



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP
PENYIMPANGAN PENGUKURAN ENERGI LISTRIK
PADA KWH METER ANALOG DAN DIGITAL**

SKRIPSI

**IRFAN KURNIAWAN
0806455295**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP
PENYIMPANGAN PENGUKURAN ENERGI LISTRIK
PADA KWH METER ANALOG DAN DIGITAL**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**IRFAN KURNIAWAN
0806455295**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TENAGA LISTRIK
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Irfan Kurniawan

NPM : 0806455295

Tanda Tangan : 

Tanggal : 05 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Irfan Kurniawan
NPM : 0806455295
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap
Penyimpangan Pengukuran Energi Listrik pada
KWh Meter Analog dan Digital

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT.

Penguji 1 : Ir. Amien Rahardjo, MT.

Penguji 2 : Ir. I Made Ardita Y., MT.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 05 Juli 2012



Handwritten signatures of the examiners and supervisor, enclosed in parentheses.

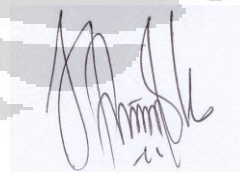
UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku skripsi ini sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Dengan terselesaikannya buku skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K, MT. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran-saran serta kemudahan lainnya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
2. Dosen-dosen jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmunya serta berbagai masukan dan pengarahan kepada penulis;
3. Kedua orang tua beserta adik-adik saya yang selalu mendorong dan mendoakan sehingga buku skripsi ini terselesaikan;
4. Asisten Lab. TTPL DTE , semua sahabat serta rekan-rekan penulis yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga buku skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 05 Juli 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irfan Kurniawan
NPM : 0806455295
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP PENYIMPANGAN
PENGUKURAN ENERGI LISTRIK PADA KWH METER ANALOG DAN
DIGITAL**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Ekklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 05 Juli 2012
Yang menyatakan



(Irfan Kurniawan)

ABSTRAK

Nama : Irfan Kurniawan
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap Penyimpangan Pengukuran Energi Listrik pada kWh Meter Analog dan Digital

Pengukuran transaksi energi listrik dengan menggunakan kWh meter selayaknya mempunyai tingkat akurasi yang baik agar tidak ada satupun pihak yang dirugikan akibat adanya kesalahan dalam proses pengukuran. Di sisi lain, dengan semakin banyaknya penggunaan beban non linier oleh konsumen dapat menimbulkan salah satu masalah kualitas daya berupa harmonisa yang dapat mempengaruhi tingkat keakurasian hasil pengukuran energi listrik yang sebenarnya terpaka. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh harmonisa terhadap penyimpangan pengukuran energi listrik pada kWh meter analog dan digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak beban non linier yang digunakan maka semakin besar nilai %THD, dan semakin besar %THD ($\%THD-i > 80\%$) maka penyimpangan akan semakin besar dengan % kesalahan mencapai $> 64\%$ dan tingkat keakurasian dari hasil pengukuran menjadi berkurang pada kedua jenis kWh meter yang digunakan.

Kata kunci: Pengukuran Energi Listrik, Kualitas Daya, Harmonisa, kWh Meter Analog & Digital

ABSTRACT

Name : Irfan Kurniawan
Study Program : Teknik Elektro
Title : **Analysis of Harmonics Effect toward Measurement Error of Electric Energy by Analog and Digital Electricity Meter**

Measurement of electric energy transactions using the electricity meter should have a good degree of accuracy, so that none party is financially disadvantaged as a result of measurement error. On the other hand, with the increasing use of non-linear load by consumers may cause one of the power quality problem in form of harmonics; that may affect the degree of accuracy of the actual measurement results. The study was conducted to see the effect of harmonic distortion toward electric energy measurement using analog and digital electricity meter, and the results show that the more non-linear loads are used, the value of %THD will increase, and the greater %THD (%THD-i > 80%) can increase the error (% error > 64%) and also reduce the level of accuracy of measurement results on both types of electricity meter.

Keywords: Electric Energy Measurement, Power Quality, Harmonics, Analog and Digital Electricity Meter

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
A. HARMONISA	
2.1 Definisi Harmonisa	4
2.1.1 Distorsi Harmonisa	4
2.1.2 Persamaan Harmonisa.....	5
2.1.3 Orde Harmonisa.....	7
2.1.4 Harmonik Ganjil dan Genap	7
2.2 Proses Terjadinya Harmonisa	7
2.3 Indeks Harmonisa	8
2.3.1 RMS (<i>Root Mean Square</i>).....	8
2.3.2 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD).....	10
2.3.3 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD)	10
2.4 Sumber-sumber Harmonisa	11
2.5 Standar Harmonisa	12
2.6 Identifikasi Harmonisa	13
2.7 Usaha-usaha untuk Mengurangi Harmonisa	14
B. KWh Meter	
2.8 KWh Meter	16
2.8.1 KWh Meter Analog	18
2.8.1.1 Prinsip Kerja KWh Meter Analog	19
2.8.1.2 Kesalahan Pada KWh Meter Analog dan Perbaikannya.....	20
2.8.1.3 Kekurangan dan Kelebihan KWh Meter Analog	21
2.8.2 KWh Meter Digital	22
2.8.2.1 Prinsip Kerja KWh Meter Digital.....	22
2.8.2.2 Kekurangan dan Kelebihan KWh Meter Digital.....	22

BAB 3 METODE DAN PROSEDUR PENGUJIAN	24
3.1 Metode Pengujian	24
3.2 Rangkaian Pengujian	24
3.3 Spesifikasi Peralatan	26
3.3.1 KWh meter Analog & Digital	26
3.3.2 <i>Power Quality Analyzer</i>	26
3.3.3 <i>Voltage regulator</i>	27
3.3.4 Beban	27
3.4 Prosedur Pengujian	28
3.5 Rancangan Beban	29
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS	30
4.1 Hasil Pengujian	30
4.1.1 Hasil Pengujian pada kWh meter Analog	30
4.1.1.1 Beban 300 Watt (3 Buah LP)	31
4.1.1.2 Beban 300 Watt (2 Buah LP + 5 Buah LHE).....	31
4.1.1.3 Beban 300 Watt (1 Buah LP + 10 Buah LHE).....	32
4.1.1.4 Beban 300 Watt (15 Buah LHE)	32
4.1.2 Hasil Pengujian pada kWh meter Digital.....	33
4.1.2.1 Beban 300 Watt (3 Buah LP)	33
4.1.2.2 Beban 300 Watt (2 Buah LP + 5 Buah LHE).....	34
4.1.2.3 Beban 300 Watt (1 Buah LP + 10 Buah LHE).....	34
4.1.2.4 Beban 300 Watt (15 Buah LHE)	35
4.2 Analisis Hasil Pengujian	35
4.2.1 Pengaruh Bentuk Gelombang Terhadap Pengukuran Energi Listrik pada KWh Meter	35
4.2.1.1 Pengaruh Bentuk Gelombang pada KWh Meter Analog.....	36
4.2.1.2 Pengaruh Bentuk Gelombang pada KWh Meter Digital	37
4.2.2 Analisis Tegangan	38
4.2.3 Analisis Arus	41
4.2.4 Analisis Faktor Daya	43
4.2.5 Analisis Daya Aktif (Watt)	45
4.2.6 Analisis Daya Reaktif (VAR).....	47
4.2.7 Analisis Daya Semu (VA).....	49
4.2.8 Analisis (%) THD-v dan (%) THD-i.....	51
4.2.9 Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Proses Pengukuran oleh KWh Meter	52
BAB 5 KESIMPULAN	58
DAFTAR ACUAN	59
DAFTAR REFERENSI	60
LAMPIRAN	61

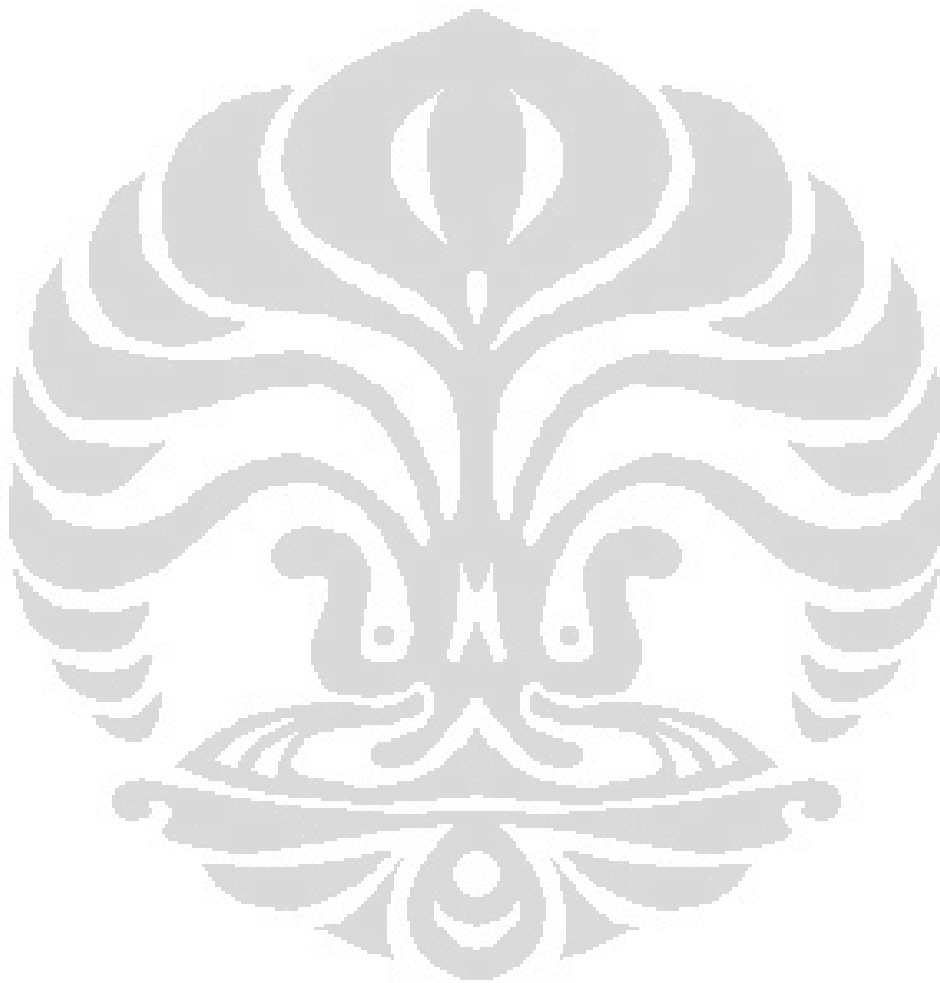
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Harmonik Arus untuk Sistem < 65 KV	13
Tabel 2.2 Batasan Harmonik untuk Tegangan	13
Tabel 3.1 Spesifikasi kWh meter Analog dan Digital yang Digunakan	26
Tabel 3.2 Rancangan Beban pada Percobaan kWh meter Analog & Digital	29
Tabel 4.1 Tegangan pada kWh Analog	39
Tabel 4.2 Tegangan pada kWh Digital	39
Tabel 4.3 Arus pada kWh Analog	41
Tabel 4.4 Arus pada kWh Digital	41
Tabel 4.5 Faktor Daya pada kWh Analog	43
Tabel 4.6 Faktor Daya pada kWh Digital	44
Tabel 4.7 Daya Aktif pada kWh Analog	45
Tabel 4.8 Daya Aktif pada kWh Digital	46
Tabel 4.9 Daya Reaktif pada kWh Analog	47
Tabel 4.10 Daya Reaktif pada kWh Digital	48
Tabel 4.11 Daya Semu pada kWh Analog	49
Tabel 4.12 Daya Semu pada kWh Digital	50
Tabel 4.13 Nilai % THD-v dan % THD-i Hasil Pengujian	51
Tabel 4.14 Besarnya Energi yang Terukur pada kWh Analog	53
Tabel 4.15 Besarnya Energi yang Terukur pada kWh Digital	54
Tabel 4.16 % THD-i Terhadap Besarnya Kesalahan (kWh Analog)	55
Tabel 4.17 % THD-i Terhadap Besarnya Kesalahan (kWh Analog)	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Harmonisa	4
Gambar 2.2 Penjumlahan Gelombang Harmonisa	5
Gambar 2.3 Spektrum Harmonisa	6
Gambar 2.4 Gelombang Sinusoidal Tegangan.....	9
Gambar 2.5 KWh meter Satu Fasa	17
Gambar 2.6 KWh meter Tiga Fasa	17
Gambar 2.7 KWh meter Analog	18
Gambar 2.8 Prinsip Pengaturan Fasa	20
Gambar 2.9 Arus Eddy pada Lempengan & Prinsip Pengatur Beban Berat.....	20
Gambar 2.10 Prinsip pengatur Beban Ringan	21
Gambar 2.11 KWh meter Digital.....	22
Gambar 3.1 Skema Rangkaian Pengujian	24
Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian	25
Gambar 3.3 Rangkaian Paralel Beban	25
Gambar 3.4 <i>Power Quality Analyzer</i>	26
Gambar 3.5 Jenis-jenis Beban yang Digunakan.....	28
Gambar 4.1 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 3 LP (Analog) .	31
Gambar 4.2 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 2 LP + 5 LHE (Analog)	31
Gambar 4.3 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 1 LP + 10 LHE (Analog)	32
Gambar 4.4 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 15 LHE (Analog)	33
Gambar 4.5 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 3 LP (Digital) .	33
Gambar 4.6 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 2 LP + 5 LHE (Digital)	34
Gambar 4.7 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 1 LP + 10 LHE (Digital)	34
Gambar 4.8 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 15 LHE (Digital)	35
Gambar 4.9 Ilustrasi Pengukuran secara Digital pada Gelombang Ideal	37
Gambar 4.10 Perubahan Bentuk Gelombang I & V Akibat Harmonisa	38
Gambar 4.11 Grafik Tegangan terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog ...	39
Gambar 4.12 Grafik Tegangan terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital	40
Gambar 4.13 Grafik Arus terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog	41
Gambar 4.14 Grafik Arus terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital	42
Gambar 4.15 Grafik Cos Phi terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog.....	43
Gambar 4.16 Grafik Cos Phi terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital	44
Gambar 4.17 Diagram Segitiga Daya (P,Q, S) dan PF	44
Gambar 4.18 Grafik Daya Aktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog .	46
Gambar 4.19 Grafik Daya Aktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital ..	46
Gambar 4.20 Grafik Daya Reaktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog	48
Gambar 4.21 Grafik Daya Reaktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital	48
Gambar 4.22 Grafik Daya Semu terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog .	50
Gambar 4.23 Grafik Daya Semu terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital .	50
Gambar 4.24 Grafik % THD-v terhadap Perubahan Variasi Beban.....	51

Gambar 4.25 Grafik %THD-i terhadap Perubahan Variasi Beban	52
Gambar 4.26 Grafik Energi vs Waktu pada Pengujian kWh Analog	54
Gambar 4.27 Grafik Energi vs Waktu pada Pengujian kWh Digital.....	54
Gambar 4.28 Grafik %THD-i vs Error pada kWh Analog	56
Gambar 4.29 Grafik %THD-v vs Error pada kWh Digital	56



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya kemajuan alat-alat kelistrikan maka semakin banyak pula peralatan listrik yang termasuk ke dalam jenis beban-beban non linier. Beban non linier banyak digunakan karena praktis dan mudah dalam hal pengontrolannya. Di sisi lain, beban non linier yang pada umumnya terbuat dari bahan-bahan semikonduktor dan elemen elektronika daya dapat menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik.

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat adanya penggunaan beban non linier pada sistem tenaga listrik. Fenomena ini dapat menimbulkan masalah pada segi kualitas daya yang akhirnya akan menyebabkan berbagai kerugian dan bahkan kerusakan pada beberapa peralatan listrik. Harmonisa menjadi suatu hal yang sangat penting untuk dipelajari dan dikaji karena jika tidak segera ditangani, maka dampak buruk yang ditimbulkannya akan semakin besar dan berpengaruh buruk terhadap kinerja peralatan kelistrikan.

KWh meter yang merupakan suatu alat yang digunakan untuk pengukuran transaksi tenaga listrik juga termasuk salah satu peralatan listrik yang tidak terlepas dari pengaruh buruk yang ditimbulkan oleh adanya harmonisa. Pada umumnya alat ini didesain untuk mengukur dan menghitung daya yang terpakai dengan input berupa arus dan tegangan dengan bentuk gelombang sinusoidal murni, sehingga dengan masuknya bentuk gelombang yang ideal (sinusoidal murni) akan meningkatkan akurasi hasil pengukuran oleh kWh meter tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, selanjutnya dapat dikatakan bahwa kinerja kWh meter sangat bergantung pada gelombang arus dan tegangan yang masuk ke dalamnya. Dengan kata lain, jika bentuk gelombang input tidak lagi berbentuk sinusoidal murni akibat terjadinya distorsi harmonisa maka dapat dipastikan akan terjadi kesalahan pengukuran oleh alat tersebut.

Kesalahan pengukuran oleh kWh meter dapat menimbulkan kerugian baik di sisi pelanggan maupun di sisi produsen. Sebagai gambaran, di Indonesia sendiri terdiri dari berjuta-juta pelanggan listrik yang menggunakan kWh meter sebagai

alat pengukur transaksi energi listrik. Hal ini dapat menggambarkan berapa besar kerugian yang harus dialami jika terjadi kesalahan pengukuran oleh kWh meter akibat adanya harmonisa.

Dengan demikian tulisan ini dibuat dengan latar belakang adanya keingintahuan penulis mengenai pengaruh harmonisa terhadap kinerja kWh meter dan kemungkinan-kemungkinan kerugian yang akan terjadi pada sistem tenaga listrik bilamana pada sistem tersebut terdapat fenomena harmonisa.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah untuk menganalisis pengaruh harmonisa terhadap besarnya penyimpangan pengukuran energi listrik pada kWh meter, baik itu kWh meter analog maupun digital.

1.3 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini ialah dengan cara studi literatur mengenai hal yang terkait dengan topik penelitian. Setelah itu, hasil studi literatur tersebut dikembangkan dengan cara melakukan pengujian langsung di laboratorium. Dengan dilakukannya pengujian langsung tersebut maka diperoleh data yang kemudian diolah dan dianalisis. Hasil analisis inilah yang akhirnya dibandingkan kesesuaiannya dengan teori yang ada dan kemudian diambil kesimpulan hasil penelitian.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan buku skripsi ini penulis akan membatasi pokok bahasan masalah mengenai pengaruh distorsi harmonisa pada gelombang arus dan tegangan input pada kWh meter terhadap penyimpangan pengukuran energi listrik yang dilakukan oleh kWh meter tersebut. kWh meter yang digunakan berupa kWh analog satu fasa yang mempunyai tingkat akurasi kelas 2 dan kWh meter digital satu fasa dengan tingkat akurasi kelas 1. Selain itu, jenis beban yang digunakan berupa beban lampu pijar dan lampu hemat energi.

Selanjutnya, analisis yang dilakukan dibatasi hanya pada nilai-nilai parameter yang dianggap penting dalam hal pengukuran dengan menggunakan

kWh meter, diantaranya nilai tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Di samping itu, akan pula dibahas mengenai analisis bentuk dan karakteristik gelombang arus serta besarnya pengaruh % THD terhadap penyimpangan pengukuran energi listrik oleh kedua jenis kWh meter yang digunakan.

1.5 Sistematika Penulisan

Buku skripsi ini dibagi menjadi lima bab, yaitu bab pertama berupa pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan. Selanjutnya bab 2 berupa landasan teori yang menjelaskan tentang harmonisa mulai dari definisi harmonisa, proses terjadinya harmonisa, indeks harmonisa, sumber-sumber harmonisa, standar harmonisa, identifikasi harmonisa sampai ke usaha-usaha untuk mengurangi harmonisa yang ada pada sistem tenaga listrik. Selain itu, pada bab ini juga akan dibahas mengenai kWh meter sebagai instrumen pengukuran transaksi energi listrik.

Bab berikutnya yaitu bab 3, berupa metode pengujian yang menjelaskan tentang metode dan prosedur pengujian yang dilakukan untuk memperoleh data-data hasil pengujian yang kemudian digunakan sebagai bahan analisis. Kemudian bab 4 berupa hasil pengujian dan analisis yang menjelaskan tentang data hasil pengujian serta bahasan tentang analisis pengaruh harmonisa terhadap kWh meter sebagai suatu instrumen pengukuran transaksi energi listrik. Dan yang terakhir yaitu bab 5 berupa kesimpulan yang memuat suatu kesimpulan dari hasil penelitian.

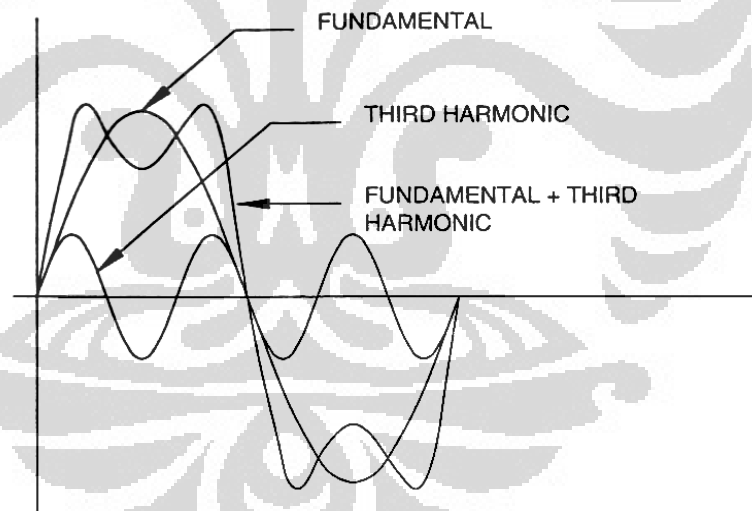
BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Harmonisa

Sistem tenaga listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Akan tetapi dalam kenyataannya terdapat beberapa beban yang menyebabkan munculnya arus dan tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan 50 atau 60 Hz. Beban tersebut dinamakan sebagai beban non linier. Sedangkan frekuensi 50 atau 60 Hz disebut sebagai frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut harmonisa atau harmonik.

Harmonisa adalah distorsi periodik dari gelombang sinus arus, tegangan, atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental yang mana pada sistem suplai dirancang beroperasi pada 50 Hz/60 Hz ^[11].

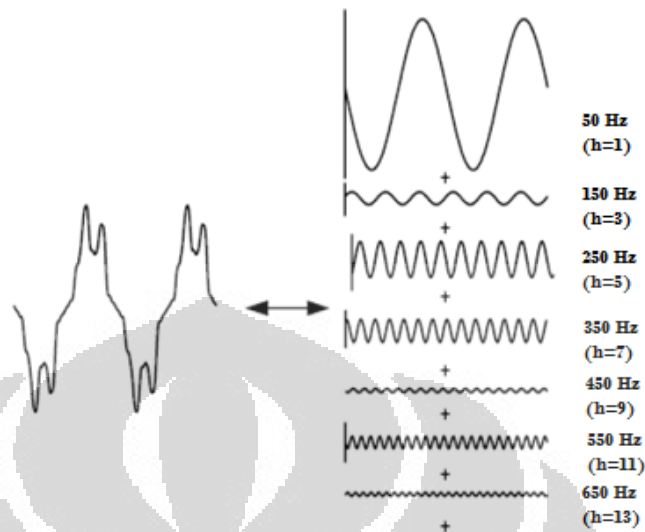


Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Harmonisa

2.1.1 Distorsi Harmonisa

Distorsi harmonisa adalah setiap perubahan dalam bentuk sinyal yang tidak disengaja dan secara umum keberadaannya tidak diinginkan pada sistem. Harmonisa merupakan salah satu hal yang dapat menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang fundamental tegangan dan arus. Fenomena ini timbul akibat pengaruh dari karakteristik beban non linier yang dimodelkan sebagai suatu

sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa ke dalam sistem tenaga listrik.



Gambar 2.2 Penjumlahan Gelombang Harmonisa

2.1.2 Persamaan Harmonisa ³

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik ialah 50 Hz (di Indonesia). Jika terdapat harmonisa ke-2 maka gelombang tersebut mempunyai frekuensi 100 Hz, harmonisa ke-3 mempunyai frekuensi 150 Hz dan seterusnya sehingga dapat dibuat persamaan umum sebagai berikut:

$$f_h = f_1 \times n \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

f_h = frekuensi harmonisa

f_1 = frekuensi fundamental

n = bilangan bulat positif

Gelombang harmonisa ini kemudian menumpang pada gelombang murni sehingga menimbulkan cacat gelombang. Ini merupakan penjumlahan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya. Penjumlahan

gelombang harmonisa dan gelombang yang terdistorsi ini merupakan gelombang yang bersifat kontinu dan periodik (gelombang tersebut mempunyai perioda T bila $f(t)=f(t+T)$ untuk semua t). Jika $f(t)$ periodik, maka karakteristik harmonisa dapat direpresentasikan dengan menggunakan deret Fourier sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} \{a_h \cdot \cos(h\omega_0 t) + b_h \cdot \sin(h\omega_0 t)\} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \dots\dots\dots (2.3)$$

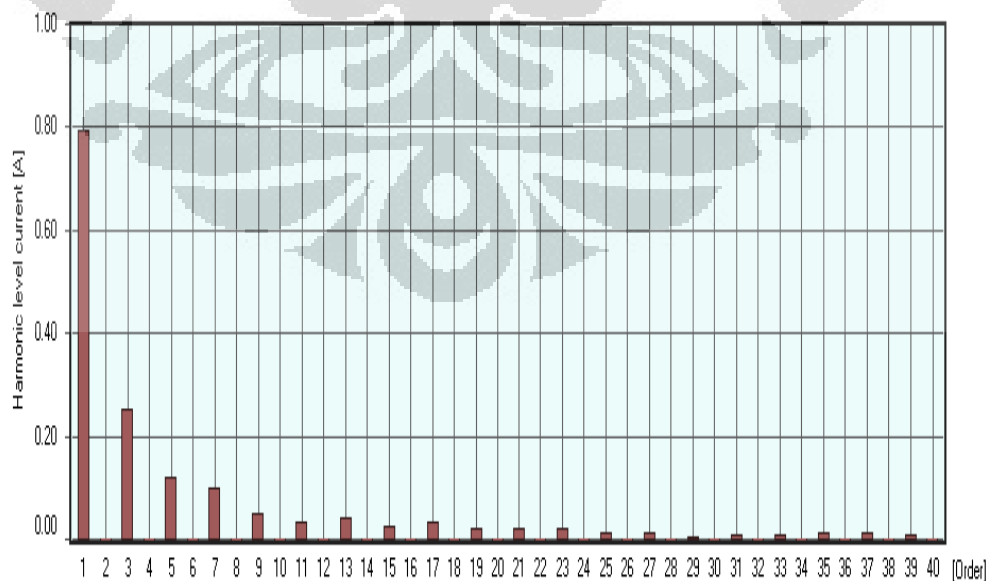
$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(h\omega_0 t) dt \dots\dots\dots (2.4)$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(h\omega_0 t) dt \dots\dots\dots (2.5)$$

Selain itu, untuk mengetahui nilai amplitudo dari suatu gelombang harmonisa dapat dicari dengan persamaan:

$$C_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \dots\dots\dots (2.6) \quad \text{dimana } h \geq 1$$

untuk nilai C sebagai fungsi h sering kali digambarkan dalam suatu *barchart* yang disebut dengan “spektrum harmonik”.



Gambar 2.3: Spektrum Harmonik

2.1.3 Orde Harmonisa

Orde harmonisa menunjukkan komponen frekuensi tunggal yang terdapat pada gelombang campuran. Misalnya $n = 3$ menunjukkan orde harmonik ketiga dengan frekuensi yang merupakan kelipatan tiga kali dari frekuensi fundamental. Jika frekuensi fundamental adalah 50 Hz, maka frekuensi orde ke-3 adalah $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$.

2.1.4 Harmonik Ganjil dan Genap

Sesuai dengan namanya bahwa harmonik ganjil ialah harmonik ke-3, ke-5, ke-7, dan seterusnya; sedangkan harmonik genap ialah harmonik ke-2, ke-4, ke-6, dan seterusnya. Harmonik ke-1 tidak termasuk harmonik ganjil karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik. Di samping itu, harmonik ke-0 adalah komponen gelombang DC atau konstan.

Kebanyakan harmonisa yang berpengaruh besar terhadap sistem tenaga listrik ialah harmonisa berorde ganjil. Hal ini dikarenakan berdasarkan rumus bahwa harmonisa dengan orde genap akan mempunyai rms yang lebih kecil dibandingkan dengan harmonisa yang berorde ganjil. Jumlah antara frekuensi fundamental dengan kelipatannya akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinusoidal murni, melainkan mengalami distorsi.

2.2 Proses Terjadinya Harmonisa ^[11]

Fenomena harmonik pada sistem tenaga listrik pertama kali diteliti oleh Steinmetz pada tahun 1916¹. Ia memberi perhatian pada harmonik ke-3 yang muncul pada sistem tiga fasa. Kemunculan harmonik ke-3 tersebut disebabkan oleh kejenuhan inti besi pada trafo dan mesin-mesin listrik. Sekitar tahun 1930-1940, masalah harmonik ke-3 ini dapat teratasi dengan baik. Pada era sekarang ini penyebab munculnya harmonik sebagian besar adalah alat-alat elektronika daya.

Rangkaian elektronika daya digunakan secara luas pada *switching power supplies*, UPS, komputer, printer, lampu fluorescent dan peralatan-peralatan lainnya. Elektronika daya digunakan oleh banyak pihak karena efisien dan mudah dikendalikan, akan tetapi perangkat ini dapat menarik arus AC non sinusoidal dari

¹ Grady, 2002

sumber AC. Bila arus ini bereaksi dengan impedansi sistem maka akan membangkitkan tegangan dan/atau arus harmonik. Gelombang tegangan dan/atau arus harmonik ini bergerak seolah-olah melawan arah datangnya gelombang tegangan dan/atau arus yang berasal dari sumber. Jika gelombang harmonik ini bergabung dengan gelombang fundamentalnya, maka gelombang fundamental tersebut akan mengalami distorsi dan mengubah bentuknya menjadi gelombang sinusoidal yang tidak sempurna atau disebut gelombang yang cacat.

Tidak seperti fenomena transien yang akan hilang dalam beberapa mikro detik atau fenomena tegangan DIP yang akan hilang dalam beberapa mili detik, harmonik merupakan kejadian yang berlangsung secara periodik dan berbentuk *steady state*². Keberadaan harmonik secara terus-menerus akan menyebabkan distorsi pada gelombang sinus tegangan dan/atau arus dan hal ini mempunyai beberapa pengaruh buruk terhadap sistem maupun peralatan listrik.

2.3 Indeks Harmonisa ^[5]

Dalam pengukuran harmonik ada beberapa istilah penting yang harus dimengerti, yaitu *Root Mean Square*, *Individual Harmonic Distortion* dan *Total Harmonic Distortion* (RMS, IHD dan THD).

2.3.1 RMS (*Root Mean Square*)

RMS dapat didefinisikan sebagai akar kuadrat rata-rata dari fungsi yang terdapat amplitudo dari fungsi berkalanya pada suatu periode, sehingga RMS dapat diartikan sebagai persamaan berikut:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \dots\dots\dots (2.7)$$

sedangkan untuk menghitung tegangan dan arus (V_{rms} dan I_{rms}) adalah:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

² Dugan, 1996

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

atau dapat juga didefinisikan dengan persamaan berikut:

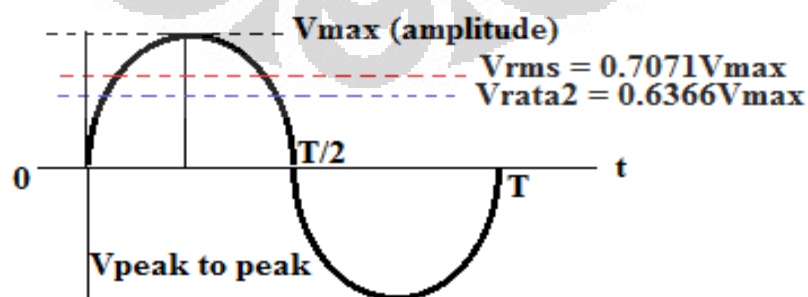
$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Nilai RMS merupakan besaran nilai yang sering dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini berdasarkan kenyataan bahwa pada umumnya alat ukur yang digunakan dalam proses pengukuran besaran listrik biasanya menunjukkan nilai RMS seperti arus rms atau tegangan rms. Nilai RMS digunakan karena beberapa alat elektronik (seperti beberapa komponen pada alat ukur) mempunyai batas untuk menahan kalor/panas tertentu.

Di samping itu, berbeda dengan sinyal DC yang memiliki nilai aktual tetap, sinyal AC memiliki nilai aktual yang berubah-ubah secara periodik sehingga pengukuran sinyal AC dilakukan dengan mencari nilai ekuivalen DC-nya. Nilai inilah yang disebut dengan nilai RMS yang dalam terminologi elektrik, nilai RMS akan ekuivalen dengan DC *heating value*-nya. Dengan demikian nilai RMS arus bolak-balik dapat dikatakan besarnya nilai arus searah yang akan memberikan efek pemanasan yang sama dengan efek pemanasan yang disebabkan arus bolak-balik tersebut pada suatu tahanan yang sama.⁵

Karena pada sistem arus bolak-balik (AC) bentuk gelombang arus maupun tegangan berupa sinusoidal, maka perhitungan RMS adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Gelombang Sinusoidal Tegangan⁵

Dengan melihat grafik di atas maka diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned}
V_{rms}^2 \cdot T &= \int_0^T V_{max}^2 \sin^2(\omega t) dt \\
V_{rms}^2 \cdot T &= V_{max}^2 \int_0^T \frac{1}{2} (1 - \cos 2(\omega t)) dt \\
V_{rms}^2 \cdot T &= V_{max}^2 \left(\int_0^T \frac{1}{2} dt - \int_0^T \frac{1}{2} \cos 2(\omega t) dt \right) \\
V_{rms}^2 \cdot T &= V_{max}^2 \left(\frac{1}{2} t \Big|_0^T - \frac{1}{2} \frac{1}{2\omega} \sin 2(\omega t) \Big|_0^T \right) \\
V_{rms}^2 \cdot T &= \frac{1}{2} V_{max}^2 \left((T - 0) - \frac{1}{2\omega} (\sin 2(\frac{2\pi}{T})T - \sin 0) \right) \\
V_{rms}^2 \cdot T &= \frac{1}{2} V_{max}^2 \cdot T \\
V_{rms} &= \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.12)
\end{aligned}$$

2.3.2 Individual Harmonic Distortion (IHD)

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari harmonisa individual dengan nilai RMS dari fundamental. Rumus IHD adalah sebagai berikut:

$$IHD = \sqrt{\left(\frac{I_{Sn}}{I_{S1}}\right)^2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

IHD = Individual Harmonic Distortion (%)

I_{Sn} = Arus harmonisa pada orde ke-n (A)

I_{S1} = Arus fundamental (I_{rms}) (A)

2.3.3 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari seluruh komponen harmonik terhadap nilai RMS dari fundamental. THD biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (% THD).

Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonik dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai THD-nya adalah 0%, sedangkan untuk menghitung THD dari arus dan tegangan yang mengalami distorsi adalah dengan menggunakan persamaan:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

V_n = Nilai tegangan harmonisa (V)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (V)

n = komponen harmonik maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

I_n = Nilai arus harmonisa (A)

I_1 = Nilai arus fundamental (A)

n = komponen harmonik maksimum yang diamati

2.4 Sumber-sumber Harmonisa ^[5]

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier, artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak linier atau dengan kata lain tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).

Beban non linier pada umumnya merupakan peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor. Contoh dari beban non linier antara lain: komputer, *printer*, lampu *flouroscent* yang menggunakan

elektronik *ballast*, *furnaces*, *power rectifier*, elektronika daya, serta masih banyak peralatan lainnya yang termasuk ke dalam beban non linier.

Beban non linier adalah penyebab utama terjadinya harmonik. Rasio antara beban non linier dan beban linier akan memberikan adanya beban lebih harmonik. Jika dibandingkan dengan beban linier yang mempunyai bentuk gelombang arus atau tegangan yang selalu berbentuk sinusoidal dengan frekuensi yang sama, beban non linier akan mengakibatkan bentuk gelombang sinusoidal yang berubah bentuk menjadi tidak sinusoidal murni.

2.5 Standar Harmonisa ^[5]

Standar harmonisa berisi tentang panduan, rekomendasi praktis ataupun batasan harmonik agar sistem kelistrikan yang ada tidak mengalami hal-hal yang tidak diinginkan. Standar ini melibatkan semua pihak mulai dari sisi penyuplai sampai sisi konsumen untuk kesesuaian peralatan sisi beban dengan peralatan sistem, sehingga ketidaksesuaian respon akibat harmonik dapat diminimalisir.

Standar yang membahas mengenai batasan harmonik antara lain IEEE 519-1992, IEC 61000-2-2, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4. Standar-standar ini membatasi harmonik yang diakibatkan dari sisi beban agar tidak menimbulkan cacat gelombang pada keadaan normal serta untuk membatasi cacat gelombang akibat adanya harmonik dari sisi utility. ^[6]

Berdasarkan IEEE 519-1992; bahwa dalam menentukan standar harmonisa terdapat dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik, yaitu yang pertama adalah batasan harmonik untuk arus (I_{THD}) dan yang kedua adalah batasan untuk harmonisa tegangan (V_{THD}). Persentase (%) I_{THD} adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Batasan untuk harmonik arus (I_{THD}) ditentukan oleh perbandingan I_{SC} / I_L , dimana I_{SC} merupakan arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling) dan I_L merupakan arus beban fundamental nominal. Berbeda dengan batasan arus, persentase batasan tegangan (V_{THD}) ditentukan dari besarnya tegangan sistem yang terpasang. Tabel berikut memperlihatkan batasan harmonik arus untuk sistem < 65 kV.

Tabel 2.1: Batasan Harmonik Arus untuk Sistem < 65 kV ²

Maximum Harmonic Current Distortion (in % of fundamental)						
I_{sc}/I_L	Harmonic Order					Total Harmonic Distortion (THD%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
	Individual Harmonic Distortion (IHD %)					
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20

Sedangkan tabel berikut ini adalah batasan harmonik tegangan:

Tabel 2.2: Batasan Harmonik untuk Tegangan ²

Maximum Distortion (%)	System Voltage		
	$V \leq 69$ kV	$69 < V < 138$ kV	$V > 138$ kV
Individual Harmonic	3.0	1.5	1.0
Total Harmonic	5.0	2.5	1.5

2.6 Identifikasi Harmonisa ^[11]

Untuk mengidentifikasi adanya harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik dapat diketahui melalui langkah-langkah seperti berikut ini:

- Identifikasi Jenis Beban

Identifikasi jenis beban ialah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui jenis beban yang dipasang oleh sumber listrik. Jika banyak peralatan yang mempunyai komponen semikonduktor atau elektronika daya, maka dapat dipastikan bahwa dalam sistem tersebut terdapat harmonisa.

- Pemeriksaan Transformator

Kegiatan pemeriksaan ini dapat dilakukan dengan cara pengecekan terhadap temperatur yang tidak normal terhadap trafo yang digunakan untuk memasok beban non linier. Arus sekunder baik phase maupun netral perlu di periksa dengan cara membandingkan arus netral dengan arus phase pada saat

beban tidak seimbang. Jika pada keadaan tersebut arus netral lebih besar maka dapat diperkirakan adanya triplen harmonik dan kemungkinan adanya penurunan kinerja trafo.

- **Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah**

Terjadinya arus lebih pada kawat netral (pada sistem 3 phase 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 Volt maka dapat diindikasikan bahwa terdapat harmonisa pada beban tersebut.

2.7 Usaha-usaha untuk Mengurangi Harmonisa ^[11]

Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonisa dalam sistem kelistrikan, cara-cara tersebut diantaranya:

- **Memperbesar Kawat Netral**

Setiap sistem distribusi biasanya memakai sistem 3 phase-4 kawat yang terdiri dari 3 kawat untuk masing-masing phase dan 1 kawat untuk netral. Apabila beban yang dipasok non linier dan menyebabkan harmonik, maka sebaiknya kawat netral diperbesar dari ukuran standarnya dengan tujuan untuk membuang arus/panas berlebih dalam sistem tersebut. Sama halnya pada panel-panel listrik yang sebaiknya menggunakan kawat netral yang lebih besar untuk meminimalkan pengaruh buruk dari adanya harmonisa.

- **Menurunkan Kapasitas Transformator**

Salah satu cara yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh buruk dari adanya harmonik yaitu dengan mengurangi kapasitas suplai daya trafo (*derating transformer*). Dalam menentukan besarnya pengurangan kapasitas trafo ada metode sederhana yang dapat digunakan, yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$KVA_{\text{baru}} = THDF \times KVA_{\text{pengenal}}$$

Dimana:

THDF = *Transformer Harmonic Derating Factor*, yang bernilai:

$$= \{ 1,414 \times (\text{arus phase rms}) / (\text{arus puncak phase sesaat}) \} \times 100\%$$

$$= \{ 1,414 \times 1/3 \times (I_r + I_s + I_t)_{\text{rms}} / 1/3 \times (I_r + I_s + I_t)_{\text{puncak}} \} \times 100\%$$

- Penyearah PWM

Berbeda dengan penyearah konvensional lainnya yang menarik arus berupa pulsa-pulsa pendek dengan amplitudo tinggi ataupun berupa pulsa-pulsa gelombang persegi, bahwa penyearah PWM akan menarik arus dengan bentuk gelombang yang mendekati bentuk sinusoidal sempurna. Di samping itu, arus yang ditarik oleh PWM juga sefasa dengan tegangan sumbernya sehingga penyearah ini dapat dimodelkan sebagai beban resistif yang apapun jenis bebannya tidak membutuhkan kapasitor untuk perbaikan faktor daya.

Pada suatu rangkaian penyearah PWM, arus sumber digunakan sebagai sinyal umpan balik dan tegangan sumber berperan sebagai nilai referensi. Dengan cara demikian maka bentuk arus sumber akan dipaksa sama dengan bentuk tegangan. Apabila bentuk tegangan masukan berupa gelombang sinusoidal, maka bentuk arus pun akan sinusoidal. Akibat adanya proses switching yang terjadi, arus akan memiliki komponen-komponen frekuensi tinggi di sekitar frekuensi switchingnya. Komponen-komponen tersebut dapat dengan mudah dihilangkan dengan menggunakan filter frekuensi tinggi yang sederhana.

- Transformator Penggeser Fasa (penyearah polifasa)

Penggunaan transformator penggeser fasa pada aplikasi penyearah polifasa merupakan salah satu cara yang ampuh untuk meminimalisir pengaruh harmonisa yang dibangkitkan oleh penyearah tersebut. Metode ini mengubah sistem tiga fasa menjadi sistem fasa banyak³. Terdapat banyak konfigurasi penggeser fasa yang digunakan dalam proses penyearahan dan secara umum semakin banyak fasa yang digunakan dalam proses tersebut maka semakin rendah kandungan harmonisa yang dibangkitkan

³ Sistem fasa banyak (*poliphase*) dalam hal ini enam, sembilan atau duabelas fasa.

2.8 KWh Meter^{[3][2]}

KWh meter adalah alat yang umum digunakan untuk mengukur energi listrik. Alat ini digunakan oleh Perusahaan Listrik untuk mendata dan menganalisa penggunaan energi listrik yang terpakai oleh konsumen. Selain itu, kWh meter juga sekaligus digunakan sebagai alat transaksi tenaga listrik karena memang alat ini dapat mencatat berapa besar energi listrik yang terpakai. Pemakaian energi listrik oleh konsumen baik industri maupun rumah tangga menggunakan satuan kilowatt-hour (kWh) dimana 1 kWh setara dengan 3,6 MJ. Dengan demikian kWh meter merupakan alat yang sesuai digunakan untuk mengukur energi listrik yang terpakai tersebut.

Dalam kWh meter terdapat komponen pengukuran daya yang terdiri dari komponen pengukur arus dan komponen pengukur tegangan. kWh meter yang dikenal secara luas di masyarakat adalah kWh meter konvensional yang mempunyai fitur terbatas. kWh meter jenis ini disebut sebagai kWh meter analog. Jenis ini masih cukup mampu untuk membaca jumlah pemakaian daya aktif dengan baik, tapi kurang mampu untuk membaca daya reaktif dengan baik sehingga diciptakanlah kWh meter digital.

KWh meter digital mempunyai kelebihan dapat membaca daya aktif dan daya reaktif yang terpakai. Selain itu, jenis ini mempunyai tingkat ketelitian yang lebih baik dibanding jenis kWh meter analog sehingga sekarang ini PLN lebih menyarankan agar para konsumen beralih untuk menggunakan kWh meter digital.

KWh meter berdasarkan kapasitasnya dibagi menjadi dua, yaitu kWh meter satu fasa dan kWh meter tiga fasa. kWh meter satu fasa biasa digunakan pada konsumen yang memerlukan energi listrik yang relatif lebih kecil seperti rumah tangga yang menggunakan tegangan 220Volt, sedangkan kWh meter tiga fasa biasanya digunakan oleh konsumen yang memerlukan daya yang cukup besar seperti pabrik-pabrik dan industri yang memang menggunakan jaringan listrik tiga fasa di dalamnya.

Sesuai dengan namanya, kWh meter satu fasa bekerja hanya dengan menggunakan satu fasa saja, yaitu fasa A saja, B saja atau C saja dan terdapat sebuah netral. Sedangkan kWh meter tiga fasa menggunakan semua fasa yang ada, yaitu fasa A, B, dan C serta sebuah jaringan yang terhubung ke netral.

Berikut ini merupakan gambaran sistem yang ada pada kWh meter satu fasa dan kWh meter tiga fasa:



Gambar 2.5 KWh Meter Satu Fasa



Gambar 2.6 KWh Meter Tiga Fasa ⁶

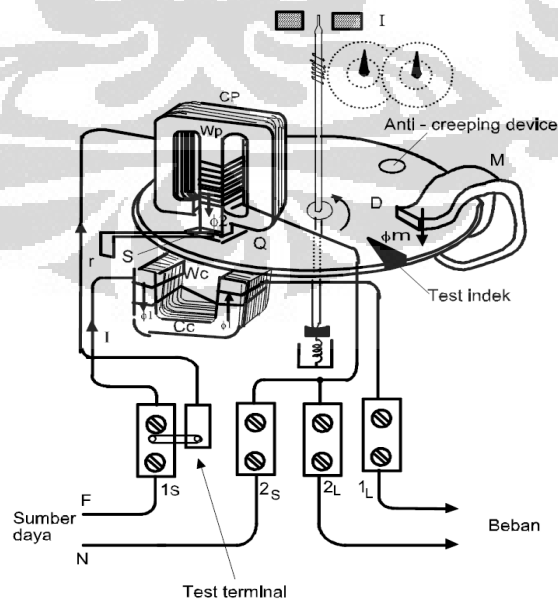
Komponen waktu pada pengukuran energi listrik yang dilakukan dalam kWh meter dinyatakan oleh durasi penggunaan kWh meter itu sendiri. kWh meter analog bekerja memanfaatkan arus yang mengalir untuk menggerakkan lempengan logam *ferromagnetic* (biasanya aluminium) bundar sehingga lempengan tersebut dapat berputar. Putaran lempengan ini diteruskan dengan hubungan roda gigi ke *counter*. *Counter* merupakan tampilan angka yang dikalibrasi sedemikian rupa sehingga penggunaan daya listrik sebesar 1 (satu)

kilowatt selama satu jam akan tepat memutar *counter* sebesar 1 (satu) kWh atau 10 (sepuluh) skala persepuluhan kWh. Jika kWh sudah beroperasi, maka untuk mengetahui penggunaan energi listrik yang terpakai dilakukan dengan cara menghitung selisih angka yang tertera pada *counter* sebelum dan sesudah terjadi pemakaian listrik.

Pada kWh meter tiga fasa, pencatatan energi listrik yang terpakai dilakukan pada semua fasanya. Pada konstruksinya, lempengan bundar yang ada pada kWh meter tiga fasa ini dihubungkan ketiga fasa yang ada sehingga pada penggunaan hanya salah satu fasa atau dua buah fasa saja akan tetap bisa memutar lempengan bundar tersebut dan *counter* akan tetap beroperasi.

2.8.1 kWh Meter Analog ^[3]

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa kWh meter analog merupakan kWh meter yang sudah umum digunakan dan paling banyak dipakai sebelum diciptakannya kWh meter digital. Bagian-bagian utama dari sebuah kWh meter analog adalah kumparan tegangan, kumparan arus, sebuah piringan aluminium, magnet permanen, dan sebuah gir mekanik yang mencatat banyaknya putaran piringan yang ada pada alat tersebut.



Gambar 2.7 kWh Meter Analog ^[8]

Piringan bundar atau lempengan yang digunakan dalam kWh analog ialah terbuat dari bahan aluminium. Hal ini karena aluminium merupakan jenis metal yang tahan terhadap karat dibandingkan besi atau logam jenis lainnya.

2.8.1.1 Prinsip Kerja KWh Meter Analog

Dari gambar di atas dapat dijelaskan mengenai prinsip kerja suatu kWh meter analog. Pada saat arus beban I mengalir pada kumparan arus (W_C), arus ini akan menimbulkan fluks magnet Φ_1 . Di sisi lain karena kumparan tegangan bersifat induktor, maka pada kumparan tegangan terjadi perbedaan fase antara arus dan tegangan sebesar 90° . Arus yang melalui kumparan tegangan akan pula menimbulkan fluks magnet Φ_2 dengan kondisi berbeda fase 90° dengan Φ_1 .

Perbedaan fase antara Φ_1 dan Φ_2 akan menyebabkan momen gerak pada lempeng aluminium (D) sehingga lempeng tersebut berputar sedemikian rupa. Putaran lempeng aluminium ini akan diteruskan pada roda-roda pencatat/gir mekanik (J) yang selanjutnya akan menjalankan *counter*.

Besarnya momen gerak/torsi yang ada pada lempeng aluminium ialah sebanding dengan besarnya arus I dan tegangan V , dengan persamaan:

$$T = k \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (N.m)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

k = Konstanta (s/rad)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

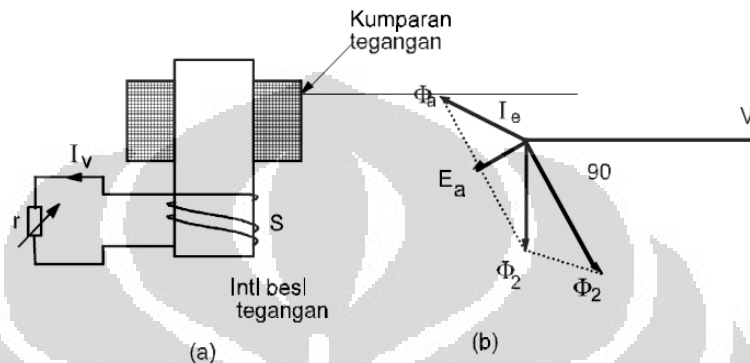
$\cos \phi$ = Sudut antara V dan I

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa torsi putaran lempeng aluminium (T) akan sebanding dengan daya aktif ($V \cdot I \cdot \cos \phi$) yang dialirkan ke beban, sehingga semakin besar daya aktif yang terpakai di sisi beban maka putaran lempeng aluminium akan semakin cepat dan demikian pula sebaliknya.

2.8.1.2 Kesalahan Pada KWh Meter Analog dan Perbaikannya [8]

A. Penyesuaian Fase

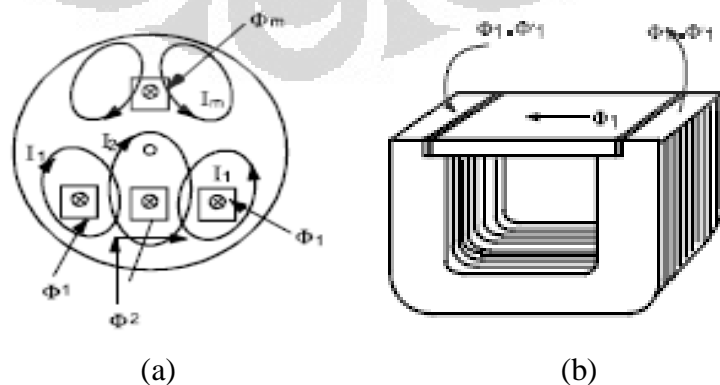
Pada kenyataannya beda fase antara Φ_1 dan Φ_2 tidak selalu 90° . Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi pada inti besi dan adanya tekanan pada kumparan tegangan. Untuk mengatasi hal semacam ini dapat dipasang suatu kumparan penyesuai fase pada inti kumparan tegangan.



Gambar 2.8 Prinsip Pengaturan Fase

B. Penyesuaian Pada Beban-beban Berat

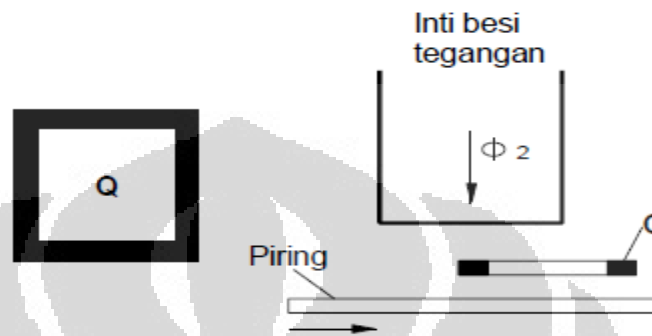
Pada saat beban mengalami peningkatan (beban berat) maka Φ_1 akan bertambah besar. Pertambahan ini akan mengakibatkan arus pusar (*eddy current*) pada lempengan aluminium. Arus pusar akan menyebabkan lempengan aluminium mengalami perubahan volume dan menimbulkan momen lawan yang dapat mempengaruhi putaran lempengan tersebut. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan memasang *shunt* magnetis yang dimana pada saat terjadinya beban penuh, fluks tidak sepenuhnya dapat menimbulkan momen lawan.



Gambar 2.9 Arus Eddy pada Lempengan (a) & Prinsip Pengatur Beban Berat (b)

C. Penyesuaian Beban Ringan

Kesalahan putaran mungkin terjadi akibat adanya gaya gesek pada piringan terutama saat beban kecil (ringan). Untuk mengatasi hal ini dapat dibuat sebuah cincin tembaga yang ditempatkan di antara kumparan tegangan dengan piringan yang dipasang condong ke arah gerak putar.



Gambar 2.10 Prinsip Pengatur Beban Ringan

Dengan adanya pemasangan cincin tembaga ini akan menimbulkan perbedaan fase dibanding dengan fluks magnet Φ_2 yang tidak melalui cincin tembaga, sehingga terjadi pergeseran fluks ke arah gerak piringan dan menimbulkan momen dengan arah sesuai gerak putaran piringan.

D. Putaran Pada Beban Kosong

Pada saat beban kosong, kumparan tetap dialiri arus yang bisa menggerakkan piringan. Agar piringan tidak tergerak oleh fluks Φ_2 maka pada piringan dipasang suatu lubang.

Pada saat lubang piringan berada tepat di bawah kumparan, lubang ini berfungsi untuk mengganggu terjadinya arus pusar yang terjadi dan momen yang ditimbulkan oleh fluks magnet Φ_2 berkurang dan kemudian piringan akan terhenti.

2.8.1.3 Kekurangan dan Kelebihan KWh Meter Analog

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kekurangan yang ada pada jenis kWh meter analog ialah tingkat ketelitian yang sedikit dibawah dari jenis digital. Selain itu, fitur yang ada pada jenis analog lebih sederhana yang

hanya bisa mengukur besarnya daya aktif yang terpakai saja. Sedangkan kelebihan dari jenis analog yaitu harganya yang relatif murah.

2.8.2 KWh Meter Digital ^[3]

KWh meter digital merupakan suatu alat pengukuran yang memiliki fungsi sama seperti kWh meter analog, yakni mengukur jumlah pemakaian energi listrik dalam satuan waktu. Jika pada kWh meter analog bekerja berdasarkan prinsip induksi, kWh meter digital bekerja berdasarkan program yang dirancang pada mikroprosesor yang terdapat di dalam piranti kWh meter digital tersebut.



Gambar 2.11 KWh Meter Digital

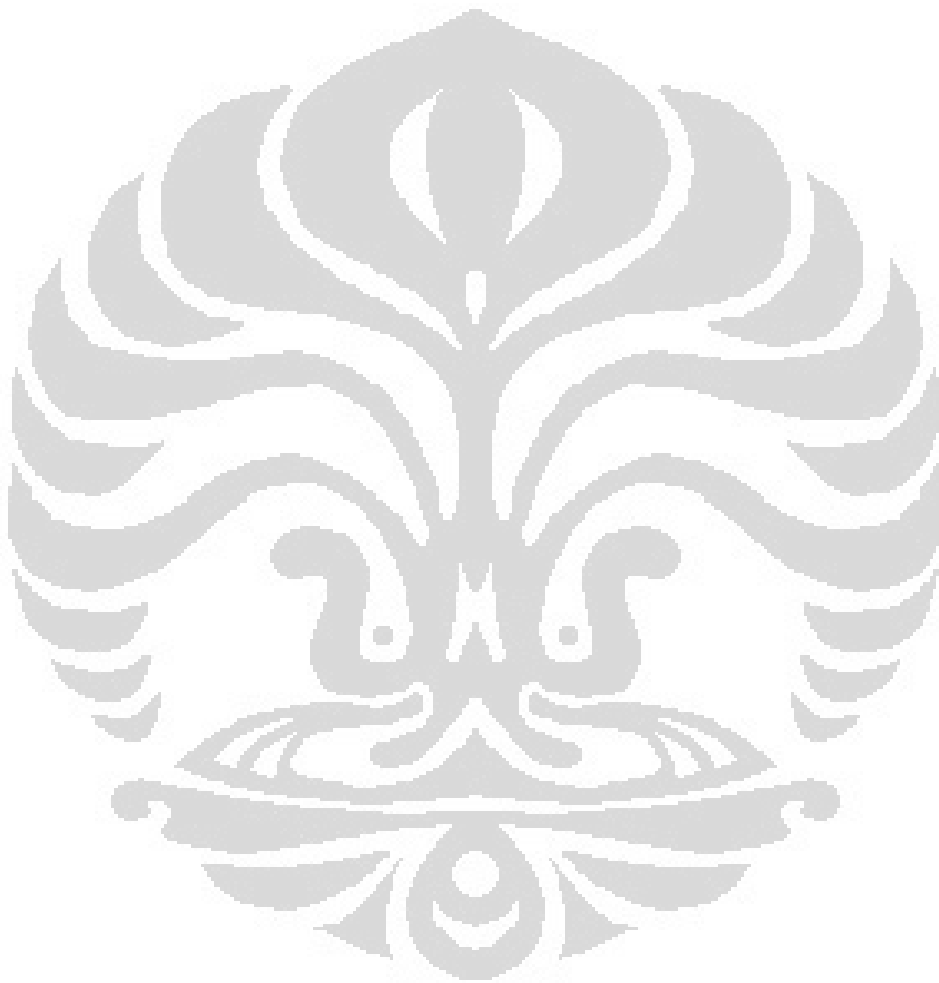
2.8.2.1 Prinsip Kerja KWh Meter Digital

Tegangan dan arus yang diterima oleh kWh meter digital ini akan dibaca secara terpisah. Tegangan yang masuk akan dibaca dan kemudian diteruskan ke dalam suatu mikrokontroler. Arus yang dibaca juga akan diteruskan ke dalam mikrokontroler. Di dalam mikrokontroler tersebut terdapat suatu program yang sudah diatur sedemikian rupa sehingga tegangan dan arus akan diproses dan dihitung dengan keluaran berupa besaran energi listrik. Besaran yang dimaksud ialah daya aktif dan energi. Sehingga dengan kWh meter digital ini akan dapat dibaca pemakaian energi listrik yang dipakai oleh konsumen.

2.8.2.2 Kekurangan dan Kelebihan KWh Meter Digital

Kelebihan kWh meter digital ini dibandingkan dengan kWh meter analog ialah kemampuan untuk membaca daya aktif dan jumlah pemakaian daya reaktif per

satuan waktu (energi reaktif). Di dalam mikrokontroler ini juga terdapat program yang dapat digunakan untuk mengukur besaran tegangan (voltmeter), arus (amperemeter), dan faktor daya (cos phi meter). Sehingga untuk pengukuran dengan menggunakan kWh meter digital tidak perlu menggunakan piranti tambahan untuk mengukur besaran-besaran tersebut.



BAB 3 METODE DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Metode Pengujian

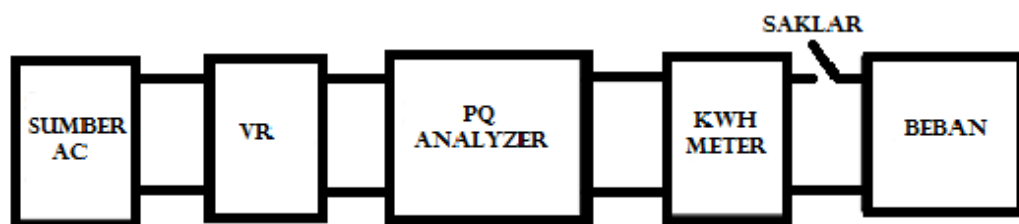
Metode pengujian yang digunakan pada percobaan untuk mengetahui pengaruh harmonisa terhadap penyimpangan pengukuran kWh meter yaitu dengan cara menciptakan harmonisa pada rangkaian pengujian. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa harmonisa pada umumnya ditimbulkan oleh beban-beban non linier. Dalam kegiatan pengujian ini beban non linier yang digunakan yaitu lampu hemat energi yang mempunyai rangkaian elektronika (bahan *solid state*) di dalamnya.

Harmonisa yang dibangkitkan dari penggunaan beban non linier tersebut selanjutnya diatur dengan melihat besarnya nilai THD (*Total Harmonic Distortion*) yang terukur pada *PQ Analyzer*. Parameter THD digunakan karena THD merupakan representasi besarnya harmonik yang ada pada suatu sistem atau suatu rangkaian.

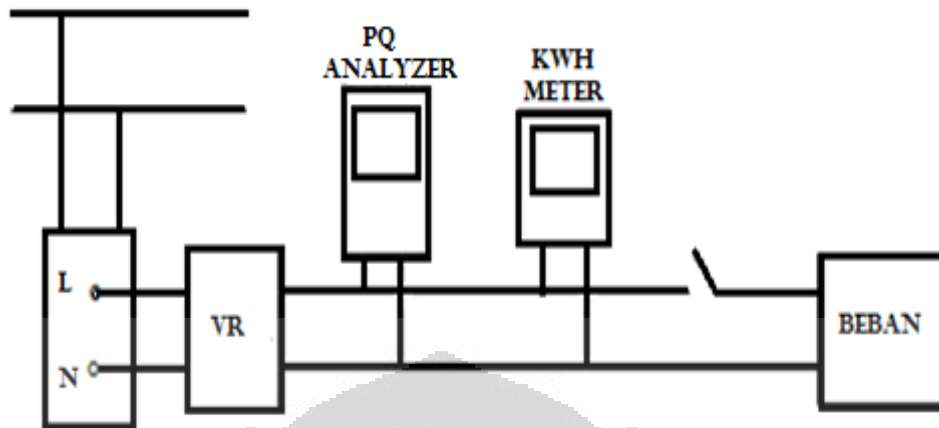
Pengaturan beban yang menimbulkan harmonik tersebut dilakukan untuk mengetahui kecenderungan kinerja kWh meter mulai dari THD yang terkecil sampai nilai THD yang paling besar. Dengan demikian dapat diperoleh data hasil pengujian kWh meter mulai dari THD terkecil sampai yang paling besar yang nantinya di analisis dan dibuat suatu kesimpulan hasil penelitian.

3.2 Rangkaian Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh harmonisa terhadap kinerja kWh meter maka dilakukan pengujian di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, dengan rangkaian pengujian sebagai berikut:

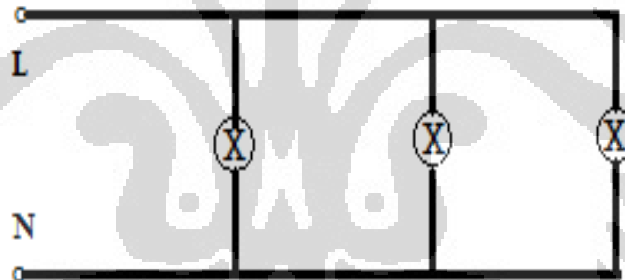


Gambar 3.1 Skema Rangkaian Pengujian



Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian

Beban yang dipasang pada rangkaian pengujian merupakan konfigurasi dari beberapa lampu pijar (LP) dan/atau lampu hemat energi (LHE) yang disusun secara paralel seperti terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.3 Rangkaian paralel beban (lampu)

Berdasarkan rangkaian pengujian (gambar 3.2) di atas maka dapat dilihat karakteristik dari pengaruh harmonisa terhadap kinerja kWh meter baik itu kWh meter analog maupun digital. KWh meter dipasang pada rangkaian untuk melihat besarnya perubahan pembacaan oleh alat tersebut pada saat sebelum diberi harmonisa maupun setelah diberi harmonisa, sedangkan *Power Quality Analyzer* digunakan untuk mendeteksi adanya harmonik pada sistem serta memberikan informasi berupa data-data lainya yang diperlukan untuk bahan analisis. Selain itu, PQ Analyzer juga berfungsi sebagai alat pembanding dari pengukuran yang dilakukan oleh kWh meter.

3.3 Spesifikasi Peralatan

3.3.1 KWh meter Analog & Digital

KWh meter merupakan komponen utama yang akan diuji dan dianalisis bagaimana kinerjanya apabila terdapat harmonisa pada alat tersebut. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa kWh meter baik yang analog maupun digital merupakan alat transaksi tenaga listrik yang sudah banyak di gunakan di kalangan masyarakat maupun industri. Oleh karena itu, kWh meter sangat berperan penting dalam proses pengukuran konsumsi energi yang terpakai. Dalam pengujian kali ini, kWh meter yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi kWh meter Analog dan Digital yang digunakan

No	Aspek	KWh meter Analog	KWh meter Digital
1	Jenis	1φ M2XS4V3 kelas 2	1φ DDS63-4 class 1.0
2	Merk	Schlumberger Thn 2002	PT. Indo Electric Instrument Thn 2007

3.3.2 Power Quality Analyzer

Power Quality Analyzer merupakan peralatan yang digunakan untuk mengetahui dan mengukur besarnya harmonik pada suatu sistem. Selain itu, alat ini juga digunakan untuk mengetahui besaran-besaran lainnya yang dibutuhkan untuk kebutuhan penelitian. Pengujian kali ini menggunakan *Power Quality Analyzer* dengan merk HIOKI 3169-20



Gambar 3.4 *Power Quality Analyzer*

3.3.3 Voltage regulator

Voltage regulator merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengatur besarnya tegangan yang masuk ke dalam rangkaian pengujian. Alat ini harus terlebih dahulu dipastikan tidak menimbulkan harmonik yang signifikan atau bahkan diharapkan tidak menimbulkan harmonik sama sekali pada rangkaian pengujian. Pemasangan *voltage regulator* dilakukan agar besarnya tegangan yang digunakan dalam pengukuran konstan atau paling tidak range tegangan berada pada nilai yang tidak terlalu signifikan dari angka 220 Volt.

Jika pengujian tidak menggunakan *voltage regulator* maka dikhawatirkan antara pengujian yang satu dengan pengujian lainnya tidak bisa dibandingkan dan sulit untuk diambil suatu kesimpulan karena besarnya tegangan sistem yang berubah-ubah secara signifikan. Dalam pengujian kali ini, spesifikasi dari alat yang digunakan yaitu *voltage regulator* TDGC2-1 kVA merk OKI.

3.3.4 Beban

Pada pengujian ini beban juga merupakan salah satu hal yang penting, dimana beban-beban tersebut berfungsi sebagai alat yang menggunakan energi listrik yang terukur oleh kWh meter. Dalam hal ini beban-beban yang digunakan pada pengujian ialah sebagai berikut:

- Lampu Pijar (LP) : lampu pijar yang digunakan dalam pengujian kali ini merupakan lampu pijar merk philips masing-masing 100 Watt sebanyak 3 buah.
- Lampu Hemat Energi (LHE): lampu hemat energi yang digunakan pada pengujian ini yaitu LHE merk Itami masing-masing 20 Watt sebanyak 15 buah. LHE ini merupakan variabel yang dianggap dapat menimbulkan harmonik sehingga digunakan pada percobaan untuk menambah atau mengurangi nilai %THD.



Gambar 3.5 Jenis-jenis Beban yang Digunakan

3.4 Prosedur Pengujian

Proses pengujian dilakukan terhadap masing-masing jenis kWh dengan beban yang konstan sebesar 300 Watt selama 6 jam berturut-turut. Beban yang digunakan kemudian divariasikan antara jumlah lampu pijar dan lampu hemat energi supaya besarnya beban tetap sebesar 300 Watt. Hal ini dimaksudkan untuk melihat kecenderungan pengaruh harmonisa terhadap kinerja kWh meter baik yang analog maupun digital. Untuk variasi beban yang digunakan akan dibahas lebih lanjut pada sub bahasan 3.5 mengenai rancangan beban.

Adapun pelaksanaan kegiatan pengujian pengaruh harmonisa terhadap kinerja kWh meter ini dilakukan berdasarkan prosedur pengujian dengan tahapan sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian pengujian seperti pada gambar 3.2 serta memastikan terlebih dahulu letak fasa dan netral dari sumber tegangan AC agar rangkaian pengujian bekerja dengan baik dan terhindar dari bahaya listrik.
2. Memasang beban berupa 3 buah lampu pijar yang masing-masing 100 Watt sebagai beban yang pertama kali akan diuji pengukurannya terhadap kWh meter.
3. Melihat dan mencatat *starting point* pada masing-masing kWh.
4. Memberikan suplai pada rangkaian dengan cara menekan saklar menjadi 'on'.
5. Memberikan waktu 4 s/d 6 jam agar kWh meter dapat membaca besaran energi listrik yang terpakai.

6. Melakukan pencatatan berapa besar kecepatan putaran piringan kWh per menit (pada kWh meter analog).
7. Melakukan pencatatan berapa besar kWh yang terpakai.
8. Mencatat berapa besarnya nilai THD yang ada pada rangkaian dengan menggunakan PQ meter.
9. Jika telah selesai, mengulangi kegiatan 1-8 dengan mengganti variasi beban lampu hemat energi dan/atau lampu pijar.

3.5 Rancangan Beban

Beban yang digunakan pada pengujian ini ialah beban berupa kombinasi antara lampu pijar (LP) dan lampu hemat energi (LHE) yang masing-masing mempunyai besaran tertera 100 Watt dan 20 Watt. Untuk mempermudah dalam menganalisis pengaruh harmonisa terhadap pembacaan kWh meter, maka berikut ini tabel rancangan beban yang digunakan pada percobaan:

Tabel 3.2 Rancangan Beban Pada Percobaan kWh Meter Analog & Digital

Percobaan ke-	Jumlah Beban (300 Watt)	
	LP (@100 Watt)	LHE (@20 Watt)
1	3	-
2	2	5
3	1	10
4	-	15

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dalam rangka mendapatkan karakteristik pengaruh harmonisa terhadap kinerja kWh meter, baik itu jenis analog maupun digital, maka diperoleh data hasil pengujian berupa perbedaan hasil pengukuran energi (dalam satuan kWh) antara percobaan yang satu dengan yang lainnya meskipun pada dasarnya beban yang digunakan mempunyai besaran yang sama serta perlakuan yang sama pula. Kegiatan memvariasikan beban bertujuan untuk menciptakan besarnya %THD yang berbeda-beda sehingga dapat dilihat hubungan antara kecenderungan kenaikan nilai %THD yang diciptakan terhadap kinerja kWh meter yang hendak diamati.

Setiap pengujian pada masing-masing kWh meter dilakukan sebanyak 4 kali sesuai dengan variasi beban yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Dari masing-masing pengujian diperoleh suatu data hasil pengujian yang kemudian dilakukan pengolahan data untuk dianalisis dan diambil suatu kesimpulan dari hasil pengujian tersebut.

Pengolahan data difokuskan pada beberapa parameter yang memang dianggap penting untuk dianalisis seperti nilai %THD arus dan tegangan, besarnya nilai energi yang terukur pada kWh dan *PQ analyzer*, bentuk gelombang arus dan tegangan yang terukur oleh *PQ analyzer*, serta parameter-parameter lainnya yang dianggap penting dalam pengujian.

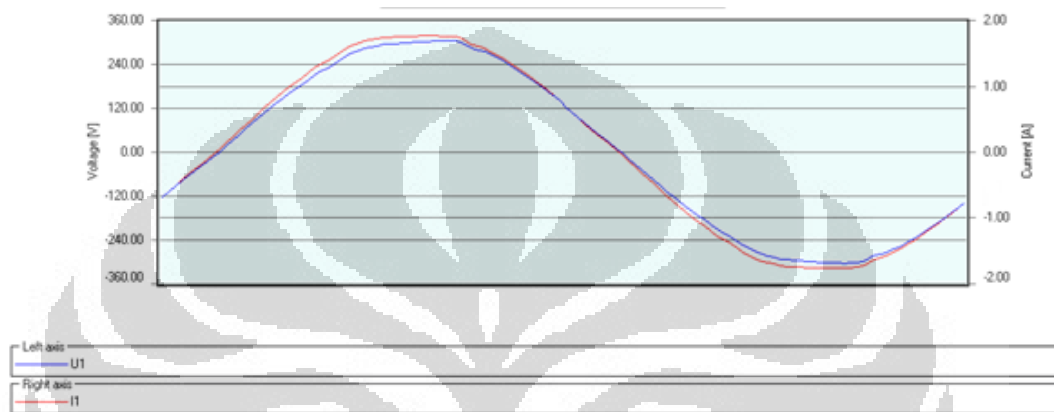
4.1.1 Hasil Pengujian pada kWh meter Analog

Bentuk gelombang arus dan tegangan yang terukur dan terpampang pada *PQ analyzer* merupakan salah satu parameter penting karena dari data tersebut kita dapat menganalisis hubungan antara bentuk gelombang serta pengaruhnya terhadap proses pengukuran oleh alat ukur berupa kWh meter.

Berdasarkan data yang diperoleh pada masing-masing pengujian yang dilakukan terhadap kWh meter analog, maka berikut inilah keterangan mengenai data-data hasil pengujian pada masing-masing pengujian tersebut:

4.1.1.1 Beban 300 Watt (3 Buah LP)

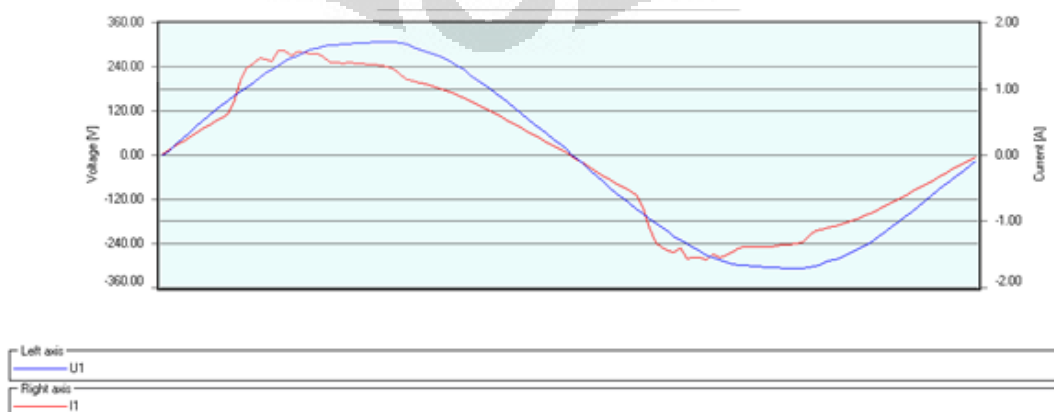
Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 3 buah lampu pijar (LP). Pada mulanya variasi beban ini dianggap tidak menimbulkan harmonisa, tapi pada kenyataannya tidak ada sistem yang ideal sehingga pada pengujian ini masih terdapat nilai THD-v sebesar 1,82% dan nilai THD-i sebesar 1.77%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan dengan variasi beban 3 LP:



Gambar 4.1 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 3 LP (Analog)

4.1.1.2 Beban 300 Watt (2 Buah LP + 5 Buah LHE)

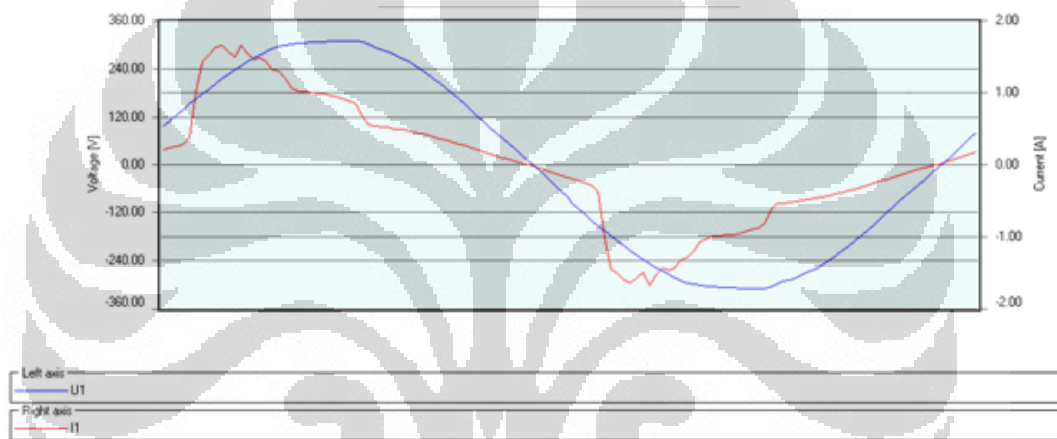
Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 2 buah lampu pijar (LP) ditambah 5 buah lampu hemat energi (LHE). Penambahan LHE ini diharapkan dapat meningkatkan nilai %THD sehingga diperoleh data yang sesuai dengan yang diinginkan. Pada percobaan ini diperoleh nilai THD-v sebesar 1,65% dan nilai THD-i sebesar 15,69%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



Gambar 4.2 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 2 LP + 5 LHE
(Analog)

4.1.1.3 Beban 300 Watt (1 Buah LP + 10 Buah LHE)

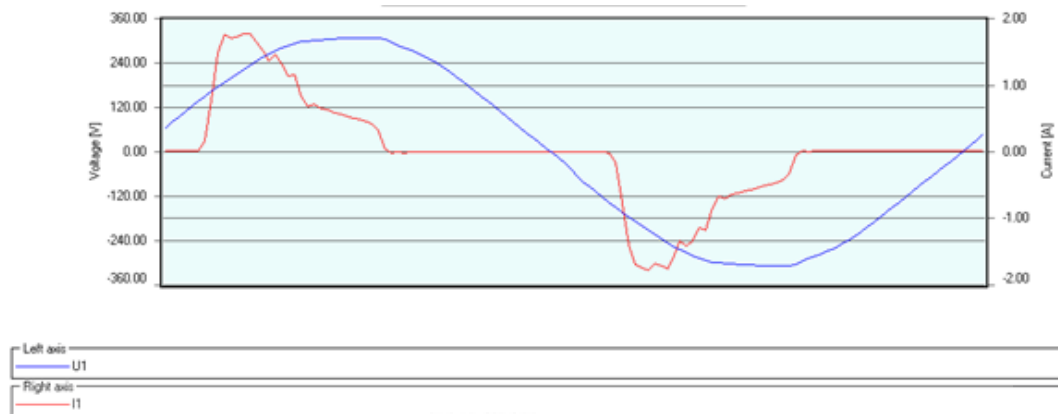
Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 1 buah lampu pijar (LP) ditambah 10 buah lampu hemat energi (LHE). Penambahan jumlah LHE ini diharapkan dapat meningkatkan nilai %THD sehingga diperoleh data yang sesuai dengan yang diinginkan. Pada percobaan ini diperoleh nilai THD-v sebesar 1,80% dan nilai THD-i sebesar 40,40%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



Gambar 4.3 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 1 LP + 10 LHE
(Analog)

4.1.1.4 Beban 300 Watt (15 Buah LHE)

Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 15 buah lampu hemat energi (LHE). Penambahan jumlah LHE ini diharapkan dapat meningkatkan nilai %THD sehingga diperoleh data yang sesuai dengan yang diinginkan. Pada percobaan ini diperoleh nilai THD-v sebesar 1,77% dan nilai THD-i sebesar 80,39%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



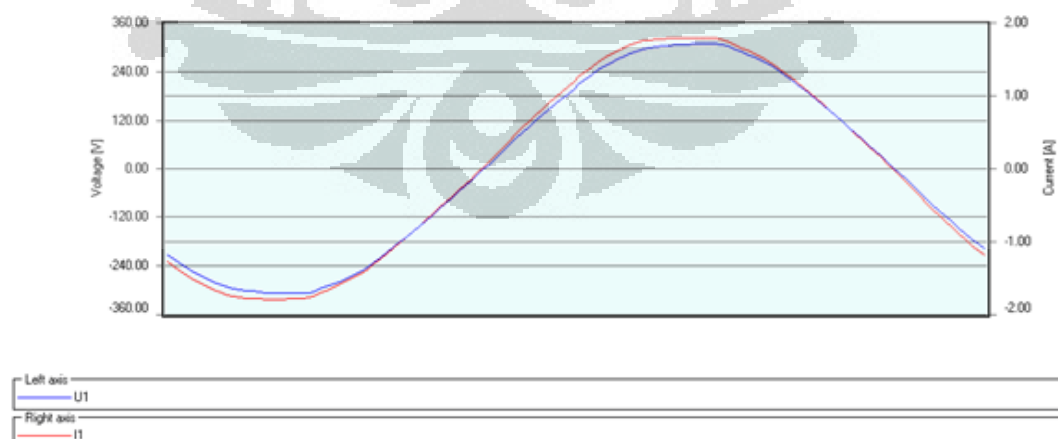
Gambar 4.4 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 15 LHE (Analog)

4.1.2 Hasil Pengujian pada kWh meter Digital

Berdasarkan data yang diperoleh pada masing-masing pengujian yang dilakukan terhadap kWh meter digital, maka berikut inilah keterangan mengenai data-data hasil pengujian pada masing-masing pengujian tersebut:

4.1.2.1 Beban 300 Watt (3 Buah LP)

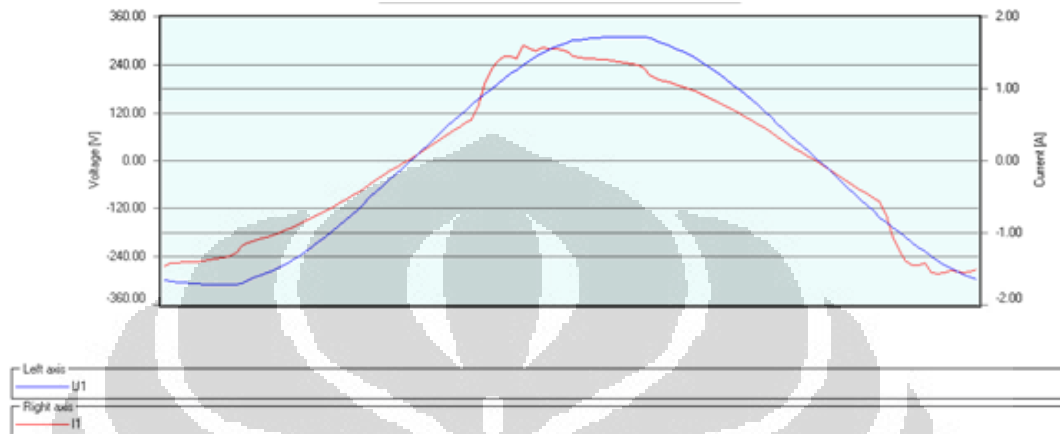
Pada pengujian ini, perlakuan dan kondisi yang sama juga diberlakukan seperti halnya pengujian pada kWh meter analog. Percobaan ini menggunakan variasi beban 300 Watt berupa 3 buah lampu pijar (LP) yang mana juga masih terdapat nilai THD-v sebesar 1,71% dan nilai THD-i sebesar 1,72%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



Gambar 4.5 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 3 LP (Digital)

4.1.2.2 Beban 300 Watt (2 Buah LP + 5 Buah LHE)

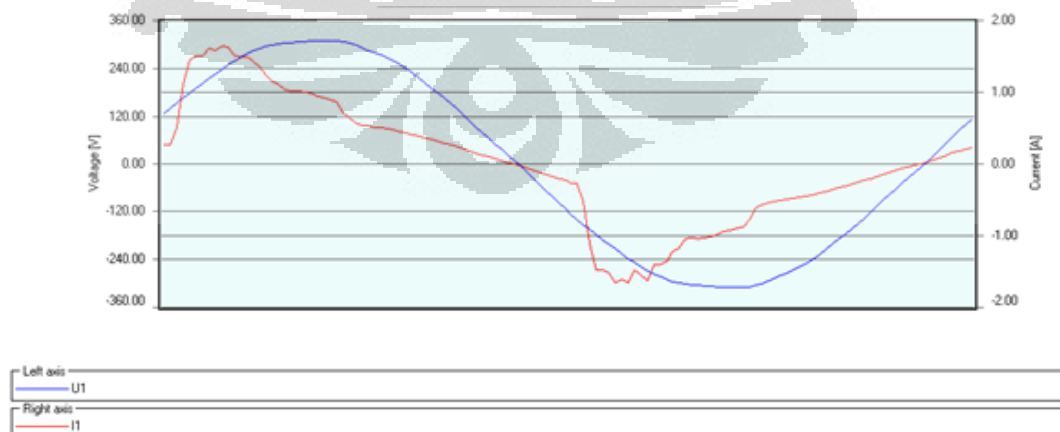
Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 2 buah lampu pijar (LP) ditambah 5 buah lampu hemat energi (LHE). Pada percobaan ini diperoleh nilai THD-v sebesar 1,57% dan nilai THD-i sebesar 15,63%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



Gambar 4.6 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 2 LP + 5 LHE (Digital)

4.1.2.3 Beban 300 Watt (1 Buah LP + 10 Buah LHE)

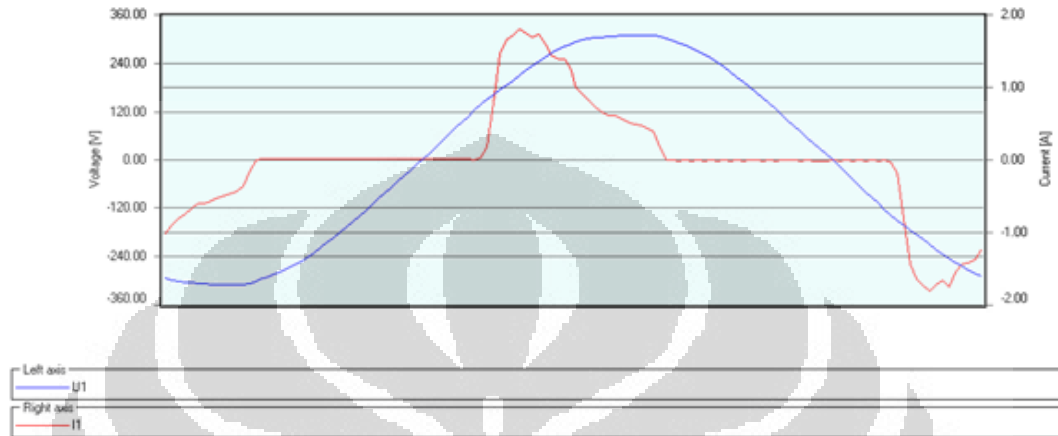
Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 1 buah lampu pijar (LP) ditambah 10 buah lampu hemat energi (LHE). Pada percobaan ini diperoleh nilai THD-v sebesar 1,60% dan nilai THD-i sebesar 39,75%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



Gambar 4.7 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 1 LP + 10 LHE (Digital)

4.1.2.4 Beban 300 Watt (15 Buah LHE)

Pada percobaan ini digunakan beban sebesar 300 Watt dengan variasi beban berupa 15 buah lampu hemat energi (LHE). Pada percobaan ini diperoleh nilai THD-v sebesar 1,61% dan nilai THD-i sebesar 81,58%. Berikut ini ialah bentuk gelombang hasil dari percobaan ini:



Gambar 4.8 Gelombang I dan V Terdistorsi pada Variasi Beban 15 LHE (Digital)

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil percobaan diperoleh suatu keterangan bahwa adanya harmonisa pada sistem kelistrikan dapat menyebabkan gelombang sinusoidal arus atau tegangan mengalami distorsi sehingga bentuk gelombang mengalami perubahan dari bentuk gelombang awalnya. Besar atau tidaknya perbedaan bentuk gelombang awal dengan gelombang yang terdistorsi tergantung dari nilai % THD nya. Semakin besar nilai %THD yang terukur maka bentuk gelombang arus/tegangan yang terdistorsi akan semakin jauh dari bentuk sinusoidal murni.

4.2.1 Pengaruh Bentuk Gelombang Terhadap Pengukuran Energi Listrik pada KWh Meter ⁷

Seperti yang telah kita ketahui bahwa sejatinya kWh meter di desain untuk menghitung daya (melalui bentuk gelombang arus dan tegangan yang masuk ke kWh tersebut) dengan bentuk gelombang yang ideal atau sinusoidal murni sehingga jika gelombang tersebut tidak lagi berbentuk sinusoidal murni maka alat

tersebut tidak akan mampu bekerja secara akurat. Suatu hal yang dapat merusak bentuk gelombang arus/tegangan tersebut ialah harmonisa. Semakin banyak harmonisa yang ditimbulkan maka semakin besar nilai %THD yang kemudian akan berimbas pada semakin buruknya bentuk gelombang yang dihasilkan. Dengan buruknya bentuk gelombang arus/tegangan akibat distorsi harmonisa maka kemungkinan besar akan terjadi kesalahan dalam pengukuran. Dengan begitu, jika alat ukur tidak bekerja secara akurat maka kemungkinan ada salah satu pihak yang akan dirugikan.

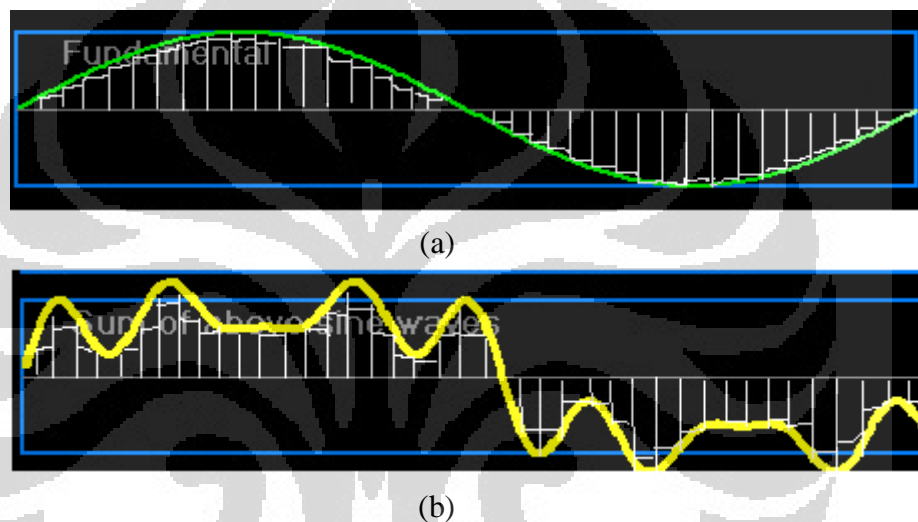
4.2.1.1 Pengaruh Bentuk Gelombang pada KWh Meter Analog

Seperti yang telah diketahui sebelumnya bahwa kWh meter analog bekerja dengan prinsip induksi. Patokan yang dijadikan sebagai perhitungan dan pengukuran daya yang terpakai adalah putaran lempeng aluminium yang menggunakan torsi putaran yang timbul akibat adanya masing-masing besaran arus dan tegangan yang masuk ke kWh meter tersebut.

Dengan melihat rumus 2.16 pada bab sebelumnya terlihat bahwa torsi sebanding dengan daya aktif ($V \cdot I \cdot \cos \phi$) yang besarnya daya aktif ini dihitung berdasarkan luas permukaan gelombang sinusoidal. Sehingga jelas bahwa jika bentuk gelombang daya aktif tidak sinusoidal maka akan mempengaruhi besarnya torsi dan torsi ini akan mengakibatkan putaran yang tidak presisi dan pada akhirnya mengakibatkan pengukuran menjadi salah dan tingkat akurasinya berkurang.

4.2.1.2 Pengaruh Bentuk Gelombang pada KWh Meter Digital

Sama halnya seperti yang terjadi pada kWh meter analog bahwa pada kWh meter digital pun akan terjadi kesalahan pengukuran jika terdapat distorsi harmonisa pada arus atau tegangannya. Pada umumnya alat ini mengandalkan kinerja dan kecanggihan dari mikrokontroller dalam proses pengukuran dan perhitungannya. Jika pada mikrokontroller hanya terdapat program yang dirancang untuk menghitung daya dengan bentuk gelombang sinusoidal murni, maka jika terjadi distorsi akibat harmonisa proses pengukuran dan perhitungan tersebut menjadi salah dan tidak akurat lagi.

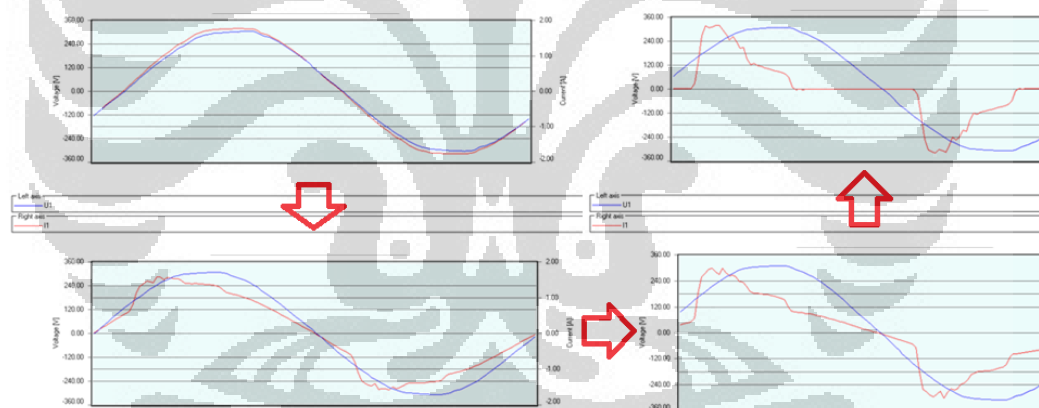


Gambar 4.9 Ilustrasi Pengukuran Secara Digital pada Gelombang Ideal (a) dan pada Gelombang Terdistorsi Akibat Harmonisa (b)

Pada gambar di atas dapat dilihat perbedaan proses pengukuran secara digital pada gelombang ideal dan gelombang terdistorsi akibat harmonisa. Alat ukur digital biasanya di desain untuk mengukur arus atau tegangan dengan bentuk gelombang ideal (a) sehingga tingkat kepresisiannya sangat baik jika masukan gelombang adalah seperti pada gambar (a). Berbeda halnya jika gelombang masukan berupa gelombang dengan bentuk terdistorsi (b) maka alat ukur tersebut akan error dan tidak dapat membaca gelombang dengan baik. Selain itu, gelombang terdistorsi yang masuk juga tidak akan sesuai dengan algoritma yang ada pada program yang ada di dalam mikrokontroller sehingga pengukuran menjadi salah.

Tingkat kepresisian dan akurasi pengukuran oleh kWh meter digital dapat dilihat dari kedua grafik diatas. Jika pada grafik (a) hampir semua luas gelombang dapat dihitung dengan mudah dan teratur sedangkan pada grafik (b) luas gelombang sulit untuk di kuantisasi, sulit untuk dihitung, serta banyak luasan yang tidak terhitung karena bentuk gelombang yang berlekuk-lekuk dan tidak beraturan. Dengan demikian kWh meter tidak mampu untuk membaca besaran nilai daya yang terpakai secara akurat dan benar.

Berdasarkan percobaan bahwa bentuk gelombang arus dan tegangan semakin menjauhi bentuk sinusoidal murni, terutama pada bentuk gelombang arus, ketika nilai % THD semakin tinggi. Dengan demikian hasil percobaan mempunyai kesamaan dan kesesuaian dengan teori yang ada, bahwa semakin besar nilai harmonisa maka akan semakin merusak bentuk gelombang dan jika semakin rusak bentuk gelombang maka akan terjadi kesalahan dalam pengukuran oleh alat ukur (dalam hal ini kWh meter).



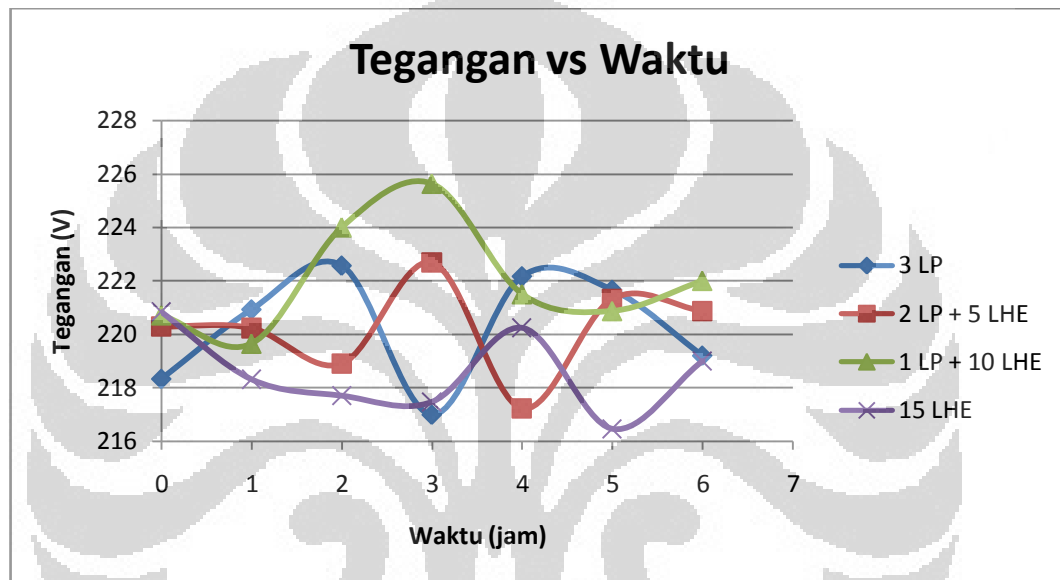
Gambar 4.10 Perubahan Bentuk Gelombang I & V Akibat Harmonisa

4.2.2 Analisis Tegangan

Tegangan merupakan salah satu parameter penting dalam pengujian ini. Hal ini dikarenakan tegangan merupakan komponen yang termasuk dalam perhitungan energi yang dilakukan oleh kWh meter. Pada pengujian yang dilakukan baik itu pada kWh meter analog maupun kWh meter digital diperoleh grafik tegangan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tegangan pada kWh Analog

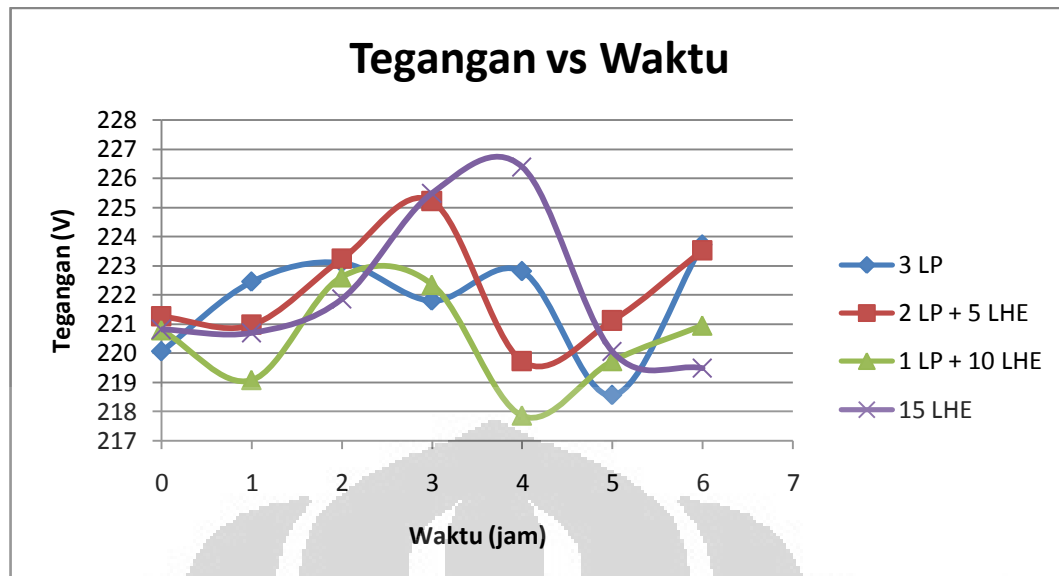
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	218.34	220.29	220.71	220.84
1	220.94	220.23	219.65	218.32
2	222.58	218.9	224	217.71
3	217	222.68	225.63	217.48
4	222.18	217.23	221.5	220.25
5	221.67	221.32	220.87	216.47
6	219.21	220.87	222	219.01



Gambar 4.11 Grafik Tegangan terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog

Tabel 4.2 Tegangan pada kWh Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	220.06	221.26	220.79	220.81
1	222.45	220.97	219.08	220.69
2	223.1	223.23	222.61	221.85
3	221.8	225.21	222.35	225.48
4	222.81	219.73	217.86	226.38
5	218.56	221.12	219.73	220.05
6	223.72	223.53	220.95	219.48



Gambar 4.12 Grafik Tegangan terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital

Pada kedua grafik tegangan terhadap waktu di atas dapat dilihat bahwa besarnya nilai tegangan cenderung berubah-ubah terhadap perubahan waktu. Idealnya tegangan diharapkan konstan di 220 Volt, namun masih terjadi fluktuasi tegangan karena sulit untuk mengendalikan besarnya tegangan yang berasal dari PLN.

Pada pengujian yang dilakukan terhadap kWh meter analog, tegangan tertinggi mencapai nilai 225,63 Volt (pada variasi beban 1 LP + 10 LHE) sedangkan tegangan terendah adalah sebesar 216,47 Volt (pada variasi beban 15 LHE). Dengan demikian range tegangan yang digunakan pada pengujian kWh meter analog ialah (220 ± 5) Volt.

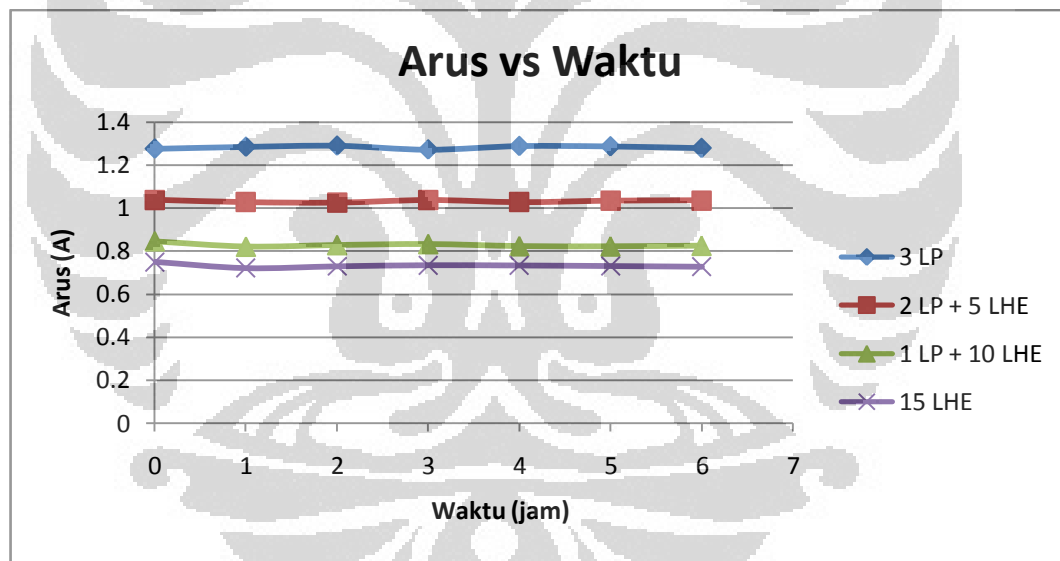
Sedangkan pada pengujian yang dilakukan terhadap kWh meter digital, tegangan tertinggi mencapai 226,38 Volt (pada variasi beban 15 LHE) dan tegangan terendah sebesar 217,86 Volt (pada variasi beban 1 LP + 10 LHE). Dengan demikian range tegangan yang digunakan pada pengujian kWh meter digital ialah (220 ± 6) Volt.

4.2.3 Analisis Arus

Pada penelitian ini, arus juga merupakan salah satu parameter terpenting yang harus dianalisis karena besar-kecilnya arus akan berpengaruh terhadap pengukuran energi oleh kWh meter. Berikut ini ialah kedua grafik arus terhadap waktu baik itu pengujian pada kWh meter analog maupun digital:

Tabel 4.3 Arus pada kWh Analog

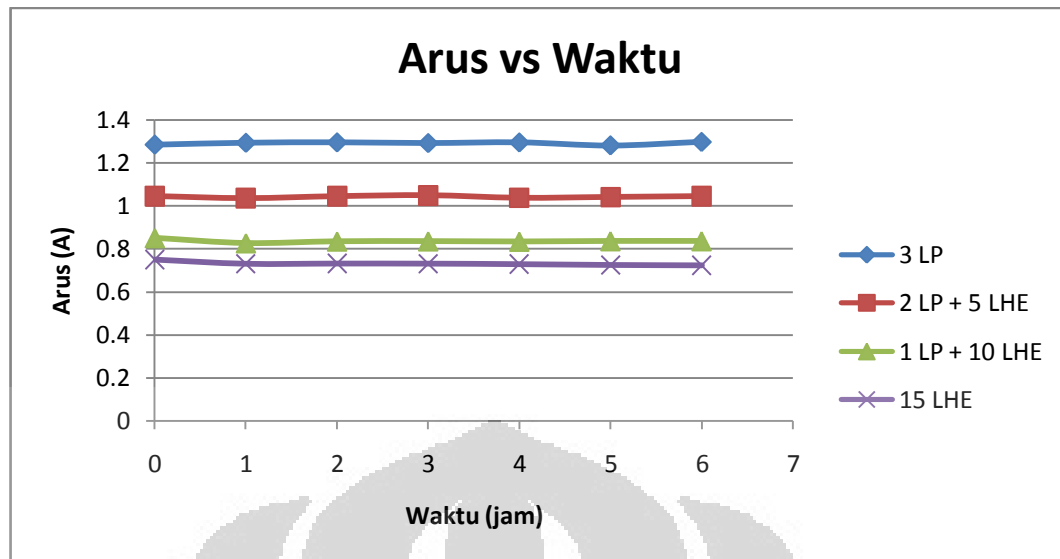
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	1.2763	1.0381	0.8468	0.7499
1	1.2849	1.0282	0.8219	0.7215
2	1.29	1.0264	0.8291	0.7295
3	1.2724	1.0369	0.8338	0.7346
4	1.2885	1.0281	0.824	0.7334
5	1.287	1.0343	0.8231	0.7309
6	1.2793	1.0361	0.8261	0.7277



Gambar 4.13 Grafik Arus terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog

Tabel 4.4 Arus pada kWh Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	1.2845	1.0454	0.8502	0.7507
1	1.293	1.0363	0.826	0.731
2	1.2949	1.0449	0.8342	0.7319
3	1.2917	1.0491	0.8349	0.7316
4	1.2947	1.0378	0.8333	0.7291
5	1.2809	1.0415	0.8356	0.7253
6	1.2971	1.0451	0.8356	0.7235



Gambar 4.14 Grafik Arus terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital

Berbeda halnya dengan grafik tegangan yang berubah-ubah terhadap waktu, pada kedua grafik arus di atas dapat dilihat bahwa arus cenderung konstan terhadap perubahan waktu. Di samping itu, arus merupakan representasi dari beban sehingga besar kecilnya arus ditentukan oleh jenis beban yang digunakan.

Pada kedua grafik arus tersebut di atas dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan beban berupa LHE maka nilai arus akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan rating arus yang digunakan untuk jenis beban LHE lebih kecil dibandingkan dengan rating arus yang digunakan pada jenis beban LP.

Namun di samping itu semua, dalam proses pengukuran energi oleh kWh meter, arus juga dipengaruhi oleh besarnya %THD yang sangat signifikan pada pemakaian beban-beban non linier sehingga pada penelitian pengukuran energi kali ini besarnya nilai energi (kWh) menjadi lebih kecil dibandingkan dengan angka hasil perhitungan.

Berdasarkan hukum Kirchoff bahwa: $I_{in} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$, tapi kenyataan setelah dilakukan percobaan bahwa besarnya arus yang masuk tidak sama dengan besarnya penjumlahan arus yang terukur pada masing-masing beban ($I_{in} \neq I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$). Hal ini tentu saja diperkirakan akibat adanya pengaruh harmonisa yang direpresentasikan dengan semakin besarnya nilai %THD.

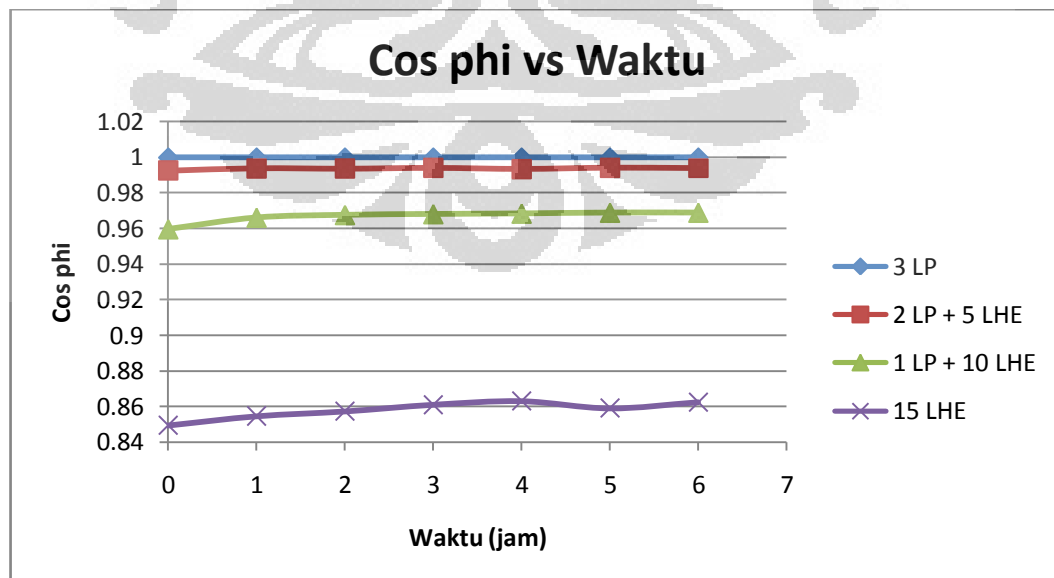
Sebagai contoh kita tinjau bahwa setelah diukur sebuah lampu pijar mempunyai arus yang terukur sebesar 0,44 Ampere dan sebuah lampu hemat energi mempunyai arus yang terukur sebesar 0,049 Ampere. Berdasarkan perhitungan pada percobaan 2 LP + 5 LHE maka $I_{in} = 2 (0,44 \text{ A}) + 5 (0,049 \text{ A}) = 1,125 \text{ Ampere}$, tapi pada tabel 4.3 dan 4.4 nilai arus rata-rata bernilai 1,0...; yang berarti bahwa terdapat perbedaan nilai arus dan penyimpangan ini dipengaruhi oleh adanya harmonisa.

4.2.4 Analisis Faktor Daya

Karena dalam pengujian diukur nilai daya aktif maka faktor daya menjadi penting dalam proses analisis data. Berikut ini ialah grafik faktor daya hasil pengujian baik itu pada pengujian kWh meter analog maupun digital:

Tabel 4.5 Faktor Daya pada kWh Analog

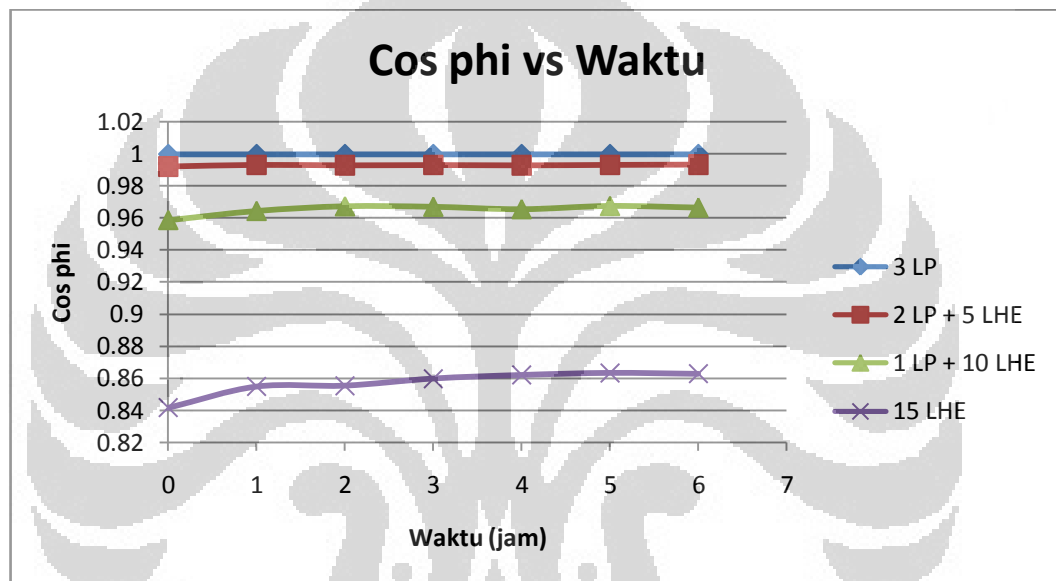
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.9997	0.9924	0.9594	0.8494
1	0.9997	0.9936	0.9659	0.8545
2	0.9997	0.9934	0.9674	0.8572
3	0.9997	0.9938	0.9679	0.8609
4	0.9997	0.9933	0.9682	0.8629
5	0.9997	0.9939	0.9687	0.8589
6	0.9997	0.9937	0.9687	0.8623



Gambar 4.15 Grafik Cos phi terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog

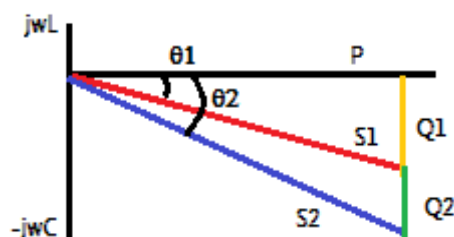
Tabel 4.6 Faktor Daya pada kWh Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.9997	0.992	0.9585	0.8416
1	0.9997	0.9931	0.9642	0.8548
2	0.9997	0.9928	0.9671	0.8554
3	0.9997	0.993	0.9668	0.8598
4	0.9997	0.9928	0.9653	0.862
5	0.9997	0.9931	0.9673	0.8633
6	0.9997	0.9933	0.9663	0.8627



Gambar 4.16 Grafik Cos phi terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital

Pada kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak penggunaan beban non linier (LHE) maka nilai faktor daya akan semakin menurun. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai faktor daya pada pengujian maka berikut ini penjelasannya:



Gambar 4.17 Diagram Segitiga Daya (P, Q, S) dan PF

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh bahwa semakin banyak LHE yang digunakan maka diperoleh VAR (daya reaktif) yang semakin negatif, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa LHE termasuk ke dalam jenis beban kapasitif. Gambar di atas merupakan grafik segitiga daya untuk menjelaskan fenomena yang terjadi selama percobaan berlangsung.

Dari grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa sudut θ_1 pada variasi beban 3 LP lebih kecil daripada sudut θ_2 pada variasi 15 LP, sehingga faktor daya pada variasi beban 3 LP mempunyai nilai yang lebih besar. Seperti yang telah diketahui bersama bahwa menurunnya nilai faktor daya akan sangat merugikan pihak produsen, sehingga dengan semakin banyaknya konsumen yang menggunakan beban non linier (LHE) tanpa diimbangi dengan penggunaan beban induktif maka nilai $\cos \phi$ akan cenderung menurun.

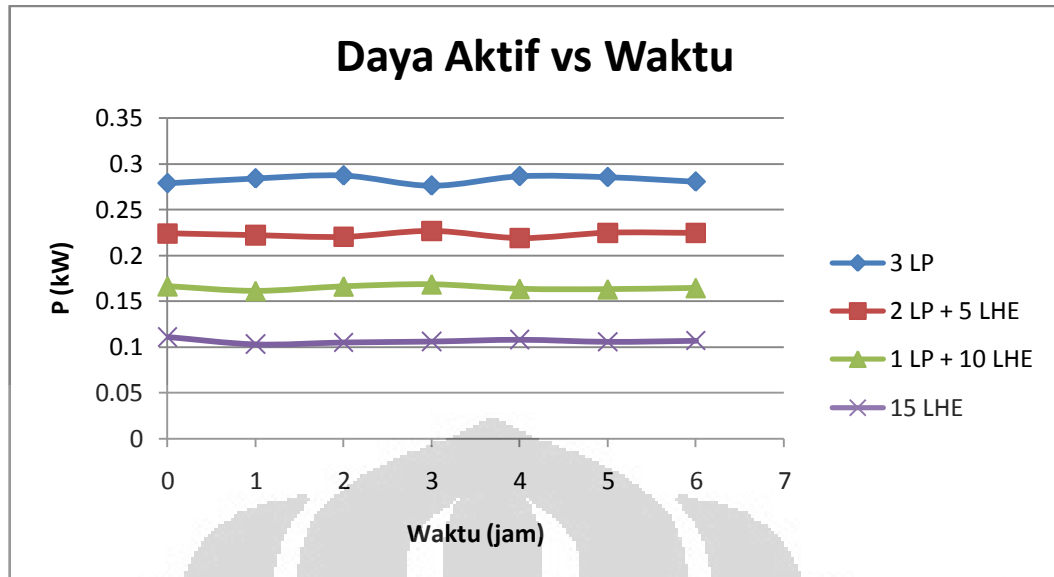
Dalam hal ini dampaknya terhadap pengukuran oleh kWh meter ialah semakin induktif atau semakin kapasitif beban, maka nilai faktor daya akan menurun dan pengukuran daya aktif oleh kWh meter akan semakin berkurang karena bertambahnya nilai daya reaktif.

4.2.5 Analisis Daya Aktif (Watt)

Berikut ini ialah grafik hasil pengukuran daya aktif pada masing-masing percobaan:

Tabel 4.7 Daya Aktif pada kWh Analog

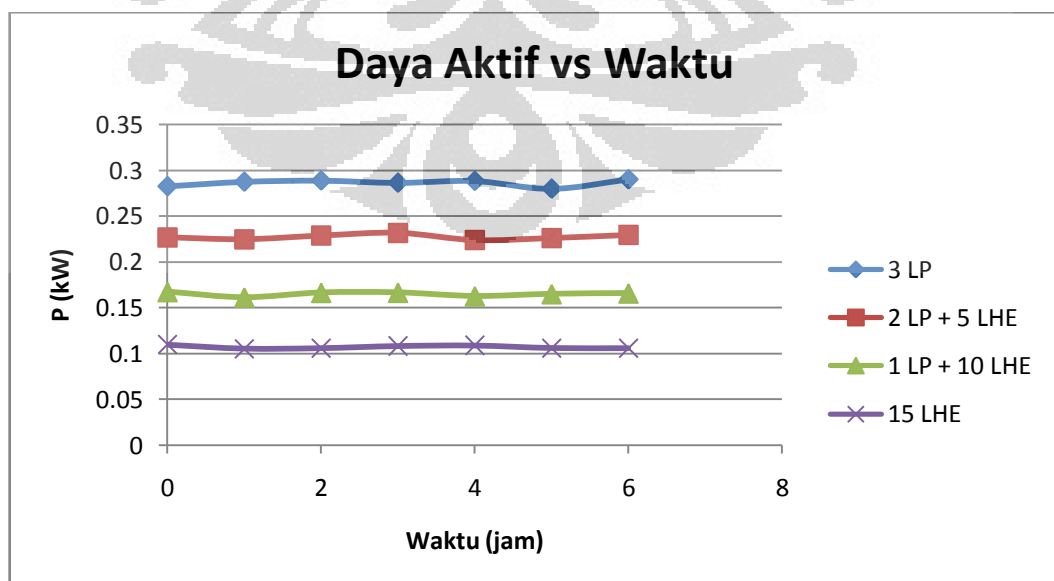
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.2786	0.2242	0.1665	0.111
1	0.2838	0.2222	0.1613	0.1031
2	0.287	0.2204	0.1663	0.1051
3	0.276	0.2267	0.1686	0.1061
4	0.2862	0.2191	0.1636	0.108
5	0.2852	0.2248	0.1632	0.1058
6	0.2803	0.2246	0.1646	0.1069



Gambar 4.18 Grafik Daya Aktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog

Tabel 4.8 Daya Aktif pada kWh Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.2826	0.2267	0.1672	0.1098
1	0.2875	0.2246	0.1613	0.1052
2	0.2888	0.2286	0.1663	0.1057
3	0.2864	0.2317	0.1664	0.1082
4	0.2884	0.2236	0.1626	0.1088
5	0.2799	0.2259	0.1649	0.1059
6	0.2901	0.2293	0.1657	0.1057



Gambar 4.19 Grafik Daya Aktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital

Daya aktif merupakan daya yang diukur oleh kWh meter dan merupakan daya yang diperjualbelikan antara produsen dan konsumen pada umumnya. Dari kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak penggunaan LHE maka daya aktif yang terukur akan semakin kecil. Menurut hasil analisis percobaan, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya:

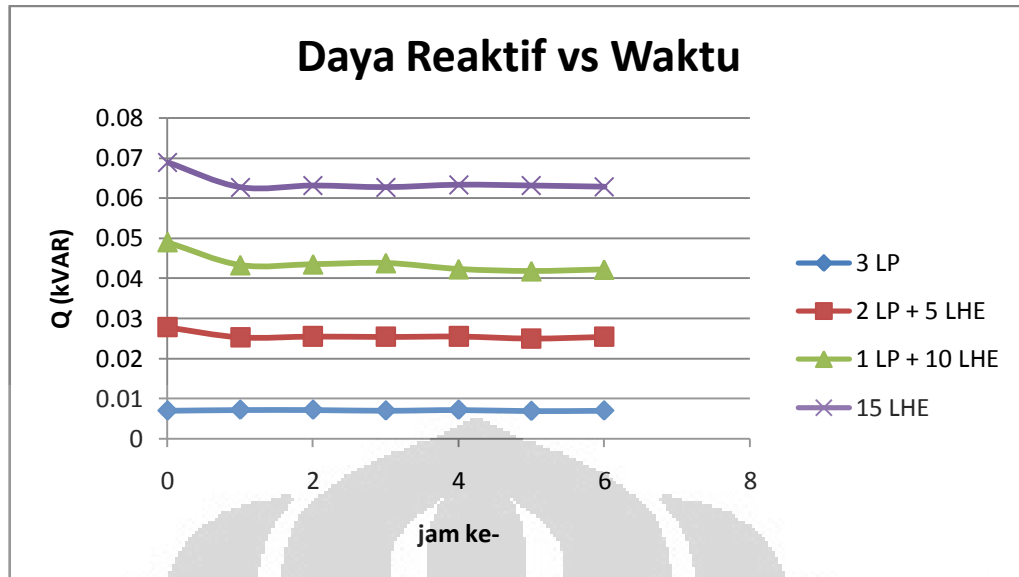
1. Sifat LHE yang memang mempunyai sifat “hemat energi” sehingga penggunaan daya aktif oleh beban jenis ini lebih rendah.
2. Sifat LHE yang kapasitif sehingga menyebabkan arus yang digunakan lebih kecil dan hal ini yang menyebabkan hemat energi.
3. Nilai $\cos \phi$ yang semakin kecil. Pada percobaan ini, karena tidak adanya beban induktif yang digunakan maka semakin banyak beban kapasitif (LHE) yang digunakan maka akan semakin memperkecil nilai $\cos \phi$.
4. Adanya distorsi harmonik. Selain ketiga hal di atas, harmonik juga merupakan hal yang menyebabkan mengapa pengukuran daya aktif semakin berkurang pada kWh meter. Hal ini dapat dilihat pada tabel lampiran bahwa nilai total distorsi harmonik (terutama THD-arus) yang mencapai lebih dari 80% yang tentu saja akan berpengaruh secara signifikan pada pengukuran oleh kWh meter.

4.2.6 Analisis Daya Reaktif (VAR)

Berikut ini merupakan grafik hasil percobaan yang menunjukkan hubungan antara daya reaktif terhadap waktu:

Tabel 4.9 Daya Reaktif pada kWh Analog

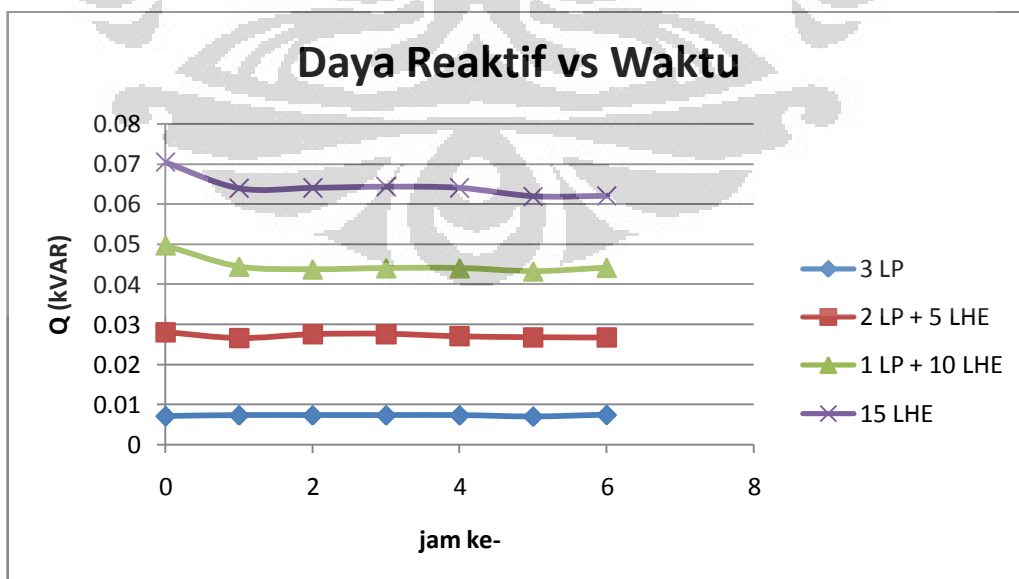
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.007	0.0278	0.049	0.0689
1	0.0072	0.0253	0.0433	0.0627
2	0.0072	0.0255	0.0435	0.0631
3	0.007	0.0254	0.0438	0.0627
4	0.0072	0.0255	0.0423	0.0633
5	0.0069	0.025	0.0418	0.0631
6	0.007	0.0254	0.0422	0.0628



Gambar 4.20 Grafik Daya Reaktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog

Tabel 4.10 Daya Reaktif pada kWh Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.0071	0.028	0.0497	0.0704
1	0.0073	0.0266	0.0444	0.0639
2	0.0073	0.0275	0.0437	0.064
3	0.0073	0.0276	0.044	0.0643
4	0.0073	0.027	0.044	0.064
5	0.007	0.0268	0.0432	0.0619
6	0.0074	0.0267	0.0441	0.062



Gambar 4.21 Grafik Daya Reaktif terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, berdasarkan hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan semakin banyaknya penggunaan LHE maka akan menyebabkan nilai VAR (daya reaktif) yang semakin besar. Selain itu, karena daya reaktif pada data tersebut bernilai negatif, maka LHE diketahui sebagai beban kapasitif.

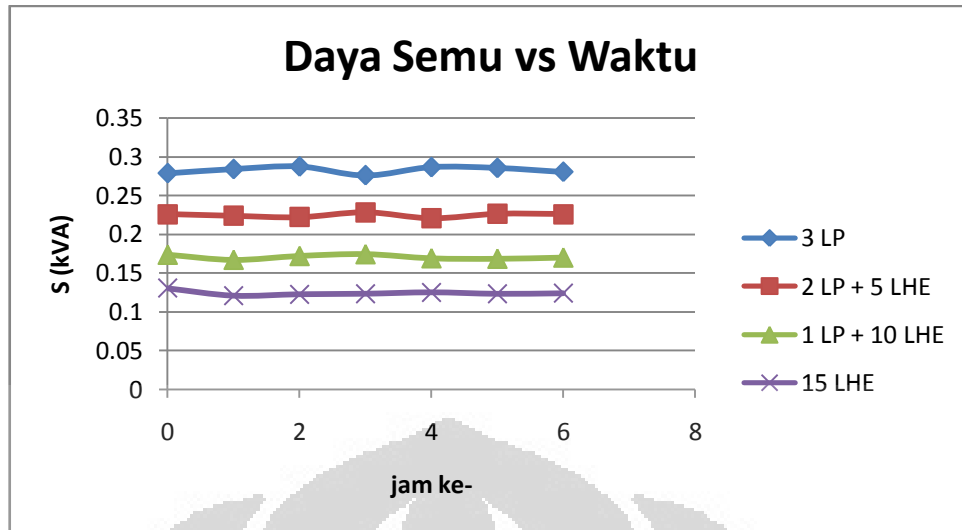
Berdasarkan teori yang ada menyatakan bahwa semakin kapasitif atau semakin induktif beban maka nilai daya reaktif akan semakin besar serta tentunya akan mempengaruhi besar kecilnya nilai faktor daya. Jika nilai faktor daya semakin rendah maka produsen berhak untuk menetapkan biaya daya reaktif untuk dibayar oleh konsumen, seperti yang terjadi pada beban-beban yang ada pada industri.

4.2.7 Analisis Daya Semu (VA)

Daya semu (S) dalam satuan VA merupakan daya yang dikirim dari perusahaan listrik. Berikut ini keterangan dan grafik daya semu hasil percobaan:

Tabel 4.11 Daya Semu pada kWh Analog

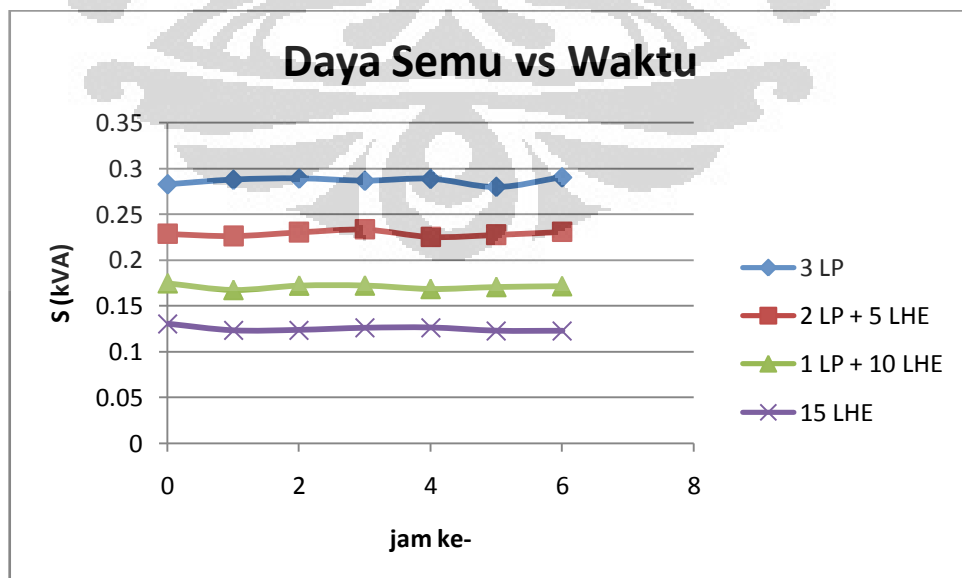
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.2787	0.2259	0.1735	0.1306
1	0.2839	0.2237	0.167	0.1207
2	0.2871	0.2219	0.1719	0.1226
3	0.2761	0.2281	0.1742	0.1233
4	0.2863	0.2206	0.169	0.1252
5	0.2853	0.2262	0.1684	0.1232
6	0.2804	0.226	0.1699	0.1239



Gambar 4.22 Grafik Daya Semu terhadap Perubahan Waktu pada kWh Analog

Tabel 4.12 Daya Semu pada kWh Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0.2827	0.2285	0.1745	0.1304
1	0.2876	0.2262	0.1673	0.1231
2	0.2889	0.2303	0.172	0.1236
3	0.2865	0.2334	0.1721	0.1259
4	0.2885	0.2252	0.1684	0.1262
5	0.2799	0.2275	0.1705	0.1227
6	0.2902	0.2308	0.1714	0.1226



Gambar 4.23 Grafik Daya Semu terhadap Perubahan Waktu pada kWh Digital

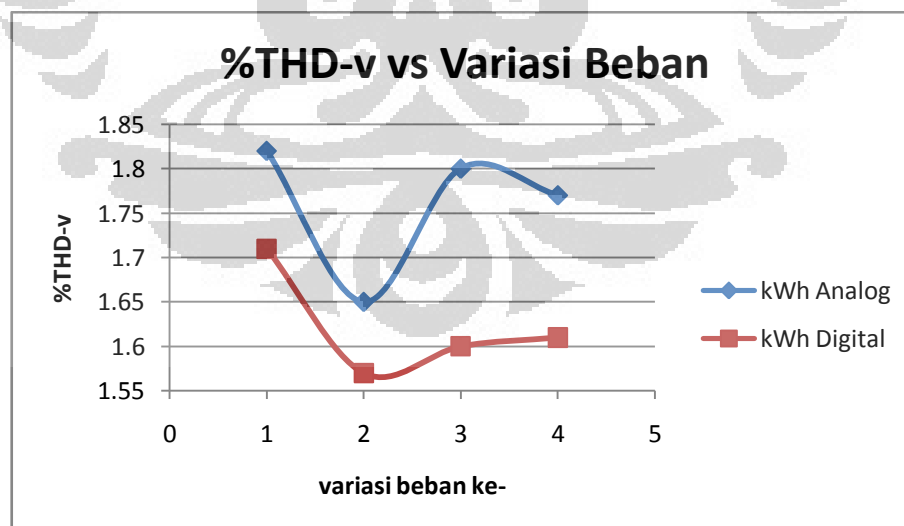
Dari data di atas dapat dilihat bahwa besarnya daya semu mengikuti besarnya nilai daya aktif, daya reaktif serta faktor daya. Dari hasil percobaan diperoleh keterangan bahwa semakin banyak menggunakan beban LHE maka semakin kecil daya semu yang digunakan. Hal ini dikarenakan daya aktif (Watt) yang digunakan akan semakin berkurang jika semakin banyak LHE yang digunakan.

4.2.8 Analisis (%) THD-v dan (%) THD-i

Berikut ini grafik hasil percobaan yang menunjukkan %THD-v dan %THD-i terhadap perubahan variasi beban:

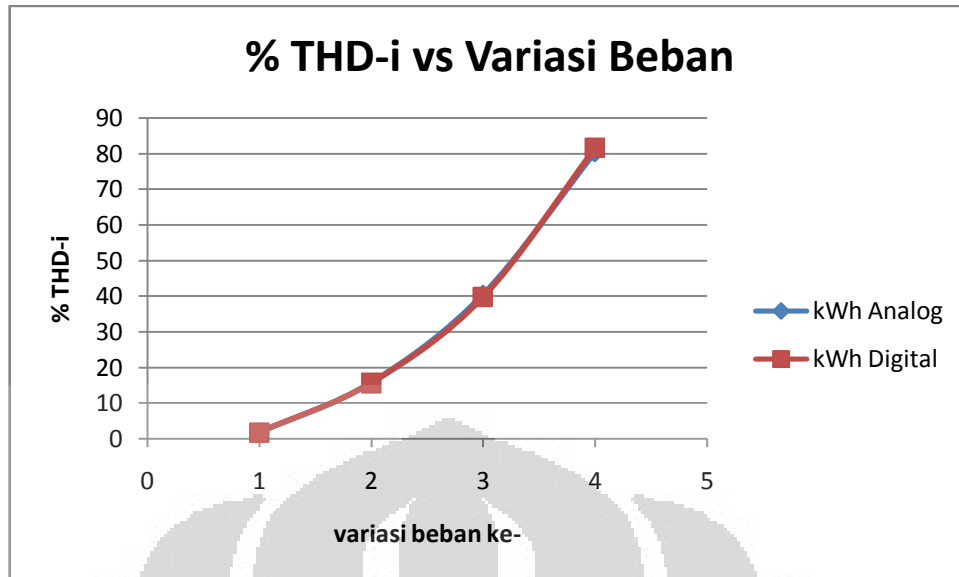
Tabel 4.13 Nilai %THD-v dan %THD-i Hasil Pengujian ⁴

	Beban	kWh Analog	kWh Digital
% THD-v	3 LP	1.82 %	1.71 %
	2 LP + 5 LHE	1.65 %	1.57 %
	1 LP + 10 LHE	1.8 %	1.6 %
	15 LHE	1.77 %	1.61 %
% THD-i	3 LP	1.77 %	1.72 %
	2 LP + 5 LHE	15.69 %	15.63 %
	1 LP + 10 LHE	40.4 %	39.75 %
	15 LHE	80.39 %	81.58 %



Gambar 4.24 Grafik %THD-v terhadap Perubahan Variasi Beban

⁴ semua nilai %THD-v dan %THD-i ini diperoleh dari hasil pengujian yang ada pada halaman lampiran dengan ditandai (↗)



Gambar 4.25 Grafik %THD-i terhadap Perubahan Variasi Beban

Berdasarkan kedua grafik THD di atas dapat dilihat bahwa nilai %THD tegangan tidak begitu signifikan dibandingkan dengan nilai %THD arus yang besarnya bisa mencapai $> 80\%$. Hal ini dikarenakan bahwa harmonisa biasanya disebabkan oleh jenis beban non linier, dan semua beban termasuk beban non linier direpresentasikan oleh arus, sehingga jelas harmonisa (%THD) pada arus mempunyai nilai yang signifikan dibandingkan dengan harmonisa (%THD) yang ada pada tegangan.

Pada grafik %THD tegangan dapat kita lihat bahwa nilai %THD-v paling tinggi yaitu pada variasi beban ke-1 (3 buah LP) dan %THD-v paling rendah yaitu pada variasi beban ke-2 (2 LP + 5 LHE) sedangkan pada grafik %THD arus, nilai %THD-i paling rendah yaitu pada variasi beban ke-1 (3 buah LP) dan %THD-i paling tinggi yaitu pada variasi beban ke-4 (15 buah LHE).

4.2.9 Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Proses Pengukuran oleh KWh Meter

Harmonisa pada sistem tenaga listrik dianggap dapat menyebabkan kesalahan pada pengukuran energi listrik yang di pakai pada sisi beban/konsumen. Penelitian ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kebenaran dari pernyataan (hipotesa) tersebut. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, pada penelitian ini digunakan beban sebesar 300 Watt dan

pengukuran dilakukan selama 6 jam. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung berapa besarnya energi yang digunakan dengan menggunakan persamaan:

$$W = P \times t$$

$$W = 300 \text{ Watt} \times 6 \text{ hours}$$

$$W = 1800 \text{ Wh}$$

$$W = 1.8 \text{ kWh}$$

Dimana:

W = Energi listrik yang terpakai (Wh)

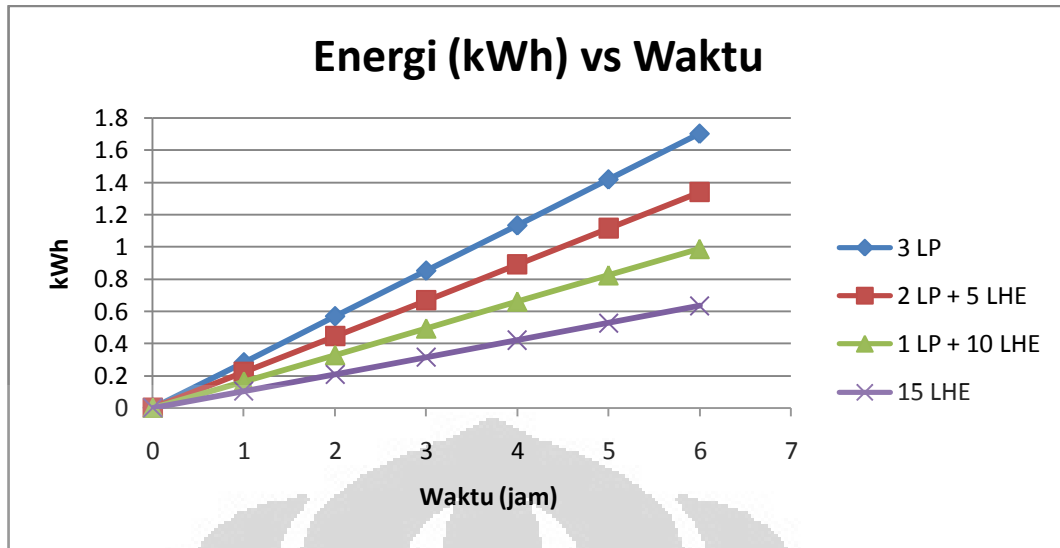
P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (jam atau hours)

Selain itu, hasil pengukuran energi menunjukkan nilai yang bervariasi seperti yang tergambar pada kedua grafik berikut ini:

Tabel 4.14 Besarnya Energi yang Terukur pada kWh Analog

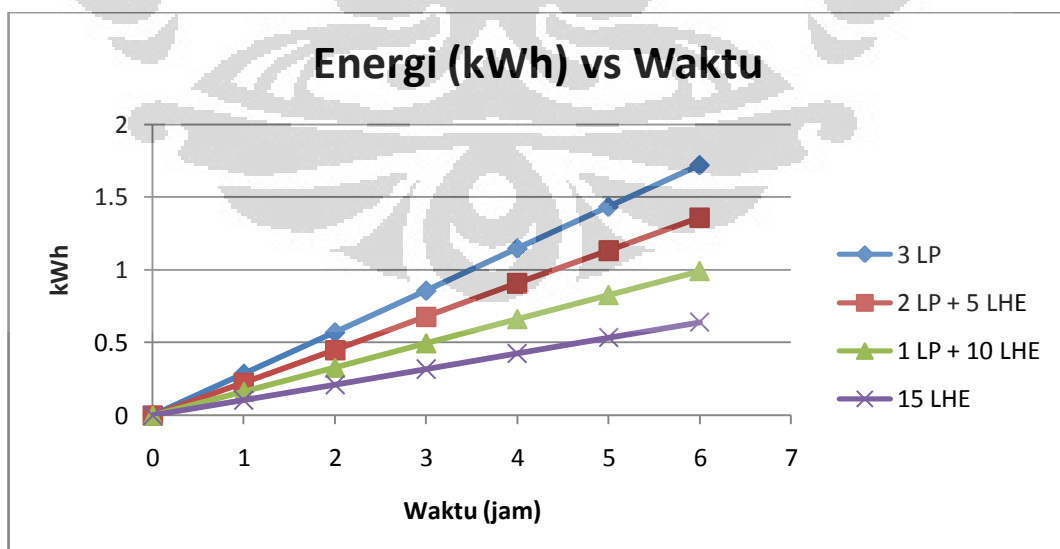
Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0	0	0	0
1	0.28184	0.22246	0.16333	0.10406
2	0.56842	0.44406	0.32734	0.20835
3	0.85172	0.66617	0.49319	0.31421
4	1.13323	0.89018	0.66067	0.421
5	1.41869	1.11458	0.82424	0.52829
6	1.70298	1.33886	0.98788	0.63441



Gambar 4.26 Grafik Energi (kWh) vs Waktu pada Pengujian kWh meter Analog

Tabel 4.15 Besarnya Energi yang Terukur pada kWh meter Digital

Waktu (jam)	3 LP	2 LP + 5 LHE	1 LP + 10 LHE	15 LHE
0	0	0	0	0
1	0.28574	0.22412	0.16309	0.10467
2	0.57125	0.44962	0.32881	0.21042
3	0.85771	0.67979	0.49646	0.31781
4	1.14821	0.90931	0.66265	0.42642
5	1.43484	1.13367	0.82767	0.53405
6	1.72075	1.36039	0.99246	0.63982



Gambar 4.27 Energi (kWh) vs Waktu pada Pengujian kWh meter Digital

Pada kedua grafik energi vs waktu di atas dapat dilihat bahwa pengukuran energi pada semua variasi beban akan semakin bertambah sesuai dengan lamanya waktu yang diterapkan. Hanya saja grafik pengukuran energi dari masing-masing variasi beban di atas mempunyai tingkat kemiringan (gradien) dan hasil akhir pengukuran yang berbeda-beda. Sebagai contoh, pada variasi beban 15 LHE mempunyai tingkat perubahan energi (kWh) yang paling kecil sedangkan pada variasi beban 3 LP mempunyai tingkat perubahan energi (kWh) paling besar. Sehingga tentu saja hasil akhir pengukuran pada variasi beban 3 LP akan menunjukkan nilai kWh yang paling tinggi. Hal ini dapat dilihat pada hasil percobaan yang menunjukkan bahwa pada jam ke-6 energi yang terukur pada 15 LHE hanya sekitar 0,6 kWh sedangkan pada 3 LP sebesar 1,7 kWh.

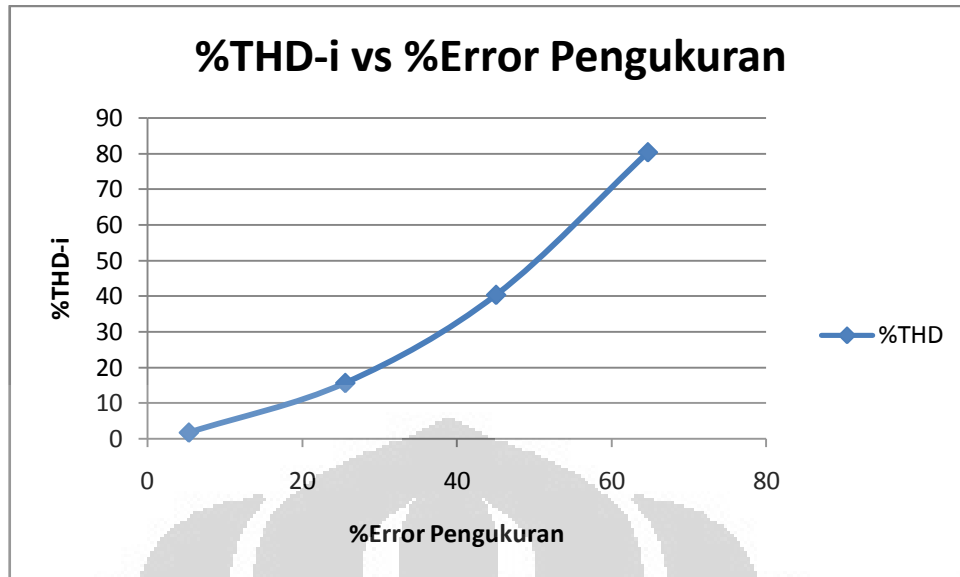
Perbedaan data dan variasi antara hasil perhitungan dan hasil pengujian mengindikasikan bahwa sebenarnya terdapat beberapa kesalahan/error dalam proses pengukuran energi oleh kWh meter. Dari paparan sebelumnya dapat dipastikan bahwa kandungan %THD pada arus dan tegangan dianggap mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap kesalahan pada alat ukur kWh meter.

Dengan semakin banyaknya digunakan beban non linier (LHE) maka akan semakin besar nilai %THD dan semakin besar nilai kesalahan antara perhitungan dan pengujian. Kesalahan antara nilai perhitungan dan pengujian tersebut mengindikasikan bahwa terjadi kesalahan pengukuran oleh kWh meter. Dengan kata lain kWh meter menjadi tidak akurat dan presisi ketika gelombang input telah terdistorsi oleh adanya harmonisa (yang diwakili oleh nilai %THD). Berikut ini hasil perhitungan nilai kesalahan dari masing-masing percobaan:

- Pada pengujian kWh Analog

Tabel 4.16 %THD-i Terhadap Besarnya Kesalahan (kWh Analog)

% THD-i	Pengujian (kWh)	Perhitungan (kWh)	% Kesalahan
1.77	1.70298	1.8	5.39
15.69	1.33886	1.8	25.62
40.40	0.98788	1.8	45.12
80.39	0.63441	1.8	64.75

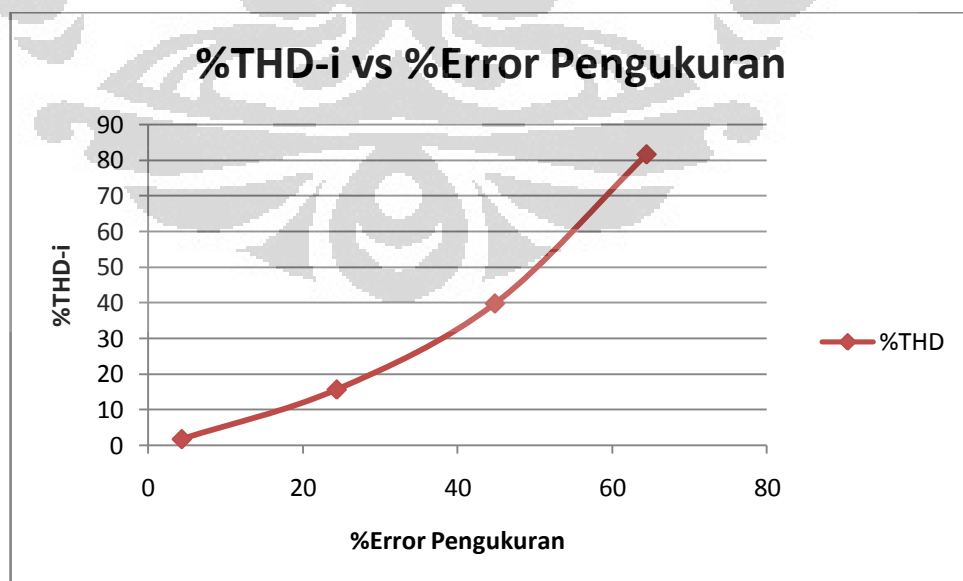


Gambar 4.28 Grafik %THD-i vs Error

- Pada pengujian kWh Digital

Tabel 4.17 %THD-i Terhadap Besarnya Kesalahan (kWh Digital)

% THD-i	Pengujian (kWh)	Perhitungan (kWh)	% Kesalahan
1.72	1.72075	1.8	4.4
15.63	1.36039	1.8	24.42
39.75	0.99246	1.8	44.86
81.58	0.63982	1.8	64.45



Gambar 4.29 Grafik %THD-i vs Error

Berdasarkan kedua grafik di atas, dapat dikatakan bahwa semakin banyaknya beban non linier yang menimbulkan harmonisa dan mengakibatkan semakin besarnya nilai %THD maka pengukuran oleh kWh meter sebagai suatu alat transaksi tenaga listrik akan mengurangi tingkat ketelitian dalam proses pengukuran. Dengan begitu, jika terjadi hal yang demikian maka dapat dipastikan Perusahaan Listrik akan mengalami kerugian.

Memang menjadi suatu dilema ketika LHE dianggap sebagai inovasi untuk kegiatan penghematan energi, tapi di sisi lain LHE menimbulkan harmonisa yang dampak buruknya dapat menyebabkan kerugian yang lebih parah, seperti yang dibahas pada penelitian ini, yaitu kerugian perusahaan listrik karena kesalahan pengukuran serta akumulasi dari adanya harmonisa yang dapat merusak peralatan kelistrikan lainnya, misalnya *overheating* dan *derating* pada trafo.

Sebagai informasi tambahan bahwa kesalahan dalam pengukuran oleh kWh meter sebagai alat ukur transaksi tenaga listrik ini dapat menimbulkan beberapa masalah yang antara lain:

- Penurunan kinerja serta kerusakan pada peralatan; Hal ini terjadi akibat adanya panas pada peralatan yang ditimbulkan oleh harmonisa. Selain itu hal ini mungkin terjadi akibat adanya ketidaksesuaian proses bekerja suatu alat sesuai dengan ketentuannya, contohnya trafo CT dan PT yang dipaksa bekerja tidak semestinya karena adanya harmonisa.
- Kerugian yang terjadi pada pihak produsen (contoh: PLN) akibat adanya kesalahan pengukuran daya yang lebih kecil daripada daya yang sebenarnya terpakai oleh konsumen. Hal ini terjadi bilamana gelombang terdistorsi mempunyai luasan lebih kecil daripada gelombang sinusoidalnya.
- Kerugian pada pihak konsumen jika pengukuran daya yang dipakai ternyata lebih besar daripada daya yang sebenarnya terpakai oleh konsumen tersebut. Hal ini terjadi bilamana gelombang terdistorsi mempunyai luasan lebih besar daripada gelombang sinusoidalnya.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

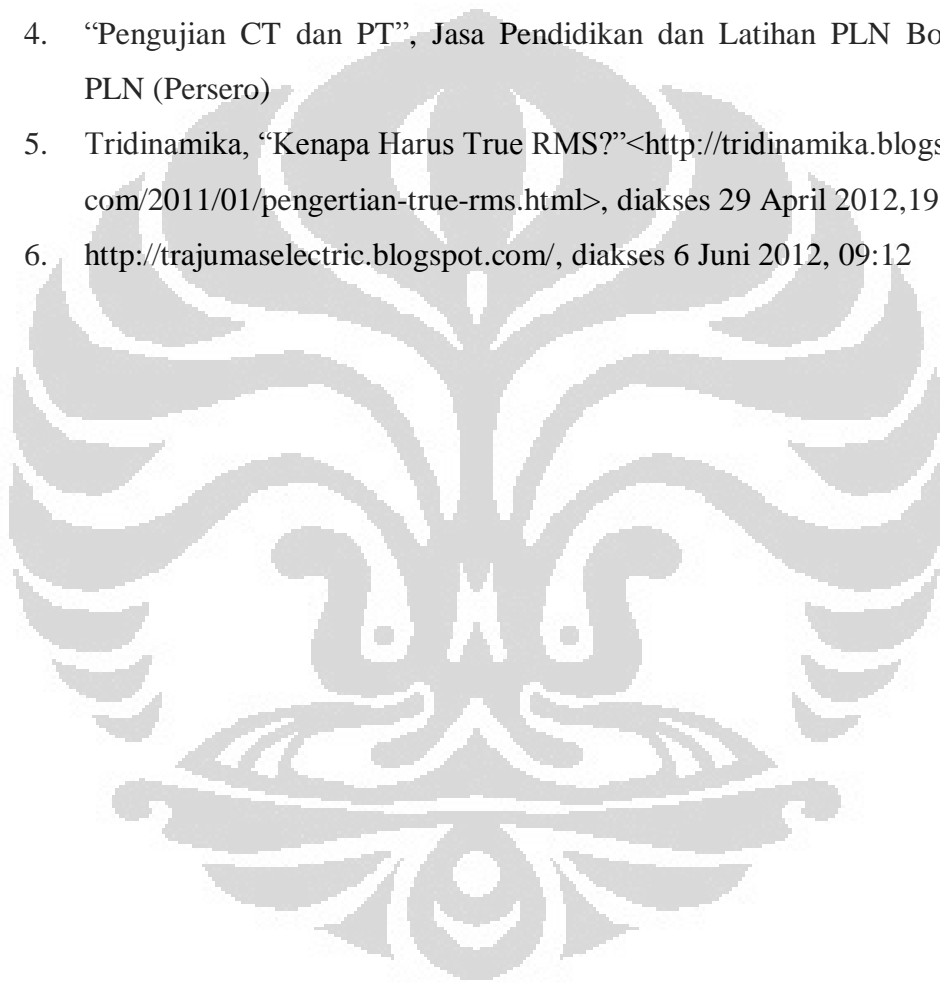
1. Kinerja kWh meter dipengaruhi oleh bentuk gelombang masukan baik itu gelombang arus dan gelombang tegangannya sehingga jika bentuk gelombang mengalami distorsi maka akan terjadi kesalahan dalam proses pengukuran.
2. Besarnya kesalahan berupa penyimpangan pengukuran energi oleh kWh meter analog dan digital dipengaruhi oleh komponen harmonik dalam sistem tersebut. Berdasarkan pengujian, semakin besar % THD maka akan semakin besar nilai penyimpangan dalam pengukuran. Sebagai contoh dengan nilai %THD-i sebesar 1,77% hanya mengakibatkan kesalahan sebesar 5,39 %, sedangkan %THD-i sebesar 80,39% mengakibatkan kesalahan sebesar 64,75% (Tabel 4.16).
3. Semakin banyak beban jenis LHE yang digunakan pada pengujian maka besarnya energi listrik cenderung menjadi lebih kecil karena sifat LHE yang menggunakan daya aktif lebih rendah dibanding LP serta diperburuk oleh adanya distorsi harmonisa arus yang mencapai lebih dari 80%.
4. Setelah dilakukan penelitian ini dapat diketahui bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara kinerja kWh analog maupun digital dalam hal pengukuran energi listrik yang terdapat harmonisa di dalamnya.

DAFTAR ACUAN

- [1]. Alamsyah, Reza Perkasa, “Analisis Pengaruh Beban Harmonisa (Lampu Hemat Energi) Terhadap Konduktor”, Skripsi UI
- [2]. Amirudin, Arief, “Sistem Hardware KWh Meter Prabayar”, Laporan KP, Unikom Bandung 2009
- [3]. Boromeus S.W., “Analisis Perbandingan Pembacaan KWH Meter Analog dengan KWH Meter Digital pada Ketidakseimbangan Beban”, Skripsi UI 2008
- [4]. Dugan, Roger C., et al., “Electrical Power System Quality, Second Edition”, McGraw-Hill, 2004.
- [5]. Koswara, Indra Firmansyah, “Analisis Pengaruh Harmonik Pada Transformator Daya di Industri Semen”, Skripsi, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [6]. Kurnaen, Jemjem, et al., “Pengaruh Harmonik pada Rugi-Rugi Daya Sistem Tenaga Listrik”, PT. PLN P3B Jawa Bali
- [7]. Kurniawan, Irfan, “Studi Pengaruh harmonisa terhadap Kinerja KWh meter sebagai alat Pengukuran Transaksi Tenaga Listrik”, Depok: Buku Seminar DTE FT UI 2011
- [8]. Modul Pengukuran: Pengoperasian Alat Ukur Listrik
- [9]. Nurhidayat, Eka, “Pengaruh Temperatur Lingkungan Kerja dan Harmonisa Terhadap Kinerja Transformator Arus”, Skripsi UI 2010
- [10]. Sujatmiko, Agung, “Pengaruh Harmonisa Terhadap Kinerja Transformator Arus”, DTE UI 2010
- [11]. Tobing, Cristof N.H., “Pengaruh Harmonik Pada Transformtor Distribusi”, Univeristas Indonesia 2008

DAFTAR PUSTAKA

1. Dugan, Roger C., et al., *Electrical Power System Quality, Second Edition*, McGraw-Hill, 2004.
2. N. Mohan, T. Undeland and W. Robbin, *Power Electronics: Converter, Applications, and Design*, New York: Willey, 2003, Hlm.486
3. Setiawan, Awan, “Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik”, *Jurnal Eltek* volume 5 Nomor 2, Oktober 2007
4. “Pengujian CT dan PT”, *Jasa Pendidikan dan Latihan PLN Bogor, PT PLN (Persero)*
5. Tridinamika, “Kenapa Harus True RMS?” <<http://tridinamika.blogspot.com/2011/01/pengertian-true-rms.html>>, diakses 29 April 2012, 19:17
6. <http://trajumaselectric.blogspot.com/>, diakses 6 Juni 2012, 09:12



LAMPIRAN

A. Lampiran Data kWh Meter Analog

A.1 Data Hasil Percobaan dengan Variasi Beban 3 LP

Tabel 1.1 Data Ringkasan Percobaan

I1.CSV Measurement period 3/9/2012 10:24:50 - 3/9/2012 16:24:50 Display period 3/9/2012 10:24:50 - 3/9/2012 16:24:50 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour								
Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value I1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I1.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , I1.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , I1.CSV[kW]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , I1.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , I1.CSV[kVA]	WP+: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , I1.CSV[kWh]
Average value		220.27	1.2826	-0.9997	0.2824	-0.0071	0.2825	
Maximum value		222.58	1.2900	-0.9997	0.2870	-0.0069	0.2871	
Time of maximum value		3/9/2012 12:24:50	3/9/2012 12:24:50	3/9/2012 10:24:50	3/9/2012 12:24:50	3/9/2012 15:24:50	3/9/2012 12:24:50	
Minimum value		217.00	1.2724	-0.9997	0.2760	-0.0072	0.2761	
Time of minimum value		3/9/2012 13:24:50	3/9/2012 13:24:50	3/9/2012 10:24:50	3/9/2012 13:24:50	3/9/2012 11:24:50	3/9/2012 13:24:50	
3/9/2012	10:24:50	218.34	1.2763	-0.9997	0.2786	-0.0070	0.2787	0.00000
	11:24:50	220.94	1.2849	-0.9997	0.2838	-0.0072	0.2839	0.28184
	12:24:50	222.58	1.2900	-0.9997	0.2870	-0.0072	0.2871	0.56842
	13:24:50	217.00	1.2724	-0.9997	0.2760	-0.0070	0.2761	0.85172
	14:24:50	222.18	1.2885	-0.9997	0.2862	-0.0072	0.2863	1.13323
	15:24:50	221.67	1.2870	-0.9997	0.2852	-0.0069	0.2853	1.41869
	16:24:50	219.21	1.2793	-0.9997	0.2803	-0.0070	0.2804	1.70298

Tabel 1.2 Data Harmonik Tegangan

I1.CSV Measurement period 3/9/2012 10:24:50 - 3/9/2012 16:24:50 Display period 3/9/2012 16:24:50 Measurement interval 1 Minute LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value , I1.CSV[V]							
Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	219.17	100.00	0.00	21	0.43	0.20	-9.45
2	0.18	0.08	-14.60	22	0.05	0.02	51.17
3	0.93	0.43	88.58	23	0.40	0.18	106.49
4	0.06	0.03	-79.34	24	0.02	0.01	-30.32
5	2.98	1.36	-161.87	25	0.18	0.08	-81.38
6	0.02	0.01	99.55	26	0.07	0.03	-116.88
7	1.04	0.48	-11.01	27	0.47	0.22	13.38
8	0.06	0.03	89.12	28	0.02	0.01	-80.06
9	1.66	0.76	-131.23	29	0.31	0.14	145.34
10	0.02	0.01	-87.45	30	0.00	0.00	-106.53
11	0.48	0.22	28.54	31	0.10	0.04	-17.20
12	0.03	0.01	-17.93	32	0.02	0.01	148.09
13	0.49	0.22	-154.42	33	0.35	0.16	32.19
14	0.02	0.01	179.76	34	0.07	0.03	53.79
15	0.65	0.30	-67.08	35	0.14	0.06	-156.63
16	0.01	0.00	174.21	36	0.06	0.03	-90.33
17	0.43	0.20	44.97	37	0.03	0.01	-56.85
18	0.02	0.01	110.51	38	0.06	0.03	-164.59
19	0.44	0.20	-133.10	39	0.15	0.07	88.20
20	0.03	0.02	171.88	40	0.06	0.03	109.93
TOTAL	219.21						
THD-F		1.82					

Tabel 1.3 Data Harmonik Arus

I1.CSV
 Measurement period 3/9/2012 10:24:50 - 3/9/2012 16:24:50
 Display period 3/9/2012 16:24:50
 Measurement interval 1 Minute

LVL_11: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I1.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	1.2791	100.00	1.44	21	0.0024	0.19	-10.06
2	0.0010	0.08	-15.81	22	0.0003	0.03	53.01
3	0.0024	0.19	-74.32	23	0.0023	0.18	109.75
4	0.0004	0.03	-83.25	24	0.0002	0.02	-42.42
5	0.0174	1.36	-160.96	25	0.0011	0.08	-75.60
6	0.0001	0.01	116.55	26	0.0005	0.04	-120.39
7	0.0061	0.47	13.80	27	0.0027	0.21	13.55
8	0.0003	0.03	86.07	28	0.0002	0.02	65.88
9	0.0098	0.76	-130.12	29	0.0017	0.14	146.92
10	0.0001	0.01	-84.16	30	0.0000	0.00	-76.66
11	0.0028	0.22	31.40	31	0.0005	0.04	-7.74
12	0.0002	0.02	-10.55	32	0.0002	0.01	150.20
13	0.0029	0.22	-153.27	33	0.0021	0.16	32.88
14	0.0001	0.01	148.66	34	0.0005	0.04	46.79
15	0.0037	0.29	-66.76	35	0.0007	0.05	-153.82
16	0.0001	0.01	170.94	36	0.0003	0.03	-106.35
17	0.0025	0.20	46.97	37	0.0001	0.01	-67.86
18	0.0001	0.01	83.66	38	0.0004	0.03	-147.29
19	0.0027	0.21	-131.71	39	0.0009	0.07	91.51
20	0.0002	0.02	163.65	40	0.0003	0.03	113.42
TOTAL	1.2793						
THD-F		1.77					

A.2 Data Hasil Percobaan dengan Variasi Beban 2 LP + 5 LHE

Tabel 2.1 Data Ringkasan Percobaan

I2.CSV
 Measurement period 3/12/2012 09:17:51 - 3/12/2012 15:17:51
 Display period 3/12/2012 09:17:51 - 3/12/2012 15:17:51
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV[kw]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV[kVA]	WP+: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , I2.CSV[kWh]
Average value		220.22	1.0326	-0.9934	0.2231	-0.0257	0.2246	
Maximum value		222.68	1.0381	-0.9924	0.2267	-0.0250	0.2281	
Time of maximum value		3/12/2012 12:17:51	3/12/2012 09:17:51	3/12/2012 09:17:51	3/12/2012 12:17:51	3/12/2012 14:17:51	3/12/2012 12:17:51	
Minimum value		217.23	1.0264	-0.9939	0.2191	-0.0278	0.2206	
Time of minimum value		3/12/2012 13:17:51	3/12/2012 11:17:51	3/12/2012 14:17:51	3/12/2012 13:17:51	3/12/2012 09:17:51	3/12/2012 13:17:51	
3/12/2012	09:17:51	220.29	1.0381	-0.9924	0.2242	-0.0278	0.2259	0.00000
	10:17:51	220.23	1.0282	-0.9936	0.2222	-0.0253	0.2237	0.22246
	11:17:51	218.90	1.0264	-0.9934	0.2204	-0.0255	0.2219	0.44405
	12:17:51	222.68	1.0369	-0.9938	0.2267	-0.0254	0.2281	0.66617
	13:17:51	217.23	1.0281	-0.9933	0.2191	-0.0255	0.2206	0.89018
	14:17:51	221.32	1.0343	-0.9939	0.2248	-0.0250	0.2262	1.11458
	15:17:51	220.87	1.0361	-0.9937	0.2246	-0.0254	0.2260	1.33886

Tabel 2.2 Data Harmonik Tegangan

I2.CSV
 Measurement period 3/12/2012 09:17:51 - 3/12/2012 15:17:51
 Display period 3/12/2012 15:17:51
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value , I2.CSV[V]

Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	220.84	100.00	0.00	21	0.32	0.14	-23.98
2	0.41	0.18	-12.08	22	0.05	0.02	84.38
3	0.89	0.40	74.98	23	0.40	0.18	165.26
4	0.05	0.02	25.29	24	0.08	0.04	-59.56
5	2.55	1.16	-153.20	25	0.14	0.06	38.91
6	0.09	0.04	-49.96	26	0.04	0.02	-151.96
7	1.53	0.69	-6.09	27	0.33	0.15	42.59
8	0.07	0.03	64.29	28	0.06	0.03	86.80
9	1.35	0.61	-131.39	29	0.33	0.15	-126.33
10	0.01	0.01	91.84	30	0.05	0.02	-78.75
11	0.52	0.23	42.88	31	0.13	0.06	-26.37
12	0.11	0.05	-43.46	32	0.01	0.01	-56.82
13	0.48	0.22	-105.78	33	0.18	0.08	115.42
14	0.05	0.02	175.88	34	0.02	0.01	60.10
15	0.43	0.20	-52.64	35	0.15	0.07	-82.00
16	0.05	0.02	72.22	36	0.02	0.01	-84.18
17	0.45	0.21	73.02	37	0.18	0.08	18.92
18	0.06	0.03	-46.23	38	0.03	0.01	55.78
19	0.36	0.16	-87.23	39	0.15	0.07	-153.63
20	0.08	0.04	-162.58	40	0.02	0.01	102.88
TOTAL	220.87						
THD-F		1.65					

Tabel 2.3 Data Harmonik Arus

I2.CSV
 Measurement period 3/12/2012 09:17:51 - 3/12/2012 15:17:51
 Display period 3/12/2012 15:17:51
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I2.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	1.0235	100.00	6.49	21	0.0168	1.64	-6.93
2	0.0018	0.17	10.62	22	0.0025	0.25	148.56
3	0.1190	11.63	-85.78	23	0.0185	1.80	-100.36
4	0.0002	0.02	-125.27	24	0.0023	0.22	32.16
5	0.0699	6.83	-164.00	25	0.0145	1.41	-177.59
6	0.0008	0.08	-25.47	26	0.0026	0.25	-80.35
7	0.0547	5.35	106.55	27	0.0164	1.61	98.96
8	0.0004	0.04	169.34	28	0.0025	0.24	151.75
9	0.0273	2.67	0.12	29	0.0105	1.03	-1.22
10	0.0006	0.06	-149.33	30	0.0014	0.14	21.08
11	0.0142	1.39	-4.21	31	0.0064	0.63	-49.24
12	0.0017	0.17	23.96	32	0.0008	0.08	-73.13
13	0.0214	2.09	-90.04	33	0.0065	0.64	-129.15
14	0.0019	0.19	-100.86	34	0.0004	0.04	146.07
15	0.0152	1.48	-142.29	35	0.0039	0.38	-178.93
16	0.0017	0.17	141.31	36	0.0005	0.05	-27.56
17	0.0220	2.15	129.87	37	0.0065	0.64	107.32
18	0.0019	0.19	34.44	38	0.0003	0.03	149.82
19	0.0144	1.41	41.95	39	0.0051	0.50	12.89
20	0.0025	0.24	-87.18	40	0.0002	0.01	178.10
TOTAL	1.0360						
THD-F		15.69					

A.3 Data Hasil Percobaan dengan Variasi Beban 1 LP + 10 LHE

Tabel 3.1 Data Ringkasan Percobaan

I3.CSV Measurement period 3/14/2012 09:06:16 - 3/14/2012 15:06:16 Display period 3/14/2012 09:06:16 - 3/14/2012 15:06:16 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour								
Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , I3.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I3.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , I3.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , I3.CSV[kW]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , I3.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , I3.CSV[kVA]	WP: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , I3.CSV[kWh]
Average value		222.05	0.8293	-0.9666	0.1649	-0.0437	0.1706	
Maximum value		225.63	0.8468	-0.9594	0.1686	-0.0418	0.1742	
Time of maximum value		3/14/2012 12:06:16	3/14/2012 09:06:16	3/14/2012 09:06:16	3/14/2012 12:06:16	3/14/2012 14:06:16	3/14/2012 12:06:16	
Minimum value		219.65	0.8219	-0.9687	0.1613	-0.0490	0.1670	
Time of minimum value		3/14/2012 10:06:16	3/14/2012 10:06:16	3/14/2012 14:06:16	3/14/2012 10:06:16	3/14/2012 09:06:16	3/14/2012 10:06:16	
3/14/2012	09:06:16	220.71	0.8468	-0.9594	0.1665	-0.0490	0.1735	0.00000
	10:06:16	219.65	0.8219	-0.9659	0.1613	-0.0433	0.1670	0.16333
	11:06:16	224.00	0.8231	-0.9674	0.1663	-0.0435	0.1719	0.32734
	12:06:16	225.63	0.8398	-0.9679	0.1686	-0.0438	0.1742	0.49319
	13:06:16	221.50	0.8240	-0.9682	0.1636	-0.0423	0.1690	0.66067
	14:06:16	220.87	0.8231	-0.9687	0.1632	-0.0418	0.1684	0.82424
	15:06:16	222.00	0.8261	-0.9687	0.1646	-0.0422	0.1699	0.98788

Tabel 3.2 Data Harmonik Tegangan

I3.CSV Measurement period 3/14/2012 09:06:16 - 3/14/2012 15:06:16 Display period 3/14/2012 15:06:16 Measurement interval 1 Minute LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value , I3.CSV[V]							
Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	221.96	100.00	0.00	21	0.41	0.19	-48.41
2	0.26	0.12	13.16	22	0.01	0.01	-41.35
3	1.43	0.64	72.25	23	0.46	0.21	132.21
4	0.02	0.01	-1.59	24	0.01	0.01	161.72
5	2.36	1.06	-164.37	25	0.10	0.04	112.78
6	0.04	0.02	81.24	26	0.02	0.01	-144.51
7	1.87	0.84	9.98	27	0.50	0.23	12.84
8	0.08	0.04	100.61	28	0.02	0.01	0.42
9	1.69	0.76	-133.55	29	0.31	0.14	-158.58
10	0.01	0.00	-67.35	30	0.02	0.01	107.37
11	0.42	0.19	54.14	31	0.10	0.05	-81.65
12	0.02	0.01	-4.87	32	0.01	0.00	-131.36
13	0.21	0.10	-133.52	33	0.35	0.16	53.17
14	0.01	0.00	156.83	34	0.02	0.01	-77.77
15	0.54	0.24	-76.42	35	0.16	0.07	-136.81
16	0.03	0.01	-122.40	36	0.01	0.01	-179.83
17	0.52	0.23	57.47	37	0.24	0.11	-34.97
18	0.04	0.02	27.91	38	0.02	0.01	112.37
19	0.38	0.17	-119.38	39	0.09	0.04	107.07
20	0.01	0.00	12.92	40	0.02	0.01	142.03
TOTAL	222.00						
THD-F		1.80					

Tabel 3.3 Data & Spektrum Harmonik Arus

I3.CSV
 Measurement period 3/14/2012 09:06:16 - 3/14/2012 15:06:16
 Display period 3/14/2012 15:06:16
 Measurement interval 1 Minute

LVL_1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I3.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	0.7659	100.00	14.34	21	0.0312	4.07	-14.71
2	0.0011	0.15	84.70	22	0.0003	0.05	5.79
3	0.2274	29.69	-86.76	23	0.0332	4.34	-105.99
4	0.0005	0.06	-23.64	24	0.0001	0.02	-156.01
5	0.1257	16.42	-164.91	25	0.0297	3.87	178.11
6	0.0004	0.05	-45.75	26	0.0005	0.07	-73.48
7	0.1191	15.56	108.09	27	0.0340	4.44	86.10
8	0.0007	0.09	165.11	28	0.0005	0.07	141.17
9	0.0651	8.50	1.59	29	0.0239	3.13	-19.50
10	0.0003	0.04	78.26	30	0.0001	0.02	-71.52
11	0.0258	3.37	-30.70	31	0.0126	1.64	-99.06
12	0.0002	0.03	-5.13	32	0.0006	0.07	96.29
13	0.0319	4.16	-101.43	33	0.0084	1.10	164.01
14	0.0002	0.03	50.59	34	0.0008	0.10	0.29
15	0.0272	3.55	-145.21	35	0.0024	0.32	-60.81
16	0.0009	0.12	-83.79	36	0.0014	0.18	-105.37
17	0.0407	5.31	126.68	37	0.0069	0.91	128.75
18	0.0009	0.12	131.52	38	0.0015	0.20	146.33
19	0.0274	3.58	40.16	39	0.0048	0.63	34.28
20	0.0003	0.05	28.72	40	0.0010	0.13	62.59
TOTAL	0.8261						
THD-F		40.40					

A.4 Data Hasil Percobaan dengan Varisai Beban 15 LHE

Tabel 4.1 Data Ringkasan Percobaan

I4.CSV
 Measurement period 3/15/2012 08:07:28 - 3/15/2012 14:07:28
 Display period 3/15/2012 08:07:28 - 3/15/2012 14:07:28
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value I4.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I4.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , I4.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , I4.CSV[kw]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , I4.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , I4.CSV[kVA]	WP+: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , I4.CSV[kWh]
Average value		218.58	0.7325	-0.8580	0.1066	-0.0638	0.1242	
Maximum value		220.84	0.7499	-0.8494	0.1110	-0.0627	0.1306	
Time of maximum value		3/15/2012 08:07:28	3/15/2012 08:07:28	3/15/2012 08:07:28	3/15/2012 08:07:28	3/15/2012 09:07:28	3/15/2012 08:07:28	
Minimum value		216.47	0.7215	-0.8629	0.1031	-0.0689	0.1207	
Time of minimum value		3/15/2012 13:07:28	3/15/2012 09:07:28	3/15/2012 12:07:28	3/15/2012 09:07:28	3/15/2012 08:07:28	3/15/2012 09:07:28	
3/15/2012	08:07:28	220.84	0.7499	-0.8494	0.1110	-0.0689	0.1306	0.00000
	09:07:28	218.32	0.7215	-0.8545	0.1031	-0.0627	0.1207	0.10406
	10:07:28	217.71	0.7295	-0.8572	0.1051	-0.0631	0.1226	0.20835
	11:07:28	217.48	0.7346	-0.8609	0.1061	-0.0627	0.1233	0.31421
	12:07:28	220.25	0.7334	-0.8629	0.1080	-0.0633	0.1252	0.42100
	13:07:28	216.47	0.7309	-0.8589	0.1058	-0.0631	0.1232	0.52829
	14:07:28	219.01	0.7277	-0.8623	0.1069	-0.0628	0.1239	0.63441

Tabel 4.2 Data Harmonik Tegangan

I4.CSV
 Measurement period 3/15/2012 08:07:28 - 3/15/2012 14:07:28
 Display period 3/15/2012 14:07:28
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value ,I4.CSV[V]

Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	218.98	100.00	0.00	21	0.61	0.28	-32.86
2	0.12	0.05	-11.47	22	0.06	0.03	149.48
3	1.58	0.72	66.22	23	0.54	0.25	138.81
4	0.05	0.02	167.25	24	0.12	0.06	-104.42
5	2.03	0.93	-166.04	25	0.24	0.11	-144.21
6	0.02	0.01	-175.20	26	0.12	0.05	-29.02
7	1.97	0.90	-24.27	27	0.50	0.23	-5.32
8	0.03	0.02	137.62	28	0.18	0.08	73.44
9	1.51	0.69	-135.27	29	0.15	0.07	125.31
10	0.03	0.02	-11.40	30	0.18	0.08	155.44
11	0.24	0.11	-36.52	31	0.04	0.02	62.95
12	0.06	0.03	47.22	32	0.22	0.10	-106.52
13	0.19	0.09	-85.66	33	0.10	0.05	165.33
14	0.06	0.03	136.73	34	0.18	0.08	-25.12
15	0.34	0.16	-72.18	35	0.29	0.13	-118.99
16	0.06	0.03	-133.28	36	0.17	0.08	72.58
17	0.31	0.14	86.31	37	0.40	0.18	-5.16
18	0.06	0.03	-25.23	38	0.20	0.09	161.00
19	0.52	0.24	-87.60	39	0.25	0.12	103.90
20	0.06	0.03	61.19	40	0.19	0.08	-112.41
TOTAL	219.01						
THD-F		1.77					

Tabel 4.3 Data Harmonik Arus

I4.CSV
 Measurement period 3/15/2012 08:07:28 - 3/15/2012 14:07:28
 Display period 3/15/2012 14:07:28
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 ,I4.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	0.5670	100.00	30.38	21	0.0482	8.50	5.56
2	0.0011	0.19	64.24	22	0.0021	0.37	131.71
3	0.3455	60.94	-84.11	23	0.0435	7.67	-91.98
4	0.0007	0.13	-122.59	24	0.0022	0.38	30.01
5	0.1789	31.55	-157.80	25	0.0305	5.38	-165.83
6	0.0007	0.12	4.72	26	0.0027	0.47	-67.37
7	0.1737	30.64	119.45	27	0.0301	5.30	100.67
8	0.0007	0.13	-173.70	28	0.0023	0.41	-166.09
9	0.0880	15.51	-19.72	29	0.0117	2.06	-26.27
10	0.0002	0.04	15.49	30	0.0020	0.36	117.97
11	0.0485	8.55	-6.44	31	0.0074	1.31	53.75
12	0.0003	0.05	97.67	32	0.0024	0.43	25.71
13	0.0503	8.86	-85.83	33	0.0097	1.72	-46.08
14	0.0003	0.06	23.89	34	0.0016	0.28	-76.44
15	0.0419	7.39	-127.65	35	0.0159	2.81	-121.55
16	0.0007	0.12	-72.83	36	0.0009	0.16	-128.81
17	0.0572	10.09	146.87	37	0.0185	3.27	115.74
18	0.0005	0.08	104.95	38	0.0007	0.13	159.90
19	0.0387	6.83	69.91	39	0.0095	1.67	-15.25
20	0.0013	0.23	-102.37	40	0.0008	0.15	138.63
TOTAL	0.7275						
THD-F		80.39					

B. Lampiran Data kWh meter Digital
B.1 Data Hasil Percobaan dengan Variasi Beban 3 LP

Tabel 5.1 Data Ringkasan Percobaan

IA.CSV Measurement period 3/16/2012 08:15:19 - 3/16/2012 14:15:19 Display period 3/16/2012 08:15:19 - 3/16/2012 14:15:19 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour								
Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , IA.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , IA.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , IA.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , IA.CSV[kW]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , IA.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , IA.CSV[kVA]	WP: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , IA.CSV[kWh]
Average value		221.79	1.2910	-0.9997	0.2862	-0.0072	0.2863	
Maximum value		223.72	1.2971	-0.9997	0.2901	-0.0070	0.2902	
Time of maximum value		3/16/2012 14:15:19	3/16/2012 14:15:19	3/16/2012 08:15:19	3/16/2012 14:15:19	3/16/2012 13:15:19	3/16/2012 14:15:19	
Minimum value		218.56	1.2809	-0.9997	0.2799	-0.0074	0.2799	
Time of minimum value		3/16/2012 13:15:19	3/16/2012 13:15:19	3/16/2012 08:15:19	3/16/2012 13:15:19	3/16/2012 14:15:19	3/16/2012 13:15:19	
3/16/2012	08:15:19	220.06	1.2845	-0.9997	0.2826	-0.0071	0.2827	0.00000
	09:15:19	222.45	1.2930	-0.9997	0.2875	-0.0073	0.2876	0.28574
	10:15:19	223.10	1.2949	-0.9997	0.2888	-0.0073	0.2889	0.57125
	11:15:19	221.80	1.2917	-0.9997	0.2864	-0.0073	0.2865	0.85771
	12:15:19	222.81	1.2947	-0.9997	0.2884	-0.0073	0.2885	1.14821
	13:15:19	218.56	1.2809	-0.9997	0.2799	-0.0070	0.2799	1.43484
	14:15:19	223.72	1.2971	-0.9997	0.2901	-0.0074	0.2902	1.72075

Tabel 5.2 Data Harmonik Tegangan

IA.CSV Measurement period 3/16/2012 08:15:19 - 3/16/2012 14:15:19 Display period 3/16/2012 14:15:19 Measurement interval 1 Minute LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value , IA.CSV[V]							
Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	223.68	100.00	0.00	21	0.44	0.20	-47.36
2	0.25	0.11	95.36	22	0.08	0.03	-2.82
3	1.04	0.46	40.97	23	0.13	0.06	84.68
4	0.05	0.02	123.12	24	0.15	0.07	117.24
5	2.34	1.05	-161.03	25	0.22	0.10	112.25
6	0.02	0.01	-114.55	26	0.13	0.06	-97.97
7	1.59	0.71	27.63	27	0.19	0.09	60.82
8	0.09	0.04	-160.48	28	0.14	0.06	-26.23
9	1.64	0.73	-128.35	29	0.17	0.08	-125.49
10	0.05	0.02	66.23	30	0.19	0.09	100.90
11	0.61	0.27	6.67	31	0.36	0.16	21.57
12	0.09	0.04	116.51	32	0.16	0.07	-148.69
13	0.17	0.07	-170.31	33	0.22	0.10	105.70
14	0.04	0.02	-87.99	34	0.21	0.09	-58.45
15	0.78	0.35	-86.69	35	0.53	0.24	-116.10
16	0.06	0.03	-3.47	36	0.20	0.09	59.26
17	0.49	0.22	55.51	37	0.42	0.19	1.52
18	0.06	0.03	128.24	38	0.18	0.08	165.37
19	0.20	0.09	165.57	39	0.38	0.17	113.86
20	0.10	0.05	-96.54	40	0.21	0.09	-93.84
TOTAL	223.72						
THD-F		1.71					

Tabel 5.3 Data Harmonik Arus

IA.CSV
 Measurement period 3/16/2012 08:15:19 - 3/16/2012 14:15:19
 Display period 3/16/2012 14:15:19
 Measurement interval 1 Minute

LVL_11: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , IA.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	1.2969	100.00	1.45	21	0.0026	0.20	-45.89
2	0.0014	0.11	98.20	22	0.0004	0.03	7.45
3	0.0066	0.51	-38.27	23	0.0008	0.06	84.08
4	0.0003	0.03	113.75	24	0.0010	0.07	121.29
5	0.0136	1.05	-159.87	25	0.0013	0.10	111.40
6	0.0001	0.01	-96.35	26	0.0007	0.06	-99.38
7	0.0093	0.71	28.69	27	0.0011	0.09	62.41
8	0.0005	0.04	-164.21	28	0.0009	0.07	-23.75
9	0.0095	0.73	-127.08	29	0.0011	0.08	-124.52
10	0.0003	0.02	75.83	30	0.0012	0.09	102.45
11	0.0034	0.27	7.94	31	0.0020	0.16	22.49
12	0.0004	0.03	131.06	32	0.0010	0.08	-149.10
13	0.0009	0.07	-167.95	33	0.0012	0.09	107.67
14	0.0002	0.02	-94.20	34	0.0012	0.09	-51.23
15	0.0045	0.35	-85.51	35	0.0030	0.23	-114.61
16	0.0003	0.02	-0.05	36	0.0013	0.10	59.52
17	0.0028	0.22	56.24	37	0.0024	0.19	2.87
18	0.0003	0.02	123.25	38	0.0010	0.08	166.29
19	0.0011	0.09	167.23	39	0.0022	0.17	117.30
20	0.0008	0.06	-86.07	40	0.0011	0.09	-89.04
TOTAL	1.2971						
THD-F		1.72					

B. 2 Data Hasil Percobaan dengan Variasi Beban 2 LP + 5 LHE

Tabel 6.1 Data Ringkasan Percobaan

IB.CSV
 Measurement period 3/19/2012 09:25:27 - 3/19/2012 15:25:27
 Display period 3/19/2012 09:25:27 - 3/19/2012 15:25:27
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value IB.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , IB.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , IB.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , IB.CSV[kw]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , IB.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , IB.CSV[kVA]	WP+: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , IB.CSV[kWh]
Average value		222.15	1.0429	-0.9929	0.2272	-0.0273	0.2288	
Maximum value		225.21	1.0491	-0.9920	0.2317	-0.0266	0.2334	
Time of maximum value		3/19/2012 12:25:27	3/19/2012 12:25:27	3/19/2012 09:25:27	3/19/2012 12:25:27	3/19/2012 10:25:27	3/19/2012 12:25:27	
Minimum value		219.73	1.0363	-0.9933	0.2236	-0.0289	0.2252	
Time of minimum value		3/19/2012 13:25:27	3/19/2012 10:25:27	3/19/2012 15:25:27	3/19/2012 13:25:27	3/19/2012 09:25:27	3/19/2012 13:25:27	
3/19/2012	09:25:27	221.26	1.0454	-0.9920	0.2267	-0.0289	0.2285	0.00000
	10:25:27	220.97	1.0363	-0.9931	0.2246	-0.0266	0.2262	0.22412
	11:25:27	223.23	1.0449	-0.9928	0.2286	-0.0275	0.2303	0.44962
	12:25:27	225.21	1.0491	-0.9930	0.2317	-0.0276	0.2334	0.67979
	13:25:27	219.73	1.0378	-0.9928	0.2236	-0.0270	0.2252	0.90931
	14:25:27	221.12	1.0415	-0.9931	0.2259	-0.0268	0.2275	1.13367
	15:25:27	223.53	1.0451	-0.9933	0.2293	-0.0267	0.2308	1.36039

Tabel 6.2 Data Harmonik Tegangan

IB.CSV
 Measurement period 3/19/2012 09:25:27 - 3/19/2012 15:25:27
 Display period 3/19/2012 15:25:27
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value ,IB.CSV[V]

Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	223.51	100.00	0.00	21	0.15	0.07	6.54
2	0.19	0.08	61.39	22	0.01	0.00	27.85
3	0.82	0.37	86.46	23	0.35	0.16	147.35
4	0.05	0.02	119.63	24	0.03	0.01	-144.24
5	2.48	1.11	-168.50	25	0.28	0.13	-8.63
6	0.04	0.02	-125.43	26	0.02	0.01	53.64
7	1.30	0.58	1.46	27	0.16	0.07	22.03
8	0.05	0.02	143.34	28	0.03	0.01	40.11
9	1.53	0.69	-123.09	29	0.35	0.16	-151.50
10	0.01	0.01	-73.52	30	0.06	0.03	-30.30
11	0.54	0.24	64.97	31	0.17	0.07	19.40
12	0.04	0.02	177.11	32	0.02	0.01	97.20
13	0.33	0.15	-125.12	33	0.03	0.01	-123.68
14	0.05	0.02	116.79	34	0.05	0.02	140.45
15	0.54	0.24	-60.29	35	0.28	0.12	-113.09
16	0.05	0.02	-66.51	36	0.03	0.01	-27.77
17	0.23	0.10	78.41	37	0.07	0.03	109.89
18	0.02	0.01	-160.86	38	0.03	0.01	174.05
19	0.38	0.17	-100.87	39	0.14	0.06	-168.88
20	0.02	0.01	92.35	40	0.07	0.03	-159.46
TOTAL	223.53						
THD-F		1.57					

Tabel 6.3 Data Harmonik Arus

IB.CSV
 Measurement period 3/19/2012 09:25:27 - 3/19/2012 15:25:27
 Display period 3/19/2012 15:25:27
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 ,IB.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	1.0325	100.00	6.64	21	0.0120	1.17	-3.84
2	0.0008	0.08	87.63	22	0.0008	0.08	60.46
3	0.1228	11.89	-84.02	23	0.0124	1.20	-107.28
4	0.0007	0.06	147.29	24	0.0007	0.06	-84.99
5	0.0718	6.95	-163.83	25	0.0057	0.56	163.25
6	0.0005	0.05	7.51	26	0.0004	0.04	-139.12
7	0.0566	5.49	111.73	27	0.0059	0.57	82.62
8	0.0004	0.04	-175.39	28	0.0012	0.12	124.80
9	0.0288	2.79	5.12	29	0.0054	0.52	-79.55
10	0.0003	0.03	7.63	30	0.0015	0.14	12.53
11	0.0135	1.30	-5.90	31	0.0060	0.58	122.27
12	0.0006	0.06	-80.61	32	0.0013	0.13	-63.82
13	0.0192	1.86	-89.76	33	0.0052	0.51	16.76
14	0.0013	0.13	164.33	34	0.0019	0.18	-172.40
15	0.0129	1.25	-135.54	35	0.0074	0.72	-65.18
16	0.0014	0.13	24.81	36	0.0015	0.15	76.36
17	0.0186	1.80	138.45	37	0.0069	0.67	-170.76
18	0.0006	0.06	-87.94	38	0.0009	0.09	-14.51
19	0.0117	1.13	44.53	39	0.0024	0.23	106.90
20	0.0005	0.05	-175.41	40	0.0010	0.10	-114.85
TOTAL	1.0451						
THD-F		15.63					

B.3. Data Hasil Percobaan dengan Variasi beban 1 LP + 10 LHE

Tabel 7.1 Data Ringkasan Percobaan

IC.CSV Measurement period 3/20/2012 09:15:35 - 3/20/2012 15:15:35 Display period 3/20/2012 09:15:35 - 3/20/2012 15:15:35 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour								
Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , IC.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , IC.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , IC.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , IC.CSV[kW]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , IC.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , IC.CSV[kVA]	WP+: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , IC.CSV[kWh]
Average value		220.48	0.8357	-0.9651	0.1649	-0.0447	0.1709	
Maximum value		222.61	0.8502	-0.9585	0.1672	-0.0432	0.1745	
Time of maximum value		3/20/2012 11:15:35	3/20/2012 09:15:35	3/20/2012 09:15:35	3/20/2012 09:15:35	3/20/2012 14:15:35	3/20/2012 09:15:35	
Minimum value		217.86	0.8260	-0.9673	0.1613	-0.0497	0.1673	
Time of minimum value		3/20/2012 13:15:35	3/20/2012 10:15:35	3/20/2012 14:15:35	3/20/2012 10:15:35	3/20/2012 09:15:35	3/20/2012 10:15:35	
3/20/2012	09:15:35	220.79	0.8502	-0.9585	0.1672	-0.0497	0.1745	0.00000
	10:15:35	219.08	0.8260	-0.9642	0.1613	-0.0444	0.1673	0.16309
	11:15:35	222.61	0.8342	-0.9671	0.1663	-0.0437	0.1720	0.32881
	12:15:35	222.35	0.8349	-0.9668	0.1664	-0.0440	0.1721	0.49646
	13:15:35	217.86	0.8333	-0.9653	0.1626	-0.0440	0.1684	0.66265
	14:15:35	219.73	0.8356	-0.9673	0.1649	-0.0432	0.1705	0.82767
	15:15:35	220.95	0.8356	-0.9663	0.1657	-0.0441	0.1714	0.99246

Tabel 7.2 Data Harmonik Tegangan

IC.CSV Measurement period 3/20/2012 09:15:35 - 3/20/2012 15:15:35 Display period 3/20/2012 15:15:35 Measurement interval 1 Minute LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value , IC.CSV[V]							
Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	220.92	100.00	0.00	21	0.41	0.18	-45.37
2	0.38	0.17	31.41	22	0.04	0.02	23.49
3	1.41	0.64	67.62	23	0.40	0.18	158.76
4	0.07	0.03	83.43	24	0.04	0.02	112.31
5	2.12	0.96	-160.81	25	0.05	0.02	101.31
6	0.06	0.03	-38.89	26	0.03	0.01	-94.64
7	1.65	0.75	11.36	27	0.38	0.17	22.51
8	0.08	0.04	98.52	28	0.05	0.02	26.51
9	1.37	0.62	-123.87	29	0.29	0.13	-138.10
10	0.04	0.02	-150.52	30	0.05	0.02	-171.86
11	0.35	0.16	41.79	31	0.14	0.06	-73.95
12	0.02	0.01	137.79	32	0.02	0.01	-129.15
13	0.24	0.11	-173.13	33	0.10	0.04	88.15
14	0.04	0.02	132.04	34	0.03	0.02	84.55
15	0.54	0.25	-64.97	35	0.16	0.07	-128.20
16	0.05	0.02	-62.29	36	0.04	0.02	-121.78
17	0.38	0.17	75.62	37	0.14	0.06	-2.33
18	0.02	0.01	37.44	38	0.03	0.01	-33.72
19	0.22	0.10	-109.48	39	0.07	0.03	167.71
20	0.07	0.03	-157.05	40	0.02	0.01	75.25
TOTAL	220.95						
THD-F		1.60					

Tabel 7.3 Data Harmonik Arus

IC.CSV
 Measurement period 3/20/2012 09:15:35 - 3/20/2012 15:15:35
 Display period 3/20/2012 15:15:35
 Measurement interval 1 Minute

LVL_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 . IC.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	0.7764	100.00	14.87	21	0.0351	4.52	7.02
2	0.0017	0.22	80.87	22	0.0011	0.14	117.51
3	0.2331	30.03	-84.92	23	0.0341	4.40	-88.91
4	0.0007	0.09	-177.73	24	0.0005	0.06	161.22
5	0.1231	15.85	-161.73	25	0.0260	3.35	-163.01
6	0.0014	0.18	-0.31	26	0.0005	0.06	-37.07
7	0.1137	14.64	115.65	27	0.0275	3.55	108.00
8	0.0010	0.13	158.69	28	0.0013	0.17	93.19
9	0.0597	7.69	15.53	29	0.0151	1.95	0.42
10	0.0007	0.09	-31.03	30	0.0017	0.22	-52.33
11	0.0332	4.28	-12.77	31	0.0049	0.63	-29.21
12	0.0005	0.06	-75.94	32	0.0012	0.15	-128.46
13	0.0363	4.68	-95.85	33	0.0049	0.63	-89.33
14	0.0015	0.19	169.97	34	0.0020	0.26	136.25
15	0.0234	3.01	-136.39	35	0.0075	0.96	-108.02
16	0.0007	0.09	19.60	36	0.0018	0.23	5.58
17	0.0358	4.61	146.02	37	0.0108	1.40	141.43
18	0.0013	0.17	60.67	38	0.0004	0.05	-43.55
19	0.0262	3.37	70.46	39	0.0051	0.65	42.56
20	0.0023	0.30	-89.03	40	0.0011	0.14	-137.52
TOTAL	0.8355						
THD-F		39.75					

B.4 Data Hasil Percobaan dengan Varisi Beban 15 LHE

Tabel 8.1 Data Ringkasan Percobaan

ID.CSV
 Measurement period 3/21/2012 08:35:29 - 3/21/2012 14:35:29
 Display period 3/21/2012 08:35:29 - 3/21/2012 14:35:29
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Hour

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value ID.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , ID.CSV[A]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , ID.CSV	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , ID.CSV[kW]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , ID.CSV[kvar]	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , ID.CSV[kVA]	WP+: Integrated active power (consumption) Circuit 1 , ID.CSV[kWh]
Average value		222.11	0.7319	-0.8571	0.1070	-0.0644	0.1249	
Maximum value		226.38	0.7507	-0.8416	0.1098	-0.0619	0.1304	
Time of maximum value		3/21/2012 12:35:29	3/21/2012 08:35:29	3/21/2012 08:35:29	3/21/2012 08:35:29	3/21/2012 13:35:29	3/21/2012 08:35:29	
Minimum value		219.48	0.7235	-0.8633	0.1052	-0.0704	0.1226	
Time of minimum value		3/21/2012 14:35:29	3/21/2012 14:35:29	3/21/2012 13:35:29	3/21/2012 09:35:29	3/21/2012 08:35:29	3/21/2012 14:35:29	
3/21/2012	08:35:29	220.81	0.7507	-0.8416	0.1098	-0.0704	0.1304	0.00000
	09:35:29	220.69	0.7310	-0.8548	0.1052	-0.0639	0.1231	0.10467
	10:35:29	221.85	0.7319	-0.8554	0.1057	-0.0640	0.1236	0.21042
	11:35:29	225.48	0.7316	-0.8598	0.1082	-0.0643	0.1259	0.31781
	12:35:29	226.38	0.7291	-0.8620	0.1088	-0.0640	0.1262	0.42642
	13:35:29	220.05	0.7253	-0.8633	0.1059	-0.0619	0.1227	0.53405
	14:35:29	219.48	0.7235	-0.8627	0.1057	-0.0620	0.1226	0.63982

Tabel 8.2 Data Harmonisa Tegangan

ID.CSV
 Measurement period 3/21/2012 08:35:29 - 3/21/2012 14:35:29
 Display period 3/21/2012 14:35:29
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_U1: Harmonic level voltage CH1 Instantaneous value , ID.CSV[V]

Order	[V]	[%]	[°]	Order	[V]	[%]	[°]
1	219.45	100.00	0.00	21	0.47	0.21	-47.28
2	0.28	0.13	-127.26	22	0.00	0.00	-126.24
3	1.64	0.75	81.77	23	0.34	0.15	158.32
4	0.04	0.02	26.39	24	0.04	0.02	32.09
5	1.80	0.82	-164.77	25	0.18	0.08	-2.71
6	0.06	0.03	13.63	26	0.03	0.01	145.74
7	1.81	0.82	5.79	27	0.36	0.17	44.89
8	0.06	0.03	-39.66	28	0.04	0.02	-148.36
9	1.40	0.64	-122.11	29	0.20	0.09	-148.08
10	0.04	0.02	89.99	30	0.04	0.02	41.41
11	0.20	0.09	96.89	31	0.14	0.06	-28.45
12	0.02	0.01	-132.43	32	0.02	0.01	176.66
13	0.18	0.08	-127.62	33	0.14	0.07	85.81
14	0.04	0.02	-39.68	34	0.03	0.01	-72.98
15	0.52	0.24	-54.01	35	0.20	0.09	-115.39
16	0.02	0.01	108.00	36	0.01	0.00	-25.03
17	0.43	0.20	91.40	37	0.13	0.06	38.98
18	0.02	0.01	-56.80	38	0.02	0.01	-119.04
19	0.33	0.15	-66.96	39	0.05	0.02	167.27
20	0.03	0.01	11.34	40	0.05	0.02	-38.36
TOTAL	219.48						
THD-F		1.61					

Tabel 8.3 Data Harmonik Arus

ID.CSV
 Measurement period 3/21/2012 08:35:29 - 3/21/2012 14:35:29
 Display period 3/21/2012 14:35:29
 Measurement interval 1 Minute
 LVL_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , ID.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	0.5604	100.00	30.29	21	0.0506	9.04	-0.24
2	0.0018	0.32	-56.75	22	0.0016	0.28	-95.18
3	0.3517	62.76	-85.30	23	0.0471	8.41	-100.13
4	0.0005	0.10	-56.04	24	0.0017	0.30	88.87
5	0.1772	31.63	-163.90	25	0.0256	4.57	-177.28
6	0.0017	0.30	156.15	26	0.0016	0.29	-17.85
7	0.1674	29.88	116.57	27	0.0282	5.03	114.46
8	0.0014	0.25	-28.44	28	0.0030	0.53	-111.00
9	0.0943	16.83	15.44	29	0.0189	3.38	9.10
10	0.0009	0.15	152.70	30	0.0033	0.60	121.08
11	0.0430	7.68	-20.32	31	0.0064	1.14	-42.97
12	0.0007	0.13	172.82	32	0.0014	0.24	2.73
13	0.0472	8.42	-97.15	33	0.0039	0.69	-122.55
14	0.0022	0.39	19.12	34	0.0011	0.19	-3.52
15	0.0279	4.99	-130.97	35	0.0102	1.83	-69.15
16	0.0015	0.26	-126.92	36	0.0012	0.21	-95.36
17	0.0523	9.34	155.33	37	0.0191	3.41	163.91
18	0.0008	0.14	-133.12	38	0.0017	0.31	-141.55
19	0.0443	7.91	70.59	39	0.0147	2.62	50.13
20	0.0017	0.31	91.46	40	0.0025	0.44	103.93
TOTAL	0.7231						
THD-F		81.58					