

**APLIKASI FMEA UNTUK PEMELIHARAAN  
HEAT EXCHANGER  
PADA MESIN INJEKSI PLASTIK TOSHIBA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Sarjana Strata Satu**



**Disusun oleh :  
I Nyoman Karyawan  
NIM : 41605120075**

**UNIVERSITAS MERCU BUANA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
JAKARTA  
2007**



**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**UNIVERSITAS MERCU BUANA**

**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : I Nyoman Karyawan

N I M : 41605120075

Jurusan : Teknik Industri

Fakultas : Teknologi Industri

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, bukan salinan atau duplikat dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah disebutkan sumbernya.

Jakarta, Desember 2007

I Nyoman Karyawan



**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS MERCU BUANA**

**LEMBAR PENGESAHAN**

Nama : I Nyoman Karyawan

N.I.M : 41605120075

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Teknologi Industri

Judul : ” **APLIKASI FMEA UNTUK PEMELIHARAAN HEAT  
EXCHANGER PADA MESIN INJEKSI PLASTIK TOSHIBA**”

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini telah diterima dan diujikan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jenjang Pendidikan Strata-1 Program Studi Teknik Industri, Universitas Mercu Buana.

Jakarta, Desember 2007

Mengetahui

Pembimbing

Koordinator TA / KaProdi

( Ir. Muhammad Kholil, MT )

( Ir. Muhammad Kholil, MT )

## ABSTRAK

Kita semua mengetahui bahwa biaya operasional perusahaan-perusahaan termasuk yang bergerak di bidang manufaktur terus meningkat dari tahun ke tahun. Sedangkan ketatnya persaingan memaksa mereka untuk menjadikan harga mereka kompetitif sebagai keharusan. Hal ini juga dirasakan PT. Surya Technology Industri. Oleh karenanya, beberapa langkah efisiensi termasuk pemakaian metode *failure mode and effect analysis* pada kegiatan pemeliharaan mesin (*preventive maintenance*) dilakukan.

Penelitian dan pengamatan yang dilakukan bertujuan untuk menemukan teknik pemeliharaan yang tepat sehingga kegiatan pemeliharaan mesin yang dilakukan dapat menambah umur pakai mesin atau komponen suatu mesin. Data hasil dari penelitian dan pengamatan yang dilakukan akan dianalisa menggunakan metode *failure mode and effect analysis*.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *failure mode and effect analysis* pada pelaksanaan kegiatan pemeliharaan mesin mampu menambah umur pakai, termasuk menghemat waktu dan biaya proses produksi.

## **ABSTRACT**

All of us know that company operating expenses of including which active in manufacture increasing from year to year. While tightening of emulation force them to make their price of competitive as compulsion. This matter also felt by PT Surya Technology Industri. For the reason, some efficiency step of including usage of method of failure mode of and analysis effect at activity of machine maintenance ( maintenance preventive) conducted.

Research conducted perception aim to find correct conservancy technique so that activity of machine maintenance which is can add age wear component or machine. Data result of conducted perception and research will be analysis to use method of Failure Mode and Analysis Effect.

From result of research can be concluded that usage of mode failure of and analysis effect at execution of activity of machine maintenance can add age wear, including economizing production process expense and time.

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Permasalahan .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Metode Penulisan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II : LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Manajemen Pemeliharaan/ <i>Maintenance</i> .....	5
2.1.1 Pendahuluan .....	5
2.1.2 Tujuan Kegiatan Pemeliharaan .....	6
2.1.3 Jenis-jenis Pemeliharaan .....	7
2.1.3.1 Pemeliharaan Tidak Terencana ( <i>Unscheduled Maintenance</i> ) .....	7
2.1.3.2 Pemeliharaan Terencana ( <i>Scheduled Maintenance</i> ) .....	8

2.2	Perpindahan Kalor .....	12
2.2.1	Konduksi .....	12
2.2.2	Konveksi .....	13
2.2.3	Radiasi .....	14
2.3	<i>Heat Exchanger</i> .....	16
2.3.1	<i>Heat Exchanger</i> Tipe Pipa Ganda .....	17
2.3.2	<i>Heat Exchanger</i> Plat Yang Diberi Gaasket .....	18
2.3.3	<i>Heat Exchanger</i> Tipe Spiral .....	18
2.3.4	<i>Heat Exchanger</i> Tipe <i>Shell and Tube</i> .....	19
2.3.4.1	<i>Stationary Head</i> .....	20
2.3.4.2	<i>Rear Head</i> .....	21
2.3.4.3	<i>Shell</i> .....	22
2.3.4.4	<i>Tube</i> .....	23
2.3.4.5	<i>Sekat</i> .....	24
2.3.5	Susunan Aliran Fluida .....	25
2.3.6	Penempatan Fluida didalam <i>Heat Exchanger</i> .....	26
2.3.7	Pengerakan/ <i>Fouling</i> .....	27
2.3.8	Pemilihan <i>Heat Exchanger</i> .....	28
2.4	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	30
2.4.1	FMEA Design .....	31
2.4.2	FMEA Proses .....	33
2.5	Pareto Chart .....	39
2.6	Cause and Effect Diagram .....	40

### BAB III : METODOLOGI MASALAH

3.1	Perumusan Masalah.....	42
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	42
3.2.1	Tempat Penelitian.....	42
3.2.2	Waktu Penelitian.....	42
3.3	Metode Pengumpulan Data .....	43
3.4	Pengolahan Data .....	43
3.5	Analisa Hasil Pengolahan Data .....	44
3.6	Skema Metodologi Penelitian .....	44
3.7	Gambar <i>Heat Exchanger</i> yang Dianalisa .....	46

### BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1	Data Hasil Pengamatan .....	47
4.2	Menentukan Nilai <i>Severity</i> , <i>Occurrence</i> dan <i>Detection</i> .....	50
4.2.1	<i>Shell</i> Tersumbat .....	50
4.2.2	<i>Tube</i> Tersumbat .....	51
4.2.3	Kerusakan pada <i>Packing</i> .....	53
4.2.4	Korosi pada Bagian Luar <i>Heat Exchanger</i> .....	56
4.2.5	Kebocoran <i>Shell</i> .....	58
4.2.6	Kebocoran <i>Tube</i> .....	59
4.2.7	Kerusakan pada Sekat .....	60
4.2.8	Pengerakan pada <i>Stationary Head</i> dan <i>Read Head</i> . ....	61



## BAB V : ANALISA HASIL

5.1	Pembuatan Pareto Chart .....	66
5.2	Pembuatan Diagram <i>Fishbone</i> .....	67
5.2.1	Kegagalan Pengerakan pada <i>Stationary Head</i> dan <i>Rear Head</i> .....	67
5.2.2	Kegagalan <i>Tube</i> Tersumbat .....	71
5.2.3	Kerusakan pada <i>Packing</i> .....	75

## BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

6.1	Kesimpulan.....	80
6.2	Saran .....	81

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2-1. Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan .....	11
Gambar 2-2. <i>Heat Exchanger</i> .....	16
Gambar 2-3. <i>Heat Exchanger</i> pipa ganda .....	17
Gambar 2-4. <i>Heat Exchanger tipe shell and tube</i> .....	20
Gambar 2-5. Susunan <i>tube</i> .....	24
Gambar 2-6. Jenis sekat <i>heat exchanger</i> .....	25
Gambar 2-7. Jenis susunan aliran fluida .....	26
Gambar 2-8. Contoh <i>Pareto Chart</i> .....	40
Gambar 2-9. Contoh Diagram <i>Fishbone</i> .....	41
Gambar 3-1. <i>Flow Cart</i> Metodologi Penelitian .....	45
Gambar 3-2. <i>Heat Exchanger</i> yang dianalisa .....	46
Gambar 4-1. Grafik kegagalan <i>heat exchanger</i> .....	49
Gambar 4-1. <i>Tube</i> tersumbat .....	51
Gambar 4-2. Kerusakan packing .....	53
Gambar 4-3. Pengerakan pada <i>stationary head</i> dan <i>rear head</i> .....	61
Gambar 5-1. Diagram <i>pareto</i> kegagalan <i>heat exchanger</i> .....	66
Gambar 5-2. Pengerakan pada <i>head</i> .....	67
Gambar 5-3. Diagram <i>Fishbone</i> untuk kegagalan pengerakan pada <i>head</i> .....	68
Gambar 5-4. <i>Tube</i> tersumbat .....	71

Gambar 5-5. Diagram <i>Fishbone</i> untuk kegagalan <i>tube</i> tersumbat .....	72
Gambar 5-6. Kerusakan <i>packing</i> .....	75
Gambar 5-7. Diagram <i>Fishbone</i> untuk kegagalan kerusakan <i>packing</i> .....	76

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2-1. Skala penilaian untuk <i>occurrence</i> .....	36
Tabel 2-2. Skala penilaian untuk <i>Occurrence</i> .....	37
Tabel 2-3. Skala penilaian untuk <i>Detectability</i> .....	38
Tabel 4.1. Jenis kegagalan <i>heat exchanger</i> .....	48
Tabel 5-1. Nilai <i>severity, occurrence, detection</i> , dan RPN .....	65

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Permasalahan**

Seiring berjalannya waktu, biaya operasional perusahaan-perusahaan termasuk yang bergerak di bidang manufaktur semakin meningkat. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi harga jual produk kepada konsumen. Sebuah kenyataan yang begitu kontradiktif dengan tuntutan konsumen akan produk bermutu tinggi dengan harga murah.

Hal ini juga yang dirasakan PT. Surya Technology Industri. Sebagai perusahaan manufaktur yang memproduksi komponen-komponen elektronik yang terbuat dari plastik, kenyataan tersebut memaksa PT. Surya Technology Industri terus belajar dan memperbaiki diri untuk tetap dapat bertahan, mengingat dalam segmen bisnis ini, PT. Surya Technology Industri bukanlah pemain tunggal. Untuk itu, peningkatan produktifitas dan beragam langkah efektifitas dan efisiensi dilakukan disemua departemen, termasuk departemen *maintenance*, dengan melakukan penerapan *failure mode and effect analysis*(FMEA) pada kegiatan pemeliharaan mesin.

Salah satu jenis mesin yang ada di PT Surya Technology Industri adalah mesin *injection* plastik merek Toshiba. Mesin ini menggunakan motor listrik yang dihubungkan dengan pompa hidrolis yang menghasilkan tenaga/*pressure* untuk menggerakkan bagian-bagian-bagian mesin selama proses produksi.

Selama mesin beroperasi, oli hidrolis yang berada pada mesin tersebut mengalami kenaikan temperatur yang tinggi. Sebelum oli tersebut kembali masuk ke tanki oli, temperatur oli tersebut harus diturunkan kembali sesuai dengan standart temperatur yang diperlukan mesin agar dapat berproduksi pada kondisi yang optimal.

Untuk mendapatkan temperatur oli yang optimal, diperlukan suatu alat yang dapat mengurangi/menukar panas (*heat exchanger*) yang dipasang pada mesin tersebut. *Heat exchanger* yang digunakan pada mesin injeksi plastik merek Toshiba adalah jenis *shell and tube*, yaitu proses pendinginan yang menggunakan air sebagai media pendinginan yang dialirkan kedalam pipa-pipa kecil (*tube*) yang berada didalam pipa yang lebih besar (*shell*).

Untuk menjaga *heat exchanger* agar mesin dapat berproduksi dengan optimal perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pemeliharaan untuk mencegah kerusakan yang mungkin terjadi.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- Mengamati jenis-jenis kerusakan atau kegagalan yang biasa terjadi pada *heat exchanger*.
- Menentukan jenis kerusakan yang paling mempengaruhi kinerja *heat exchanger* dengan metode FMEA.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

- Penelitian dan pengamatan dilakukan pada mesin injeksi plastik Toshiba IS 550 GT, Toshiba IS 650 GS, Toshiba IS 850 E dan Toshiba IS 850 FA yang ada di PT Surya Technology Industri.
- Data yang diperoleh dianalisa dengan metode *FMEA*.

### 1.4 Metode Penulisan

Untuk menyusun tulisan ini, Penulis menggunakan metode sebagai berikut :

a. Metode Kajian Pustaka

Yaitu dengan cara melakukan penelusuran pustaka melalui referensi-referensi yang menunjang tema penulisan.

b. Studi Lapangan

Dengan melakukan pengamatan dan penelitian pemeliharaan *heat exchanger* yang ada di PT Surya Technology Industri.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan

## **BAB II : LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi penjelasan tentang manajemen pemeliharaan mesin, teori perpindahan panas dan pengertian *heat exchanger* beserta bagian-bagiannya dan penjelasan tentang FMEA.

## **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas secara singkat kondisi perusahaan PT. Surya Technology Industri, dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian.

## **BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini terdapat pengumpulan dan pengolahan data, termasuk perhitungan statistik untuk menentukan *risk priority number*(RPN) dari masing-masing kegagalan yang terjadi.

## **BAB V : ANALISA HASIL**

Pada bab ini dibahas kegagalan yang paling sering terjadi yang ditentukan dengan diagram pareto dan penyebab kegagalan tersebut yang dibahas dengan diagram tulang ikan (*fishbone*).

## **BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini tertulis kesimpulan dan saran yang mencakup pengaruh dari implementasi metode penyelesaian masalah yang dihadapi.



## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Manajemen Pemeliharaan/*Maintenance***

##### **2.1.1 Pendahuluan**

Dalam tiga dekade terakhir ini, manajemen pemeliharaan/*maintenance* telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dibandingkan disiplin ilmu manajemen lainnya. Pesatnya perubahan ini disebabkan oleh perkembangan aset fisik (seperti mesin, gedung, dan peralatan produksi lainnya) yang harus dipelihara.

Dengan semakin kompleksnya desain aset dan standart *performance*-nya, maka diperlukan teknik dan manajemen *maintenance* yang lebih baik, serta cara pandang yang lebih proporsional tentang peranan dan tanggung jawab fungsi *maintenance* dan memberikan paradigma baru bahwa:

- Tumbuhnya kesadaran bahwa kerusakan peralatan akan mempengaruhi keselamatan dan kerusakan lingkungan.
- Tumbuhnya kesadaran bahwa prestasi *maintenance* akan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk.

- Semakin tinggi tuntutan untuk meningkatkan *availability* serta menekan biaya *maintenance*.

Kebanyakan para praktisi hanya melakukan pendekatan parsial, yaitu dengan menghindari kegagalan demi kegagalan. Seharusnya pendekatan dilakukan dengan pola kerja yang strategis dengan melakukan sintesis dari perkembangan yang baru dan mengkooptasikan dengan pola yang paling sesuai sehingga dapat dipilih cara yang paling menguntungkan

Selain itu, pekerjaan *maintenance* yang benar harus dilakukan pada waktu yang tepat, orang dan spare part yang tepat untuk menghindari kerusakan yang dapat menyebabkan kerugian produksi, kualitas dan naiknya biaya.

Manajemen *maintenance* modern bukan hanya memperbaiki kerusakan peralatan dengan cepat, tetapi menjaga fungsi peralatan tersebut agar berada pada kapasitas yang tinggi dan menghasilkan produk yang berkualitas dengan biaya serendah mungkin.

Jika sistem *maintenance* yang baik dilaksanakan di pabrik, orang akan dapat mengontrol dan memonitor situasi *maintenance* dan akan memberhentikan peralatan sesuai dengan rencana, sehingga peralatan tersebut tidak berhenti dengan sendirinya.

### **2.1.2 Tujuan Kegiatan Pemeliharaan**

1. Untuk memperpanjang usia aset (mesin dan peralatan lainnya).
2. Untuk menjaga agar unjuk kerja dan ketersediaan (*availability*) mesin dan fasilitas lainnya terjaga dan terencana.
3. Untuk menekan biaya produksi seoptimal mungkin.

4. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam kondisi darurat setiap waktu, misalnya : unit cadangan, unit pemadam kebakaran, alat penyelamat, dsb.
5. Untuk menjamin kesehatan dan keselamatan kerja orang yang menggunakan sarana tersebut.

### **2.1.3 Jenis-jenis Pemeliharaan**

Jenis pemeliharaan secara garis besar terbagi menjadi 2 golongan yaitu:

- A. Pemeliharaan Tidak Terencana (*Unscheduled Maintenance*)
- B. Pemeliharaan Terencana (*Scheduled Maintenance*)

#### **2.1.3.1 Pemeliharaan Tidak Terencana (*Unscheduled Maintenance*)**

Hanya ada satu jenis pemeliharaan tak terencana yaitu pemeliharaan darurat atau *breakdown/emergency* .

Dikenal sebagai jenis pemeliharaan yang paling tua. Aktivitas pemeliharaan jenis ini adalah mudah untuk dipahami semua orang. Jenis pemeliharaan ini mengijinkan peralatan-peralatan untuk beroperasi hingga rusak total (*fail*). Kegiatan ini tidak bisa ditentukan / direncanakan sebelumnya, maka aktivitas ini juga dikenal dengan sebutan *unschedule maintenance*. Ciri-ciri jenis pemeliharaan ini adalah alat-alat mesin dioperasikan sampai rusak dan ketika rusak barulah tenaga kerja dikerahkan untuk memperbaiki dengan cara ‘penggantian’.

Kelemahannya :

- Karena tidak bisa diketahui kapan akan terjadi breakdown, maka jika waktu breakdown adalah pada saat-saat periode produksi maksimal, maka akan mengakibatkan tidak tercapainya target produksi pada periode ini.
- Jika suku cadang untuk perbaikan ternyata sukar untuk dipenuhi berarti dibutuhkan waktu tambahan untuk membeli atau memperoleh dengan cara lain suku cadang tersebut.
- Karena kegiatan ini sifatnya mendadak, dalam tugasnya bagian pemeliharaan bekerja dibawah tekanan bagian produksi yang akan berakibat :
  - rendahnya efisiensi dan efektifitas pekerja
  - tidak optimalnya mutu hasil pekerjaan perbaikan / pemeliharaan
  - biaya relatif lebih besar.

### **2.1.3.2 Pemeliharaan Terencana (*Scheduled Maintenance*)**

Pemeliharaan Terencana terdiri dari Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*) , Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*) dan *Predictive Maintenance*.

#### **▪ *Preventive Maintenance***

Adalah setiap kegiatan yang dilakukan untuk menjaga setiap alat/komponen berjalan sesuai dengan kondisi yang diharapkan, melalui pemeriksaan, deteksi

dan pencegahan kerusakan total yang tiba-tiba (*breakdown*). Lalu mengapa semua peralatan (mesin) tidak dijalankan atau dioperasikan saja sampai rusak ? kemudian baru diperbaiki. Jawabnya adalah bahwa kerusakan itu dapat terjadi kapan saja (*unpredictable*) bisa saja terjadi pada waktu yang sangat tidak menguntungkan, mungkin juga mengakibatkan timbulnya korban pada pekerjanya, membuat peralatan menjadi cepat aus, mengurangi produksi, dan yang jelas menjadikan biaya perbaikan relatif lebih mahal dibandingkan biaya pemeliharaan.

Tetapi di lain pihak ada perusahaan-perusahaan yang terlalu khawatir dengan kegagalan-kegagalan, sehingga melakukan terlalu banyak kegiatan pemeliharaan. Hal ini menimbulkan masalah-masalah lain dan terjerumus ke dalam pemeliharaan yang berbiaya tinggi.

Meskipun demikian, menghilangkan kegiatan pemeliharaan pencegahan bukanlah jawaban yang tepat. Sebuah pendekatan Total System diperlukan untuk menentukan kombinasi dari faktor-faktor tersebut.

Keuntungan :

- *Preventive Maintenance* adalah *anticipative maintenance*. Dengan demikian bagian produksi dan pemeliharaan dapat mengerjakan pekerjaan pembuatan peramalan (*forecasting*) dan pembuatan *schedule* pemeliharaan yang lebih baik.
- *Preventive maintenance* akan meminimalisasi waktu yang mengganggu produksi.
- *Preventive Maintenance* memperbaiki kontrol atas komponen-komponen mesin.

- *Preventive Maintenance* memotong/mengurangi pekerjaan *emergency*.

Kerugian :

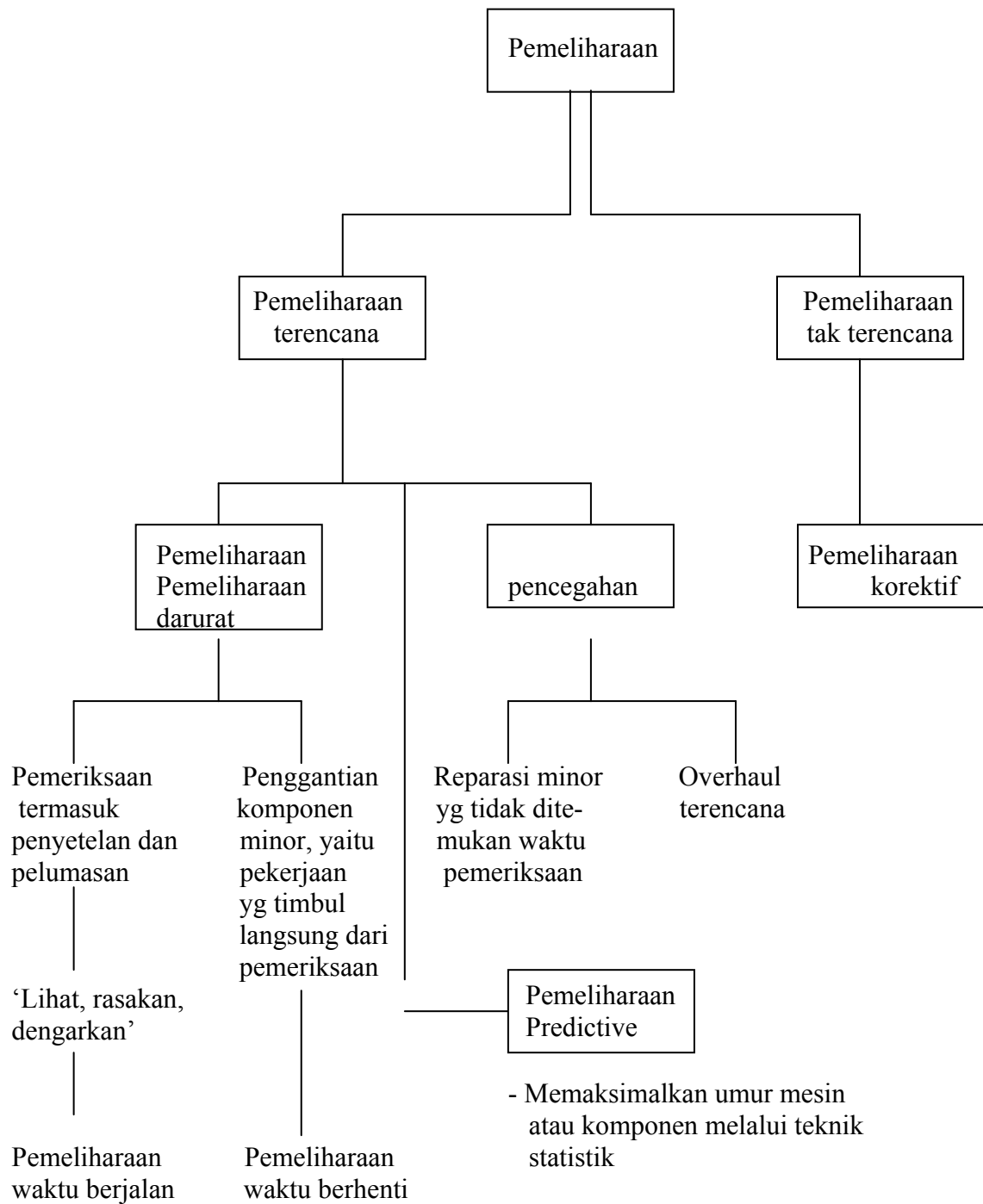
- *Preventive Maintenance* menghilangkan sisa umur komponen ketika komponen tersebut harus diganti sebelum rusak total.
- Banyak melibatkan tenaga kerja
- Biaya pemeliharaan relatif lebih tinggi dibandingkan metode *predictive maintenance*.

- ***Corrective Maintenance***

Pemeliharaan *Corrective* meliputi reparasi minor (yang tidak ditemukan ketika pemeriksaan), terutama untuk rencana jangka pendek yang mungkin timbul diantara pemeriksaan, juga overhaul terencana misalnya overhaul tahunan atau dua tahunan, atau suatu perluasan kapasitas produksi.

- ***Predictive Maintenance***

Tipe pemeliharaan jenis ini lebih maju dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Ditandai dengan menggunakan teknik-teknik mutakhir (*advance scientific techniques*) termasuk statistik probabilitas untuk memaksimalkan waktu operasi dan menghilangkan pekerjaan-pekerjaan yang tidak perlu. *Predictive Maintenance* dipakai hanya pada sistem-sistem yang akan menimbulkan masalah-masalah serius jika terjadi kerusakan pada mesin atau pada proses-proses yang berbahaya.



Gambar 2-1. Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan

## 2.2 Perpindahan Kalor

Ada tiga jenis perpindahan kalor, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

Masing-masing pembahasannya sebagai berikut:

### 2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dari daerah yang memiliki temperatur lebih tinggi ke daerah yang temperturnya lebih rendah didalam suatu medium (padat, cair, dan gas). Pada proses konduksi, perpindahan panas terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang besar.

Menurut teori kinetik, suhu elemen zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul yang membentuk elemen zat tersebut. Persamaan laju perpindahan energinya sebagai berikut:

$$Q_{kd} = k \cdot A \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

$Q_{kd}$  : jumlah kalor yang merambat per satuan waktu

$\Delta t$  : gradien temperatur ( $^{\circ}\text{K}/\text{m}$ )

$k$  : koefisien konduksi

$A$  : luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$\Delta x$  : panjang benda (m)

Energi yang dimiliki suatu zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul tersebut dinamakan energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul tersebut bergerak, semakin tinggi pula temperatur dan energi dalam



zat tersebut. Jika molekul zat pada suatu daerah mendapat energi kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh daerah yang berdekatan (adanya perbedaan suhu), maka molekul yang memiliki energi kinetik yang lebih besar akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul yang ada pada daerah yang bersuhu rendah.

Perpindahan energi yang terjadi melalui tumbukan elastik seperti yang terjadi pada fluida atau dengan pembauran elektron-elektron yang bergerak cepat dari daerah dengan temperatur yang lebih tinggi ke daerah yang temperaturnya lebih rendah.

### **2.2.2 Konveksi**

Konveksi adalah proses perpindahan panas dengan kerja gabungan dari proses konduksi itu sendiri, penyimpanan panas dan gerakan persinggungan. Proses konveksi sangat penting untuk perpindahan panas antara zat padat, cair dan gas.

Laju perpindahan panas konveksi yaitu:

$$H = k \cdot A \cdot \Delta t$$

H : jumlah kalor yang merambat per satuan waktu

k : koefisien konveksi

A : luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  : kenaikan suhu (°K)

Proses konveksi pada suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi dari fluida disekitarnya terjadi dalam beberapa tahap, pertama panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan partikel fluida yang berbatasan, energi yang berpindah akan menaikkan temperatur partikel ini kemudian partikel tersebut bergerak ke daerah yang temperaturnya lebih rendah, bersinggungan antar fluida dan terjadi pemindahan energi antara partikel fluida.

Energi yang tersimpan didalam partikel fluida diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel tersebut hal ini tidak hanya tergantung pada perbedaan suhu, karenanya tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan panas, tetapi hasil akhir adalah perpindahan energi. Karena terjadi dalam arah gradien suhu, maka dapat dikelompokkan aliran panas konveksi.

Konveksi menurut pergerakan aliran panas dikelompokkan menjadi dua, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Konveksi bebas adalah perpindahan panas yang terjadi karena perbedaan kerapatan yang disebabkan gradien suhu sedangkan konveksi paksa adalah perpindahan panas terjadi karena bantuan alat, misalnya pompa atau kipas angin.

### **2.2.3 Radiasi**

Radiasi adalah proses perpindahan panas dari benda dengan temperatur yang lebih tinggi menuju benda yang temperaturnya lebih rendah pada benda yang terpisah didalam suatu ruangan, meskipun ruang hampa

sekalipun. Istilah radiasi banyak digunakan untuk pancaran gelombang elektromagnetik, tetapi dalam teori perpindahan panas hal yang harus diperhatikan adalah panas radiasi yang diakibatkan oleh perpindahan panas tersebut.

Perpindahan panas secara radiasi mengikuti *Hukum Stefan Boltzmann*, yaitu:

$$W = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

W : intensitas/energi radiasi yang dipancarkan persatuan luas persatuan waktu

$\sigma$  : konstanta Boltzman =  $5,672 \times 10^{-8}$  watt/cm<sup>2</sup>.°K<sup>4</sup>

A : luas permukaan (m<sup>2</sup>)

T : temperature (°K)

Semua benda memancarkan radiasi terus-menerus yang besarnya tergantung suhu dan sifat permukaan benda tersebut. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s) menyerupai radiasi cahaya.

Panas radiasi dipancarkan dalam bentuk kumpulan energi. Gerakan panas radiasi didalam ruangan hamper sama dengan perambatan cahaya dan tori gelombang. Apabila gelombang radiasi bertemu dengan benda lain maka energinya akan diserap sehingga temperaturnya akan meningkat.

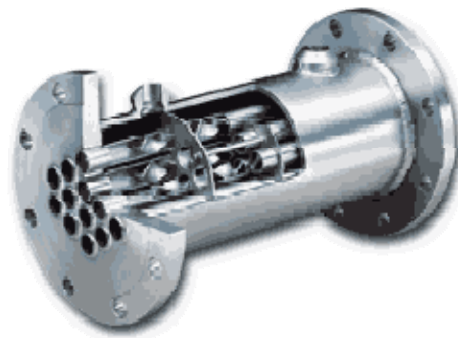
### 2.3 Heat Exchanger

*Heat exchanger* atau alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk mempertukarkan panas secara kontinu dari suatu medium ke medium lainnya dengan membawa energi panas.

Secara umum ada dua tipe *heat exchanger* yaitu:

- ❖ *Direct heat exchanger*, dimana kedua medium *heat exchanger* saling kontak satu sama lain.
- ❖ *Indirect heat exchanger*, dimana kedua media *heat exchanger* dipisahkan oleh sekat/dinding.

Yang tergolong *indirect heat exchanger* adalah tipe pipa ganda, tipe pelat, tipe *shell and tube* dan tipe spiral. Sedangkan yang tergolong *direct heat exchanger* adalah *cooling tower* dimana proses perpindahan panas terjadi akibat pengontakan langsung antara air dan udara.



Gambar 2-2. *Heat Exchanger*

### 2.3.1 Heat Exchanger Tipe Pipa Ganda

Penukar kalor dengan bentuk pipa ganda (*double pipe*) bervariasi, dapat berupa sebuah pipa yang berada didalam sebuah pipa yang lebih besar atau sekumpulan pipa-pipa kecil yang berada dalam pipa yang berukuran lebih besar. Penukar panas jenis ini memberikan keuntungan yang lebih baik untuk jenis aliran berlawanan.

Untuk diameter pipa luar (*shell*) lebih dari 150 milimeter digunakan sekat-sekat segmental (*segmental baffles*) dan akan serupa dengan penukar panas *shell and tube* dengan aliran tunggal (*single pass*). Bentuk seperti ini kadang disebut juga sebagai *jacketed baffle U tube exchanger*. Untuk keperluan tertentu penukar panas *double pipe* dapat dikembangkan dengan menggunakan pipa bersirip. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas.

Kelebihan penukar panas *double pipe* adalah kemampuannya untuk bekerja pada tekanan tinggi yaitu lebih dari 30,7 MPa untuk sisi *shell* dan lebih dari 40 MPa untuk sisi *tube*. Kelebihan lainnya adalah resiko tercampurnya kedua fluida sangat kecil, sedangkan kekurangannya adalah koefisien perpindahan panasnya yang lebih kecil.



Gambar 2-3. Heat Exchanger pipa ganda

### **2.3.2 Heat Exchanger Plat Yang Diberi Gasket**

Penukar panas jenis ini sering disebut penukar panas plat dan frame. Jenis ini merupakan disain penukar panas yang fleksibel dan dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan komponen standarnya. Sesuai dengan namanya, penukar panas jenis ini terdiri atas lembaran-lembaran plat yang ditopang oleh suatu rangka. Kedua fluida mengalir melalaui celah antar plat yang dipisahkan oleh gasket yang dirancang secara khusus sehingga kedua jenis fluida tidak tercampur.

Keuntungan penukar panas ini adalah memiliki koefisien perpindahan panas yang baik, ukurannya dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan plat-plat standart dan pemeliharaannya yang mudah pula. Sedangkan kekurangannya adalah penurunan tekanan yang relatif tinggi dan terbatasnya tekanan dan temperature kerja maksimum.

### **2.3.3 Heat Exchanger Tipe Spiral**

Penukar panas jenis spiral memiliki bidang pertukaran panas yang melingkar. Fluida panas masuk melalui pusat atau sumbu penukar panas dan mengalir dari sebelah dalam dan ke sebelah luar unit. Sedangkan fluida dingin masuk dari bagian sebelah luar menuju bagian sebelah dalam dengan arah yang berlawanan dengan aliran fluida panas.

Keuntungan dari penukar panas jenis spiral adalah koefisien perpindahan panasnya yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan penukar kalor konvensional dan dapat melakukan proses pembersihan diri "*self cleaning*" akibat turbulensi yang tinggi. Kekurangan yang dimiliki penukar panas jenis spiral adalah terbatasnya tekanan kerja maksimum yang hanya mencapai 1,8 MPa.

### 2.3.4 Heat Exchanger Tipe Shell and Tube

*Heat Exchanger* jenis shell and tube merupakan penukar panas yang paling banyak dijumpai. Ini dikarenakan rentang temperatur dan tekanan kerja *heat exchanger* ini dapat diaplikasikan hampir pada semua jenis industri. *Heat exchanger* ini telah memiliki metode desain dan kode mekanik (*mechanical codes*) yang standart dan telah diterapkan sejak lama. Desain *heat exchanger* ini terdiri dari *shell* dan *tube shell* tempat fluida mengalir.

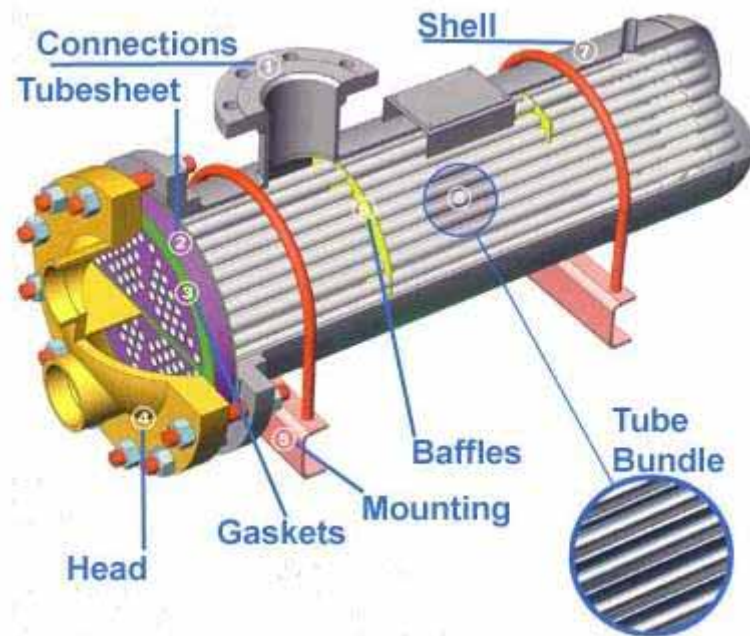
Keuntungan *heat exchanger shell and tube* antara lain:

- Dapat dibuat dari material yang berbeda tergantung temperatur dan tekanan yang diinginkan.
- Pemeliharaan yang mudah.
- Konstruksi sederhana dan membutuhkan ruang yang kecil.
- Pemakaian yang mudah.

Perancangan dan pembuatan *heat exchanger shell and tube* merujuk kepada standart dari *Tubular Exchanger Manufacturers Association* (TEMA). Organisasi ini telah menstandartkan bentuk, ukuran dan susunan *heat exchanger shell and tube*.

Bagian-bagian *heat exchanger* yaitu:

- ❖ *Stationary Head*
- ❖ *Rear Head*
- ❖ *Shell*
- ❖ *Tube Bundle*



Gambar 2-4. *Heat Exchanger tipe shell and tube*

#### 2.3.4.1 *Stationary Head*

*Stationary head* merupakan bagian ujung dari *heat exchanger* yang terdapat saluran masuk fluida yang akan mengalir melalui *tube*. Ada dua jenis *stationary head* yaitu tipe bonet dan tipe channel. Jika fluida yang mengalir dalam tube bersih digunakan *stationary head* jenis bonet yang terpisah dengan *tube bundle*. Sedangkan tipe *channel head* menyatu dengan *tube sheet* dan aktivitas pembersihan bagian dalam tube dilakukan dengan melepas penutup (*removeable cover*).



#### **2.3.4.2 Rear Head**

*Rear head* adalah ujung lain dari *heat exchanger*. *Rear head* jenis L M dan S adalah yang paling banyak digunakan. Pada saat pemasangan dan penggunaan perlu diperhatikan koefisien shell dan tube., untuk mengatasinya digunakan sambungan ekspansi (*expantion joint*). Pembersihan sisi *shell* atau sebelah luar *tube* dilakukan secara kimia dan untuk bagian dalam *tube* dapat secara kimia maupun mekanik.

*Rear head* jenis U konstruksi yang sederhana terdiri atas *tube* yang akan dibengkokkan dan disusun pada *tube sheet*. Ekspansi thermal dapat diatasi dengan bengkokkan U dan digunakan untuk aliran fluida yang bersih karena sulitnya proses pembersihan akibat adanya bengkokkan.

*Rear head* P, S, T dan W termasuk kedalam jenis *floating head* yang didisain untuk bekerja pada tekanan dan temperatur yang tinggi. Jenis P dirancang untuk mengatasi ekspansi dari tube dan jenis B adalah gabungan antara penahan dan penutup (*floating head backing device and floating head cover*). Konstruksi ini mampu menahan ekspansi yang terjadi pada *tube* karena dapat bergerak dalam *rear head*. Pada jenis T, *tube bundle* dapat dilepaskan hanya dengan melepas *stationary head* dan pada jenis W digunakan *latern ring* diikat bersama dengan *packing*.

### 2.3.4.3 Shell

*Shell* berada ditengah *heat exchanger* sekaligus sebagai rumah untuk *tube bundle*. Proses pertukaran panas terjadi didalam ruang antara *shell* dan *tube bundle*. Pertimbangan untuk memilih aliran yang dibelah dan aliran yang dibagi (*split and divide flow*) adalah untuk mengurangi penurunan tekanan sisi *shell* sebagai faktor kontrol pada perencanaan dan operasi *heat exchanger*.

#### ➤ **Shell tipe E**

Tipe yang paling sederhana yaitu *shell* tipe E dengan saluran masuk berada pada bagian ujung yang satu *heat exchanger* dan saluran keluar berada diujung lainnya dengan posisi berhadapan, menggunakan *single pass* dan memiliki efisiensi yang baik, *shell* jenis E merupakan dasar perancangan jenis *shell* yang lain.

#### ➤ **Shell tipe F**

*Shell* ini memiliki dua laluan *shell* karena memiliki sekat longitudinal. Susunan ini digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan temperatur keluar fluida panas mendekati temperatur masuk fluida dingin dan juga untuk menghindari laju aliran yang rendah pada *shell* tipe E. penurunan tekanan yang terjadi delapan kali lebih besar dari penurunan tekanan yang terjadi pada *shell* tipe E akan tetapi masih dapat diterima untuk keperluan khusus. Yang membatasi penggunaan *shell* tipe ini adalah kemungkinan kebocoran melalui celah antara sekat longitudinal *shell*.

➤ **Shell tipe G**

Untuk meningkatkan efektifitas thermal digunakan *shell* tipe G atau yang biasa disebut aliran belah (*split flow*). Umumnya digunakan pada boiler, juga pada aliran yang tidak terjadi perubahan fasa. Penurunan tekanan yang terjadi hampir sama dengan *shell* tipe E.

➤ **Shell tipe J**

Untuk tekanan kerja rendah seperti pada pendingin gas (*gas cooler*) dan pengembun (*condesor*) digunakan *shell* tipe J, yaitu *divide flow* dengan satu aliran masuk dan dua saluran keluar.

➤ **Shell tipe X**

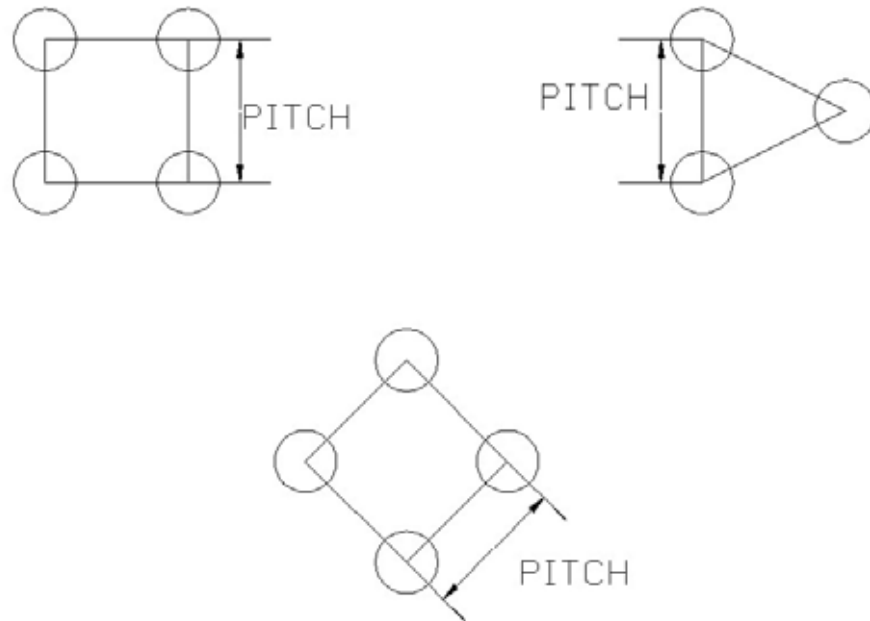
Tipe *shell* yang terakhir yaitu tipe X, dimana aliran dalam *shell* menyilang murni (*pure cross flow*) terhadap *tube bundle* tanpa ada sekat menyilang. *Shell* tipe ini mengalami penurunan tekanan yang sangat rendah.

#### 2.3.4.4 Tube

Kemampuan *heat exchanger* untuk menerima dan melepas panas tergantung pada luas permukaan, panjang, ukuran dan jumlah *tube* yang digunakan. Susunan *tube* mempengaruhi besarnya penurunan tekanan aliran fluida dalam *shell*.

Ada tiga jenis susunan tube didalam shell, yaitu:

- ❖ Bujursangkar (*square*)
- ❖ Segitiga (*triangular*)
- ❖ Belahketupat/bujursangkar selang-seling (*staggered square*)



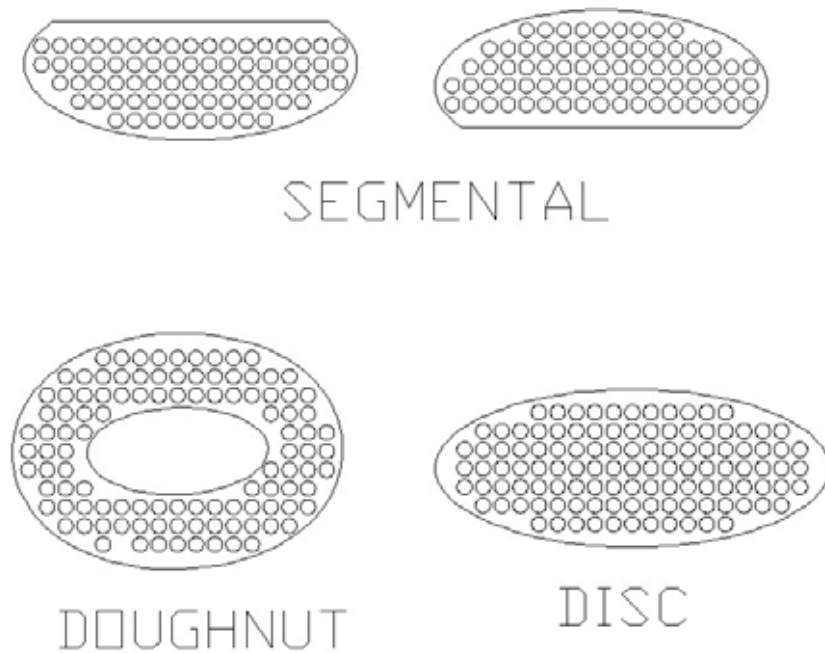
Gambar 2-5. Susunan *tube*

#### 2.3.4.5 Sekat

Fungsi sekat pada *heat exchanger* yaitu:

- Untuk menahan posisi *tube bundle*.
- Menahan getaran *tube*.
- Mengontrol dan mengarahkan fluida yang mengalir diluar *tube*.

Ada beragam jenis sekat yang biasa digunakan pada *heat exchanger* seperti sekat segmental, sekat batang (*rod*), sekat longitudinal, sekat *disc and doughnut*, dan sekat impigment. Pemilahan jenis sekat yang digunakan memerlukan pertimbangan teknis dan operasional karena berpengaruh pada besarnya penurunan tekanan, pola aliran dan distribusi aliran dalam penukar kalor. Untuk keperluan penurunan tekanan yang rendah digunakan jenis sekat *disc and doughnut*.



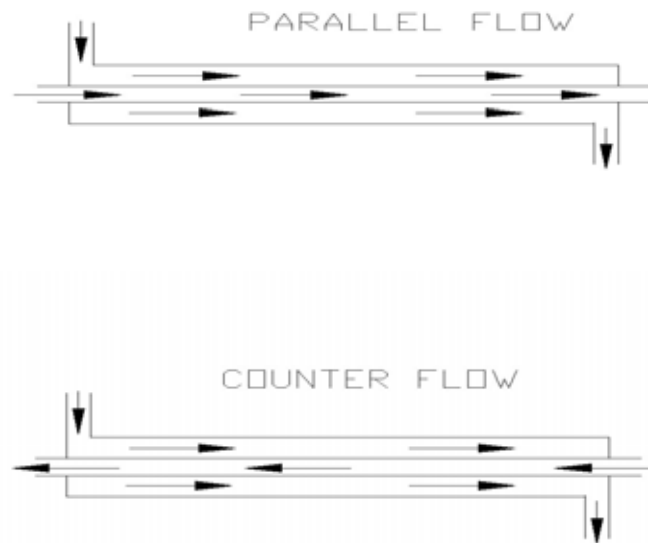
Gambar 2-6. Jenis sekat heat exchanger

### 2.3.5 Susunan aliran fluida

Ditinjau dari aliran fluida, secara garis besar ada tiga jenis yaitu:

- ❖ Aliran sejajar/*pararel flow*.
- ❖ Aliran berlawanan/*counter flow*
- ❖ Aliran kombinasi atau aliran silang/*cross flow*.

Ketiga aliran fluida diatas, fluida yang mengalir melalui *heat exchanger* hanya sekali saja melintas disebut lintasan tunggal (*single pass*). Dengan beragamnya kebutuhan maka telah dikembangkan heat exchanger lintasan banyak (*multi pass*) sehingga susunan alirannya tidak lagi murni sejajar, berlawanan atau silang, tetapi perpaduan antara ketiga jenis aliran tersebut.



Gambar 2-7. Jenis susunan aliran fluida

### 2.3.6 Penempatan Fluida didalam *Heat Exchanger*

Untuk menentukan jenis fluida yang akan dialirkan pada *heat exchanger* harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- ❖ Kemampuan untuk dibersihkan.

Biasanya fluida yang lebih bersih dialirkan disebelah shell dan fluida yang kotor dialirkan melalui tube karena proses pembersihan pada sisi shell lebih sulit dibandingkan sisi tube.

- ❖ Korosi.

Peristiwa korosi sangat dipengaruhi oleh pemilihan material, umumnya fluida yang bersih dan memungkinkan menimbulkan korosi lebih kecil dialirkan melalui sisi shell dengan pertimbangan ekonomis.

❖ Tekanan.

Shell yang bekerja pada tekanan tinggi dan diameter besar akan memerlukan dinding yang tebal dan biaya mahal. Untuk itu sebaiknya fluida yang bertekanan tinggi dialirkan melalui *tube*.

❖ Fluida berbahaya.

Untuk fluida yang berbahaya sebaiknya dialirkan melalui bagian yang terpasang rapat dan kecil kemungkinan mengalami kebocoran.

❖ Penurunan tekanan

Untuk mengurangi tekanan sebaiknya fluida dialirkan melalui tube karena penurunan tekanan dalam tube dapat dihitung lebih teliti. Sedang penurunan tekanan pada sisi shell dapat menyimpang lebih besar dari nilai teoritis, tergantung dari kelonggaran *heat exchanger*.

### **2.3.7 Pengerakan/*Fouling***

Pengerakan atau biasa disebut *fouling* adalah peristiwa pelapisan permukaan dinding *heat exchanger* akibat adanya endapan (*deposit*). Endapan yang terjadi ada yang keras seperti endapan kalsium karbonat dan endapan yang mudah lepas seperti partikel magnetik pada mesin pembangkit uap.

Jenis-jenis *fouling* dibagi sebagai berikut:

- ❖ *Crystallization fouling* yaitu kristalisasi yang terjadi pada bagian permukaan.
- ❖ *Particulate fouling* adalah akumulasi partikel akibat aliran fluida pada permukaan.
- ❖ *Biological fouling* yaitu pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan akibat aliran fluida.

- ❖ *Chemical reaction fouling* yaitu endapan hasil reaksi kimia dari reaktan yang terkandung dalam fluida yang mengalir.
- ❖ *Corrosion fouling* adalah pembentukan endapan yang berasal dari hasil korosi dari bagian lain *heat exchanger*.
- ❖ *Freezing fouling* adalah endapan karena lapisan yang membeku dari aliran fluida.

Proses *fouling* akan menurunkan koefisien perpindahan panas akibat adanya penambahan tahanan thermal pada permukaan dinding. Hal ini akan menghambat perpindahan panas antara fluida tidak seperti yang kita inginkan. Pada tahap awal proses perancangan *heat exchanger*, efek proses *fouling* perlu diperhitungkan agar pada saat beroperasi dan terjadi *fouling heat exchanger* masih dapat berfungsi dengan baik.

### **2.3.8 Pemilihan Heat Exchanger**

Dalam memilih *heat exchanger*, banyak industri langsung menjatuhkan pilihan pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* karena telah memiliki kode perancangan yang standart. Walau demikian, untuk mendapatkan efisiensi thermal dan memperkecil biaya tidak menutup kemungkinan penggunaan tipe yang lain.

Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan tipe *heat exchanger* sebagai berikut:

- ❖ Kebutuhan thermal dan hidrolis.

Jumlah panas yang hendak dipertukarkan, temperatur fluida yang masuk dan keluar, tekanan kerja dan penurunan tekanan yang diijinkan merupakan spesifikasi sebagai hasil dari proses optimasi secara keseluruhan. Setiap *heat*



*exchanger* yang dipilih harus dapat menyatukan aspek-aspek tersebut, terutama penurunan tekanan yang kadang dibatasi oleh keperluan proses dan perhitungan ekonomi.

- ❖ Kesesuaian dengan fluida kerja dan kondisi kerja.

Material untuk pembuatan *heat exchanger* harus dipilih agar korosi yang berlebihan tidak terjadi. Selain itu, juga harus dipertimbangkan umur pakai dari *heat exchanger* itu sendiri.

- ❖ Pemeliharaan (*maintenance*).

Kemudahan dalam kegiatan pembersihan, pemeliharaan dan perbaikan *heat exchanger* dan bagian-bagiannya.

- ❖ Ketersediaan (*availabvility*).

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

A : *Availability*

MTBF : *Mean Time Before Failure*

MDT : *Mean Down Time*

- ❖ Faktor ekonomi.

Faktor ekonomi menyangkut biaya instalasi, biaya operasi, *spare part* dan biaya pemeliharaan.

Dengan mempertimbangkan kelima faktor diatas diharapkan akan diperoleh *heat exchanger* yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan dan anggaran yang ada.

## **2.4 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

*Failure Mode and Effect Analysis* adalah suatu penaksiran elemen per elemen secara sistematis untuk menyoroiti akibat-akibat dari kegagalan komponen, produk, proses atau sistem dalam memenuhi keinginan dan spesifikasi konsumen. Hal ini ditandai dengan nilai yang tinggi atas elemen dari komponen produk, proses, atau sistem yang memerlukan prioritas penanganan untuk mengurangi kegagalan dengan berbagai cara seperti desain ulang, perbaikan secara terus-menerus, pendukung keamanan tinjauan perancangan dan lain-lain. Hal itu dapat dilaksanakan pada tahap perancangan dan menggunakan pengalaman atau pertimbangan atau yang digabungkan dengan reliabilitas data menggunakan pengetahuan tentang rata-rata tingkat kegagalan untuk komponen dan produk yang ada saat ini.

*Failure Mode and Effect Analysis* dapat menjabarkan secara sistematis kumpulan dari sebuah aktivitas dalam hal; mengetahui dan mengevaluasi kegagalan potensial dari produk/proses dan efek dari kegagalan tersebut, mengidentifikasi aksi yang harus dihilangkan atau dikurangi untuk mendapatkan peluang dari kegagalan potensial dan sebagai dokumen dari semua proses. FMEA lebih berfokus terhadap desain baik untuk produk ataupun proses. Pada perkembangan dewasa ini FMEA dapat dibedakan dalam dua tipe yaitu FMEA design dan FMEA proses.

Salah satu faktor yang penting dalam suksesnya penerapan FMEA adalah '*time liness*'. Maksudnya adalah melakukannya sebelum proses berlangsung (*before the event*) dan bukan melakukan sesudah terjadi (*after the fact*). Untuk mendapatkan hasil yang bagus, FMEA harus dilakukan atau diterapkan sebelum potensial kegagalan dari proses atau produk telah terjadi dalam produk atau proses tersebut.

Secara umum ada tiga jenis kasus dari FMEA, dimana masing-masing mempunyai fokus yang berbeda:

1. Desain baru, teknologi baru atau proses baru. FMEA akan berfokus pada desain lengkap, teknologi atau proses.
2. Modifikasi untuk memperbaiki desain atau proses yang memungkinkan adanya interaksi antara modifikasi dan *field history*.
3. Menggunakan desain atau proses yang ada dalam lingkungan., lokasi atau aplikasi baru. FMEA akan berfokus terhadap imbas, terhadap lingkungan baru atau lokasi terhadap desain atau proses yang ada.

#### **2.4.1 FMEA Design**

*FMEA Design* adalah sebuah teknik analisis berdasarkan *design* dari engineering/team yang memuat modus kegagalan potensial penyebab kegagalan mekanis yang muncul dalam proses tersebut. Masing-masing item dari semua system yang ada, sub sistem dan semua komponen harus evaluasi. Secara sistematis pendekatan dilakukan secara parallel, formal dan semua dokumen yang terkait dengan para engineer yang melalui beberapa desain proses.

Desain potensial FMEA mendukung proses lain dalam mengurangi resiko kegagalan oleh:

- Dapat membantu mengevaluasi secara objektif dari desain, termasuk persyaratan fungsional dan desain alternative.
- Evaluasi inisial desain untuk manufaktur, perakitan, service dan siklus dari *requirement*.

- Tambahkan probabilitas dari modus kegagalan potensial dari efek dari sistem selama proses pengembangan desain.
- Sediakan informasi tambahan untuk membantu rencana desain yang efisien, pengembangan dan validasi.
- Rancang ranking dari modus kegagalan potensial berdasarkan efek yang ditimbulkan pada konsumen.
- Sediakan untuk menyerap isu-isu, untuk rekomendasi dan risikonya untuk mengurangi aksi.
- Sediakan referensi untuk masa depan untuk membantu analisis, evaluasi perubahan desain dan pengembangan desain sudah *final*.

*FMEA design* disebut juga *living* dokumen dan awal untuk:

- Dapat mengetahui sebelum atau saat konsep *design* sudah *final*.
- Dapat melanjutkan updating terhadap perubahan atau penambahan informasi yang terkandung dalam pengembangan produk.
- Dapat melengkapi kekurangan sebelum gambar proses produksi dibuat.

FMEA desain juga tidak hanya menitik beratkan pada proses kontrol untuk mengatasi kelemahan potensial dari desain, tetapi juga menganalisa pertimbangan batasan teknik/fisisk dari proses produksi/perakitan, sebagai contoh;

- Batasan dari finishing permukaan.
- Suaian perakitan/akses untuk tooling.
- Batasan tingkat kekerasan dari baja.
- Toleransi.
- Kemampuan proses atau performansi.

### 2.4.2 FMEA Proses

FMEA proses adalah sebuah teknik analisis proses *manufacture* atau perakitan dimana didalamnya memuat modus kegagalan potensial dan penyebab kegagalan mekanis yang muncul pada proses produksi tersebut. Masing-masing item dari semua sistem yang ada, sub sistem dan semua komponen harus dievaluasi. Secara sistematis pendekatan dilakukan secara paralel, formal dan semua dokumen yang terkait dengan para *engineering* yang melalui beberapa desain proses.

FMEA proses berguna untuk:

- Mengidentifikasi fungsi dari proses dan *requirement*,
- Mengidentifikasi potensial produk dan hubungan antara proses dengan modus kegagalan,
- Menaksirkan efek kegagalan potensial pada konsumen,
- Mengidentifikasi potensial dari proses produksi atau perakitan penyebab dan mengidentifikasi *variable* proses yang berfokus pada mengurangi tingkat *occurrence* atau deteksi dari kondisi gagal,
- Mengidentifikasi *variable* proses yang mana berfokus pada proses kontrol,
- Mengembangkan ranking dari modus kegagalan potensial yang didapat dari prioritas dari system untuk pencegahan pertimbangan aksi yang diambil,
- Dokumentasi dari hasil proses produksi atau proses perakitan.

FMEA proses adalah sebuah *living* dokumen dan sebagai awal untuk:

- Sebelum atau saat tahap kelayakan proses,
- Prioritas *tooling* untuk produksi,
- Pengambilan laporan semua proses produksi, dari bentuk per part komponen sampai proses perakitan.

Pada tahap awal dan analisis dari peninjauan kembali proses yang meningkatkan proses, pemecahan ulang atau monitor potensial proses yang focus pada tahap rencana proses produksi kedalam model baru atau komponen program. FMEA proses berasumsi bahwa produk yang telah didesain merupakan bagian dari FMEA desain. Modus kegagalan potensial dapat terjadi karena desain mempunyai kelemahan yang mungkin masih terdapat didalam FMEA proses. Efek dari kegagalan dan pencegahannya sudah dijabarkan dalam FMEA desain. FMEA proses tidak sepenuhnya percaya bahwa perubahan desain produk dapat meng atasi kelemahan proses.

Salah satu tujuan dari FMEA adalah mengarahkan ketersediannya sumber kearah kesempatan yang paling menjanjikan. Langkah-langkah dalam pembuatan FMEA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi proses atau produk.
2. Membuat daftar masalah-masalah potensial yang akan muncul.
3. Memberikan tingkatan pada masalah untuk *severity*, *occurrence* dan *detectability*.

Pada tabel, untuk mendapat nilai occurrence terlebih dahulu kita harus menentukan Ppk (Probability Process Control) melalui perhitungan statistik sebagai berikut:

$$Ppk = \frac{Z}{3}$$

Dengan:  $Z = \frac{x - \eta}{\sigma}$

$$\eta = n.p$$

$$\sigma^2 = n.p.(1 - p)$$

$$q = 1 - p$$

$$\text{Atau } \sigma^2 = n.p.q$$

Ppk : Probability Process Control

Z : Distribusi normal

x : waktu terjadi

n : frekuensi kegagalan dalam satu tahun ( 12 bulan)

p : banyaknya kegagalan pertahun ( $\frac{x}{12}$ )

q : probabilitas yang gagal

$\sigma$  : simpangan baku

$\eta$  : nilai tengah

4. Menghitung *risk priority number* (RPN) dan menentukan prioritas tindakan perbaikan,
5. Mengembangkan tindakan untuk mengurangi resiko,
6. Skala penilaian untuk perhitungan ini adalah 1-10. Penilaian tergantung dari proses itu sendiri berada pada tingkat berapa bila diukur dari sisi severity, occurrence dan detectability seperti terlihat pada tabel 2.2, 2.3., dan 2.4.

Tabel 2-1. Skala penilaian untuk *occurrence*

<b>Rating Severity pada FMEA Preventive Maintenance</b>			
<b>Ranking</b>	<b>Akibat/Effect</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Akibat pada Produksi</b>
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apa-apa, tidak memerlukan penyesuaian.	Proses berada dalam kendali tanpa melakukan penyesuaian peralatan.
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti. Akibat hanya dapat diketahui oleh operator yang berpengalaman.	Proses berada dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian.
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya ada sedikit gangguan. Akibat diketahui oleh rata-rata operator.	Proses telah berada diluar kendali, beberapa penyesuaian diperlukan.
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dengan aman, namun terdapat gangguan kecil. Akibat diketahui oleh semua operator.	Kurang dari 30 menit downtime atau tidak ada downtime sama sekali.
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi normal, namun telah menimbulkan beberapa kegagalan produk. Operator merasa tidak puas karena tingkat kinerja berkurang.	30-60 menit downtime
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetap menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin.	1-2 jam downtime.
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas.	2-4 jam downtime.
8	Akibat ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi dan telah kehilangan fungsi utamanya.	4-8 jam downtime.
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja.	Lebih besar dari 8 jam downtime.
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, dan hal ini bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja..	Lebih besar dari 8 jam downtime.



Tabel 2-2. Skala penilaian untuk *Occurrence*

<b>Rating Kejadian (Occurrence) pada FMEA Preventive Maintenance</b>				
<b>Ranking</b>	<b>Kejadian</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Tingkat Kejadian Kegagalan</b>	<b>Ppk</b>
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi.	Lebih dari 10.000 jam operasi mesin	$< 0,55$
2	Remote	Kerusakan jarang terjadi.	6001-10.000 jam operasi mesin	$\geq 0,55$
3	Sangat sedikit	Kerusakan yang terjadi sangat sedikit.	3001-6000 jam operasi mesin	$\geq 0,78$
4	Sedikit	Kerusakan yang terjadi sedikit	2001-3000 jam operasi mesin	$\geq 0,86$
5	Rendah	Kerusakan yang terjadi pada tingkat rendah.	1001-2000 jam operasi mesin	$\geq 0,94$
6	Medium	Kerusakan yang terjadi pada tingkat medium.	401-1000 jam operasi mesin	$\geq 1,00$
7	Agak tinggi	Kerusakan yang terjadi agak tinggi.	101-400 jam operasi mesin	$\geq 1,10$
8	Tinggi	Kerusakan yang terjadi tinggi.	11-100 jam operasi tinggi	$\geq 1,20$
9	Sangat tinggi	Kerusakan yang terjadi sangat tinggi.	2-10 jam operasi mesin	$\geq 1,30$
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi.	Kurang dari 2 jam operasi mesin	$\geq 1,67$

Tabel 2-3. Skala penilaian untuk *Detectability*

<b>Rating deteksi (detection) pada FMEA Preventive Maintenance</b>		
<b>Ranking</b>	<b>Akibat</b>	<b>Kriteria verbal</b>
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
2	Sangat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
3	Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
4	Moderately high	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “moderately High” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
5	Moderate	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “moderate” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinana rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
7	Sangat rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinana sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan.
8	Remote	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “remote” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
9	Very remote	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “very remote” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
10	Tidak pasti	Perawatan preventif akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

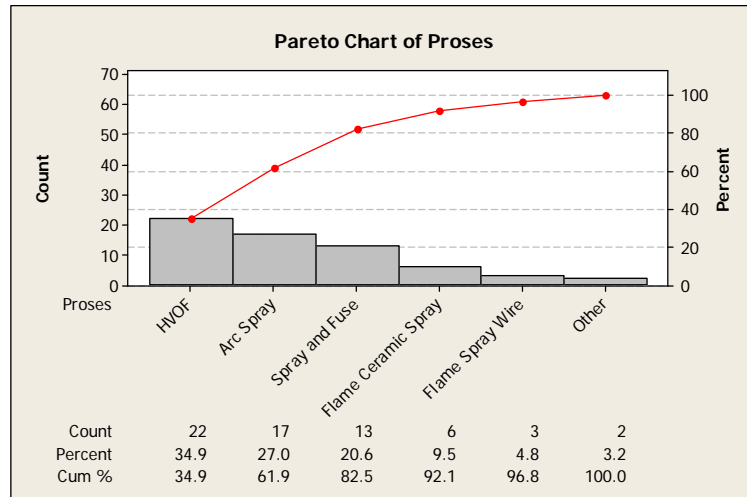
7. Penilaian *severity* (S), *occurrence* (O) dan *detectability* (D) terhadap proses ini dilakukan secara subyektif , dengan cara berdiskusi dengan manajer mutu, manajer teknis dan *customer service*,
8. *Risk priority number* (RPN) merupakan perkalian dari rating *severity* (S), *occurrence* (O) dan *detectability* (D).

### **2.5 Pareto Chart**

*Pareto Chart* merupakan diagram yang dikembangkan oleh seorang ahli yang bernama *Vilfredo Pareto* adalah alat yang digunakan untuk membandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya untuk menentukan pentingnya atau prioritas kategori kejadian-kejadian yang akan dianalisis, sehingga kita dapat memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak terbesar terhadap kejadian tersebut. Data atribut yang disusun berdasarkan kategori. Melalui *pareto chart* dapat secara cepat dan visual mengidentifikasi jenis kerusakan yang sering muncul sehingga berbagai penyebab dari jenis kerusakan ini harus dimungkinkan untuk diidentifikasi dan diatasi pada prioritas pertama. *Pareto chart* tidak secara otomatis mengidentifikasi jenis kerusakan yang paling penting, namun lebih pada jenis kerusakan yang sering muncul. Apabila daftar kerusakan memiliki konsekuensi yang ekstrim serius dan lainnya dengan kepentingan yang lebih rendah, metode yang dapat digunakan:

1. Gunakan suatu skema pembobotan ( *weighting scheme* ) untuk memodifikasi perhitungan frekuensi dan,
2. Dampingi analisis frekuensi *Pareto Chart* dengan suatu *cost* atau *exposure Pareto chart*.

Apabila tiap vertical bar dipecah berdasarkan kategori lainnya akan menghasilkan suatu *stacked Pareto chart*, analisis ini akan secara jelas mengindikasikan kategori mana yang memberikan bagian besar yang tidak proporsional dari komponen-komponen yang rusak.



Gambar 2-8. Contoh *Pareto Chart*

## 2.6 Cause and Effect Diagram

*Cause and Effect Diagram* digunakan untuk menganalisis persoalan dan faktor-faktor yang menimbulkan persoalan tersebut. *Cause and Effect Diagram* disebut juga *Ishikawa diagram* dan dikembangkan oleh *Dr. Kauro Ishikawa*. Diagram ini disebut juga diagram *fishbone* karena berbentuk seperti kerangka ikan.

*Cause and Effect Diagram* dapat dipergunakan untuk hal-hal sebagai berikut;

1. Menyimpulkan sebab-sebab variasi dalam proses,
2. Mengidentifikasi kategori dan sub-kategori sebab-sebab yang mempengaruhi suatu karakteristik kualitas tertentu,
3. Memberikan petunjuk mengenai macam-macam data yang perlu dikumpulkan.

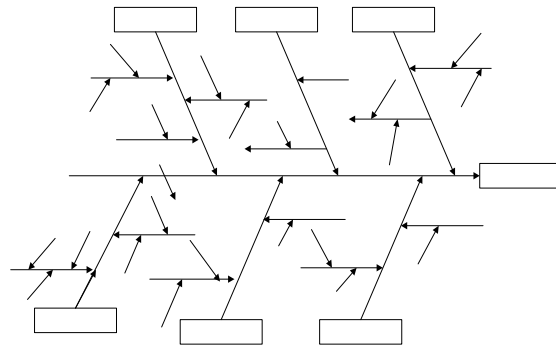
*Cause and Effect Diagram* terutama berguna dalam tahap perencanaan (*plan*), karena dapat membantu mengidentifikasi sebab-sebab proses yang mempunyai peranan bagi timbulnya efek yang dkehendaki oleh pelanggan.

Tahap-tahap dalam membuat *Cause and Effect Diagram*, adalah:

1. Definisikan permasalahan atau dampak yang dianalisis,
2. Bentuk tim untuk analisis. Seringkali tim akan menemukan berbagai penyebab potensial malalui *brainstorming*,
3. Gambarkan kotak dampak dan garis pusat,

4. Spesifikasikan berbagai kategori penyebab potensial yang utama dan hubungkan kotak-kotak dengan garis pusat,
5. Identifikasi berbagai penyebab yang mungkin dan klasifikasikan ke berbagai kategori pada tahapan 4. Buat kategori baru bilamana diperlukan.

Dalam analisa *Cause and Effect Diagram* sangat rinci sehingga dapat digunakan sebagai alat pemecah masalah yang efektif. Pembuatan diagram ini cenderung melibatkan orang dalam mengatasi suatu masalah dari pada mencari atau melemparkan kesalahan.



Gambar 2-9. Contoh Diagram *Fishbone*

## **BAB III**

### **METODOLOGI MASALAH**

#### **3.1 Perumusan Masalah**

Dalam tahap perumusan masalah dan tujuan penelitian, pengamatan dilakukan pada kegiatan pemeliharaan heat exchanger dan masalah-masalah yang ditemui selama proses produksi yang berkaitan dengan heat exchanger.

#### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

##### **3.2.1 Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di perusahaan injeksi plastik yaitu PT Surya Technology Industri yang terletak di Jl. Inti III Blok C8 No.10 *Bekasi International Industrial Estate* pada Departemen *Maintenance*. Penelitian difokuskan pada bagian kegiatan pemeliharaan heat exchanger, masalah-masalah yang berkaitan dengan *heat exchanger*, penyebab dan teknik-teknik untuk mengatasinya.

### **3.2.2 Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan pada bulan April 2007 – Oktober 2007 di PT Surya Technology Industri.

### **3.3 Metode Pengumpulan Data**

Data diambil dari hasil laporan kegiatan maintenance selama melakukan kegiatan pemeliharaan *heat exchanger* dan perbaikan *heat exchanger* yang didokumentasikan dalam kartu riwayat mesin (*Machine History*). Selain itu data didapat dari manual book buku-buku referensi lainnya.

### **3.4 Pengolahan Data**

Data-data yang diperoleh selanjutnya dianalisa dengan metode FMEA, perhitungan statistik dan penggunaan program komputer berupa *software* Microsoft Office Excel dan program statistik Minitab.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi proses atau produk.
2. Membuat daftar masalah-masalah potensial yang akan muncul.
3. Memberikan tingkatan pada masing-masing masalah untuk *severity*, *occurrence* dan *detectability*.
4. Skala penilaian untuk perhitungan ini adalah 1-10. Penilaian tergantung dari proses itu sendiri berada pada tingkat berapa bila diukur dari sisi *severity*, *occurrence* dan *detectability* seperti terlihat pada tabel 2-1, 2-2., dan 2-3.
5. Penilaian *severity* dan *detectability* terhadap proses ini dilakukan secara subyektif, dengan cara berdiskusi dengan manajer *maintenance* dan teknisi di lapangan.

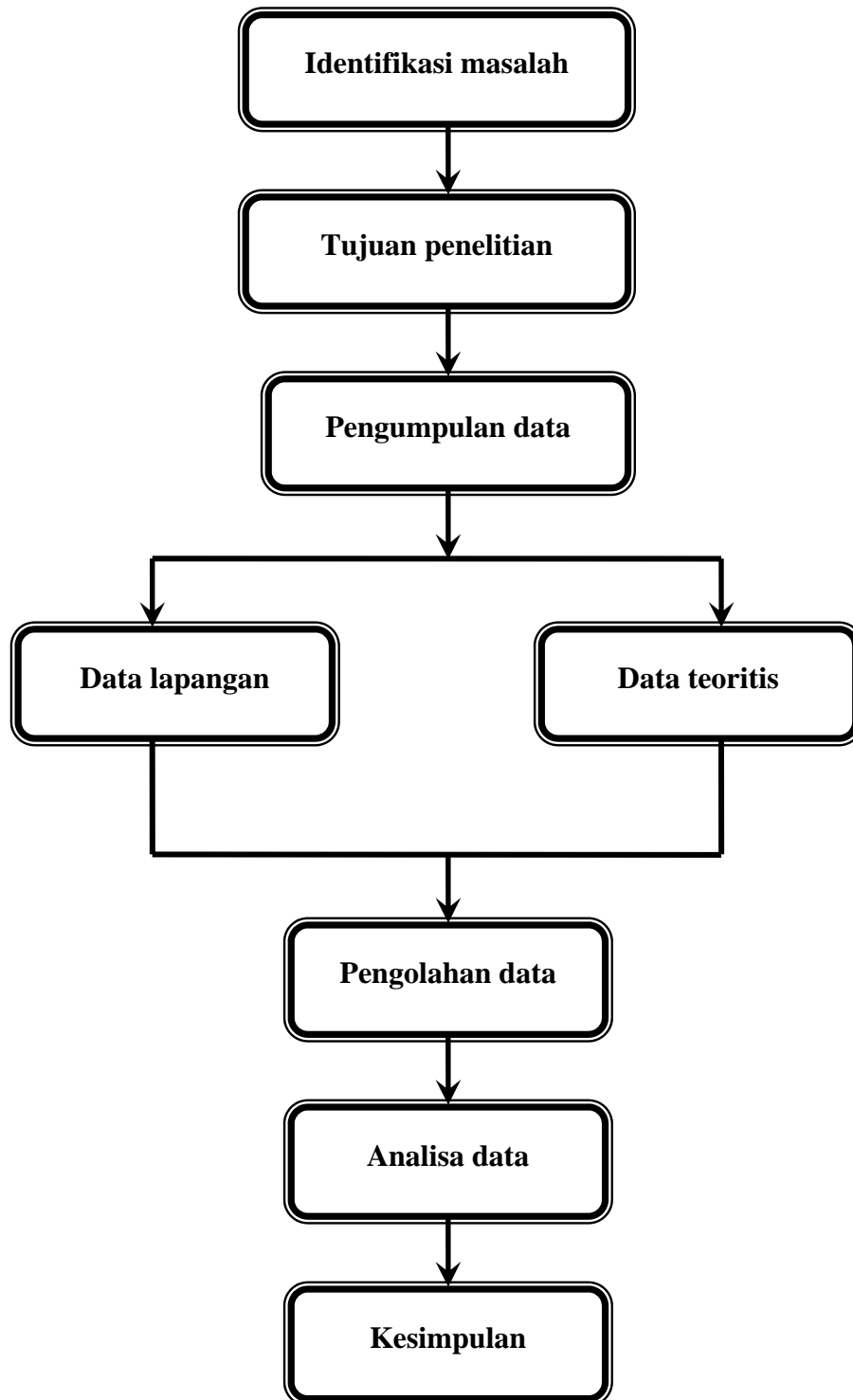
6. Menentukan *Risk Priority Number* (RPN).
7. Pembuatan *Pareto Chart* dan menentukan 3 jenis kegagalan yang sering terjadi dan berdampak langsung pada kondisi operasi mesin.
8. Pembuatan diagram *Fishbone* dari masing-masing kegagalan tersebut untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan tersebut dan cara untuk mengatasinya.

### **3.5 Analisis Hasil Pengolahan Data**

Setelah menentukan waktu pengambilan data, metode pengambilan data dan melakukan pengolahan data, selanjutnya akan dilakukan analisa sebab akibat untuk mengetahui faktor-faktor penyebab kegagalan pada *heat exchanger* dan akibat yang terjadi dari kegagalan tersebut. Dari hasil analisa tersebut dapat ditarik suatu kesimpulan dan saran-saran yang berguna untuk proses perbaikan dimasa mendatang.



### 3.6 Skema Metodologi Penelitian



Gambar 3-1. *Flow Cart* Metodologi Penelitian

### 3.7. Gambar *Heat Exchanger* yang Dianalisa



Gambar 3-2. *Heat Exchanger* yang dianalisa

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1. Data Hasil Pengamatan

Dari hasil pengamatan dan wawancara, didapat data-data sebagai berikut:

- a. PT. Surya Technology Industri memiliki 6 unit mesin Toshiba dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.1. Spesifikasi mesin *injection*

Tipe Mesin	Serial Number	Tahun Pembuatan
Toshiba IS 850 FA2	805836	1992
Toshiba IS 850 E	812828	1986
Toshiba IS 650 GT	48211	2000
Toshiba IS 650 GT	48111	2000
Toshiba IS 550 GS	833121	1996
Toshiba IS 550 GS	833001	1996

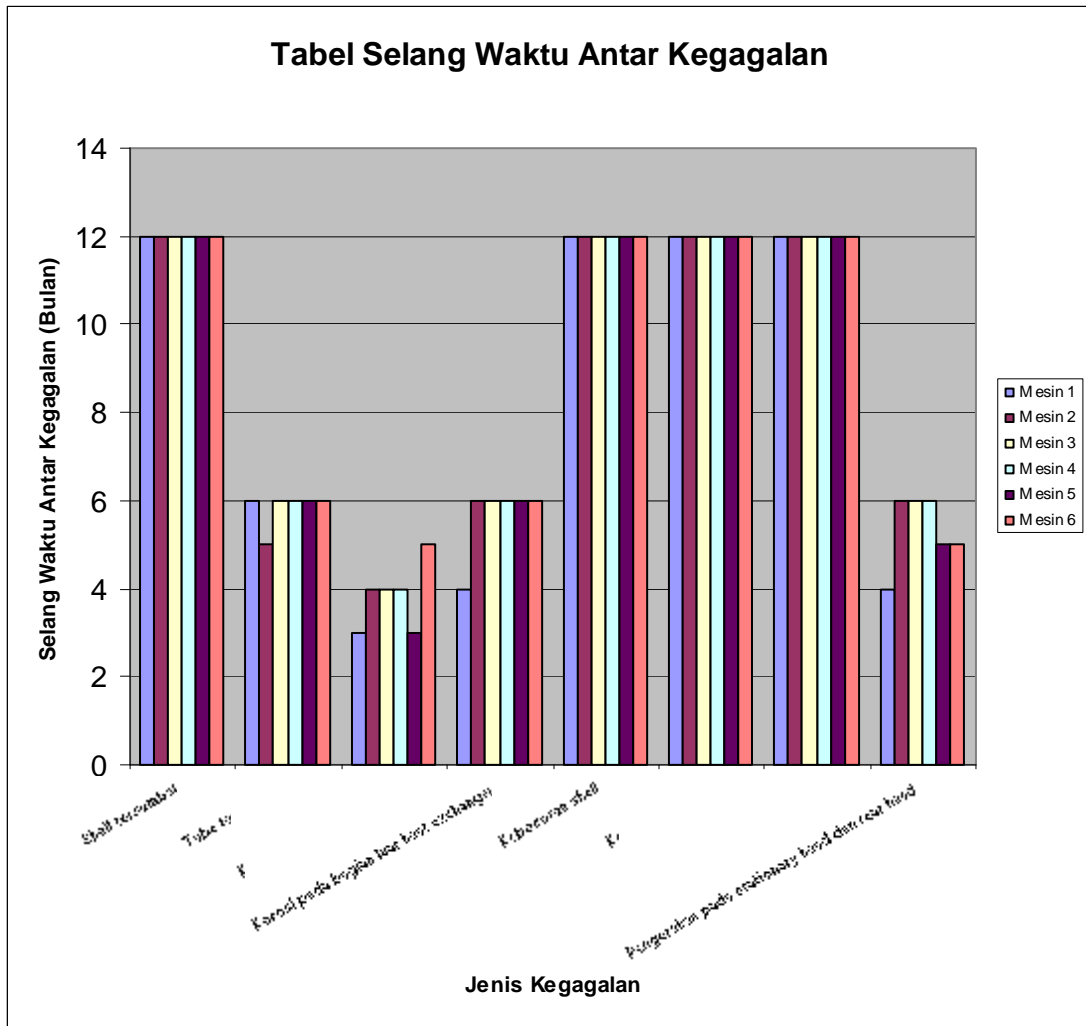
- b. Jenis kegagalan dan selang waktu terjadinya kegagalan yang sama dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2. Jenis kegagalan *heat exchanger*

No.	Jenis Kegagalan	Waktu selang terjadi kegagalan selama 12 bulan					
		Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4	Mesin 5	Mesin 6
1	Shell tersumbat	12	12	12	12	12	12
2	Tube tersumbat	6	5	6	6	6	6
3	Kerusakan pada packing	3	4	4	4	3	5
4	Korosi pada bagian luar heat exchanger	4	6	6	6	6	6
5	Kebocoran shell	12	12	12	12	12	12
6	Kebocoran tube	12	12	12	12	12	12
7	Kerusakan sekat	12	12	12	12	12	12
8	Pengerakan pada stationary head dan rear head	4	6	6	6	5	5

Keterangan:

- ✓ Waktu selang terjadi kegagalan yang dimaksud disini adalah waktu yang dihitung ketika salah satu kegagalan terjadi sampai kegagalan tersebut terjadi lagi atau berulang.
- ✓ Jika waktu selang terjadi kegagalan bernilai 12 bulan, ini berarti selama 12 bulan masa pengambilan data kegagalan tersebut tidak pernah terjadi.



Gambar 4-1. Grafik kegagalan *heat exchanger*

Dari data-data kegagalan yang diperoleh selama proses pengamatan akan dianalisa untuk menentukan nilai-nilai yang diperlukan untuk membuat tabel FMEA. Dalam tabel FMEA dibutuhkan nilai severity (kegagalan), nilai occurrence (kejadian) dan nilai detection (detection). Nilai severity dan nilai occurrence diperoleh dengan cara membandingkan kriteria-kriteria kegagalan yang terjadi dengan kriteria yang ada pada tabel severity dan tabel detection. Untuk nilai occurrence diperoleh dengan cara menentukan nilai Ppk yang selanjutnya nilai tersebut akan dibandingkan pada tabel occurrence.

## 4.2. Menentukan Nilai *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*

### 4.2.1 *Shell* tersumbat

Dari hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Untuk shell tersumbat mengakibatkan kerusakan mesin dan membutuhkan waktu perbaikan (*breakdown*) 2-4 jam sehingga memiliki nilai *severity* 7.
- Aktivitas preventive maintenance memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi kegagalan ini yang berarti memiliki nilai *detection* 6.
- Menentukan tingkat *occurrence*:

Nilai  $x$  untuk semua mesin sama, maka proses penghitungan hanya dilakukan sekali saja.

$$x = 12$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{12}{12} = 1$$

$$q = 1 - p = 1 - 1 = 0$$

$$n = \frac{12}{x} = \frac{12}{12} = 1$$

$$\mu = n \cdot p = 1 \cdot 1 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$$

$$\sigma = \sqrt{0} = 0$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{12 - 1}{0} = 0$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{0}{3} = 0$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 0 memiliki tingkat occurrence 1.

#### 4.2.2. *Tube* tersumbat



Gambar 4-1. *Tube* tersumbat

Berdasar hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kegagalan tube tersumbat meyebabkan terganggunya prose produksi dan membutuhkan 2-4 jam waktu untuk perbaikan sehingga memiliki nilai *severity* 7.

- Aktivitas preventif maintenance memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi kegagalan ini dan memiliki nilai *detection* 6.
- Menentukan tingkat occurrence:

Untuk mesin 1, mesin 3, mesin 4, mesin 5, dan mesin 6 mempunyai nilai x yang sama yaitu 6.

$$x = 6$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{6}{12} = 0,5$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$n = \frac{12}{6} = 2$$

$$\mu = n \cdot p = 2 \cdot 0,5 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,5$$

$$\sigma = \sqrt{0,5} = 0,7$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{6 - 1}{0,7} = 7,14$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{7,14}{3} = 2,38$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 2,38 memiliki tingkat occurrence 10.

Untuk mesin 2 memiliki nilai x = 5.



$$x = 5$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{5}{12} = 0,42$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,42 = 0,58$$

$$n = \frac{12}{5} = 2,4$$

$$\mu = n \cdot p = 2,4 \cdot 0,42 = 1,01$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2,4 \cdot 0,42 \cdot 0,58 = 0,58$$

$$\sigma = \sqrt{0,58} = 0,76$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{3 - 1,01}{0,76} = 2,62$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{2,62}{3} = 0,87$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 0,87 memiliki tingkat occurrence 4.

#### 4.2.3. Kerusakan pada Packing



Gambar 4-2. Kerusakan packing

Dari hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kerusakan seperti ini membutuhkan waktu perbaikan 1-2 jam dan memiliki nilai *severity* 6.
- Aktivitas *preventif maintenance* memiliki kemungkinan *moderately high* untuk mendeteksi kegagalan ini sehingga mempunyai nilai *detection* 4.
- Menentukan tingkat occurrence:

Untuk mesin 1 dan mesin 5 dengan  $x = 3$ :

$$x = 3$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{3}{12} = 0,25$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,25 = 0,75$$

$$n = \frac{12}{3} = 4$$

$$\mu = n \cdot p = 2 \cdot 0,25 = 0,5$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2 \cdot 0,25 \cdot 0,75 = 0,375$$

$$\sigma = \sqrt{0,375} = 0,61$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{3 - 0,5}{0,61} = 4,1$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{4,1}{3} = 1,36$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 2,38 memiliki tingkat occurrence 9.

Untuk mesin 2, mesin 3, dan mesin 4 dengan nilai  $x = 4$ :

$$x = 4$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{4}{12} = 0,33$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,33 = 0,67$$

$$n = \frac{12}{4} = 3$$

$$\mu = n \cdot p = 3 \cdot 0,33 = 0,99$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 3 \cdot 0,33 \cdot 0,67 = 0,66$$

$$\sigma = \sqrt{0,66} = 0,81$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{4 - 0,99}{0,81} = 3,72$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{3,72}{3} = 1,24$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 1,24 memiliki tingkat occurrence 8.

Untuk mesin 6 dengan nilai  $x = 5$ :

$$x = 5$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{5}{12} = 0,42$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,42 = 0,58$$

$$n = \frac{12}{5} = 2,4$$

$$\mu = n \cdot p = 2,4 \cdot 0,42 = 1,01$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2,4 \cdot 0,42 \cdot 0,58 = 0,58$$

$$\sigma = \sqrt{0,58} = 0,76$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{3 - 1,01}{0,76} = 2,62$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{2,62}{3} = 0,87$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 0,87 memiliki tingkat occurrence 4.

#### 4.2.4. Korosi pada Bagian Luar *Heat Exchanger*

Dari hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kegagalan seperti ini tidak menyebabkan terganggunya proses produksi, dan untuk memperbaiki kerusakan ini 30-60 menit dengan nilai *severity* 5.
- Aktivitas preventif maintenance memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi kegagalan ini sehingga memiliki nilai *detection* 2.
- Menentukan tingkat occurrence:

Untuk mesin 1 mempunyai nilai  $x = 4$

$$x = 4$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{4}{12} = 0,33$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,33 = 0,67$$

$$n = \frac{12}{4} = 3$$

$$\mu = n \cdot p = 3 \cdot 0,33 = 0,99$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 3 \cdot 0,33 \cdot 0,67 = 0,66$$

$$\sigma = \sqrt{0,66} = 0,81$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{4 - 0,99}{0,81} = 3,72$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{3,72}{3} = 1,24$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 1,24 memiliki tingkat occurrence 8.

Untuk mesin 2, mesin 3, mesin 4, mesin 5, dan mesin 6 mempunyai nilai  $x = 6$ .

$$x = 6$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{6}{12} = 0,5$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$n = \frac{12}{6} = 2$$

$$\mu = n \cdot p = 2 \cdot 0,5 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,5$$

$$\sigma = \sqrt{0,5} = 0,7$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{6 - 1}{0,7} = 7,14$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{7,14}{3} = 2,38$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 2,38 memiliki tingkat occurrence 10.

#### 4.2.5. Kebocoran *Shell*

Dari hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kerusakan seperti ini membutuhkan 2-4 jam untuk proses perbaikan dengan nilai *severity* 7.
- Aktivitas *preventif maintenance* memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi kerusakan ini dan memiliki nilai *detection* 3.
- Menentukan tingkat occurrence:

$$x = 12$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{12}{12} = 1$$

$$q = 1 - p = 1 - 1 = 0$$

$$n = \frac{12}{12} = 1$$

$$\mu = n \cdot p = 1 \cdot 1 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$$

$$\sigma = \sqrt{0} = 0$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{0 - 0}{0} = 0$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{0}{3} = 0$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 0 memiliki tingkat occurrence 1.

#### 4.2.6. Kebocoran Tube

Berdasar hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kerusakan seperti ini membutuhkan 4-8 jam untuk proses perbaikan dengan nilai *severity* 8.
- Aktivitas preventif maintenance memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi kegagalan ini dengan nilai *detection* 7.
- Menentukan tingkat occurrence:

$$x = 12$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{12}{12} = 1$$

$$q = 1 - 1 = 1 - 1 = 0$$

$$n = \frac{12}{12} = 1$$

$$\mu = n \cdot p = 1 \cdot 1 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$$

$$\sigma = \sqrt{0} = 0$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{0 - 0}{0} = 0$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{0}{3} = 0$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 0 memiliki tingkat *occurrence* 1.

#### 4.2.7. Kerusakan pada Sekat

Dari hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kerusakan seperti ini membutuhkan 4-8 jam untuk proses perbaikan dan memiliki nilai *severity* 8.
- Aktivitas preventif maintenance memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi kegagalan ini dengan nilai *detection* 7.
- Menentukan tingkat *occurrence*:



$$x = 12$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{12}{12} = 1$$

$$q = 1 - p = 1 - 1 = 0$$

$$n = \frac{12}{12} = 1$$

$$\mu = n \cdot p = 1 \cdot 1 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$$

$$\sigma = \sqrt{0} = 0$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{0 - 0}{0} = 0$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{0}{3} = 0$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 0 memiliki tingkat occurrence 1.

#### 4.2.8. Pengerakan pada *Stationary Head* dan *Rear Head*



Gambar 4-3. Pengerakan pada *stationary head* dan *rear head*

Dari hasil pengamatan dan diskusi dengan staff departemen maintenance PT Surya Technology Industri didapat data-data sebagai berikut:

- Kerusakan seperti ini membutuhkan 2-4 jam untuk proses perbaikan dan memiliki nilai *severity* 7.
- Aktivitas preventif maintenance memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi kegagalan ini dengan nilai *detection* 6.
- Menentukan tingkat *occurrence*:

Untuk mesin 1 nilai  $x = 4$ .

$$x = 4$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{4}{12} = 0,33$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,33 = 0,67$$

$$n = \frac{12}{4} = 3$$

$$\mu = n \cdot p = 3 \cdot 0,33 = 0,99$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 3 \cdot 0,33 \cdot 0,67 = 0,66$$

$$\sigma = \sqrt{0,66} = 0,81$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{4 - 0,99}{0,81} = 3,72$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{3,72}{3} = 1,24$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 1,24 memiliki tingkat occurrence 8.

Untuk mesin 2, mesin 3, dan mesin 4 nilai  $x = 6$ .

$$x = 6$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{6}{12} = 0,5$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$n = \frac{12}{6} = 2$$

$$\mu = n \cdot p = 2 \cdot 0,5 = 1$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,5$$

$$\sigma = \sqrt{0,5} = 0,7$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{6 - 1}{0,7} = 7,14$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{7,14}{3} = 2,38$$

Dari tabel occurrence, untuk nilai Ppk 2,38 memiliki tingkat occurrence 10.

Untuk mesin 5 dan mesin 6 memiliki nilai  $x = 5$ .

$$x = 5$$

$$p = \frac{x}{12} = \frac{5}{12} = 0,42$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,42 = 0,58$$

$$n = \frac{12}{5} = 2,4$$

$$\mu = n \cdot p = 2,4 \cdot 0,42 = 1,01$$

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot q = 2,4 \cdot 0,42 \cdot 0,58 = 0,58$$

$$\sigma = \sqrt{0,58} = 0,76$$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{3 - 1,01}{0,76} = 2,62$$

$$Ppk = \frac{Z}{3} = \frac{2,62}{3} = 0,87$$

Dari tabel *occurrence*, untuk nilai Ppk 0,87 memiliki tingkat occurrence 4.

**BAB V**  
**ANALISA HASIL**

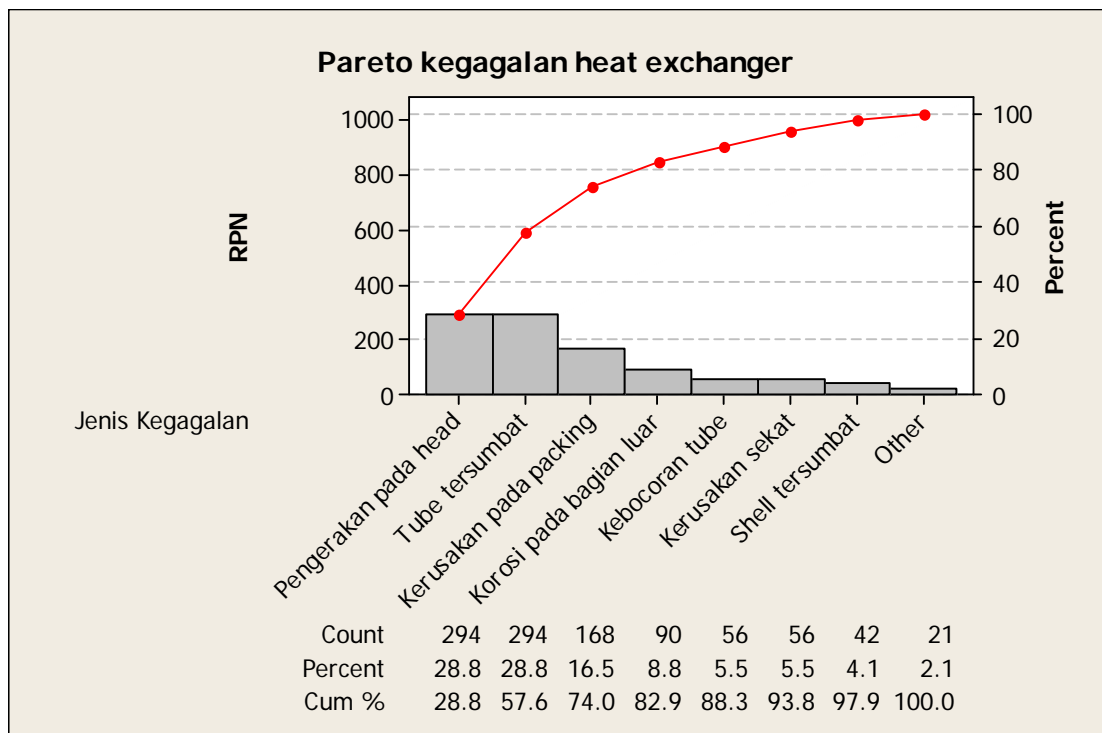
Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5-1. Nilai *severity*, *occurrence*, *detection*, dan RPN

No .	Jenis kegagalan	Severity	Occurrence	Detection	RPN
1	Shell tersumbat	7	1	6	42
2	Tube tersumbat	7	7	6	294
3	Kerusakan pada packing stationary head	6	7	4	168
4	Korosi pada bagian luar heat exchanger	5	9	2	90
5	Kebocoran shell	7	1	3	21
6	Kebocoran tube	8	1	7	56
7	Kerusakan sekat	8	1	7	56
8	Pengerakan pada stationary head dan rear head	7	7	6	294

### 5.1 Pembuatan *Pareto Chart*

Dari tabel 5-1. dibuat diagram *pareto* untuk mendapatkan jenis kegagalan yang mana saja yang seharusnya menjadi prioritas. Diagram *pareto* dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 5-1. Diagram *pareto* kegagalan *heat exchanger*

Dari diagram *pareto* diatas dapat dilihat ada 3 jenis kegagalan terbesar yang patut menjadi prioritas. Pada pembahasan selanjutnya, hanya 3 jenis kegagalan tersebut yang dianalisa karena memiliki frekuensi kejadian yang tinggi dan berakibat langsung pada kondisi operasi mesin. Satu persatu kegagalan tersebut akan kita bahas menggunakan diagram *fishbone*.

## 5.2 Pembuatan Diagram *Fishbone*

Tujuan pembuatan *fishbone* adalah untuk mengetahui permasalahan yang terjadi dengan menganalisa penyebab timbulnya permasalahan tersebut. Pembuatan diagram ini berdasarkan permasalahan atau kegagalan yang paling signifikan. Penyebab kerusakan pada masing-masing kegagalan hampir serupa, ini dikarenakan *tube*, *stationary head*, *rear head* dan *packing* merupakan bagian-bagian yang berhubungan. Pada kesempatan ini, penekanan pembahasan hanya pada faktor-faktor teknis yang berpengaruh langsung pada kinerja *heat exchanger* yaitu faktor mesin, metode, dan material dan *measurement*.

### 5.2.1 Kegagalan Pengerakan pada *Stationary Head* dan *Rear Head*



Gambar 5-2. Pengerakan pada *head*

Pengerakan pada *stationary head* dan *rear head* disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

a. Faktor Manusia (*man*)

- Keterampilan (*skill*)

Ketrampilan dipengaruhi diantaranya oleh jam terbang dan tingkat pendidikan orang tersebut. Semua teknisi di PT Surya Technology Industri memiliki pengalaman bertahun-tahun bekerja di pabrik plastik.





- Disiplin  
Semua karyawan PT Surya Technology Industri memiliki disiplin yang cukup baik.
- Kualifikasi  
Seorang teknisi umumnya haruslah mempunyai pengetahuan tentang teknik, khususnya tentang pertukaran panas mengingat prinsip kerja *heat exchanger* ini adalah pertukaran panas.
- Motivasi  
Semangat atau motivasi seseorang sangatlah berpengaruh terhadap hasil pekerjaan yang dihasilkan. Semakin tinggi motivasi dalam dirinya maka akan semakin baik hasil dari pekerjaannya.

b. Faktor Mesin (*machine*)

- Pemeliharaan mesin  
Suatu mesin pasti jika lama-lama digunakan akan mengalami penurunan dalam hal kemampuan mesin itu sendiri, baik itu fungsi dan juga umur pakai mesin itu sendiri. Untuk itu diperlukan suatu pemeliharaan terencana, namun hal ini menghadapi beberapa kendala yaitu:
  - ✓ Pemeliharaan tidak sesuai dengan rencana dikarenakan keterbatasan jumlah personil dibandingkan dengan jumlah mesin dan peralatan yang ada. Jumlah staff *maintenance* saat ini hanyalah 2 orang, ini tidak seimbang dengan jumlah mesin yang ada.
  - ✓ Pada saat rencana pemeliharaan mesin berproduksi sehingga sehingga kegiatan pemeliharaan batal dilakukan.

- Perbaikan mesin  
Perbaikan mesin dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan dan tidak dapat dioperasikan lagi. Kendala yang dihadapi yaitu:
  - ✓ Perbaikan tidak maksimal karena kurang persiapan peralatan dan *spare part*.
  - ✓ Target waktu yang diberikan sangat singkat dikarenakan permintaan akan produk yang dihasilkan oleh mesin tersebut sangat mendesak.
- Usia mesin.  
Usia mesin sangat berpengaruh pada kondisi operasionalnya saat ini dikarenakan adanya beberapa bagian yang kondisinya telah mengalami kerusakan, aus dan korosi. Hampir semua mesin yang ada di PT Surya Technology Industri berusia senja, mesin tersebut diproduksi antara tahun 1986-2000.

c. Faktor Metode (*methode*)

- Teknik pembersihan *head*  
Teknik pembersihan *head* ini berhubungan erat dengan keahlian yang dimiliki oleh teknisi *maintenance*. Teknik pembersihan ini meliputi alat yang digunakan dan cara melakukan proses pembersihan.
- Arah aliran  
Harus diperhatikan arah aliran *cooling tower* ketika memasuki *stationary head*. Posisi *in* dan *out* tidak boleh terbalik karena hal ini akan berpengaruh pada aliran air didalam *tube* dan temperature oli.
- *Checksheet*  
*Checksheet* digunakan untuk kontrol dan dokumentasi terhadap pekerjaan yang telah dilakukan, misalnya

kartu riwayat mesin dan pemeriksaan mesin harian. Saat ini, kondisi di PT Surya Technology Industri, *checksheet* masih diabaikan.

d. Faktor Material (*material*)

- Material *stationary head* dan *rear head*

Material *head* terbuat dari sejenis logam yang tidak mudah mengalami pengerakan, biasanya besi tuang. Namun, karena usia pakai dari *heat exchanger* tersebut sudah sangat lama sehingga mudah mengalami pengerakan.

- Chemical

Chemical disini berarti sejenis bahan kimia yang digunakan untuk melarutkan kerak dan kotoran yang menempal pada *head*. Pemakaian chemical dilakukan dengan cara mencampurkan chemical dengan air *cooling tower* sesuai dengan takaran dari *supplier*.

- Mineral pada air cooling tower

Pada air terkandung mineral-mineral yang mempercepat proses pengerakan dan akhirnya mengendap pada bagian *head* sehingga membuat *head* tersumbat.

e. Faktor Ukuran (*measurement*)

- Tekanan *cooling tower*

Tekanan *cooling tower* yang baik adalah saat air *cooling tower* memasuki *tube* dan mengalir merata pada semua bagian *tube*. Jika tekanan tidak mencukupi akan berakibat meningkatnya temperatur oli serta head dan tube mudah mengalami pengerakan.

- Temperatur *cooling tower*

Temperatur cooling tower harus ada pada kondisi yang optimal yang dibutuhkan mesin untuk melakukan proses produksi yaitu antara 40° C -50° C. Berdasar pengamatan, rata-rata temperatur air cooling tower berada pada kondisi ideal, yaitu 28°C.

f. Faktor Lingkungan (*environmental*)

- Kebersihan mesin

Kebersihan mesin dan area disekitarnya tidak berpengaruh langsung pada kinerja *heat exchanger*. Hanya saja kebersihan mesin sangat berpengaruh pada umur pakai mesin itu sendiri.

### 5.2.2 Kegagalan *Tube* Tersumbat



Gambar 5-4. *Tube* tersumbat

Kegagalan tube tersumbat disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

a. Faktor Manusia (*man*)

- Keterampilan (*skill*)

Ketrampilan dipengaruhi diantaranya oleh jam terbang dan tingkat pendidikan orang tersebut. Semua teknisi di





PT Surya Technology Industri memiliki pengalaman bertahun-tahun bekerja di pabrik plastik.

- **Disiplin**  
Suatu pekerjaan akan efektif jika semua pekerja dapat melakukan tugasnya dengan baik. Salah satu faktor yang dapat menunjang pekerjaan tersebut adalah disiplin.
- **Kualifikasi**  
Seorang teknisi umumnya haruslah mempunyai pengetahuan tentang teknik, khususnya tentang pertukaran panas mengingat prinsip kerja heat exchanger ini adalah pertukaran panas.
- **Motivasi**  
Semangat atau motivasi seseorang sangatlah berpengaruh terhadap hasil pekerjaan yang dihasilkan. Semakin tinggi motivasi dalam dirinya maka akan semakin baik hasil dari pekerjaannya.

b. Faktor Mesin (*machine*)

- **Pemeliharaan mesin**  
Suatu mesin pasti jika lama-lama digunakan akan mengalami penurunan dalam hal kemampuan mesin itu sendiri, baik itu fungsi dan juga umur pakai mesin itu sendiri. Untuk itu diperlukan suatu pemeliharaan terencana, namun hal ini menghadapi beberapa kendala yaitu:
  - ✓ Pemeliharaan tidak sesuai dengan rencana dikarenakan keterbatasan jumlah personil dibandingkan dengan jumlah mesin dan peralatan yang ada. Jumlah staff *maintenance* saat ini hanyalah 2 orang, ini tidak sesuai dengan mesin

yang berjumlah 10 mesin *injection*, 6 *chiller*, 6 MTC, 2 Kompresor, 6 robot dan 4 mesin *crushing*.

- ✓ Pada saat rencana pemeliharaan mesin berproduksi sehingga sehingga kegiatan pemeliharaan batal dilakukan.

- Perbaikan mesin

Perbaikan mesin dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan dan tidak dapat dioperasikan lagi. Kendala yang dihadapi yaitu:

- ✓ Perbaikan tidak maksimal karena kurang persiapan peralatan dan *spare part*.
- ✓ Target waktu yang diberikan sangat singkat dikarenakan permintaan akan produk yang dihasilkan oleh mesin tersebut sangat mendesak.

- Usia mesin.

Usia mesin sangat berpengaruh pada kondisi operasionalnya saat ini dikarenakan adanya beberapa bagian yang kondisinya telah mengalami kerusakan, aus dan korosi. Hampir semua mesin yang ada di PT Surya Technology Industri berusia senja, mesin tersebut diproduksi antara tahun 1986-2000.

c. Faktor Metode (*methode*)

- Teknik pembersihan tube

Teknik pembersihan tube ini berhubungan erat dengan keahlian yang dimiliki oleh teknisi maintenance. Teknik pembersihan ini meliputi alat yang digunakan dan cara melakukan proses pembersihan.



- Arah aliran  
Harus diperhatikan arah aliran *cooling tower* ketika memasuki *stationary head*. Posisi *in* dan *out* tidak boleh terbalik karena hal ini akan berpengaruh pada aliran air didalam *tube*.
- *Checksheet*  
*Checksheet* digunakan untuk kontrol dan dokumentasi terhadap pekerjaan yang telah dilakukan, misalnya kartu riwayat mesin dan pemeriksaan mesin harian. Saat ini, kondisi di PT Surya Technology Industri, *checksheet* masih diabaikan.

d. Faktor Material (*material*)

- Material tube  
Material tube biasanya terbuat dari sejenis logam yang tidak mudah mengalami pengerakan, biasanya dari pipa tembaga. Namun, karena usia pakai dari heat exchanger tersebut sudah sangat lama sehingga mudah mengalami pengerakan.
- Chemical  
Chemical disini berarti sejenis bahan kimia yang digunakan untuk melarutkan kerak dan kotoran yang menyumbat *tube*. Pemakaian chemical dilakukan dengan cara mencampurkan chemical dengan air *cooling tower* sesuai dengan takaran dari *supplier*.
- Mineral pada air cooling tower  
Pada air terkandung mineral-mineral yang mempercepat proses pengerakan dan akhirnya mengendap pada bagian *tube* sehingga membuat *tube* tersumbat.

e. Faktor Ukuran (*measurement*)

- Tekanan *cooling tower*

Tekanan *cooling tower* yang baik adalah saat air *cooling tower* memasuki *tube* dan mengalir merata pada semua bagian *tube*. Jika tekanan tidak mencukupi akan berakibat meningkatnya temperatur oli.

- Temperatur *cooling tower*

Temperatur *cooling tower* harus ada pada kondisi yang optimal yang dibutuhkan mesin untuk melakukan proses produksi.

f. Faktor Lingkungan (*environmental*)

- Kebersihan mesin

Kebersihan mesin dan area disekitarnya tidak berpengaruh pada tersumbatnya *tube*. Hanya saja kebersihan mesin sangat berpengaruh pada umur pakai mesin itu sendiri.

5.2.3 Kerusakan pada *Packing*



Gambar 5-6. Kerusakan *packing*



Kerusakan pada packing disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

a. Faktor Manusia (*man*)

- Keterampilan (*skill*)

Ketrampilan dipengaruhi diantaranya oleh jam terbang dan tingkat pendidikan orang tersebut. Semua teknisi di PT Surya Technology Industri memiliki pengalaman bertahun-tahun bekerja di pabrik plastik.

- Disiplin

Suatu pekerjaan akan efektif jika semua pekerja dapat melakukan tugasnya dengan baik. Salah satu faktor yang dapat menunjang pekerjaan tersebut adalah disiplin.

- Kualifikasi

Seorang teknisi umumnya haruslah mempunyai pengetahuan tentang teknik, khususnya tentang pertukaran panas mengingat prinsip kerja heat exchanger ini adalah pertukaran panas.

- Motivasi

Motivasi sangatlah berpengaruh terhadap hasil pekerjaan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan jika seseorang mempunyai suatu motivasi terhadap pekerjaannya ia akan cenderung melakukan pekerjaannya dengan penuh tanggung jawab dan bekerja lebih giat lagi.

b. Faktor Mesin (*machine*)

- Pemeliharaan mesin

Suatu mesin pasti jika lama-lama digunakan akan mengalami penurunan dalam hal kemampuan mesin itu sendiri, baik itu fungsi dan juga umur pakai mesin itu sendiri. Untuk itu diperlukan suatu pemeliharaan

terencana, namun hal ini menghadapi beberapa kendala yaitu:

- ✓ Pemeliharaan tidak sesuai dengan rencana dikarenakan keterbatasan jumlah personil dibandingkan dengan jumlah mesin dan peralatan yang ada. Jumlah staff *maintenance* saat ini hanyalah 2 orang, ini tidak sesuai dengan mesin yang berjumlah 10 mesin *injection*, 6 *chiller*, 6 MTC, 2 Kompresor, 6 robot dan 4 mesin *crushing*.
- ✓ Pada saat rencana pemeliharaan mesin berproduksi sehingga sehingga kegiatan pemeliharaan batal dilakukan.

- Perbaikan mesin

Perbaikan mesin dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan dan tidak dapat dioperasikan lagi. Kendala yang dihadapi yaitu:

- ✓ Perbaikan tidak maksimal karena kurang persiapan peralatan dan *spare part*.
- ✓ Target waktu yang diberikan sangat singkat dikarenakan permintaan akan produk yang dihasilkan oleh mesin tersebut sangat mendesak.

- Usia mesin.

Usia mesin sangat berpengaruh pada kondisi operasionalnya saat ini dikarenakan adanya beberapa bagian yang kondisinya telah mengalami kerusakan, aus dan korosi. Hampir semua mesin yang ada di PT Surya Technology Industri berusia senja, mesin tersebut diproduksi antara tahun 1986-2000.

c. Faktor Metode (*methode*)

- Teknik penggantian *packing*

Teknik penggantian *packing* ini berhubungan erat dengan keahlian yang dimiliki oleh teknisi maintenance.

- ✓ Proses pemotongan *packing*

Biasanya *packing* yang digunakan berupa lembaran karet dengan ketebalan tertentu, untuk itu harus dilakukan pemotongan lembaran *packing* yang disesuaikan dengan kebutuhan.

- ✓ Proses pemasangan *packing*

Proses pemasangan *packing* harus dilakukan dengan teliti untuk menghindari kebocoran dan kerusakan *packing* menjadi lebih cepat.

- *Checksheet*

*Checksheet* digunakan untuk kontrol dan dokumentasi terhadap pekerjaan yang telah dilakukan, misalnya kartu riwayat mesin dan pemeriksaan mesin harian. Saat ini, kondisi di PT Surya Technology Industri, *checksheet* masih diabaikan.

- Arah aliran

Harus diperhatikan arah aliran *cooling tower* ketika memasuki *stationary head*. Posisi *in* dan *out* tidak boleh terbalik karena hal ini akan berpengaruh pada aliran air didalam *tube*.

d. Faktor Material (*material*)

- Material *packing*

Material *packing* biasanya berbentuk lembaran dengan ketebalan tertentu yang terbuat dari karet atau kertas khusus. Dianjurkan menggunakan *packing* karet karena memiliki umur pakai yang lebih lama.

- Chemical

Harus diperhatikan dalam pemilihan chemical ini, dipilih jenis yang tidak merusak packing. Karena dalam beberapa kasus, *packing* lebih cepat rusak oleh chemical jenis tertentu.

e. Faktor Ukuran (*measurement*)

- Tekanan *cooling tower*

Tekanan *cooling tower* yang terlalu kuat akan menyebabkan *packing* menjadi lebih cepat rusak. Tekanan *cooling tower* yang ideal antara 4 bar – 6 bar.

- Temperatur *cooling tower*

Temperatur *cooling tower* harus ada pada kondisi yang optimal yang dibutuhkan mesin untuk melakukan proses produksi. Temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan *packing* menjadi lebih cepat rusak.

f. Faktor Lingkungan (*environmental*)

- Kebersihan mesin

Kebersihan mesin dan area disekitarnya tidak berpengaruh pada tersumbatnya *tube*. Hanya saja kebersihan mesin sangat berpengaruh pada umur pakai mesin itu sendiri.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut yaitu:

- Ada 8 jenis kegagalan yang biasa terjadi pada heat exchanger.
- Setelah dilakukan analisa dengan metode FMEA dan diagram pareto, didapat 3 jenis kegagalan yang signifikan dengan nilai RPN tinggi, yaitu *tube* tersumbat, pengerakan pada *stationary head* dan *rear head*, dan kerusakan pada *packing*.
- Untuk mengetahui penyebab kerusakan yang terjadi digunakan metode diagram tulang ikan(*fishbone*) yang terdiri dari beberapa



faktor, yaitu manusia, mesin, metode, material, ukuran dan faktor lingkungan.

- Dari 6 faktor penyebab kerusakan tersebut, faktor mesin, metode dan material adalah faktor yang paling mempengaruhi laju kerusakan *heat exchanger*

## 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penulis kepada pihak perusahaan, yang semoga saja dapat dijadikan masukan demi kemajuan pihak perusahaan, sebagai berikut:

- Dibuat sistem pemeliharaan terencana dan berkala untuk pembersihan *heat exchanger*.
- Dibuat pemeriksaan mesin harian(*daily machine checklist/check sheet*) untuk pemeriksaan temperatur oli hidrolik sebagai indikator kondisi *heat exchanger*.
- Perlu pelatihan ketrampilan kepada teknisi maintenance tentang pemeliharaan *heat exchanger*, seperti proses pembersihan *tube* serta *head*, dan teknik penggantian *packing*.
- Pemasangan *strainer*(saringan air) pada masing-masing pipa *cooling tower* sebelum memasuki *heat exchanger* untuk mengurangi kotoran yang masuk kedalam *tube*.
- Perbaiki instalasi *water treatment* untuk *cooling tower* sehingga air *cooling tower* benar-benar bersih.
- Penambahan zat kimia pada *cooling tower* untuk mengurangi kerak pada *heat exchanger*.
- Pemilihan material *packing* yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi serta chemical tertentu yang biasa digunakan pada *water treatment cooling tower*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Gasperz, Vincent. 2002. **Pedoman Implementasi Program Six Sigma**. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- E. Walpole, Ronald. 1995. **Pengantar Statistika**. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Gasperz, Vincent. 2001. **Metode Analisis untuk Peningkatan Kualitas**. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Darman. 2001. **Teknik Manajemen Pemeliharaan**. Bandung : Politeknik Manufaktur Bandung.
- L. Grant, Eugene. 1993. **Pengendalian Mutu Statistik**. Jakarta : PT. Erlangga.
- Holman, J. P. 1991. **Perpindahan Kalor**. Jakarta : PT. Erlangga,
- Kern, D. Q. 1966. **Proses Heat Transfer**. Tokyo : Mc Grow Hill Company