

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran1. 1 Data Hasil Pengukuran Menggunakan Alat Ukur <i>Power Quality Analyzer</i>	55
Lampiran1. 2 Grafik pengukuran <i>THD</i> arus dan tegangan.....	57



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sebagian besar beban listrik yang digunakan di fasilitas seperti perkantoran, rumah sakit, swalayan, universitas, bandara, pabrik dan fasilitas lainnya adalah beban listrik yang termasuk beban *non – linier* (Tomy G,2016). Adapun alat-alat yang menyebabkan beban *nonlinear* tersebut adalah penggunaan alat seperti komputer, printer, pendingin ruangan (*AC*), peralatan listrik dengan *switching* elektronik, peralatan medis, *elevator*, lampu hemat energi, *florescent lamp* dengan balast elektronik dan masih banyak lagi alat- alat lainnya yang dapat mempengaruhi beban *non linear* tersebut (Umar BM, 2017 & Singh A, 2012). Akibat beban *non linear* tersebut maka terjadinya harmonisa pada system kelistrikannya (Tomy G, 2016).

Pembebanan transformator distribusi yang disebabkan oleh beban non – linier dapat menimbulkan distorsi harmonik pada sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik yang mengandung harmonisa membawa kerugian pada berbagai peralatan diantaranya yaitu trafo distribusi. Kandungan harmonisa yang besar menyebabkan trafo mengalami pemanasan yang berlebih (*over heating*) walaupun beban belum mencapai beban nominal. Pemanasan berlebih ini disebabkan oleh meningkatnya *losses* pada trafo yaitu *losses* berbeban (*PLL*), *losses* tembaga (I^2R), *losses* besi (*Eddy Current* serta *losses* sasar lainnya (*other stray*)). Keadaan ini memiliki dampak pada penurunan kapasitas daya trafo (*derating transformer*). *Transformator* distribusi memiliki peran penting dalam penyaluran daya ke pusat beban dan merupakan peralatan yang paling merasakan harmonisa, karena lokasinya yang relatif dekat terhadap beban – beban *non linear*(Faiz J,2015)

Beban *non linear*, yaitu beban yang mengakibatkan bentuk gelombang arus tidak sinus walaupun disuplai dengan tegangan yang sinus. Gelombang arus yang tidak sinus atau gelombang arus terdistorsi dinamakan harmonisa. Nilai harmonik yang tinggi pada sistem tenaga listrik tidak dikehendaki karena merugikan dan dianggap sebagai gangguan dalam sistem tenaga listrik (Venkatesh C, 2008). Berpangkal pada latar belakang di atas, dilakukanlah sebuah penelitian

tentang “ Analisis *Losses* Dan *THD (Total Harmonic Distortion)* Akibat Pengaruh Beban *Non Linear* Pada Transformator Daya”

1.2 Rumusan masalah

Dengan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dari penulisan tesis ini adalah

1. Bagaimana kondisi kelistrikan di RS. MEILIA pada saat beban puncak akibat pengaruh beban *nonlinear* pada transformator daya.
2. Bagaimana perbandingan antara hasil *THD (Total Harmonic Distortion)* pengukuran menggunakan alat *power quality analyzer* terhadap simulasi menggunakan *software ETAP* pada saat beban puncak akibat pengaruh beban *nonlinear* pada transformator daya di RS. MEILIA

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk menganalisis pengaruh *THD (Total Harmonic Distortion)* terhadap *losses* pada transformator daya di RS. MEILIA
2. Untuk menganalisis *THD (Total Harmonic Distortion)* antara pengukuran dan simulasi pada transformator daya di RS MEILIA

1.4 Batasan masalah

Untuk menghindari adanya kemungkinan semakin berkembangnya masalah, maka penelitian dalam laporan ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian hanya berfokus pada pengaruh distorsi harmonik terhadap *losses* pada *transformator* daya di RS. MEILIA
2. *Losses* yang dihitung hanya meliputi *losses* tembaga dan *losses* besi (*losses* arus *eddy* dan *losses* histerisis)
3. Analisis *Total harmonic distortion* yang dicari hanya *THD* dari hasil pengukuran dan simulasi
4. Pengukuran data hanya pada *MDP (Main distribution panel)* Trafo pada saat beban puncak antara pukul (18.00 s/d 21.30) dengan interval waktu 5 menit.

1.5 Sistematika pembahasan

Sistematika penulisan memberikan gambaran dan uraian dari penyusunan tesis secara garis besar yang meliputi beberapa bab, antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian,, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN KEPUSTAKAAN

Berisi kajian pustaka, referensi, dan sumber-sumber yang berhubungan dengan permasalahan dalam tesis antara lain mengenai Beban Non Linear, Harmonisa, dan Losses

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan metode atau langkah-langkah yang digunakan dalam penulisan tesis. Metode apa yang digunakan baik dalam penulisan, pemodelan, dan analisis

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan analisis dan pembahasan mengenai judul penelitian yang akan diteliti

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis yang diperoleh dari pembahasan. Serta rekomendasi atau saran yang dapat dijadikan masukan untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 2. LANDASAN KEPUSTAKAAN

2.1.Kajian Pustaka

Jurnal “ *Modelling of Nonlinear Loads and Estimation of Harmonics in Industrial Distribution System*” Venkatesh C, (2008). Analisis harmonik dari sistem distribusi sangat penting untuk mempelajari perilaku peralatan yang terhubung dalam lingkungan sistem non-sinusoidal untuk merancang dan lokasi filter yang optimal. *THD* digunakan sebagai indeks harmonik untuk mempelajari efek dari beban nonlinear pada utilitas. Validasi model beban dilakukan dengan melakukan studi kasus untuk sistem pasokan industri dan membandingkan *THD* yang diperoleh dari simulasi menggunakan paket *PSCAD / EMTDC* dengan nilai-nilai *THD* yang diperoleh dengan pengukuran.

Jurnal “*Power Quality Improvement Strategy for Non-linear Load in Single Phase System*” Tomy G, (2016). Arus harmonik memainkan peran penting dalam menurunkan kualitas daya jaringan. Peningkatan penggunaan beban *non-linear* mengakibatkan masalah faktor daya harmonik pada sistem tenaga. Beban *non-linear* dapat berupa beban satu fasa atau tiga fasa. Dalam jurnal ini, bagaimana strategi kontrol untuk filter aktif shunt fase tunggal dirancang, untuk mengurangi harmonisa yang mengalir ke grid. Terlihat dari *MATLAB / Simulink*. bahwa dengan menerapkan teori p-q, *THD* dari arus beban telah berkurang dari 44,26% menjadi 1,73%.

Jurnal *Neuro-fuzzy modeling and prediction of current total harmonic distortion for high power nonlinear loads* , Panoiu M, (2018). Penelitian ini menyajikan hasil pemodelan dan prediksi *distorsi harmonik total (THD)* dari arus dan tegangan untuk beban daya tinggi nonlinier. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan teknik cerdas berdasarkan jaringan saraf dan inferensi *fuzzy*. Untuk mencapai hal ini, data diukur dalam instalasi listrik dari beban listrik non-linear, dalam hal ini tungku busur listrik daya tinggi. Data-data ini diukur selama seluruh durasi pengisian baja. Data yang diukur digunakan untuk melatih sistem adaptif *neuro fuzzy*. Setelah pelatihan, tes dengan arsitektur yang berbeda telah dilakukan dengan sistem adaptif *neuro fuzzy*. Hasil pemodelan dan prediksi berguna dalam

merancang filter arus harmonik. Kehadiran arus harmonik ini mengurangi produktivitas dan mempengaruhi kualitas daya.

Jurnal *Modeling and simulation of transformer loading capability and hot spot temperature under, harmonic conditions*, Taheri S at al, (2011). Karena beban nonlinier, Adanya frekuensi harmonik pada system daya menyebabkan kerugian dan penambahan suhu pada transformator. Suhu titik panas adalah salah satu faktor pembatas utama yang mempengaruhi masa manfaat transformator daya dan pembebanannya. Penelitian ini menyajikan penentuan distribusi daya pada komponen transformator menggunakan metode elemen terbatas (*FEM*) dan perhitungan hot spot dan suhu oli teratas dalam kondisi harmonik. Berdasarkan dua teknik model termal dinamis dan panduan IEEE. Hasilnya dianalisis dan kemampuan pemuatan transformator dalam kondisi harmonik selanjutnya diverifikasi menggunakan simulasi *MATLAB*

Dengan meninjau jurnal tersebut maka dapat dijadikan acuan untuk melaksanakan penelitian tesis ini agar berjalan sesuai yang diharapkan. Pembahasan penelitian ini memiliki konsep yang hampir sama yaitu pemodelan *losses* dan *THD* akibat pengaruh beban *non linear* pada trafo distribusi tetapi dengan objek yang berbeda yaitu menghitung nilai *losses*, dan *THD (Total Harmonic Distortion)* dengan simulasi *ETAP* dan pengukuran pada *Transformator* distribusi di RS. Meilia Cibubur.

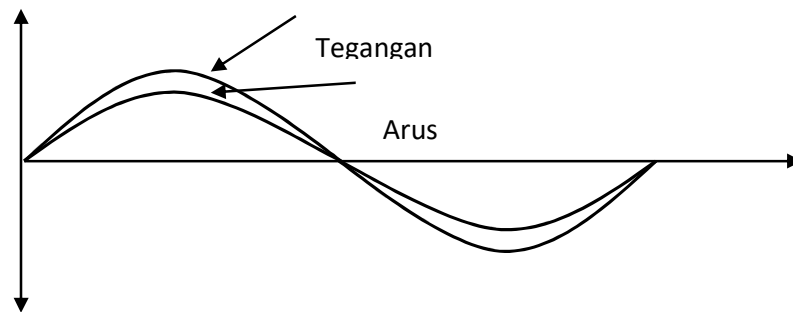
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beban *Linear* dan *Non Linear*

a. Beban *Linear*

Beban *linear* adalah beban yang komponen arusnya selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu. Beban *linear* ini mematuhi Hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban *linear* akan sama dengan bentuk gelombang tegangan. Apabila diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir ke beban *linear* juga merupakan sinusoidal sehingga tidak terjadi distorsi dan tidak menimbulkan harmonisa. Beban ini merupakan elemen

pasif seperti resistor, dan kapasitor. Beberapa contoh beban linier adalah lampu pijar, pemanas, resistor, dan lain – lain (Dugan R.C at al, 2004).

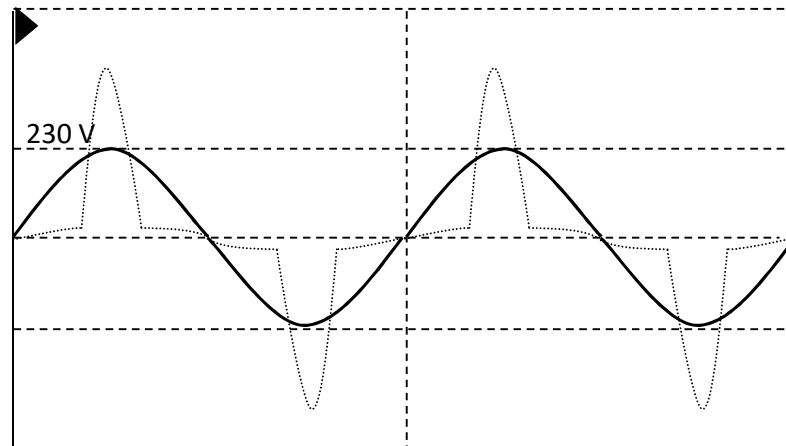


Gambar2. 1 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan dengan Beban *linear*

b. Beban *Non Linear*

Beban *non linear* adalah beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan, maka arus yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan, sehingga beban *non linear* tidak mematuhi Hukum Ohm yang menyatakan arus berbanding lurus dengan tegangan. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban *non linear* tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (distorsi). Dengan meluasnya pemakaian beban *non linear* , gelombang sinusoidal ini dapat mengalami distorsi. Beberapa contoh beban *non linear* yang biasa digunakan untuk keperluan rumah tangga maupun industri yaitu (Dugan R.C at al, 2004) :

1. Peralatan dengan Ferromagnetik :
 - a. Transformator
 - b. Balast Magnetik
 - c. Motor Induksi, dll
2. Peralatan yang menggunakan busur api listrik :
 - a. Mesin Las
 - b. *Electric Arc Furnance*
 - c. *Induction Furnance*
3. Konverter Elektronik
 - a. Penyearah (Rectifier)
 - b. *Charger*
 - c. Balast Elektronik



Gambar2. 2 Gelombang Tegangan dan Arus Beban *Non Linear*

Kecenderungan penggunaan beban – beban elektronika dalam jumlah besar akan menimbulkan masalah yang tidak terelakkan sebelumnya. Berbeda dengan beban – beban listrik yang menarik arus sinusoidal, beban – beban elektronika menarik arus dengan bentuk non – sinusoidal walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal. Beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban non – linier (Umar BM, 2017) .

Beban non – linier adalah peralatan yang menghasilkan gelombang – gelombang arus yang berbentuk sinusoidal berfrekuensi tinggi yang disebut dengan arus harmonisa. Arus harmonisa ini menimbulkan banyak implikasi pada peralatan sistem tenaga listrik. Misal rugi – rugi jaringan akan meningkat, pemanasan yang tinggi pada kapasitor, transformator, dan pada mesin – mesin listrik yang berputar serta kesalahan pada pembacaan alat ukur RMS (Dugan R.C at al,2004).

2.2.2 Definisi Harmonik

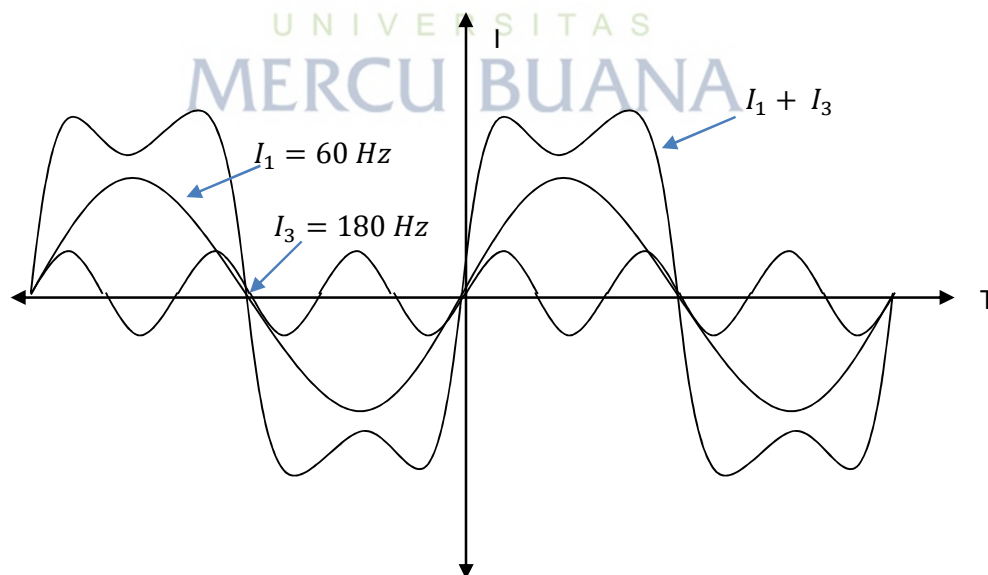
Pada dasarnya, gelombang tegangan dan arus yang ditransmisi dan didistribusikan dari sumber ke beban berupa gelombang sinusoidal murni. Akan tetapi, pada proses transmisi dan distribusi ini terjadi berbagai macam gangguan sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinusoidal murni. Salah satu fenomena penyimpangan bentuk gelombang sinusoidal ini adalah distorsi harmonik. Harmonik ialah gejala pembentukan gelombang sinusoidal dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

Bila telah terjadi superposisi antara gelombang frekuensi dasar dengan gelombang frekuensi harmonik maka terbentuklah frekuensi gelombang yang terdistorsi sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinusoidal (Dugan R.C at al, 2004).

Menurut *International Electrothechnical Commision (IEC) 6100 – 2 – 1 – 1990*, Harmonik didefinisikan sebagai tegangan ataupun arus sinusoidal yang mempunyai kelipatan frekuensi sistem pasokan tenaga listriknya sebagaimana yang dirancang untuk dioperasikan (50 Hz ataupun 60 Hz).

Menurut *Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE) Standard 1159 – 1995* mendefinisikan harmonik sebagai tegangan ataupun arus sinusoida yang mempunyai kelipatan bulat dari frekuensi dimana sistem tenaga listrik pasokannya dirancang untuk dioperasikan (frekuensi fundamental (50 Hz atau 60 Hz)).

Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat di dekomposisi menjadi jumlah dari frekuensi dasar dan frekuensi harmonik. Distorsi harmonik berasal dari peralatan yang mempunyai karakteristik perangkat *non linear* dan beban pada sistem tenaga listrik (Abidin, Janny F, 2015)



Gambar2. 3 Gelombang Fundamental Terdistorsi Harmonik

2.2.3 Total Harmonik Distortion (THD)

Untuk menganalisis pengaruh harmonik terhadap kualitas tegangan dan arus ditentukan oleh indeks harmonik, yaitu *THD* (*Total Harmonic Distortion*) dan *TDD* (*Total Demand Distortion*). Perbandingan nilai komponen fundamental biasanya dinyatakan dalam persen, indeks ini disebut dengan *THD* (*Total Harmonic Distortion*). *THD* biasanya digunakan untuk menyatakan bentuk penyimpangan bentuk gelombang arus dan tegangan yang mengandung harmonik terhadap gelombang sinusoida murni dalam satu periode. (Kester W, 2010)

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} v_h^2}}{v_1} \times 100 \% \quad (2.1)$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} i_h^2}}{i_1} \times 100\% \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) dan (2.2) merupakan persamaan untuk menentukan nilai *THD* tegangan dan arus. Kontribusi masing – masing terhadap distorsi arus dan tegangan dinyatakan oleh *IHD* (*Individual Harmonic Distortion*). (Eduardo G, 2015)

Nilai *IHD* untuk harmonik tegangan dan arus pada orde ke-h didefinisikan sebagai berikut :

$$IHDv = \frac{v_h}{v_1} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$IHDi = \frac{i_h}{i_1} \times 100\% \quad (2.4)$$

Tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai *THD*, akan tetapi hal tersebut dapat saja salah saat diinterpretasikan. Aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai *THD* yang tinggi, namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak sistem tenaga listrik. Beberapa analis mencoba menghindari kesulitan seperti ini dengan melihat *THD* pada arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Hal ini disebut *Total Demand Distortion (TDD)* dan masuk dalam standar *IEEE 519 – 2014*, tentang “*Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power System*”. (Eduardo G, 2015)

Sehingga *TDD* dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut (Eduardo G, 2015):

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dengan

I_h adalah arus harmonik orde ke – h

I_L adalah arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada PCC (the maximum demand load current)

Cara untuk menentukan I_L yaitu dengan menghitung nilai rata – rata maksimum selama periode pengukuran.

2.2.4 Standard Harmonisa yang Diijinkan

a. Batas Distorsi Tegangan Harmonisa *Utility*

Tabel 2.1 dari *IEEE standard 519 – 2014* menyarankan nilai – nilai berikut sebagai batas maksimum yang direkomendasikan untuk distorsi tegangan

Tabel2. 1 *IEEE Standard 519 – 2014* ,

Standard Batas Distorsi Tegangan Harmonisa Maksimum

<i>Voltage at PCC</i>	<i>Individual Component Voltage Distortion</i>	<i>Total Voltage Distortion (THD)</i>
$V \leq 1 \text{ kV}$	5.00 %	8.00 %
$V \leq 69 \text{ kV}$	3.00 %	5.00 %
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.50 %	2.50 %
$V \leq 161 \text{ kV}$	1.00 %	1.50 %

Sumber : *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Standard 519-2014.*

Nilai – nilai ini hanya berlaku untuk skenario kasus yang terburuk yang dapat digunakan untuk kondisi operasi dengan waktu sedikitnya satu jam. Untuk kondisi – kondisi yang sesaat seperti starting beban, switching, dan keadaan non steady – state lainnya, batas – batas ini mungkin bisa terlewati sampai 50 %.(*IEEE Standard 519-2014*)

b. Batas Distorsi Arus Harmonisa *Utility*

Tabel 2 dari *IEEE standard 519 – 2014*, menyarankan nilai – nilai berikut sebagai batas maksimum yang direkomendasikan untuk distorsi arus.

Tabel2. 2 IEEE Standard 519 – 2014,
Standar Batas Distorsi Arus Harmonisa Maksimum

Vn ≤ 69 kV						
Isc / IL	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD %
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	6.0	1.4	20.0
69 kV < Vn ≤ 161 kV						
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
Vn > 161 kV						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Sumber : *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic*

Control in Electric Power Systems. IEEE Standard 519-2014.

Dimana :

Isc adalah nilai maksimum arus hubung singkat

IL adalah arus permintaan maksimum

TDD adalah *Total Demand Distortion (%)*

Untuk menentukan nilai *THDi* maksimum pada transformator daya perlu dihitung nilai *ISC*, *IL* dan *SCRatio* dimana:

$$I_L = \frac{S(kVA)}{V(kV) \times \sqrt{3}} \quad (2.6)$$