch inside panel box



Figure 10. Photograph of ATS loading test using incandescent lamps, electricity from PLN network and portable generator available at the same time.

Observation results presented in Table 1 show that if electricity is available at both utility network and portable generator at the same time, then the ATS will transfer its contacts from portable generator to utility network so that the lamps will be connected to utility network. In this condition buzzer will sound. Buzzer will only stop sounding if the engine is shut down and pushbutton switch RESET BUZZER is pushed for a while.

The second test is ATS functional test using dynamic load. A 1.5 hp (1.1 kW) motor compressor has

been loaded to the ATS for this purpose. The test bench with its photograph is shown in Figure 11 and Figure 12. Test procedure is similar to previous test with lighting load. The observation results are presented in Table 2.

Observation results presented in Table 2 show that if electricity is available at both utility network and portable generator at the same time, the ATS will transfer its contacts from portable generator to utility network so that the motor compressor will be connected to utility network. In this condition buzzer will sound and will only be stopped if electricity supply from portable generator is cut out and pushbutton switch RESET BUZZER is pushed for a while.

Table 1. Result observation of ATS loading test using 6x15W incandescent lamps

PLN supply state	Portable generator supply state	RESET BUZZER pushbutton switch state	Contactora K1 state	Contactora K2 state	Buzzer state	Load state (lighting load)
Available	Unavailable	open	energize	deenergize	deenergize	ON
Unavailable	Unavailable	open	deenergize	deenergize	deenergize	OFF
Unavailable	Available	open	deenergize	energize	deenergize	ON
Available	Available	open	energize	deenergize	energize	ON
Available	Unavailable	open	energize	deenergize	energize	ON
Available	Unavailable	close (pushed)	energize	deenergize	deenergize	ON

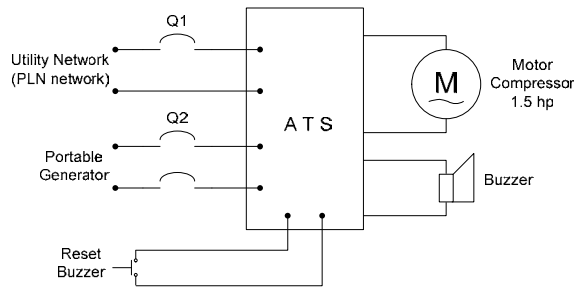


Figure 11. ATS loading test bench using motor compressor 1.5 hp (1.1 kW)



Figure 12. Photograph of ATS loading test using motor compressor 1.5 hp (1.1 kW), electricity supplied from PLN network

Table 2. Result observation of ATS loading test using motor compressor 1.5 hp (1.1 kW)

PLNSupply state	Portable generator supply state	RESET BUZZER pushbotton switch state	Contactor K1 state	Contactor K2 state	Buzzer state	Load state (motor compressor)
Available	Unavailable	open	energize	deenergize	deenergize	running
Unavailable	Unavailable	open	deenergize	deenergize	deenergize	stop
Unavailable	Available	open	deenergize	energize	deenergize	running
Available	Available	open	energize	deenergize	energize	running
Available	Unavailable	open	energize	deenergize	energize	running
Available	Unavailable	close (pushed)	energize	deenergize	deenergize	running

V. CONCLUSION

A 6600 VA rated portable generator ATS was designed and assembled in a compact panel box. The ATS design is made to satisfy standard type ATS which provides only 3 (three) basic functions as they are to monitor the state of utility supply, to monitor portable generator supply and to make transition between the sources of supply at the right time. Low cost ATtiny2313 microcontroller was selected as process controller of the ATS. Altogether with simple voltage sensor circuits and actuator circuits created a cost effective electronic system. Functional tests by loading the ATS with lighting load and dynamic load show that the apparatus is able to transfer its contacts at the right time so that the continuity of electrical supply to the load can be maintained. Bringing simplicity and low cost design, this ATS might be used widely in residential and small business installations.

Acknowledgement

The author would like to thank University of Riau Research Institutes for funding the research under contract name Patent-Based Research Grant No. 01/UN.19.2/PL/2011.

REFERENCES:

- [1] Olson G. (2007). *Bypass Transfer Switch Mechanisms*. Cummins Power Generation.
- [2] Brown B, Guditis J. (2006). *Critical-Power Automatic Transfer System – Design and Application*. Square D Critical Power Competency Centre.
- [3] Hills A, Hawkins B, Clarke S. (2000). *Understanding Portable Generators*. Fact Sheet, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- [4] Asco Power Technologies. (2004). *ASCO Series 165 Automatic Transfer Switch: Application Information*.
- [5] Norwall Power System. 240 V Single-Phase Automatic Transfer Switch. www.norwall.com
- [6] Perakasku.com. Pusat Belanja Perkakas Online. www.perkakasku.com
- [7] Schnackenberg P, Oughton G. (2001). *Automatic Transfer Switch*. US Patent 6,172,432 B1.
- [8] Espeut D.B. (2010). *Automatic Transfer Switch*. US Patent Application Publication No. US2010/0038966 A1.
- [9] Atmel Corporation. (2010). *8-bit AVR Microcontroller with 2K Bytes In-System Programmable Flash: ATtiny2313/V*. 2010
- [10] Kuhnel C. (2001). *BASCOM, Programming Microcontrollers with Ease: An Introduction by Program Examples*. Universal Publishers. USA.
- [11] Peraturan Presiden No.8 Tahun 2011 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

Penerapan Telemetri Pada Lapangan Gas dan Minyak Bumi

Radita Arindya

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Satyagama
 Jl. Kamal Raya No. 2A Cengkareng, Jakarta Barat 11730
 Email: raditatech@yahoo.com

Abstrak-- Salah satu penggunaan SCADA yang dipakai pada produksi gas dan minyak bumi adalah sistem telemetri, yang mempunyai tiga komponen utama yaitu : MTU (Master Telemetry Unit), RTU (Radio Telemetry Unit) dan radio komunikasi. Penggunaan Telemetri salah satunya adalah untuk memonitoring dan mengontrol flow line (aliran gas) pada tiap sumur di GTS, antara lain untuk mengukur keadaan temperature (suhu), tekanan, valve, aliran gas dan untuk mengatur sensor level tekanan.

Kata Kunci : Telemetri, lapangan minyak dan gas bumi

I. PENDAHULUAN

Telemetri

Telemetri (sejenis dengan telematika) adalah sebuah teknologi yang membolehkan pengukuran jarak jauh dan pelaporan informasi kepada perancang atau operator sistem. Kata telemetri berasal dari akar bahasa Yunani *tele* = jarak jauh, dan *metron* = pengukuran. Telemetri merujuk pada komunikasi nirkabel (contohnya menggunakan sistem radio untuk mengimplementasikan hubungan data), tapi juga dapat merujuk pada data yang dikirimkan melalui media lain, seperti telepon atau jaringan komputer atau melalui sebuah kabel optik atau ketika membuat robot kita dapat menggunakan satu kabel.

GTS (Gathering and Testing Satellite)

Di lapangan Delta Mahakam produksi dari sumur-sumur yang berupa campuran gas, kondensat dan air dikumpulkan di GTS (Gathering and testing Satellite). GTS digunakan sebagai tempat pengumpul produksi dari sumur-sumur, dan juga sebagai tempat pengetesan kandungan gas, air dan kondensat yang diproduksi dari tiap sumur.



Gambar 1. Lokasi lapangan Delta Mahakam

Saat ini ada lebih dari 30 GTS di lapangan Delta Mahakam, produksi dari Tambora dan Tunu South GTS dikumpulkan di Tunu Manifold Platform (TMP). Sedangkan dari Tunu North GTS dikirim NMP (North Manifold Platform). Dari TMP/NMP, gas dikirim ke CPU/NPU untuk dilakukan proses pemisahan gas, air dan kondensat. Gas yang dihasilkan dimampatkan dengan kompresor gas pada Tunu Compressor Platform (TCP) atau North Compressor Platform (NCP).



Gambar 2. Kepala Sumur dan Kompresor

Setelah itu gas akan melewati proses dehidrasi untuk menghilangkan kandungan air yang masih terbawa bersama gas (yang salah satunya dengan menggunakan glycol contactor) sebelum dikirim ke Tunu Receiving Facilities (TRF) di dekat fasilitas VICO Muara Badak untuk selanjutnya dikirim ke kilang penyulingan di Bontang untuk diproses dalam bentuk LNG (Liquid Natural Gas) dan LPG (Liquid

Protelem Gas) sebelum di ekspor. Kondensat yang dihasilkan dikirim ke terminal Senipah untuk diproses dan kemudian diekspor. Sedangkan air yang dihasilkan diproses dengan fasilitas OWT (Oily Water Treatment) sampai kadar air yang aman untuk dikembalikan ke alam.

II. CONTROL SYSTEM PADA GTS

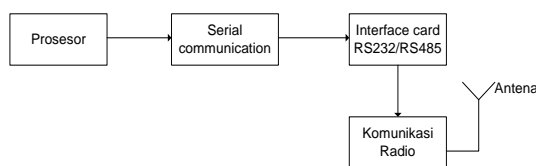
Lokasi GTS yang berada di remote area tidak memungkinkan untuk mengirimkan data secara langsung menuju control room yang berada pada CPU, oleh karena itu diperlukan suatu metoda untuk mengirim data yang dinamakan SCADA.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) merupakan sebuah sistem pengumpulan yang banyak digunakan untuk monitoring dan pengendalian instalasi atau peralatan dalam bidang industri, telekomunikasi, perminyakan, transportasi dan lain sebagainya. Sistem SCADA mengumpulkan data-data informasi seperti laju (flowrate) gas, keadaan suhu, keadaan tekanan dan lain sebagainya, mengirimkan ke control room, dapat pula memberi peringatannya (alarm) pada tiap variabel proses.



Gambar 3. Gathering and Testing Satellite

Salah satu penggunaan SCADA yang dipakai pada TEPI adalah sistem Telemetri, yang mempunyai tiga komponen utama yaitu : MTU (Master Telemetry Unit), RTU (Radio Telemetry Unit) dan radio komunikasi. TELEMETRY tersebut menghubungkan control room yang berada di CPU (Central Processing Unit) di Delta Mahakam dengan GTS yang berada di laut. Penggunaan Telemetri salah satunya adalah untuk memonitoring dan mengontrol flow line (aliran gas) pada tiap sumur di GTS, antara lain untuk mengukur keadaan temperature (suhu), tekanan, valve, aliran gas dan untuk mengatur sensor level tekanan.



Gambar 4. Alur Kerja Sistem Telemetry

RTU terletak di GTS. RTU pada sistem Telemetri mempunyai dua fungsi dalam komunikasi data. Fungsi pertama adalah menerima data atau variabel proses dari instalasi yang ada pada GTS dalam bentuk analog dan diskrit. Sinyal diskrit dapat berupa status valve, status ESD, level switch, dan lain-lain, sedang data analog dipeoleh dari transmitter berupa suhu, aliran, tekanan dengan data berupa arus listrik dimana rangananya berkisar 4mA – 20mA.

Kemudian RTU mengubah data analog menjadi data digital, kemudian semua data dikirim ke MTU melalui FM radio. Fungsi yang kedua adalah menerima perintah dari DCS atau operator di control room melalui MTU, sebagian dari perintah yang berupa data digital tadi ada yang dirubah ke dalam bentuk analog yang juga dalam range 4mA – 20mA untuk mengoperasikan peralatan analog seperti *Auto Choke Valve* di GTS. Data digital dapat berupa perintah untuk sistem shutdown untuk menutup atau membuka Shutdown Valve (SDV).



Gambar 4. Sistem Instrumentasi

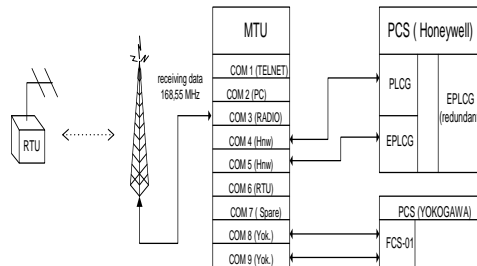
RTU yang dipakai pada lapangan Delta Mahakam adalah RTU dengan PLC Arcom 2000.

Konfigurasi Hardware

RTU disusun oleh komponen :

1. Power Suply (24 V DC)
2. Prosesor (SCIM88)
3. Serial Communication Card(SERCOM8)
4. Interface Card (SERT1 RS232/RS485)
5. Digital I/O Card (SPIBB)
6. Digital Ountput Conditioning(SCB23)
7. Digital Input Conditioning(SCB9)
8. Analog I/O Card (SDAD 8414)
9. Analog Input Conditioning (SCB24)
10. Analog Output Conditioning(SCB25)
11. Terminal Sinyal (SCT 1 dan SCT 7)

Gambar berikut ini memperlihatkan komponen-komponen RTU sebagai blok diagram, Sedangkan untuk aliran sinyal yang berasal dari prosesor yang akan dikirim ke MTU melalui saluran Radio ditunjukkan dalam blok diagram dibawah ini :



Gambar 5. Diagram blok Sistem Telemetri

1. Processor SCIM88

Processor SCIM88 adalah CMOS singleboard komputer, yang didasarkan pada mikroprosesor 80C188XL merupakan prosesor 386 dengan frekuensi kerja 16 MHz dengan 256 K statik RAM, 128K EPROM dan 128K flash EEPROM. SCIM88 mempunyai SCIM interface (Standar Computer Interface Module). Fungsi I/O berasal dari standar ARCOM 50-way signal conditioning connector yang berada di dalam motherboard.

2. SDAD8414 (Analog Input Output)

SDAD8414 sering disebut sebagai interface sinyal atau juga kondisioner karena merubah sinyal hasil signal conditioning untuk menjadi input ataupun dijadikan output. SDAD8414 terdapat empat digital to analog converter (DAC) yang menghasilkan 14 bit level tegangan analog yang diteruskan ke penguat buffer output. SDAD8414 adalah kombinasi dari multiplexed analog input yang dirubah menjadi sinyal digital menggunakan ADC dengan keakuratan 14-bit dan empat chanel untuk analog output menggunakan DAC. Satu board SDAD8414 dapat digunakan untuk 4 signal condition board.

3. SPIBB (Digital Input Output)

Untuk sinyal digital input output digunakan card input/output yang digunakan adalah SPIBB. SPIBB menggunakan dua 825 PPI (Programmable Peripheral Interface), alat ini dilengkapi dengan 40 line digital I/O. setiap line dikelompokkan menjadi lima group masing-masing 8 line. Empat group line masing-masing mempunyai buffer yang bisa diset sebagai menjadi input atau output. Satu group tidak memiliki buffer digunakan menjadi I/O line atau status line untuk empat group yang lain.

4. Signal Conditioning Board (SCB)

SCB merupakan interface antar dunia nyata (real world) dengan melewati suatu kondisi sinyal ke STEbus. Di dalam SCB, sinyal yang masuk dikondisikan agar dapat diolah oleh prosesor. Sinyal

yang bisa dikontak oleh signal conditioning adalah sinyal antara 4-20 mA untuk analog I/O dan 0-24 volt untuk digital I/O.

4.1 SCB 9

SCB 9 adalah signal conditioning board dengan 16 chanel digital input dengan opto-isolator. SCB9 juga dilengkapi dengan dioda sebagai pelindung terhadap opto isolator input dari tegangan reverse. Resistor input yang digunakan perlu diatur agar setiap resistor hanya mendapat daya antara 0,5 watt-2,5 watt tergantung pada masing-masing resistor. Isolator yang digunakan sebagai optoisolator adalah PC829 dan HCPL2731. Input SCB 9 adalah sinyal dalam bentuk digital, jadi mendapatkan kontak dari tegangan 0 dan 24 v untuk indikasi hidup-mati atau indikasi on-off.

4.2 SCB 25

SCB 25 akan menghasilkan tegangan dalam range $-10v$ sampai $+10v$, atau arus yang dihasilkan dalam range 0-25 mA. Masing-masing chanel terisolasi dari prosesor dan antara chanel tersebut. Tiap chanel terdapat dalam output tegangan dan arus, tapi untuk RTU output kontak berupa arus dengan kisaran 4-20 mA. Ini merupakan SCB untuk analog output.

4.3 SCB 24

SCB 24 menerima input dalam range tegangan $-10v$ sampai $+10 v$ atau arus dalam range 0-20 mA. Masing-masing chanel di SCB 25 juga terisolasi dari prosesor dan antara chanel yang lain. Kontak input yang masuk dari suatu device berkisar antara 4-20 mA. SCB ini digunakan untuk analog input.

5. SCT (Signal Communication Terminal)

SCT adalah peralatan yang langsung berhubungan dengan device yang akan dikontrol atau dimonitoring, alat ini digunakan untuk keperluan wiring antar device dengan PLC. SCT yang langsung berhubungan dengan transmiter digunakan SCT 1, sedangkan yang berhubungan dengan modul komunikasi serial SCT7.

Berikut contoh flowline input output transmitter dari satu sumur di GTS ke RTU :

Untuk Digital Input (termasuk didalam SCB 9) terdiri dari:

- PSHH (Pressure Switch High High)
- PSLL (Pressure Switch Low Low)
- PDSHH (Pressure Diferensial Switch High High) untuk mengaktifkan PSV (Pressure Switch Valve) untuk membuka BDV (Blow Down Valve)
- ZSC untuk indikasi SDV (Shut Down Valve) incoming

Untuk Digital Output (termasuk didalam SCB 25) terdiri dari :

- SOV (Solenoid Valve) merupakan kondisi on-off/hidup-mati untuk pengaktifan SDV

Untuk Analog Input (termasuk di dalam SCB 24) terdiri dari ;

- PT (Pressure Transmitter)
- TT (Temperature Transmitter)
- FT (Flow Transmitter)
- ZT untuk indikasi chocke

Untuk Analog Output (termasuk didalam SCB 24) terdiri dari :

- HY untuk mengaktifkan autochocke

6. SERCOM8

Untuk komunikasi serial RTU menggunakan SERCOM8 yang konfigurasi sama dengan MTU. SERCOM digunakan untuk hubungan antara RTU dengan modem melalui SCT 7.

7. Power Suply (TEG)

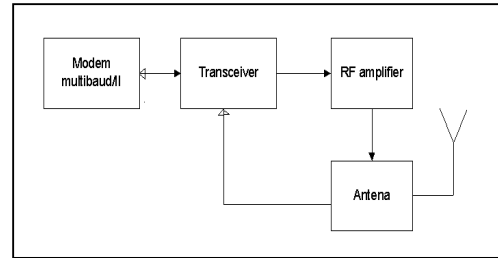
Power suply yang digunakan di GTS menggunakan TEG(Thermo Electric Generator) Prinsip kerja dari pembangkitan ini adalah adanya instrumen gas yang dibakar untuk menghasilkan panas, panas yang dihasilkan digunakan untuk membangkitkan tegangan dengan menggunakan termokopel. Pengisian bahan bakar gas dilakukan secara otomatis apabila tangki bahan bakar gasnya telah berkurang maka tekana dalam tangki akan turun, penurunan tekana ini menyebabkan katup tertutup lagi. Biasanya elemen dari TEG akan menghasilkan 3,3 V dan dalam suatu TEG digunakan untuk menghasilkan tegangan 24 V, tegangan ini dicapai dengan menyusun TEG secara seri atau paralel. Daya dari TEG sebagian besar digunakan untuk daya pancar pada transmitter sebagian lagi digunakan untuk mengisi baterai untuk emergency.

III. SISTEM KOMUNIKASI RADIO (TELEMETRY SYSTEM)

Untuk lapangan Delta Mahakam telah dilakukan perhitungan terhadap topologi wilayahnya oleh ARCOM. Diasumsikan tinggi antena untuk master site berada pada ketinggian 80 m. Gain dari antena master adalah 6,2 dB dan mempunyai patern omnidirectional, sedangkan untuk antena yang berada pada GTS merupakan antena yagi dengan gain 9.0 dB. Antena ini berada pada ketinggian 20 m. Kecepatan data atau bitrate yang digunakan dalam sistem ini adalah 9600 bps. Dari bit rate 9600 bps dipilih frekuensi carrier yang digunakan 168,5 MHz untuk bagian selatan dan 172,8 MHz untuk bagian utara. Pemilihan frekuensi ini juga ditentukan oleh izin yang diberikan oleh pihak berwenang.

Sistem telemetri di lapangan Delta Mahakam antar radio dilakukan melalui antena *monopole* (master) dan antena *Yagi* (slave).

Sistem komunikasi radio yang digunakan adalah "smart" radio system produk Telemetry Technologies Inc.



Gambar 6. Blok Diagram Radio Telemetri

IV. KESIMPULAN

1. Tinggi antena untuk master site berada pada ketinggian 80 m.
2. Gain dari antena master adalah 6,2 dB dan mempunyai patern omnidirectional
3. Sistem telemetri di lapangan Delta Mahakam antar radio dilakukan melalui antena yagi dengan gain 9.0 dB. Antena ini berada pada ketinggian 20 m. Kecepatan data atau bitrate yang digunakan dalam sistem ini adalah 9600 bps. Dari bit rate 9600 bps dipilih frekuensi carrier yang digunakan 168,5 MHz untuk bagian selatan dan 172,8 MHz untuk bagian utara.

DAFTAR PUSTAKA

- George.Ellis, *Control System Design Guide* , 3rd edition, Elsevier Academic Press, 2004
- John A.Shaw, *The PID Control algorithm : How it works and how to tune it*, Process Control Solutions, November 7, 2001
- Katsuhiko Ogata, *Modern Control Engineering* ,3rd edition, Prentice Hall, 1997.

Setting Relai Differensial Pada Transformator Daya 150/20 KV Di Gardu Induk Menes

Badaruddin, Ridwan Kurniawan
 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana
 Jl. Meruya Selatan, Jakarta Barat
 Email : bsulle@gmail.com

Abstrak -- Kualitas sistem tenaga listrik diukur dengan kontinuitas pelayanan, kontrol yang baik dan pemeliharaan. Kesenambungan layanan yang baik dapat diperoleh jika semua komponen sistem tenaga dapat beroperasi dengan baik dalam setiap situasi dan kondisi, baik dalam kondisi normal atau di kondisi tidak normal. Dalam kondisi normal, sistem perlindungan memiliki peran penting dalam mendeteksi setiap gangguan dan melepaskan bagian-bagian yang terganggu dari sistem. Transformator daya merupakan komponen utama dalam sebuah gardu. Gangguan dalam transformator harus diisolasi agar tidak mengganggu sistem selama distribusi listrik daya ke beban lain. Relay diferensial pada transformator daya sebagai relai pelindung untuk mendeteksi gangguan internal. Penulisan ini membahas penyetelan relai differensial di gardu Induk Menes.

Dalam penyetelan relai differensial yang akan digunakan pada pengaman transformator, ada beberapa tahap perhitungan untuk mendapatkan setelan dari relai differensial, diantaranya : Pemilihan perbandingan ratio CT utama, Menghitung besarnya arus sekunder CT utama pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada transformator, Pemilihan tap dari trafo arus pembantu (ACT).

Kata Kunci : Transformator, Gardu, Relay, Gangguan, Penyetelan

I. PENDAHULUAN

Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sebuah sistem kelistrikan yang menjadi salah satu penentu kehandalan sebuah sistem. Relay merupakan bagian dari sistem proteksi yang berfungsi sebagai pengaman alat maupun pengaman sistem lainnya.

Relay differensial merupakan suatu relay yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (balance), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan.

Penulisan Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyetelan relai differensial sebagai pengaman transformator daya dari gangguan-gangguan internal pada transformator daya.

II. TEORI DASAR

Teori Kompon Simetris

Suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari n fasor yang berhubungan dapat diuraikan menjadi n buah sistem dengan fasor yang dinamakan komponen-komponen simetris (*symmetrical components*) dari fasor aslinya, n buah fasor pada setiap himpunan komponennya adalah sama panjang dan sudut diantara fasor yang bersebelahan dalam himpunan itu sama besarnya. Tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah :

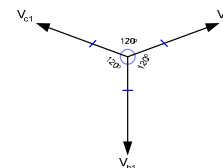
1. Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan negatif, terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan seperti fasor aslinya.
3. Komponen urutan nol, terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Karena setiap fasor tak seimbang yang asli adalah jumlah komponen fasor asli yang dinyatakan dalam suku-suku komponennya adalah :

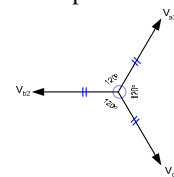
$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \dots \dots \dots (2.2)$$

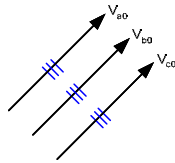
$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \dots \dots \dots (2.3)$$



Gambar 1. Komponen Urutan Positif



Gambar 2. Komponen Urutan Negatif



Gambar 3. Komponen Urutan Nol

Jenis Gangguan Dalam Sistem Tiga Fasa

Dalam sistem tenaga listrik jenis-jenis gangguan yang mungkin terjadi dalam sistem tiga fasa :

1. Gangguan shunt (hubung singkat)
 - Gangguan hubung singkat tiga fasa dibedakan menjadi dua jenis gangguan :
 - a. Gangguan hubung singkat tiga fasa simetri, terdiri dari :
 - Gangguan tiga fasa (line-line-line)
 - Gangguan tiga fasa ke tanah (line-line-line-ground)
 - b. Gangguan hubung singkat tiga fasa tidak simetris, terdiri dari :
 - Satu fasa ke tanah
 - Antar fasa
 - Antar fasa ketanah
2. Gangguan seri (hubung terbuka)
 - a. Satu saluran terbuka
 - b. Dua saluran terbuka
 - c. Impedansi seri tak seimbang
3. Gangguan simultan
 - a. Shunt-shunt
 - b. Shunt-seri
 - c. Seri-seri

Gangguan Hubung Singkat

Tujuan dari analisa hubung singkat adalah untuk menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian-bagian atau titik-titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang terjadi, sehingga dapat ditentukan pengamanan, rele dan pemutus tenaga (Circuit Breaker) untuk mengamankan sistem dari keadaan tidak normal dalam waktu seminimal mungkin.

Gangguan yang terjadi dapat mengakibatkan bekerjanya rele pengamanan dan menjatuhkan pemutus tenaga (PMT), sehingga menyebabkan terputusnya aliran daya melalui PMT tersebut. Gangguan tersebut terjadi disebabkan karena adanya kesalahan teknis ataupun dikarenakan operator (*human error*).

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Gangguan sementara (temporary)
- b. Gangguan permanen (stationary)

Jenis Proteksi Pada Transformator Daya Current Transformer (CT)

Fungsi Current Transformer (CT) :

1. Memperkecil besaran arus pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran.

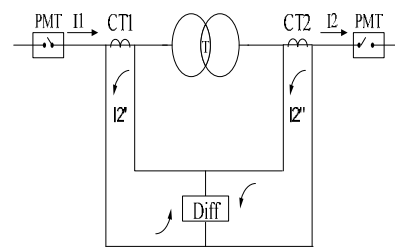
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
3. Standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder.

Potential Transformer (PT)

Trafo tegangan digunakan untuk menurunkan tegangan sistem dengan perbandingan transformasi tertentu. Transformator Tegangan/Potensial (PT) adalah trafo instrument yang berfungsi untuk merubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah sehingga dapat diukur dengan Volt meter.

Relai Differensial

Gambar dibawah ini menunjukkan prinsip kerja relai diferensial pada transformator :



Gambar 4 Prinsip Kerja Relai Differensial

Arus primer I1 dan I2 dideteksi oleh CT1 dan CT2, dalam keadaan normal atau ada gangguan diluar daerah pengamanannya (diantara dua CT) , arus primer yang lewat di CT1 sama dengan yang lewat di CT2. Jadi kalau kedua trafo arus itu identik (mempunya ratio yang sama), I2' sama besar dan sefasa dengan I2'', sehingga Diff = 0 dan relai relai tidak akan bekerja. Jika Diff tidak sama dengan nol maka relai akan bekerja.

Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana relai diferensial dipasang sehingga relai diferensial tidak dapat dijadikan sebagai pengamanan cadangan untuk daerah berikutnya. Proteksi relai diferensial bekerja dengan prinsip keseimbangan arus (*current balance*).

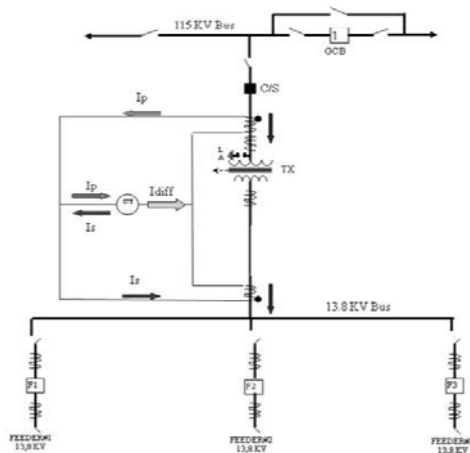
Prinsip ini berdasarkan hukum kirchhoff yaitu membandingkan jumlah arus masuk ke primer (Ip) sama dengan jumlah arus yang keluar dari sekunder (Is).

$$\dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- I_d = Arus Diferensial (A)
- I_p = Arus Sisi Masuk (A)
- I_s = Arus Sisi Keluar (A)

Gambar 4 menunjukkan relai diferensial dalam keadaan arus normal, dimana Ip dan Is sama besar dan berlawanan arah.



Gambar 5 Relai Diferensial Saat Arus Normal

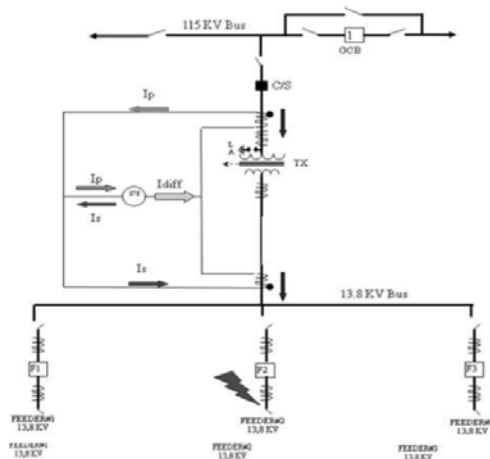
$$Id = Ip + Is = 0 \text{ Ampere}$$

$$Idif = IP + IS = 0 \text{ Ampere}$$

Maka tidak ada tegangan yang melintasi *coil relay* dan tidak ada arus yang mengalir pada relai tersebut, sehingga relai diferensial tidak bekerja.

Gangguan Diluar Daerah yang Dilindungi

Pada gangguan diluar (eksternal) daerah proteksi relai diferensial (diluar kedua trafo arus), relai diferensial tidak akan bekerja, karena I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah ($Id = Ip + Is = 0 \text{ Ampere}$, $Idif = IP + IS = 0 \text{ Ampere}$), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. berikut.



Gambar 6 Relai Diferensial Saat Gangguan Eksternal

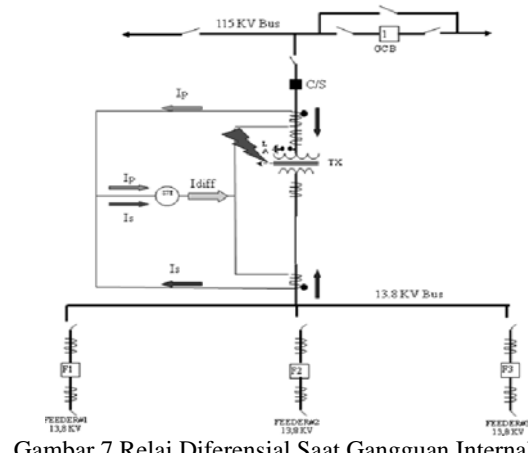
Gangguan Didalam Daerah yang Dilindungi

Untuk gangguan didalam (internal) daerah proteksi relai diferensial (diantara kedua trafo arus), I_p dan I_s searah.

$$Id = Ip + Is > 0 \text{ Ampere}$$

$$Idif = IP + IS > 0 \text{ Ampere}$$

Karena arus akan menuju titik gangguan, sehingga relai diferensial akan bekerja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Relai Diferensial Saat Gangguan Internal

Pada saat ada arus yang mengalir lewat relai, maka relai akan mengirim sinyal pada lock out relay. Sinyal ini akan di teruskan ke C/S dan memerintahkannya untuk lock out sehingga aliran energi listrik terputus, maka transformator tenaga yang diamankan bebas dari pengaruh gangguan yang ada.

Setting Relai Differensial

Prinsip dasar untuk penyetelan relai differensial dapat ditinjau dari beberapa hal, antara lain adalah :

1. Pemilihan perbandingan ratio dari CT utama
2. Menghitung besar arus sekunder CT utama
3. Pemilihan tap dari trafo arus pembantu (ACT)

III. PENGUJIAN

Perhitungan Penyetelan Relai Differensial

Dari hasil pengambilan data di Gardu Induk Menes didapat data sebagai berikut :

Tabel 1 Data Transformator 150/20 kV

Daya Transformator	60 MVA
Tegangan Sistem	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Vektor Group Transformator	YNyn0(d1)
Impedansi (Z%)	12 %
Arus Nominal sisi 150 kV	230,94 A
Arus Nominal sisi 20 kV	1732,05 A

Tabel 2 Data Relai Differensial

Tipe Relai	MICOM P632
Arus Nominal	1 A
Rasio CT Primer	300/1 A
Rasio CT Sekunder	2000/5 A

Tabel 3 Data Ratio Auxirally CT

Tap kumparan primer	Jumlah kumparan (primer)		
	Ratio 1/1 A	Ratio 5/1 A	Ratio 5/5 A
1 – 2	5	1	1
2 – 3	5	1	1
3 – 4	5	1	1

4 – 5	5	1	1
5 – 6	125	25	25
X – 7	25	5	5
7 – 8	25	5	5
8 – 9	25	5	5
S1 – S2	125	125	125
S2 – S3	90	90	90

Impedansi : %reaktansi = 12

$$X_t = \frac{I_n}{100} = 0,12$$

Perhitungan setelan terminal rele bantu/ Terminal Auxiliary Rele Pada Transformator sisi 150 kV

Untuk menentukan arus nominal sekunder trafo pada sisi tegangan tinggi 150 kV :

$$I_{n150S} = \frac{I_{n150P}}{CT_{150S}} = \frac{1}{1,43} = 0,77$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus nominal sebesar 0,77 A.

Karena relai tidak mempunyai nominal 0,77A sehingga dipilih $I_n = 1$ A (sekunder).

Selanjutnya mencari tap belitan sekunder :

Tap belitan sekunder : $TS_{150} = 125 + 9$ (sesuai tabel 3 karena Terminal S1-S2 dan S2-S3 dihubungkan)

Maka rasio Rasio act sekunder = 1/1 A.

Selanjutnya menentukan tap belitan primer dengan melihat tabel 4.1 dan tabel 4.3 :

$$TP_{150} = \frac{I_n}{I_{n150P}} \times TS_{150} = \frac{1}{0,77} \times (125+90) = \frac{1}{0,77} \times 215 = 161,21$$

Dari perhitungan diatas didapat tap belitan primer sebesar 161,21.

Karena di setting relai tidak bisa menggunakan nilai 161,21 maka dipilih $TP_{150} = 160$.

Rasio act primer sama dengan rasio act sekunder = 1/1 A.

Perhitungan setelan terminal rele bantu/ Terminal Auxiliary Rele Pada Transformator sisi 20 kV

Untuk menentukan arus nominal sekunder trafo pada sisi tegangan rendah 20 kV dapat dihitung berdasarkan tabel 1 dan tabel 3 :

$$I_{n20S} = \frac{I_{n20P}}{CT_{20S}} = \frac{1,83}{437} = 4,33$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus nominal sebesar 4,33 A.

Karena relai tidak mempunyai nominal 4,33 A sehingga dipilih $I_n = 5$ A (sekunder).

Selanjutnya mencari tap belitan sekunder dengan melihat tabel 3 :

Tap belitan sekunder : $TS_{150} = 125 + 90$ (sesuai tabel 4.3 karena Terminal S1-S2 dan S2-S3 dihubungkan)

Rasio act sekunder = 5/1 A

Selanjutnya menentukan tap belitan primer dengan melihat tabel 1 dan tabel 3 :

$$TP_{20} = \frac{I_n}{I_{n20P}} \times TS_{20} = \frac{5}{4,33} \times (125+90) = \frac{5}{4,33} \times 215 = 28,66$$

Dari perhitungan diatas didapat tap belitan primer sebesar 28,66.

Karena di setting relai tidak bisa menggunakan nilai 28,66 maka dipilih $TP_{20} = 28$.

Rasio act primer sama dengan ratio act sekunder = 5/1 A.

Perhitungan setelan bias aktual dengan memperhatikan tap OLTC

Untuk menentukan Tegangan di sisi 150 kV pada tap tertinggi (18) adalah $V_{TP18} = 165,75$ kV adalah sebagai berikut :

$$ITP_{18} = \frac{I_n}{I_{n150P}} \times V_{TP18} \times CT_{150S} = \frac{1}{0,77} \times 165,75 \times 1,43 = 1741,6 \text{ A (primer)}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus tertinggi OLTC di sisi 150 kV didapat arus sebesar 1741,6 A.

Selanjutnya menentukan arus sekunder CT dengan melihat tabel.2 :

$$ITP_{18S} = \frac{ITP_{18}}{CT_{150S}} = \frac{1741,6}{337} = 5,8 \text{ A (sekunder)}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus CT tertinggi pada sisi 150 kV sebesar 5,8 A.

Untuk menentukan Tegangan disisi 20 kV pada Tap tertinggi (18) adalah $V_{TS18} = 22,1$ kV adalah sebagai berikut:

$$ITS_{18} = \frac{I_n}{I_{n20P}} \times V_{TS18} \times CT_{20S} = \frac{5}{1,83} \times 22,1 \times 437 = 13062,2 \text{ A (primer)}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus tertinggi OLTC pada sisi 20 kV sebesar 13062,2 A.

Selanjutnya menentukan arus sekunder CT dengan melihat tabel 2 :

$$ITS_{18S} = \frac{ITS_{18}}{CT_{20S}} = \frac{13062,2}{400} = 32,65 \text{ A (sekunder)}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus CT tertinggi pada sisi 20 kV sebesar 32,65 A.

Selanjutnya mencari rasio ACT sisi 150 dan 20 kV sebagai berikut

Rasio ACT sisi 150 kV adalah :

$$\begin{aligned} RACT150 &= \frac{7500}{500} \\ &= \frac{1500}{100} \\ &= 1,34 \text{ A} \end{aligned}$$

Diperoleh rasio ACT pada sisi tegangan tinggi sebesar 1,34 A

Rasio ACT sisi 20 kV adalah :

$$\begin{aligned} RACT20 &= \frac{15600}{2000} \\ &= \frac{3900}{500} \\ &= 7,68 \text{ A} \end{aligned}$$

Diperoleh rasio ACT pada sisi tegangan tinggi sebesar 7,68 A.

Selanjutnya menghitung arus yang keluar dari CT bantu pada sisi tegangan tinggi 150 kV :

$$\begin{aligned} IACT150 &= \frac{17500}{RACT150} \times \sqrt{3} \\ &= \frac{175}{1,34} \times \sqrt{3} \\ &= 7,49 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus yang keluar dari CT bantu pada sisi tegangan tinggi sebesar 7,49 A.

Selanjutnya menghitung arus yang keluar dari CT bantu pada sisi tegangan rendah 20 kV :

$$\begin{aligned} IACT20 &= \frac{15600}{RACT20} \times \sqrt{3} \\ &= \frac{1560}{7,68} \times \sqrt{3} \\ &= 7,36 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh arus yang keluar dari CT bantu pada sisi tegangan rendah sebesar 7,36 A.

Selanjutnya menghitung % Bias differensial dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \%S &= \left| \frac{IACT150 - IACT20}{\frac{IACT150 + IACT20}{2}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{7,49 - 7,36}{\frac{7,49 + 7,36}{2}} \right| \times 100 \\ &= \left| \frac{0,13}{7,44} \right| \times 100 \\ \%S &= 1,75 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh persentase bias differensial sebesar 1,75%

IV. PENUTUP

Dari hasil perhitungan dan analisa maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Relai differensial transformator adalah relai utama yang bekerja mengamankan transformator tenaga dari gangguan didalam transformator tenaga dan tidak bekerja saat terjadi gangguan di luar transformator tenaga.
2. Dalam perhitungan untuk penyetelan relai differensial pada transformator daya perlu diperhatikan beberapa faktor, diantaranya :
 - Pemilihan perbandingan ratio trafo arus.
 - Perhitungan besar arus sekunder trafo arus utama.

➤ Pemilihan Tap dari trafo arus pembantu (ACT).

3. Berdasarkan perhitungan yang diperoleh nilai setting relai untuk nilai rasio ACT di sisi 150 kV sebesar 1/1 sedangkan pada sisi sekunder 5/1, dan untuk bias differensial sebesar 1,75%

DAFTAR PUSTAKA:

- Gönen, Turan. *Modern Power System Analysis*, John Wiley And Sons Inc, Canada, 1988.
- Instruction Manual BE1-851 Overcurrent Protection System*, Basler Electric, Highland Illinois USA.
- Instruction Manual GEC Overcurrent Relay for Phase and Earth Faults*.
- Komari Ir. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik Filosofi, Strategi Dan Analisa Untuk Peningkatan Keandalan*, PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan Dan Pelatihan, Jakarta, 2003.

Algoritma Pembangkitan Ekonomis Untuk Komitmen Unit Termal

Hamzah Hilal

Bidang Rekayasa Sistem, PTKKE, BPPT

Jl. MH. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340,

email: taura889@yahoo.com

Abstrak -- Makalah ini mempresentasikan suatu algoritma pembangkitan ekonomis (economic dispatch) yang mudah dan efisien, cocok untuk digunakan pada permasalahan komitmen unit pembangkit termal. Algoritma ini dapat menangani kombinasi apapun dari fungsi-fungsi biaya polinomial. Algoritma mereduksi pembangkitan ekonomis ke dalam suatu permasalahan tanpa rugi (lossless) ekuivalen dimana solusi diperoleh secara mudah dan analitik. Permasalahan tanpa rugi ekuivalen memungkinkan generator-generator yang outputnya terjadi violasi (melebihi kapasitas) terhadap kendala-kendala batasnya untuk ditangani secara efisien dan benar. Algoritma dapat menangani matriks B dan formulasi losses matriks Jacobi. Studi kasus dengan 2 sistem test dipresentasikan dan didiskusikan.

Kata kunci: Algoritma, penjadwalan generator.

I. PENDAHULUAN

Pembangkitan ekonomis dari suatu sistem tenaga listrik adalah penentuan jadwal pembangkitan untuk meminimasi biaya pembangkitan total sekaligus memenuhi kendala-kendala sistem.

Pada pembangkitan ekonomis klasik, suatu himpunan persamaan koordinasi diselesaikan dengan menggunakan pengali Lagrange. Algoritma menggunakan pendekatan matriks B untuk memodel losses sistem. Happ [1] menyarankan penggunaan matriks Jacobi aliran daya untuk menghitung faktor pinalti. Pendekatan ini selanjutnya dikembangkan menjadi suatu himpunan persamaan koordinasi yang termodifikasi.

Skema sederhana yang biasanya digunakan untuk menyelesaikan persamaan-persamaan koordinasi adalah metode biaya inkremen yang sama. Pada prosedur klasik, nilai pengali Lagrange dinaikkan atau diturunkan dari perkiraan awal untuk membuat kebutuhan (beban) dan losses sama dengan pembangkitan total. Pada formulasi losses matriks B , faktor pinalti diperoleh secara langsung dari formulasi losses dan dihitung ulang setiap iterasi selesai. Pada pendekatan matriks Jacobi, nilai pengali ditentukan dari biaya inkremen pembangkit acuan dan aliran daya diselesaikan untuk setiap iterasi untuk memperoleh

faktor pinalti yang baru. Iterasi dari kedua pendekatan ini berakhir ketika perubahan pada output pembangkit dari 2 iterasi yang berurutan kurang dari suatu nilai toleransi yang diterima.

Programming kuadratik telah diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan pembangkitan ekonomis. Metode ini mempunyai karakteristik-karakteristik konvergensi yang baik dan dapat menangani kendala-kendala secara efisien. Namun demikian, pendekatan programming kuadratik ini memerlukan penyimpanan komputasi yang besar [2] dibanding dengan algoritma klasik dan terbatas pada fungsi biaya kuadratik.

Acuan [3] telah mengusulkan suatu algoritma yang mengkomputasi lambda, pengali Lagrange, dengan menggunakan suatu ekspresi untuk mempercepat komputasi, tetapi ekspresi ini mengasumsikan bahwa generator dapat diperlakukan sebagai suatu daya seri dengan biaya inkremen generator dan ekspresi untuk lambda memerlukan teknik pencarian akar-akar untuk daya seri orde tinggi.

Selain programming kuadratik, praktek yang biasa dilakukan pada algoritma-algoritma yang disebutkan di atas ketika menyelesaikan permasalahan-permasalahan kendala adalah menetapkan batas-batas maksimum atau minimum unit yang terviolasi sebagai batas yang digunakan selama suatu iterasi. Pada acuan [4] ditunjukkan bahwa teknik penetapan batas mungkin tidak dapat memperoleh suatu solusi optimal dan mengusulkan suatu skema yang bagus untuk memutuskan tingkat pembangkitan yang mana dapat ditetapkan selama iterasi untuk suatu fungsi biaya polinomial. Acuan [4] ini menyediakan suatu algoritma yang praktis untuk digunakan hanya pada fungsi biaya kuadratik.

Makalah ini mempresentasikan suatu algoritma pembangkitan ekonomis untuk mengatasi halangan-halangan algoritma-algoritma sebelumnya. Algoritma yang diusulkan dapat digunakan untuk kombinasi fungsi-fungsi biaya polinomial. Algoritma mereduksi pembangkitan ekonomis ke dalam suatu permasalahan tanpa rugi-rugi ekuivalen yang dengan mudah diselesaikan secara analitik. Output pembangkit yang mengalami violasi terhadap kendala-kendala ditentukan dengan tepat dengan menggunakan skema acuan [4]. Pada permasalahan dimana losses dihitung dengan menggunakan matriks Jacobi, diperoleh bahwa penghalusan proses iterasi kadang-kadang menjadi

penting. Namun demikian, pada permasalahan dengan menggunakan formulasi matriks B , algoritma tampak mempercepat tingkat konvergensi dan mengeliminasi osilasi, dan karena itu algoritma menjadi efisien dan dapat diandalkan.

Penerapan penting algoritma yang diusulkan adalah untuk komitmen unit pembangkit termal. Komitmen unit pembangkit merupakan penentuan status suatu unit, yaitu jadwal unit untuk beroperasi (*on-line*) dan berhenti (*off-line*) untuk suatu periode waktu pada biaya minimum dengan memenuhi kendala-kendala unit tersebut. Dua kategori pada metode yang diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan komitmen unit yakni pendekatan programming dinamik dan programming integer. Kedua pendekatan secara esensial mencari kombinasi penjadwalan unit yang memungkinkan dengan mengabaikan jadwal-jadwal yang tidak memungkinkan dan membandingkan dengan biaya produksi (yang menyertakan biaya *on-line* dan *off-line*) dari jadwal yang memungkinkan untuk memperoleh nilai yang optimum. Biaya *on-line* dari suatu jadwal komitmen unit ditentukan oleh pembangkitan ekonomis (*economic dispatch*).

Jika komitmen dilaksanakan selama periode 24-jam yang dibagi ke dalam 24 interval satu-jam untuk suatu sistem yang mempunyai kira-kira 10 unit termal, maka jumlah jadwal yang memungkinkan akan menjadi orde 2^{240} . Jelasnya, kecepatan solusi permasalahan pembangkitan ekonomis dan akurasi menjadi penting dalam memperoleh solusi komitmen unit.

II. FORMULASI

Formulasi Dasar

Permasalahan pembangkitan ekonomis dapat diekspresikan sebagai permasalahan optimisasi berikut:

$$\min_{p_i} F = \sum F_i(p_i), \tag{1a}$$

dengan memenuhi persamaan keseimbangan energi:

$$\sum p_i = P_L + P_D, \tag{1b}$$

Dan batas-batas pembangkitan

$$p_i^{\min} \leq p_i \leq p_i^{\max} \tag{1c}$$

dimana: F_i = fungsi biaya masing-masing unit pembangkit; p_i = output pembangkit, dengan jumlah total N ; p_i^{\min}, p_i^{\max} = batas bawah dan atas masing-masing p_i ; P_L = *losses* transmisi; P_D = beban (kebutuhan daya konsumen).

Untuk permasalahan optimisasi (persamaan 1a dan 1b), dapat dilihat bahwa kondisi optimal yang penting adalah[5]:

$$\frac{\partial F_i}{\partial p_i} = \lambda \left[1 - \frac{\partial P_L}{\partial p_i} \right] \quad i = 1, 2, \dots, N \tag{2}$$

$$\sum p_i = P_L + P_D$$

dimana: λ = pengali Lagrange, merupakan tambahan parameter yang tidak diketahui untuk ditentukan dan $\partial F_i / \partial p_i$ adalah fungsi biaya inkremen.

Pertama, yang akan ditimbang adalah kasus fungsi biaya kuadratik:

$$F_i = \alpha_{2i} p_i^2 + \alpha_{1i} p_i + \alpha_{0i}$$

dimana *losses* transmisi diabaikan ($P_L = 0$).

Kemudian persamaan (2) dapat ditulis menjadi:

$$\lambda = 2\alpha_{2i} p_i + \alpha_{1i} \quad i = 1, 2, \dots, N \tag{3a}$$

$$\sum p_i = P_D \tag{3b}$$

Dari persamaan (3a), diperoleh:

$$p_i = \frac{\lambda - \alpha_{1i}}{2\alpha_{2i}} \tag{4}$$

Dengan menjumlahkan persamaan (4) atas i ,

$$\sum p_i = \lambda \sum \frac{1}{2\alpha_{2i}} - \sum \frac{\alpha_{1i}}{2\alpha_{2i}} = P_D \text{ atau}$$

$$\lambda = \frac{P_D + \sum \frac{\alpha_{1i}}{2\alpha_{2i}}}{\sum \frac{1}{2\alpha_{2i}}} \tag{5}$$

Persamaan (4) dan (5) digunakan untuk menentukan solusi analitik pada kasus tanpa *losses*. Kelihatan bahwa solusi analitik ini, walaupun dapat dipecahkan secara langsung namun penggunaannya tidak luas. Karena itu algoritma iterasi (metode numerik) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tanpa *losses* ini[1,5].

Ketersediaan suatu solusi analitik terhadap persamaan (3) menaikkan efisiensi algoritma klasik secara berarti[3]. Yang lebih penting adalah formulasi permasalahan untuk kasus umum, dimana fungsi biaya merupakan polinomial dan *losses* transmisi ditimbang, dapat direduksi ke bentuk yang sama dengan persamaan (3).

Dengan menimbang kasus *losses*, persamaan yang akan diselesaikan mempunyai bentuk:

$$\lambda = 2\alpha_{2i} p_i + \alpha_{1i} = \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial p_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, N \tag{6}$$

$$\sum p_i = P_L + P_D$$

Ini adalah persamaan nonlinier dalam p_i dan λ dan hanya dapat diselesaikan secara iterasi. Katakanlah λ^{lama} dan p_i^{lama} merupakan solusi perkiraan persamaan (6), maka perkiraan baru yang perlu dicari adalah:

$$\lambda^{baru} = \lambda^{lama} + \partial \lambda$$

$$p_i^{baru} = p_i^{lama} + \partial p_i$$

Ekspresi untuk λ^{baru} , p_i^{baru} tergantung pada formula rugi transmisi yang digunakan.

Formulasi Losses Matrik B

Satu cara populer untuk menghitung rugi transmisi adalah dengan menggunakan matriks B [5]. Bentuk umum diberikan pada acuan [6]:

$$P_L = \sum B_{ij} p_i p_j + \sum b_i p_i + \beta \tag{7}$$

Dengan menggunakan persamaan (7), λ^{baru} , p_i^{baru} adalah, untuk order pertama, diberikan oleh:

$$2\alpha_{2i} p_i^{baru} + \alpha_{1i} = \lambda^{baru} (1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i) - 2\lambda^{lama} \sum B_{ij} \delta p_j \tag{8a}$$

$$\sum (1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i) p_i^{baru} = P_L^{lama} + P_D - \sum (2 \sum B_{ij} p_j^{lama} + b_i) p_i^{lama} \tag{8b}$$

Pada algoritma solusi klasik [5], terma terakhir pada persamaan (8a) dan (8b) diabaikan. Pada acuan [3], hal ini juga diabaikan tetapi persamaan (8b) digunakan sebagai kendala (*constraints*). Terjadi osilasi pada kedua kasus tersebut. Jika bagian akhir dari persamaan (8a) disertakan, algoritma penyelesaian akan menjadi sukar. Bentuk sederhana algoritma pembangkitan ekonomis klasik tidak digunakan, dan solusi dari suatu himpunan persamaan simultan harus diselesaikan pada setiap tahap iterasi.

Untuk menggunakan bentuk klasik dan pada waktu bersamaan konvergensi diperbaiki, maka sangat mungkin dilakukan dengan hanya menyertakan terma i dari penjumlahan $2\lambda^{lama} \sum B_{ij} \delta p_i$ atau lebih tepat lagi $2\lambda^{lama} \sum B_{ii} (p_i^{baru} - p_i^{lama})$. Sekarang dipunyai:

$$2(\alpha_{2i} + \lambda^{lama} B_{ii}) p_i^{baru} + \alpha_{1i} - 2\lambda^{lama} B_{ii} p_i^{lama} = \lambda^{baru} (1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i) \quad i = 1, 2, \dots, N \tag{9}$$

$$\sum (1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i) p_i^{baru} = P_L^{lama} + P_D - \sum (2 \sum B_{ij} p_j^{lama} + b_i) p_i^{lama}$$

Jika dinyatakan:

$$p_i^* = p_i^{baru} (1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i)$$

$$\alpha_{2i}^* = \frac{\alpha_{2i} + \lambda^{lama} B_{ii}}{(1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i)^2}$$

$$\alpha_{1i}^* = \frac{\alpha_{1i} - 2\lambda^{lama} B_{ii} p_i^{lama}}{1 - 2 \sum B_{ij} p_j^{lama} - b_i}$$

$$b^* = P_L^{lama} + P_D - \sum (2 \sum B_{ij} p_j^{lama} + b_i) p_i^{lama}$$

maka persamaan (9) dapat ditulis dalam bentuk tanpa rugi (*lossless*) ekuivalen [4] sebagai berikut:

$$2\alpha_{2i}^* p_i^* + \alpha_{1i}^* = \lambda^{baru} \quad i = 1, 2, \dots, N \tag{10}$$

$$\sum p_i^* = b^*$$

Selanjutnya skema dari acuan [4] dapat diterapkan untuk menentukan kendala-kendala pembangkitan pada persamaan (1c). Dengan menggunakan persamaan yang termodifikasi ini diperoleh bahwa tidak hanya mengeliminasi osilasi tetapi juga tingkat konvergensi menjadi lebih cepat, sebagaimana yang akan didiskusikan kemudian.

Formulasi Losses Matriks Jacobi

Metode lain yang dapat digunakan untuk menghitung *losses* transmisi P_L dan derivasinya $\partial P_L / \partial p_i$ menyertakan penggunaan matriks Jacobi aliran daya. Permasalahan optimisasi diformulasikan agak berbeda dari formulasi matriks B karena penggunaan rel acuan. Karena itu, kondisi yang penting untuk kondisi optimal diberikan oleh:

$$\frac{\partial F_i}{\partial p_i} = \frac{\partial F_r}{\partial p_r} \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial p_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad i \neq r$$

dengan $p_r = P_L + P_D - \sum p_i$ ($i \neq r$ dalam \sum)

dimana r adalah indeks generator rel acuan. Namun demikian, jika $\lambda = \partial F_r / \partial p_r$ dan $\partial P_L / \partial p_i = 0$, maka kondisi optimal dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial F_i}{\partial p_i} = \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial p_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

dengan $\sum p_i = P_L + P_D$

Fungsi Biaya Polinomial

Untuk fungsi biaya umum

$$F_i = \alpha_{ni} p_i^n + \alpha_{n-1,i} p_i^{n-1} + \dots + \alpha_{1i} p_i + \alpha_{0i}$$

dan dengan menggunakan proses linierisasi dan modifikasi seperti di atas, maka bentuk tanpa rugi dapat diperoleh dengan:

$$\alpha_{2i}^* = \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 F_i^{lama}}{dp_i^2} + \lambda^{lama} \frac{d^2 P_L^{lama}}{dp_i^2} \right) / (1 - k_i^{lama})^2$$

$$\alpha_{1i}^* = \left(\frac{dF_i^{lama}}{dp_i} - \frac{d^2 F_i^{lama}}{dp_i^2} p_i^{lama} - \lambda^{lama} \frac{d^2 P_L^{lama}}{dp_i^2} p_i^{lama} \right) / (1 - k_i^{lama})$$

$$b^* = P_L^{lama} + P_D - \sum k_i^{lama} p_i^{lama}$$

dimana $k_i = \partial P_L / \partial p_i$ dan $\partial^2 P_L^{lama} / \partial p_i^2 = 2B_{ii}$.

B_{ii} adalah elemen diagonal matriks B untuk formulasi *losses* matriks B tetapi akan ditimbang sebagai nol untuk formulasi *losses* matriks Jacobi.

Penetapan Kendala-Kendala

Teknik penetapan kendala-kendala diusulkan pada acuan [4], yang hanya dapat diterapkan pada permasalahan tanpa rugi, disimpulkan sebagai berikut:

- a. Permasalahan tanpa kendala dipecahkan.
- b. Jika tidak terdapat pelanggaran, maka solusi mencapai optimal dan jika sebaliknya maka hitung Δh dimana:

$$\Delta h = \sum h_i^{\max} - \sum h_i^{\min},$$

$h_i^{\max} = p_i - p_i^{\max}$ untuk semua pelanggaran batas atas,

$h_i^{\min} = p_i^{\min} - p_i$ untuk semua pelanggaran batas bawah.

- c. Jika $\Delta h > 0$, semua violasi batas atas ditetapkan ke batas atasnya dan jika $\Delta h < 0$ semua violasi batas bawah ditetapkan ke batas bawahnya, dan jika $\Delta h = 0$ kedua violasi batas atas dan batas bawah masing-masing ditetapkan ke batas atas dan batas bawahnya.
- d. Kebutuhan (beban) baru ditentukan yaitu kebutuhan awal (orijinal) minus penjumlahan tingkat pembangkitan yang sudah ditentukan.
- e. Langkah a diulangi, dan seterusnya.

III. IMPLEMENTASI KOMPUTER

Suatu program komputer ditulis dalam bahasa visual basic dan dijalankan pada PC untuk mengetes algoritma yang diusulkan. Pada formulasi matriks B , untuk mendapatkan λ^{lama} dan p_i^{lama} awal maka permasalahan tanpa rugi (dimana P_L diset nol) diselesaikan, sementara solusi-solusi formulasi *losses* matriks Jacobi dan aliran daya digunakan sebagai nilai-nilai inisial (awal). Untuk fungsi biaya kuadrat, solusinya lebih mudah ditentukan secara analitik. Untuk polinomial orde lebih tinggi, kasus kuadrat dapat digunakan sebagai titik awal yang memungkinkan.

Untuk fungsi biaya linier, disini lagi-lagi dimulai dengan menggunakan permasalahan tanpa rugi, tetapi perlu dicatat bahwa ketika *losses* transmisi ditimbang maka bentuk tanpa rugi ekuivalen dari persamaan (10) menggunakan:

$$\alpha_{2i}^* = \frac{\lambda^{lama} B_{ii}}{(1 - k_i^{lama})^2}$$

Dalam penentuan konvergensi, maka nilai dari $|\lambda - \lambda^{lama}|$ dicek. Ini lebih cepat dibanding dengan pengecekan nilai $|p_i - p_i^{lama}|$ dan ini memungkinkan karena λ dapat ditentukan secara analitik pada setiap tahap iterasi.

IV. HASIL-HASIL NUMERIK

Tabel 1 sampai 3 mengilustrasikan keefisienan dan keandalan metode yang diusulkan. Hasil-hasil diperoleh untuk dua sistem yaitu sistem dengan 3 generator (pembangkit)[6] dan sistem dengan 8 generator[8], dimana keduanya menggunakan matriks B untuk mengestimasi *losses* transmisi. Secara jelas menunjukkan keunggulan algoritma yang diusulkan dalam terma keakurasian, konsistensi, keandalan, dan kecepatan konvergensi. Dalam kenyataannya, jika kendala yang sesungguhnya digunakan sebagai suatu kriteria untuk menghentikan proses iterasi, perbedaan dalam performansi akan menjadi nyata. Sebagai contoh, jika diperlukan bahwa kendala $\sum p_i = P_L + P_D$ dalam orde 10^{-5} maka algoritma yang diusulkan memerlukan hanya 3 iterasi untuk sistem dengan 3 generator dan 7 iterasi untuk sistem dengan 8 generator (untuk $P_D = 1300$) seperti yang dapat

dibandingkan yaitu masing-masing 7 dan 8 iterasi yang diperlukan untuk algoritma klasik.

Tercatat bahwa penghalusan iterasi, dengan faktor penghalusan yang baik, dapat mempercepat tingkat konvergensi algoritma klasik. Namun demikian, ukuran optimal faktor penghalusan bervariasi sesuai dengan permasalahan yang diselesaikan. Pemilihan yang salah dapat menyebabkan konvergensi yang lebih lambat atau malah terjadi divergensi. Hal ini sangat krusial, sebagai contoh, ketika menyelesaikan banyak jadwal pada suatu permasalahan komitmen unit tipikal. Lagipula, tidak ada jaminan bahwa kendala-kendala pembangkitan ditetapkan secara benar.

Pada tabel 4 dan 5 masing-masing dapat dilihat fungsi biaya polinomial.

Pada permasalahan komitmen unit, adalah sudah cukup akurat untuk menggunakan formulasi matriks B [1], karena pembangkitan ekonomis dengan formulasi Jacobi menggunakan waktu yang cukup lama sehingga tidak cocok untuk digunakan pada komitmen unit.

V. KESIMPULAN

Algoritma pembangkitan ekonomis sudah dipresentasikan. Beberapa keuntungan metode ini antara lain:

- a. Algoritma menggunakan suatu solusi analitik untuk menghitung lambda.
- b. Kendala batas output generator ditangani secara benar dan efisien.
- c. Algoritma dapat menangani kombinasi apapun dari fungsi-fungsi biaya polinomial.
- d. Algoritma ini mengeliminasi osilasi dan mempercepat konvergensi untuk permasalahan formulasi *losses* matriks B .
- e. Algoritma cocok untuk penerapan permasalahan komitmen unit.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Happ, H.H. (1994). *Optimal Power Dispatch*, IEEE Trans., PAS 94, pp. 820-830.
- [2] Aoki, K, dan Satoh, T. (1995). *New Algorithm for Classic Economic Load Dispatch*, IEEE Trans., PAS 95, pp. 1423-1431.
- [3] Ramanathan, R. (1997). *Fast Economic Dispatch based on the Penalty Factor From Newton's Method*, IEEE Trans., PAS 97, pp. 1624-1629.
- [4] Fanideh-Vojdani, A.R., Galiana, F.D. (1998). *Economic Dispatch with Generation Constraints*, IEEE Trans., AC-35, pp. 213-217.
- [5] Happ, H.H. (1997). *Optimal Power Dispatch – A Comprehensive Survey*, IEEE Trans., PAS 97, pp. 841-854.
- [6] Wood, A.J., Wollenberg, B.F. (1984). *Power Generation, Operation & Control*, John Wiley, New York.

[7] Ramanathan, R. (1998). *Fast Economic Dispatch Based On the Penalty Factor From Newton's Method*, IEEE Trans., PAS-105, pp. 1624-1629. [8] Wood, A.J., Wollenberg, B.F. (1984). *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley, New York.

Tabel 1 Formulasi losses matriks *B* untuk sistem dengan 3 generator

$P_D = 220 \text{ MW}$	$ \lambda - \lambda^{lama} < 0,1$ (biaya/MW)		$ \lambda - \lambda^{lama} < 0,01$ (biaya/MW)	
	Metode klasik*	Metode yang diusulkan	Metode klasik*	Metode yang diusulkan
Jumlah iterasi	8	5	9	6
Biaya, unit/jam	3246,4	3246,4	3246,4	3246,4
$\sum p_i - P_L - P_D$	$-1,321 \cdot 10^{-4}$	$-1,131 \cdot 10^{-6}$	$-3,251 \cdot 10^{-5}$	$-1,426 \cdot 10^{-7}$

*Perataan digunakan untuk mencegah osilasi

Tabel 2 Formulasi losses matriks *B* untuk sistem dengan 8 generator (beban 920 MW)

$P_D = 920 \text{ MW}$	$ \lambda - \lambda^{lama} < 0,1$ (biaya/MW)		$ \lambda - \lambda^{lama} < 0,01$ (biaya/MW)	
	Metode klasik*	Metode yang diusulkan	Metode klasik*	Metode yang diusulkan
Jumlah iterasi	20	10	30	12
Biaya, unit/jam	1133,6	1133,6	1133,6	1133,6
$\sum p_i - P_L - P_D$	$-1,122 \cdot 10^{-4}$	$-6,644 \cdot 10^{-7}$	$-1,264 \cdot 10^{-5}$	$-1,654 \cdot 10^{-9}$

*Perataan digunakan untuk mencegah osilasi

Tabel 3 Formulasi losses matriks *B* untuk sistem dengan 8 generator (beban 1350 MW)

$P_D = 1350 \text{ MW}$	$ \lambda - \lambda^{lama} < 0,1$ (biaya/MW)		$ \lambda - \lambda^{lama} < 0,01$ (biaya/MW)	
	Metode klasik*	Metode yang diusulkan	Metode klasik*	Metode yang diusulkan
Jumlah iterasi	10	9	16	14
Biaya, unit/jam	1965,3	1965,3	1965,3	1965,3
$\sum p_i - P_L - P_D$	$-9,023 \cdot 10^{-4}$	$-4,457 \cdot 10^{-7}$	$-7,112 \cdot 10^{-5}$	$-4,897 \cdot 10^{-9}$

*Perataan digunakan untuk mencegah osilasi

Tabel 4 Fungsi biaya

Generator <i>i</i>	α_{0i}	α_{1i}	α_{2i}	α_{3i}
Fungsi biaya kubik				
1	622,889	-12,676	$1,302 \cdot 10^{-1}$	$-2,921 \cdot 10^{-4}$
2	512,556	-2,877	$1,864 \cdot 10^{-1}$	$-5,176 \cdot 10^{-4}$
3	625,454	-2,645	$1,542 \cdot 10^{-1}$	$-3,743 \cdot 10^{-6}$
Fungsi biaya kuadrat				
1	202,554	10,988	$2,507 \cdot 10^{-2}$	
2	190,436	9,694	$2,865 \cdot 10^{-2}$	

3	230,624	10,112	$2,534 \cdot 10^{-2}$	
Fungsi biaya linier				
1	-96,657	17,078		
2	-34,243	15,064		
3	-47,436	15,688		

Tabel 5 Pembangkitan ekonomis dengan fungsi biaya polinomial

Fungsi biaya	Biaya (unit/jam)	Jumlah iterasi
Kubik	3266,8	4
Kuadratik	3287,6	3
Linier	3301,2	5

Kajian Sifat Konvergensi Algoritma Aliran Daya *Fast Decoupled*

Hamzah Hilal

*Bidang Rekayasa Sistem, PTKKE, BPPT
Jl. MH. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340,
email: taura889@yahoo.com*

Abstrak -- Makalah ini mempresentasikan hasil studi ekstensif dari berbagai sistem tenaga listrik tipikal untuk mengeksplorasi suatu model aliran daya fast decoupled (FDLF) yang dapat memperlihatkan sifat kekonvergenan untuk sistem-sistem kondisi normal (well-behaved) dan kondisi gangguan (ill-conditioned). Suatu percobaan telah dibuat untuk menguji beberapa parameter yang relatif penting, seperti resistansi seri saluran, reaktansi shunt dan tap transformator, dalam memformulasi $[B']$ dan $[B'']$, pada kekonvergenan FDLF dari Stott dan Alsac [1]. Hasil-hasil menunjukkan bahwa suatu model Stott yang dibalik menghasilkan konvergensi solusi FDLF yang lebih baik, baik pada sistem-sistem dengan kondisi normal maupun kondisi gangguan. Diantara parameter-parameter yang ditimbang dalam membentuk $[B']$ dan $[B'']$, parameter resistansi memainkan peranan yang sangat berarti dalam konvergensi solusi FDLF, dan bukan yang shunt.

Kata kunci: Algoritma, sistem tenaga listrik, aliran daya.

I. PENDAHULUAN

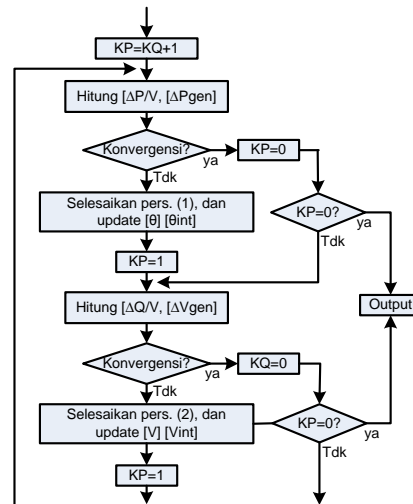
Algoritma aliran daya (*load flow*) *fast decoupled* (FDLF) yang dikembangkan oleh Stott dan Alsac [1] seperti dapat dilihat pada gambar 1 [6,7] barangkali menjadi salah satu algoritma yang sangat sering digunakan oleh operator sistem tenaga listrik. Metode ini menggunakan beberapa asumsi jaringan yang dapat dijustifikasi, selain dari dekopling $P-\theta$, dan $Q-V$ juga seperti $\cos \theta_{km} \cong 1$, $G_{km} \sin \theta_{km} \ll B_{km}$, $Q_k \ll B_{kk} V_k^2 (G_{km} + jB_{km})$ mewakili elemen ke km dari matriks admitansi Y , untuk mendapatkan konstanta submatriks Jacobi. Persamaan akhir FDLF adalah:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta V \end{bmatrix} = [B'] [\Delta \theta] \tag{1}$$

dan

$$\begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta V \end{bmatrix} = [B''] [\Delta V] \tag{2}$$

dimana $[\Delta \theta]$ dan $[\Delta V]$ merupakan vektor koreksi masing-masing untuk sudut rel dan tegangan rel. Model akhir dari Stott dan Alsac di atas membuat asumsi tambahan tertentu yaitu ketika $[B']$ dibentuk, parameter-parameter jaringan seperti resistansi seri, reaktansi shunt, dan tap transformator off nominal diabaikan.



Gambar 1 Diagram alir penyelesaian umum FDLF

Pada saat ini belum ada studi yang komprehensif mengenai dampak parameter-parameter ini, dalam kombinasi apapun, ketika $[B']$ dan $[B'']$ dibentuk, pada sifat kekonvergenan dari solusi FDLF. Scott dan Alsac [1] membuat suatu pernyataan bahwa pengabaian resistansi seri saluran ketika $[B']$ dibentuk mempunyai pengaruh yang hanya sedikit dalam memperbaiki kekonvergenan FDLF. Pernyataan ini telah ditolak secara keras oleh Nanda et al [2]. Nanda et al. mungkin yang pertama mengkaji secara detail pentingnya mengikutsertakan parameter-parameter yang disebutkan di atas dalam pembentukan $[B']$ pada sifat konvergensi algoritma FDLF Scott, untuk dua situasi kondisi sistem yaitu situasi dengan kondisi sistem normal (*well-behaved*) dan situasi dengan kondisi sistem mengalami gangguan (*ill-conditioned*). Tetapi mereka belum mengkaji dampak parameter-

parameter tersebut, dalam kombinasi apasaja yang mungkin, dalam membentuk $[B^n]$ atau dalam membentuk $[B^i]$ dan $[B^n]$ pada sifat kekonvergenan FDLF. Van Amerongen [3] telah mengusulkan suatu skema BX untuk model FDLF, dimana resistansi saluran ditimbang dalam membentuk $[B^i]$ dan diabaikan dalam membentuk $[B^n]$. Shunt dan tap transformator diabaikan dalam membentuk $[B^i]$ dan dilipat dua kalikan ketika membentuk $[B^n]$. Skema ini diakui memberikan suatu sifat konvergenan yang lebih baik dibanding dengan model FDLF Scott, khususnya untuk kasus-kasus sistem yang mengalami gangguan (*ill-conditioned*). Namun demikian, Van Amerongen telah gagal memberikan alasan melipat dua kalikan shunt ketika membentuk $[B^n]$. Dia tidak melakukan suatu studi atau pengkajian untuk menyatakan pentingnya keikutsertaan parameter-parameter dalam membentuk $[B^i]$ dan $[B^n]$ pada sifat konvergensi solusi FDLF.

Motivasi dari kajian yang diusulkan disini adalah untuk menyediakan studi yang komprehensif untuk mengerti lebih jauh dampak dari asumsi-asumsi tambahan (seperti adanya atau pengabaian parameter-parameter tersebut di atas) yang dibuat dalam membentuk $[B^i]$ dan $[B^n]$ pada pola konvergensi solusi FDLF. Karena itu, pada kajian ini dilakukan suatu eksplorasi terhadap kemungkinan strategi untuk membentuk suatu tujuan umum model FDLF yang menyediakan karakteristik kekonvergenan yang lebih baik untuk hampir semua kelas jaringan sistem tenaga listrik. Suatu pendekatan yang sistematis yang menimbang atau mengabaikan keikutsertaan parameter-parameter, seperti resistansi seri saluran, shunt saluran, dan eksternal shunt (termasuk shunt yang tercipta karena representasi π dari transformator off-nominal) ketika $[B^i]$ dan $[B^n]$ dibentuk. Kondisi gangguan (*ill-conditioned*) disimulasikan dengan mengalikan semua resistansi cabang oleh suatu faktor positif α , dan tingkat gangguan (*ill-conditioned*) dirubah-rubah dengan merubah nilai α . $\alpha=1$ berhubungan dengan kondisi normal.

II. METODOLOGI EKSPERIMEN

Masing-masing parameter, seperti resistansi seri saluran, shunt saluran dan shunt eksternal (termasuk shunt yang tercipta oleh representasi π transformator off-nominal), dihubungkan dengan suatu kode biner, apakah '0' atau '1', '0' merepresentasikan ketidakhadiran parameter dan '1' merepresentasikan kehadiran parameter. $[B^i]$ dan $[B^n]$ adalah masing-masing dihubungkan dengan suatu kode biner 3-bit. Mulai dari bit paling kiri dan proses dilanjutkan dari kiri ke kanan, kode biner pertama berhubungan dengan resistansi saluran, bit tengah berhubungan dengan shunt saluran, dan bit terakhir berhubungan dengan shunt eksternal. Contoh: $[B^i] = [010]$

diinterpretasikan sebagai berikut: resistansi seri saluran diabaikan (0), shunt saluran diikutsertakan (1), dan shunt eksternal tidak ditimbang (0) ketika $[B^i]$ dibentuk. Notasi dan interpretasi yang sama juga berlaku bagi $[B^n]$. Pengaturan ini menghasilkan 8 formulasi $[B^i]$ yang memungkinkan dan 8 lainnya untuk $[B^n]$, yang menghasilkan 64 himpunan kombinasi $[B^i]$ dan $[B^n]$. Sifat konvergensi ke-64 himpunan ini secara tersendiri-sendiri dikaji dengan mengoperasikan suatu analisa aliran beban (*load flow*). Ini akan memberikan suatu kesempatan untuk mengerti pentingnya peranan yang dimainkan oleh parameter-parameter individu dalam sifat kekonvergenan solusi FDLF.

Dengan representasi kode $[B^i]$ dan $[B^n]$ seperti ini, model klasik yang diusulkan oleh Scott et al mengasumsi kode sebagai berikut: $[B^i] = [000]$ dan $[B^n] = [111]$, yang kemudian disebut model (000-111).

Pengkajian dilakukan dengan menggunakan 2 sistem test IEEE yaitu sistem test 14 rel, dan sistem test 30 rel yang datanya dapat dilihat pada acuan [1,2], dan sistem tipikal Sulawesi Selatan-Tenggara dan Barat (Sistem Sutan Batara)[5] seperti dapat dilihat pada gambar 2 dengan data seperti pada tabel 1 dan tabel 2. Semua kasus pengkajian menggunakan dasar 0,1 MW/MVAr pada 100 MVA, dan batas konvergensi dipilih sebesar 0,001 pu, dan juga menggunakan skema iterasi $1-\theta$ dan $1-V$.

Dari 64 eksperimen pada masing-masing sistem, dengan model-model $[B^i]$ dan $[B^n]$ yang berbeda, beberapa skema tipikal yang dihasilkan diberikan pada tabel 3 sampai tabel 5 untuk tujuan perbandingan.

III. HASIL-HASIL DAN ANALISIS

Situasi Normal (*Well-Behaved*), ($\alpha = 1,0$)

Model (011-111) atau model (111-011), dimana hanya resistansi seri saluran diabaikan dalam membentuk $[B^i]$ atau $[B^n]$, menunjukkan kekonvergenan yang baik.

Jika skema Scott dibalik ketika $[B^i]$ dan $[B^n]$ dibentuk, yaitu jika suatu model (111-000) ditimbang, maka hasil-hasilnya menunjukkan bahwa model ini bekerja agak baik dibandingkan dengan model Scott (000-111). Sifat kekonvergenan yang baik dari model Scott yang dibalik dapat ditandai dengan ketidakhadiran resistansi ketika $[B^n]$ dibentuk.

Investigasi menunjukkan bahwa pengabaian hanya resistansi seri saluran, dalam formulasi apakah $[B^i]$ atau $[B^n]$ memainkan peranan yang cukup berarti pada pola solusi FDLF, bukan karena kehadiran atau pengabaian shunt saluran dan shunt eksternal dalam kombinasi apapun dalam formasi $[B^i]$ dan $[B^n]$.

Situasi Gangguan (*Ill-Conditioned*), ($\alpha > 1,0$)

Model-model Scott (000-111) dan (011-111) mempunyai sifat-sifat konvergensi yang kurang lebih mirip. Namun demikian, sifat konvergensi yang lebih rendah terhadap model Scott (000-111), pada derajat gangguan (*ill-conditioned*) yang lebih tinggi, dan memperlihatkan sifat konvergensi yang kurang lebih sama dengan model (111-011).

Untuk situasi gangguan (*ill-conditioned*), terobservasi bahwa kehadiran resistansi seri saluran, ketika $[B']$ dibentuk, memainkan peranan yang berarti dalam memperbaiki konvergensi solusi FDLF. Untuk situasi seperti ini, pertimbangan shunt saluran dan shunt eksternal dalam kombinasi apapun, ketika $[B']$ dan $[B'']$ dibentuk, sangat mempengaruhi pola konvergensi. Amerogon telah mengusulkan suatu skema BX[3], dimana $[B']$ dibentuk dengan menimbang resistansi seri saluran dan mengabaikan shunt saluran dan shunt eksternal, dan $[B'']$ dibentuk dengan mengabaikan resistansi seri saluran tetapi menimbang secara dobel nilai nominal reaktansi shunt. Skema BX ini dalam bentuk kode mengacu pada model (100-022). Dengan membandingkan performansi model (100-022) dengan model-model (111-000) dan (100-000), terlihat bahwa pola konvergensi untuk semua model secara praktis sama untuk semua derajat gangguan (*ill-conditioned*) yang dikaji seperti dapat dilihat pada tabel 3 sampai dengan tabel 5.

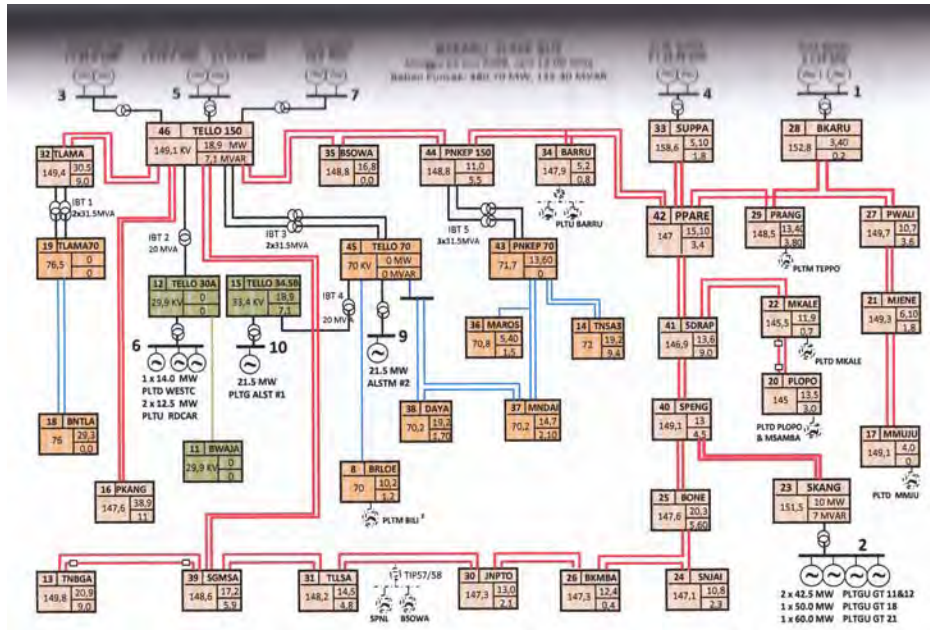
IV. KESIMPULAN

Model FDLF apapun ketika $[B']$ dan $[B'']$ dibentuk dalam kehadiran dan ketidakhadiran resistansi seri saluran akan menyediakan sifat konvergensi yang hampir lebih baik dari solusi FDLF untuk kelas jaringan sistem tenaga bagaimanapun (*well-behaved* atau juga *ill-conditioned*), apakah menghadirkan dan meniadakan shunt saluran dan

shunt eksternal (termasuk shunt yang tercipta oleh representasi transformator off-nominal) dalam kombinasi apapun dalam formulasi $[B']$ dan $[B'']$. Rekomendasi yang dapat diajukan adalah, untuk semua tujuan praktis, model FDLF yang didasarkan pada model (100-000) atau kebalikan model Scott (111-000) dapat menyediakan sifat konvergensi yang lebih baik untuk kedua sistem normal (*well-behaved*) dan sistem dalam gangguan (*ill-conditioned*). Program FDLF yang sudah tersedia (yang didasarkan pada model Scott) dapat dengan mudah dirubah dan diadaptasi apakah menjadi model baru (100-000) atau model Scott yang dibalik, yang seharusnya dapat menarik pengguna (operator sistem tenaga listrik) untuk menggunakan program FDLF dengan tujuan yang lebih umum atau untuk aplikasi praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stott, B., Alsac, O. (1984). *Fast Decoupled Load Flow*, IEEE Trans, PAS-98, pp.859-869.
- [2] Nanda, J., et al. (1997). *Some important Observation on Fast Decoupled Load Flow Algorithm*, Proc. IEEE, 85, pp. 732-733.
- [3] Van Amerogen, A.M. (1998). *A General Purpose Version of the Fast Decoupled Load Flow*, IEEE PES Summer Meeting, July, Portland, Oregon, No. 98-SM-753-3.
- [4] Gungor, R.B., et al. (1991). *A Technique for Optimizing Real and Reactive Power Schedules*, IEEE Trans., PAS-99, pp. 1781-1790.
- [5] Sugianto. (2010). *Analisa Kendali Kestabilan Daya Pembangkitan Berdasarkan Logika Samar*, Thesis PhD, Unhas.
- [6] Arrillaga, J., Arnold, C.P. (1990). *Computer Analysis of Power Systems*, John Wiley & Sons.
- [7] Saadat, H. (2004). *Power System Analysis*, 2nd edition, MC Graw Hill.



Gambar 2 Sistem Sutan Batara

Tabel 1 Data beban Gardu Induk sistem Sutan Batara

NO BUS	Tegangan (pu) & Sudut Daya (Derajat)		PEMBEBANAN		CAP. SHUNT (MVAR)	TYPE BUS
			PL (MW)	QL (MVAR)		
1	1.0220	0.0000	.00	.00	.000	1
2	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	2
3	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	2
4	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	2
5	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	2
6	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	2
7	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	2
8	1.0000	0.0000	10.20	1.20	.000	2
9	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	3
10	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	3
11	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	3
12	1.0000	0.0000	.00	.00	.000	3
13	1.0000	0.0000	20.90	9.00	.000	3
14	1.0000	0.0000	19.20	9.40	.000	3
15	1.0000	0.0000	18.90	7.10	.000	3
16	1.0000	0.0000	38.90	11.00	.000	3
17	1.0000	0.0000	4.00	.00	.000	3
18	1.0000	0.0000	29.30	.00	.000	3
19	1.0000	0.0000	.00	.00	40.000	3
20	1.0000	0.0000	13.50	3.00	.000	3
21	1.0000	0.0000	6.10	1.80	.000	3
22	1.0000	0.0000	11.90	.70	.000	3
23	1.0000	0.0000	10.00	7.00	.000	3
24	1.0000	0.0000	10.80	2.30	.000	3
25	1.0000	0.0000	20.30	5.60	.000	3
26	1.0000	0.0000	12.40	.40	.000	3
27	1.0000	0.0000	10.70	3.60	.000	3

28	1.0000	0.0000	3.40	.20	.000	3
29	1.0000	0.0000	13.40	3.80	.000	3
30	1.0000	0.0000	13.00	2.10	.000	3
31	1.0000	0.0000	14.50	4.80	.000	3
32	1.0000	0.0000	30.50	9.00	.000	3
33	1.0000	0.0000	5.10	1.80	.000	3
34	1.0000	0.0000	5.20	.80	.000	3
35	1.0000	0.0000	16.80	.00	.000	3
36	1.0000	0.0000	5.40	1.50	.000	3
37	1.0000	0.0000	14.70	2.10	.000	3
38	1.0000	0.0000	19.20	1.70	20.000	3
39	1.0000	0.0000	17.20	5.90	.000	3
40	1.0000	0.0000	13.00	4.50	.000	3
41	1.0000	0.0000	13.60	9.00	.000	3
42	1.0000	0.0000	15.10	3.40	.000	3
43	1.0000	0.0000	13.60	.00	50.000	3
44	1.0000	0.0000	11.00	5.50	.000	3
45	1.0000	0.0000	.00	.00	10.000	3
46	1.0000	0.0000	18.90	7.10	.000	3

Tabel 2 Data Saluran Transmisi sistem Sutan Batara

No.	Dari GI (rel)	Ke GI (rel)	Impedansi		
			R	X	Y/2
1	1	28	0,00052	0,011880	0,00015
2	2	23	0	0,056430	0
3	3	46	0	0,137335	0
4	4	33	0	0,137335	0
5	5	46	0	0,17799	0
6	6	12	0	0,154982	0
7	7	46	0	0,19967	0
8	8	45	0,06069	0,11141	0,00034
9	9	45	0	0,41481	0
10	10	15	0	0,31481	0
11	11	12	0,12292	0,17508	0,00002
12	12	46	0	0,5535	0
13	13	39	0,00177	0,01564	0,00271
14	14	43	0,01638	0,03006	0,00009
15	15	45	0	0,5535	0
16	16	46	0,02360	0,008480	0,00067
17	17	21	0,03671	0,131895	0,04152
18	18	19	0,02023	0,03719	0,00011
19	19	32	0	0,207935	0
20	20	22	0,00979	0,3519	0,00554
21	21	27	0,02630	0,0945	0,00744
22	22	41	0,03137	0,18876	0,02406
23	23	40	0,01053	0,0633	0,00807
24	24	25	0,04064	0,14603	0,01149
25	24	26	0,03131	0,11249	0,00885
26	25	26	0,02289	0,0815	0,00804
27	25	40	0,07195	0,2585	0,02035

28	26	30	0,02430	0,08738	0,00688
29	27	28	0,02630	0,0944	0,00743
30	27	42	0,03663	0,13159	0,01819
31	28	29	0,03076	0,11023	0,01012
32	29	42	0,01388	0,04974	0,0067
33	30	31	0,03333	0,11974	0,00942
34	31	39	0,00485	0,03324	0,00627
35	32	46	0,00363	0,01300	,00175
36	33	42	0,00390	0,01410	0,00111
37	34	42	0,02419	0,08667	0,01167
38	34	44	0,02314	0,08290	0,01116
39	35	44	0,01683	0,06049	0,00761
40	35	46	0,01090	0,03919	0,00493
41	36	37	0,13630	0,2502	0,00075
42	36	43	0,08190	0,1503	0,00045
43	37	38	0,03420	0,06278	0,00019
44	37	43	0,05828	0,10699	0,00032
45	37	45	0,18164	0,3334	0,001
46	38	45	0,02408	0,04421	0,00013
47	39	46	0,00192	0,0132	0,00249
48	40	41	0,02821	0,10142	0,00964
49	41	42	0,01001	0,036	0,00283
50	42	44	0,04730	0,1696	0,02283
51	43	44	0	0,13164	0
52	44	46	0,01690	0,04270	0,01149
53	45	46	0	0,207935	0

Tabel 3 Hasil FDLF untuk beberapa model terseleksi test IEEE 14 rel

No.	[B'] [B'']	α			
		1,0	1,5	2,5	3,5
1	000-111	4,0	5,5	10,5	19,0
2	111-000	4,5	5,5	5,5	6,5
3	100-000	4,5	5,5	5,5	6,5
4	100-022	4,5	5,5	5,5	6,5

Tabel 4 Hasil FDLF untuk beberapa model terseleksi test IEEE 30 rel

No.	[B'] [B'']	α			
		1,0	1,5	2,5	3,5
1	000-111	3,5	6,0	11,5	26,0
2	111-000	4,5	5,0	6,0	8,0
3	100-000	4,5	5,0	6,0	8,5
4	100-022	4,5	5,0	6,0	8,5

Tabel 5 Hasil FDLF untuk beberapa model terseleksi tipikal sistem Sulsel

No.	[B'] [B'']	α
-----	------------	----------

		1,0	1,5	2,5	3,5
1	000-111	4,5	5,5	10,0	18,5
2	111-000	5,5	5,5	9,5	12,5
3	100-000	5,0	5,5	8,5	12,5
4	100-022	5,0	5,5	7,5	12,5

Pengujian Berat Jenis dan Penyusutan Berat Bahan Uji Kabel Jenis N2XSRV dan NA2XSEYBY

Syafriyudin

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email: dien@akprind.ac.id

Abstrak -- Kabel yang berfungsi menyalurkan energi listrik merupakan peralatan yang paling rentan dalam sisi keamanan instalasi. Terjadinya hubung singkat pada instalasi rumah tangga biasanya disebabkan karena sambungan kabel yang tidak baik ataupun karena rusaknya isolasi kabel, untuk mengantisipasi karena kerusakan isolasi kabel, diperlukan adanya pengetahuan dengan faktor-faktor penyebab kerusakan isolasi dan seberapa besar pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap ketahanan isoalsi.

Pengaruh temperatur dapat menyebabkan terjadinya proses degradasi pada isolasi kabel karena dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur kimia bahan. Proses degaradasi ini salah satunya ditandai dengan penurunan ketahanan isolasi, yang ditandai dengan semakin cepat terjadinya tegangan tembus jika temperatur terus dinaikkan. Semakin lama dan semakin tinggi temperatur yang diberikan pada bahan isolasi maka tingkat kerusakan yang dialami bahan juga akan semakin besar.

Dari hasil pengujian karakteristik penurunan ketahanan isolasi dapat berbeda pada setiap bahan isolasi yang d uji, tergantung dari prosentase bahan additif yang dicampurkan pada bahan isolasi, proses degradasi yang berlangsung secara terus menerus karena kenaikan temperatur dapat menyebabkan isolasi kabel menjadi kaku dan akibatnya tegangan tembus pada bahan akan semakin cepat.

Kata kunci : isolasi, kekuatan mekanis, temperature.

I. LATAR BELAKANG MASALAH

Tenaga listrik sangat berguna karena tenaga listrik itu dapat dengan mudah ditransportasikan atau disalurkan dan juga mudah diatur. Tenaga listrik dibangkitkan dipusat-pusat listrik tenaga (PLT). Pusat-pusat tenaga listrik itu umumnya terletak jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan atau disalurkan melalui kawat-kawat atau kabel atau juga saluran transmisi. Saluran transmisi umumnya mempunyai dua kategori yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel tanah (*underground cable*). Tenaga listrik yang menyalurkan melalui kawat-kawat yang digantung pada menara atau tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator, sedangkan kategori

kedua yaitu menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam dibawah permukaan tanah.

Mengingat bahwa biaya suatu peralatan tegangan tinggi ditentukan oleh biaya pengadaan bahan isolasinya, disamping perencanaan isolasi yang tepat perlu diadakan riset untuk menemukan bahan-bahan baru yang lebih murah dari bahan isolasi yang sudah ada. Suatu bahan yang digunakan sebagai bahan isolasi peralatan listrik, maka kualitas isolasi peralatan menentukan keandalan dan keamanan operasi sistem tenaga listrik. Pengujian tegangan dilakukan untuk menguji apakah kualitas kemampuan isolasi peralatan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan untuk peralatan tersebut.

Kabel merupakan sebagai peralatan pokok dalam instalasi listrik yang berfungsi menyalurkan energi ke peralatan-peralatan yang menggunakan energi listrik, adalah peralatan yang paling rentan dalam keamanan instalasi. Terjadinya hubung singkat pada instalasi rumah tangga biasanya disebabkan karena sambungan kabel yang tidak baik ataupun karena rusaknya isolasi kabel. Oleh karena itu, dalam pemasangan instalasi kabel listrik pada saat penyambungan kabel harus diperhatikan bahwa sambungan tersebut benar-benar terbungkus dengan sempurna. Untuk mengantisipasi karena kerusakan isolasi kabel, diperlukan adanya pengetahuan tentang faktor penyebab kerusakan isolasi isoalsi dan seberapa besar faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap ketahanan isolasi.

II. METODE PENGUJIAN

Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian berat Jenis (*Specific Gravity*) dimaksudkan untuk menilai kebenaran berat jenis pada bahan isolasi. Metode yang digunakan untuk bahan baku PE, PVC dan XLPE. Pengujian ini sesuai dengan SPLN 39-1 : 1981.

Alat Pengujian

- Timbangan Sauter dengan ketelitian 0,0001 gr
- Gelas Pyrex 200 cc
- Cairan alcohol dengan B.J 0,82 gr/cc

Cara Pengujian

- Bahan baku yang berbentuk butiran kecil dipadatkan/dipres dengan tebal 5 mm, dengan tujuan agar tidak ada gelembung-gelembung udara pada contoh tersebut yang mengakibatkan beratnya berkurang. Kemudian dipotong-potong sedemikian rupa

sehingga diperoleh berat ± 2,5 gr. Contoh harus berada disuhu ruangan 23 °C ± 2.

- Contoh ditimbang di udara dengan berat M₁, kemudian contoh ditimbang di dalam cairan alcohol dengan berat jenis 0,8 gr/cc dengan digantung dengan kawat halus dengan berat M₂. Sehingga didapat perhitungan sebagai berikut :

Berat Jenis (Specific Gravity) :

$$\frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$$

Keterangan :

Berat jenis : (gr/cm³)

- M₁ : Berat contoh di udara (gr)
- M₂ : Berat contoh di dalam cairan (gr)
- d : Berat jenis cairan (0,8 gr/cc)



Gambar 1. Pengujian berat Jenis

Pengujian Penyusutan Berat (Plasticizer Loss On Ageing)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penyusutan berat bahan isolasi khususnya PVC karena proses penuaan (Loss of mass) setelah dproses dengan penuaan 7 x 24 jam. Pengujian ini sesuai dengan IEC 60811-3-2 : 1985.

Alat Pengujian

- Alat Press Pontijne
- Oven
- Timbangan Sauter dengan ketelitian 0,0001 gr

Cara Pengujian

- Butiran sampel PVC di press dalam bentuk lepeangan dengan ketebalan ± 1,2 mm pada alat pontijne dengan setting temperatur sesuai tipe bahan baku. Bahan baku yang telah dipress didumble dengan helter.



Gambar 2 Alat Press Pontijne

- Kepingan dumbel ditimbang, kemudian dilakukan penuaan dengan cara dioven

selama 7 x 24 jam dan setting temperatur oven disesuaikan dengan tipe bahan baku.

- Setelah proses penuaan selesai, sampel tersebut didinginkan hingga mencapai suhu ruangan. Kemudian timbang sampel tersebut satu persatu dengan alat timbangan sauter dan ukur ketebalannya. Perhitungan berat penyusutan setelah proses penuaan adalah.

Rumus :

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

Keterangan :

A : Area (cm²)

t : Tebal (cm)

$$Q : \frac{Difference}{Area}$$

Keterangan :

Q : Plasticizer Loss On Ageing (mg/cm²)

Difference : Selisih berat sebelum penuaan dan sesudah penuaan (mg)



Gambar 3 Proses penuaan dengan oven

Hasil Pengujian Berat Jenis (Specific Gravity)

Pengujian berat Jenis (Specific Gravity) dimaksudkan untuk menilai kebenaran berat jenis pada bahan isolasi. Metode yang digunakan untuk bahan baku PE, PVC dan XLPE. Pengujian ini sesuai dengan SPLN 39-1 : 1981.

- Material : PVC Sheathing Grade
- Type : YM/1 or STI RD (Red)
- Room Temperature : 20 °C
- S.G Liquid : 0,82 gr/cm³

Berat Jenis (Specific Gravity) : $\frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$

1. Berat Jenis : $\frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$

$$: \frac{3,0760 \times 0,82}{3,0760 - 1,3270}$$

$$: 1,4421 \text{ gr/cm}^3$$
2. Berat Jenis : $\frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$

$$: \frac{2,8953 \times 0,82}{2,8953 - 1,2470}$$

$$: 1,4404 \text{ gr/cm}^3$$
3. Berat Jenis : $\frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$

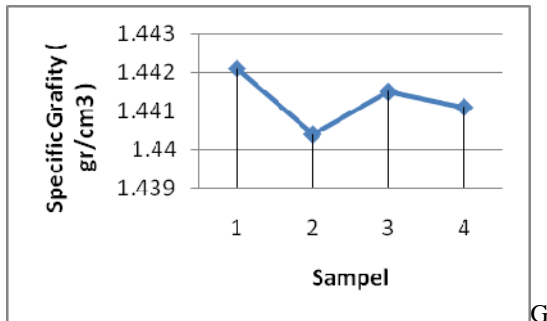
$$: \frac{3,1048 \times 0,82}{3,1048 - 1,3386}$$

$$: 1,4415 \text{ gr/cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Berat Jenis} & : \frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2} \\
 & : \frac{3,0374 \times 0,82}{3,0374 - 1,3091} \\
 & : 1,4411 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 1. Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

No	Weight on Air (gr)	Weight in Liquid (gr)	Specific Gravity (gr/cm ³)	Remarks
1	3,0760	1,3270	1,4421	S.G Liquid : 0,82 gr/cm ³
2	2,8953	1,2470	1,4404	
3	3,1048	1,3386	1,4415	
4	3,0374	1,3091	1,4411	
		Value	1,4413	



Grafik Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui berat jenis dari bahan PVC dan untuk mengetahui kadar air dalam bahan. Bila kadar air dalam bahan itu tinggi maka kekuatan tahanan isolasi pada bahan akan berkurang. Hal tersebut dapat mengakibatkan kegagalan dielektrik maupun mekanis.

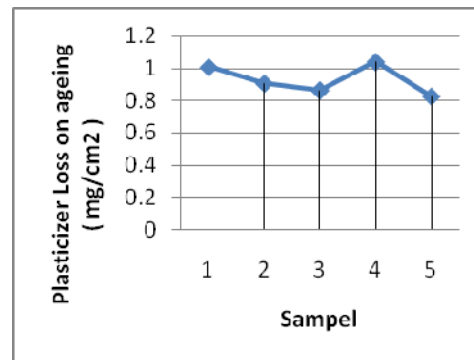
Hasil Pengujian Penyusutan Berat (*Plasticizer Loss On Ageing*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penyusutan berat bahan isolasi khususnya PVC karena proses penuaan (*Loss of mass*) setelah dproses dengan penuaan 7 x 24 jam. Pengujian ini sesuai dengan IEC 60811-3-2 : 1985.

- Material : PVC Sheathing Grade
- Type : YM/1 or STI RD (Red)
- Room Temperature : 20⁰ C
- Plasticizer Loss On Ageing : 100⁰ C

$$\begin{aligned}
 A & : 12,56 + 180 \times t \\
 Q & : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}} \\
 1. \quad A & : 12,56 + 180 \times t \\
 & : 12,56 + 180 \times 0,0135 \\
 & : 14,99 \text{ cm}^2 \\
 Q & : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : \frac{15,1}{14,99} \\
 & : 1,0073 \text{ mg/cm}^2 \\
 2. \quad A & : 12,56 + 180 \times t \\
 & : 12,56 + 180 \times 0,0142 \\
 & : 15,12 \text{ cm}^2 \\
 Q & : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}} \\
 & : \frac{13,7}{15,12} \\
 & : 0,9061 \text{ mg/cm}^2 \\
 3. \quad A & : 12,56 + 180 \times t \\
 & : 12,56 + 180 \times 0,0133 \\
 & : 14,95 \text{ cm}^2 \\
 Q & : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}} \\
 & : \frac{12,9}{14,95} \\
 & : 0,8629 \text{ mg/cm}^2 \\
 4. \quad A & : 12,56 + 180 \times t \\
 & : 12,56 + 180 \times 0,0146 \\
 & : 15,19 \text{ cm}^2 \\
 Q & : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}} \\
 & : \frac{15,8}{15,19} \\
 & : 1,0401 \text{ mg/cm}^2 \\
 5. \quad A & : 12,56 + 180 \times t \\
 & : 12,56 + 180 \times 0,0137 \\
 & : 15,03 \text{ cm}^2 \\
 Q & : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}} \\
 & : \frac{12,4}{15,03} \\
 & : 0,8250 \text{ mg/cm}^2
 \end{aligned}$$



Grafik Pengujian Penyusutan Berat (*Plasticizer Loss On Ageing*)

Tabel 2 Pengujian Penyusutan Berat (*Plasticizer Loss On Ageing*)

No	Thickn ess (mm)	Weight		Differen ce (mg)	Area	Plasticizer Loss on Ageing (mg/cm ²)
		Before Agein g (gr)	After Agein g (gr)			
1	1,35	1,3079	1,2928	15,1	14,99	1,0073
2	1,42	1,3560	1,3423	13,7	15,12	0,9061
3	1,33	1,2937	1,2808	12,9	14,95	0,8629
4	1,46	1,3896	1,3738	15,8	15,19	1,0401
5	1,37	1,3119	1,2295	12,4	15,03	0,8250
						0,9283

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya penyusutan berat bahan terhadap suhu konstan dengan membandingkan berat sebelum penuaan dan setelah penuaan. Suhu sangat berpengaruh terhadap berubahnya struktur ikatan atom dalam bahan tersebut. Sehingga akan mempercepat penuaan pada bahan.

III. KESIMPULAN

Dari uraian dan penjelasan ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Bahan isolasi digunakan untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif, sifat-sifat penting yang dimiliki oleh bahan isolasi seperti : sifat kelistrikan, sifat mekanis, sifat thermal, dan ketahanan terhadap bahan kimia.
2. Kegagalan pada bahan isolasi kabel sebagian besar disebabkan oleh pengaruh suhu yang tinggi. Pengaruh suhu akan mempercepat berkurangnya kekuatan dielektris bahan yang dapat menyebabkan terjadinya Breakdown Voltage dan arus bocor. Sehingga dilakukan pengujian thermal terhadap bahan isolasi khususnya inner insulation.
3. Selain suhu, air dan bahan-bahan kimia lainnya juga berperan aktif terjadinya kegagalan pada bahan isolasi. Dengan melakukan pengujian daya tolak air. Maka dapat diketahui daya tahan bahan isolasi terhadap besarnya penyerapan air. Hal ini dikarenakan isolasi yang diuji adalah bahan isolasi untuk kabel tanah.
4. Tujuan dari beberapa pengujian yang telah dilakukan adalah untuk mengetahui tingkat

ketahanan sifat bahan terhadap berbagai perlakuan. Antara lain sifat mekanis, sifat termal, sifat hidrofobik.

5. Khusus bahan XLPE. bahan ini dapat dikatakan baik bila saat dikenakan suhu panas maka pemulurannya tidak melebihi batas yang ditentukan dan pada saat didinginkan maka dapat kembali seperti semula. Hal ini sangat penting dikarenakan bahan XLPE digunakan untuk inner insulation yang dekatnya dengan penghantar. Bila bahan XLPE saat didinginkan tidak kembali seperti semula maka akan ada udara yang masuk diantara celah-celah isolasi dengan penghantar. Sehingga dapat mengakibatkan breakdown voltage, karena tahanan udara lebih kecil dibanding tahanan isolasi, akibatnya udara berubah menjadi penghantar yang akan menembus bahan isolasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Abdul Syakur, Sistem Pengukuran Partial Discharge pada Model Void dalam PVC, UNDIP, Semarang. 2008
- [2]Bonggas, L. Tobing, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Gramedi Pustaka Utama. Jakarta.2003.
- [3]IEC, Assesment of the Risk of Damage due to Lightning, International Standard, CEI IEC 1662 First Edition, 1995.
- [4]IEC. Pengujian Hot set, IEC 60811-2-1:1986
- [5]IEC, Kabel Daya Dengan Insulasi Terekstrusi Dan Kelengkapannya Untuk Voltase Pengenal 1 kV – 30 kV, IEC 60502-1: 2009
- [6]Kabelindo, PT, Pengujian Tegangan Medium Voltage AC/DC. Jakarta
- [7]Kabelindo, PT, Pengujian Tahanan Isolasi Kabel Medium Voltage. Jakarta
- [8]Kabelindo, PT, Pengujian R Penghantar Kabel Medium Voltage. Jakarta
- [9]Munandar A., DR, Teknik Tegangan Tinggi, Ghalia, Indonesia. Jakarta, 1983.
- [10]Schufft, W. Powerful frequency-tuned resonant test systems for after-laying test of 110 kV XLPE cables. 9th ISH Graz, paper 49.86. 1995.
- [11]SPLN, Kabel Berisolasi XLPE dan Berselubung PVC, SPLN 43 – 5. 1986
- [12]SPLN, Pengujian Kabel Listrik, SPLN 39-1.1981
- [13]SPLN, Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strength*) pasal 9 Sub ayat 43, SPLN SPLN 39-1. 1981
- [14]Suwarno, Pengaruh Usia Pakai Terhadap Karakteristik Thermal Isolasi Polyvinyl Chloride (PVC). Tesis. ITB. 2005

Perancangan dan Pembuatan Penetas Telur Berbasis Arduino Duemilanove

Yudhi Gunardi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta

Email: yudhiyg@gmail.com

Abstrak -- Perkembangan teknologi elektronika telah menciptakan suatu kemudahan dalam melakukan pekerjaan terutama yang membutuhkan waktu yang lama sebagai contoh adalah teknologi penetas telur, jika dilaksanakan secara manual maka peternak harus melakukan pemindahan telur secara manual, memantau keadaan suhu yang ditetapkan perjam atau mensetting suhu yang diharapkan dengan melakukan percobaan berkali-kali. Dengan menggunakan alat yang otomatis maka peternak hanya memerlukan waktu sekali saja yaitu meletakkan telur dan meletakkan sensor dalam inkubator telur.

Penelitian ini akan membahas tentang perangkat keras dan perangkat lunak yang meliputi Bagaimana merancang alat kontrol pada inkubator penetas telur yang terbuat secara manual kontrolnya menjadi kontrol otomatis yang terdiri dari arduino duemilanove, lampu sebagai sumber panas, sensor panas, layar LCD sebagai pembaca sensor suhu aktual dan kipas sebagai penstabil suhu ruangan.

Dari hasil pengujian alat dapat berfungsi dengan baik yaitu suhu dibuat set point 38°C , jika melebihi panasnya $> 38^{\circ}\text{C}$ maka kipas akan hidup untuk menstabilkan suhu menjadi 38°C .

Kata Kunci : Penetas telur, arduino.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika telah menciptakan suatu kemudahan dalam melakukan pekerjaan terutama yang membutuhkan waktu yang lama sebagai contoh adalah teknologi penetas telur, jika dilaksanakan secara manual maka peternak harus melakukan pemindahan telur secara manual, memantau keadaan suhu yang ditetapkan perjam atau mensetting suhu yang diharapkan dengan melakukan percobaan berkali-kali. Dengan menggunakan alat yang otomatis maka peternak hanya memerlukan waktu sekali saja yaitu meletakkan telur dan meletakkan sensor dalam inkubator telur.

Berangkat dari hal tersebut penulis ingin membuat inkubator telur dengan pengaturan suhu dengan menggunakan arduino duemilanove sebagai pusat kendalinya, sensor LM35 sebagai sensor suhu, LCD sebagai penampilnya, Lampu sebagai pemanas dan Kipas sebagai penstabil suhu jika suhu yang

diinginkan berubah

Harapannya, hasil penelitian ini akan membantu proses pengeraman telur yang dikerjakan secara otomatis bagi peternak ayam, yang dapat dipakai dari inkubator yang kecil sampai dengan inkubator yang besar.

II. DASAR TEORI

Suhu Udara di Dalam Penetasan

Embrio akan berkembang bila suhu udara di sekitar telur minimal 21°C namun perkembangan ini sangat lambat. Di bawah suhu udara ini praktis embrio tidak mengalami perkembangan, sehingga penyimpanan telur tetas sebaiknya sama atau dibawah suhu tersebut. Penyimpanan telur tetas dibawah titik beku tidak dianjurkan karena sewaktu telur dikeluarkan dari tempat penyimpanan akan terjadi pengembunan dan permukaan telur berair, sehingga kuman pada kulit telur akan masuk kedalam telur yang menyebabkan pembusukan telur sewaktu ditetaskan, akan sangat menurunkan daya tetas.

Suhu yang baik untuk pertumbuhan embrio adalah berkisar diantara $35 - 37^{\circ}\text{C}$. Untuk mencapai suhu tersebut sehingga embrio dapat berkembang dengan baik. Untuk menjamin embrio mendapatkan suhu yang ideal untuk perkembangan yang normal. Kisaran suhu ini tergantung dari jenis penetasan yang didasarkan atas pengalaman dalam pembuatan penetasan untuk dapat mencapai daya tetas yang baik.

Bila suhu penetasan lebih tinggi dari suhu yang dianjurkan maka akan dicapai keadaan:

Keadaan ini akan memacu pertumbuhan embrio lebih cepat sehingga sering terjadi perlengketan embrio terutama pembuluh darah dengan selaput dalam kulit telur yang menyebabkan kematian embrio. Walaupun menetas, anak ayam akan menetas lebih cepat dari jadwal menetas (anak ayam menetas < 21 hari atau anak itik menetas < 28 hari). Kematian embrio cukup tinggi terutama menjelang menetas.

Saat menetas kantong kuning telur belum masuk dengan sempurna kedalam rongga perut anak unggas saat menetas. Keadaan ini akan menyebabkan kematian anak unggas beberapa hari setelah menetas.

Anak unggas yang menetas akan lebih ringan dari yang normal, ini menyebabkan

menurunnya daya hidup atau pertumbuhan rendah. Secara keseluruhan akan menurunkan daya tetas.

Bila suhu penetasan lebih rendah dari yang dianjurkan maka akan dicapai keadaan :

- Pertumbuhan embrio akan lebih lambat, anak unggas akan sangat basah dan kelihatan agak besar saat menetas akibat terjadinya gangguan penguapan air. Kalaupun anak unggas menetas, daya hidupnya sangat rendah.
- Anak unggas sering mengalami kesulitan saat menetas, bahkan sering terjadi kematian akibat kemasukan air pada hidungnya.
- Anak unggas akan menetas melebihi jadwalnya (> 21 hari bagi anak ayam atau > 28 hari bagi anak itik).
- Secara keseluruhan sangat menurunkan daya tetas (hatchability).

Kelembaban Relatif Penetasan

Kelembaban relatif di dalam penetasan adalah sangat penting untuk menjaga kandungan air di dalam telur, yaitu untuk mencegah air di dalam telur jangan terlalu banyak menguap atau keluar dari telur melalui pori - pori telur. Penguapan air dari telur sangat erat dengan suhu ruang di dalam penetasan. Semakin tinggi suhu di dalam ruang penetasan semakin banyak air di dalam telur yang menguap dan sebaliknya. Semakin tinggi kelembaban di dalam telur semakin rendah penguapan air di dalam telur.

Hasil terbaik Kelembaban dalam penetasan adalah berkisar antara 60% untuk menetas telur ayam atau 5 - 10% lebih tinggi untuk menetas telur itik atau saat akan menetas kelembaban dinaikkan menjadi 70% untuk menetas telur itik.

Kelembaban dapat diukur dengan hygrometer atau dengan menggunakan thermometer basah (wet-bulb temperature) yaitu pada kisaran suhu 75 - 95% akan menunjukkan kelembaban diantara 33 - 70% untuk daerah dingin.

Pengaruh kelembaban terlalu tinggi

Akan mempersulit penguapan air dari dalam telur, dan mengganggu pengeluaran CO_2 dari dalam telur sehingga kandungan CO_2 yang banyak di dalam telur dapat membunuh embrio. Kulit telur akan lembab sehingga mempermudah tumbuh jamur ataupun kuman salmonella yang masuk kedalam telur dan membunuh embrio. Anak ayam akan menjadi gemuk namun tak sehat, ataupun anak ayam akan mengalami kesulitan di dalam mematak kulit telur dan bahkan air masuk kedalam hidung dan dapat mematikan anak ayam. Secara keseluruhan akan menurunkan daya tetas.

Pengaruh kelembaban terlalu rendah

Air terlalu banyak menguap dari dalam telur sehingga sering terjadi perlengketan embrio atau pembuluh darah embrio lengket dengan selaput kulit telur yang dapat menyebabkan kematian anak

unggas. Embrio mengalami kesulitan berotasi dalam mencari posisi memecah kulit telur.

Anak unggas yang menetas akan kelihatan kurus sehingga akan mengalami gangguan pertumbuhan. Sangat menurunkan daya tetas.

Kesegaran Udara

Dalam perkembangan embrio akan banyak memerlukan oksigen (O_2) dan memerlukan gas CO_2 . Konsentrasi ke-2 gas ini akan sangat mempengaruhi perkembangan embrio ataupun daya tetas. Kandungan O_2 di udara yang baik adalah sekitar 21% yang baik bagi perkembangan embrio di dalam penetasan.

Penurunan O_2 sebanyak 1 % akan menurunkan daya tetas sebanyak 5%. Kelebihan O_2 didalam udara juga akan menurunkan daya tetas, akan tetapi embrio akan lebih toleran kelebihan O_2 dari pada kekurangan.

Dengan membuat ventilasi ataupun menggunakan kipas angin, kesegaran udara di dalam penetasan dapat dijamin. Penetasan yang dilakukan di daerah pegunungan yang kandungan oksigennya rendah sering mengalami kesulitan didalam mendapatkan O_2 yang cukup. Kandungan CO_2 dalam penetasan jangan lebih dari 0,5%. Kandungan CO_2 sampai 2% akan sangat menurunkan daya tetas dan bila mencapai 5% akan menyebabkan anak ayam tidak menetas. Untuk menghindarkan terjadinya tersebut (CO_2 lebih dari 0,5%), hendaknya penetasan jauh dari jalan raya atau jauh dari jalan yang ramai kendaraan bermotor.

Arduino

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik **open source** yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (integrated circuit) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai 'otak' yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.

Arduino menggunakan chip AVR ATmega 168/328 yang memiliki fasilitas PWM, komunikasi serial, ADC, timer, interrupt, SPI dan I2C. Sehingga Arduino bisa digabungkan bersama modul atau alat lain dengan protokol yang berbeda-beda. Ukuran board Arduino cukup kecil, mudah di bawah kemana-mana bersama laptop atau dimasukkan ke dalam saku. Walaupun bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C/C++, tetapi dengan penambahan library dan fungsi-fungsi standar membuat pemrograman Arduino lebih mudah dipelajari dan lebih manusiawi.



Gambar 1. Bentuk fisik Arduino duemilanove

Tersedia library yang sangat banyak untuk menghubungkan Arduino dengan macam-macam sensor, aktuator maupun modul komunikasi. Misalnya library untuk mouse, keyboard, servo, GPS, dsb. Berhubung Arduino adalah open source, maka library-library ini juga open source dan dapat di download gratis di website Arduino. Dengan bahasa yang lebih mudah dan adanya library dasar yang lengkap, maka mengembangkan aplikasi elektronik relatif lebih mudah. Contoh, kalau kita ingin membuat sensor suhu. Cukup membeli sebuah IC sensor suhu (misalnya LM35) dan menyambungkan ke Arduino. Kalau suhu tersebut ingin ditampilkan pada LCD, tinggal membeli sebuah LCD dan menambahkan library LCD pada program yang sama, dan seterusnya.

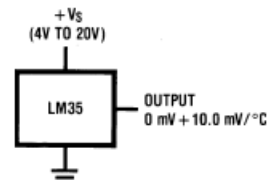
Arduino tidak membuat bahasa pemrograman khusus, melainkan menggunakan Bahasa C yang sudah ada, lebih tepatnya adalah Bahasa C yang menggunakan compiler AVR-GCC (AVR GNU C-Compiler). Bahasa C adalah bahasa yang sangat lazim dipakai sejak awal-awal computer diciptakan dan sangat berperan dalam perkembangan software.

Baterai / Adaptor

Soket baterai atau adaptor digunakan untuk menyuplai Arduino dengan tegangan dari baterai/adaptor 9V pada saat Arduino sedang tidak disambungkan ke komputer. Kalau Arduino sedang disambungkan ke komputer melalui USB, Arduino mendapatkan suplai tegangan dari USB, jadi tidak perlu memasang baterai/adaptor saat memprogram Arduino.

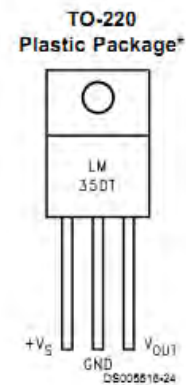
Sensor Suhu IC LM35

Untuk mendeteksi suhu digunakan sensor suhu LM35 yang dapat dikalibrasi langsung, LM35 ini difungsikan sebagai basic temperature sensor. Sensor suhu adalah suatu alat untuk mendeteksi atau mengukur suhu pada suatu ruangan atau system tertentu yang kemudian diubah keluarannya menjadi besaran listrik, misalnya LM35.



Gambar 2. LM 35 Sebagai Sensor Suhu

LM35 merupakan sensor temperature yang paling banyak digunakan untuk praktek, karena selain harganya cukup murah juga linearitasnya lumayan bagus. LM35 tidak membutuhkan kalibrasi eksternal yang menyediakan akurasi $\pm 1/4$ °C temperature ruangan $\pm 3/4$ °C pada kisaran -55 °C sampai $+150$ °C. Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mengubah besar fisis yang berupa suhu menjadi besaran elektrik tegangan. Sensor ini memiliki parameter bahwa setiap kenaikan 1 °C tegangan keluarannya naik sebesar 10mV dengan batas maksimal keluaran sensor adalah 1,5V pada suhu 150 °C

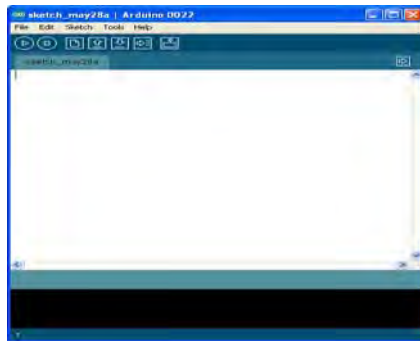


Gambar 3. Bentuk fisik LM35

LM35 memiliki impedansi keluaran yang rendah, keluaran yang linier, dan sifat ketepatan dalam pengujian membuat interface untuk membaca atau mengontrol sirkuit lebih mudah. Pin V+ dari LM35 dihubungkan ke catu daya, pin GND dihubungkan ke Ground dan pin Vout – yang menghasilkan tegangan analog hasil penginderaan suhu dihubungkan ke Vin (+) dan ADC 0840.

Aplikasi Program Arduino IDE

Ketika kita membuka program Arduino IDE (*Integrated Development Enviroment*), akan terlihat serupa dengan tampilan Gambar 4 dibawah ini. Jika kita menggunakan Windows atau Linux, akan terlihat perbedaan, tetapi pada dasarnya IDE (*Integrated Development Enviroment*) akan sama tidak peduli Operasi Sistemnya apa yang digunakan.



Gambar 4. Tampilan program IDE



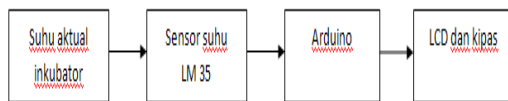
Gambar 5. Tampilan Tool Bar program

Untuk memulai Serial Monitor, tekan tombol Serial Monitor dan untuk menghentikan tekan tombol Stop. Pada Linux, Arduino akan me-reset sendiri ketika meng-klik tombol Serial Monitor. Untuk mengoprasikan atau menggabungkan Arduino pada PC (Personal Computer), kita dapat menggunakan program – program seperti Processing, Flash, MaxMSP, Visual Basic, dan lain – lain.

III. PERANCANGAN SISTEM

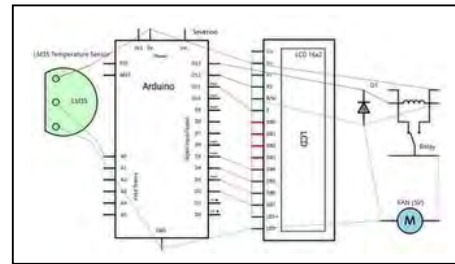
Diagram Blok Sistem

Secara umum inkubator telur terdiri dari blok rangkaian utama. Blok diagram dari rangkaian dapat dilihat dari gambar berikut ini :



Gambar 6. Blok diagram rangkaian penetas telur otomatis

Dari diagram blok di atas menggambarkan bahwa sistem dirancang akan mengukur suhu pada suatu ruangan dengan menggunakan sensor LM35 Ketika sensor telah mendapatkan suhu yaitu dengan menerjemahkan sifat fisis suhu menjadi sinyal listrik yaitu perubahan tegangan output sensor, maka kemudian output ini dibaca oleh arduino dan kemudian data dikalkulasikan dengan rumusan tertentu sehingga pada tahap berikutnya sistem dapat menentukan apakah suhu inkubator sudah sesuai atau belum. Jika suhu terlalu panas maka kipas akan diaktifkan tetapi apabila suhu masih dibawah nilai yang ditetapkan maka lampu akan dihidupkan. Nilai suhu yang sedang di pantau oleh sensor akan ditampilkan ke display LCD.



Gambar 7. Rangkaian penetas telur otomatis

Rangkaian Power Supply

Rangkaian power supply berasal dari rangkaian utama arduino berfungsi mensupplay arus dan tegangan ke seluruh rangkaian yang ada. Rangkaian power supply ini, yaitu 5 digunakan untuk mensupplay tegangan ke seluruh rangkaian atau dengan kata lain menghidupkan seluruh rangkaian.

Rangkaian Driver Kipas

Untuk mengendalikan kipas tidak dapat langsung dikendalikan arduino tetapi terlebih dahulu harus melalui driver. Driver ini pengendali dengan menggunakan relay, sehingga kipas yang dikendalikan dapat menggunakan arus AC atau DC tanpa perlu khawatir akan merusak arduino.

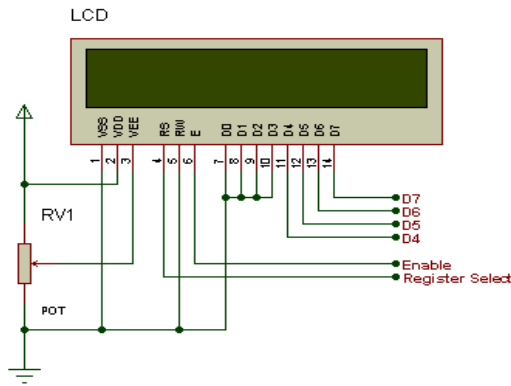
Keluaran dari mikrokontroler akan masuk ke basis transistor NPN C945, sehingga jika keluaran arduino high maka transistor akan satu rasi, sehingga arus akan mengalir dari Vcc masuk ke kolektor dan diteruskan ke emitter. Ketika relay bekerja maka tegangan 12V DC akan disalurkan dan kipas akan menyala.

Perancangan Sensor Suhu LM35

Sensor LM35 memiliki tegangan kerja 5 Volt namun outputnya hanya antara 0,01V sampai 1,00V mengingat LM35 yang digunakan adalah dari seri DZ sehingga range pengukuran hanya berkisar antara 0-100C dengan perubahan sebesar 10mV per 1C.

Perancangan Layar LCD

- Sambungkan LCD RS pin ke pin 12 Arduino
 - Sambungkan LCD enable pin ke pin 11 Arduino
 - Sambungkan LCD pins D4 s.d D7 ke pin 5 s.d 2 Arduino
 - Sambungkan LCD +5 dan ground ke pin +5V dan ground Arduino
 - Sambungkan LCD Vo pin ke potensiometer. Guna potensiometer ini adalah untuk mengatur kontras LCD
 - Sambungkan IC LM35 bagian output (Kaki tengah) ke pin A0 (Analog input pin 0)
- Pin 13 arduino sebagai output, jika temp >=37 derajat Pin 13 logik 1



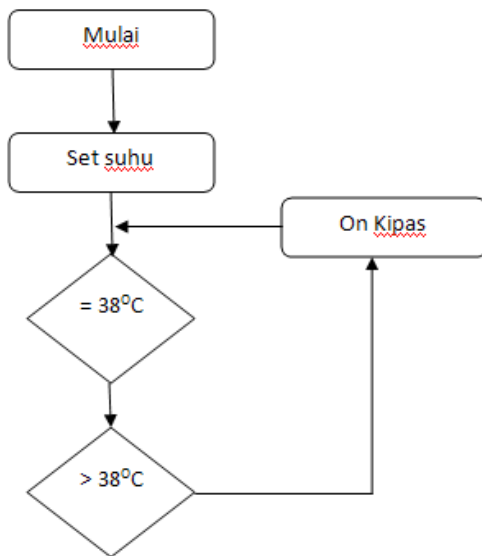
Gambar 8. Rangkaian Layar LCD

Lampu Pijar

Pada Inkubator ini digunakan lampu pijar sebagai pencahayaan sekaligus sebagai pemanas di dalam inkubator. Jika suhu pada inkubator terlalu panas maka kipas akan diaktifkan tetapi apabila suhu masih dibawah nilai yang ditetapkan maka lampu akan dihidupkan. Inkubator telur otomatis ini menggunakan 2 buah lampu yang berfungsi sebagai pemanas, sehingga Inkubator akan bekerja secara otomatis.

Flowchart

Gambar dibawah menunjukkan saat suhu lebih dari 37°C maka kipas akan hidup untuk menstabilkan sampai didapat suhu yang diharapkan yaitu 37°C.



Gambar 9. Flowchart

Box Inkubator Penetas telur.

Box dibuat dengan ukuran 30 x 30 Cm dengan meletakkan telur ditengah-tengah box



Gambar 10. Gambar box penetas telur otomatis

List Program

List program keseluruhan system adalah sebagai berikut:

```

#include "LiquidCrystal.h";
// Inisialisasi LCD dan menentukan pin yang dipakai
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
// deklarasi variabel
float tempC;
int tempPin = 0;
void setup() {
  pinMode(13,OUTPUT);
  // Serial.begin(9600);
  // Set jumlah kolom dan baris LCD
  lcd.begin(16, 2);
  // Tulis Temperatur di LCD
  lcd.print("Temperatur:");
}
void loop() {
  // Set cursor ke kolom 0 dan baris 1
  // Catatan: Baris dan kolom diawali dengan 0
  lcd.setCursor(0, 1);
  // baca data dari sensor
  tempC = analogRead(tempPin);
  // konversi analog ke suhu
  tempC = (5.0 * tempC * 100.0)/1024.0;
  // tampilkan ke LCD
  lcd.print(tempC);
  // Serial.println(tempC);
  if(tempC>=30) //jika temperatur >=37 derajat
    digitalWrite(13,HIGH);
  else digitalWrite(13,LOW);
  delay(2000); // berhenti 2 detik untuk menunggu
  perubahan temperatur
}
  
```

IV. PENGUJIAN RANGKAIAN

Dalam pengujian rangkaian ini akan diungkapkan dan menguraikan mengenai persiapan komponen komponen dan peralatan yang dipergunakan serta langkah- langkah praktek, kemudian menyiapkan data hasil pengukuran yang didapat dari hasil pengukuran. Pelaksanaan pendataan dengan menggunakan sebuah rangkaian dan dilakukan secara berulang-ulang supaya dihasilkan data yang benar-benar tepat. Sebelum melakukan pendataan terlebih dahulu mempelajari alat tersebut kemudian menentukan titik pengukuran. Adapun hasil pendataan ini akan dijadikan perbandingan dengan teori yang menunjang.

Persiapan perangkat keras dan perangkat lunak

Sebelum membuat rangkaian yang akan digunakan sebagai pendataan bahan ilmiah, terlebih dahulu mempersiapkan alat yang diperlukan sebagai penunjang pada saat melakukan pengujian pada rangkaian. Adapun alat dan bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Satu buah sensor suhu LM35.
2. Kabel USB (Universal Serial Bus).
3. Arduino duemilanove.
4. Kipas.

Pengujian setiap blok

Sebelum melaksanakan pendataan pada rangkaian terlebih dahulu memeriksa hubungan hubungan pada rangkaian. Langkah selanjutnya adalah menentukan test point untuk pengujian pada rangkaian yang akan didata. Adapun proses pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Pengujian sensor LM 35

Sensor suhu LM35 diuji dengan cara memberikan catu 5V dan memberikan pemanasan secara tidak langsung, sedangkan tegangan keluaran langsung diamati dengan voltmeter. Dari pengujian didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor LM 35

Suhu	Tegangan Keluaran	Suhu inkubator	Kipas
35 °C	0.35	35 °C	Mati
36 °C	0.40	36 °C	Mati
37 °C	0.45	37 °C	Mati
38 °C	0.51	38 °C	Nyala
39 °C	0.55	39 °C	Nyala

Dari hasil pengujian diketahui tegangan keluaran sensor naik sebesar 50mV untuk setiap 5°C atau 10mV/°C, maka sensor telah bekerja dengan baik dan kipas dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pengamatan dan pengujian alat pengontrol suhu menggunakan LM35 dan Arduino untuk kontrol inkubator mesin penetas telur, maka dapat diambil kesimpulan bahwa sistem dan setiap rangkaian bekerja dengan baik sesuai dengan yang dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Jasa, Lie Pemanfaatan mikontroler ATMEGA163 pada prototipe mesin penetas telur ayam *Teknologi Elektro Vol. 5 No. 1 Januari – Juni 2006*.
- Ferry, B, Paimin, Membuat dan mengelola mesintetas, Penebar Swadaya. Jakarta 2003.
- Nuryanthi, Tutik, Ir, M.P, Dkk. Menetaskan Telor Penebar Swadaya, Jakarta, 2000.
- Soedjarwo, Edwin. Membuat Mesin Tetas Sederhana. Penebar Swadaya, Jakarta 1995.

Analisa Problem Difraksi Pada Celah dengan Regularisasi TSVD dan Tikhonov

Mudrik Alaydrus
 Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana
 JL. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650
 E-mail : mudrikalaydrus@yahoo.com

Abstrak-- Dalam problem difraksi serikng diketahui gelombang difraksi dan dicari gelombang sumber dari difraksi ini. Jika data gelombang difraksi yang diukur mengandung kesalahan, misalnya diakibatkan oleh noise, maka solusi problem invers dengan inverse matriks akan memberikan hasil yang secara fisika tidak memiliki makna. Problem yang seperti ini memiliki masalah dengan stabilitasnya, sehingga perlu dilakukan regularisasi. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan mengamati nilai singular dari matriks sistim dengan Singular Value Decomposition. Metoda regularisasi Truncated Singular Value Decomposition memotong nilai singular yang lebih kecil dari noise sedangkan regularisasi Tikhonov menggunakan sebuah fungsi filter, yang melakukan modifikasi pada factor pembeban setiap nilai singular. Hasil pengamatan menunjukkan model bisa direkonstruksi dengan cukup baik, tetapi besaran amplitudonya mengecil cukup signifikan.

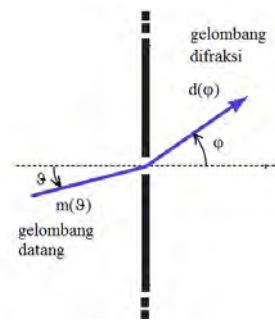
Kata Kunci : difraksi gelombang, problem invers, regularisasi Tikhonov, SVD, TSVD

I. PENDAHULUAN

Problem difraksi memainkan peranan penting dalam pelbagai aplikasi teknik dari disiplin ilmu fisika. Gelombang elektromagnetika (termasuk di dalamnya cahaya) dan gelombang suara, jika berada di ruang yang homogen, akan merambat sepanjang garis lurus. Jika di ruang tersebut terdapat gangguan, misalnya terdapat struktur yang memiliki karakteristik material yang berbeda, maka akan terjadi difraksi atau penghamburan gelombang. Di dalam fisika dikenal konsep integral lipatan (convolution integral), dengan integrasi ini bisa dihitung gelombang difraksi, jika sumber difraksi (misalnya arus listrik) dikenal. Operator atau kernel integrasi ini, yang kerap disebut sebagai fungsi Green, memainkan peranan penting dalam proses perhitungan itu sendiri. Dengan proses integrasi ini, ada tiga hal yang memainkan peranan, yang pertama lingkungan terjadinya difraksi, dinyatakan oleh operator atau sistim, yang kedua input, berupa sumber terjadinya difraksi dan yang ketiga adalah besaran gelombang difraksi itu sendiri.

II. PROBLEM DIFRAKSI CAHAYA PADA CELAH

Formulasi masalah yang dibahas di penelitian ini adalah sebuah gelombang elektromagnetika $m(\theta)$ yang datang membentuk sudut θ terhadap bidang normal. Gelombang ini mengenai bidang yang opaque (misalnya metal) dengan sebuah celah dengan lebar a . Di ruang sisi sebelah kanan (gambar 1) akan terbentuk gelombang difraksi $d(\phi)$ [1].



Gambar 1. Formulasi masalah

Permasalahan ini bisa diberikan dengan hubungan integrasi berikut ini

$$d(\phi) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} G(\vartheta, \phi) \cdot m(\vartheta) d\vartheta \tag{1}$$

dengan

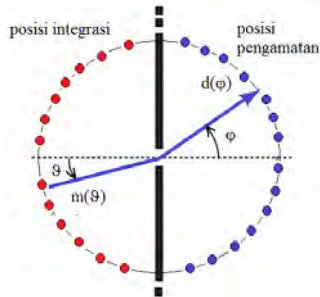
$$G(\vartheta, \phi) = (\cos \vartheta + \cos \phi)^2 \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} (\sin \vartheta + \sin \phi)\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} (\sin \vartheta + \sin \phi)} \right]^2 \tag{2}$$

Pada problem maju/langsung (forward atau direct problem) diberikan nilai dari gelombang datang $m(\vartheta)$, dengan integrasi yang diberikan di persamaan (1) dan kernel di persamaan (2). Perhitungan integrasi ini pada realisasinya dilakukan dengan bantuan komputer, yaitu algoritma integrasi numerik, yang bekerja secara diskret. Gambar 2 menunjukkan posisi diskret dari pengamatan

$$\phi_i = -\frac{\pi}{2} + \left(i - \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Dan titik integrasi

$$g_j = \frac{\pi}{2} + (j - \frac{1}{2}) \frac{\pi}{n}, \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, n$$



Gambar 2. Formulasi masalah ke wilayah diskret

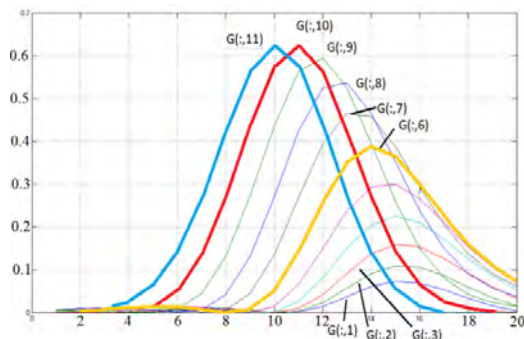
Persamaan integral bisa diubah menjadi sistim persamaan linier,

$$d(\varphi_j) = G(g_1, \varphi_j) m(g_1) \Delta g + \dots + G(g_n, \varphi_j) m(g_n) \Delta g$$

untuk $j=1, 2, \dots, n$. Dengan notasi matriks didapatkan persamaan

$$[d] = [G][m] \tag{3}$$

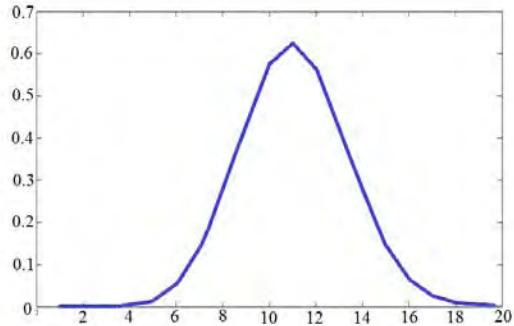
Gambar 3 menunjukkan kolom dari matriks G untuk $n = 20$. Kolom matriks ini bersifat simetris $G(:,11)=G(:,10)$, dan seterusnya. Karakteristik dari matriks G yang simetris ini memberikan hasil yang juga simetris. Kolom dari matriks G ini membentuk ruang kolom (column space) yang kombinasi liniernya merupakan gelombang difraksi d [3].



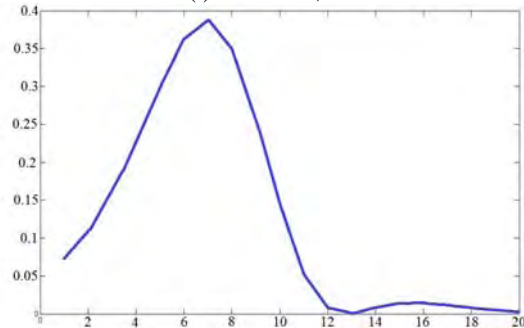
Gambar 3. Ruang kolom (column space) dari matriks G (d adalah kombinasi linier dari ruang kolom ini)

Dengan menggunakan gelombang datang (excitation) berupa impuls (spike) berturut-turut pada $i = 10$ dan 15 , dihasilkan data d pada gambar 4 dan 5. Hasil ini bisa diprediksi dari gambar 3. Untuk eksitasi impuls pada $i=10$, maka vektor m , yang merupakan faktor pengali dari kombinasi linier kolom-kolom matriks G, hanya memiliki nilai di $m(10)=1$, yang lainnya bernilai 0, sehingga gelombang difraksi d , memiliki nilai yang sama dengan $G(:,10)$.

Demikian juga untuk $i=15$, karena simetri dari matriks G, maka d untuk eksitasi ini, sama dengan $G(:,6)$.



Gambar 4. Data d dengan eksitasi $m(i=10)=1$, dan $m(i)=0$ untuk $i \neq 10$.



Gambar 5. Data d dengan eksitasi $m(i=15)=1$, dan $m(i)=0$ untuk $i \neq 15$.

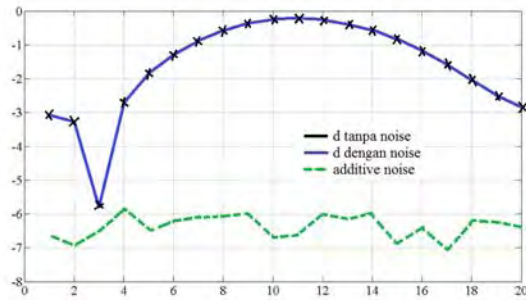
III. PROBLEM INVERSI DAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)

Pada prakteknya sering kali ditemukan, justru gelombang difraksinya yang dikenal (misalnya melalui suatu pengukuran), dan m perlu dihitung. Dari persamaan (3), secara teoretis bisa dihitung inversi dari matriks G, sehingga

$$[m] = [G]^{-1}[d] \tag{4}$$

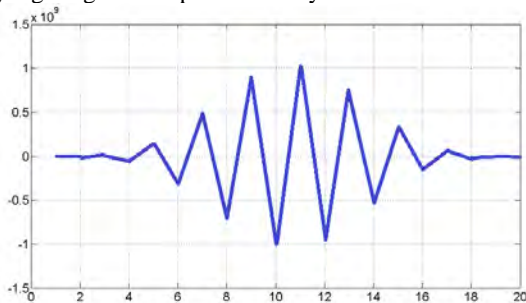
Menggunakan matriks G dan data d yang telah dikenal di gambar 4 dan gambar 5, prosedur di persamaan (4) secara praktis memberikan hasil impuls sinyal m pada $i=10$ dan $i=15$.

Data hasil pengukuran, d , biasanya mengandung noise. Data d yang ada pada gambar 4 dikontaminasikan dengan noise dengan varians 10^{-6} . Gambar 6 menunjukkan data d tanpa noise, yang diberikan secara logaritma untuk lebih menampakkan seberapa kecil noise dibandingkan dengan data. Di gambar 6 ini-pun terlihat, data d dan data $d + \text{noise}$ hampir tak ada bedanya, karena noise yang cukup kecil.



Gambar 6. Data d dengan eksitasi $m(i=10)=1$, dan $m(i)=0$ untuk $i \neq 10$, additive noise dengan varians 10^{-6} , dan $d + noise$.

Solusi permasalahan dengan menggunakan persamaan (4) dikenal juga dengan solusi naif, untuk kasus dengan noise ini, memberikan hasil m seperti yang ditunjukkan di gambar 7. Terlihat fluktuasi data yang sangat cepat dan amplitudo yang sangat tinggi. Data ini secara fisika pasti salah, karena energi yang terkandung sangat besar. Dari definisi Hadamard [2], problem yang seperti ini disebut juga problem ill-posed. Yaitu suatu jenis problem yang tidak stabil, yang karena ada sedikit perubahan pada suatu sinyalnya (dalam hal ini data), maka terjadi perubahan yang sangat besar pada modelnya m .



Gambar 7. Data rekonstruksi m dengan d yang terkena noise dengan varians 10^{-6} .

Untuk mendapatkan informasi mengenai kejadian tersebut di atas, dilakukan pengamatan lebih lengkap terhadap matriks G . Setiap matriks pada dasarnya bisa didekomposisikan dalam nilai singularnya [3],

$$[G] = [U] [S] [V]^T \quad (5)$$

Andaikan matriks G adalah matriks segiempat dengan dimensi $m \times n$. Matrix $[U]$ dan $[V]$ bersifat ortonormal dan kuadratis sedangkan matrix $[S]$ adalah matrix diagonal dengan elemennya merupakan nilai singular yang bernilai positif.

Moore dan Penrose [1] mengusulkan cara untuk menghitung inverse dari matrix G dengan menggunakan SVD, inverse ini merupakan generalisasi inverse, atau disebut juga pseudo-inverse dari G , yaitu

$$[G]^+ = [V][S]^{-1}[U]^T \quad (6)$$

Dengan pseudo-inverse ini bisa dihitung model, atau

$$[m] = [G]^+ [d] \quad (7)$$

Inverse seperti ini dinamakan Moore-Penrose pseudoinverse. Sehingga vector model bisa dihitung menjadi

$$\begin{aligned} [m]^+ &= [G]^+ [d] \\ &= [V] [S]^{-1} [U]^T [d] = \sum_{i=1}^n z_i \cdot V_{.,i} \end{aligned}$$

Dengan

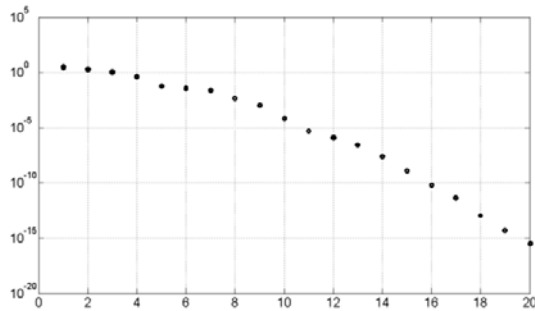
$$\begin{aligned} [z] &= [S]^{-1} [U]^T [d] \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{s_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{s_2} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{s_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{.,1}^T \\ U_{.,2}^T \\ \vdots \\ U_{.,m}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix} \\ [z] &= \begin{bmatrix} \frac{1}{s_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{s_2} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{s_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{.,1}^T \cdot [d] \\ U_{.,2}^T \cdot [d] \\ \vdots \\ U_{.,m}^T \cdot [d] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{U_{.,1}^T \cdot [d]}{s_1} \\ \frac{U_{.,2}^T \cdot [d]}{s_2} \\ \vdots \\ \frac{U_{.,m}^T \cdot [d]}{s_m} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Sehingga

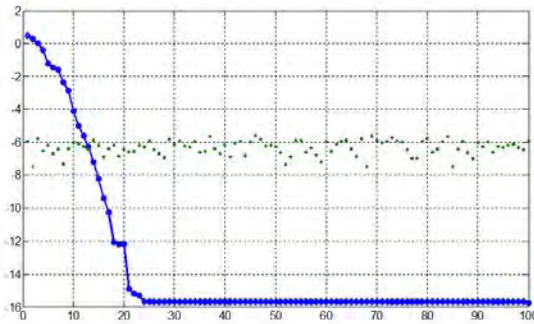
$$[m]^+ = \sum_{i=1}^n \frac{[U]_{.,i}^T [d]}{s_i} [V]_{.,i} \quad (8)$$

Persamaan (8) memberikan informasi yang sangat jelas terhadap fenomena didapatnya nilai m yang sangat besar di gambar 7.

Di persamaan (8) terlihat m berbanding lurus dengan hasil bagi noise dengan nilai singular. Jadi jika nilai singularnya sangat kecil, jauh lebih kecil dari noise, akan didapatkan nilai yang besar. Gambar 8 memberikan nilai singular dari matriks G untuk kasus $n=20$, tampak nilai singular dengan ordo 10^{-15} . Dengan noise bervarians 10^{-6} , didapatkan perbandingan 10^9 , sesuai dengan besaran yang didapatkan di gambar 7.



Gambar 8. Nilai singular dari matriks G untuk n = 20.



Gambar 9. Perbandingan nilai singular dengan noise varians 10^{-6} (atas n=20, bawah n=100)

IV. REGULARISASI TSVD DAN TIKHONOV

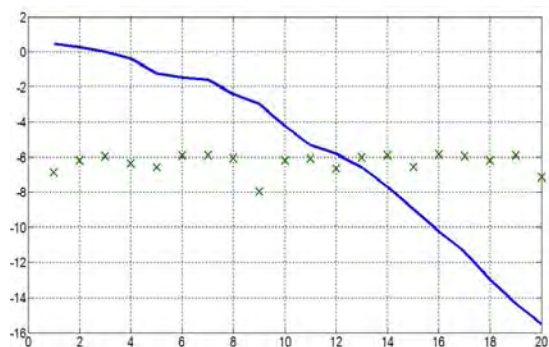
Regularisasi adalah suatu langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang wajar. Langkah ini dijalankan dengan mengubah problem atau struktur dari problem, yang pada akhirnya akan didapatkan suatu kondisi trade-off antara hasil yang masuk akal dan problem yang benar-benar telah diubah.

Jenis regularisasi yang pertama adalah regularisasi berbasis pada pemotongan dekomposisi nilai singular (Truncated Singular Value Decomposition/TSVD). Filosofi dari regularisasi TSVD ini berangkat dari persamaan (8). Bahwa hasil m menjadi tidak wajar, jika noise lebih besar dari nilai singular. Kondisi Picard [4] didefinisikan untuk menjamin didapatkannya hasil model m yang wajar atau tidak, yaitu dengan membandingkan besar nilai singular dengan noise yang ada.

Gambar 9 menunjukkan perbandingan nilai singular dengan noise yang ada. Dari gambar tersebut terlihat, baik untuk diskretisasi yang kasar (coarse) n=10 ataupun yang halus n=100, didapatkan hanya sekitar 11 nilai singular yang pertama, yang lebih besar dari noise bervarians 10^{-6} .

$$[m]^+ = \sum_{i=1}^p \frac{[U]_{:,i}^T [d]}{s_i} [V]_{:,i} \tag{9}$$

p adalah jumlah nilai singular yang diikuti sertakan dalam perhitungan model.



Selain dari itu, di penelitian ini juga dibahas metoda regularisasi lain, yaitu regularisasi Tikhonov. Regularisasi Tikhonov berbasis pada minimalisasi suatu fungsional,

$$\min \left\{ \|G \cdot m - d\|_2^2 + \alpha^2 \|m\|_2^2 \right\}$$

α adalah parameter regularisasi.

Secara matriks bisa diformulasi menjadi

$$\min \left\{ \left\| \begin{bmatrix} G \\ \alpha I \end{bmatrix} m - \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} \right\|_2^2 \right\}$$

Selama α tidak nol, tambahan n buah baris bersifat independen, sehingga matriks yang didapatkan bersifat full-rank, dan bisa disolusikan dengan cara yang biasa, yaitu

$$\begin{aligned} A x &= b \\ A^T A x &= A^T b \end{aligned}$$

Atau dengan $A = \begin{bmatrix} G \\ \alpha I \end{bmatrix}$, menjadi

$$\begin{bmatrix} G^T & \alpha I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G \\ \alpha I \end{bmatrix} m = \begin{bmatrix} G^T & \alpha I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} (G^T G + \alpha^2 I) m &= G^T d \\ (VS^T U^T U S V^T + \alpha^2 I) m &= VS^T U^T d \\ (VS^T S V^T + \alpha^2 I) m &= VS^T U^T d \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan hasil akhir

$$m_\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{s_i^2}{s_i^2 + \alpha^2} \frac{U_{:,i}^T [d]}{s_i} \cdot V_{:,i} \tag{10}$$

Beda antara TSVD dan Regularisasi Tikhonov adalah: Pada TSVD diamati hanya sebagian dari elemen nilai singular tertentu, sedangkan pada regularisasi Tikhonov semua dimasukkan dalam perhitungan, tetapi dengan menggunakan faktor filter

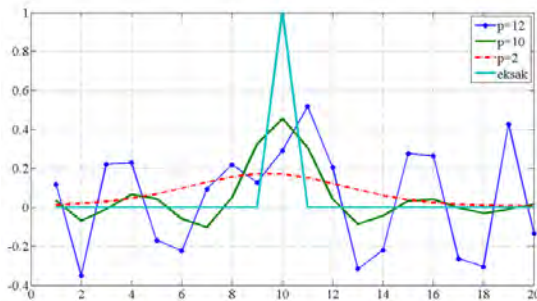
$$f_i = \frac{s_i^2}{s_i^2 + \alpha^2} \tag{11}$$

Yang bernilai 1, jika nilai singular cukup besar, tetapi bernilai nol, jika nilai singular terlalu kecil.

V. HASIL

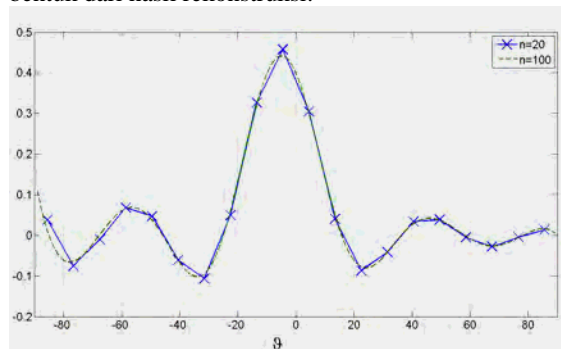
Di bagian ini ditampilkan hasil rekonstruksi dengan regularisasi TSVD. Dengan menggunakan data yang terkontaminasi noise (gambar 6), digunakan persamaan (9) dengan berbagai macam nilai p. Jika seluruh nilai singular diikuti sertakan (p=20), maka didapatkan hasil rekonstruksi model di gambar 7.

Gambar 10 menunjukkan kasus untuk nilai p < 20, jadi tidak semua nilai singular dimasukkan dalam perhitungan. Bahkan untuk p =12 pun, hasil rekonstruksi masih belum menunjukkan hasil yang bisa dipercaya. Dengan nilai p=10 (di gambar 9, nilai singular untuk i=1,2,...10 lebih besar dari noise), baru didapatkan rekonstruksi yang mulai baik, walaupun dengan nilai maksimal yang jauh di bawah 1,0, yaitu hanya sekitar 4,5. Pemilihan nilai p yang lebih kecil lagi, di gambar 10 p=2, memberikan hasil yang menjauh dari nilai eksak yang seharusnya direkonstruksi. Jadi ada suatu nilai optimal tertentu, yang di sini hanya 10 nilai singular.



Gambar 10. Hasil rekonstruksi model untuk berbagai macam nilai p (jumlah nilai singular yang diikuti)

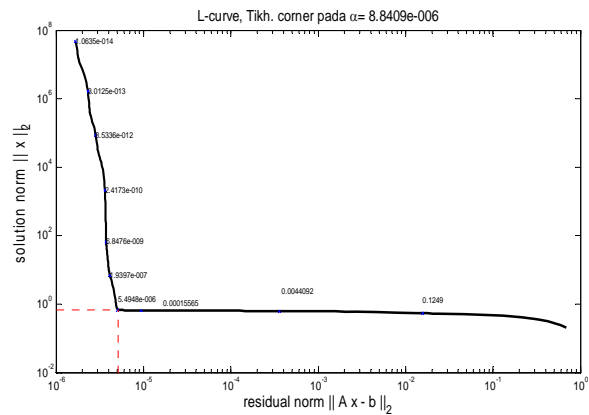
Gambar 11 menunjukkan perbandingan untuk jumlah rekonstruksi yang berbeda, n=20 dan n=100, terlihat diskretisasi yang lebih besar, hanya memperhalus bentuk dari hasil rekonstruksi.



Gambar 11. Perbandingan hasil rekonstruksi untuk diskretisasi n=20 dan n=100.

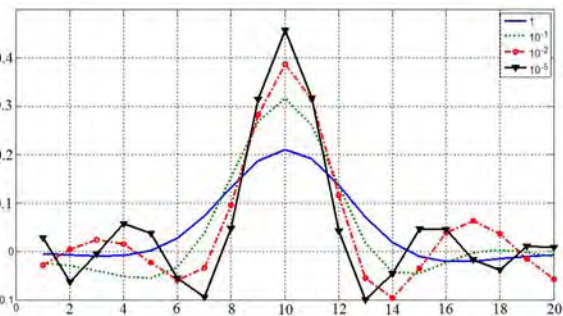
Selanjutnya dilihat hasil dari regularisasi Tikhonov. Langkah pertama adalah penentuan nilai parameter regularisasi α . Hansen di [4] memperkenalkan cara penentuannya dengan menggunakan metoda kurva L (L-curve). Gambar 12 menunjukkan grafik dari modifikasi nilai α , yang berpengaruh terhadap minimalisasi dari norm residu dan norm solusi. Metoda kurva-L mencari nilai ideal dari kedua minimalisasi ini, yang menurut [4] dipilih titik pojok dari kurva L, implementasi metoda ini diberikan dalam bahasa Matlab [5].

Dengan routine `l_curve` didapatkan nilai parameter regularisasi $\alpha=8,8409 \cdot 10^{-6}$.



Gambar 12. Kurva L penentuan parameter regularisasi α .

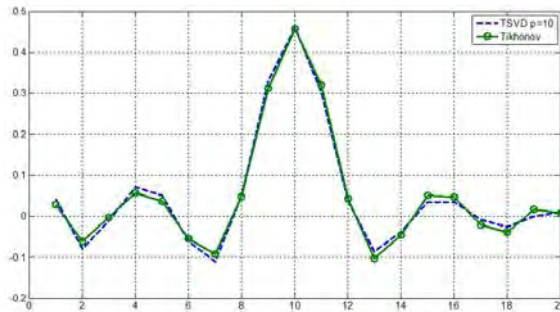
Jika parameter regularisasi α tidak didapat/dihitung, dilakukan beberapa kasus dengan nilai α yang berbeda-beda, gambar 13 menunjukkan efek dari parameter ini terhadap hasil rekonstruksi. Terlihat amplitude yang didapat dari regularisasi ini juga lebih kecil dari amplitude gelombang datang yang sebenarnya.



Gambar 13. Hasil model rekonstruksi regularisasi Tikhonov dengan parameter berbeda-beda.

Dengan parameter regulasi $\alpha=8,8409 \cdot 10^{-6}$, dihitung model rekonstruksi m menggunakan persamaan (10). Gambar 14 menunjukkan perbandingan hasil yang didapatkan dengan TSVD dan regularisasi Tikhonov. Terlepas dari deviasi yang

kecil, secara keseluruhan keduanya memberikan hasil yang sama.



Gambar 14. Perbandingan model rekonstruksi dengan regularisasi TSVD dan Tikhonov.

VI. KESIMPULAN

Regularisasi problem inverse dengan Truncated Singular Value Decomposition (TSVD) dan regularisasi Tikhonov memberikan peluang untuk tetap memberikan hasil rekonstruksi yang relative mendekati model yang diinginkan dan secara fisika memiliki makna.

TSVD mensyaratkan pemotongan jumlah nilai singular, yang harus lebih besar dari noise yang ada. Sedangkan regularisasi Tikhonov mensyaratkan nilai parameter α yang tepat, sehingga hasil eksak akan terdekati dengan lebih baik.

Amplitudo dari model yang direkonstruksi memiliki nilai yang lebih kecil dari model yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA:

- [1] Aster, R.C., Borchers, B., Thurber, C.H., *Parameter Estimation and Inverse Problems*, 2nd ed., Academic Press, Elsevier, Amsterdam, 2012.
- [2] Hansen, P.C., *Discrete Inverse Problems, Insight and Algorithms*, SIAM Press, Philadelphia, 2010.
- [3] Strang G., *Introduction to Linear Algebra*, 4th ed., Wellesley, Cambridge Press, 2009.
- [4] Hansen, P.C., *Rank-Deficient and Discrete Ill-Posed Problems: Numerical Aspects of Linear Inversion*, SIAM, Philadelphia, 1998.
- [5] Hansen, P. C. Hansen. Regularization tools: A MATLAB package for analysis and solution of discrete ill-posed problems. *Numerical Algorithms*, 6(I-II):1–35, 1994. The software is available in: <http://www.imm.dtu.dk/documents/users/pch/Regutools/regutools.html>.

Modification of Cycle Time Setting System from Over Head Conveyors Using the PLC

Syahril Ardi, Widya Pramudya Hartantyo

Manufacturing Production and Process Department

Politeknik Manufaktur Astra, Jl. Gaya Motor Raya No. 8, Sunter II, Jakarta 14330, Indonesia

Email: syahril.ardi@polman.astra.ac.id

Abstract -- Conveyors are used to distribute components or modules of components from one place to another. On the line assembling PT XYZ means used to set the cycle time of the conveyor, by changing the frequency contained in the inverter, while the time is calculated by using a stop watch. This situation resulted in setting it up can only be done by certain people and requires a relatively long time. In addition, the cycle time that is set can not be recorded. With this issue, we modify the system to adjust the conveyor cycle time by using the programmable logic control (PLC). Modifications to the conveyor system by adding a thumbwheel switches are used as input of the PLC, and add modifiers output from the PLC to turn into the form of Resistance. With this modification is changing the value of the desired cycle time becomes easier, faster and cycle time can tell who is being operated.

Keywords: cycle time, programmable logic control, conveyor, inverter

I. INTRODUCTION

PT XYZ is a company engaged in the manufacturing industry, namely the two-wheeled motor vehicle industry. PT XYZ has been producing several products with different types. In order to meet production demands, then the PT XYZ seeks to produce components that are used locally in order to reduce procurement costs. Each component is produced has undergone several processes. The processes contained in PT XYZ covers the process of casting, plastic injection, painting, plating, welding, machining, PPC, assembling and other processes.

In this research, we took the themes contained in section process, especially in the process assembling the frame assy. The Assembling section is a center or the delivery destination of the previous sections to be assembled into a single product. So assembling section is a section that governs all activities of the assembly of components or modules of components into a unified product. The assembly of these components carried on a conveyor with tools that most of the amount of impact.

Cycle time is the interval of time specified by the work area of each station. The size of cycle time is controlled by the conveyor system. Therefore if we

want to know the size of cycle time, we should be able to regulate or control the conveyor [1].

On the line assembling XYZ means used to set the cycle time of the conveyor, by changing the frequency contained in the inverter, while the time is calculated by using a stop watch. These circumstances lead to the setting that uses a specific inverter can only be done by certain people and requires a relatively long time. Addition of the cycle that has been setup time is not recorded. Looking at the context, we make modifications to the system to adjust the conveyor cycle time by using the programmable logic control. Formulation of the problem in this study is how to modify your system setting over head conveyor cycle time using the PLC, and the benefits after using a modified system setting over head conveyor cycle time.

II. METHODOLOGY AND DESIGN

Cycle time conveyor control system serves to control the course of conveyors that have an impact on controlling the cycle time of the conveyor. In the control system of cycle time, the limitation which have made between 15 seconds until 30 seconds. Why be limited 15-30 seconds? These are because:

- Lower limit (15 seconds), because the maximum capacity of a mechanical conveyor system cycle time is 15 seconds.
- The upper limit (30 seconds), the upper limit of 30 seconds due to the conveyor always runs under 30 seconds cycle time.

Conveyor control system cycle time can be used on two conveyors in the conveyor PT XYZ, i.e. over head conveyor line A and over head line B. This is because its structure and mechanics of the two conveyors are electrically the same.

Work flow of the system as a whole is a thumbwheel input device switch, to provide input data to a binary number to the PLC. Then the PLC process data in accordance with the existing program in the PLC then provide output to the system modifier in order to form resistance to change which is then used as input by the inverter. While the inverter serves to control the conveyor motors. Figure 1 shows the workflow of this system.

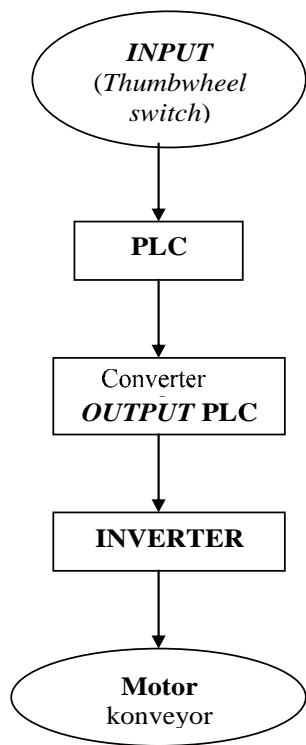


Figure 1. Flowchart of cycle time setting system

From Figure 1 above can be seen that the thumbwheel switches provide input to the PLC. Then the PLC process data in accordance with existing program it. Output from the PLC is used as the input of the converter output as the input of inverter PLC. Output from the PLC to be converted into a form of resistance due to the input of inverter one of them is in the form of resistance (10 kΩ). The inverter is a device that controls the motors on the conveyor path [5].

Thumbwheel Switch

Thumbwheel switches produce output in the form of hexadecimal numbers 0-9. The PLC input device used to have 12 bits, and then use 3 pieces of a single thumbwheel switch thumbwheel switch is has 4 bits. Output from the thumbwheel switches are used as input device by the PLC to the source data. The output of the BCD thumbwheel switches in the form [3, 6].

PLC

The input device of the PLC in binary form, then after getting input from the thumbwheel switches, in order to remain in the form of BCD numbers to be converted back into BCD form. This is because all the programs in the PLC using the BCD form.

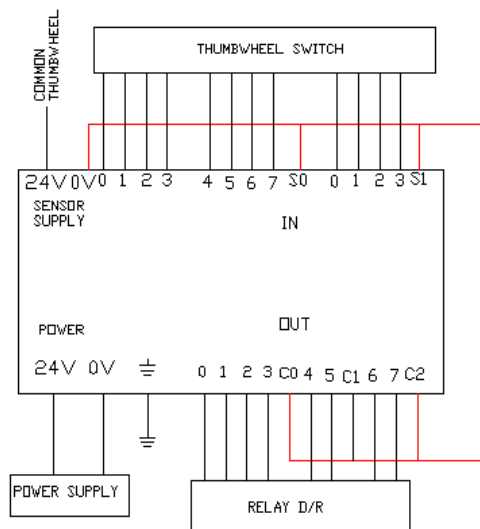


Figure 2. Wiring of PLC Festo FEC-20-DC

Process Flow of PLC Statement List for the Cycle Time Setting Conveyor System

Figure 3 shows flow process of statement list. From this it is known that PLC input device in binary form is converted into BCD form. Then the data or the value derived from the input into the limit or limits specified, if the value provided by the thumbwheel switches into these limits, then the value will go into a mathematical formula derived from the data output device and then into the PLC.

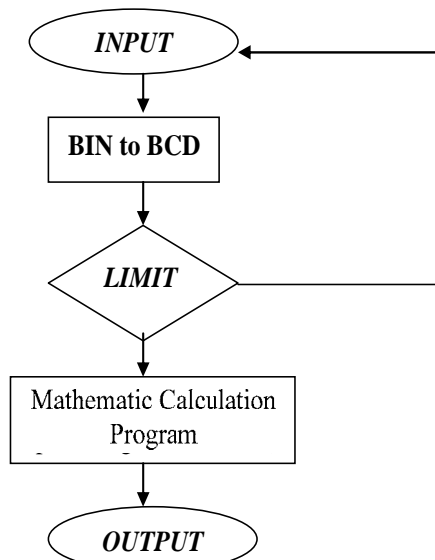


Figure 3. Flow process of statement list

Statement List PLC for Conveyor System Cycle Time Setting

In the PLC can not read the numbers behind the comma, so the data derived from the input multiplied by 10. For example, 15.0 points converted to 150. This is because the ability of PLC maximal reading is from 0 to 65535 (PLC specification). Graph of cycle time and the voltage is divided into 3 different arithmetic formulas [2, 4]. Figure 4 shows the list of program flow statement cycle time on the conveyor system over head.

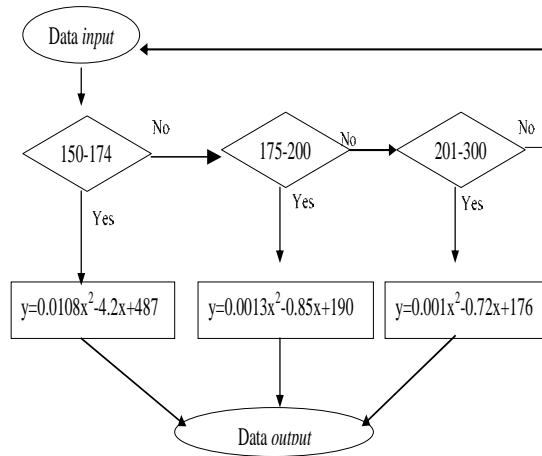


Figure 4. STL (statement list) program flow diagram

From Figure 4 on the STL was then made in the program in the PLC. Here is the STL of cycle time on the conveyor system over head.

III. RESULTS OF TESTING

The results of the manufacture of conveyor systems setting the cycle time in the form of electrical panel, then in testing on over head conveyor line B PT XYZ. Table 1 shows the data the system test results are taken manually using a stopwatch. Error tolerance is given for the trial of this system is ± 1 second.

Table 1. Trial data control system cycle time (CT) over head conveyor line B

CT _{setting} (second)	CT _{actual} (second)				
	I	II	III	Averages	error
15.0	15.06	15.07	15.2	15.11	0.11
16.0	16.15	16.16	16.21	16.17	0.17
17.0	18.28	17.36	17.13	17.59	0.59
18.0	18.18	18.13	18.97	18.43	0.43
19.0	19.44	19.36	19.25	19.35	0.35
20.0	20.3	20.07	20.85	20.41	0.41
21.0	21.33	20.98	21.45	21.25	0.25
22.0	22.25	22.21	22.01	22.16	0.16
23.0	23.22	23.13	23.49	23.28	0.28
24.0	24.52	24.12	24.25	24.30	0.3
25.0	25.13	25.05	25.45	25.21	0.21
26.0	26.37	26.05	26.25	26.22	0.22
27.0	26.99	27.15	27.25	27.13	0.13
28.0	28.35	28.1	28.15	28.20	0.2
29.0	29.13	29.19	29.98	29.43	0.43
30.0	30.02	30.33	30.15	30.17	0.17

The results of trial data shown in the Table 1, it is known that the average yield of three experiments carried out an error or deviation of 0.59 seconds is the largest and smallest deviation of 0.11 seconds. The results are as expected for a given tolerance for error is ± 1 second. This tolerance is given to keep the total distortion produced by a conveyor system and the system cycle time setting.

From the above data cycle time setting can be recorded on a thumbwheel switch. In addition, to changing the cycle time of the cycle time of the cycle time to another is easier and faster. To change the cycle time just change the value indicated on the thumbwheel switches to the limit applies.

IV. CONCLUSIONS

Modification of cycle time setting system from over head conveyors has done by adding thumbwheel switch as input PLC, in which the PLC output is converted in the form of resistance. After testing on over head conveyor, producing the largest average error is 0.59 seconds and 0.11 seconds the smallest error. This error is still within the given error tolerance is ± 1 second.

Modification of cycle time setting system in changing the value of the desired cycle time becomes much easier and faster cycle time and can figure out who is being operated.

REFERENCES

- [1] Vanderspek, G. Peter. (1993). Planning for Factory.
- [2] Pengantar Pengenalan PLC, Mitsubishi Electric Corporation. Tokyo, Jepang
- [3] A Joseph, Edminister. alih bahasa. Pakpahan, Sahat. Rangkaian Listrik. Erlangga, Edisi kedua, Jakarta.
- [4] Festo. Manual GB PLC Festo FEC-20-DC
- [5] Toshiba. Instruction Manual Inverter Tosvert VF-S7 Series
- [6] Sapiie, Soedjana dan Nishino, Osamu. (1976) Pengukur dan alat-alat ukur listrik. PT. Pradnya Paramita Jakarta

Audit dan Solusi Kualitas Daya Pada Industri Logam

Achmad Hasan

Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT

Gedung II BPPT, Lt. 20. Jl. MH. Thamrin No.8, Telp. (021) 3169789. Jakarta 10340

e-mail : a_hasan@webmail.bppt.go.id, hasan_bppt@yahoo.com

Abstrak -- PT. BSM is engaged in manufacturing and service of hot dip with a production capacity of 70-80 metric tons per day. Production of hot dip processes used are: degreasing, water rinsing, acid pickling, prefluxing, ovens, galvanizing, and quenching. Electrical energy supplied by PT. PLN through SUTM networks and 20kV medium voltage box panel. Electrical energy consumption from the year 2009 - 2011 each year has increased about 31%. Seen the power that is connected to the PT. PLN for 197kVA it can be said that the use of power on the PT. BSM is optimum. However, when viewed from the single line diagram there is one fruit that is used in the MDP MCB with a capacity of 400A and the SDP with a capacity of 160A and 400A MCB with MCB loading of 62.54%. MCB is the optimum capacity of 123.2 kVA to the imposition of the MCB to 83%. The magnitude of the load is the maximum efficiency point of a MCB.

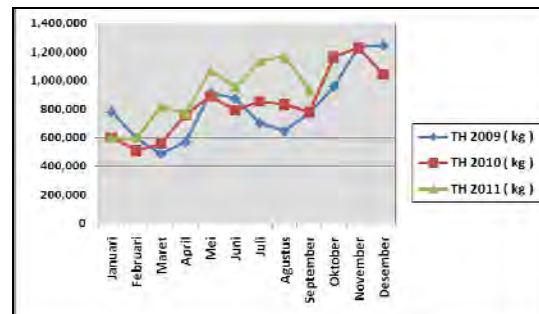
Kata Kunci : Energi, Transformator, Faktor Daya, Penghematan, Kelistrikan

I. PENDAHULUAN

PT. BSM adalah perusahaan jasa hot dip galvanizing yang mulai beroperasi pada tahun 2007, terletak di atas tanah seluas 1 hektar di Surabaya, Provinsi Jawa Timur, dengan luas bangunan sebesar 0,75 hektar (gambar 1). PT. BSM termasuk jenis industri logam jasa hot dip (galvanizing) dan merupakan grup dari PT. MG. Pemilik/Pengelola perusahaan adalah pemegang saham Mulcindo Steel Industry, pengusaha warga negara Indonesia. PT. BSM didirikan di atas lahan yang berasal dari hasil pembebasan tanah milik masyarakat dengan luas tanah kurang lebih 1 hektar. Lahan yang tersedia tersebut sudah berupa bangunan gedung perkantoran dan pabrik untuk proses pelapisan logam dengan zinc.

PT. BSM mendapatkan izin usaha tetap sebagai perusahaan lokal yang bergerak dalam bidang industri logam jasa hot dip (galvanizing), dengan fasilitas Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN). Perusahaan ini mulai beroperasi sekitar tahun 2007 yang memproduksi jasa pelapisan logam dengan zinc (hot dip galvanizing) yang saat ini dapat melayani jasa hot dip dengan kapasitas produksi 70 – 80 metrik ton per hari.

PT. BSM mempunyai karyawan berjumlah 150 orang, bergerak di bidang jasa pelapisan logam dengan zinc dari bahan logam (besi, baja) menjadi produk logam galvanis (logam anti karat) dengan total produksi pada tahun 2009 sebesar 9.801.927 kg logam galvanis, dan total produksi pada tahun 2010 mengalami kenaikan sebesar 2,07% sehingga total produksi pada tahun 2010 menjadi 10.004.452 kg logam galvanis. Diperkirakan total produksi pada tahun 2011 akan mengalami kenaikan sebesar 3% sehingga total produksi dapat mencapai 10.304.585 kg logam galvanis. Fluktuasi produksi logam galvanis dalam 3 tahun terakhir seperti ditunjukkan pada gambar 1. Pada gambar 1 terlihat bahwa produksi rata-rata per bulan dalam satu tahun dimana pada tahun 2010 dan tahun 2011 mengalami kenaikan.



Gambar 1. Grafik fluktuasi produksi PT. BSM

Produk jasa dari PT. BSM dapat dilihat pada gambar 2, yaitu: berupa pelapisan galvanis seperti untuk *structural shapes* dan *plate, strip* dan *bar, pipe* dan *tubing*, serta untuk *wire*.



Gambar 2. Produk jasa galvanis PT. BSM

II. BAHAN DAN METODE

Proses Produksi

Produk jasa pelapisan galvanis PT. BSM ini melayani order (pelanggan) baik dari P. Jawa maupun di luar P. Jawa. Proses produksi hot dip galvanizing yang digunakan di PT. BSM adalah sebagai berikut:

- Degreasing*, yaitu untuk menghilangkan minyak atau material organik pada besi/baja
- Water Rinsing*, yaitu untuk menghilangkan cairan kimia dari *degreasing*
- Acid Pickling*, yaitu untuk menghilangkan karat dan kerak baja
- Prefluxing*, yaitu untuk menghindari oksidasi permukaan sebelum pencelupan
- Oven*, yaitu pengeringan permukaan sebelum dimasukkan ke dalam bak seng (Zn)
- Galvanizing*, yaitu pencelupan ke dalam cairan seng (Zn) panas pada temperatur 445°C – 455°C (*burner*)
- Quenching*, yaitu pendinginan sebagai proses akhir pada permukaan seng (Zn)

Posisi ruang *burner* letaknya di bawah tanah dan dilengkapi dengan 22 unit motor listrik yang berada di sisi samping kiri dan kanan dengan kapasitas daya masing-masing 200 Watt seperti yang terlihat pada gambar 3. Kapasitas ruang *burner* ini mencapai 300 ton, dengan panjang 9 m, lebar 1,5 m, dan kedalaman 2 m.

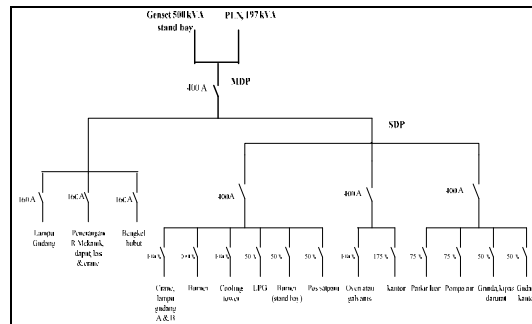


Gambar 3. Motor listrik di ruang burner

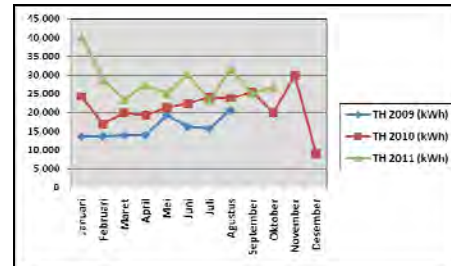
Energi utama yang digunakan pada proses produksi PT. BSM adalah energi listrik dan energi gas. Energi listrik dipasok oleh PT. PLN (Persero) dengan kontrak daya sebesar 197 kVA. Selain kebutuhan energi listrik, terdapat juga 1 (satu) unit genset berkapasitas 500 kVA dalam kondisi *standby*. PT. BSM juga membutuhkan energi gas dalam bentuk uap yang disemburkan melalui blower.

Pola Penggunaan Energi

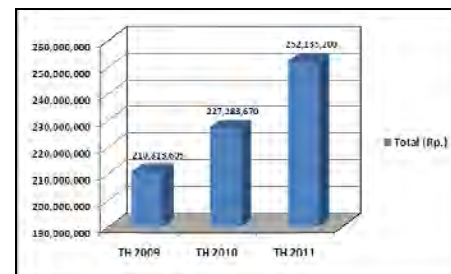
Energi listrik di PT. BSM disuplai oleh PT. PLN (Persero) melalui jaringan SUTM dan lemari panel tegangan menengah 20 kV, kemudian disalurkan ke dalam pabrik melalui satu unit transformator milik PT. BSM dengan kapasitas 1000 kVA. Distribusi sistem kelistrikan di PT. BSM seperti ditunjukkan oleh *single line diagram* pada gambar 4. Pendistribusian daya berasal dari panel induk yang menyatu dengan sub-panel yang juga sudah terpasang kapasitor *bank*. Konsumsi energi listrik dan biaya-biannya untuk 3 (tiga) tahun terakhir diberikan pada gambar 5 dan gambar 6 (tahun 2011 hanya sampai bulan Oktober).



Gambar 4. Single line diagram sistem kelistrikan



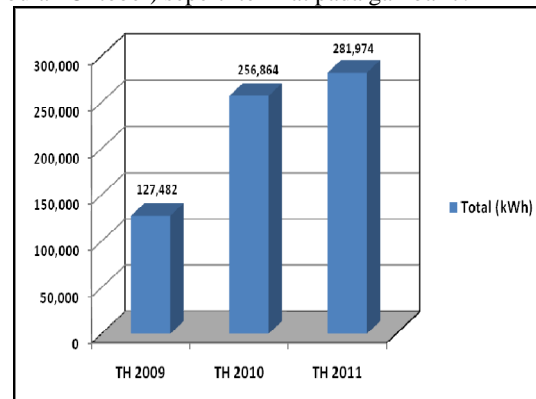
Gambar 5. Grafik konsumsi energi listrik



Gambar 6. Diagram biaya energi listrik

Intensitas Energi

Energi listrik yang digunakan oleh PT. BSM untuk menggulirkan produksi jasa hot dip galvanizing sepanjang tahun 2009, 2010 dan 2011 (hanya sampai bulan Oktober) seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram konsumsi energi listrik

Kualitas Daya

Kualitas daya sangat erat hubungannya dengan hal-hal sebagai berikut:

- a. Fluktuasi tegangan, merupakan rentang perubahan tegangan maksimum dan minimum. Besarnya tegangan sangat berpengaruh terhadap pengoperasian suatu peralatan. Apabila tegangan yang disuplai ke beban melebihi tegangan nominalnya maka akan terjadi *over voltage* dan kemungkinan terjadinya gradien tegangan lebih besar, dan bisa menyebabkan *discharge*. Sebaliknya bila tegangannya rendah jauh melebihi tegangan nominalnya, akan berakibat terhadap tidak berfungsinya peralatan listrik dengan baik, dan juga dapat menyebabkan arus lebih. Fluktuasi tegangan menunjukkan karakteristik fluktuasi beban konsumen, semakin rendah fluktuasi tegangan menunjukkan kondisi beban cukup baik.
- b. Ketidakseimbangan tegangan merupakan prosentase perbedaan tegangan antar fasa. Ketidakseimbangan tegangan terjadi apabila tegangan tiap fasa mempunyai besar dan sudut tegangan yang tidak standar, sehingga tegangan antara fasa tidak sama. Ketidak seimbangan tegangan sangat berpengaruh terhadap beban tiga fasa seperti transformator dan motor. Hal ini akan menyebabkan kenaikan temperatur, rugi-rugi panas dan energi serta penurunan kemampuan operasi.
- c. Ketidakseimbangan arus beban. Idealnya arus masing-masing fasa sebaiknya sama besar. Bila arus fasa tidak seimbang, maka akan berakibat terhadap pemanasan peralatan terutama pada transformator dan motor.
- d. Harmonisa tegangan merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang fundamental (sinusoidal) tegangan, sehingga bentuk gelombang tegangan menjadi buruk (tidak sinusoidal murni). Harmonisa tegangan ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan dan kualitas operasi yang buruk pada kinerja peralatan.
- e. Harmonisa arus merupakan gelombang distorsi yang merusak bentuk gelombang fundamental (sinusoidal) arus, sehingga bentuk gelombang arus menjadi buruk (tidak sinusoidal murni). Penyebab utama timbulnya harmonik arus adalah adanya peralatan listrik yang bersifat non linier, seperti komputer, inverter, UPS, DC *drive* dan *battery chargers*. Adanya harmonisa arus ini dapat menyebabkan beberapa kerugian pada peralatan di antaranya *overheating*, penurunan *life time* peralatan dan rugi-rugi energi.
- f. Faktor daya merupakan pergeseran fasa antara tegangan dan arus, yang didapatkan dari perkalian bilangan kompleksnya. Faktor daya dapat bersifat *leading* (arus mendahului tegangan) dan dapat juga *lagging* (arus tertinggal dari tegangan). Faktor daya *leading* disebabkan oleh beban yang bersifat kapasitif dan *lagging* karean beban induktif. Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan

peningkatan rugi-rugi pada saluran, tidak optimalnya kontrak daya (kVA) dan biaya tambahan akibat denda faktor daya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran

Berkaitan dengan kualitas daya listrik pada PT. BSM, perlu dilakukan pengukuran di beberapa titik terutama pada sisi MDP (*Main Distribution Panel*) dan SDP (*Sub Distribution Panel*), namun pada saat melakukan pengukuran terdapat banyak kendala seperti, sempitnya ruang gerak untuk melakukan pengukuran, kesulitan dalam memasang alat ukur dan lain sebagainya, sehingga pengukuran dengan HIOKI 3286-20 hanya dilakukan pada beberapa tempat sebagai berikut:

- a. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3197 pada SDP I dengan MCB 400A yang melayani lampu gudang, penerangan ruang mekanik, ruang dapur, ruang las & crane, dan ruang bengkel bubut dengan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran pada SDP I

No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	395,00	395,00	395,00
2	Arus (I), Ampere	93,00	85,60	91,30
3	Daya aktif (P), kW	53,20	43,20	53,80
4	Daya kompleks (S), kVA	63,60	58,60	62,40
5	Faktor daya (PF)	0,84	0,74	0,86
6	Daya reaktif (Q), kVAr	34,90	39,50	31,80
7	Harmonik tegangan (THD V, %)	1,10	1,20	1,10
8	Harmonik arus (THD I, %)	6,90	8,90	4,80

- b. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada MDP dengan MCB 400A yang melayani crane, lampu gudang A & B, burner, cooling tower, LPG, burner (*standby*), dan pos satpam dengan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran pada MDP

No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	227,30	227,80	227,10
2	Arus (I), Ampere	963,00	911,00	900,00
3	Daya aktif (P), kW	128,00	104,00	109,00
4	Daya kompleks (S), kVA	130,00	110,00	110,00
5	Faktor daya (PF)	0,98	0,96	0,98
6	Daya reaktif (Q), kVAr	30,00	30,00	20,00
7	Harmonik tegangan (THD V, %)	1,30	1,20	1,40
8	Harmonik arus (THD I, %)	8,40	7,60	5,60

- c. Pengukuran dengan alat ukur Hioki tipe 3286-20 pada SDP II dengan MCB 400A yang melayani oven & galvanis, dan lampu ruang kantor dengan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran pada SDP II

No.	Parameter	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	Tegangan (V), Volt	229,10	229,40	229,70
2	Arus (I), Ampere	326,00	343,00	339,00
3	Daya aktif (P), kW	70,00	70,00	70,00
4	Daya kompleks (S), kVA	70,00	70,00	70,00
5	Faktor daya (PF)	0,98	0,98	0,98
6	Daya reaktif (Q), kVAr	10,00	20,00	20,00
7	Harmonik tegangan (THD V, %)	4,70	4,60	5,00
8	Harmonik arus (THD I, %)	19,60	18,50	18,90

Perhitungan dan Analisis Data

a. Intensitas Energi Peralatan Pengguna Energi Utama

Konsumsi energi listrik untuk mengoperasikan proses produksi PT. BSM sepanjang tahun 2009 sampai 2011 (hanya sampai bulan Oktober), dan pemakaian energi listrik dari tahun 2009 ke tahun 2010 mengalami kenaikan sebesar 34,33%, sedangkan pada tahun 2011 ini diperkirakan pemakaian energi listrik kembali mengalami kenaikan sebesar 31,73% sehingga mencapai 281.974 kWh. Dengan demikian dapat diperkirakan pemakaian energi listrik rata-rata per tahun sebesar 222.106 kWh. Kalau diasumsikan PT. BSM beroperasi sepanjang tahun kecuali hari Minggu dan libur nasional (diasumsikan semuanya berkisar 60 hari), maka dapat dihitung penggunaan daya listrik rata-rata adalah sebesar 30,848 kW atau 34,275 kVA bila faktor daya diasumsikan sebesar 0,9.

Dilihat dari daya tersambung ke PT. PLN (Persero) sebesar 197 kVA, maka dapat dikatakan bahwa penggunaan daya pada PT. BSM sudah optimum. Namun, bila dilihat dari *single line diagram* terdapat 1 buah MCB yang digunakan pada MDP dengan kapasitas 400A dan pada SDP terdapat 6 buah MCB (3 buah dengan kapasitas masing-masing MCB 160A, dan 3 buah dengan kapasitas masing-masing MCB 400A) (pembebanan MCB sebesar 62,54%), ini kelihatannya *over sized*. Kapasitas MCB yang optimum adalah 123,2 kVA sehingga pembebanan MCB menjadi sebesar 83%. Dan pembebanan MCB sebesar 83% ini merupakan titik efisiensi maksimum suatu MCB. Untuk menghitung penggunaan energi (kWh) dalam menghasilkan produk, maka pemakaian semua sumber energi yang digunakan harus ditransformasi dulu ke dalam satuan yang sama dan biasanya yang digunakan adalah satuan kWh listrik. Dari hasil pengukuran kualitas daya listrik terlihat bahwa:

- a. Terjadi ketidakseimbangan beban yang didasarkan pada besarnya arus yang dilayani oleh masing-masing fasa pada MDP, SDP I, dan SDP II yang diukur seperti ditunjukkan pada tabel 4. Ketidakseimbangan beban ini juga menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan arus.

Tabel 4. Ketidakseimbangan arus pada panel

No.	Panel	Arus (I, Ampere)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	SDP I	93,00	85,60	91,30
2	MDP	963,00	911,00	900,00
3	SDP II	326,00	343,00	339,00

- b. Terjadi ketidakseimbangan beban yang didasarkan pada besarnya daya aktif yang dilayani oleh masing-masing fasa pada SDP I, MDP, dan SDP II yang diukur seperti ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Ketidakseimbangan daya aktif pada panel

No.	Panel	Daya Aktif (P, kW)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	SDP I	53,20	43,20	53,80
2	MDP	128,00	104,00	109,00
3	SDP II	70,00	70,00	70,00

- c. Pada panel SDP I fasa S mengalami faktor daya yang rendah yaitu 0,74 dan yang tertinggi mencapai 0,86 seperti ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Panel dengan faktor daya rendah

No.	Panel	Faktor Daya (PF)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	SDP I	0,84	0,74	0,86

- d. Beberapa panel mengalami fluktuasi daya reaktif yang cukup tajam seperti ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Daya reaktif pada panel

No.	Panel	Daya Reaktif (Q, kVar)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	SDP I	34,90	39,50	31,80
2	MDP	30,00	30,00	20,00
3	SDP II	10,00	20,00	20,00

- e. THD (*Total Harmonic Distortion*) arus pada semua panel yang diukur memperlihatkan nilainya berfluktuasi, yang rendah 4,80 dan yang tertinggi mencapai 19,60 seperti ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8. THD arus pada panel

No.	Panel	THD Arus (THD I, %)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	SDP I	6,90	8,90	4,80
2	MDP	8,40	7,60	5,60
3	SDP II	19,60	18,50	18,90

- f. THD (*Total Harmonic Distortion*) tegangan pada semua panel yang diukur memperlihatkan nilainya berfluktuasi, yang rendah 1,10 dan yang tertinggi mencapai 5,00 seperti ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Panel dengan THD tegangan berfluktuasi

No.	Panel	THD Tegangan (THD V, %)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	SDP I	6,90	8,90	4,80
2	MDP	8,40	7,60	5,60
3	SDP II	19,60	19,50	18,90

b. Potensi Penghematan Energi

Dari analisis di atas beberapa potensi penghematan energi sistem kelistrikan sisi suplai dapat dicatat sebagai berikut:

- Penyeimbangan Beban
Beban yang tidak seimbang dapat mengakibatkan penurunan efisiensi sistem sebesar 2%.
- Pengoptimalan kinerja regulator kapasitor bank sehingga faktor kerja kembali mencapai nilai optimumnya (0,9). *Losses* yang timbul karena rendahnya faktor daya dapat dihitung berdasarkan pada pendekatan berikut:

$$Losses = 1 - \left(\frac{PF_{rendah}}{PF_{tinggi}} \right)^2$$
 - Pada SDP I: $Losses = 1 - [0,74/0,9]^2 = 0,3276$
Potensi *losses* = $0,3276 \times 100\% = 32,76\%$
Bila kapasitas daya SDP I sebesar 88 kVA, maka *losses* nya = 28,83 kW
- Pengurangan THD arus menjadi < 5%.
- Pemasangan *ballast* elektronik. Berdasarkan pada acuan “*Energy Audit Guide, Part B*” dari *Centre for Renewable Energy Sources*, selisih daya yang dihasilkan dari penggantian setiap *ballast* adalah 12 W atau penghematan energi sebesar 13% (penggunaan daya untuk *ballast* biasa dan *ballast* elektronik adalah masing-masing 87 W dan 75 W).
- Penggantian MCB dengan transformator sehingga sesuai dengan pembebanan optimum dan efisiensi maksimum dari 197 kVA menjadi 176 kVA. Penggantian ini akan mengurangi *losses* beban nol tinggi yaitu biasanya sebesar 3%.

Perhitungan beban aktual motor-motor produksi pada suatu kelompok motor pada suatu ruangan/gedung tertentu dapat diketahui dengan membandingkan antara total daya yang ada pada kelompok motor pada suatu gedung dengan hasil pencatatan penggunaan energi listrik pada bulan September 2011. Adapun asumsi ini diambil dengan melihat rata-rata pemakaian energi listrik pada tahun 2011 (sampai bulan September) yaitu sebesar 27.497 kWh.

Adapun data-data penggunaan energi pada gedung perkantoran, gudang, dan lain-lain tidak dapat disajikan karena keterbatasan data yang diperoleh pada saat dilakukan audit. Disamping itu perhitungan beban aktual dapat juga dihitung dengan melakukan pendekatan perbandingan antara hasil pengukuran pada MDP dan beban yang dilayani pada SDP tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dari uraian dan analisis yang telah dilakukan di atas, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai potensi penghematan energi sistem kelistrikan:

- Dari hasil pengukuran yang dilakukan ditemukan potensi dari:
 - Harmonik tegangan dan arus.
 - Ketidakeimbangan tegangan dan arus beban.
 - Faktor daya.
- Pada MDP dengan MCB 400A:**
Dari grafik pengukuran menunjukkan bahwa terjadi kenaikan arus yang sangat tajam di setiap fasa hingga mencapai 963A, melebihi dari kapasitas MCB yang hanya 400A. Hal ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban dan bahkan adanya ketidak beresan pengelolaan sistem kelistrikan. THD arus sangat berfluktuasi, terendah 5,60% dan tertinggi 9,40%.
Pada SDP I dengan MCB 400A:
Dari grafik pengukuran menunjukkan bahwa terjadi ketidakseimbangan arus beban di fasa S, hal ini disebabkan adanya ketidakseimbangan beban. Faktor daya cukup rendah di setiap fasa. THD arus berfluktuasi pada masing-masing fasa, terendah 4% dan tertinggi mencapai 10%.
Pada SDP II dengan MCB 400A:
Dari grafik pengukuran menunjukkan bahwa terjadi ketidakseimbangan arus, hal ini disebabkan adanya ketidakseimbangan beban. Faktor daya sangat bagus (0,98) di setiap fasa. THD arus pada masing-masing fasa sangat tidak bagus (> 16%).
- Pemasangan inverter, dari hasil diskusi diketahui bahwa semua mesin dengan kapasitas antara 4 – 25 kW sudah menggunakan inverter. Oleh karena itu sesuai dengan hasil pencatatan data yang diperoleh pada saat melakukan audit diketahui bahwa mesin-mesin produksi yang kapasitasnya lebih besar dari 25 kW ada yang belum dipasang inverter.
- Pemasangan EMS. Areal pabrik yang luas, beban-beban listrik dan panel-panel pengukuran listrik yang tersebar menyulitkan operator dalam melakukan pencatatan kWh meter. Oleh karena itu, perlu ditimbang suatu sistem manajemen pengukuran listrik yang terintegrasi dan terpusat di ruang teknik, yang merangkum pencatatan kWh meter secara digital, serta akan mencatat ketidakseimbangan arus pada masing-masing panel sub distribution panel. Cara ini akan mampu memberi gambaran tingkat pemakaian peralatan listrik terhadap daya yang dialokasikan. Pemasangan EMS dilakukan untuk memonitor ketidakseimbangan arus yang akan memberikan potensi penghematan energi sebesar 2 %.
- Pemasangan *ballast* elektronik. Berdasarkan pada acuan “*Energy Audit Guide, Part B*” dari *Centre for Renewable Energy Sources*, selisih daya yang dihasilkan dari penggantian setiap *ballast* adalah 12 W atau penghematan energi sebesar 13%

(penggunaan daya untuk *ballast* biasa dan *ballast* elektronik adalah masing-masing 87 W dan 75 W).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESCAP, (1998). *Cogeneration: Pollution Control and Energy Efficiency*. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.
- [2] Felder, R.M. and Rousseau, R.W., (1994). *Elementary Principles of Chemical Processes*. North Carolina State University, USA.
- [3] JICA and ECCJ. (2002). *Energy Efficiency and Conservation*. Textbook, Page 2 of 5, Japan.
- [4] Smith, J.M, Van Ness, H.C and Abbott, M.M., (1996). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 5th Edition, International Edition, USA.
- [5] Sorensen, H.A., (1983). *Energy Conservation System*. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [6] Smith, C.B., (1981). *Energy Management Principles*. Pergamon Press.
- [7] WEC, (2001). *Energy Efficiency Policies and Indicators*. Report by the World Energy Council.

Analisis Pengukuran Energi Termal pada Industri Tekstil

Achmad Hasan

Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT

Gedung II BPPT, Lt. 20. Jl. MH. Thamrin No.8, Telp. (021) 3169789. Jakarta 10340

e-mail : a_hasan@webmail.bppt.go.id, hasan_bppt@yahoo.com

Abstrak -- Primary energy used in the production process in PT. Textile Industry in addition to electrical energy is thermal energy (steam). Steam distribution unit is supported by two boilers (boilers # 1 and boiler # 2 is in standby mode) with a fuel gas, which is as a producer of steam boilers and steam piping for any process that requires such steam for process heat setting, multi fold yarn, and drying embroidered cloth. Condensate has the advantage to be exploited due to high temperature and low oxygen levels as well as its TDS. Boiler efficiency can be increased by 1% for every 15% reduction in oxygen levels. The maximum use of the condensate, then the saving of water and fuel, thereby increasing overall boiler efficiency. Utilization of the condensate can save fuel costs of about 5% in 1 year. Exhaust gas boiler can be used to heat the combustion air preheater as water. Installation of water to heat the combustion air preheater can save fuel consumption in the boiler. Any increase in temperature of the combustion air as much as 37.5 ° C will provide fuel savings of as much as 1%.

Kata Kunci : Energi, Termal, Efisiensi, Boiler, Uap, Gas

I. PENDAHULUAN

PT. Textile Industry adalah perusahaan yang bergerak dibidang industri tekstil yang berorientasi ekspor. Energi utama yang digunakan pada proses produksi PT. Textile Industry adalah energi listrik dan energi termal (uap panas). Energi listrik dipasok oleh PT. PLN (Persero) dengan kontrak daya sebesar 5.540 kVA, dan memiliki 5 unit trafo dengan kapasitas 2.500 kVA (1 unit), 2.000 kVA (2 unit), dan 1.250 kVA (2 unit). Sistem produksi dan distribusi uap didukung oleh 2 unit boiler (boiler #1 dan boiler #2 dalam kondisi *standby*) dengan bahan bakar gas, yaitu boiler sebagai penghasil uap dan pemipaan uap ke setiap proses yang membutuhkan uap seperti untuk proses *heat setting*, *multi fold yarn*, dan pengeringan kain bordir. Selain itu terdapat 1 unit *oil heater*, 7 unit kompresor dengan jenis yang sama tetapi berbeda seri yang masing-masing dengan daya : 37 kW (4 unit kompresor), 275 kW (2 unit kompresor), 15 kW (1 unit kompresor). Kompresor jenis GA 75 mempunyai kapasitas 204 ltr/det dan kompresor GA 37 mempunyai kapasitas 82 liter/detik. 5 unit kompresor

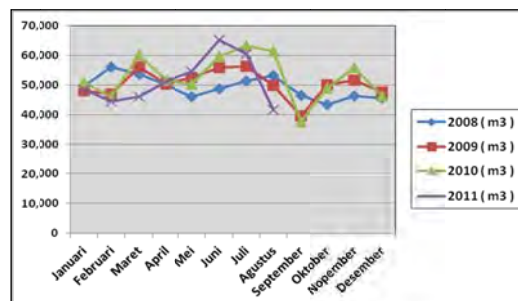
GA 75 (3 unit) dan GA 37 (2 unit) bekerja secara paralel. 2 unit kompresor GA 37 digunakan di *spinning* dimana 1 unit kompresor dalam keadaan *standby* dan diperlukan pada proses *ring frame*, serta setiap tahapan proses menggunakan sumber energi listrik.

PT. Textile Industry memiliki 1 unit *chiller* untuk pendingin di ruangan produksi, 11 unit *air washer*, yaitu : 10 unit di *spinning 1*, dan 1 unit untuk *bed process*. Selain itu terdapat 1 unit *cooling tower* untuk keperluan di *spinning 2*.

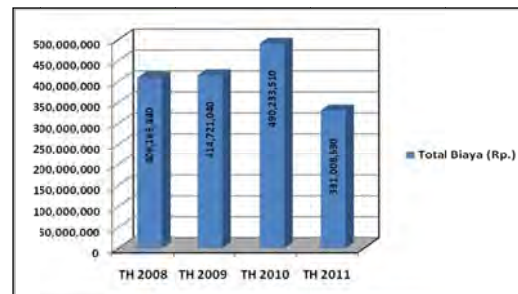


Gambar 1. Boiler #1 dan Boiler #2 PT. Textile Industry

Konsumsi energi termal (gas) dan biaya-biayanya untuk 3 tahun terakhir (tahun 2008 s.d 2011) seperti ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.

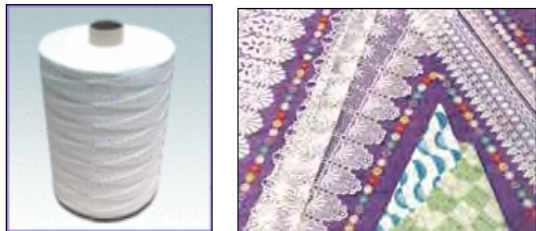


Gambar 2. Grafik Konsumsi Energi Termal (Gas)



Gambar 3. Diagram total biaya energi termal (gas)

Beberapa jenis produk yang dihasilkan perusahaan antara lain : benang sebagai produk utama, dan embroidery (bordir).



Gambar 4. Jenis produk PT. Textile Industry

II. BAHAN DAN METODE

Proses Produksi

Sistem produksi dan distribusi uap didukung oleh 2 unit boiler (boiler #1 dan boiler #2 dalam kondisi *standby*) dengan bahan bakar gas, yaitu boiler sebagai penghasil uap dan pemipaan uap ke setiap proses yang membutuhkan uap seperti untuk proses *heat setting*, *multi fold yarn*, dan pengeringan kain bordir.

Sistem pengaturan yang digunakan pada boiler terdiri atas:

- Sistem pengaturan pembakaran (*automatic combustion control*)
- Sistem pengaturan air pengumpan (*automatic feed water control*)
- Sistem pengaman (*safety control*)

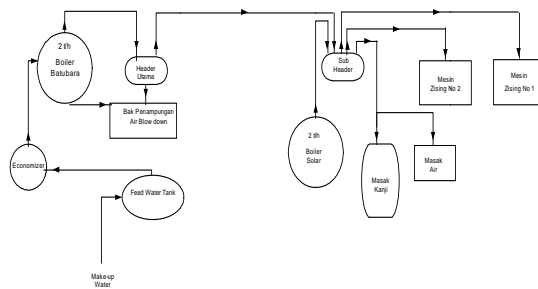
Pengaturan pembakaran dilakukan dengan mengatur laju pengumpan bahan bakar dan laju aliran udara pembakaran yang disuplai oleh *FDF* dan laju aliran udara isap oleh *IDF*. Faktor penting yang lain adalah bahwa pembakaran sempurna dapat dicapai dengan biaya rendah dan bahan bakar jenis yang rendah. Ada dua jenis sistem pengaturan yakni sistem pengaturan yang hanya mengatur pembakaran (*automatic combustion control*) dan sistem pengaturan boiler secara menyeluruh (*automatic Boiler Control / ABC*).

Uap yang dihasilkan *steam boiler* dijaga supaya tekanan tetap $\pm 10 \text{ kg/cm}^2$. Output dari 2 unit *steam boiler* (1 unit *standby*) berupa uap yang dihubungkan secara paralel untuk melayani proses-proses di *Steam Setter* (*Heat Setting*), *Sizing Machine* (*Multifold*), *embroidery*, dan *Finishing Dying*.

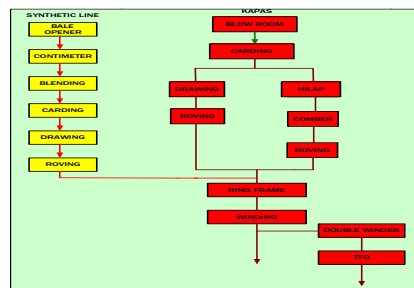
Ketidakhayuan yang terkandung dalam air pengumpan (*feed water*) terkondensasi selama penguapan ion di ketel uap menjadi kotoran dan kerak, pada kasus ekstrim, menyebabkan pelapisan atau buih. Oleh karena itu diperlukan untuk melaksanakan *blowdown* pada waktu wajar sedemikian sehingga kondensasi ketidakhayuan dijaga dalam derajat keasaman pada 25°C (pH 10,5 – 11,3). *Boiler full water content* 2.450 liter, sedangkan *blowdown* dilakukan setiap 1 jam selama ± 30 detik, volume sekali *blowdown* sekitar 5 liter.

Pipa pengantar uap dari rumah boiler menuju titik pemakai dibagi menjadi beberapa jalur yang dicabang dari *header outlet/supply* menuju mesin-mesin

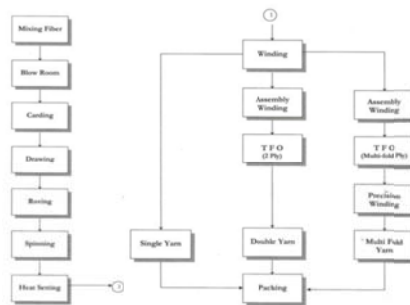
pengguna uap panas tanpa ada pengaturan tekanan. Pipa pengantar uap adalah fasilitas untuk mendistribusikan uap dari boiler ke tiap-tiap proses yang membutuhkan. Jaringan pemipaan dari *steam boiler* seperti ditunjukkan pada gambar 5. Energi termal yang diproduksi oleh boiler dialirkan ke titik pengguna melalui pipa pengantar. Masing-masing pipa ke titik pengguna dibalut dengan insulator dan lapisan aluminium foil pada bagian pipa terluarnya.



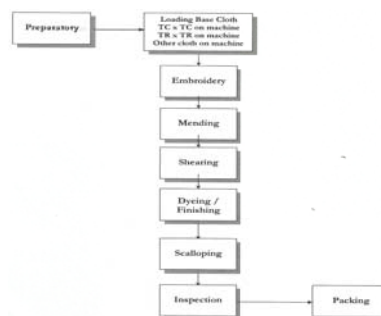
Gambar 5. Sistem produksi dan distribusi uap



Gambar 6. Diagram alir proses spinning



Gambar 7. Diagram alir pembuatan benang



Gambar 8. Diagram alir pembuatan kain bordir

Untuk memproduksi berbagai macam benang dan pembuatan bordir dengan bahan baku dari kapas. Proses produksi pada PT. Textile Industry diawali dengan proses blowing, kemudian dilanjutkan dengan proses carding, drawing, roving, spinning, winding, dan packing. Sedangkan untuk proses produksi bordir diawali dengan loading base load kemudian dilanjutkan dengan embroidery, mending, shearing, dyeing/finishing scalloping, inspection, dan packing. Berikut ini akan diperlihatkan jenis-jenis mesin produksi yang digunakan pada proses pembuatan benang dan bordir tersebut.

Mesin-mesin produksi yang ada pada departemen *spinning* dijelaskan sebagai berikut:

a. Mesin *blowing*, adalah mesin yang melakukan proses pengambilan bahan baku kapas dalam bentuk bale-bale secara otomatis dengan menggunakan mesin. Pada umumnya proses *blowing* terdiri atas beberapa tahapan, yaitu:

- *Opening*.
- *Cleaning*.
- *Mixing or blending*.
- *Microdust removal*.
- *Uniform feed to the carding machine*.
- *Recycling the waste*.

Proses pertama adalah "*opening*" yaitu pengambilan/cabitan kapas (*flock*) dari tumpukan kapas (*bale*). Cabikan-cabitan kapas tersebut diteruskan ke proses pembersihan kotoran (*cleaning*), selanjutnya kapas diaduk supaya homogen. Pada proses pembersihan dan pengadukan, muncul debu-debu halus yang berasal dari kapas itu sendiri, sehingga harus dieliminir pada proses berikutnya. Selanjutnya kapas yang sudah bersih dan hampir homogen dikirim ke mesin *carding* untuk diproses lebih lanjut. Sedangkan kotoran (*waste*) dikirim ke mesin filter untuk dipisahkan yang masih bisa diproses menjadi benang kelas rendah dan yang tidak bisa lagi diproses untuk benang.

b. Mesin *carding*, adalah mesin yang digunakan untuk memisahkan kotoran yang masih tersisa dari proses *blowing* yang diikuti dengan proses pemisahan serat-serat individual kapas, sehingga mayoritas menjadi paralel. Proses *carding* menghasilkan lembaran tipis yang ketebalannya homogen yang kemudian diringkas membentuk *strand* yang tebal, kontinu, tidak terpelintir yang disebut *sliver*.

c. Mesin *drawing*, adalah proses pencampuran antara *sliver* Cotton dan *sliver* Polyester, karena menyangkut komposisi prosentase benang yang diharapkan pada hasil akhir. Komposisi untuk benang dengan komposisi C 30 (Cotton 30 %) perbandingan *sliver* Cotton (30% - 35%) dan *Sliver* Polyester (65% - 70%) Yang jumlahnya dapat ditimbang dengan acuan berat per satuan panjang.

d. Mesin *roving*, adalah mesin yang digunakan untuk menggulung benang.

e. Mesin *combing*, adalah mesin yang digunakan untuk mendapatkan benang yang sangat halus. Proses *carding* harus diikuti dengan proses *combing*, yaitu proses untuk membuang serat-serat pendek, dan menyisakan *sliver* yang terdiri atas serat-serat panjang yang semua paralel dan lebih halus dan lebih mengkilap dibanding tipe yang tidak melalui mesin *combing*.

f. Mesin *ring frame*, adalah mesin yang digunakan untuk meluruskan serat-serat, mengkombinasikan hasil dari beberapa mesin *carding*. Kombinasi tersebut lebih bermakna sebagai 'penggandaan'. Namun 'penggandaan' tersebut tidak bermakna "doubling" pada proses doubling dua atau tiga benang yang telah jadi menjadi satu. Kadang-kadang proses *drawing* dilengkapi dengan 'proses *combing*' yang membuang serat-serat pendek. Ini normal untuk serat-serat berkualitas lebih tinggi. Hasil proses *drawing* adalah sebuah 'tali katun yang-tidak berantakan dan tidak terpelintir.

g. Mesin *winding*, adalah mesin yang digunakan untuk memindahkan benang ke *bobbin* yang lebih besar atau corong. Tujuannya adalah untuk mendapatkan bentangan panjang berkelanjutan (*continuous*). *Weft-winding* mencakup pemindahan ke *bobbin* yang lebih kecil yang akan masuk ke *shuttle-winder*.

h. Mesin *two for one* (TFO), adalah mesin yang digunakan pada proses doubling. Disamping produk yang dihasilkan dari mesin *winding*, ada juga permintaan benang dengan ukuran khusus, yaitu dua benang atau tiga benang digabung menjadi satu untuk keperluan tertentu. Proses ini melalui dua tahapan yaitu tahapan "doubling" kemudian diikuti dengan proses "twisting". Industri benang menamai proses tersebut dengan proses TFO.

Pola Penggunaan Energi

Untuk menghitung penggunaan energi (kWh) dalam menghasilkan produk, maka pemakaian semua sumber energi harus ditransformasi dulu ke dalam satuan yang sama dan biasanya yang digunakan adalah satuan kWh listrik. Untuk itu satuan gas (m³) harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam kWh. Dengan mengasumsikan penggunaan gas memberikan *specific fuel consumption* (SFC) sebesar 0,5 lbs/kWh-listrik, maka ekivalen energi termal (gas, m³) menjadi energi listrik dapat dihitung dan hasilnya seperti diberikan pada tabel 3.7. Dengan asumsi konversi energi termal (gas) menjadi energi listrik adalah : $1 \text{ m}^3 \text{ gas} = [(1 \times 2,8) \times 1,02264] \times 38,9 / 3,6 = 30,94 \text{ kWh-listrik}$.

Sistem pengaturan yang digunakan pada boiler terdiri atas:

- Sistem pengaturan pembakaran (*automatic combustion control*)
- Sistem pengaturan air pengumpan (*automatic feed water control*)
- Sistem pengaman (*safety control*)

Pengaturan pembakaran dilakukan dengan mengatur laju pengumpanan bahan bakar dan laju aliran udara pembakaran yang disuplai oleh *FDF* dan laju aliran udara isap oleh *IDF*. Faktor penting yang lain adalah bahwa pembakaran sempurna dapat dicapai dengan biaya rendah dan bahan bakar jenis yang rendah. Ada dua jenis sistem pengaturan yakni sistem pengaturan yang hanya mengatur pembakaran (*automatic combustion control*) dan sistem pengaturan boiler secara menyeluruh (*automatic Boiler Control / ABC*).

Uap yang dihasilkan *steam boiler* dijaga supaya tekanan tetap $\pm 10 \text{ kg/cm}^2$. Output dari 2 unit *steam boiler* (1 unit *standby*) berupa uap yang dihubungkan secara paralel untuk melayani proses-proses di *Steam Setter (Heat Setting)*, *Sizing Machine (Multifold)*, *embroidery*, dan *Finishing Dying*.

Ketidakhayuan yang terkandung dalam air pengumpan (*feed water*) terkondensasi selama penguapan ion di ketel uap menjadi kotoran dan kerak, pada kasus ekstrim, menyebabkan pelapisan atau buih. Oleh karena itu diperlukan untuk melaksanakan *blowdown* pada waktu wajar sedemikian sehingga kondensasi ketidakhayuan dijaga dalam derajat keasaman pada 25°C (pH 10,5 – 11,3). *Boiler full water content* 2.450 liter, sedangkan *blowdown* dilakukan setiap 1 jam selama ± 30 detik, volume sekali *blowdown* sekitar 5 liter.

Pipa pengantar uap dari rumah boiler menuju titik pemakai dibagi menjadi beberapa jalur yang dicabang dari *header outlet/supply* menuju mesin-mesin pengguna uap panas tanpa ada pengaturan tekanan. Pipa pengantar uap adalah fasilitas untuk mendistribusikan uap dari boiler ke tiap-tiap proses yang membutuhkan. Jaringan pemipaan dari *steam boiler* di PT. Lotus Indah Textile Industries seperti ditunjukkan pada gambar 3.23. Energi termal yang diproduksi oleh boiler dialirkan ke titik pengguna melalui pipa pengantar. Masing-masing pipa ke titik pengguna dibalut dengan insulator dan lapisan aluminium foil pada bagian pipa terluarnya.

Bila konsumsi energi listrik dari PT. PLN (Persero) digabungkan dengan konsumsi energi listrik konversi gas, maka akan diperoleh konsumsi energi total (dalam kWh-listrik) untuk menghasilkan produksi spinning (dalam lbs) dan dari kedua besaran ini (energi dalam kWh dan produksi spinning dalam lbs) akan memberikan *specific energy consumption* (SEC) dalam lbs/kWh untuk tahun 2009 sampai tahun 2011 seperti dapat dilihat pada tabel 1 sampai tabel 4. SEC rata-rata yang diperoleh menjadi 0,831 lbs-spinning/kWh.

Tabel 1. Konsumsi energi spesifik (SEC) tahun 2009

No.	Bulan	Produksi Spinning (lbs)	Konsumsi Energi (kWh-listrik)	SEC (lbs/kWh)
1	Januari	2,115,708	1,632,560	1.296
2	Februari	2,115,708	2,234,400	0.947
3	Maret	2,115,708	2,610,200	0.811
4	April	2,115,708	2,910,880	0.727
5	Mei	2,115,708	2,850,240	0.742
6	Juni	2,115,708	2,979,840	0.710
7	Juli	2,115,708	2,813,360	0.752
8	Agustus	2,115,709	2,996,880	0.706
9	September	2,115,709	2,945,920	0.718
10	Oktober	2,115,709	2,285,200	0.926
11	November	2,115,709	3,017,520	0.701
12	Desember	2,115,709	2,902,320	0.729
	Total	25,538,501	32,179,320	9.765
	Rata-Rata	2,115,708	2,681,610	0.814

Tabel 2. Konsumsi energi spesifik (SEC) tahun 2010

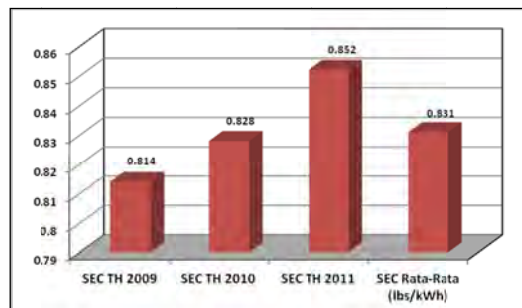
No.	Bulan	Produksi Spinning (lbs)	Konsumsi Energi (kWh-listrik)	SEC (lbs/kWh)
1	Januari	2,296,112	2,920,080	0.786
2	Februari	2,296,112	2,917,360	0.787
3	Maret	2,296,112	2,719,520	0.844
4	April	2,296,112	2,959,600	0.776
5	Mei	2,296,112	2,898,640	0.792
6	Juni	2,296,112	2,897,600	0.792
7	Juli	2,296,112	2,788,160	0.823
8	Agustus	2,296,112	2,798,000	0.821
9	September	2,296,112	2,353,440	0.975
10	Oktober	2,296,112	2,711,120	0.847
11	November	2,296,112	2,786,640	0.824
12	Desember	2,296,113	2,622,240	0.875
	Total	27,553,345	33,372,400	9.942
	Rata-Rata	2,296,112	2,781,033	0.828

Tabel 3. Konsumsi energi spesifik (SEC) tahun 2011

No.	Bulan	Produksi Spinning (lbs)	Konsumsi Energi (kWh-listrik)	SEC (lbs/kWh)
1	Januari	2,482,127	2,888,800	0.859
2	Februari	2,352,705	3,084,720	0.763
3	Maret	2,496,899	2,705,840	0.923
4	April	2,441,215	3,090,960	0.789
5	Mei	2,448,129	2,851,440	0.858
6	Juni	2,427,958	2,883,920	0.842
7	Juli	3,024,833	3,049,440	0.992
8	Agustus	2,730,989	3,461,680	0.789
9	September	0	2,690,960	0
10	Oktober	0	0	0
11	November	0	0	0
12	Desember	0	0	0
	Total	20,404,855	26,707,760	6.815
	Rata-Rata	2,550,607	2,967,529	0.852

Tabel 4. Konsumsi energi spesifik (SEC) 2009 – 2011

No.	Tahun	Produksi Spinning Rata-Rata (lbs)	Konsumsi Energi Listrik Rata-Rata (kWh-listrik)	SEC Rata-Rata (lbs/kWh)
1	2009	2,115,708	2,681,610	0.814
2	2010	2,296,112	2,781,033	0.828
3	2011	2,550,607	2,967,529	0.852
	Total	6,962,427	8,430,172	2.494
	Rata-Rata	2,320,809	2,810,057	0.831



Gambar 9. Diagram konsumsi energi spesifik rata-rata

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran yang diperoleh pada boiler adalah:

a. Pengukuran TDS dan Suhu Air.

Data pengamatan/pengukuran pada dua unit boiler (*steam boiler* Loos) yang digunakan ketika dioperasikan seperti dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran boiler

Boiler	Tekanan	Suhu Oil/Air masuk	Suhu Oil/Uap keluar	Suhu Ruang	Suhu Gas Buang (°C)	Keterangan
Loos	8,5 Bar	60 °C	219 °C	30 °C	110	Steam Boiler
Thermax	9,5 Bar	60 °C	210 °C	30 °C	110	Standby

Air yang digunakan untuk mengisi tangki air umpan dikondisikan untuk memenuhi persyaratan agar tidak menyebabkan terjadinya lumpur, kerak atau korosi pada boiler. Persyaratan air umpan boiler:

- pH : 10,5-11,3
- p-alkalinity : 300 - 600 ppm CaCO₃
- m-alkalinity : 500 – 800 ppm CaCO₃
- TDS : maksimum 4000 ppm
- Chlorine ion CL : maksimum 800
- Phosphate iron PO₄ : 20 – 40 ppm

Untuk memenuhi persyaratan di atas, dilakukan pengolahan air sebelum masuk ke dalam boiler. Pengolahan tersebut dilakukan dengan cara melewatkan air baku yang berasal dari sumur bor ditampung ke dalam bak-bak penampungan. Sebelum masuk ke dalam tangki *softener*, air baku tersebut diolah terlebih dahulu melalui teknologi pengolahan air *reverse osmosis*. Rata-rata pemakaian air per hari untuk *steam boiler* Loos sebesar 15,7 m³.

Ketidakmurnian yang terkandung dalam air pengumpan (*feed water*) terkondensasi selama penguapan ion di ketel uap menjadi kotoran dan kerak, pada kasus ekstrim, menyebabkan pelapisan atau buih. Oleh karena itu diperlukan untuk melaksanakan *blow down* pada waktu wajar sedemikian sehingga kondensasi takmurnian dijaga dalam derajat keasaman pada 25 °C (pH 10,5 – 11,3).

b. Data Kondensat Kembali.

Kondensat penting untuk dimanfaatkan karena bertemperatur tinggi, dengan demikian akan mengefisienkan boiler dan rendah kadar oksigennya. Kondensat juga umumnya sebagai air destilasi atau mendekati air murni, sehingga menurunkan TDS air umpan dan pada akhirnya mengurangi *blowdown*. Semakin maksimal penggunaan kondensat, maka semakin menghemat air dan BBM. Kesemuanya itu akan meningkatkan efisiensi boiler secara keseluruhan.

Namun begitu, ada resiko dibalik penggunaan kondensat secara maksimal. Kondensat

mengandung gas-gas O₂, CO₂, dan sebagainya yang berdampak korosif terhadap pipa-pipa kondensat serta peralatannya dan bisa juga terjadi pencemaran *steam* akibat *carry over*. Hasil korosi dari pipa kondensat dapat masuk ke boiler melalui *feed water* yang akan memicu korosi di dalam boiler itu sendiri.

Agar pemanfaatan kondensat (*condensate return*) aman dan tetap efisien, sebaiknya menggunakan *condensate treatment* baik secara *neutralizing* ataupun *filming method*, hal ini ditujukan untuk merawat kondensat agar dapat dimanfaatkan dengan maksimal namun tetap aman bagi boiler.

Di PT. Textile Industry, sistem pemanfaatan uap adalah sekali pakai, sepenuhnya uap yang diproduksi habis terpakai. Air umpan ke boiler dijaga pada temperatur ± 87°C dengan cara memanaskan air dalam tangki umpan dengan menggunakan uap dari boiler sendiri melalui *heat exchanger* yang terpasang di dalam tangki. Kondensat sisa proses di kumpulkan pada bak pengumpul untuk keperluan proses lainnya dan tidak ada kondensat yang dikembalikan ke boiler.

c. Pengukuran Efisiensi Pembakaran.

Temperatur ruang bakar berkisar antara 517°C sampai 610°C. Temperatur gas buang di cerobong berkisar antara 110°C sampai 127 °C dan pada saat pengamatan temperatur tercatat 117°C. Dengan demikian perbedaan temperatur antara ruang bakar dan cerobong asap berkisar antara 440°C sampai 500°C.

Sisa panas gas buang terahir sebelum dilepaskan ke cerobong terlebih dahulu disemprotkan air pada tabung *compound granite water desulfurizing dust scrubber* untuk menangkap debu halus dan menurunkan temperatur gas buang. Air buangan tabung tersebut yang dimanfaatkan untuk keperluan pembersihan fasilitas pabrik.

Pengaturan pada sistim pembakaran adalah dengan mengatur kecepatan umpan yaitu dengan mengatur kecepatan putar roda gigi *stocker* yang dilengkapi dengan *inverter*. Disamping pengaturan pada kecepatan umpan bahan bakar juga dilakukan pengaturan laju aliran udara pembakaran yakni dengan mengatur kecepatan putar motor *FDF* dan *IDF*.

Temperatur operasi oli panas yang keluar dari boiler berkisar antara 231°C sampai 267°C, sementara temperatur oli di sisi masuk berkisar antara 211°C sampai 269°C atau perbedaan temperatur oli panas antara sisi masuk dan sisi keluar adalah 20°C.

Perhitungan dan Analisis Data

Perhitungan dan analisis data dilakukan terhadap parameter-parameter berikut:

a. Rugi-Rugi Energi.

Sebagai yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa beberapa parameter sebagai

indikator unjuk kerja *boiler* tidak tercatat terutama laju pemakaian bahan bakar dan *instrument* yang digunakan untuk memonitor parameter tersebut tidak ada, sehingga potensi penghematan dari sisi operasi *boiler* tidak dapat dievaluasi.

Terdapat sejumlah pipa distribusi ke unit pengguna uap yang tidak terisolasi. Kerugian pada pipa distribusi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{2 \pi L K \Delta T}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$



Gambar 10. Grafik pengaruh pemanasan udara terhadap penghematan bahan bakar

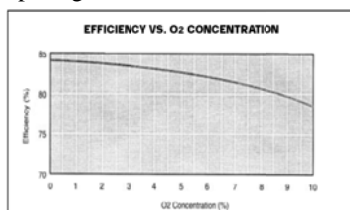
b. Neraca Energi.

Profil produksi tekstil dan bahan bakar yang dikonsumsi untuk membangkitkan uap tidak dapat dievaluasi dengan keterbatasan data yang tersedia. Namun begitu, diketahui bahwa rata-rata pemakaian *oil heater boiler* adalah 4 - 5 hari dalam 1 bulan produksi, sedangkan rata-rata pemakaian *steam boiler* adalah 14 - 15 hari dalam 1 bulan produksi. Untuk konsumsi bahan bakar *steam boiler*, rata-rata konsumsi *natural gas* mencapai 15.700 liter per hari.

c. Efisiensi Boiler dan Faktor yang Mempengaruhinya.

Efisiensi *boiler* merupakan indikator unjuk kerja sistem *boiler* yang sedang dioperasikan dan sangat penting untuk mengetahui efektifitas penggunaan bahan bakar terhadap keluaran yang dapat dimanfaatkan.

Aturan umum yang sering dikatakan oleh ahli-ahli *boiler* yang berpengalaman adalah bahwa efisiensi *boiler* dapat dinaikkan 1% untuk setiap penurunan 15% udara lebih. Hubungan antara efisiensi dan konsentrasi O₂ dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan antara efisiensi dan konsentrasi O₂

Menurut gambar 11, kontrol yang ketat terhadap udara lebih ini mampu menghemat biaya bahan bakar 5% dalam 1 tahun. Beberapa contoh pencapaian yang telah ada seperti di bawah ini menunjukkan bahwa persentase kenaikan *fuel cost* lebih besar daripada persentase penurunan *fuel-to-steam efficiency*.

- 3% penurunan efisiensi menaikkan *fuel cost* 3,8% (85% vs 82%).
- 5% penurunan efisiensi menaikkan *fuel cost* 6,3% (85% vs 80%).
- 7,5% penurunan efisiensi menaikkan *fuel cost* 9,7% (85% vs 77,5%).
- 10% penurunan efisiensi menaikkan *fuel cost* 13,5% (85% vs 75%).

Dengan penurunan *ambient* temperatur, kandungan O₂ meningkat; demikian juga apabila tekanan udara meningkat, kandungan O₂ meningkat dalam volume udara yang sama. Jumlah O₂ di udara adalah berhubungan langsung dengan densitas dan temperaturnya. Tetapi, boiler konvensional hanya dikontrol terhadap volume air. Tabel 6 dibuat dengan mengambil asumsi *setting* awal kelebihan udara adalah 15%, yang secara praktis dipakai pada industri.

Tabel 6. Hubungan *excess air* terhadap temperatur dan tekanan

Air Temperatur	Barometric Pressure	Excess Air Percentage
40°F	-	25.5%
60°F	-	20.2%
80°F	-	15.0% - Initial Setting
100°F	-	9.6%
120°F	-	1.1%
-	27 in.	7.0%
-	28 in.	11%
-	29 in.	15% - Initial Setting
-	30 in.	19.9%
-	31 in.	34.5%

Sumber: Cleaver Brooks, Milwaukee (www.cleaver-brooks.com)

Evaluasi terhadap efisiensi boiler disini hanya dilakukan pada unit *steam boiler* saja. *Natural gas* yang digunakan memiliki nilai kalori 10.000 kcal/kg atau setara dengan 41.870 kJ/kg. Banyaknya *natural gas* yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 ton uap dengan tekanan 8,5 bar adalah 85 liter *natural gas* atau setara dengan 71 kg *natural gas*.

Efisiensi Boiler (E) didefinisikan sebagai:

$$\% E = \frac{\text{Rasio Evaporasi} \times \text{Kandungan Panas dari Uap}}{\text{nilai Kalori Gas}} \times 100$$

dimana:

- Temperatur air sumber 29 °C
- Temperatur air feed water 60 °C
- Laju aliran steam 1.200 kg
- Tekanan uap 8,5 Bar

Entalphi steam	1.576	kJ/kg
Entalphi feed water	377	kJ/kg
Laju konsumsi natural gas	71	kg
Nilai kalori natural gas	41.870	kJ/kg
Rasio evaporasi = steam yang dihasilkan / natural gas yang dipakai = 1.200 / 71 = 17		

$$\% E = \frac{17 \times 1.576}{41.870} \times 100 = 64 \%$$

IV. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dari uraian dan analisis yang telah dilakukan di atas, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai potensi penghematan energi sistem termal:

- Pemanfaatan kondensat. Kondensat memiliki keunggulan untuk dimanfaatkan karena bertemperatur tinggi dan rendah kadar oksigen serta TDS-nya. Efisiensi *boiler* dapat dinaikkan 1% untuk setiap penurunan 15% kadar oksigen. Semakin maksimal penggunaan kondensat, maka semakin menghemat air dan BBM, sehingga akan meningkatkan efisiensi boiler secara keseluruhan. Pemanfaatan kondensat mampu menghemat biaya bahan bakar sekitar 5% dalam 1 tahun.
- Instalasi *air preheater*. Gas buang boiler dapat dimanfaatkan untuk memanaskan udara pembakaran sebagai *air preheater*. Instalasi *air preheater* untuk memanaskan udara pembakaran dapat menghemat konsumsi bahan bakar pada boiler. Setiap kenaikan temperatur udara pembakaran sebanyak 37,5°C akan memberikan penghematan bahan bakar sebanyak 1%.
- Perbaikan isolasi pipa distribusi uap. Terdapat sejumlah pipa distribusi ke unit pengguna uap yang tidak terisolasi dengan baik. Dengan nilai kalori natural gas 10.000 kcal/kg, energi yang dapat dihemat untuk setiap panjang pipa 100 m yang berdiameter 20 cm bila dibalut dengan bahan isolasi setebal 5 cm adalah setara dengan penghematan 400 liter natural gas per bulan.
- Pemasangan *flowmeter*. Pemasangan *flowmeter* pada jalur suplai pipa uap dan suplai pipa oli panas akan sangat membantu dalam memonitor performansi *boiler*. Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi steam boiler saat ini adalah 64%. Rendahnya efisiensi steam boiler dipengaruhi oleh nilai rasio evaporasi yang tidak sebanding dengan nilai kalori dari natural gas. Dengan memonitor performansi boiler diharapkan ada peningkatan efisiensi sebesar 3%, yang akan menurunkan *fuel cost* 3,8%.

DAFTAR PUSTAKA

- ESCAP, (1998). *Cogeneration: Pollution Control and Energy Efficiency*. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.
- Felder, R.M. and Rousseau, R.W., (1994). *Elementary Principles of Chemical Processes*. North Carolina State University, USA.
- JICA and ECCJ. (2002). *Energy Efficiency and Conservation*. Textbook, Page 2 of 5, Japan.
- Perry and Green. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. 6th Edition.
- Smith, J.M., Van Ness, H.C. and Abbott, M.M. (1996). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 5th Edition, International Edition, USA.
- Sorensen, H.A., (1983). *Energy Conservation System*. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Smith, C.B., (1981). *Energy Management Principles*. Pergamon Press.

Proses Kultivasi *Spirulina Platensis* Menggunakan POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Sebagai Media Kultur Dalam *Raceway Open Pond* Bioreaktor

Abdullah, Elisa Mutiahdan Erlinda Khoirunisa

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Soedarto, SH. Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058
Email:

Abstrak -- Penelitian dilakukan dengan mengkultivasi *Spirulina platensis* pada media POME menggunakan *raceway open pond bioreactor* selama 5 hari. Penelitian dengan variabel konsentrasi POME (pengenceran 3×, 4×, 5×) dan kepadatan umpan *Spirulina platensis* (0.443 g/L; 0.618 g/L; 0.952 g/L) ini, bertujuan untuk mempelajari pengaruh variabel tersebut terhadap pertumbuhan *Spirulina platensis* dan mengetahui perpaduan yang paling baik untuk kedua variabel yang dipelajari. Respon yang diambil adalah biomassa kering dari *Spirulina platensis*. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa untuk konsentrasi POME dengan pengenceran 5× memberikan biomassa kering *Spirulina platensis* paling baik yaitu mencapai 0.7592 g/L. Sedangkan pada kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang memberikan biomassa kering paling baik mencapai 0.9932 g/L adalah kepadatan umpan 0.443 g/L. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan biomassa paling baik dari *Spirulina platensis*, digunakan konsentrasi POME dengan pengenceran 5× menggunakan umpan *Spirulina platensis* pada kepadatan 0.443 g/L. Dari penelitian ini, diharapkan dilakukan penelitian lanjutan untuk waktu kultivasi yang lebih lama sehingga dapat menjadi kontribusi bagi upaya budidaya *Spirulina platensis* untuk dimanfaatkan dalam bahan makanan, pakan, kecantikan, dan kesehatan.

Kata kunci : *Spirulina platensis*, POME, kultivasi, biomassa kering.

I. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya konsumsi minyak sawit dunia yang mencapai 26%, produksi minyak sawit mentah di Indonesia terus meningkat. Hal ini menyebabkan terus meningkatnya keberadaan limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair minyak sawit mentah atau yang biasa disebut dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) disinyalir masih mengandung mineral-mineral yang masih dapat dimanfaatkan (Hanum, 2009).

Disisi lain, konsumsi mikroalga dalam berbagai bidang semakin meningkat. Salah satu mikroalga yang dapat tumbuh pada rentang kondisi yang luas dan

memiliki banyak manfaat adalah *Spirulina platensis*. Mikroalga ini termasuk makhluk hidup autotrof yang berwarna kehijauan, kebiruan, dengan sel berkolom membentuk filamen terpilin menyerupai spiral (*helix*). *Spirulina platensis* biasanya ditemukan pada tempat-tempat yang lembab atau lahan yang sering terkena air dan dapat hidup hampir di semua tempat yang memiliki cukup sinar matahari, air dan CO₂ (Hariyati, 2008).

Dalam usaha mengkultivasi *Spirulina platensis*, terdapat 3 jenis reaktor kultivasi yaitu tangki fermentasi, *open pond bioreactor*, dan *photobioreactor*. Untuk skala besar digunakan *open pond bioreactor* dan untuk skala kecil digunakan tangki fermentasi serta *photobioreactor*. Dari ketiga reaktor tersebut, yang sering dipilih adalah *open pond bioreactor* yang tergolong mudah dan murah dalam hal pemeliharaan.

Pada penelitian sebelumnya perlakuan terhadap POME telah dilakukan oleh Vairappan dan Yen, 2008 yaitu dengan memanfaatkan POME sebagai media kultivasi bagi *Isochrysis sp* dan *Nanochloropsis sp*. Saat ini, mikroalga yang sedang prospektif untuk dikultivasi adalah *Spirulina platensis*. Mikroalga ini banyak dimanfaatkan di bidang kesehatan, pangan, biomassa, dan energi. Disamping itu, *Spirulina platensis* juga memiliki rentang hidup yang luas di permukaan bumi ini. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari laju pertumbuhan *Spirulina platensis* dalam POME menggunakan *open pond bioreactor*.

II. BAHAN DAN METODOLOGI

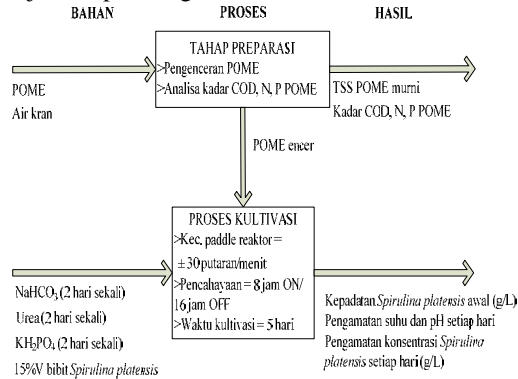
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : POME, soda kue (NaHCO₃), urea, KH₂PO₄, *Spirulina platensis*, indikator pH, kertas saring, air kran.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *open pond bioreactor*, termometer, gelas ukur, beaker glass, saringan pompa vakum, corong, ember

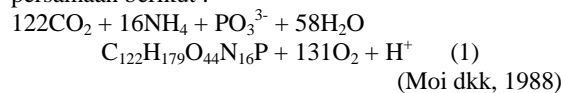
Dalam melakukan penelitian, terdapat dua variabel yang diuji. Variabel tersebut adalah konsentrasi POME (pengenceran 3×, 4×, 5×) dan kepadatan umpan *Spirulina platensis* (0.443 g/L; 0.618 g/L; 0.952 g/L). Respon yang diambil dari penelitian ini adalah biomassa kering dari *Spirulina*

platensis dalam 1 L media biaknya (konsentrasi *Spirulina platensis*, g/L). Pengukuran biomassa kering ini dilakukan setiap hari selama 5 hari. Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat *raceway open pond bioreactor* dengan kecepatan *paddle* ± 30 putaran/menit. Dilakukan pencahayaan pada alat dengan menggunakan lampu neon *Philips 18 watt* selama 8 jam sehari (8 jam ON/16 jam OFF). Dalam setiap variabel, ditambahkan bibit *Spirulina platensis* sebanyak 15%V dengan kepadatan tertentu sesuai dengan variabel yang ditentukan.

Langkah-langkah percobaan secara garis besar ditunjukkan pada bagan berikut.



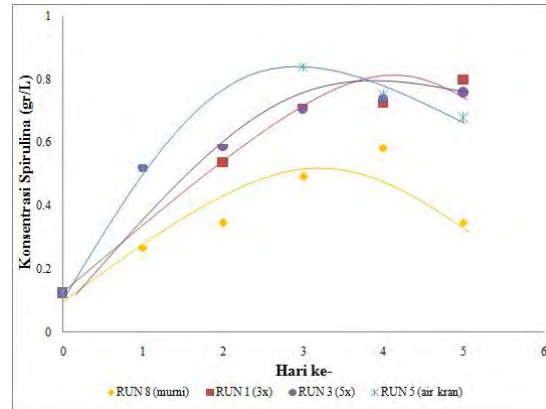
Budidaya *Spirulina platensis* memerlukan nutrien C, H, O, N, P dan K untuk melakukan fotosintesis. Secara stoikiometri, kebutuhan nutrien untuk melakukan fotosintesis disajikan pada persamaan berikut :



III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh penggunaan POME sebagai media budidaya *Spirulina platensis*

Pada penelitian ini, salah satu variabel yang berpengaruh adalah penggunaan POME sebagai media kultur *Spirulina platensis*. Dimana dilakukan pengenceran terhadap konsentrasi POME murni yaitu 3× dan 5× pengenceran. Sebagai kontrol terhadap perlakuan ini, dilakukan kultivasi *Spirulina platensis* pada air kran dan juga pada POME murni. Pada penelitian ini konsentrasi umpan *Spirulina platensis* yang dimasukkan adalah 0.952 g/L sebanyak 15% V dari total volum media kultivasi. Waktu kultivasi dilakukan selama 5 hari, dimana untuk pengamatan dilakukan pengambilan sampel setiap hari untuk mendapatkan biomassa kering dari *Spirulina platensis*.



Gambar 1. Grafik Konsentrasi *Spirulina platensis* pada media kultivasi yang berbeda

Gambar 1 menunjukkan profil konsentrasi pertumbuhan *Spirulina platensis* pada berbagai variasi media kultur dengan waktu kultivasi selama 5 hari. Terlihat dari Gambar 3.1 dari berbagai variasi media kultur yang digunakan, bahwa pada media kultur berupa POME dengan pengenceran 5× memperlihatkan profil pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan media kultur yang berupa POME dengan pengenceran 3×. Pada POME dengan pengenceran 5× konsentrasi *Spirulina platensis* yang diperoleh terus meningkat hingga hari terakhir kultivasi dengan perolehan konsentrasi sebesar 0.7592 g/L. Pada media kultivasi POME dengan pengenceran 3× didapatkan profil konsentrasi *Spirulina platensis* yang juga terus meningkat. Namun, pada fase eksponensial dari pertumbuhan *Spirulina platensis* keduanya didapatkan konsentrasi *Spirulina platensis* pada media kultur POME dengan pengenceran 5× lebih banyak dibandingkan konsentrasi *Spirulina platensis* pada POME dengan pengenceran 3×. Sebagai pengontrol, dilakukan kultivasi *Spirulina platensis* dengan media kultur air kran dan juga POME murni. Dari Gambar 3.1, diperoleh data bahwa dengan media kultur air kran menghasilkan konsentrasi *Spirulina platensis* yang paling tinggi. Sedangkan pada media kultur POME murni diperoleh konsentrasi *Spirulina platensis* yang paling rendah dan sudah memasuki fase kematian setelah hari ke-3 kultivasi.

Melihat dari hasil yang ditampilkan pada Gambar 1, hal ini dikarenakan *Spirulina platensis* merupakan mikroalga yang melakukan fotosintesis untuk tumbuh dan berkembang. Faktor utama yang dibutuhkan adalah keberadaan sinar matahari (sinar UV), CO₂ dan nutrisi pendukung. Sedangkan media kultur yang digunakan adalah POME yang berwarna gelap dan mengandung padatan terlarut. Keberadaan POME sebagai media ini menjadikannya penghalang cahaya untuk digunakan secara langsung oleh *Spirulina platensis* untuk melakukan fotosintesis. Apabila konsentrasi POME sebagai media kultivasi yang terdapat di medium tinggi, yang menyebabkan

medium lebih gelap maka pertumbuhan *Spirulina platensis* akan mengalami penurunan.

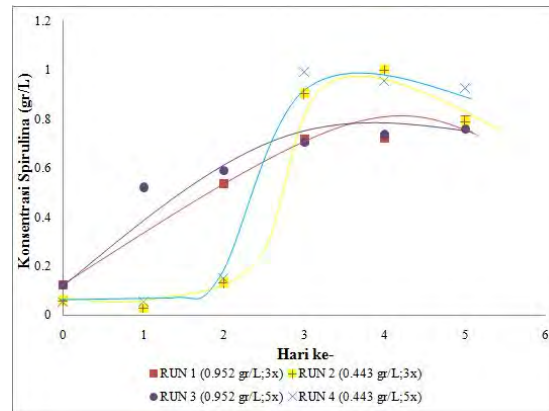
Terdapat penelitian lain yaitu tentang kultivasi *Spirulina platensis* dalam skala laboratoris pada media air oleh Hariyati (2008). Oleh Hariyati, dilaporkan bahwa terjadi fase percepatan *Spirulina platensis* pada hari kedua sampai hari kelima dan fase perlambatan pada hari keenam sampai hari ketujuh. Terlihat bahwa, pada media air dan POME, tidak terdapat perbedaan waktu untuk fase kelambanan (penyesuaian terhadap lingkungan baru). Namun, untuk media POME pada hari keempat sudah mengalami fase perlambatan. Sedangkan untuk media air, hari keempat masih termasuk masa percepatan *Spirulina platensis*. Pemanenan *Spirulina platensis* dilakukan pada saat pertumbuhan maksimalnya. Sehingga pemanenan dilakukan pada hari ketiga (untuk media POME) dan pada hari kelima (untuk media air).



Gambar 2. Dokumentasi Hasil Kultivasi Run 1 (kiri) dan Run 3 (kanan)

Pengaruh Kepadatan Umpan *Spirulina platensis*

Kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang dikaji adalah 0.443 g/L; 0.618 g/L; 0.952 g/L. Penentuan berdasarkan biomassa kering *Spirulina platensis* dalam 1 L air. Dilakukan pengambilan sebanyak 100 mL dari induk *Spirulina platensis*, kemudian disaring menggunakan saringan pompa vakum dan dikeringkan. Kultivasi dilakukan selama 5 hari dengan pengambilan sampel setiap hari. Data hasil kultivasi selama 5 hari, disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 3. Grafik Konsentrasi Spirulina pada Umpan *Spirulina platensis* yang berbeda

Pada Gambar 3, disajikan bahwa dengan kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang lebih sedikit dapat menunjukkan pertumbuhan yang baik. Pada variabel pengenceran POME yang sama (5×), kepadatan umpan 0.443 g/L memiliki kurva pertumbuhan yang lebih bagus dibandingkan dengan kurva pertumbuhan pada kepadatan umpan 0.952 g/L. Sehingga, pada kurva RUN 4 dengan variabel pengenceran POME 5× dan kepadatan umpan 0.443 g/L memberikan hasil pertumbuhan yang paling baik.

Konsentrasi *Spirulina platensis* yang digunakan pada awal kultivasi sebanyak 0.0578 g/L. Dalam waktu satu hari jumlahnya mencapai 0.0582 g/L. Selama waktu tersebut *Spirulina platensis* menunjukkan fase kelambanan (lag fase), yaitu tahap dimana sel-sel *Spirulina platensis* menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya. Pada pengamatan hari kedua sampai hari ketiga, jumlah *Spirulina platensis* mengalami kenaikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan *Spirulina platensis* berada pada fase percepatan (fase eksponensial). Pada fase ini sel-sel *Spirulina platensis* mengalami pembelahan. Adanya pembelahan sel ini menyebabkan pertumbuhan *Spirulina platensis* berjalan dengan cepat. Jumlah *Spirulina platensis* berturut-turut dari hari kedua sampai hari ketiga adalah 0.1532 g/L; 0.9932 g/L.

Pada hari keempat sampai hari kelima pertumbuhan *Spirulina platensis* mengalami fase perlambatan, dimana jumlahnya sebanyak 0.9572 gr/L dan 0.9282 gr/L. Hal ini disebabkan karena dengan jumlah nutrisi yang sama, digunakan oleh lebih banyak *Spirulina platensis* sehingga terjadi kompetisi penggunaan nutrisi yang semakin ketat dan mengakibatkan pertumbuhan *Spirulina platensis* yang kurang maksimal. Dalam hal ini, sel-sel *Spirulina platensis* masih dapat membelah tetapi jumlah tidak sebanyak pada fase percepatan. Kompetisi nutrisi ini akan mengakibatkan pertumbuhan lambat dan melemahkan kondisi sel sehingga jumlah kepadatan sel menurun (Hermanto dkk, 2011). Kadar nutrisi yang rendah dalam media akan menurunkan produktivitas sel mikroalga.

Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Spirulina platensis* adalah intensitas cahaya untuk mendukung proses fotosintesis. Pada jumlah cahaya yang sama, dengan kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang berbeda akan menimbulkan transfer cahaya yang berbeda pula. Transfer cahaya akan lebih baik apabila dengan kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang sedikit. Hal ini dikarenakan, pada kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang banyak, cahaya yang akan masuk ke dalam media kultur *Spirulina platensis* akan terhalangi oleh *Spirulina platensis* itu sendiri sehingga ada *Spirulina platensis* yang tidak memperoleh cahaya dengan cukup dan akhirnya menurunkan produktivitas mikroalga. Dalam penelitian ini, penggunaan waktu kultivasi 5 hari menimbulkan kemungkinan tidak terikut fase stasioner pada pertumbuhan *Spirulina platensis*.

Dapat disimpulkan bahwa, laju pertumbuhan *Spirulina platensis* akan lebih baik apabila dengan jumlah umpan *Spirulina platensis* yang lebih sedikit dengan konsentrasi POME yang lebih sedikit juga. Dalam penelitian ini, pada konsentrasi umpan 0.443 g/L dan pada pengenceran POME 5×



Gambar 4. Dokumentasi Run 4 (kiri) dan Run 2 (kanan)

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan antara lain:

1. Konsentrasi POME untuk media kultur *Spirulina platensis* yang paling baik adalah POME dengan 5× pengenceran.
2. Kepadatan umpan *Spirulina platensis* yang paling baik adalah pada konsentrasi 0.443 g/L
3. Kondisi yang dapat menghasilkan *Spirulina platensis* yang paling baik (pada penelitian ini) adalah pada POME dengan 5× pengenceran dan kepadatan umpan *Spirulina plantesis* 0.443 g/L

DAFTAR PUSTAKA

- Chrismadha, T, Panggabean, L.M, Mardiaty, Y. 2006. *Pengaruh Konsentrasi Nitrogen dan Fosfor terhadap Pertumbuhan, Kandungan Protein, Karbohidrat dan Fikosianin pada Kultur Spirulina fusiformis*. LIPI Bogor
- Costa, J.A.V, Colla, L.M, Filho, P.D. 2002. *Spirulina plantesis Growth in Open Raceway Ponds Using Fresh Water Supplemented with Carbon, Nitrogen and Metal Ions*, Laboratoriode Engenharia Bioquimica, Departamentode Quimica, Fundacao Universidade. Rio Grande. Brasil
- Habib, M.A.B, Parvin, M. 2008. *A Review On Culture, Production And Use of Spirulina As Food For Humans And Feeds For Domestic Animal And Fish*. Department of Aquaculture Bangladesh Agricultural University Mymensingh. Bangladesh
- Hanum, F. 2009. *Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dari Unit Deoiling Ponds Menggunakan Membran Mikrofiltrasi*, M.T. Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan
- Hariyati, R. 2008. *Pertumbuhan dan Biomassa Spirulina sp dalam Skala Laboratoris*. Laboratorium Ekologi dan Biosistemik Jurusan Biologi FMIPA Undip, BIOMA, Juni 2008, ISSN: 1410-8801, Vol. 10, No. 1, Hal. 19-22.
- Hermanto, M.B, Sumardi, Hawa L.C, Fiqtinovri, S.M. 2011. *Perancangan Bioreaktor Untuk Pembudidayaan Mikroalga*. Jurusan Keteknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Muzar, A. 2008. *Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit terhadap Tanah Ultisol Dan Pengaruhnya pada Tanaman Kedelai*. Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Jambi .J. Agrivigor 80): 24-32, September-Desember 2008; ISSN 1412-2286.
- Schmauder, H.P, 1997. *Methods in Biotechnology*, Taylor & Francis Ltd., London.
- Sethupathi, S. 2004. *Removal Of Residue Oil From Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Chitosan*, M.Sc. Thesis, Universiti Sains Malaysia
- Siregar, Parpen. 2009. [Produksi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Dengan Digester Anaerob](http://uwityangyoyo.wordpress.com/2009/04/11/produksi-biogas-melalui-pemanfaatan-limbah-cair-pabrik-minyak-kelapa-sawit-dengan-digester-anaerob/). (<http://uwityangyoyo.wordpress.com/2009/04/11/produksi-biogas-melalui-pemanfaatan-limbah-cair-pabrik-minyak-kelapa-sawit-dengan-digester-anaerob/> diakses tanggal 19 Maret 2011)
- Vairappan, C.S, Yen, A.M. 2008. *Palm oil mill effluent (POME) cultured marine microalgae as supplementary diet for rotifer culture*. J Appl Phycol (2008) 20:603–608, DOI 10.1007/s10811-007-9305-1
- Wen, Z. 2010. *Algae for Biofuel Production*. Biological Systems Engineering Department, Virginia Tech(<http://www.extension.org/pages/26600/algae>)

-for-biofuel-production, diakses tanggal 27 Maret 2011)
http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae/growing_algae/reactor/diakses tanggal 23 Maret 2011
http://www.algae.wur.nl/UK/technologies/production/heterotrophic_organisms/diakses tanggal 23 Maret 2011
http://www.algae.wur.nl/UK/technologies/production/open_systems/diakses tanggal 23 Maret 2011

Rancangan Dasar Energi PLTAMH DAS Bogowonto dan Serayu Kabupaten Wonosobo

Muhamar Kadaffi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

Email : mkadaffioke@gmail.com

Abstrak -- Rancangan dasar peralatan Elektro Mekanik (EM) lebih diarahkan kepada penentuan jenis turbin, kapasitas perahangkit dan jumlah unit yang telah disesuaikan dengan pola operasi PLTMH, kondisi beban dan ekonomis. Rancangan dasar peralatan elektro mekanik bersifat pembuatan kriteria untuk menyusun spesifikasi teknik yang diarahkan kepada standarisasi. Pengertian standarisasi pada mikrohidro adalah memiliki type, kapasitas, putaran dan tegangan pada peralatan utama (turbin, governor, generator dan travo) yang mengarah kcpada desain khusus yang mengakibatkan harga peralatan menjadi mahal.

Kata kunci
:Turbin,PLTMH,Mikrohidro,Tegangan

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi Sumber Daya Energi Primer yang sangat berlimpah. Sumber energi tersebut meliputi sumber daya energi terbarukan dan sumber energi tak terbarukan, Khusus untuk sumber energi terbarukan yaitu angin, surya, air, geotermal sampai biomassa, Indonesia memiliki potensi yang sangat berlimpah. Namun demikian, hingga sekarang, energi terbarukan tersebut baru memasok satu persen energi listrik masyarakat.

Dengan minimnya cadangan minyak bumi Indonesia, maka pemanfaatan energi alternatif non migas harus ditingkatkan. Hal tersebut diharapkan dapat mengurangi laju pengerukan sumberdaya energi tak terbarukan khususnya minyak bumi dan gas bumi. Dari sisi lain upaya tersebut diharapkan mampu untuk mempertahankan kualitas lingkungan. Hal tersebut berkaitan dengan Protokol Kyoto. Dalam protokol tersebut disepakati untuk mereduksi kerusakan lingkungan, terutama pencemaran udara akibat penggunaan bahan bakar fosil. Berkaitan dengan hal tersebut di atas, maka pemanfaatan sumber daya energi primer yang dapat diperbarui layak didorong dan hal tersebut tenuous pada Kebijakan Energi Nasional (KEN). Dalam hal ini, Pemerintah menetapkan target untuk pengembangan energi jangka panjang dan menargetkan penggunaan energi terbarukan sebanyak 25% pada tahun 2025. Sebagai wujud realisasi, maka pemanfaatan sumber energi

primer terbarukan mulai digalakkan. Sebagai contoh adalah pembangunan PLTA dan PLTM yang diharapkan mampu mereposisi fungsi PLTD yang memiliki biaya operasional sangat tinggi dan mengurangi laju pengurangan bahan bakar minyak.

Pemerintah dan masyarakat Kabupaten Wonosobo bermaksud ikut sena berperan aktif untuk memanfaatkan energi terbarukan khususnya tenaga air. Potensi tenaga air cukup melimpah di wilayah Kabupaten Wonosobo. Potensi ini akan terbuang percuma bila tidak dimanfaatkan secara tepat. Untuk melihat seberapa besar potensi yang dimiliki, diperlukan studi potensi tenaga hidrohidro power di Kabupaten Wonosobo. Studi ini dimaksudkan untuk memanfaatkan potensi tenaga air di sungai DAS Serayu dan DAS Bogowonto, sehingga dapat berguna bagi pemerintah dan masyarakat Kabupaten Wonosobo.

Sedangkan tujuan peulisan ini adalah untuk mengetahui berapa banyak jumlah titik-titik potensi listrik tenaga air yang ada di DAS Serayu dan DAS Bogowonto, sehingga mendapatkan potensi energi listrik tenaga air dalam rangka memenuhi kebutuhan energi yang murah dan terbarukan untuk Kabupaten Wonosobo dan sekitarnya yang diharapkan dapat ikut menunjang pengembangan ekonominya rakyat

II. TINJAUAN PUSTAKA Umum

Standar / syarat kelayakan adalah standar minimum yang dimiliki secara alamiah oleh suatu lokasi potensi PLTMH. Dimana lokasi potensi memiliki secara alami komponen-komponen sistem skema PLTMH seperti adanya :

- Sumber mata air atau *catchment area* yang memenuhi standar kelayakan hidrologi (Buku 2A).
- Terdapat aliran sungai dengan debit air (minimal 1.0-3.0 meter/detik) yang cukup dan diperkirakan dapat memenuhi standar kelayakan hidrologi (Buku Pedoman 2A).
- Secara kasar dan kasat mata dilokasi potensi terdapat lokasi potensi komponen dari sistem skema PLTMH seperti wilayah sungai yang bisa dibangun bendungan, *intake*, bak pengendap, saluran pembawa (misal dengan *gradient* 1/100 – 1/1500), kondisi topografi yang mendukung pembuatan *penstock* atau secara alami ada *head*.

- d. Kondisi dan stabilitas tanah calon lokasi-lokasi komponen sipil sistem skema PLTMH diperkirakan dapat dan tidak memerlukan teknologi yang mahal untuk mendirikan bangunan sipil (Buku Pedoman 2E).
- e. Akses lokasi komponen bangunan sipil dapat ditempuh dengan teknologi yang mahal, dan jika didirikan bangunan sipil tidak melanggar ketentuan adat, hukum dan regulasi yang berlaku.
- f. Lokasi yang akan didirikan bangunan sipil tidak mengganggu kelestarian lingkungan (Buku Pedoman 2H).
- g. Lokasi yang akan didirikan bangunan sipil tidak menimbulkan dampak negatif sosial masyarakat yang berkepanjangan (Buku Pedoman 2F).

Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi diperlukan untuk mengetahui potensi air sepanjang tahun sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Definisi Umum Bendung

Bendung secara umum didefinisikan sebagai bangunan air yang dibangun agar airnya lebih tinggi dandiklasifikasikan berdasarkan fungsinya, konstruksinya dan sifatnya.

Konsep Dasar Sisa Air

Konsep penentuan sisa air pada dasarnya menunjukkan selisih antara jumlah air yang masuk ke sistem atayang tersedia, dan yang keluar dari sistem tertentu:



Gambar 1. Skema Penentuan Sisa Air

Secara umum untuk menentukan sisa air dengan persamaan :

$$\Delta S = I - O \dots\dots\dots (1)$$

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi ini meliputi pemenuhan kebutuhan air untuk keperluan pertanian secara umum. Dengan demikian kebutuhan air irigasi bisa dinyatakan dengan rumus :

$$IR = (ET + Pd + P + I) - R \dots\dots\dots (2)$$

Curah Hujan Efektif

Biasanya irigasi tanaman padi curah hujan efektif diambil 70% dari curah hujan probabilitas 80%

$$\dots\dots\dots (3)$$

Cara perhitungannya :

- 1. Mengurutkan data curah hujan tahunan dari kecil ke besar
- 2. Menentukan tahun dasar perencanaan (basic year) dengan probabilitas 80% yang dirumuskan
 $\dots\dots\dots (4)$

Kebutuhan Penyiapan Lahan

Metode yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air selama penyiapan lahan menggunakan metode Van de goor dan Zijstra dengan persamaan :

$$L_p = M \frac{e^k}{e^k - 1} \dots\dots\dots (5)$$

$$M = E_o + P \dots\dots\dots (6)$$

$$K = \frac{M.T}{S} \dots\dots\dots (7)$$

Perkolasi (P)

Besarnya Perkolasi ditentukan sebesar 2mm/hr (sesuai KP)

Kebutuhan Air Tanaman

Besar kebutuhan air tanaman dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$ET = ET_{axk} \dots\dots\dots (8)$$

Pola Tanam Dan Jadwal Tanam

Berdasarkan pola tanam, perkiraan kebutuhan air irigasi dihitung:

- 1. Kebutuhan air selama penyiapan lahan
- 2. Kebutuhan bersih air disawah untuk padi

$$NFR = IR + Etc + P - R_e + WLR \dots\dots (9)$$

Kebutuhan air pengambilan

$$DR = \frac{NFR}{0.864} \dots\dots\dots (10)$$

Debit Andalan Daerah Aliran

Sungai Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya resiko kegagalan tertentu. Dalam studi ini perhitungan debit andalan menggunakan Metode distribusi Log Pearson Type III. Langkah-langkah perhitungan debit andalan yaitu meranking data mulai dari kecil ke besar kemudian menggunakan metode frekwensi Log Pearson Tipe III adalah sebagai berikut :

$$\text{buah } X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

$$\text{menjadi } \text{loq } X_1, \text{loq } X_2, \text{loq } X_3$$

$$\dots, \text{loq } X_n.$$

Hitung rata-ratanya dengan rumus :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log} X_i}{n} \dots\dots\dots(11)$$

3. Menghitung harga simpangan bakunya an :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(12)$$

4. Menghitung koefisien kemiringan Skewness dengan persamaan :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^3}{(n-1)(n-2).S^3} \dots\dots\dots(13)$$

5. Menghitung logaritma debit keandalan menggunakan persamaan

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + G.S \dots\dots\dots(14)$$

Harga-harga G dapat diambil dari Tabel tabel koefisien skewnes frekwensi log person type III .

6. Cari antilog dari X untuk mendapatkan debit andalan dari peluang yang sesuai.
7. Kemudian dilakukan uji apa sesuai dengan distribusi.

Kebutuhan Air PLTA

Dilakukan dengan tiga cara yaitu

1. Menentukan selisih air yang digunakan untuk seluruh daerah irigasi dengan ketersediaan air
2. Menentukan selisih air yang digunakan hanya pada daerah irigasi Unaasi dengan ketersediaan air
3. Menggunakan debit ketersediaan artinya kebutuhan irigasi dianggap nol.

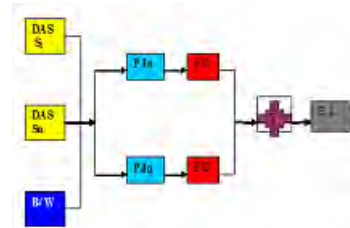
Energi PLTA

Pembangkit tenaga air adalah suatubentuk perubahan tenaga air k arena ketinggian dan debit tertentu dirubah menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin dan generator.

$$P = 9,8. H_{ef}. Q \eta \dots\dots\dots(15)$$

Analisa Energi Listrik

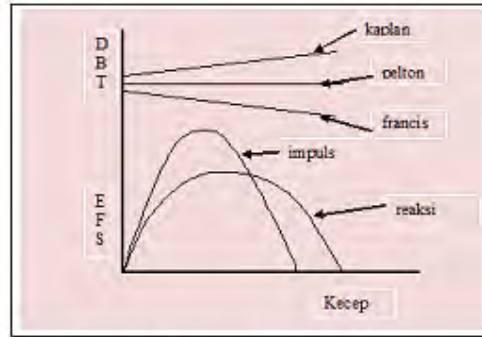
Sistem terjadinya energi disajikan pada gambar 2.7 dibawa ini :



Gambar 2. Proses Terjadinya E.L

Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dapat dibedakan diantaranya : T.Francis, T.Pelton, T.Kaplan dan T.



Gambar 2.8 Karakteristik Utama Turbin

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam tesis ini adalah dengan cara survey, yaitu dengan mengumpulkan data-data yang sesuai untuk kemudian dianalisis. Beberapa data yang menunjang sesuai judul adalah sebagai berikut : hidrologi, bendung, klimatologi, irigasi, dan keb.E.L.

Analisa Data

Analisa data dalam menganalisa Energi PLTA dari DAS Serayu/Bogowoto adalah berupa

1. Analisa Debit sungai Konawehea untuk mengetahui debit andalan.
2. Data ukuran Bendung , hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar energi yang akan dihasilkan .
3. Inflow dan outflow untuk mengetahui sisa ketersediaan airnya.

IV. PEMBAHASAN

Perhitungan Debit Andalan

Perhitungan Debit Andalan Untuk perhitungan diambil salah satu contoh bulan Januari.

- Jumlah data n = 9
- Kemudian dirangkin dari kecil ke besar dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perhitungan Debit Andalan Bulan Januari

n	th	Januari	Log Q	p=(n/n+1)*100%
1	1993	31176	4,49382039	0,10
2	1994	32178	4,50755905	0,20
3	1992	32567,5	4,51278442	0,30
4	1996	34878,8	4,54256153	0,40
5	2000	37115	4,56954946	0,50
6	1999	38421	4,58456866	0,60
7	1998	45402,8	4,65708264	0,70
8	1997	50156	4,70032289	0,80
9	1995	71113,3	4,85195083	0,90

Sumber: Hasil Perhitungan

Harga rata-rata :

$$\overline{\text{Log}Q} = 4,602$$

Harga simpangan baku :

$$(S) = \sqrt{\frac{0,1086}{9-1}} = 0,1165$$

Koefisien Skewness :

$$(Cs) = \frac{9 \times (0,00127)^3}{(9-1) \times (9-2) \times (0,1165)^3} = 1,387$$

Untuk peluang 80% dengan cara interpolasi $G = -0,833$

• Harga G tersebut dimasukkan dalam persamaan :

$$\text{Log} Q = \text{Log} Q + G \cdot S$$

$$Q = 31985,7 \text{ lt/dt}$$

$$= 31,99 \text{ m}^3/\text{s}$$

Uji kesesuaian distribusi

1. Smirnov Kolmogorof Test Untuk tahun 1993 ; Q = 31176 lt/dt, Log Q rerata = 4,602, Simpangan baku S=0,1165, Skewness Cs = 1,387 Menentukan G :

$$\text{Log} X = \overline{\text{Log}X} + G \cdot S$$

$$G = -0,929$$

Berdasarkan tabel Log Pearson tipe III didapat Pr = 85% = 0,85 berarti Pt untuk tahun 1993 sebesar 1- 0,85 = 0,15 Dengan cara yang sama bisa dicari harga Pt untuk tahun-tahun yang lain hasilnya seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Smirnov-Kolmogorof

n	Th	Januari	Pe	Pr	pt	Pe-Pt	Pe-Pt
1	1993	31176	0,1	0,85	0,15	-0,05	0,05
2	1994	32178	0,2	0,75	0,25	-0,05	0,05
3	1992	32567,5	0,3	0,73	0,27	-0,03	0,03
4	1996	34878,8	0,4	0,7	0,3	-0,1	0,1
5	2000	37115	0,5	0,65	0,35	-0,15	0,15
6	1999	38421	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2
7	1998	45402,8	0,7	0,35	0,65	0,05	0,05
8	1997	50156	0,8	0,24	0,76	0,04	0,04
9	1995	71113,3	0,9	0,19	0,81	0,09	0,09

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel di atas didapat (maks = 0,2)

Dengan jumlah data n = 9 dan α = 5 % dari tabel Smirnov- Kolmogorof didapat CR = 0,432.

Karena nilai max < Cr berarti data sesuai dengan Distribusi Log Pearson III

2. Uji Chi Square

Menentukan jumlah kelas : k = 1 + 3,322 Log 9 = 5 kelas Menentukan interval kelas : 100%/5 = 20 %

$$P = 20\% \quad G = 0,708 \quad Q = 48359,5$$

$$P = 40\% \quad G = 0,1 \quad Q = 41081,9$$

$$P = 60\% \quad G = -0,4 \quad Q = 35925,3$$

$$P = 80\% \quad G = -0,83 \quad Q = 31985,7$$

Menentukan derajat bebas

$$v = k - 1 - h$$

$$= 5 - 1 - 2 = 2$$

Fteoritis k = 9/5 = 1,8 Perhitungan X² ht dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Pengujian Chi Square

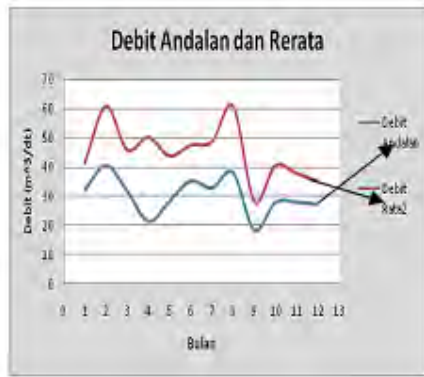
Ivo	Batas Kelas	Jumlah Data	Fe	Ft	Fe - Ft	(Fe - Ft) ² /Ft
1	0,000 - 3,199	1	1,8	0,8	-1,0	0,36
2	3,199 - 3,593	3	1,8	1,2	0,6	0,30
3	3,593 - 4,108	2	1,8	0,2	1,6	0,02
4	4,108 - 4,840	1	1,8	0,8	-1,0	0,36
5	4,840 - ~	2	1,8	0,2	1,6	0,02
	Jumlah	9	9			1,56

Dik : X² hitung = 1,56

X² tabel = 11,07

Karena X² ht < X² tb

Berarti data diterima. Dengan cara yang sama, seperti contoh hasil perhitungan debit andalan dengan peluang 80% untuk bulan-bulan yang lain dapat dihitung dan model grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Debit Andalan 80 %

dan Debit Rata-rata Perhitungan Curah Hujan Efektif Analisa dengan menggunakan Metode Tahun Dasar perencanaan pada keandalan 80 %.

Sehingga untuk menentukan tahun dasar perencanaan digunakan persamaan :

$$R_{80} = n/5 + 1$$

Dimana n = banyaknya data = 13

$$R_{80} = 13/5 + 1 = \sim 4$$

Berarti yang dipakai sebagai dasar perencanaan adalah data hujan tahunan urutan ke 4, yaitu tahun 1989. Khusus untuk Padi diambil berdasarkan probabilitas 70 % dari curah hujan 1/2 bulanan Untuk perhitungan curah hujan efektif Padi

$$R_{ef (PADI)} = \frac{R_{80} \cdot 70\%}{15}$$

- Contoh Untuk Bulan Juni (pertama)

$$R_{ef (PADI)} = \frac{53 \cdot 70\%}{15}$$

$$= 2,473$$

- Dengan cara yang sama hasil perhitungan bulan-bulan lain dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Curah Hujan Efektif Tanaman Padi

Bulan	Periode	R 80	Re Padi (mm/hr)
Januari	1	20	0.933
	2	18.1	0.845
Februari	1	20	0.933
	2	19.5	0.910
Maret	1	33.8	1.577
	2	32	1.493
April	1	53.3	2.487
	2	56.4	2.632
Mei	1	50	2.333
	2	53.4	2.492
Juni	1	53	2.473
	2	49	2.287
Juli	1	48.8	2.277
	2	28.4	1.325
Agustus	1	19	0.887
	2	8	0.373
September	1	4	0.187
	2	0	0.000
Oktober	1	0	0.000
	2	7	0.327
Nopember	1	7	0.327
	2	10	0.487
Desember	1	25	1.167
	2	33.8	1.577

Sumber : Hasil Perhitungan

Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Contoh perhitungan penyiapan lahan untuk bulan juni : $T = 30$ hari dan $S = 250$ mm ETo = 3,23 (untuk bulan juni)

- Menentukan Evaporasi $E_o = 1,1$
 $E_{To} = 3,533$

Kebutuhan Air Untuk Irigasi

Perhitungan kebutuhan air Irigasi dengan menentukan masa tanam kebutuhan air maksimum yaitu padi padi padi.dalam setahun. Masa tanam pertama Contoh

- Menentukan $M = E_o + P = 3,553 + 2 = 5,553$
- Menentukan

$$K = \frac{M \cdot T}{S}$$

$$= \frac{5,553 \times 30}{250} = 0,67$$

$$\text{Maka } e^K = e^{0,67} = 1,955$$

- Menentukan

$$L_p = M \frac{e^k}{e^k - 1} = 11,37 \text{ mm/hr}$$

Dengan cara yang sama hasil perhitungan dapat dilihat pada table

Tabel 4.7. Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan

Bila	E _T mm/hr	E _p mm/hr	P mm/hr	M mm/hr	T hr	S=250 mm		S=300 mm	
						K	Lp	K	Lp
1	4.09	4.499	2	6.499	31	0.806	11.74	0.672	13.26
2	4.21	4.631	2	6.631	29	0.769	12.35	0.641	14.00
3	4.73	5.203	2	7.203	31	0.893	12.19	0.744	13.71
4	3.97	4.367	2	6.367	30	0.764	11.91	0.607	13.91
5	3.81	3.971	2	5.971	31	0.740	11.41	0.617	12.96
6	3.23	3.553	2	5.553	30	0.666	11.41	0.655	13.02
7	3.25	3.575	2	5.575	31	0.691	11.16	0.576	12.72
8	3.96	4.366	2	6.366	31	0.768	11.65	0.657	13.19
9	4.95	5.445	2	7.445	30	0.893	12.58	0.745	14.17
10	5.52	6.072	2	8.072	31	1.001	12.75	0.834	14.26
11	5.32	5.852	2	7.852	30	0.942	12.05	0.765	14.42
12	4.56	5.016	2	7.016	31	0.870	12.07	0.725	13.60

Sumber: Hasil Perhitungan

IV. PENUTUP

Kesimpulan

- Perhitungan untuk Masa Tanam I adalah sebagai berikut :
 - Masa Tanam I dimulai periode Juni tengah bulan
 - Evapotranspirasi 3,23 mm/hr
 - Perkolasi dianggap konstan $P = 2$ mm/hr
 - Besarnya curah hujan efektif $R_e = 2,473$ mm/hr
 - Penggatian lapisan air , belum ada karena masih tahap penyiapan lahan
 - Koefisien tanaman rata-rata $C = Lp^3/dt$
- Potensi ketersediaan air bendung Wawotobi bila hanya difungsikan untuk PLTA maka perhitungan menggunakan keandalan 90% , dengan nilai potensi air sebesar 14,75 m³/dt .
- Berdasarkan perhitungan energi daya listrik yang bisa dihasilkan sebesar 422,29 KW. Potensi air dan headnya tidak dapat dijadikan PLTA dalam kapasitas besar.

Saran

- Kepada pemerintah diharapkan dapat meningkatkan fungsi bendung dengan cara memanfaatkan DAS Serayu/Bogowoto bukan hanya untuk irigasi tetapi juga digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.
- Kepada pemerintah kabupaten woosbo diharapkan mengeluarkan regulasi yang berkaitan dengan pengelolaan DAS Serayu/Bogowoto Wawotobi agar bisa berdaya guna dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Chow, Ven Te, 1985, Hidrolika Saluran Terbuka, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [2]. Departemen P.U, Dirjen Pengairan, Standar Perencanaan

- [3]. Irigasi bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01 dan KP-04, CV Galang Persada, Bandung 1986.
- [4]. Lily Montarcih L., 2008, Hidrologi Dasar. Malang : Tirta Media. Patty, O.F, 1985, Tenaga Air, Cetakan Pertama, Penerbit Erlangga.
- [5]. Jakarta. Subarkah, Imam, Ir. 1980, Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air. Bandung Idea Dharma.
- [6]. Trihatmodjo, Bambang, 1993, Hidrolika II, Penerbit Fakultas Teknik, UGM.

Pengebor PCB (*Printed Circuit Board*) Otomatis

Andi Adriansyah, Anjar Priyanto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jalan Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

e-mail : andi@mercubuana.ac.id, aphriyanto@yahoo.co.id

Abstrak -- Tulisan ini menjelaskan proses perancangan sistem pelubang PCB secara otomatis untuk lebih mengefektifkan waktu dan mengoptimalkan tenaga agar dapat digunakan untuk sesuatu yang lebih penting. Sistem ini menggunakan komputer untuk mengontrol dan mengolah data koordinat dari berkas gerber dengan antarmuka Borland Delphi 7. Data koordinat ini digunakan untuk memberikan perintah ke mikrokontroler ATMEGA32 untuk menggerakkan mekanik sesuai dengan koordinat yang telah diproses oleh Delphi. Hasil pengujian mesin pengebor otomatis ini sudah sesuai dengan yang diharapkan karena semua koordinat target berhasil dibor. Kesalahan yang terdapat dalam sistem ini adalah 0,4 mm pada koordinat X dan 0,8 mm pada koordinat Y. Kesalahan yang terjadi diakibatkan oleh pergerakan mekanik pada setiap koordinat X dan Y yang kurang responsif.

Kata Kunci: PCB, mikrokontroler, otomatis

I. PENDAHULUAN

Printed Circuit Board (PCB) merupakan salah satu hal yang penting dalam dunia elektronika, karena di dalam PCB tersebut diletakkan komponen-komponen elektronika yang terangkai untuk melakukan fungsi tertentu. Kebanyakan desainer elektronik melakukan pengeboran PCB dengan menggunakan bor tangan ataupun bor duduk. Hal ini sangat menghabiskan waktu dan tenaga jika ada banyak pad dan via yang harus dibor. Selain hal itu, jika melakukan pengeboran secara manual dengan jumlah pad dan via yang banyak, bukan tidak mungkin kalau akan terjadi kesalahan dalam pengeboran PCB.

Untuk menghindari kesalahan dimana ada pad atau via yang tidak dibor, maka dirancang sebuah pengebor PCB otomatis untuk melakukan pengeboran pada PCB secara otomatis. Mesin bor otomatis ini diharapkan memiliki keuntungan dalam melakukan pengeboran PCB yang sama dengan jumlah yang banyak, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas waktu untuk mengerjakan suatu pekerjaan yang lain.

Sistem pengebor PCB otomatis ini pernah dikembangkan oleh beberapa peneliti dari Universitas Kristen Petra dengan menggunakan PLC (*Programmable Logic Control*) sebagai pengontrol

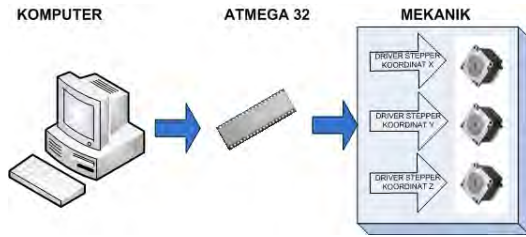
utama [3]. PLC akan melakukan pengeboran PCB secara otomatis sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan. Dalam sistem ini, ada dua cara memasukkan koordinat bor ke PLC. Cara pertama adalah memasukkan koordinat bor secara manual langsung pada daerah memory PLC. Cara kedua dilakukan dengan bantuan sebuah komputer (PC). Sebuah program yang berjalan di PC, dirancang khusus untuk melakukan proses pengambilan data koordinat titik-titik bor dari file text. Komunikasi antar PC dan PLC dilakukan dengan menggunakan komunikasi serial dan protokol *hostlink*.

Sistem serupa juga dikembangkan kalangan peneliti dari Universitas Kristen Petra juga, tetapi pengontrol utamanya menggunakan mikrokontroler dari keluarga MCS-51. Dalam sistem ini, menggunakan 2 cara yang sama dalam pengambilan titik-titik koordinat dengan sistem pengebor PCB menggunakan PLC. Koordinat akan diproses melalui komputer (PC), kemudian akan dikirimkan secara serial ke dalam mikrokontroler 89C51 untuk menggerakkan motor-motor pada koordinat X dan Y pada koordinat yang diinginkan [1].

Prototipe mesin pelubang PCB berbasis komputer juga dikembangkan kalangan peneliti dari Universitas Gadjah Mada. Mesin pelubang PCB yang dikembangkan berbasis komputer dan optimasi kinerjanya menggunakan algoritma NNH (*Nearest Neighbour Heuristic*). Mesin ini dimaksudkan untuk melubangi papan PCB secara otomatis. Prinsip kerja mesin ini berdasarkan pada pengendalian motor langkah dengan menggunakan PC [2].

II. PERANCANGAN SISTEM

Secara keseluruhan blok diagram dari sistem pengebor PCB otomatis ini dibagi ke dalam 3 bagian utama, yaitu bagian komputer, bagian mikrokontroler dan bagian mekanik. Untuk bagian komputer digunakan sebagai antarmuka untuk melakukan pengeboran secara langsung. Bagian mikrokontroler untuk menerima karakter-karakter yang dikirimkan dari komputer kemudian diubah ke dalam instruksi tertentu untuk menggerakkan motor langkah. Kemudian, bagian mekanik terdiri dari 3 motor langkah sebagai penggerak utama yang akan menggerakkan bor ke posisi koordinat yang diinginkan. Untuk gambaran secara umum blok diagram, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram

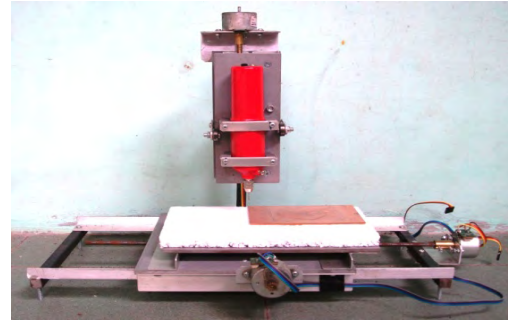
Keterangan tiap bagian dalam diagram blok tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Komputer merupakan pengontrol utama dalam sistem pengeboran PCB otomatis ini. Di dalam komputer sendiri melibatkan 2 software yaitu EAGLE dan Delphi. EAGLE digunakan untuk mendapatkan file gerber yang isinya koordinat-koordinat hole dari board yang akan dibor. Kemudian Delphi sendiri digunakan untuk membuat sebuah antarmuka yang nantinya akan digunakan untuk memproses koordinat yang masuk dari file gerber untuk mengirimkan karakter tertentu pada ATmega 32 secara serial.
- b. Mikrokontroler ATmega 32
Mikrokontroler ATmega 32 akan menerima karakter tertentu dari komputer, kemudian akan menerjemahkannya ke dalam instruksi tertentu sesuai dengan karakter yang diterima. Lalu instruksi ini yang nantinya akan menggerakkan mekanik sesuai dengan koordinat yang diproses.
- c. Lengan Mekanik
Lengan mekanik ini dimaksudkan letak pergerakan mekanik untuk tiap koordinat. Sehingga terdapat 3 buah lengan mekanik untuk koordinat X, Y dan Z. Tiap lengan mekanik terdapat motor langkah sebagai penggerak utamanya dan juga driver motor langkah untuk menggerakkan motor langkah sesuai dengan masukan yang diberikan dari ATMEGA 32.

Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras (*hardware*) meliputi pembuatan skema rangkaian yang sesuai dengan tujuan yang diinginkan dan juga pembuatan mekanik yang digunakan untuk menggerakkan bor secara terkontrol. Untuk pembuatan rangkaian elektronik, hanya dibutuhkan tiga modul utama, yaitu: modul sistem minimum untuk meletakkan ATmega 32 sebagai penerjemah perintah yang dikirimkan dari komputer, modul driver motor langkah sebagai penggerak motor langkah dengan arus 1 A dan modul AVR CDC yang digunakan sebagai penghubung antara komputer dengan mikrokontroler agar bisa berkomunikasi secara serial.

Kemudian untuk mekaniknya ditunjukkan pada Gambar 2.



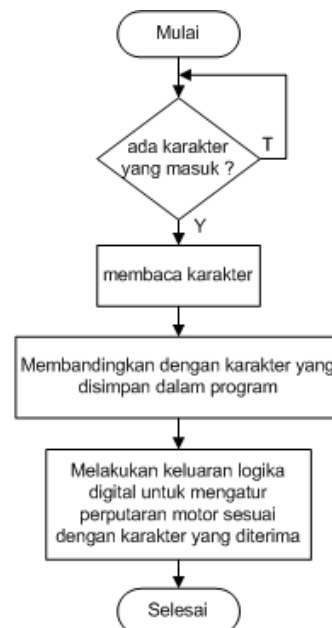
Gambar 2. Sistem Mekanik

Sistem mekanik ini menggunakan motor langkah sebagai penggerak utamanya. Sehingga dibutuhkan 3 motor langkah untuk setiap koordinat X, Y dan Z.

Perancangan Perangkat Lunak

Sedangkan perancangan perangkat lunak (*software*) meliputi pembuatan program yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler ATmega 32 dengan menggunakan bahasa C dengan *compiler* CodeVisionAVR dan program yang dibuat sebagai antarmuka pengontrolan sistem dengan bahasa pemrograman Delphi.

Pembuatan program yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler digunakan untuk menterjemahkan suatu karakter yang diterima dari komputer, kemudian diubah ke dalam suatu instruksi yang akan menggerakkan motor langkah pada setiap koordinat tergantung kebutuhan dari sistem. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada diagram alir Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir mikrokontroler

Program kedua ditempatkan ke dalam komputer sebagai antarmuka. Antarmuka ini digunakan untuk mengontrol secara keseluruhan sistem pengebor otomatis. Secara umum pengontrolan yang dilakukan oleh antarmuka dengan cara mengirimkan karakter-karakter tertentu yang nantinya akan diterima oleh mikrokontroler. Cara kerja antarmuka ini pertama kali akan melakukan konversi berkas gerber ke dalam GUI, kemudian setelah semua data koordinat yang dibutuhkan dari berkas tersebut sudah tertampil, maka pengguna dapat melakukan pengeboran secara keseluruhan data koordinat tersebut atau memilih koordinat mana yang akan dibor. Dari antarmuka ini, pengguna juga diberikan kebebasan untuk melakukan pengontrolan secara manual. Pengontrolan ini umumnya digunakan untuk menempatkan posisi bor pada titik koordinat referensi. Untuk tampilan antarmukanya, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



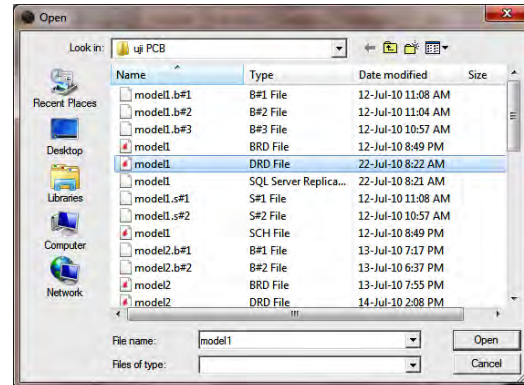
Gambar 4. Tampilan GUI

III. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem dilakukan dengan cara memberikan data-data koordinat dengan 5 distribusi koordinat yang berbeda. Pertama kali membuka berkas gerber sehingga akan muncul jendela seperti pada Gambar 5. Berkas yang dipilih yaitu berkas yang memiliki format *.drc. Setelah berkas gerber dipilih, maka semua informasi koordinat akan ditampilkan ke dalam antarmuka. Sebelum melakukan pengeboran, ditentukan dahulu koordinat referensinya. Untuk pengeboran sendiri, ada dua pilihan pengeboran, diantaranya : pengeboran keseluruhan koordinat dan pengeboran satu-per satu koordinat.

Pengeboran keseluruhan akan mengkondisikan antarmuka memberi perintah ke rangkaian mikrokontroler untuk melakukan pengeboran untuk semua koordinat yang telah ditentukan. Sedangkan pengeboran satu-satu antar muka dapat diprogram untuk melakukan perintah pengeboran sesuai dengan koordinat yang terdapat dalam kolom jumlah koordinat.

Selain itu mesin pengebor PCB ini dapat digerakkan untuk mengebor secara manual baik dengan memasukkan koordinat yang diinginkan atau melalui proses manual melalui tombol manual.



Gambar 5. Jendela open

Berikut adalah gambaran antarmuka sebelum melakukan pengeboran yang berisi jumlah koordinat beserta form yang berisi koordinat PCB yang akan dibor, ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Antarmuka sebelum pengeboran

Setelah dilakukan pengeboran sebanyak 5 kali dengan distribusi koordinat yang berbeda, maka didapatkan data-data hasil pengujian koordinat X yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian koordinat X

model	Error (mm)	Error (%)
1	0,2	2,7
2	0,4	1,4
3	0,5	1,9
4	0,5	1,9
5	0,4	2,5
Avg.	0,4	2,1

Kemudian untuk data koordinat yang sama, maka diperoleh data-data hasil pengujian untuk koordinat Y yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian koordinat Y

model	Error (mm)	Error (%)
1	0,5	5,1
2	0,5	2,8
3	1,1	4,3
4	1,0	5,8
5	0,7	3,4
Avg.	0,8	4,3

Terlihat dari Tabel 1, rata-rata kesalahan yang dilakukan pada koordinat X yaitu sebesar 0,4 mm atau 2,1 %. Sedangkan pada Tabel 2, rata-rata kesalahan yang dilakukan pada koordinat Y yaitu sebesar 0,8 mm atau 4,3 %. Hasil pengujian dari segi waktu, sistem pengebor otomatis ini memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan pengeboran secara manual. Hal ini dikarenakan kemampuan pergerakan mekanik yang terbatas. Sehingga semakin besar jarak yang ditempuh, maka semakin besar pula waktu yang digunakan. Berbeda dengan pengeboran yang dilakukan secara manual, sejauh apapun jarak pengeboran, dapat dengan cepat dijangkau tangan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengebor otomatis ini memiliki 2 fitur utama untuk melakukan pengeboran secara keseluruhan dan satu per satu.
2. Sistem ini dapat melakukan pengeboran secara keseluruhan koordinat yang ada secara otomatis, tanpa adanya kegagalan pengeboran suatu koordinat atau tanpa adanya koordinat yang belum dibor.

3. Sistem yang otomatis ini dapat digunakan praktisi elektronika untuk bekerja dengan tidak membuang waktu dan tenaga untuk melakukan pengeboran yang banyak dengan model koordinat yang sama.
4. Adanya kelemahan dari segi waktu. Waktu yang digunakan untuk melakukan pengeboran PCB lebih lama jika dibandingkan dengan pengeboran yang dilakukan secara manual.
5. Kesalahan yang dicapai dalam sistem ini adalah 0,4 mm pada koordinat X dan 0,8 mm pada koordinat Y.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sanjaya, G., 2005, *Automatic Drilling Machine with 89C51*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Petra Christian.
- [2] Sofyan dan Istiyanto J.E., 2005, *Pembuatan Prototipe Mesin Pelubang PCB Berbasis Komputer Dan Optimasi Kinerjanya Menggunakan Algoritma Nnh*, UGM, Yogyakarta.
- [3] Thiang, Wicaksono, H., Sugiarto, D.G., 2005, *Automatic Drilling Machine with PLC*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Petra Christian.

Evaluasi Pemanfaatan Psychomotor Vigilance Task Dalam Pengukuran Beban Mental

Anisah H Alatas, Hardianto Iridiastadi
Teknik Industry Universitas Mercu Buana
Institut Teknologi Bandung
Email : Just.nazha@gmail.com, Hiridias@vt.edu

Abstrak -- Psychomotor Vigilance Task (PVT) telah banyak digunakan sebagai manifestasi dari penurunan performa yang dikarenakan oleh peningkatan beban kerja kognitif. Dimana prosedur pengukuran relatif mudah, aplikasi dari pengukuran ini dalam konteks orang Indonesia masih sangat terbatas. Disamping itu, tidak jelasnya mengenai parameter-parameter PVT yang sensitif pada perubahan beban kerja mental. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah PVT dapat digunakan dalam mengindikasikan kelelahan mental pada orang Indonesia. 10 laki-laki dan 10 wanita mahasiswa telah berpartisipasi, dimana mereka diminta untuk menentukan jumlah huruf “a” pada sebuah bacaan. Beban kerja mental kemudian dinilai dengan menggunakan Visual Analogue Scale (VAS) pada saat sebelum, pertengahan dan sesudah mengerjakan tugas. Untuk semua partisipan, PVT 5-min diberikan sebelum dan sesudah mengerjakan tugas. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan peningkatan yang signifikan terhadap beban kerja mental yang disertai adanya perubahan substansi pada parameter-parameter PVT. Terutama standar deviasi dan variansi. Penelitian ini menunjukkan bahwa kelelahan mental dapat ditunjukkan oleh perubahan parameter PVT. Perubahan parameter yang sederhana seperti mean, ternyata tidak dapat mengidentifikasi perubahan peningkatan beban kerja mental. Dan pemberian trial sebelum pengambilan data harus dilakukan untuk menghilangkan kurva belajar.

Kata Kunci : Psychomotor Vigilance Task, VAS, beban kerja mental, parameter PVT

I. PENDAHULUAN

Kompleksitas pekerjaan manusia dewasa ini mengakibatkan kesulitan dalam pengukuran beban kerja pada setiap pekerjaan. Pengukuran beban kerja banyak sekali dilakukan, diantaranya adalah pengukuran beban fisik dan mental. Namun sebagian besar pengukuran hanya menitikberatkan pada beban fisik, sedangkan pada pengukuran beban mental masih banyak menggunakan metode subjektif dibandingkan dengan metode objektif. Banyaknya pekerjaan yang menuntut sustained attention ini memperlihatkan

besarnya faktor mental yang berkontribusi pada banyaknya kerugian yang terjadi akibat beban mental yang berlebih. Misalnya saja pada pekerjaan yang monoton, repetitive dan durasi yang panjang. Hal ini memicu terjadinya kecelakaan kerja.

Kecelakaan ditempat kerja menyebabkan lebih dari 10.000 kematian yang terjadi tiap tahun di Amerika Serikat. Bahkan *National Safety Council* menyatakan dalam 10 menit terdapat 2 orang yang meninggal dan sekitar lebih dari 170 orang yang berpotensi mengalami cedera. Hal ini diperkirakan akan menghabiskan biaya dari kecelakaan tersebut sekitar \$ 2.800.000. Rata-rata angka kecelakaan setiap tahunnya adalah 11 kecelakaan yang mengakibatkan kematian dan sekitar 10300 cedera tiap jamnya (Herlambang, 2009).

Tingginya beban kerja mental yang diterima sering kali menimbulkan keluhan seperti kelelahan secara mental dan stress dalam bekerja. Sullivan dan Baghat (1992) mengatakan bahwa stress dalam bekerja menimbulkan dampak negative pada performansi yang dihasilkan. Disamping itu, berdasarkan data statistic dari American Psychological Association (2009) sekitar 69% penduduk Amerika menyatakan bahwa pekerjaan mereka setiap harinya menimbulkan dampak yang signifikan terhadap stress yang dialami.

Williamson *et al.* (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kelelahan diidentifikasi sebagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan, cedera dan kematian dalam berbagai macam situasi, dengan implikasi bahwa orang lelah cenderung untuk tidak menghasilkan kinerja dan tindakan yang aman. Hal ini berlaku pada kegiatan transportasi seperti pada penerbangan, kereta api, dan maritim, serta pada pengaturan kerja lainnya, terutama ketika melibatkan jam kerja yang tidak teratur.

Hal ini tentu saja menimbulkan kerugian yang besar baik bagi pekerja ataupun instansi dan masyarakat luas. New York & Schwartz (2004) dari *American Institute of Stress*, memperkirakan kerugian yang disebabkan oleh *stress* akibat kerja mencapai \$300 miliar setiap tahunnya untuk perawatan, pekerja yang kosong dan *stress reduction (Proactive Change*, 2009). Sedangkan Sauter, *chief of the organizational science and human factors branch of the national institute for occupational safety and health* (1999) menyatakan bahwa pekerja yang mengalami *stress*

menghabiskan biaya untuk berobat rata-rata sebesar \$600 tiap orangnya (*Proactive Change*, 2009).

Disamping itu, *Human error* merupakan penyumbang besar dalam kecelakaan kereta api sebesar 25-30% (Departemen Perhubungan, 2008). Berdasarkan *Fault Tree Analysis* (FTA) yang dilakukan oleh Iridiastadi dan Budiawan (2010), persentase *pure human error* pada kecelakaan kereta api mencapai 62.05%. Ini disebabkan karena kelelahan, beban kerja masinis yang menuntut *sustained attention* lebih besar dari pada kemampuan yang dimiliki.

Dari data-data diatas, dapat dikatakan kelelahan dan stress merupakan salah satu penyebab banyaknya kerugian. Kelelahan yang terjadi bukan hanya dalam bentuk fisik, namun juga dari sisi mental misalnya saja pekerjaan yang mengharuskan *sustained attention*. Oleh karena faktor psikologis berpengaruh besar pada kinerja manusia, maka pengukuran beban kerja mental sangat dibutuhkan untuk mengakomodasi faktor psikologis manusia dalam bekerja, meminimalisasi tingkat kesalahan (*human error*) untuk mengurangi resiko kecelakaan. Untuk itu, dibutuhkan analisa lebih lanjut mengenai tingkat kelelahan mental untuk melihat kecenderungan terhadap penurunan kinerja pekerja.

Pengukuran tingkat kelelahan dapat dilakukan secara subjektif dengan kuisioner menggunakan NASA-TLX, *Brog Scale*, VAS dan SWAT. Pengukuran secara subjektif dapat dilakukan secara cepat namun memiliki kekurangan mengenai hasil pengukurannya. Karena bersifat subjektif, maka faktor-faktor lain seperti tujuan, maksud, dan motivasi dari subjek penilai sangat mempengaruhi hasil pengukuran (Annet, 2002). Oleh karena itu, untuk hasil yang lebih baik dapat dilakukan pengukuran secara objektif dengan melakukan pengukuran fisiologis tubuh manusia seperti denyut jantung, sinyal otak, tekanan darah, diameter pupil, biokimia melalui hormon kortisol saliva, dan pengukuran berdasarkan indikator *vigilance* yaitu dengan *Psychomotor Vigilance Task* (PVT). Namun, sebagian besar pengukuran objektif memerlukan biaya yang besar dan fleksibilitas yang rendah. Misalnya saja pengukuran dengan biokimia seperti hormon kortisol yang harus diuji di laboratorium, pengukuran dengan pupilometri juga bersifat statis pada satu tempat, sedangkan PVT dapat dibawa-bawa, diinstall di laptop, computer tablet atau PDA.

PVT adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur performansi kerja yang dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan (jenis pekerjaan, lingkungan kerja yang tidak nyaman, beban kerja berlebih) dan kondisi tubuh secara alami seperti halnya kantuk, kurang tidur, lelah, dan perilaku dari *circadian rithme* yang dapat mempengaruhi kondisi *vigilance* seseorang dan berdampak pada penurunan performa manusia.

PVT telah digunakan untuk mengukur kecenderungan kantuk oleh Dinges (2004), tingkat kesalahan oleh Wickens dan Holland (2000), dan penurunan kinerja oleh Mallis (1998) (Balkin, 2011).

PVT juga telah digunakan oleh beberapa peneliti seperti Loh et.al (2004), Kraemer et.al (2000), Lamond et.al (2005), Roach et.al (2004), Millosevic (2007), Baulk et.al (2009) untuk melihat pengaruh terhadap *circadian rithme*, perilaku kognitif manusia, dimana kondisi *vigilance* akan mengalami penurunan yang disebabkan oleh kantuk, kegiatan yang monoton, lelah, dan gangguan tidur yang mempengaruhi penurunan performa. Hal ini dikarenakan PVT dinilai sebagai alat yang cocok untuk digunakan untuk mengukur performansi pekerja dilapangan karena kemudahan menggunakannya dan mudah dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain (Dinges & Powell, 1985; Rosekind, Gregory, Co, Miller, & Dinges, 2000). Sehingga PVT menjadi suatu alat yang dapat dimanfaatkan karena dinilai baik dan mudah (Wilkinson & Houghton, 1982).

Namun sayangnya di Indonesia PVT belum dikenal oleh semua pihak, bahkan penelitian mengenai evaluasi dan penggunaan PVT dalam pengukuran beban kerja mental sangat minim. Hasil dari PVT ini dapat digunakan untuk perbaikan kerja, penyusunan jadwal menurut kemampuan individu (guna meminimalisasi dampak kecelakaan akibat *human error*), membuat tolok ukur bagi kinerja pekerja, mengingat kelelahan mental menjadi salah satu faktor terjadinya penurunan performansi kerja yang dapat mengakibatkan kecelakaan karena beban mental yang melebihi kemampuan individu (Dorrian, 2007). Selanjutnya, dapat dibuat rencana preventif dalam menghadapi kerugian-kerugian lainnya yang dapat digunakan oleh semua pihak untuk menciptakan keamanan dan keselamatan kerja, serta menjadi usulan sebagai alat pengukuran kelelahan mental secara objektif.

II. METODE

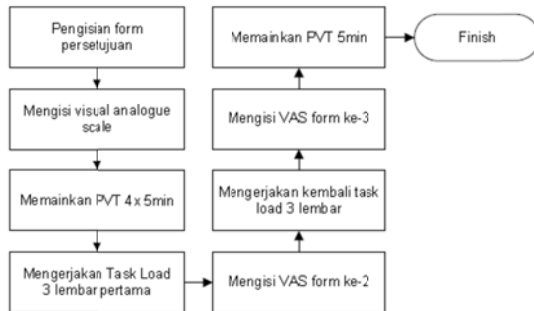
• Partisipan

10 orang laki-laki dan 10 orang wanita yang berasal dari kalangan mahasiswa secara sukarela menjadi sample pengamatan dari penelitian ini. Range usia 18-22 tahun. Partisipan tidak mengkonsumsi kafein, tidak merokok dan tidak memiliki gangguan penglihatan.

• Pengambilan Data

Partisipan diminta untuk mengisi informed consent form yang telah disediakan sebagai bukti persetujuan pengambilan data, mengisi VAS dengan skala 0-100 pada saat sebelum task, pertengahan task dan sesudah task. Selain itu partisipan juga harus menyelesaikan PVT 5min dimana pengambilan datanya adalah 3x trial sebelum pengambilan data penelitian. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan learning curve (Dinges, 1997). Kemudian data PVT yang diuji adalah data PVT sebelum dan sesudah task. Sedangkan task yang diberikan adalah simulasi beban kerja yang diberikan kepada partisipan yang dimaksudkan untuk meningkatkan kelelahan mental dengan cara menyediakan bacaan sebanyak 6 lembar

A4 dengan font Times New Roman, size 12, lines 1.5, dimana task yang diberikan adalah menentukan jumlah huruf “a” pada setiap lembarnya dengan durasi 5 menit/ lembar (±30 menit durasi task seluruhnya). Kesalahan penghitungan dari tiap lembarnya digunakan sebagai tingkat error dari penambahan waktu task. Secara keseluruhan, alur pengambilan data dapat dilihat dari Gb.[2.1].



Gambar 2.1 Rancangan alur pengambilan data

• **Pengolahan Data**

Pengolahan data menggunakan software SPSS dan perhitungan Ms. Excel. Data yang telah didapat dari PVT dihitung mean, standar deviasi, variansi, persentil 5,10,50,75,90 dan 95. Dimana jenis data yang digunakan adalah reaction time yang kemudian ditransformasi kedalam 1/RT, 10% slowest 1/RT, standardized 1/RT, 10% slowest standardizes 1/RT, 10% Fastest RT dan mean % lapses. Dimana standardized 1/RT adalah hasil 1/RT dikalikan dengan 1000.

Data PVT sebelum dan sesudah diuji dengan menggunakan uji wilcoxon. VAS dan error diolah dengan regresi linier dan korelasi terhadap durasi waktu percobaan. Dengan menggunakan pergerakan standar deviasi, dapat dilihat pengaruh *learning curve*.

III. HASIL

• **Visual Analogue Scale**

Berdasarkan dari hasil pengolahan SPSS didapatkan rumus regresi linier dari VAS dan Waktu adalah $Y = 0.904 t + 44.523$, dengan Y adalah nilai VAS saat periode t (waktu). Nilai R Square menunjukkan bahwa 21.4 % variasi nilai VAS dapat dijelaskan oleh variabel waktu, artinya masih ada variabel lain yang mempengaruhi hasil VAS.

Pengujian Hipotesa untuk persamaan VAS dan waktu ini adalah sebagai berikut :

Ho= Simulasi yang diberikan tidak menimbulkan efek lelah terhadap dimensi waktu.

Ha = Simulasi yang diberikan menimbulkan efek lelah terhadap dimensi waktu.

Karena tingkat signifikansi $0.000 < \alpha (0.1)$ maka Ho ditolak yang artinya simulasi yang diberikan menimbulkan efek lelah pada responden

(Sujianto,2009). Dengan demikian, Simulasi yang dijalankan dapat digunakan pada penelitian sebagai pembebanan yang menimbulkan efek lelah.

Dari hasil SPSS, didapatkan nilai korelasi VAS dengan durasi (waktu) simulasi menggunakan kendall adalah 0.409 dan dengan spearman adalah 0.493 ini artinya korelasi keeratannya kuat.

• **Error**

Berdasarkan dari hasil pengolahan SPSS didapatkan rumus regresi linier dari error dan waktu adalah $Y = 0.001 t + 0.133$, dengan Y adalah persentase error saat periode t (waktu). Namun hanya 0.5 % saja variasi nilai persentase error yang dapat dijelaskan oleh variabel waktu, artinya masih ada variabel lain yang mempengaruhi tingkat error.

Pengujian Hipotesa untuk persamaan diatas adalah sebagai berikut:

Ho : Tidak ada kenaikan error yang signifikan terhadap waktu simulasi

Ha : Ada kenaikan error yang signifikan terhadap waktu simulasi

Dimana asumsinya adalah seiring berjalannya waktu (t), kelelahan akan meningkat, dan tingkat error akan menjadi lebih besar saat t bertambah. Hasilnya, tingkat signifikansi $0.462 > (0.1)$ maka Ho diterima yang artinya waktu tidak mempengaruhi secara signifikan dari kenaikan tingkat kesalahan (error). Hal ini juga terlihat dari nilai korelasi error dengan durasi (waktu) simulasi menggunakan kendall adalah 0.011 dan spearman 0.020. ini artinya korelasi keeratannya sangat lemah.

• **Performa Sebelum dan Sesudah**

Hipotesis

Ho : Tidak ada perbedaan antara sebelum dan sesudah task

Ha : Ada perbedaan antara sebelum dan sesudah task

Tabel 3.1 nilai p hasil uji PVT sebelum dan sesudah

Parameter	RT	1/RT	10% Slowest	Standardized 1/RT	Standardized 10% Slowest	10% Fastest	% Lapses
Mean	0.391	0.109	0.080	0.823	0.108	0.108	0.006
Range	0.232	0.130	0.283	0.076	0.263	0.324	
SD	0.040	0.023	0.263	0.069	0.197	0.411	
VAR	0.025	0.016	0.296	0.007	0.204	0.198	
Persentil 5	0.040	0.070	0.126	0.093	0.091	0.332	
Persentil 10	0.067	0.149	0.093	0.629	0.070	0.255	
Persentil 50	0.457	0.222	0.117	0.304	0.117	0.054	
Persentil 75	0.985	0.162	0.296	0.102	0.296	0.10	
Persentil 90	0.478	0.081	0.411	0.059	0.411	0.067	
Persentil 95	0.048	0.047	0.422	0.033	0.422	0.054	

■ Tingkat signifikansi kurang dari 0.05

■ Tingkat signifikansi lebih dari 0.05 dan kurang dari 0.1

didapatkan beberapa parameter signifikan terhadap $\alpha 0.1$. sehingga Ho ditolak. Artinya, ada perbedaan antara sebelum dan sesudah task.

• **Learning Curve**

Trial ke-1

Pada Trial ke-1, data dicut dari 5 sampai 10 data awal, lalu dihitung standar deviasinya (SD). Didapatkan hasilnya seperti pada tabel 3.2 dimana data cut5 memiliki SD yang lebih kecil.

Tabel 3.2 Perhitungan SD pada trial ke-1

Deskripsi	Rata-rata Standar Deviasi
No Cut	99.18
Cut 5	88.77
Cut 6	88.92
Cut 7	89.41
Cut 8	89.77
Cut 9	89.11
Cut 10	89.64

Dimana rata-rata dari durasi percobaan PVT pada trial 1 adalah 302.10 second atau 5.04 menit. Dan rata-rata attempt dari tiap percobaan pada trial ke-1 adalah 61.4 ≈ 61 attempt. Sehingga estimasi learning curve pada trial ke-1 dengan pemotongan 5 data awal pada trial adalah sebagai berikut:

$$\frac{302.1 \text{ sec}}{61.4 \text{ attempt}} = 4.92 \times 5 = 24.6 \text{ sec} = 0.41 \text{ menit}$$

Trial ke-2

Tabel 3.3 Perhitungan SD pada trial ke-2

Responden	Trial 2					
	No cut	Cut1	Cut2	Cut3	Cut4	Cut 5
1	142.7	143.8	145.1	146.1	147.4	148.6
2	123.8	124.8	125.6	126.6	127.4	127.9
3	59.3	58.5	58.4	58.8	59.2	59.7
4	91.7	86.6	87.1	87.3	86.8	86.6
5	122.7	123.0	123.4	124.4	125.4	126.3
6	80.8	81.0	81.7	82.4	83.1	83.9
7	75.7	72.8	72.9	73.3	73.9	74.5
8	74.6	75.3	75.9	76.6	77.1	77.6
9	43.8	44.1	44.5	44.5	44.6	44.8
10	39.8	39.7	39.9	40.2	40.2	40.5
11	76.8	77.1	77.7	78.2	78.3	78.4
12	77.3	74.8	75.4	75.0	75.6	76.2
13	72.4	72.2	72.3	72.1	72.1	72.0
14	84.8	85.4	86.0	86.5	85.2	85.8
15	54.0	49.3	46.1	46.3	46.3	46.6
16	34.5	34.5	34.8	35.0	35.3	35.6
17	158.9	159.8	161.1	162.2	163.3	164.0
18	126.5	127.5	127.9	129.0	126.8	127.6
19	102.3	102.7	103.1	103.1	103.1	102.9
20	86.7	87.5	88.3	89.1	89.9	90.7
Average						
Rata-rata	86.5	86.0	86.4	86.8	87.0	87.5

Di sini perhitungan rata-rata durasi percobaan pada trial ke-2 adalah sekitar 303.00 second atau sekitar 5.05 menit. Dan rata-rata attempt sekitar 61.4 ≈ 61 attempt. Sehingga estimasi learning curve pada trial ke-2 dengan pemotongan 2 data awal pada trial adalah sekitar :

$$\frac{303 \text{ sec}}{61.4 \text{ attempt}} = 4.93 \times 2 = 9.87 \text{ sec} = 0.164 \text{ menit}$$

Trial ke-3

Dari perhitungan SD pada trial ke-3 didapatkan tidak ada nilai SD yang lebih kecil saat data dihilangkan. Sehingga trial ke-3 dapat digunakan sebagai data PVT sebelum task.

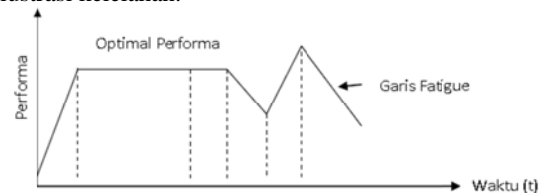
Tabel 3.4 Perhitungan SD pada trial ke-3

Responden	Trial 3					
	No cut	Cut1	Cut2	Cut3	Cut4	Cut 5
1	70.3	70.9	70.7	71.3	71.9	72.5
2	78.6	79.1	79.3	79.8	80.4	80.9
3	45.4	43.7	43.9	44.1	44.5	44.2
4	116.4	117.2	117.9	118.2	118.0	118.7
5	80.4	81.0	81.6	82.2	82.7	83.4
6	30.2	29.1	29.3	29.6	29.8	29.6
7	86.7	87.5	88.3	89.1	89.5	90.4
8	89.5	90.1	90.8	91.2	91.7	91.2
9	39.5	39.7	39.9	39.1	39.3	39.6
10	60.6	60.9	61.4	61.9	62.4	62.9
11	37.6	37.7	37.9	37.9	37.8	37.8
12	61.7	61.6	62.0	62.2	62.5	62.7
13	86.7	86.6	87.2	87.7	88.5	87.8
14	44.6	44.9	45.2	44.1	44.0	44.1
15	27.5	27.6	27.7	27.9	28.1	28.1
16	44.9	45.2	45.6	45.8	45.8	46.0
17	172.6	173.7	175.0	175.8	177.3	179.0
18	124.4	122.9	122.7	123.7	123.8	124.9
19	121.1	121.9	122.5	123.4	124.4	124.8
20	98.0	98.6	99.1	99.9	100.8	101.3
Average						
Rata-rata	75.8	76.0	76.4	76.8	77.2	77.5

IV. PEMBAHASAN

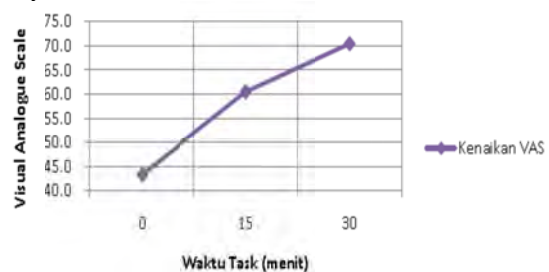
• **Peningkatan kelelahan dan error**

Menurut Rodahl (1992), performa kerja akan menurun dan kelelahan akan meningkat saat seorang individu menjalankan tugas seiring dengan penambahan waktu. Hal ini dapat dilihat dari grafik ilustrasi kelelahan.



Gambar 4.1 Grafik ilustrasi kelelahan

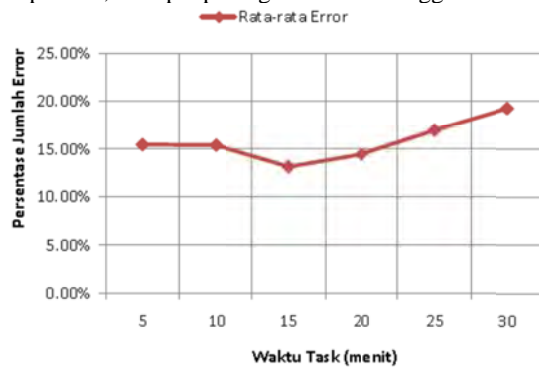
Jika dilihat dari rata-rata kenaikan nilai VAS pada gambar 4.2, dapat disimpulkan bahwa responden mengalami kelelahan setelah mengerjakan simulasi task. Ini dapat disimpulkan bahwa simulasi task yang diberikan dapat meningkatkan kelelahan pada responden.



Gambar 4.2 Grafik rata-rata VAS

Menurut Saito (1999), dampak dari peningkatan kelelahan pada seseorang adalah berkurangnya semangat kerja sehingga mengakibatkan efektifitas dan efisiensi kerja menurun. Hal ini tentu sangat berpengaruh pada performansi seseorang, sehingga kelelahan harus dikontrol agar tidak mengakibatkan kecelakaan kerja ataupun gangguan kesehatan lainnya.

Selain itu, berdasarkan nilai regresi dan korelasi, persentase error memiliki hubungan yang lemah, sehingga dapat dikatakan kenaikan dari tingkat error tidak terlalu signifikan terhadap penambahan waktu kerja. Namun, jika dilihat dari rata-rata error pada t (menit) = 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 dari 20 responden, terdapat peningkatan error hingga 19.2%.



Gambar 4.3 Grafik rata-rata kenaikan % error

Meskipun rata-rata *error* responden hanya sekitar 15-20% akibat kelelahan, namun bukan berarti tidak memberikan kontribusi yang besar pada performa kerja individu. Hal ini dituturkan oleh para responden yang mengalami lelah akibat menjalankan *task* berupa pusing, mata perih dan pegal leher.

Dalam lingkup yang lebih luas, misalnya saja pada pekerja dilapangan seperti pekerja di pertambangan, perminyakan, pekerja keras sampai orang kantor pun dapat mengalami kelelahan yang dapat menimbulkan kesalahan dalam mengambil keputusan. Karena menurut ASCC, Peningkatan kelelahan dapat mempengaruhi pengambilan keputusan (eksekusi), ini dapat dikarenakan kurangnya kemampuan motorik (Australian Safety and Compensation Council, 2006). Hal inilah yang dapat menyebabkan gagalnya peran manusia dalam melakukan tugasnya. Konsep *human error* memiliki kontribusi besar terhadap kecelakaan kerja yang terjadi.

Selain itu, NTC menyatakan bahwa efek yang ditimbulkan dari kelelahan dapat berupa kehilangan kewaspadaan, penurunan pertimbangan atau pemikiran, mengantuk saat mengemudi, tertidur saat berkendara, penurunan daya ingat dan perubahan suasana/ mood (National Transport Commission, 2006).

Pada beberapa jenis pekerjaan yang mengandalkan kemampuan tinggi dalam pengambilan keputusan yang apabila salah akan menimbulkan

kejadian fatal seperti kecelakaan, misalnya saja pilot, masinis, pengemudi kendaraan, petugas sinyal di bandara, persilangan kereta dan pekerjaan lainnya efek kelelahan amat penting diperhatikan. Hal ini dikarenakan kelelahan dapat mempengaruhi performansi kerja, penurunan konsentrasi saat kerja dapat menimbulkan kecelakaan kerja yang dapat merugikan pekerja pada khususnya dan perusahaan pada umumnya. Misalnya saja pengemudi bus atau kereta, jika mereka hilang konsentrasi dan merasa lelah dan terakumulasi, hal ini akan menimbulkan efek samping seperti mengantuk dan menyetir diatas batas normal, ini sangat berbahaya sekali bila kondisi ini tetap dipertahankan.

- **Perubahan Performa sebelum dan sesudah task**

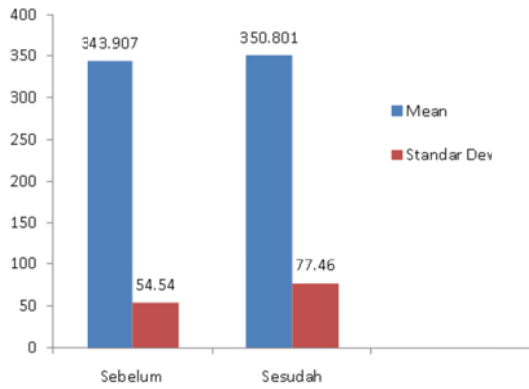
Pengukuran kelelahan dapat dilihat dari perubahan kecepatan reaksi saat sebelum *task* dan sesudah *task*. Pengukuran kelelahan dapat dilakukan dengan menggunakan reaction time, Flicker Fusion dan tes urin secara berkala yang telah digunakan oleh Broadbent (1979) dan Holding (1983). Bahkan Crawford (1961), mengatakan bahwa *biochemical test* dapat dijadikan alat ukur dalam melihat efek dari emosi *stress* yang menjadi penyebab kelelahan pada pekerjaan dengan durasi yang lama

- **Sensitifitas Parameter**

Dapat dilihat dari tabel 3.1, jenis transformasi data yang lebih sensitif terhadap hasil pengujian adalah *Standardized 1/RT*. Dengan tingkat signifikansi $p < 0.1$ pada 6 parameter ini dapat dikatakan bahwa *Standardized 1/RT* adalah jenis transformasi data yang paling sensitif terhadap hasil pengujian.

Sedangkan untuk parameter yang lebih sensitif adalah standar deviasi, variansi, persentil 5 dan 95. Namun, parameter *mean* dapat digunakan untuk pengujian pada transformasi data 10% *Slowest* dan % *lapses* saja.

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa rata-rata parameter *mean* tidak terlalu signifikan, hal ini dapat terlihat dari rata-rata nilai PVT sebelum dan sesudah. Namun pada parameter standar deviasi mengalami kenaikan yang cukup signifikan antara sebelum dan sesudah. Ini menandakan bahwa responden semakin tidak konsisten, sehingga data *reaction time* menjadi tidak stabil. Ketidakkonsistenan responden dalam pengukuran ini diartikan sebagai penurunan *vigilance* yang menandakan adanya indikasi kelelahan.



Gambar 4.4 Diagram perbandingan mean dan SD

Persentil disini adalah hanya untuk menggambarkan karakteristik dari data yang ada. Karakteristik persentil 5 bertolak belakang dengan pola persentil 95. Dimana persentil 5 memiliki pola data sesudah bekerja berada di bawah data sebelum bekerja, dan sebaliknya pola data sesudah bekerja pada persentil 90 dan 95 berada diatas data sebelum bekerja.

Namun karena hasil pengujian menyatakan bahwa parameter yang sensitif terhadap penurunan performa kerja salah satunya adalah standar deviasi dan variansi, maka untuk pengujian dapat dipilih salah satu parameter saja.

Standar deviasi merupakan parameter yang biasa digunakan dalam perhitungan data dalam statistik, sehingga parameter yang dipilih sebagai parameter yang sensitif dan dapat digunakan dalam pengujian pada penelitian selanjutnya adalah standar deviasi.

Sedangkan parameter persentil dapat digunakan untuk melihat karakteristik data saja, namun pada penelitian sebelumnya persentil tidak banyak dibahas.

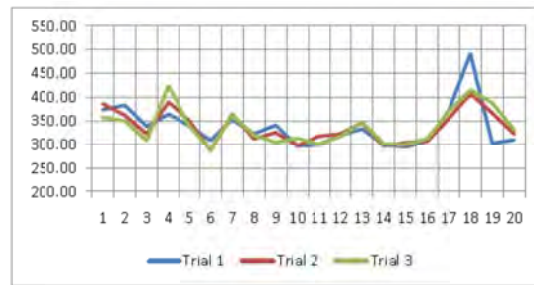
• Pengaruh Learning Curve

Dalam hal pengambilan data terdapat *learning curve* (kurva belajar). Hal ini dapat mempengaruhi data hasil penelitian, oleh karena itu berdasarkan metodologi standar dari penelitian Dinges (1997), *learning curve* dapat dihilangkan dengan memberikan *trial* 1-3 kali sebelum pengambilan data. Hal ini dilakukan agar responden terbiasa dan memahami alat tersebut.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat beberapa hasil rata-rata *reaction time* pada *trial* ke 2 dan 3 lebih kecil dibawah *trial* pertama. Dari perhitungan standar deviasi juga ditemukan penurunan standar deviasi pada setiap *trial* gb.[4.6].

Hal ini menginformasikan bahwa adanya pengaruh *learning curve* pada awal penggunaan *software* bagi pengguna. Oleh karena itu, *trial* harus diberikan sebelum melakukan pengambilan data agar dapat meminimalisasikan efek dari *learning curve*. Hal ini sesuai dengan metodologi standar yang telah dikemukakan oleh Dinges (1997) bahwa *trial* harus diberikan kepada responden guna menghilangkan

learning curve berkisar 1-3 kali sebelum pengambilan data PVT.

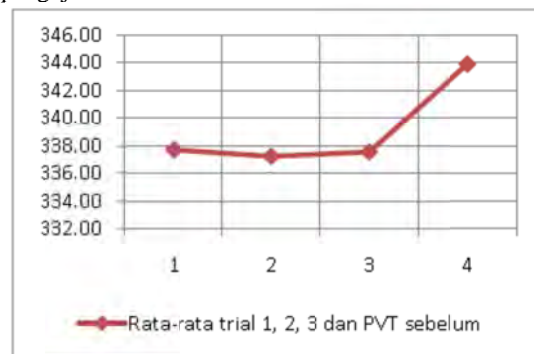


Gambar 4.5 Grafik trial 1, 2 dan 3



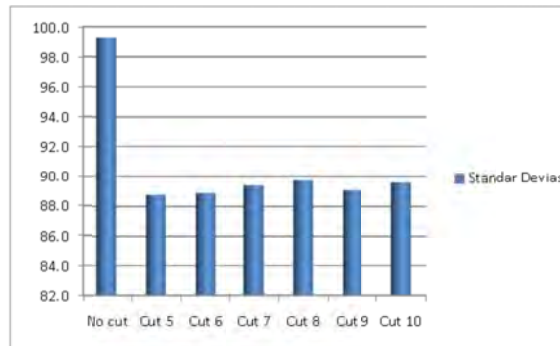
Gambar 4.6 SD pada trial 1, 2 dan 3

Berdasarkan rata-rata dari masing-masing *trial* dapat disimpulkan bahwa *trial* ke-2 memiliki rata-rata *reaction time* diatas *trial* ke-3. Hal ini menjadi saran bagi penelitian selanjutnya untuk menjalankan *trial* lebih singkat (2x *trial*). Tentunya ini dapat mempersingkat durasi pengambilan data, namun perlu diujikan terlebih dahulu signifikansinya terhadap hasil pengujian.



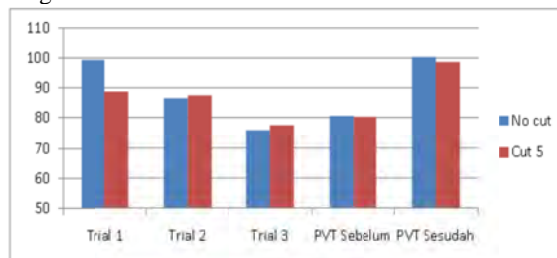
Gambar 4.7 Grafik rata-rata trial 1, 2, 3 dan PVT sebelum task

Pergerakan *learning curve* pastinya berbeda dari waktu ke waktu dan dengan responden yang berbeda. Pada penelitian ini, data pengolahan yang dipakai adalah data PVT sebelum dan sesudah *task*, tidak ada pematangan data awal (data *learning curve*). Namun jika dilihat titik penurunan pada *trial* 1 dengan menggunakan pergerakan standar deviasi, 5 data awal dipotong dan dibuang akan menghasilkan standar deviasi yang lebih kecil yang artinya penyimpangan dan persebaran datanya lebih rapat (tidak bias).



Gambar 4.8 SD sebelum dan sesudah cut pada PVT trial ke-1

Namun, pada *trial* ke-2 dan 3 tidak ditemui penurunan standar deviasi setelah pemotongan data awal. Dan sebaliknya pengambilan ke-4 (PVT sebelum) dan PVT sesudah terdapat penurunan standar deviasi yang relatif kecil jika dibandingkan dengan *trial* ke-1.



Gambar 4.9 Perbandingan SD sebelum dan sesudah cut 5 data awal

Oleh karena itu, pada penelitian ini data pengolahan yang digunakan adalah data PVT sebelum dan sesudah yang tidak dipotong (*no cut*).

Jika dilihat dari gambar 5.9, penurunan nilai standar deviasi yang sangat drastis menunjukkan adanya *learning curve*. Dengan menggunakan data jumlah attempt dan durasi dari seluruh responden pada *trial* ke-1 dapat diestimasikan besarnya waktu *learning curve* pada *trial* ke-1. Hasilnya adalah sebesar 0.41 menit yang merupakan *learning curve* pada *trial* ke-1 dari total durasi ± 5 menit.

Sedangkan pada *trial* 2 dan 3 efek dari *learning curve* ini tentunya semakin berkurang, dilihat dari perubahan standar deviasinya hanya ada 2 data awal yang mengalami penurunan standar deviasi. Jika dihitung, sekitar 0.2 menit. Dan *trial* ke 3 tidak ada penurunan standar deviasi dengan kata lain persebaran data stabil.

V. KESIMPULAN

Pengujian perubahan performa dengan menggunakan uji *wilcoxon* menunjukkan bahwa kondisi responden sesudah kerja jauh lebih buruk dari sebelum, atau dapat dikatakan bahwa sebagian besar responden mengalami penurunan performa. Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan kelelahan yang sudah ditunjukkan dari hasil regresi diatas.

Dengan hasil ini, dapat dikatakan bahwa PVT bisa digunakan dengan baik sebagai alat pengukur beban mental. Dan dari hasil pengujian dengan beberapa transformasi data didapatkan parameter pengujian yang lebih sensitif adalah dengan menggunakan *standardized 1/RT* dengan parameter standar deviasi, % *Lapses* dengan parameter *mean*.

Sebelum pengambilan data pengukuran, responden harus sudah terbiasa dengan penggunaan PVT. Untuk menghindari pengaruh dari *learning curve*, sehingga responden harus diberi *trial* sebanyak 1-3 kali sebelum pengambilan data penelitian (Dinges, 1997). Tapi dilihat dari pergerakan *learning curve* dengan standar deviasi (gambar 4.6) dapat diusulkan *trial* sebanyak 2x saja. Hal ini untuk mempersingkat metode pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Psychological Association, 2010. *Psychological healthy workplaces have lower turnover, less stress and higher satisfaction*. Psychologically Healthy Workplace Program: U.S Department of Labor. Diambil dari http://www.phwa.org/assets/general/phwa_chart_10_combo_lg.pdf.
- [2] Ariani, D.N., 2009. *Tinjauan faktor kelelahan*. Tugas Akhir Sarjana, Fakultas Kedokteran, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- [3] Balkin, Thomas.J., Horrey, William.J., Graeber, R.C., Czeisler, Charles.A., Dinges, David.F., 2011. The challenges and opportunities of technological approaches to fatigue management. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 565-572
- [4] Balkin, S.D., Fletcher. A., Dawson, D., Roach, G.D., 2009. A field and study of sleep and fatigue in regular rotating in 12-h shift system. *Applied Ergonomics*, 40, 694-698.
- [5] Blatter, K., Graw, P., Munch, M., Knoblauch, V., Justice, A.W., Cajochen, C., 2006. *Behavioural Brain Research*, 168, 312-317.
- [6] Bridger, R.S., 2003. *Introduction to ergonomics*. Taylor & Francis, Inc.
- [7] Bureau of Labor Statistic, 2008. *Stress in America*. Diambil dari <http://www.apa.org/news/press/releases/2008/10/stress-in-america.pdf>.
- [8] Bureau of Labor Statistics, 2009. *Stress in America Survey*. Diambil dari http://www.phwa.org/assets/general/phwa_chart_10_combo_lg.pdf.
- [9] Dinges, D. F., Pack, F., Williams, K., Gillen, K. A., Powell, J. W., Ott, G. E., Aptowicz, C., & Pack, A. I., 1997. Cumulative sleepiness, mood disturbance and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night. *Sleep*, 20, 267-277.
- [10] Dinges, D.F., Mallis, M., Maislin, G., Powell, J.W., 1998. Final Report: *Evaluation of Techniques for Ocular Measurement as an Index*

- of Fatigue and as the Basis for Alertness Management* (Report No. DOT HS 808 762). National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC.
- [11] Dinges, D.F., Mallis, M.M., 1998. Managing fatigue by drowsiness detection: can technological promises be realised? In: Hartley, L.R. (Ed.), *Managing Fatigue in Transportation: Proceedings of the Third International Conference on Fatigue and Transportation*. Elsevier, Oxford.
- [12] Dinges, D.F., Rider, R.L., Dorrian, J., McGlinchey, E.L., Rogers, N.L., Cizman, Z., et al., 2005b. Optical computer recognition of facial expressions associated with stress induced by performance demands. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 76 (6), B172–182.
- [13] Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2011). *Jumlah kecelakaan kereta api*. Diambil dari http://perkeretaapian.dephub.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=62&ffe5d588932e0dd5fc957eca7f6225ad=f12e20efb1d9675047c41d1c57afd366
- [14] Dorrian, J., Baulk, S.D., & Dawson, D. (2011). Work hours, workload, sleep and fatigue in Australia Rail Industry employees. *Applied Ergonomics*, 42, 202 – 209.
- [15] Dorrian, J., Roach, Gregory.D., Fletcher, A., Dawson, D., 2007. Simulated train driving: Fatigue, self-awareness and cognitive disengagement. *Applied Ergonomics* , 38, 155–166.

Kontrol Ukuran Pori Logam Busa Paduan Cu-15Zn dengan Fabrikasi Padat, Analisa Struktur Makro*

Ariosuko¹ dan Sri Harjanto²

¹Teknik Mesin Universitas Mercu Buana,

²Teknik Metalurgi & Material Universitas Indonesia

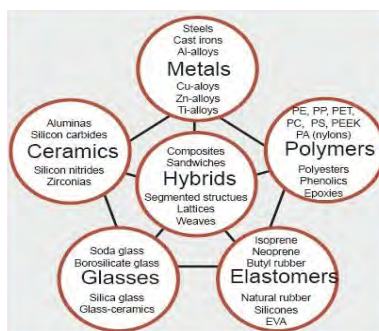
Abstrak -- Penelitian ini menggunakan serbuk utama Cu-15Zn (keluarga kuningan), dan bahan pembentuk pori yang digunakan adalah *Potassium carbonate* (K_2CO_3) dan *Silica Gel* (SiO_2). Morfologi logam busa ini, dicoba dikontrol dengan 4 variasi ukuran butir pengisi dan 2 skema sinter. Hasil karakterisasi produk logam busa; dihasilkan ukuran pori dengan rata-rata penyusutan 25%. Terbentuk berbagai jenis pori; pori terhubung (interkonek), pori tertutup, dan pori terbuka. Bentuk sel cenderung bulat mengikuti bentuk pengisi, terdiri dari jenis sel tertutup di sebagian permukaan dan jenis sel terbuka di sebagian besar permukaan. Densitas produk di kisaran $\sim 1,3 \text{ g/cm}^3$ untuk pengisi potasium semua ukuran dan $\sim 1,73 \text{ g/cm}^3$ untuk pengisi silika gel. Porositas di kisaran $\sim 81\%$ untuk pengisi potasium dan $\sim 76\%$ untuk pengisi silika gel.

Kata kunci : Logam Busa, Kuningan, Cu-15Zn, Metalurgi Serbuk, Sinter dan Pelarutan.

1. STUDI LITERATUR

A. Latar Belakang

Material busa, sering disebut *foam material* atau *cellular material*, adalah kelas material terbaru, lihat gambar 1, yang diperkenalkan pada akhir tahun 1990an. Hingga saat ini masih terus diteliti dan dikembangkan.



Gambar 1.1 Klasifikasi material tahun 2005 [1].

Ide logam busa diawali pada tahun 1995 oleh Simancik [2] dan Banhart [3] pada tahun 1996.

Selanjutnya mereka berdua banyak menghasilkan penelitian aluminium busa. Diawali dari keinginan untuk menciptakan struktur kendaraan transportasi yang lebih ringan. Pada awalnya hanya sifat ringan dan kekuatan yang menjadi keunggulan logam busa, namun penelitian-penelitian lanjutan menunjukkan keunggulan properti (sifat) lainnya.



Gambar 1.2 Busa aluminium dengan berbagai ukuran pori [2].

B. Atribut Logam Busa

Logam busa memiliki kombinasi atribut yang sulit ditandingi, di antaranya ; luas permukaan spesifik tinggi, ringan (material ini terdiri atas sekitar 90% rongga), daya tahan di lingkungan ekstrim (temperatur tinggi, korosi dan kelembaban, yang tergantung pada logam atau keramik yang digunakan), kekakuan, penyerap energi benturan yang baik, peredam suara bising yang baik, serta dapat didaur ulang (*recyclable*).

Meskipun memiliki manfaat besar pada sejumlah aplikasi industri, logam busa konvensional masih terbatas di pasar relung/ khusus, karena terbentur oleh tingginya biaya produksi dan persyaratan mutu.

B.1. Properti Logam Busa

Logam busa dikenal karena memiliki kombinasi sifat mekanis dan fisika yang menarik seperti ; kekakuan yang tinggi dengan berat jenis sangat rendah, atau kekuatan kompresi yang tinggi dengan karakteristik penyerapan energi yang baik. Properti ini di beberapa penelitian dipengaruhi oleh struktur, jenis, serta karakteristik dari sel dan pori penyusunnya [2,3,4,5].

B.2. Aplikasi Logam Busa

Kelas material ini secara garis besar dikelompokkan menjadi 2 aplikasi :

a) Aplikasi Struktural

Contoh aplikasi struktural adalah penyerap energi. Properti yang berpengaruh adalah; porositas, kekuatan

spesifik, keuletan terhadap tekanan (kompresi) dan biaya.

b) Aplikasi Fungsional

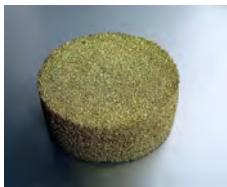
Contoh aplikasi fungsional adalah ; peredam suara, isolasi thermal, pelepas kalor, dan pendukung katalisator. Dimana memerlukan struktur jenis sel terbuka dan kecil. Matriks logam yang memungkinkan adalah berbasis Cu-, Fe-, Ti- atau Ni-

Khusus untuk aplikasi fungsional, salah satu matrix logam yang sering digunakan adalah berbasis Cu-. Dari sisi metode fabrikasi, Cu berwujud serbuk, sudah lama dikenal sebagai salah satu unsur penting di dunia teknik fabrikasi metalurgi serbuk.

C. Kuningan (Cu-15Zn) Busa

Dideskripsikan sebagai suatu paduan yang terdiri dari *copper* (lebih 50%) dan *zinc*, serta sejumlah kecil elemen lain yang mungkin ditambahkan.

Beberapa standar komposisi ; a) Cu= 55% dan Zn= 45%, b) Cu=65 dan Zn= 35%, c) Cu= 70% dan Zn= 30%, d) Cu= 80% dan Zn= 20%, e) Cu=85% dan Zn= 15%, f) Cu= 90% dan Zn= 10%.



Gambar 2.16 Contoh kuningan busa dengan struktur sel terbuka [6].

C.1. Penamaan Kuningan Busa

Kuningan busa memiliki beberapa nama atau sebutan, di antaranya; *Brass metal powder, brass metal plate, brass metal sheet, brass nanoparticles, brass metal wire, Brass powder, brass plate, brass sheet, brass nanoparticles, brass wire* [7].

Beberapa penamaan lain khusus untuk komposisi 85Cu-15Zn, yaitu dengan kode C23000 [8] atau *red brass* [9].

C.2. Aplikasi Kuningan Busa

Aplikasi khas untuk Cu-Zn ini, yaitu sebagai filter, *silencer*, dan katalis.

Filter berfungsi sebagai penyaring, bisa diaplikasikan sebagai penyaring air ataupun penyaring udara bertekanan pada aplikasi pneumatik.

Silencer berfungsi sebagai peredam suara, banyak dipakai di rangkaian pneumatik untuk otomatisasi pabrik, fungsinya mengurangi kegaduhan akibat suara buangan udara bertekanan.

Aplikasi sebagai katalis, misalnya sebagai pemercepat reaksi [10] atau sebaliknya sebagai penetral atau penghambat atau pencegah suatu reaksi kimia. Katalis yang bersifat mempercepat disebut katalis positif, sedangkan yang bersifat menghambat disebut katalis negatif, atau sering disebut inhibitor.

Aplikasi di bidang otomotif ialah sebagai ; *Friction*

material, gears, wheels, nuts, valves, fasteners, hardware, lock cylinders, latch bolts, automotive gears dan amunitions.

Seiring dengan semakin gencarnya isu lingkungan hidup, standar emisi kendaraan di negara-negara sedang berkembang juga mulai diperketat. Katalis yang dibuat dari bahan kuningan merupakan komponen penting pada *catalytic converter* kendaraan roda empat. Selain itu riset pemakaian katalis kuningan untuk kendaraan roda 2 juga sudah dimulai. Logam kuningan juga dikenal luas sebagai filter air dan aplikasi *water-treatment* [11].

C.3. Penelitian Cu-Zn Busa

Enrique M. Castrodeza dan Carlo Mapelli pada tahun 2008, mempublikasikan penelitian dengan judul *Processing of Brass Open-cell Foam by Silica-gel Beads Replication*, meneliti tentang fabrikasi CuZnPb busa (CW614N), dengan memilih silica-gel (SiO₂) sebagai bahan *space-holder*, dan larutan HF 25% sebagai pelarut silica gel. Namun tidak menggunakan teknik fabrikasi metode serbuk, melainkan menggunakan proses infiltrasi SiO₂ ke dalam CuZnPb cair ($\approx 1000^{\circ}\text{C}$). Uji tekan menggunakan laju beban 1 mm/min. Hasil berupa CuZnPb dengan densitas relatif 0,31. Jenis sel terbuka dengan pori saling terhubung [12].

Enrique M. Castrodeza dan Carlo Mapelli pada tahun 2009, melanjutkan penelitian itu dengan judul *Processing of Shape Memory CuZnAl Open-cell Foam by Molten Metal Infiltration*. Fokus penelitian ini adalah pada struktur mikro yang dihasilkan, serta tiadanya interaksi SiO₂ terhadap logam induk [13].

D. Kriteria Logam Busa

Menurut Girlich [14], logam busa tergolong porous media, dengan kriteria;

D.1. Memiliki densitas relatif

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{foam}}{\rho_{solid}} \approx 10\%, \quad (2.1)$$

D.2. Memiliki porositas,

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{foam}}{\rho_{solid}} \quad (2.2)$$

D.3. Memiliki permeabilitas

$$K = \frac{\mu}{A} \quad (2.3)$$

E. Parameter Logam Busa

Properti logam busa terutama ditentukan oleh jenis struktur serta ukuran sel, jenis dan ukuran pori, dan ada beberapa parameter lain.

E.1. Jenis atau Struktur Sel

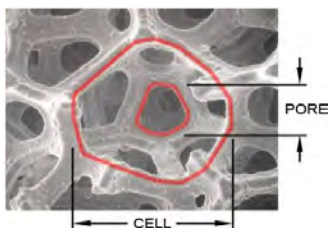
a) Jenis sel terbuka, lihat gambar 2.1 (a), secara morfologi sangat mirip dengan polimer busa namun dengan karakteristik logam (*ductility, electrical conductivity, weldability, dsb.*).

b) Jenis sel tertutup, dari luar tampak seperti rata, namun bila diiris melintang, maka akan tampak struktur porinya. Lihat gambar 2.1(b).



Gambar 2.1 Contoh sel terbuka (a), serta contoh sel tertutup (b) [4].

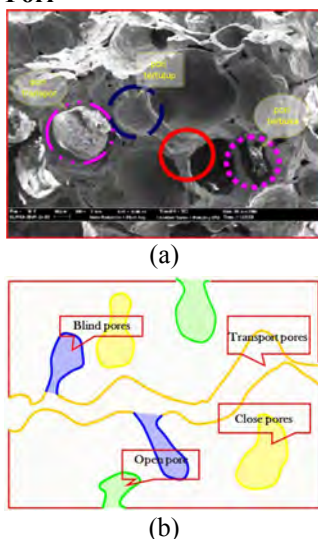
E.2. Ukuran Sel dan Pori



Gambar 2.2 Perbedaan pori dan sel [15].

Pore size atau ukuran pori ditunjukkan pada gambar 2.2. Gambar tersebut sekaligus memberi klarifikasi pengertian antara sel dan pori. Ukuran sel adalah ukuran rongga busa, sedangkan ukuran pori adalah ukuran lubang interkoneksi antar sel. Meskipun demikian, di banyak penelitian masih banyak kerancuan tentang perbedaan pemakaian istilah sel dan pori.

E.3. Jenis Pori



Gambar 2.3 Ilustrasi jenis pori, (a) langsung pada objek. (b) diagram [16].

a) Pori Transpor (transport pores) adalah pori yang menghubungkan antar bagian berbeda dari permukaan luar suatu padatan ke pori lebih kecil di

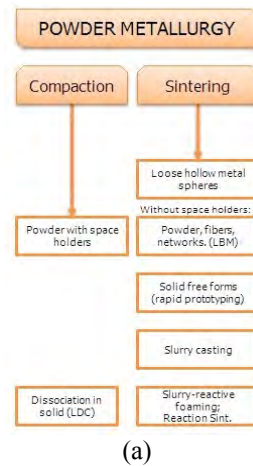
bagian dalam.

b) Pori Buntu (*blind/closed pores*) adalah pori yang berhubungan dengan pori transpor tapi tidak berhubungan ke pori atau permukaan lain.

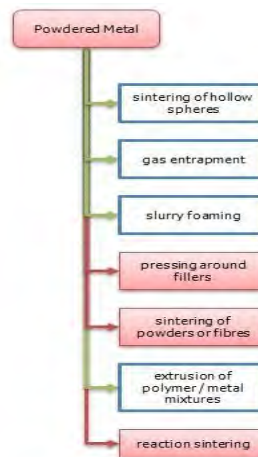
c) Pori Terbuka (*open pores*) adalah kebalikan dari pori tertutup. Tidak berhubungan dengan pori transpor, tapi berhubungan ke pori atau permukaan lain.

F. Metode Fabrikasi Padat

Berikut ini dua contoh metode produksi logam busa dari bahan serbuk (powder). Perhatikan penamaan metode produksi yang berbeda, walaupun secara prinsip sama. Juga bisa diamati terdapat kemiripan ide berdasarkan adanya tahapan proses kompaksi, sinter, serta cara 'penghilangan' pembentuk pori setelah proses sinter.



(a)



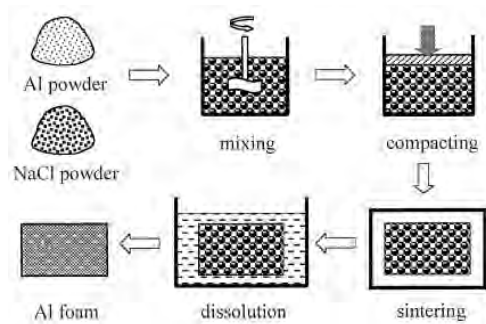
(b)

Gambar 2.4 Metode produksi logam busa dari bahan serbuk (a) Versi Degischer [17]. (b) Versi Banhart [18]. Beberapa metode pembuatan logam busa dari bahan serbuk ;

F.1. Sintering-Dissolution Process (SDP)

Proses sinter dan pelarutan atau SDP merupakan teknik pembuatan logam busa dari bahan baku serbuk yang merupakan eksperimen Y.Y. Zhao *et al* [19].

Penelitian ini fokus pada teknik fabrikasi dengan



pengaturan fraksi massa NaCl.

Gambar 2.5 Ilustrasi proses SDP [19].

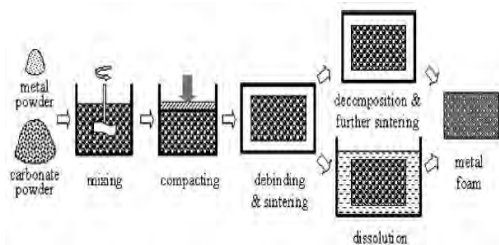
Pertama kali dikembangkan untuk manufaktur Al busa, dimana serbuk Al dan NaCl dengan nisbah tertentu dicampur lalu dikompaksi menjadi suatu bakalan. Bakalan ini lalu disinter pada suhu di bawah titik lebur NaCl. Al busa didapat setelah partikel NaCl yang 'ditanam' di dalam bakalan, dilarutkan dengan air.

SDP mampu memproduksi bentuk utuh Al busa dengan biaya rendah, dengan morfologi-ukuran-distribusi pori, serta porositas yang terkontrol. Dihasilkan Al busa dengan densitas relatif 0,15 – 0,5 dan ukuran pori antara 300 – 1000 μm .

F.2. Lost Carbonates Sintering (LCS)

Proses sinter dan pelarutan karbonat atau *Lost carbonate sintering* (LCS) merupakan suatu proses pembuatan logam busa dengan teknik metalurgi serbuk yang merupakan lanjutan penelitian oleh Zhao *et al* [20].

Dari ilustrasi gambar 2.5 dan 2.6 tahapan proses ini sangat mirip. Perbedaan akan tampak pada 3 strategi atau skema sinter, yaitu dengan tujuan memperoleh *debinding* dan *decomposition* akibat variasi skema sinter itu.

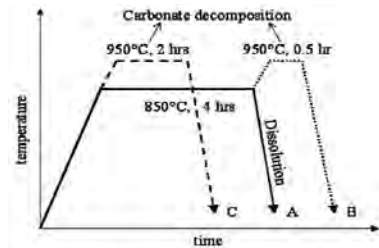


Gambar 2.6. Ilustrasi proses LCS [20].

Perbedaan lain LCS dibandingkan dengan SDP adalah pada jenis serbuk logam serta jenis serbuk garam yang digunakan, yaitu; serbuk logam menggunakan Cu, dan serbuk garam menggunakan garam karbonat K_2CO_3 .

Hasil penelitian ini adalah Cu busa dengan porositas antara 50 – 85% dan ukuran sel antara 53 – 1500 μm , yang dimanufaktur melalui tahapan pencampuran, kompaksi, dan sinter serbuk Cu dan K_2CO_3 , serta diikuti oleh pelarutan K_2CO_3 .

Dari hasil variasi skema sinter pada rute A dan C, didapat tembaga busa dengan hasil baik, sedangkan pada rute B didapat hasil tembaga busa kurang baik. Selain itu, penelitian ini juga menyajikan hasil uji tekan pada tembaga busa yang dibuat melalui rute A. Hasilnya adalah semakin tinggi porositas yang ada dalam tembaga busa maka kekuatan tekan akan semakin turun.



Gambar 2.7 Skema sinter pada LCS [20].

Beberapa tahap proses penting pada fabrikasi padat;

G. Sinter

Definisi ISO menyatakan “sinter adalah perlakuan panas suatu serbuk atau hasil kompaksi pada suatu temperatur di bawah titik-lebur unsur utama, untuk meningkatkan kekuatannya dengan cara mengikat bersama-sama partikel-partikelnya” [20].

Setelah kompaksi, komponen dimasukkan dalam suatu tungku sinter, umumnya jenis kontinyu [20]. Di proses ini 2 hal yang khas, yaitu ada 2 zone temperatur pemanasan; zone pertama untuk menyingkirkan pelumas, dan zone temperatur kedua (yang lebih tinggi) untuk memungkinkan terjadinya difusi dan ikatan antar partikel serbuk.

Sinter umumnya terdiri dari 6 tahap berbeda, yang tidak selalu berurutan : *Initial particle bonding, Neck growth, Pore rounding, Pore channel closure, densification and pore shrinkage, Pore coarsening* [21].

G.1. Jenis Sinter

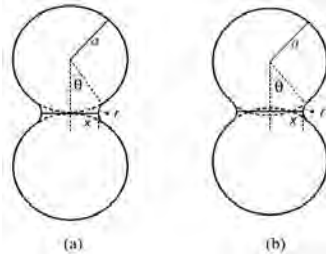
a) Sinter keadaan padat

Terjadi bila serbuk yang dikompaksi terdensifikasi seluruhnya pada suhu sinter. Biasanya dibagi menjadi 3 tahap yang saling tumpang tindih yaitu : *initial, intermediate dan final*.

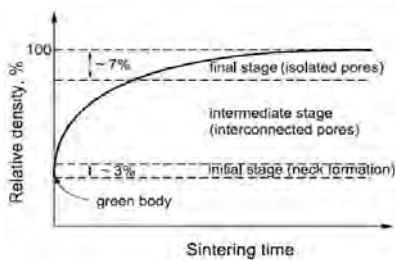
▪ Tahap Awal (initial)

Terjadi pembentukan leher antar partikel, dan berkontribusi terhadap penyusutan bakalan sekitar 2–3%. Pada gambar 2.19(a), jarak antar partikel tidak berubah namun ukuran leher bertambah sejalan dengan waktu sinter. Pada model gambar

2.19(b) dimana terjadi penyusutan, ukuran leher bertambah sesuai waktu sinter, disertai dengan transpor material antar partikel, sehingga terjadilah penyusutan.



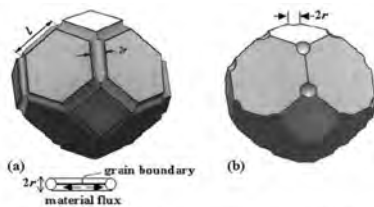
■ Gambar 2.19 Ilustrasi model 2 partikel untuk tahap awal sinter. (a) tanpa penyusutan. (b) terjadi penyusutan [22].



Gambar 2.18 Kurva densifikasi dan 3 tahap sinter [22].

■ **Tahap Intermediate**

Densifikasi mencapai 93% dari densiti relatif, terjadi sebelum isolasi pori. Model mikrostruktur Coble untuk tahap sinter *intermediate* didasarkan pada butiran *bcc-packed tetrakaidecahedral* dengan pori-pori berbentuk silinder sepanjang pada seluruh batas butir, seperti ditunjukkan di gambar 2.20(a). Model tahap *intermediate* ini berasumsi penyusutan sama pada arah radial. Meskipun masih belum sepenuhnya menggambarkan sinter sesungguhnya, tetapi pemodelan ini dapat menyederhanakan kerumitan proses sinter dan memungkinkan evaluasi efek variabel sinter pada kinetik sinter.



Gambar 2.20. Ilustrasi model 2 partikel menurut Coble, untuk (a) tahap *intermediate* sinter. (b) tahap akhir sinter [22].

■ **Tahap Akhir**

Densifikasi dari keadaan pori terisolasi ke densifikasi final. Untuk memodelkan tahap akhir sinter, Coble mengambil butiran

tetrakaidecahedral dengan pori-pori *spherical* dengan suatu radius r_1 di sudut-sudutnya, seperti di gambar 2.20 (b).

b) Sinter fasa cair

Terjadi bila suatu fasa cair hadir saat serbuk yang dikompaksi sedang disinter.

c) Sinter aliran viskos terjadi bila volume fraksi cairan cukup tinggi sehingga densifikasi penuh bakalan dapat dicapai oleh suatu aliran viskos campuran cair-butiran tanpa ada perubahan bentuk butir saat densifikasi.

d) Sinter transien fasa cair adalah suatu kombinasi antara sinter fasa cair dan sinter kondisi padat. Di sinter teknik ini suatu fasa cair terbentuk di bakalan pada tahap awal sinter, tetapi cairan itu hilang seiring berjalannya proses dan densifikasi selesai di keadaan padat.

G.2. Atmosfir sinter.

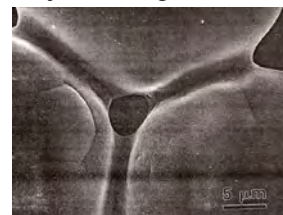
Operasi sinter ini selalu dilaksanakan di lingkungan atau atmosfer yang bersifat melindungi permukaan benda kerja terhadap oksidasi.

Beberapa atmosfer sinter, antara lain; gas nitrogen, uap ammonia, gas hidrogen, gas alam (CH_4), gas propana, dan lain-lain. Setiap pilihan atmosfer sinter, akan menghasilkan penyusutan bakalan yang berbeda-beda [21].

G.3. Temperatur Sinter.

Komponen dipanaskan hingga temperatur sinter yang besarnya tergantung pada jenis logam. Pencatatan kontrol kecepatan pemanasan, waktu, temperatur, dan atmosfer diperlukan untuk reproduksi hasil terbaik.

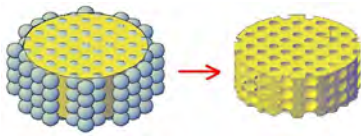
Temperatur sinter antara 60 – 90% dari titik lebur logam atau paduan yang bersangkutan. Pada kenaikan temperatur ini, atom-atom bebas berdifusi, sehingga terjadi rekristalisasi, dan batas antar partikel menjadi batas butir. Sambungan menyerupai leher terbentuk antar partikel sebagai tanda hadirnya rekristalisasi, seperti telah ditunjukkan di gambar 2.17.



Gambar 2.17. Rekristalisasi saat Sinter, ditandai dengan terbentuknya 'leher' atau 'neck' di pertemuan butir [23].

H. Pelarutan

Proses pelarutan adalah tahapan setelah proses sinter. Bertujuan melarutkan bahan pengisi (fillers) yang dikompaksi dan disinter bersama bakalan. Ruang kosong yang ditinggalkan oleh *fillers* yang larut, inilah yang disebut sel logam busa.



Gambar 2.21 Ilustrasi pelarutan.

I. Rumusan Masalah

Kriteria keberhasilan proses pembuatan logam busa ialah apabila pembentukan porositas dapat dikontrol dengan efisien dan akurat. Maka permasalahan untuk penelitian ini adalah

- a) Bagaimana cara mengatur pembentukan pori seefisien mungkin pada fabrikasi Cu-Zn busa.
- b) Bagaimana pengaruh skema sinter terhadap properti dan morfologi Cu-Zn busa.
- c) Bagaimana pengaruh jenis dan ukuran butir bahan pengisi pada fraksi massa konstan, terhadap properti dan morfologi Cu-Zn busa.

J. Batasan Masalah

J.1. Bahan Baku

- a) Serbuk logam Cu murni dan Zn murni.
- b) Bahan pengisi K_2CO_3 dan Silica gel (SiO_2).
- c) Pelumas zinc stearate (ZnO).
- d) Bahan pengikat adalah ethanol (C_2H_5-OH) kadar 70%.
- e) Pelarut; Air hangat untuk melarutkan K_2CO_3 setelah sintering [20,24]. Serta HF (asam fluorida) untuk melarutkan silica gel setelah sintering [12].

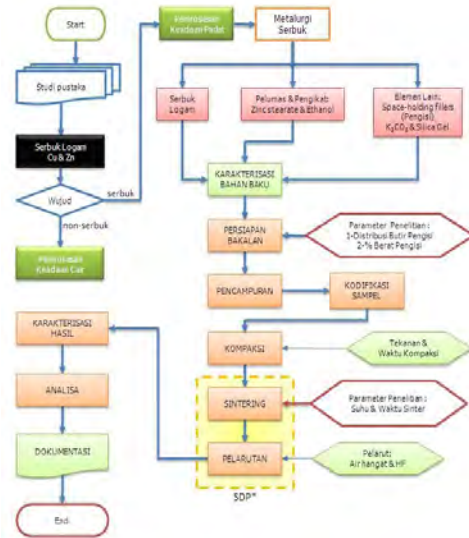
J.2. Parameter Proses

- a) Kompaksi dengan gaya 20 MPa (200 bar) selama 15 menit.
- b) Komposisi logam induk; 85% Cu dan 15% Zn.
- c) Bentuk dan ukuran butir pengisi ; bentuk cenderung bulat dengan ukuran butir 0,420 – 0,542 – 0,841 – 2,650 mm.
- d) Skema sinter ;
 - Kode S1 untuk temperatur sinter 900°C dan waktu tahan 45 menit, mengikuti skema sinter [21].
 - Kode S2 untuk temperatur sinter 850°C dan waktu tahan 60 menit, modifikasi dari [21] untuk skema sinter Cu-10Zn dan [7] untuk acuan temperatur sinter. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 1.3.
- e) Atmosfir sinter menggunakan gas nitrogen (N_2).

J.3. Pengujian-pengujian

- a) Karakterisasi bahan (sebelum fabrikasi)
- b) Karakterisasi produk (sesudah fabrikasi)
 - Struktur makro

K. Diagram Alir Penelitian

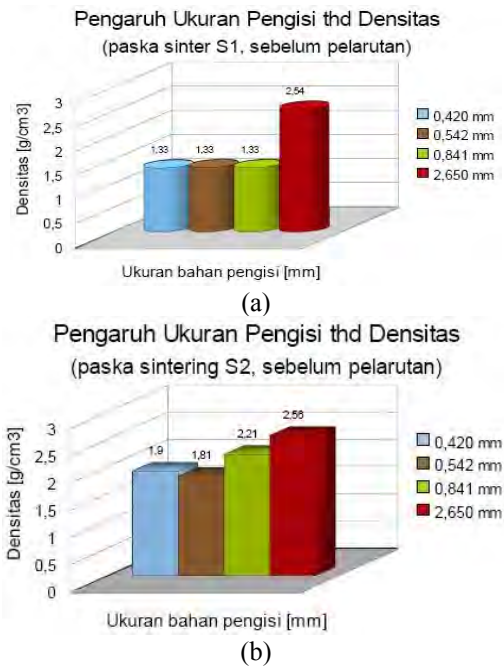


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

2. HASIL & ANALISA

A. Karakterisasi Hasil Sinter

Kalkulasi pengaruh skedul sinter terhadap densitas menghasilkan grafik perbandingan densitas hasil sinter pada gambar 4.3. Namun berbeda dengan dimensi bakalan hasil kompaksi, sampel hasil sinter mengalami beragam deformasi. Karena wujud fisik yang tidak lagi berupa silinder sempurna, maka hasil pengukuran fisiknya adalah berdasarkan pendekatan rerata di beberapa titik.

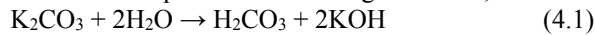


Gambar 4.3 Densitas paska sinter. (a) skema sinter S1. (b) skema sinter S2.

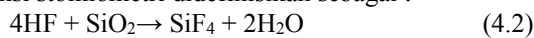
Skema sinter S2 (850°C 60 menit) menghasilkan fenomena perubahan densitas yang lebih variatif dibanding skema sinter S1 (900°C 45 menit). Lama waktu sinter yang sedikit lebih panjang, walaupun dengan suhu lebih rendah, memberi kesempatan pada bakalan untuk lebih berkonsolidasi.

B. Analisa Proses Pelarutan

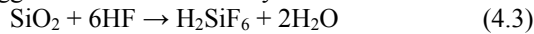
Pengisi potassium dilarutkan oleh air, reaksi stokiometri dapat dituliskan sebagai berikut ;



Silica-gel dilarutkan oleh larutan HF (konsentrasi 25% vol.), hasil pengenceran dari HF konsentrasi 55%. Reaksi stokiometri didefinisikan sebagai :



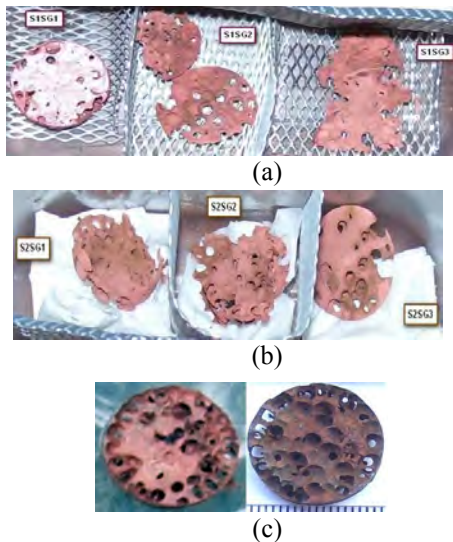
Penggunaan larutan HF menyebabkan reaksi berikut :



dan



Morfologi partikel SiO₂ yang berpori juga membantu mempercepat larutnya bahan pengisi ini.



Gambar 4.4 Perbandingan metode pelarutan SiO₂ (a) S1SGn. (b) S2SGn. c) Sampel [25] metode ditetes (waktu tahan kompaksi 1 jam) dan Sinter 850°C 120 menit

C. Hasil Perhitungan Apparent Density dan Foam Density

Perhitungan densitas teoritis (di lampiran 2, tabel L.8) adalah *apparent density* atau densitas logam solid atau nyata.

Sedangkan densitas logam busa (*foam density*), yang dihitung dengan prinsip hukum Archimedes tentang gaya apung, adalah densitas logam busa. Densitas logam busa suatu varian ditentukan dengan menghitung nilai rata-ratanya. Hasilnya bisa dilihat di gambar 4.5 untuk kedua skema sinter.



Gambar 4.5. Pengaruh ukuran pengisi terhadap Densitas logam busa.

Pada skema sinter S1; pengisi berukuran 2,650 mm menghasilkan densitas logam busa 1,73 g/cm³, pengisi berukuran 0,841 mm menghasilkan densitas logam busa 1,30 g/cm³, pengisi berukuran 0,542 mm menghasilkan densitas logam busa 1,34 g/cm³, pengisi berukuran 0,420 mm menghasilkan densitas logam busa 1,38 g/cm³.

Pada skema sinter S2; pengisi berukuran 2,650 mm menghasilkan densitas logam busa 1,73 g/cm³, pengisi berukuran 0,841 mm menghasilkan densitas logam busa 1,40 g/cm³, pengisi berukuran 0,542 mm menghasilkan densitas logam busa 1,36 g/cm³, pengisi berukuran 0,420 mm menghasilkan densitas logam busa 1,29 g/cm³.

Melihat nilai densitas yang dihasilkan dari penelitian-penelitian tentang logam busa yang telah dilakukan, ternyata kebanyakan menggunakan *foam density*, walaupun sering disebut sebagai *density* saja.

Pada perhitungan fraksi volume, berat masing-masing zat penyusun bakalan dikonversi menjadi volume dengan cara membaginya dengan densitas atau berat jenis masing-masing zat. Dengan menggunakan rumus 3.6 dan 3.7 ternyata *apparent density* untuk sampel dengan pengisi potassium dan silica-gel masing-masing berbeda, yaitu 3,17 g/cm³ dan 4,86 g/cm³.

D. Hasil Perhitungan Densitas Relatif

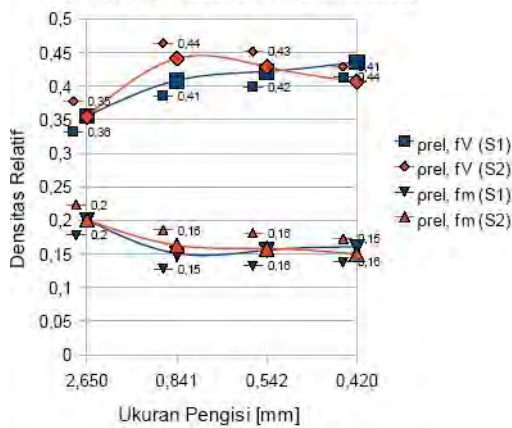
Densitas relatif adalah perbandingan *foam density* terhadap *solid* atau *apparent density*, dengan kriteria Girlich [14] (persamaan 2.1). Contoh perhitungan densitas relatif logam busa dengan fraksi massa (D2) dan fraksi volume (D1) adalah;

D.1. Pengisi SiO₂ $\rho_{rel} = \frac{1,73}{4,86} = 0,36$

D.2. Pengisi SiO₂ $\rho_{rel} = \frac{1,73}{8,6} = 0,20$

Perhitungan densitas relatif dengan fraksi massa terlihat lebih mendekati kriteria logam busa, yaitu sebesar 10%.

Perbandingan Perhitungan Densitas Relatif (fraksi volume vs fraksi massa)



Gambar 4.6 Perbandingan Densitas Relatif Fraksi Berat dan Fraksi Volume.

Hasil lengkap perbandingan densitas relatif, dihitung masing-masing dengan fraksi volume dan fraksi massa, dipresentasikan pada gambar 4.6.

Dari perhitungan densitas, ternyata densitas kuningan busa sekitar 1/5 dari wujud konvensional (padat). Porositas bahkan mencapai rerata ~80%, suatu angka yang sangat baik untuk penghematan material.

E. Hasil Perhitungan Porositas

Porositas dihitung dengan rumus 2.2 atau 3.4. Hasil ditampilkan di tabel L.9 (lampiran 2). Contoh perhitungan porositas ;

E.1. Pengisi SiO₂ $\epsilon = 1 - \frac{1,73}{4,86} = 0,64$ (fraksi volume)

E.2. Pengisi SiO₂ $\epsilon = 1 - \frac{1,73}{8,6} = 0,80$ (fraksi massa)

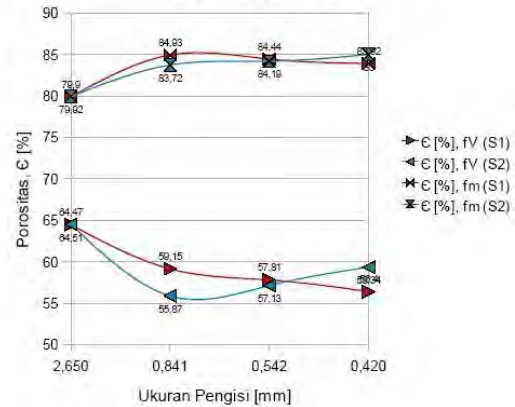
Ternyata fenomena densitas terhadap ukuran pengisi dan skema sinter, otomatis berpengaruh pada porositas.

Dengan mengolah kembali tabel L.9 (lampiran 2) maka dihasilkan tabel L.12 (lampiran 2) untuk perhitungan porositas dengan fraksi volume. Sehingga grafik perbandingan porositas hasil perhitungan fraksi massa dan fraksi volume dipresentasikan menjadi gambar 4.7.

Dengan fraksi massa, porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 2,65 mm adalah 79,9% dengan skema sinter S1 dan 79,92% dengan skema sinter S2. Sedangkan porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 0,841 mm adalah 84,93% dengan skema sinter S1 dan 83,72% dengan skema sinter S2. Porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 0,542 mm adalah 84,44% dengan skema sinter S1 dan 84,19% dengan skema sinter S2. Terakhir, porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 0,420 mm

adalah 83,92% dengan skema sinter S1 dan 85% dengan skema sinter S2.

Perbandingan Perhitungan Porositas (fraksi volume vs fraksi massa)



Gambar 4.7 Perbandingan Porositas Fraksi Berat dan Fraksi Volume.

Dengan fraksi volume, porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 2,65 mm adalah 64,47% dengan skema sinter S1 dan 64,51% dengan skema sinter S2. Sedangkan porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 0,841 mm adalah 59,15% dengan skema sinter S1 dan 55,87% dengan skema sinter S2. Porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 0,542 mm adalah 57,81% dengan skema sinter S1 dan 57,13% dengan skema sinter S2. Terakhir, porositas yang dihasilkan oleh pengisi berukuran 0,420 mm adalah 56,4% dengan skema sinter S1 dan 59,34% dengan skema sinter S2.

Perbandingan perhitungan porositas juga menunjukkan bahwa dengan fraksi massa, nilai porositas yang didapat lebih mendekati hasil penelitian porositas logam busa umumnya. Oleh karena itu nilai densitas dan porositas yang dipakai adalah hasil perhitungan fraksi massa.

F. Morfologi Logam Busa

F.1. Hasil Visual Struktur Makro

Dengan mengolah data pengukuran sel (tabel L.6) serta foto makro (gambar L.3) yang dilakukan di mikroskop dengan perbesaran 7x untuk sel bentukan pengisi silica gel, dan 32x untuk sel bentukan pengisi potasium karbonat. Didapat hasil sebagai berikut ;

a) Ukuran Sel ; Untuk butiran silica gel 2,650 mm, menghasilkan sel berukuran rerata masing-masing 2,265 mm dan 2,432 mm untuk skedul sinter S1 dan S2.

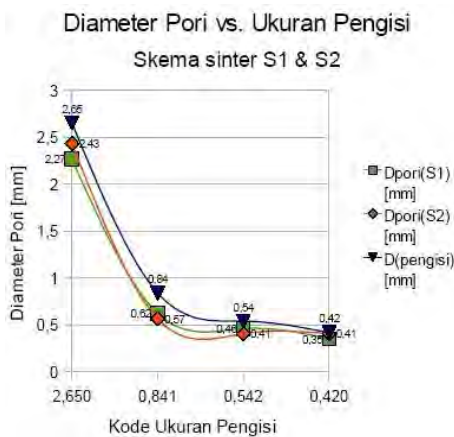
Butiran potasium 0,841 mm mengkonstruksi sel dengan diameter rata-rata 0,624 mm pada skedul sinter S1. Sedangkan pada skedul sinter S2 mengkonstruksi sel berdiameter rerata 0,567 mm.

Untuk butiran potasium 0,542 mm, mengkonstruksi

sel berdiameter 0,462 mm pada skedul sinter S1. Sedangkan pada skedul sinter S2 mengkonstruksi sel berdiameter 0,409 mm.

Terakhir, untuk butiran potasium 0,420 mm, mengkonstruksi sel dengan ukuran rerata 0,354 mm pada skedul sinter S1. Sedangkan pada skedul sinter S2 mengkonstruksi sel dengan ukuran rerata 0,407 mm.

Melihat kecenderungan bentuk grafik 4.8 ternyata agak sulit memprediksi ukuran sel yang akan dihasilkan dari ukuran butir tertentu dengan 2 variasi skema sinter ini.



Gambar 4.8 Pengaruh Ukuran Pengisi terhadap Ukuran Sel.

b) Penyusutan Ukuran Sel. Pada skema sinter S1, ukuran pengisi 2,65 mm menghasilkan sel dengan penyusutan 14,52%, pengisi berukuran 0,841 mm menghasilkan sel dengan penyusutan 25,81%, pengisi berukuran 0,542 mm menghasilkan sel dengan penyusutan 14,85%. Dan pengisi berukuran 0,420 mm menghasilkan sel dengan penyusutan 15,74%.

Sedangkan skema sinter S2, menghasilkan penyusutan berturut-turut 8,24%; 32,58%; 24,63% dan 3,02%. Masing-masing hasil dari ukuran pengisi berturut-turut 2,650 mm, 0,841 mm, 0,542 mm dan 0,420 mm.

Menurut German [23], jenis gas yang digunakan sebagai atmosfer sinter serta lama waktu sinter berpengaruh terhadap penyusutan. Skema sinter S2 yang 850°C selama 60 menit menghasilkan penyusutan lebih besar dari S1, namun tidak berlaku untuk ukuran butir terbesar dan terkecil.

Sebagai pembandingan untuk ukuran butir pengisi 2,65 mm, pada penelitian [25] dihasilkan penyusutan 27,92% dari temperatur sinter 850°C dengan waktu tahan 2 jam, namun menggunakan bahan serbuk Cu murni. Hasil ini membuktikan bahwa semakin lama waktu tahan penyusutan

semakin bertambah.

Sedangkan untuk ukuran pengisi 841, 542, serta 420 µm sebagai pembandingan adalah penelitian [25] dengan bahan serbuk Cu murni dan skenario sinter 850°C dan 900°C dengan waktu tahan 120 menit. Penelitian ini memperoleh hasil penyusutan ukuran sel rerata berturut-turut 25,24%, 58,98%, dan 53,65% untuk suhu sinter 850°C. Dan penyusutan 22,63%, 55,96%, dan 48,04% untuk suhu sinter 900°C.



(a)



(b)

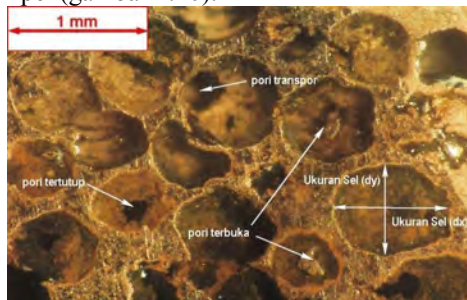
Gambar 4.9 Grafik penyusutan ukuran pengisi. (a) Hasil penelitian ini. (b) Dibandingkan dengan penelitian lain.

Hasil dua penelitian di atas [27,25] berbeda dengan hasil penelitian ini, bahkan bertolak belakang dengan hasil penelitian [27] (gambar 4.9(b)), namun tidak bertentangan dengan referensi [23].

c) Jenis Sel. Sebagian sampel memiliki permukaan yang tampak rapat, sehingga dapat dikatakan memiliki jenis sel tertutup. Sedangkan sebagian besar sampel memiliki jenis sel terbuka.

d) Jenis Pori. Berdasarkan kriteria dari referensi [16,28], semua jenis pori; pori transpor, pori

tertutup, dan pori terbuka terdapat hampir di semua sampel (gambar 4.10).



Gambar 4.10 Contoh hasil foto makro dengan perbesaran 32x pada sampel S1203.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan 2 skema sinter; S1 (900°C selama 45 menit) dan S2 (850°C selama 60 menit) dan analisa hasil pengujian bisa disimpulkan sebagai berikut ;

A. Ukuran pengisi 2,650 mm menghasilkan pori berukuran 2,265 mm atau menyusut 14,52% dengan skema sinter S1. Sedangkan dengan skema sinter S2 menghasilkan pori berukuran 2,432 mm atau menyusut 8,24%. Ukuran pengisi 0,841 mm menghasilkan masing-masing 0,624 mm (menyusut 25,81%) dan 0,567 mm (menyusut 32,58%) untuk skema sinter S1 dan S2. Ukuran pengisi 0,542 mm menghasilkan masing-masing 0,462 mm (menyusut 14,85%) dan 0,409 mm (menyusut 24,63%) untuk skema sinter S1 dan S2. Dan, ukuran pengisi 0,420 mm menghasilkan masing-masing 0,354 mm (menyusut 15,74%) dan 0,407 mm (menyusut 3,02%) untuk skema sinter S1 dan S2.

B. Terjadi penyusutan ukuran sel yang tidak teratur pada masing-masing skema sinter. Skema sinter S1 (900°C selama 45 menit) menghasilkan fenomena penyusutan yang relatif lebih kecil selisihnya antar tiap ukuran pengisi. Tetapi pada skema sinter S2, ketidak teraturan penyusutan relatif cukup besar.

C. Sebagian besar jenis sel yang terbentuk adalah sel terbuka. Jenis sel tertutup hanya terbentuk di sebagian permukaan beberapa sampel.

D. Terbentuk berbagai jenis pori; pori transpor, pori tertutup, dan pori terbuka di semua variasi ukuran pengisi.

E. Perbedaan skema atau skedul sinter S1 dan S2, keduanya cukup memungkinkan terbentuknya fasa paduan Cu-Zn, walaupun di sebagian sampel kurang terlihat. Fasa yang terbentuk dari hasil skema S2 tampak lebih merata dibandingkan dengan hasil skema S1.

F. Perhitungan densitas dan porositas dengan fraksi volume menghasilkan densitas rata-rata 0,41 g/cm³ untuk kedua skema sinter. Sedangkan porositas rata-

rata adalah 59,45% dan 59,21% masing-masing untuk skema S1 dan S2.

Perhitungan dengan fraksi massa menghasilkan densitas rata-rata 0,17 g/cm³ untuk kedua skema sinter. Sedangkan porositas rata-rata adalah 83,3% dan 83,21% masing-masing untuk skema sinter S1 dan S2.

4. DAFTAR ACUAN

- [1] Ashby, M.F. (2005). *Material Selection in Mechanical Design*, Butterworth-Heinemann.
- [2] Simancik, F. Degischer, & H.P. Worz, H. (1995). *Foamed Aluminium - Light Structural and Insulation Material*, In: Euromat '95, Venice/Padua, Italy, 25. - 28 September, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano.
- [3] Banhart, J. & Baumeister, M. Weber (1996). *Damping Properties of Aluminium Foams*, Material Science and Engineering A205 p 221-228.
- [4] Vesenjak, Matej. Ochsner, Andreas, & Ren, Zoran. (2005). *Influence of Pore Gas in Closed-Cell Cellular Structures under Dynamic Loading*, LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg.
- [5] Banhart, John. (2000). *Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams*, Progress in Materials Science 46 (2001) 559-632, www.elsevier.com/locate/pmatsci
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/File:DSC01389.JPG>
- [7] <http://www.reade.com/products/4-alloys-metal-inorganic-powder-sheet-a-wire/69-brass-metal-a-powder-cu-zn>. Diakses 10 September 2009.
- [8] ASM International Handbook (1990). *Properties & Selection: Nonferrous Alloys & Special-Purpose Materials*, vol. 2.
- [9] <http://www.copper.org/resources/properties/microstructure/brasses.html> diakses Oktober 2009.
- [10] Catillon, Stephanie. Louis, Catherine. & Rouget, Robert (2004). *Development of New Cu₀-Zn^{II}/Al₂O₃ Catalyst Supported on Copper Metallic Foam for The Production of Hydrogen by Methanol Steam Reforming*, Topics in Catalysis Vols.30/31, July 2004. Universite Pierre et Marie Curie, Paris, France.
- [11] www.shelterecology.com diakses November 2009.
- [12] Castrodeza, Enrique M. & Mapelli, Carlo (2008). *Processing of Brass Open-cell Foam by Silica-gel Beads Replication*, Journal of Materials Processing Technology.
- [13] Castrodeza, Enrique M., et al. (2009).

- “*Processing of Shape Memory CuZnAl Open-cell Foam by Molten Metal Infiltration*”, Journal of Materials Engineering and Performance, Springer New York, ISSN 1059-9495 (Print) 1544-1024 (Online), Volume 18, Numbers 5-6 / August, 2009, Pages 484-489.
- [14] www.m-pore.de Diakses Oktober 2009.
- [15] www.ergaerospace.com/foamproperties/introduction.htm Diakses November 2009.
- [16] Syarif, Zain (). *Porosity & Sorption Behaviour*, Powerpoint, University Malik Abdul Aziz.
- [17] Degischer, Hans-Peter & Kriszt, Brigitte (2000). *Handbook of Cellular Metals; Production, Processing, Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KgaA.
- [18] Degischer, Hans-Peter & Kriszt, Brigitte (2000). *Handbook of Cellular Metals; Production, Processing, Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KgaA.
- [19] Zhao, Y.Y. & Sun, D.X. (2001). *A Novel Sintering-Dissolution Process for Manufacturing Al Foams*, Materials Science & Engineering, Departement of Engineering, The University of Liverpool. Scripta materialia 44, pages 105-110.
- [20] Zhao, Y.Y., et all (2004). *Lost Carbonate Sintering Process for Manufacturing Metal Foams*, Departement of Engineering, The University of Liverpool. Scripta materialia 52, pages 295-298, Elsevier.
- [21] ASM International Handbook (1998). *Powder Metal Technologies and Applications*, vol. 7.
- [22] Kang, Suk-Joong L. (2005). *Sintering Densification, Grain Growth, and Microstructure*, Elsevier.
- [23] German, Randall M. (1984). *Powder Metallurgy Science*, Metal Powder Industries Federation.
- [24] Harjanto, Sri & Ika, Iman Firmansyah (2008). *Copper Foam Manufacturing by The Process of Powder Metallurgy and Dissolution of Carbonates*, Departemen Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Univesitas Indonesia, Depok.
- [25] Harjanto, Sri & Irwan (2009). *Copper Foam Manufacturing by The Process of Powder Metallurgy and Dissolution of Silica-Gel*, Departemen Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Univesitas Indonesia, Depok.
- [26] Wheeler KR, Karagianes MT, Sump K.R. *Conf. Titanium Alloys in Surgical Implants*. Philadelphia, USA: American Societyfor Testing and Materials, 1983. p. 241.
- [27] Harjanto, Sri & Khalid Mawardi (2009). *Pengaruh Temperatur Sinter & Ukuran Partikel Garam Karbonat terhadap Struktur Pori Tembaga Busa dengan Metoda Sintering & Pelarutan Garam Karbonat*, Departemen Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Univesitas Indonesia, Depok.
- [28] Sibilis, John P. (1996). *A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysis*, 2nd edition, Wiley-VCH.

Metoda Agregat Planning Heuristik Campuran Pada Proses Pembuatan Kertas Di Paper Machine #9 PT.Pindo Deli Pulp And Paper Mills

Erry Rimawan, Atep Afia Hidayat, Tri Syaputra

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, KebOn Jeruk, Jakarta Barat 11650 Telp : 021-586 1779, 333 80 800

E-mail : akangg@gmail.com, tri.syaputra@yahoo.co.id

Abstrak--. PT. Pindo Deli Pulp and Paper Mills (PT. PINDO) adalah perusahaan yang bergerak di dalam bidang industri Pulp and Paper (kertas jadi). Agregat Planning suatu proses penerapan tingkat output atau kapasitas produksi secara keseluruhan guna memenuhi tingkat keseluruhan yang di dapat dari peramalan dan pesanan dengan tujuan meminimal total biaya produksi. Peramalan permintaan produksi dilakukan dengan menggunakan dua metode sebagai perbandingan yang rasio kesalahan terkecil, metode Double Exponential Smoothing dan linear setelah ditemukan dari kesalahan peramalan terkecil maka akan dilanjutkan keproses penghitungan inventory dengan dua cara yaitu: Metode Economic Order Quantity dan Metode Economic Kuantitatif yang akan memberikan nilai rata-rata inventory terkecil sehingga dapat di hitung jumlah persediaan yang dibutuhkan. Serta akan dilanjutkan dengan menggunakan metode Agergat Planning yang memiliki dua cara yaitu: Metode pengendalian Tenaga Kerja, Metode Campuran-Subkontrak dan Metode Campuran-Overtime. Dari penelitian yang telah dilakukan maka metode peramalan dengan kesalahan terkecil adalah Metode Linear yang mana akan memiliki nilai perbandingan dengan pengolahan data Inventory dengan Metode Economic Order Quantity yang mana akan menghemat Total Inventory Cost-nya sebesar Rp. 291.723.709 (1,1%) 1 tahun, dan berdasarkan dari metode penelitian diketahui bahwa Metode Campuran-Overtime adalah metode yang terbaik, dengan total biaya agregat sebesar Rp. 397.269.975, selanjutnya adalah Metode Pengendalian Tenaga Kerja, dengan total biaya agregat sebesar Rp. 461.254.792 dan Metode Campuran-Subkontak, dengan total biaya agregat sebesar Rp. 465.589.597.

Kata kunci: Double Exponential Smoothing, linear, Metode Economic Order Quantity, Metode pengendalian Tenaga Kerja, Metode Campuran-Subkontrak dan Metode campuran-Overtime.

I. PENDAHULUAN

PT. Pindo Deli Pulp and Paper Mills (PT. PINDO) adalah perusahaan yang bergerak di dalam bidang industri Pulp and Paper (kertas jadi). permintaan akan produk-produk itu pun kian meningkat. Kendala yang menjadi tinjauan utama dalam peningkatan produktivitas untuk mengantisipasi peningkatan permintaan pasar adalah keterbatasan kapasitas produksi. Untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya ketidakcukupan kapasitas produksi, perencanaan kebutuhan kapasitas harus dilakukan sebaik mungkin dengan biaya seminimal mungkin. Sehingga tidak terdapat ketidakcukupan kapasitas dan perusahaan mendapat keuntungan yang optimal dalam setiap produksinya. Pada penelitian ini penulis mengambil tema *agregat planning* dalam rangka proses perencanaan penetapan tingkat output/kapasitas produksi secara menyeluruh guna memenuhi tingkat permintaan yang diperoleh dari pesanan dengan tujuan meminimalkan total biaya produksi. Perencanaan ini diusulkan untuk bagian manajemen produksi sebagai upaya menentukan cara terbaik untuk memenuhi permintaan dengan menyesuaikan tingkat produksi, kebutuhan tenaga kerja, persediaan, waktu lembur, sub kontrak dan semua variabel yang dapat dikendalikan perusahaan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Agregat Planning

Perencanaan *agregat* berarti menggabungkan sumber daya-sumber daya yang sesuai ke dalam istilah-istilah yang lebih umum dan menyeluruh. Dengan adanya ramalan permintaan, serta kapasitas fasilitas, persediaan jumlah tenaga kerja dan input produksi yang saling berkaitan., maka perencana harus memilih tingkat output untuk fasilitas selama tiga sampai delapan belas bulan ke depan. Perencanaan ini diantaranya bisa diterapkan untuk perusahaan manufaktur, rumah sakit, akademi serta, penerbit buku.

Perencanaan *agregat* merupakan bagian dari system perencanaan produksi yang lebih besar, sehingga

pemahaman mengenai keterkaitan antara rencana dan beberapa factor internal dan eksternal merupakan sesuatu yang berguna. Di lingkungan perusahaan manufaktur, jadwal produksi utama yang dihasilkan memberikan input untuk system yang mengutamakan mengenai perolehan atau produksi komponen-komponen yang diperlukan Jadwal kerja yang mendetil untuk tenaga kerja dan penjadwalan berprioritas untuk produk dihasilkan sebagai tahapan terakhir system perencanaan produksi.

Fungsi Perencanaan Agregat

Beberapa fungsi perencanaan *agregat* yaitu :

- Menemukan metode yang tepat untuk digunakan sebagai strategi perusahaan dalam menghadapi jumlah permintaan, sehingga ditemukan jumlah biaya terkecil.
- Menjamin rencana penjualan dan rencana produksi konsisten terhadap rencana strategi perusahaan
- Alat ukur performansi proses perencanaan produksi
- Menjamin kemampuan produksi konsisten terhadap rencana produksi dan membuat penyesuaian
- Memonitor hasil produk actual terhadap rencana produksi dan membuat penyesuaian
- Mengatur persediaan produk jadi untuk mencapai target dan membuat penyesuaian
- Mengarahkan penyusunan dan pelaksanaan jadwal induk produksi

Tujuan Perencanaan Agregat Planning

Perencanaan *agregat* bertujuan untuk :

1. Mengembangkan perencanaan produksi yang *feasible* pada tingkat menyeluruh yang akan mencapai keseimbangan antara permintaan dan suplai dengan memperhatikan biaya minimal dari rencana produksi yang dibuat, walaupun biaya bukan satu-satunya bahan pertimbangan.
2. Sebagai masukan perencanaan sumber daya sehingga perencanaan sumber daya dikembangkan untuk mendukung perencanaan produksi
3. Meredam (stabilisasi) produksi dan tenaga kerja terhadap *fluktuasi* permintaan

Input Perencanaan Agregat

Informasi yang diperlukan untuk membuat perencanaan *agregat* yang efektif:

1. Sumber daya yang tersedia sepanjang periode rencana produksi harus diketahui
2. Data permintaan yang berasal dari peramalan dan pesanan yang kemudian diterjemahkan kedalam tingkat produksi
3. Memasukkan kebijakan perusahaan yang berkenaan dengan perencanaan *agregat*, misalnya perubahan tingkat tenaga kerja, dan penentuan kebutuhan sumber daya

Output Perencanaan Agregat

Output dari proses perencanaan *agregat* biasanya berupa jadwal produksi untuk pengelompokan produk berdasarkan “famili”. Misalnya untuk produsen mobil, *output* memberikan informasi mengenai berapa mobil yang harus diproduksi, tetapi bukan pada berapa mobil yang bermerk A, berseri B maupun berseri C. Jadi berupa jumlah keseluruhan *output* yang dihasilkan tiap periode tertentu bukan berdasarkan tipe.

Metode – Metode Perencanaan Agregat

Metode – metode perencanaan *agregat* adalah metode heuristik (*trial and error*) dan metode optimasi.

Metode heuristik (trial – and – error)

Berikut ini adalah 5 tahapan dalam metode pembuatan Metode heuristik :

- Tentukan permintaan pada setiap periode
- Tentukan berapa kapasitas pada waktu – waktu biasa, waktu lembur, dan tindakan SubKontrak pada setiap periode.
- Tentukan biaya tenaga kerja, biaya pengangkutan dan pemberhentian tenaga kerja, serta biaya penambahan persediaan.
- Pertimbangan kebijakan perusahaan yang dapat diterapkan pada para pekerja dan tingkat persediaan.
- Kembangkan rencana – rencana alternatif dan amatilah biaya totalnya.

Beberapa metoda Heuristik antara lain :

- Metode pengendalian tenaga kerja Pada metode ini, jumlah yang diproduksi pada periode pertama diinisialkan sebesar demand pada periode pertama. Jika demand pada periode berikutnya mengalami kenaikan, maka akan dilakukan penambahan kapasitas. Jika pada periode berikutnya demand mengalami penurunan, maka produksi akan diturunkan sebesar *demandnya*.
- Metode pengendalian persediaan Metode ini menerapkan tingkat produksi sebesar permintaan rata – ratanya . jika jumlah produksi lebih besar, maka kelebihanannya akan disimpan sebagai persediaan. Jika kondisi yang terjadi sebaliknya maka persediaan akan dikeluarkan untuk memenuhi permintaan. Selanjutnya akan dievaluasi apakah selama masa perencanaan tetap akan terjadi kekurangan. Jika masih ada kekurangan, maka bagian produksi harus menyesuaikan persediaan awalnya sebesar maksimal kekurangan yang terjadi selama masa periode perencanaan tersebut. Sehingga, tidak akan terjadi kekurangan pada suatu periode. Kelemahan metode ini yaitu biaya persediaan yang membengkak.
- Metode pengendalian subkontrak Metode ini memproduksi pada tingkat demand yang paling kecil selama periode perencanaan. Apabila pada suatu periode demand lebih besar dibandingkan

tingkat produksi, maka akan dilakukan SubKontrak.

- Metode campuran Pada metode campuran, tingkat produksi pada tingkat diset berdasarkan kondisi *actual*. Tingkat produksi ini ditentukan berdasarkan jumlah lintasan produksi atau mesin, jumlah hari kerja, tingkat efisiensi, tingkat utilitas mesin dan jumlah shiftnya. Apabila terjadi kelebihan akan disimpan, jika kekurangan akan dilakukan over time untuk menaikkan kapasitas. Kenaikan kapasitas maksimal sebesar 20% dari kapasitas reguler. Jika masih kekurangan diperbolehkan melakukan SubKontrak. Jadi pada metode ini, variabel yang dikendalikan tidak hanya satu variabel produksi, tetapi bisa lebih dari 2 variabel produksi.

Metode optimasi

Perencanaan agregat dapat digunakan menggunakan metode optimasi yang terdiri atas model program linier dan model transportasi land. Metode ini mengizinkan penggunaan produksi reguler, *overtime*, *inventory*, *back order*, dan SubKontrak. Hasil perencanaan yang diperoleh dapat dijamin optimal dengan asumsi optimistik bahwa tingkat produksi (yang dipengaruhi hiring dan training pekerja) dapat dirubah dengan cepat. Agar metode ini dapat diaplikasikan, kita harus memformulasikan persoalan perencanaan agregat sehingga :

- kapasitas tersedia (*supply*) dinyatakan dalam kg yang sama dengan kebutuhan (*demand*).
- total kapasitas horizon perencanaan harus sama dengan total peramalan kebutuhan. Bila tidak sama, kita gunakan variabel dummy sebanyak jumlah selisih tersebut dengan *cost nol*.
- semua hubungan biaya merupakan hubungan linier.

Model progama linier

Program linier dapat digunakan sebagai alat perencanaan agregat. Model ini dibuat karena avaliditas pendekatan koefisien manajemen sukar dipertanggungjawabkan. Asumsi model program linier adalah :

- Tingkat permintaan (*Dt*) diketahui dan diasumsikan deterministik
- Biaya variabel – variabel ini bersifat linier dan variabel – variabel tersebut dapat berbentuk bilangan riil
- Batas atas dan bawah jumlah produksi dan *inventory* mempresentasikan batasan kapasitas dan space yang bisa dipakai. Asumsi ini sering kali menyebabkan model program linier kurang realistis jika diterapkan. Misalnya variabel berbentuk bilangan riil, sementara itu pada kenyataannya nilai variabel – variabel tersebut adalah bilangan bulat. Tujuan dari formulasi program linier adalah meminimasi ongkos total yang berbentuk linier terhadap kendala kendala linier.

Model transportasi

Untuk kepentingan yang lebih efisien, bigel mengusulkan model perencanaan produksi agregat dengan menggunakan teknik transport shipment problem (TSP). Model ini dilakukan dengan menggunakan bantuan tabel transportasi. Untuk memudahkan proses perencanaan agregat, metode ini dibantu dengan *supply demand*, dimana baris menandakan alternatif kapasitas yang ada dan kolom menunjukkan demand yang harus dipenuhi. Pada setiap cell, terdapat biaya untuk masing – masing alternatif kapasitas.

Biaya Perencanaan Agregat

Sebagian besar metode perencanaan agregat menentukan suatu rencana yang meminimasi biaya. Jika permintaan diketahui, maka biaya-biaya berikut harus dipertimbangkan:

- *Hiring cost* (ongkos penambahan tenaga kerja) Penambahan tenaga kerja menimbulkan ongkos - ongkos untuk iklan, proses seleksi, dan training. Ongkos training merupakan ongkos yang besar apabila tenaga kerja yang direkrut adalah tenaga kerja baru yang belum berpengalaman.
- *firing cost* (ongkos pemberhentian tenaga kerja) Pemberhentian tenaga kerja biasanya terjadi karena semakin rendahnya permintaan akan produk yang dihasilkan, sehingga tingkat produksi akan menurun secara drastis ataupun karena persoalan teknis seperti produktivitas yang menurun, serta factor yang ada pada diri tenaga kerja itu sendiri. pemberhentian ini mengakibatkan perusahaan harus mengeluarkan uang pesangon bagi karyawan yang di PHK, menurunkan moral kerja dan produktifitas karyawan yang masih bekerja, dan tekanan yang bersifat social.
- *Overtime cost* dan *undertime cost* (ongkos lembur dan ongkos menganggur) Penggunaan waktu lembur bertujuan untuk meningkatkan output produksi, tetapi konsekuensinya perusahaan harus mengeluarkan ongkos tambahan lembur yang biasanya 150% dari ongkos kerja reguler. Disamping ongkos tersebut, adanya lembur biasanya akan memperbesar tingkat absent karyawan dikarenakan faktor kelelahan fisik pekerja. Kebalikan dari kondisi diatas adalah bila perusahaan mempunyai kelebihan tenaga kerjadimandingkan dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk kegiatan produksi. Tenaga kerja berlebih inikadang – kadang bisa dialokasikan untuk kegiatan lain yang produktif meskipun tidak selamanya efektif. Bila tidak dapat dialokasikan yang efektif. Maka perusahaan dianggap menanggung ongkos menganggur yang besarnya merupakan perkalian antara jumlah yang tidak terpakai dengan tingkat upah dan tunjangan lainnya.
- *Inventory cost* dan *back order cost* (ongkos persediaan dan ongkos kehabisan persediaan) Persediaan mempunyai fungsi mengantisipasi

timbulnya kenaikan permintaan pada saat – saat tertentu. Konsekuensi dari kebijaksanaan perusahaan adalah timbulnya ongkos penyimpanan (*Inventory cost* dan *back order cost*) yang berupa ongkos tertahannya modal, pajak, asuransi, kerusakan bahan, dan ongkos sewa gudang. Kebalikan dari kondisi diatas, kebijakkan tidak mengadaaan persediaan. Seolah –olah menguntungkan tetapi sebenarnya dapat menimbulkan kerugian dalam bentuk ongkos kehabisan persediaan. Ongkos kehabisan persediaan ini dihitung berdasarkan berapa permintaan yang datang tetapi tidak dilayani karena barang yang diminta tidak tersedia. Kondisi ini pada sistem MTO. Akan mengakibatkan jadwal penyerahan order terlambat, sedangkan pada sistem MTS akan mengakibatkan beralihnya pelanggan ke produk lain. Kekecewaan pelanggan karen tidak tersedianya barang yang dibutuhkan sehingga akan diperhitungkan sebagai kerugian bagi perusahaan, dimana kerugian tersebut angkas dikelompokan sebagai ongkos sebagai ongkos kehabisan persediaan. Ini sama nilainya dengan pemesanan kembali bila konsumen masih bersedia menunggu.

- *Sub-contract* (ongkos SubKontrak) Pada saat permintaan melebihi kemampuan kapasitas reguler, biasanya perusahaan menSubKontrak kelebihan permintaan yang tidak bisa ditanganinya sendiri kepada perusahaan lain. Konsekuensinya dari kebijakan ini adalah timbulnya ongkos SubKontrak, dimana biasanya ongkos menSubKontrak ini menjadi lebih mahal dibandingkan memproduksi sendiri dan adanya resiko terjadinya keterlambatan penyerahan dari kontraktor.

Asumsi

Departemen produksi PT. PINDO mempunyai kebijakan sebagai berikut :

- Jumlah tenaga kerja di Nissin Crispy sebanyak ± 7.672 orang tapi di PM #9 hanya 35 orang di lantai unit produksi.
- Kapasitas pabrik dibatasi oleh *labour-hour* yang tersedia sebanyak 24 jam kerja per hari dan jumlah hari per minggu sebanyak : 6 hari kerja.
- Dalam satu hari dioperasikan tiga shift = 8 jam
- Dengan efisiensi waktu yang diharapkan sebanyak: 95%
- Pengangkatan tenaga kerja baru dengan jumlah maksimum 7,3 % dari tenaga awal. Dengan jumlah maksimal tenaga kerja ± 2 orang / periode.

- Apabila terjadi kelebihan tenaga kerja maka pemecatan maksimal sebesar 8 orang/*shift*/periode.
- Sedangkan biaya simpan (*holding cost*) adalah sebesar Rp.150./kg/periode.
- Biaya tenaga kerja sebesar Rp. 1.299.000,-/orang/periode. Berdasarkan keputusan manajer SDM perusahaan, biaya yang dikeluarkan untuk pengangkatan atau rekrutmen tenaga kerja Hiring cost sebesar 95 % dari upah reguler.
- *Overtime* / biaya lembur per hari Rp. 80.000,-/hari.
- Penyimpanan Bahan baku Rp. 150,-kg/bln
- Distribusi profitmargin yang adil adalah Rp. 450.000,- (BBPK)

Tabel 4-1. Data Permintaan Produksi pada mesin #9 (Januari 2010 – Januari 2011)

Bulan	Permintaan (kg)
Januari	373.234
Februari	660.756
Maret	249.630
April	801.979
Mei	567.670
Juni	802.077
Juli	236.360
Agustus	216.753
September	340.894
Oktober	401.964
November	445.768
Desember	451.091

III. ANALISA

Peramalan

Tabel 4-5. Hasil peramalan dengan metode linear 2011 - 2012

Bulan	Demand (Xt)	Ft
Januari	373,234	538,041
Februari	660,756	524,278
Maret	249,63	510,516
April	801,979	496,754
Mei	567,67	482,991
Juni	802,077	469,229
Juli	236,36	455,467
Agustus	216,753	441,705
September	340,894	427,942
Oktober	401,964	414,180
Nopember	445,768	400,418
Desember	451,091	386,655

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Tingkat Inventory dengan Metode

Economic Order Quantity (EOQ)

Bulan	Priode	I Awal	Fp	Q (eoq)/1x pesan	Q(EOQ)/kg	D	I Akhir	T
Jan-12	1	373.234	9	40.216	361.946	538.041	340.901	28.247
Feb-12	2	660.756	9	53.510	481.586	524.278	(93.786)	34.894
Mar-12	3	249.630	9	32.890	296.007	510.516	475.395	24.584
Apr-12	4	801.979	9	58.951	530.561	496.754	(339.032)	37.614
Mei-12	5	567.670	9	49.597	446.377	482.991	(48.064)	32.938
Jun-12	6	802.077	9	58.955	530.593	469.229	(394.212)	37.616
Jul-12	7	236.360	9	32.004	288.032	455.467	386.542	24.141
Agust-12	8	216.753	9	30.647	275.827	441.705	390.829	23.463
Sep-12	9	340.894	9	38.434	345.910	427.942	169.080	27.356
Okt-12	10	401.964	9	41.735	375.619	414.180	50.777	29.007
Nop-12	11	445.768	9	43.951	395.556	400.418	(40.489)	30.114
Des-12	12	451.091	9	44.212	397.911	386.655	(75.691)	30.245
Σ							822.252	360.217

Metoda Heuristik Perencanaan Produksi Agregate

Tabel 4-13. Histogram permintaan dan tentukan kecepatan produksi rata-rata.

Bulan	Ft	Pt
Januari	538.041	462.348
Februari	524.278	462.348
Maret	510.516	462.348
April	496.754	462.348
Mei	482.991	462.348
Juni	469.229	462.348
Juli	455.467	462.348
Agustus	441.705	462.348
September	427.942	462.348
Oktober	414.180	462.348
Nopember	400.418	462.348
Desember	386.655	462.348

Tabel 4-14. Permintaan akan Produk Secara Agregat.

Bulan	Ft	Kumulatif Permintaan
Januari	538.041	538.041
Februari	524.278	1.062.319
Maret	510.516	1.572.835
April	496.754	2.069.589
Mei	482.991	2.552.580
Juni	469.229	3.021.810
Juli	455.467	3.477.276
Agustus	441.705	3.918.981
September	427.942	4.346.923
Oktober	414.180	4.761.103
Nopember	400.418	5.161.521
Desember	386.655	5.548.176

Metode Pengendalian Tenaga Kerja

Parameter rata – rata produksi.

Bila total produksi selama 1 tahun atau 12 bulan priode (Januari 2011 – Desember 2012) di ketahuwi adalah 5.548.176kg.

$$\begin{aligned}
 \text{Hiring cost} &= \frac{\text{Upah minimum Regional PT}}{95\%} \\
 &= \frac{\text{Rp. 1.299.000,00}}{95\%} \\
 &= \text{Rp. 1.234.050,00}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata – rata Produksi} &= \frac{\Sigma \text{jumlah permintaan}}{t(\text{waktu/priode})} \\
 &= \frac{5.548.176 \text{kg}}{12} \\
 &= 462.348 \text{kg/bln}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata – rata produksi per hari} &= \frac{\text{rata – rata produksi perbulan}}{\text{total hari kerja maksimal}} \\
 &= \frac{462.348 \text{ kg/bln}}{26 \text{ hari}} \\
 &= 17.783 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Pekerja di unit produksi mesin #9 adalah 30 orang pekerja dari 7.672 pekerja.

$$\begin{aligned}
 \text{Rata – rata produksi pekerja} &= \frac{\text{rata – rata produksi perhari}}{\text{jumlah pekerja}} \\
 &= \frac{17.783 \text{ kg/bln}}{30 \text{ pkj\#9}} \\
 &= 592,77 \text{kg/bln}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Output per – pekerja perjam} &= \frac{\text{rata – rata produksi pekerja}}{\text{jumlah jam kerja dalam satu shift}} \\
 &= \frac{592,77 \text{kg/bln}}{8 \text{ jam kerja}} \\
 &= 74,1 \text{kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Output pekerja perbulan} &= \frac{\text{Rata – rata produksi perbulan}}{\text{jumlah tenaga kerja}} \\
 &= \frac{462.348 \text{kg}}{30} \\
 &= 15411,6 \text{kg/bln}
 \end{aligned}$$

Parameter hiring cost dan firing cost.

Diketahuwi Upah minimum Daerah Karawang adalah Rp. 1.111.000 tapi upah minimum di PT. Pindo Deli Pulp and Paper Mills adalah ± Rp. 1.299.000,00 per-bulan.

Jadi Upah minimum 1 orang pekerja per-bulan di unit produksi #9 Rp. 1.299.000,-

$$\begin{aligned}
 \text{Hiring cost perhari} &= \frac{\text{hiring cost}}{\text{jumlah hari kerja}} \\
 &= \frac{\text{Rp. 1.234.050,00}}{26 \text{ hari}} \\
 &= \text{Rp. 47.463,00}
 \end{aligned}$$

Dalam satu hari ada 3 *shift* yang dioperasikan perharinya, 1 *shift*-nya 8 jam kerja. Maka Hiring cost perjam-nya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Hiring cost perjam} &= \frac{\text{Hiring cost perhari}}{\text{Jumlah jam kerja}} \\ &= \frac{\text{Rp. 47.463,00}}{8 \text{ jam/shift}} \\ &= \text{Rp. 5.928,875} \approx \text{Rp. 5.950/ perjam} \\ \text{Hiring cost per - kg} &= \frac{\text{Hiring cost perjam}}{\text{Output pekerja perjam}} \\ &= \frac{\text{Rp. 5.950,00 perjam}}{74,09 \text{ kg/pkj}} \\ &= \text{Rp. 80,31} \approx \text{Rp. 90,-} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Firing cost perhari} &= \frac{\text{Upah minimum provinsi}}{\text{jumlah hari kerja}} \\ &= \frac{\text{Rp. 1.299.000}}{26} \\ &= \text{Rp. 49.961} \approx \text{Rp. 50.000,-perhari} \\ \text{Firing cost perjam} &= \frac{\text{Firing cost perhari}}{\text{jumlah jam kerja pershift}} \\ &= \frac{\text{Rp. 50.000,00 perhari}}{8 \text{ jam/shift}} \\ &= \text{Rp. 6.250,-/jam} \\ \text{Firing cost per - kg} &= \frac{\text{Firing cost perjam}}{\text{Output pekerja perjam}} \\ &= \frac{\text{Rp. 6.250/jam}}{74,09 \text{ kg/jam}} \\ &= \text{Rp. 84,357} \end{aligned}$$

Jadi Upah minimum 1 orang pekerja per-bulan di unit produksi #9 Rp. 1.299.000,-.Maka untuk menghitung firing costnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4-16. Rekapitulasi Metode Pengendalian Tenaga Kerja Firing.

No	Priode	Demand	Hiring	Firing	Tenaga Kerja	Biaya Tk	Biaya Total
1	Januari	538.041	0	Rp 6.385.208	34,91	Rp 45.349.922,09	Rp 51.735.130,54
2	Februari	524.278	0	Rp (1.160.947)	34,02	Rp 44.189.936,26	Rp 43.028.989,27
3	Maret	510.516	0	Rp (1.160.947)	33,13	Rp 43.029.950,42	Rp 41.869.003,43
4	April	496.754	0	Rp (1.160.947)	32,23	Rp 41.869.964,59	Rp 40.709.017,60
5	Mei	482.991	0	Rp (1.160.947)	31,34	Rp 40.709.978,75	Rp 39.549.031,76
6	Juni	469.229	0	Rp (1.160.947)	30,45	Rp 39.549.992,92	Rp 38.389.045,93
7	Juli	455.467	0	Rp (1.160.947)	29,55	Rp 38.390.007,08	Rp 37.229.060,09
8	Agustus	441.705	0	Rp (1.160.947)	28,66	Rp 37.230.021,25	Rp 36.069.074,26
9	Septembe	427.942	0	Rp (1.160.947)	27,77	Rp 36.070.035,41	Rp 34.909.088,42
10	Oktober	414.180	0	Rp (1.160.947)	26,87	Rp 34.910.049,58	Rp 33.749.102,59
11	Nopember	400.418	0	Rp (1.160.947)	25,98	Rp 33.750.063,74	Rp 32.589.116,75
12	Desember	386.655	0	Rp (1.160.947)	25,09	Rp 32.590.077,91	Rp 31.429.130,92
Total Biaya							Rp 461.254.791,56

Biaya firing = selisih Demand dengan Priode sebelumnya x hiring cost

$$= (524.278 - 462.348) \times \text{Rp. 84,357} = \text{Rp. 6.385.208}$$

Tenaga Kerja perBulan = Demand : Output pekerja

$$= 524.278 : 15411,6 = 34,91$$

Biaya TK perbulan = Tenaga Kerja x Gaji pekerja

$$= 34,91 \times \text{Rp. 1.299.000,-} = \text{Rp. 45.399.922,09,-}$$

Mengendalikan jumlah persediaan

Tabel 4-17.

Laju Rata – rata Permintaan dan Fluktuasi Permintaan.

Permintaan	Kumulatif	Kcp Produksi	Kumulatif Produksi	persediaan	penyesuaian
538.041	538.041	462.348	462.348	75.693	310.962
524.278	1.062.319	462.348	924.696	137.623	324.725
510.516	1.572.835	462.348	1.387.044	185.791	338.487
496.754	2.069.589	462.348	1.849.392	220.197	352.249
482.991	2.552.580	462.348	2.311.740	240.840	366.012
469.229	3.021.810	462.348	2.774.088	247.722	379.774
455.467	3.477.276	462.348	3.236.436	240.840	393.536
441.705	3.918.981	462.348	3.698.784	220.197	407.298
427.942	4.346.923	462.348	4.161.132	185.791	421.061
414.180	4.761.103	462.348	4.623.480	137.623	434.823
400.418	5.161.521	462.348	5.085.828	75.693	448.585
386.655	5.548.176	462.348	5.548.176	0,00	462.348
5.548.176	Σ				
462.348	f				
386.655	Min				

sumber data yang diolah

Keterangan :

$$\begin{aligned} \text{Persediaan} &= \text{Kumulatif Permintaan} - \text{Kumulatif Produksi} \\ &= 538.041 - 462348 = 75.693 \end{aligned}$$

Penyesuaian persediaan(n:386.655)

$$\begin{aligned} &= (\text{unit} - \text{persediaan}) + \text{kecepatan Produksi} \\ &+ \text{Persediaan} = (538.041 - 386.655) + 462.348 + 75.693 = 310.962 \end{aligned}$$

Total Inventory Cost (TIC)

Sekilas ulasan harga terkini dan opini, Harga Pokok Produksi Kayu Pulp.

Tabel 4-18. HPP, harga dasar dan distorsi harga pasar kayu pulp.

Suku bunga (%)	HPP (Rp/m ³)		Harga dasar (Rp/m ³)		Harga pasar kayu rakyat (Rp/m ³)		Distorsi harga kayu pulp hutan rakyat (Rp/m ³)	
	HTI	HR	HTI	HR	Mangium	Lainnya	Mangium	Lainnya
7,5	107.176	240.051	200.954	450.097	250.000	325.000	200.097	125.097
10	86.740	223.632	173.480	447.264	250.000	325.000	197.264	122.264
12,5	71.514	209.081	151.968	444.298	250.000	325.000	194.299	119.299
15	59.962	196.139	134.915	441.313	250.000	325.000	191.313	116.313

Metode Economic Order Quantity (EOQ) :

$$TIC = (DXP) + \left(\frac{DxC}{Q}\right) + (IXH)$$

$$TIC = (538.041kg \times Rp.450.100,-m^3) + \left(\frac{538.041kg \times Rp.325.000,-}{40.216,26kg}\right)$$

$$+ (28.247 \times Rp.150,00,-)$$

$$TIC = Rp.250.703.429,00 -$$

Metode Economic Kuantitatif :

$$TIC = (DXP) + \left(\frac{DxC}{Q}\right) + (IXH)$$

$$TIC = (538.041kg \times Rp.450.100,-m^3) + \left(\frac{538.041kg \times Rp.325.000,-}{40.216,26kg}\right)$$

$$+(75.693 \times Rp.150,00,-)$$

$$TIC = Rp.257.874.092,00 -$$

Metode Campuran Dengan SubKontrak

Pada metode pengendalian SubKontrak, perusahaan melakukan pelimpahan order yang tidak bisa terpenuhi kepada perusahaan lain dengan asumsi biaya per-kg adalah sebesar Rp.75,- dan tingkat produksi perbulan diambil dari demand paling kecil, maka perhitungan untuk metode pengendalian SubKontrak. Metode pengendalian SubKontrak ditunjukkan sebagai berikut :

Tabel 4-19. Rekapitulasi Pengendalian SubKontrak

Priode	Demand	Tingkat Produksi	Jml Subkontrak	Biaya Subkontrak	Tenaga kerja	Biaya TK	Biaya Total
Januari	538.041	386.655	151.385	Rp 11.353.903,8	25,09	Rp 32.590.078	Rp 43.943.981,8
Februari	524.278	386.655	137.623	Rp 10.321.730,8	25,09	Rp 32.590.078	Rp 42.911.808,7
Maret	510.516	386.655	123.861	Rp 9.289.557,7	25,09	Rp 32.590.078	Rp 41.879.635,6
April	496.754	386.655	110.098	Rp 8.257.384,6	25,09	Rp 32.590.078	Rp 40.847.462,5
Mei	482.991	386.655	96.336	Rp 7.225.211,5	25,09	Rp 32.590.078	Rp 39.815.289,4
Juni	469.229	386.655	82.574	Rp 6.193.038,5	25,09	Rp 32.590.078	Rp 38.783.116,4
Juli	455.467	386.655	68.812	Rp 5.160.865,4	25,09	Rp 32.590.078	Rp 37.750.943,3
Agustus	441.705	386.655	55.049	Rp 4.128.692,3	25,09	Rp 32.590.078	Rp 36.718.770,2
September	427.942	386.655	41.287	Rp 3.096.519,2	25,09	Rp 32.590.078	Rp 35.686.597,1
Oktober	414.180	386.655	27.525	Rp 2.064.346,2	25,09	Rp 32.590.078	Rp 34.654.424,1
Nopember	400.418	386.655	13.762	Rp 1.032.173,1	25,09	Rp 32.590.078	Rp 33.622.251,0
Desember	386.655	386.655	-	Rp -	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.590.077,9
Total Biaya							Rp 459.204.358,-

Keterangan :

Jumlah Subkontrak = Demand – Tingkat Produksi

$$= 538.041 - 386.655 = 151.385$$

Biaya Subkontrak = Jumlah subkontak x Biaya subkontrak

$$= 151.385 \times Rp. 75,- = Rp. 11.353.903,8$$

Tenaga Kerja = Tingkat Produksi : Output Pekerjaan perBulan

$$= 386.655 : 15.411,6 = 25,1$$

Biaya tenaga kerja = Tenaga kerja x Gaji pekerja perbulan

$$= 25,1 \times Rp. 1.299.000,00,- = Rp. 32.590.078,00,-$$

Biaya Firing = (Rata – rata produksi perbulan – Tingkat Produksi) x Firing Cost

$$= (462.348 - 386.655ton) \times Rp. 84,357-$$

$$= Rp. 6.385.234,401,-$$

Biaya total jika Perusahaan menggunakan Metode ini = Biaya Firing + Biaya Total = Rp.6.385.234,401- + Rp. 459.204.358,- = Rp.465.589.597,401

Metode Campuran Dengan Overtime cost

Overtime cost dan undertime cost (*ongkos lembur dan ongkos menganggur*) Penggunaan waktu lembur bertujuan untuk meningkatkan output produksi, tetapi konsekuensinya perusahaan harus mengeluarkan ongkos tambahan lembur yang biasanya 150% dari ongkos kerja regular. Tingkat produksi perbulan diset dengan menggunakan demand terkecil perbulan 386.655 ton produksi terkecil dari keseluruhan produksi perbulan.

$Kapasitas\ OverTime = Pekerja\ maksimal\ x\ hari\ minggu\ x\ output\ pekerja\ perhari$

$$= 30 \times 5 \times 592,77kg/pkj = 88916kg$$

Overtime di bayar lebih besar dari jam kerja reguler biasa dengan bayaran Rp. 80.000,- perhari/orang/priode. Maka upah OverTime perjam adalah sebagai berikut:

$$Upah\ Overtime\ perjam = \frac{Upah\ perperiode}{24jam}$$

$$= \frac{Rp.\ 80.000,00,-}{24jam}$$

$$= Rp.\ 3.333,3$$

$$Upah\ Overtime\ per\ -\ kg = \frac{Upah\ Overtime\ perjam}{Output\ pekerja\ perbulan}$$

$$= \frac{Rp.\ 3.333,3,-}{15.411,6}$$

$$= Rp.\ 0,216kg$$

Tabel 4-20. Rekapitulasi Metode Campuran Dengan Over Time

Priode	Hari Mgg	Produksi	Demand	Kekurangan RT	Kapasitas OT	Biaya OT	Tenaga Kerja	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Total
Januari	5	386.655	538.041	(151.385)	88.916	Rp (32.699)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.557.379
Februari	4	386.655	524.278	(137.623)	71.132	Rp (29.727)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.560.351
Maret	4	386.655	510.516	(123.861)	71.132	Rp (26.754)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.563.324
April	5	386.655	496.754	(110.098)	88.916	Rp (23.781)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.566.297
Mei	4	386.655	482.991	(96.336)	71.132	Rp (20.809)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.569.269
Juni	4	386.655	469.229	(82.574)	71.132	Rp (17.836)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.572.242
Juli	5	386.655	455.467	(68.812)	88.916	Rp (14.863)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.575.215
Agustus	4	386.655	441.705	(55.049)	71.132	Rp (11.891)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.578.187
Septembe	5	386.655	427.942	(41.287)	88.916	Rp (8.918)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.581.160
Oktober	4	386.655	414.180	(27.525)	71.132	Rp (5.945)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.584.133
Nopembe	4	386.655	400.418	(13.762)	71.132	Rp (2.973)	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.587.105
Desembe	5	386.655	386.655	-	88.916	Rp -	25,09	Rp 32.590.078	Rp 32.590.078
Total Biaya									Rp 390.884.739

sumber data Yang diolah

Keterangan :

$$Kekurangan\ Regular\ Time = Regular\ Time - Demand$$

$$= 386.655 - 538.041 = -151.385$$

$$Biaya\ Overtime = Kekurangan\ Regular\ Time \times biaya\ Overtime$$

$$= -151.385 \times 0,216 = Rp.(32.699),-$$

$$Tenaga\ Kerja = Tingkat\ Produksi : Gaji\ Pekerja\ Perbulan$$

$$= 386.655 : 15.411,6 = 25,09$$

$$Biaya\ tenaga\ kerja = Tenaga\ Kerja \times Gaji\ Pekerja\ Perbulan$$

$$= 25,09 \times Rp.\ 1.299.000,- = Rp.\ 32.590.078,00,-$$

$$Biaya\ Firing = (rata - rata\ produksi\ perbulan - Tingkat\ Produksi) \times Firing\ Cost\ perkg$$

$$= (462.348 - 386.655) \times Rp.\ 84,357 = Rp.\ 6.385.234,401-$$

Biaya total jika Perusahaan menggunakan Metode ini :

$$= Biaya\ Firing + Biaya\ Total$$

$$= Rp.\ 6.385.234,401,- + Rp390.884.739,-$$

$$= Rp.\ 397.269.975,401-$$

Perbandingan

Tabel 5.8. Perbandingan Metode Agregate Planning (TIC-nya)

Metode	Total Biaya	Urutan total biaya terkecil
Pengendalian Tenaga Kerja	Rp 461.254.792	2
Pengendalian Subkontrak	Rp 465.589.597	3
Campuran dengan OverTime	Rp 397.269.975	1

IV. KESIMPULAN

- Perencanaan Agregat dapat dilakukan dengan metoda Heuristik, antara lain : Metoda Pengendalian tenaga kerja, Metoda Pengendalian Sub Kontrak, dan Metoda Campuran dengan Overtime.
- Pada kasus ini, Metoda Campuran dengan Overtime merupakan metoda Heuristik yang terbaik dengan total biaya terkecil sebesar Rp.397.269.975,-

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bedworth David, Bailay James, (1987), Integrated Peroduktion Control Systems, Johan Wiley and Sons, Canada.

[2] Gasperz, vincent, (2001), CQIA, CPIFM, Production Planning and Inventory Control. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

- [3] Sipper Daniel, Bulfin Robert, (1997), Production Planning Control and Integration, Mc Graw Hill, USA.
- [4] Baroto, Teguh. 2002. Perencanaan dan Pengendalian Produksi. Ghalia Indonesia Jakarta. T. Hani, Handoko. 2002. Dasar Management Produksi. Edisi ke-1. BPFE. Yogyakarta Rander, Bary Heyzet, Jay. 2001.
- [5] Prinsip-prinsip Manajemen Operasi. Salemba 4, Jakarta.
- [6] Kholil, Muhammad. Diktat Perencanaan dan Pengendalian Sistem Produksi UMB, Universitas Mercu Buana.
- [7] Partesen Rein, Silver Edwar A. Descision For Inventory Management and Production Planning Second Edition, Republic Of Singapur, 1985. Buffa, Elwood S. 1991. Manajemen Produksi atau Operasi Modern. Edisi ke-7. Jakarta Penerbit Erlangga.
- [8] Tjiptono, Fandy, Anastasia Diana, (1996), Total Quality Management. Andi Offset, Yogyakarta.