

**ANALISIS HARMONIK PADA
LAMPU HEMAT ENERGI**

SKRIPSI

Oleh

ABDUL AZIM
04 03 03 001 2



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**ANALISIS HARMONIK PADA
LAMPU HEMAT ENERGI**

SKRIPSI

Oleh

ABDUL AZIM
04 03 03 001 2



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

ANALISIS HARMONIK PADA LAMPU HEMAT ENERGI

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 11 Juli 2008

Abdul Azim

NPM 04 03 03 001 2

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

ANALISIS HARMONIK PADA LAMPU HEMAT ENERGI

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 4 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 11 Juli 2008

Dosen Pembimbing

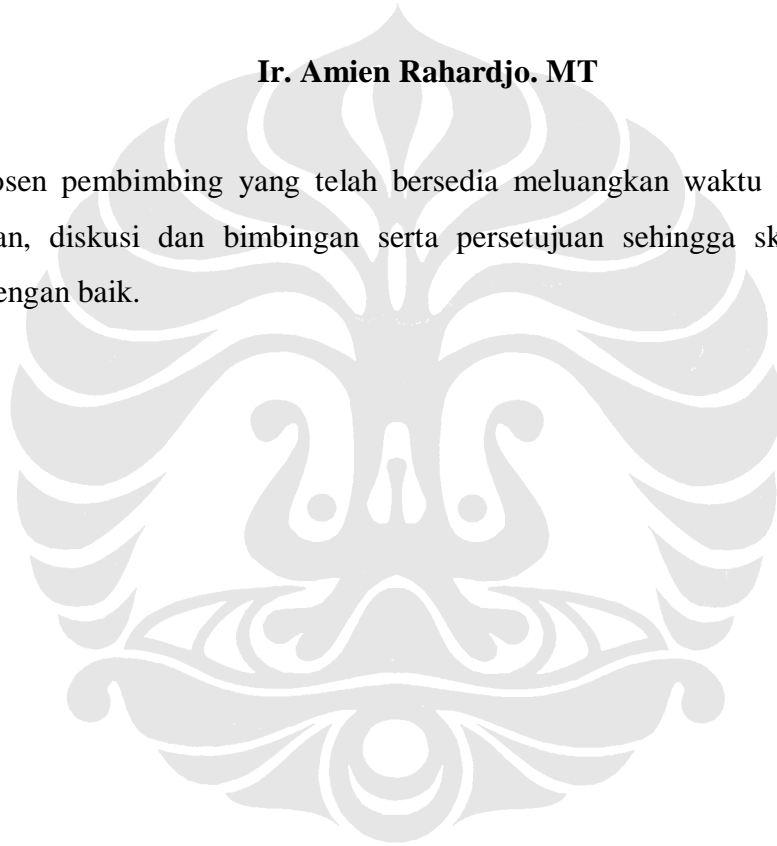
Ir. Amien Rahardjo. MT

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Ir. Amien Rahardjo. MT

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Abdul Azim
NPM 04 03 03 001 2
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Ir. Amien Rahardjo, M.T

ANALISIS HARMONIK PADA LAMPU HEMAT ENERGI

ABSTRAK

Program Lampu Hemat Energi (LHE) yang dikampanyekan PLN ke rumah tangga kecil memberikan keuntungan dari sisi hemat energi, akan tetapi hal ini juga memiliki kerugian yaitu dari sisi harmonik yang ditimbulkannya karena dapat menimbulkan gangguan baik pada sistem kelistrikan maupun pada sistem telekomunikasi. Karakteristik harmonik Lampu Hemat Energi dapat dilihat dari pengukuran THD (*Total Harmonic Distortion*) tegangan dan THD arus. Cahaya yang dihasilkan dapat diketahui dengan mengukur Lux (lumen/m^2). Sedangkan pengaruh harmonik pada keakuratan pembacaan Kwhmeter dapat diketahui dengan mengukur energinya dengan Kwhmeter.

Analisis yang dilakukan dari data hasil pengukuran adalah dengan melihat frekuensi harmonik yang memiliki amplitudo tegangan dan arus terbesar, hubungan besar THD terhadap faktor dayanya (PF), menghitung nilai faktor bentuk (*form factor*) dan faktor puncak (*crest factor*), serta besar Lux yang dihasilkan. Untuk data hasil pengukuran dengan Kwhmeter dianalisa dengan membandingkan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran energinya.

Dari hasil pengukuran diperoleh harmonik tegangan dan arus pada LHE adalah harmonik orde ganjil dengan harmonik tegangan terbesar pada orde ke_5 dan harmonik arus terbesar pada orde ke_3. Selain itu harmonik pada LHE memiliki pengaruh yang buruk yaitu menurunkan nilai PF dan harmonik pada LHE sangat kecil pengaruhnya terhadap error pada pembacaan Kwhmeter. Dari hasil pengukuran diperoleh pula bahwa beban nonlinier lain disekitar tempat pengukuran yang terhubung dengan sistem sangat mempengaruhi bentuk tegangan sistem.

Berdasarkan hasil penelitian harmonik pada LHE ini, efek negatif harmonik pada LHE masih kecil dibandingkan keuntungan yang diperoleh dari sisi hemat energinya. Selain itu dari hasil penelitian harmonik ini dapat pula didesain filter untuk memperkecil harmonik tegangan pada orde ke_5 dan harmonik arus pada orde ke_3.

Kata kunci : Lampu Hemat Energi (LHE), Total Harmonic Distortion (THD), Lux, Faktor daya (PF), Faktor bentuk (*form factor*), Faktor puncak (*crest factor*)

HARMONIC ANALYSIS ON ENERGY SAVING LAMP

ABSTRACT

Energy Saving Lamp program announced by PLN to small residential customers gives advantage on energy saving side, but it has disadvantage on the harmonic produced, because it can disturb electrical power system and telecommunication system. Harmonic characteristic of Energy Saving Lamp can be seen from THD (*Total Harmonic Distortion*) measurement of its voltage and current. The light produced by this lamp can be measured from the Lux (lumen/m^2) produced, while the influence of harmonic produced to the accuracy of Kwhmeter can be known by measurement of energy.

The analysis done to measurement datas is by seeing harmonic frequency which has the biggest voltage and current amplitude, relation between its THD and power factor (PF), calculate form factor and crest factor of its voltage and current waveform, and the lux produced. The data of energy measurement is analysed by compare the results of measurement with the results of calculation.

Measurement results shows the voltage and current harmonic of energy saving lamp are odd order harmonics. The voltage is predominantly fifth harmonic but the current is predominantly third harmonic. The harmonic produced has a significant negative effect on power factor. It decreases true power factor but the influence of harmonic produced to the accuracy of Kwhmeter is small. Non linier loads near measurement place which are connected to the system have a significant effect on system voltage waveform.

According to the results of this harmonic research, negative effect of the harmonic produced is smaller than the advantage on energy saving side. The results of this research also can be used to design filter to decrease harmonic voltage of fifth order and harmonic current of third order.

Keywords : Energy Saving Lamp, Total Harmonic Distortion (THD), Lux, Power Factor (PF), Form Factor , Crest Factor

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	1
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 METODOLOGI PENELITIAN	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 HARMONIK	4
2.1.1 Distorsi Harmonik	4
2.1.2 Distorsi Tegangan vs Distorsi Arus	5
2.1.3 THD (<i>Total Harmonic Distortion</i>)	6
2.1.4 Harmonik dan Faktor Daya	9
2.1.5 Faktor Bentuk (<i>Form Factor</i>)	13

2.1.6 Faktor Puncak (<i>Crest Factor</i>)	14
2.2 LAMPU HEMAT ENERGI (LHE)	15
2.2.1 Prinsip Kerja LHE	15
2.2.2 Ballast Elektronik	16
2.2.2.1 <i>Flyback Inverter</i>	19
2.2.2.2 Rangkaian <i>Current Source Resonant</i>	20
2.2.2.3 Rangkaian <i>Voltage Source Resonant</i>	20
BAB III METODE PENGUJIAN	23
3.1 PENGUKURAN HARMONIK	23
3.2 PENGUKURAN LUX	24
3.3 PENGUKURAN ENERGI	26
3.4 PENGUKURAN LUX DAN WATT PADA LHE BARU DAN LHE LAMA	27
BAB IV ANALISIS DATA	28
4.1 SPEKTRUM HARMONIK	28
4.1.1 Spektrum Harmonik Tegangan	28
4.1.2 Spektrum Harmonik Arus	35
4.2 PENGARUH HARMONIK	41
4.2.1 Terhadap Faktor Daya (<i>Power Factor</i>)	41
4.2.2 Terhadap Faktor Bentuk (<i>Form Factor</i>)	47
4.2.3 Terhadap Faktor Puncak (<i>Crest Factor</i>)	51
4.2.4 Terhadap Keakuratan Pembacaan Kwhmeter	54
4.3 LUX	56
4.4 RUGI ENERGI SAAT START PADA LHE YANG UMURNYA BERBEDA	58
BAB V KESIMPULAN	60
DAFTAR ACUAN	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Beban non linier	4
Gambar 2.2 Arus harmonik dan tegangan harmonik	5
Gambar 2.3 Gelombang arus dan spektrum harmonik pada konverter PWM	9
Gambar 2.4 Sistem dengan beban linier	10
Gambar 2.5 Sistem dengan beban non linier	11
Gambar 2.6 Blok Diagram Lampu TL Standar	15
Gambar 2.7 Perbedaan frekuensi keluaran ballast magnetik dan elektronik	17
Gambar 2.8 Bentuk gelombang arus lampu flouresent dengan ballast magnetik dan ballast elektronik	18
Gambar 2.9 Blok Diagram Ballast Elektronik	19
Gambar 2.10 Blok Diagram <i>Flyback Inverter</i>	20
Gambar 2.11 Blok Diagram Rangkaian <i>Current Source Resonant</i>	20
Gambar 2.12 Blok Diagram Rangkaian <i>Voltage Source Resonant</i>	21
Gambar 2.13 Skematik Ballast Elektronik	22
Gambar 3.1 Rangkaian pengukur harmonik	23
Gambar 3.2 Rangkaian pengukur Lux	25
Gambar 3.3 Rangkaian pengukur energi	26
Gambar 4.1 Spektrum harmonik tegangan LHE A	28
Gambar 4.2 Spektrum harmonik tegangan LHE B	29
Gambar 4.3 Spektrum harmonik tegangan LHE C	29
Gambar 4.4 Spektrum harmonik tegangan LHE D	30
Gambar 4.5 Spektrum harmonik tegangan LHE E	30
Gambar 4.6 Spektrum harmonik tegangan LHE F	31
Gambar 4.7 Spektrum harmonik tegangan LHE G	31
Gambar 4.8 Spektrum harmonik tegangan LHE H	32

Gambar 4.9	Spektrum harmonik tegangan LHE I	32
Gambar 4.10	Spektrum harmonik tegangan LHE J	33
Gambar 4.11	Spektrum harmonik tegangan 10 LHE paralel	33
Gambar 4.12	Spektrum harmonik tegangan Lampu pijar	34
Gambar 4.13	Spektrum harmonik arus LHE A	35
Gambar 4.14	Spektrum harmonik arus LHE B	35
Gambar 4.15	Spektrum harmonik arus LHE C	36
Gambar 4.16	Spektrum harmonik arus LHE D	36
Gambar 4.17	Spektrum harmonik arus LHE E	37
Gambar 4.18	Spektrum harmonik arus LHE F	37
Gambar 4.19	Spektrum harmonik arus LHE G	38
Gambar 4.20	Spektrum harmonik arus LHE H	38
Gambar 4.21	Spektrum harmonik arus LHE I	39
Gambar 4.22	Spektrum harmonik arus LHE J	39
Gambar 4.23	Spektrum harmonik arus 10 LHE paralel	40
Gambar 4.24	Spektrum harmonik arus lampu pijar	41
Gambar 4.25	Grafik perbandingan PF pengukuran dengan PF <i>displacement</i>	43
Gambar 4.26	Grafik perbandingan PF <i>displacement</i> dengan PF <i>true</i>	44
Gambar 4.27	Grafik perbandingan PF distorsi dengan PF <i>true</i>	45
Gambar 4.28	Grafik THD arus terhadap PF pengukuran	46
Gambar 4.29	Grafik faktor bentuk tegangan	48
Gambar 4.30	Grafik faktor bentuk tegangan vs THD tegangan	49
Gambar 4.31	Grafik faktor bentuk arus	50
Gambar 4.32	Grafik faktor bentuk arus vs THD arus	50
Gambar 4.33	Grafik faktor puncak tegangan	52
Gambar 4.34	Penjumlahan harmonik orde ganjil	53
Gambar 4.35	Grafik faktor puncak arus	53
Gambar 4.36	Grafik pengukuran Watt pada HIOKI 3169-20 POWER TESTER	55
Gambar 4.37	Grafik Lux vs Waktu	56
Gambar 4.38	Grafik Lux rata-rata vs THD tegangan LHE	58

DAFTAR TABEL


	Halaman
Tabel 2.1 Batasan harmonik arus untuk beban nonlinier pada titik PCC untuk tegangan ≤ 69 KV	8
Tabel 2.2 Batasan harmonik tegangan untuk beban nonlinier	8
Tabel 2.3 Nilai maksimum True Power Factor (PF sebenarnya) sebagai fungsi THD arus	13
Tabel 3.1 Hasil pengukuran harmonik LHE dan lampu pijar	24
Tabel 3.2 Hasil pengukuran Lux (lumen/m ²) LHE 5 watt	25
Tabel 3.3 Hasil pengukuran energi	26
Tabel 3.4 Hasil pengukuran Lux (lumen/m ²) LHE 14 watt	27
Tabel 3.5 Hasil pengukuran daya (Watt) LHE 14 watt	27
Tabel 4.1 Hasil perhitungan Faktor daya distorsi (PF _{dist}), Faktor daya <i>displacement</i> (PF _{disp}) dan Faktor daya sebenarnya (PF _{true})	42
Tabel 4.2 Faktor bentuk tegangan dan arus LHE dan lampu pijar	47
Tabel 4.3 Faktor puncak tegangan dan arus	52
Tabel 4.4 Hasil pengukuran dan perhitungan energi pada LHE	54
Tabel 4.5 Hasil pengukuran Watt LHE pada HIOKI 3169-20 POWER TESTER	55
Tabel 4.6 Hasil pengukuran Lux (lumen/m ²) LHE 14 watt	58
Tabel 4.7 Hasil pengukuran daya (Watt) LHE 14 watt	59

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran Hasil pengukuran LHE 5 Watt dan Lampu pijar 100 Watt	64



DAFTAR SINGKATAN



AC	Alternating Current
ASD	Adjustable-Speed Drives
Avg	Average
DC	Direct Current
disp	Displacement
dist	Distortion
EMI	Electro Magnetic Interference
FB	Faktor Bentuk
FP	Faktor Puncak
KHz	Kilo Herzt
KV	Kilo Volt
Kwh	Kilo watt hour
LHE	Lampu Hemat Energi
PCC	Point of Common Coupling
PF	Power Factor
PFC	Power Factor Correction
PWM	Pulse Width Modulation
RMS	Root Mean Square
SMPS	Switch Mode Power Supply
TDD	Total Demand Distortion
THD	Total Harmonic Distortion

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
C	Kapasitansi	Farad
f_o	Frekuensi resonansi	Hz
pf_{disp}	Faktor daya displacement	
pf_{dist}	Faktor daya distorsi	
$pf_{pengukuran}$	Faktor daya pengukuran	
pf_{true}	Faktor daya sebenarnya	
h	Harmonik ke $_h$	
i	Arus listrik	Amper
I_L	Arus beban	Amper
I_{rms}	Arus RMS	Amper
I_{sc}	Arus hubung singkat	Amper
L	Induktansi	Henry
P_{avg}	Daya aktif rata-rata	Watt
Q	Daya reaktif	Var
S	Daya semu	VA
t	Waktu	Detik
THD_I	THD arus	%
THD_V	THD tegangan	%
v	Tegangan	Volt
V_{rms}	Tegangan RMS	Volt
ω	Frekuensi sudut	Rad/detik
δ	Sudut tegangan	Derajat
θ	Sudut arus	Derajat

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Program Lampu Hemat Energi (LHE) yang disosialisasikan PLN ke rumah tangga kecil adalah untuk menekan kenaikan beban yang dipikul oleh jaringan distribusi terutama untuk beban penerangan. Program ini mensosialisasikan penggantian Lampu Pijar dengan Lampu Hemat Energi (LHE). Tujuan program ini adalah untuk mengalihkan beban (*load shifting*), mengurangi beban puncak (*peak clipping*), dan penghematan tenaga listrik (*conservation*)[1]. Bagi PLN penghematan sebesar ini sangat besar dampaknya karena berarti bisa menghemat investasi di sisi pembangkitan. Di sisi lain, konsumen juga akan diuntungkan karena rekening listriknya akan turun[2].

Selain keuntungan dari sisi hemat energi, Lampu Hemat Energi ini memiliki kerugian yaitu dari sisi harmonik yang ditimbulkannya. Masalah harmonik ini perlu dikaji karena Lampu Hemat Energi ini adalah salah satu sumber harmonik terbesar yang dapat menimbulkan gangguan baik pada sistem kelistrikan maupun pada sistem telekomunikasi.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Skripsi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik harmonik yang ditimbulkan oleh Lampu Hemat Energi (LHE), pengaruh harmonik LHE terhadap faktor daya, faktor bentuk dan faktor puncak. Selain itu skripsi ini juga bertujuan untuk melihat pengaruh harmonik yang ditimbulkan LHE terhadap keakuratan pembacaan Kwhmeter serta melihat rugi energi (*losses*) saat start pada LHE yang umurnya berbeda.

1.3 BATASAN MASALAH

Pada skripsi ini masalah yang diangkat dibatasi hanya pada karakteristik harmonik Lampu Hemat Energi (LHE), pengaruh harmonik LHE terhadap faktor daya, faktor bentuk dan faktor puncak, serta pengaruhnya terhadap keakuratan pembacaan Kwhmeter. Selain itu juga mengenai rugi energi (losses) saat start pada LHE yang umurnya berbeda.. Jumlah sampel yang diambil 10 buah dari beberapa produsen LHE dengan daya yang sama sebesar 5 watt, 2 LHE 14 watt dari produsen LHE yang sama dan 1 lampu pijar 100 watt. Untuk pengukurannya dilakukan pada kondisi ruang Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Departemen Elektro Universitas Indonesia.

1.4 METODOLOGI PENELITIAN

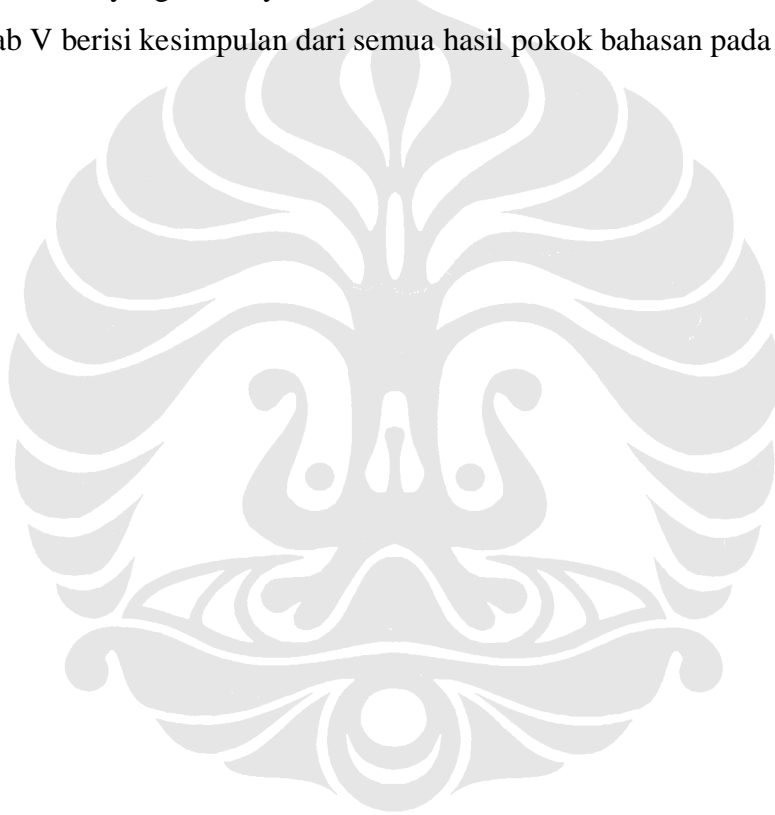
Metodologi yang digunakan pada penelitian skripsi ini adalah pengukuran di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Departemen Elektro Universitas Indonesia dan membandingkan hasil pengukuran ini dengan studi literatur dari buku dan jurnal yang berhubungan.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.
2. Bab II berisi teori-teori dasar tentang harmonik yaitu distorsi harmonik, distorsi tegangan dan arus, THD (*Total Harmonic Distortion*), pengaruh harmonik terhadap faktor daya, faktor bentuk (*Form factor*) dan faktor puncak (*Crest factor*) pada gelombang harmonik kemudian teori Lampu Hemat Energi yaitu tentang prinsip kerjanya dan jenis ballast elektronik yang digunakan.

3. Bab III berisi metode pengujian yaitu pengukuran harmonik, pengukuran Lux dan pengukuran energi dengan Kwhmeter serta pengukuran lux dan daya (watt) pada LHE baru dan LHE lama
4. Bab IV berisi analisis dari data hasil pengukuran yaitu spektrum harmonik tegangan dan arus pada LHE, pengaruh harmonik terhadap faktor daya, faktor bentuk dan faktor puncak serta pengaruh harmonik pada pembacaan Kwhmeter, Lux cahaya yang dihasilkan, serta rugi energi (losses) saat start pada LHE yang umurnya berbeda.
5. Bab V berisi kesimpulan dari semua hasil pokok bahasan pada bab analisa.



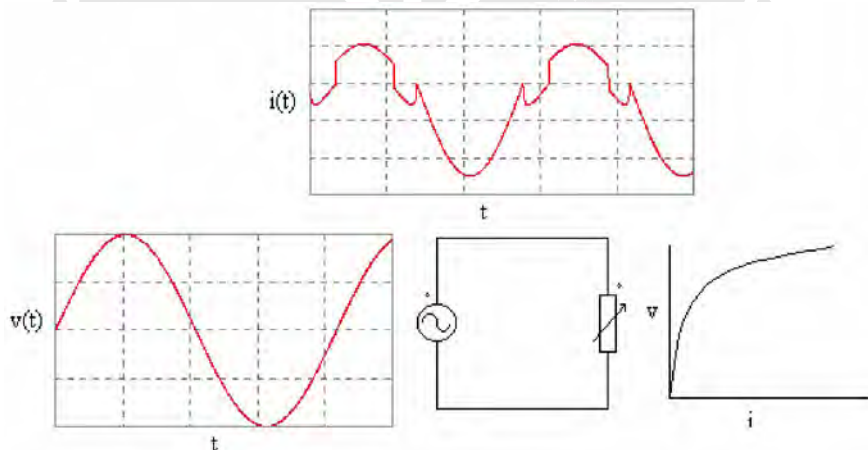
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 HARMONIK

2.1.1 Distorsi Harmonik[3]

Cacat atau distorsi harmonik disebabkan oleh peralatan yang tidak linier pada sistem tenaga listrik. Ketidaklinieran ini yaitu arusnya tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan. Gambar 2.1 berikut menunjukkan sebuah tegangan sinusoidal yang diterapkan pada sebuah beban nonlinier:

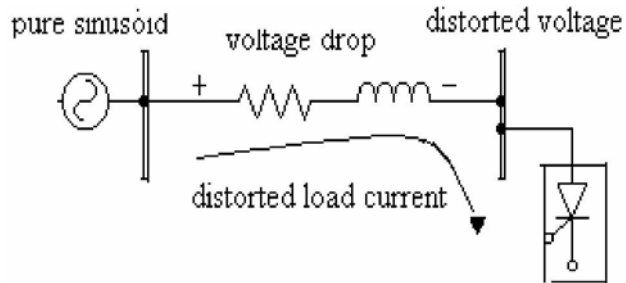


Gambar 2.1 Beban non linier[3]

Jika kita membagi sistem tenaga listrik menjadi elemen seri dan paralel, maka kebanyakan ketidaklinieran pada sistem ditemukan pada elemen-elemen paralel misalnya hal ini ditemukan pada trafo dimana sumber harmoniknya adalah akibat impedansi magnetisasi paralel sedangkan impedansi bocor serinya memiliki sifat linier. Hal yang sama terjadi pada beban-beban di penerima (pemakai) yang dipasang paralel .

2.1.2 Distorsi Tegangan vs Distorsi Arus[3]

Terdapat perbedaan antara arus harmonik dengan tegangan harmonik. Beban nonlinier merupakan sumber arus harmonik yang dapat dimodelkan dengan sumber arus yang terpasang paralel. Sementara tegangan harmonik dihasilkan karena gelombang arus yang cacat (terdistorsi) yang mengalir melalui impedansi seri linier pada sisi penerima. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Arus harmonik dan tegangan harmonik[3]

Pada gambar 2.2 ini bus sumber diasumsikan hanya mengandung tegangan frekuensi dasar. Arus harmonik mengalir melalui impedansi sistem dan menyebabkan terjadi drop tegangan untuk tiap harmonik. Hal ini menghasilkan tegangan harmonik di beban. Besar distorsi tegangan tergantung pada impedansi dan arus. Dengan asumsi distorsi bus beban masih dalam batas (lebih kecil dari 5%) maka besar arus harmonik yang dihasilkan oleh beban akan mendekati konstan untuk tiap tingkat pembebanan.

Arus beban nonlinier mengalir terjadi karena kebanyakan peralatan-peralatan elektronika modern membutuhkan tenaga arus searah (DC) untuk operasinya. Karena tegangan yang disuplai ke pelanggan adalah arus bolak-balik (AC), maka peralatan – peralatan elektronik ini harus mengubah tegangan ini ke DC. Proses pengubahan ini disebut konversi dan peralatannya disebut konverter[4].

Ketika harmonik arus beban menyebabkan distorsi tegangan, beban tidak memiliki kontrol terhadap distorsi tegangan ini. Beban yang sama dengan tempat yang berbeda pada sistem tenaga listrik akan menghasilkan nilai distorsi tegangan yang berbeda.

Pada sistem yang padat dimana impedansi sistem rendah distorsi tegangan biasanya kecil dan hal ini tidak mempengaruhi kualitas dari daya yang disalurkan.

Akan tetapi untuk sistem yang kecil dimana impedansi sistemnya besar, distorsi tegangan bisa menjadi tinggi dan mengakibatkan masalah[5].

2.1.3 THD (*Total Harmonic Distortion*) [3]

Untuk mengukur nilai efektif dari komponen-komponen harmonik dari gelombang cacat (terdistorsi) digunakan besaran THD (*Total Harmonic Distortion*) yaitu perbandingan antara nilai rms komponen harmonik sebuah besaran (arus atau tegangan) terhadap nilai rms arus atau tegangan tersebut pada frekuensi dasarnya dan biasanya dihitung dalam persen.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\max} M_h^2}}{M_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana M_h adalah nilai rms komponen harmonik ke h dari sebuah besaran M . Nilai rmsnya sendiri dapat diperoleh jika diketahui nilai rms komponen harmonik pertama dan nilai THD nya yaitu:

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=\max} M_h^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk arus harmonik nilai THD nya :

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 \dots\dots\dots + I_n^2}}{I_1} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan I_n adalah nilai arus rms harmonik ke n atau $I_n = \frac{I_{nm}}{\sqrt{2}}$. Sementara untuk

tegangan harmonik nilai THD nya:

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 \dots\dots\dots + V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan V_n adalah nilai tegangan rms harmonik ke n atau $V_n = \frac{V_{nm}}{\sqrt{2}}$.

THD arus bervariasi dari beberapa persen sampai lebih dari 100%. THD tegangan biasanya lebih kecil dari 5%. Dibawah 5% umumnya dapat diterima tetapi

jika diatas 10% maka ini tidak dapat diterima dan akan mengakibatkan masalah untuk beban-beban dan peralatan yang sensitif[5].

THD dapat menjelaskan seberapa banyak panas yang dihasilkan ketika tegangan yang terdistorsi dikenakan pada beban resistif. THD juga dapat menjadi indikasi seberapa banyak penambahan rugi sistem yang disebabkan arus yang mengalir melalui sebuah konduktor. Akan tetapi THD bukan indikator yang baik untuk melihat stress tegangan dalam sebuah kapasitor karena stress tegangan ini berhubungan dengan nilai puncak tegangan bukan nilai rms nya[3].

Tegangan harmonik kebanyakan selalu merujuk pada nilai dasar tegangan saat proses pencuplikan (sampling). Karena tegangan berubah-ubah hanya beberapa persen, maka THD tegangan memiliki nilai yang berarti. Hal ini tidak untuk arus. Arus yang kecil bisa memiliki THD yang besar tetapi tidak terlalu mempengaruhi sistem. Karena kebanyakan alat pengukur mengukur THD berdasarkan proses sampling seketika maka nilai yang terukur dapat sangat besar misalnya pada *Adjustable Speed Drive* akan menunjukkan THD yang besar untuk arus masukan ketika beroperasi pada beban yang ringan. Nilai THD yang besar ini tidak perlu dikhawatirkan karena sebenarnya besar arus harmoniknya kecil. Oleh karena itu IEEE menggunakan besaran lain yaitu TDD (*Total Demand Distortion*) sebagai standar yaitu perbandingan antara nilai rms arus harmonik terhadap nilai rms dari arus rating atau arus dasar kebutuhan maksimum[3].

Pada standar harmonik IEEE 519-1992 ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik yaitu batasan untuk harmonik arus dan batasan untuk harmonik tegangan. Untuk standar harmonik arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat maksimum yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*) atau pada tempat pengukuran, sedangkan I_L adalah arus beban maksimum pada frekuensi dasar. Sedangkan untuk standar harmonik tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai. Tabel 2.1 dan 2.2 berikut adalah standar IEEE 519-1992 untuk harmonik arus dan harmonik tegangan:

Tabel 2.1 batasan harmonik arus untuk beban nonlinier pada titik PCC untuk tegangan ≤ 69 KV

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

where
 I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

Sumber:[6]

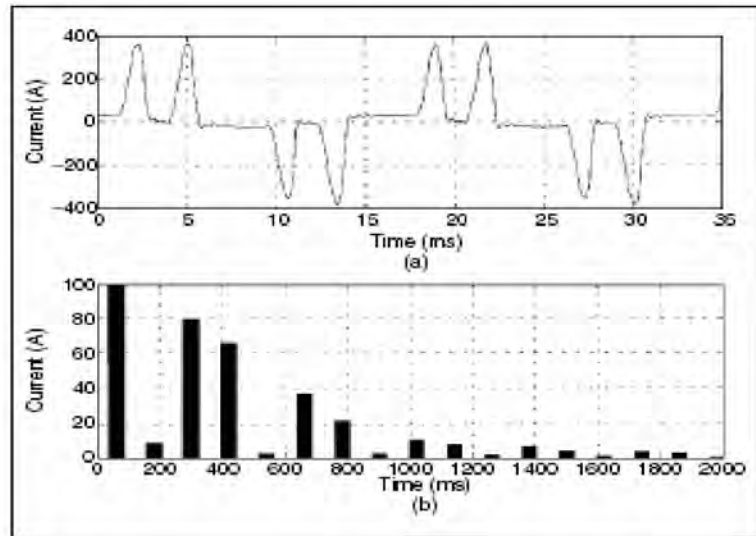
Tabel 2.2 batasan harmonik tegangan untuk beban nonlinier

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

NOTE — High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.

Sumber:[6]

Gambar 2.3 berikut menunjukkan bentuk gelombang dan spektrum harmonik arus dari konverter PWM sumber tegangan untuk aplikasi ASD (*Adjustable-Speed Drives*). THD arus untuk konverter PWM ini sekitar 40 sampai 60 persen[5].



Gambar 2.3 Gelombang arus dan spektrum harmonik pada konverter PWM [5]

2.1.4 Harmonik dan Faktor Daya [7]

Tegangan dan arus harmonik yang diakibatkan oleh beban non-linier meningkatkan rugi-rugi daya yang berakibat negatif pada sistem tenaga listrik. Sebenarnya konsep faktor daya dihasilkan dari kebutuhan untuk mengetahui efisiensi dari beban yang disuplai oleh sumber arus bolak-balik pada sistem tenaga listrik.

Faktor daya dari sistem didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dengan daya kompleksnya (persamaan 2.5). Bila persamaan tersebut kita sederhanakan, maka akan didapatkan persamaan baru untuk faktor daya (persamaan 2.8) atau bisa dikatakan bahwa faktor daya merupakan selisih sudut antara tegangan dan arus.

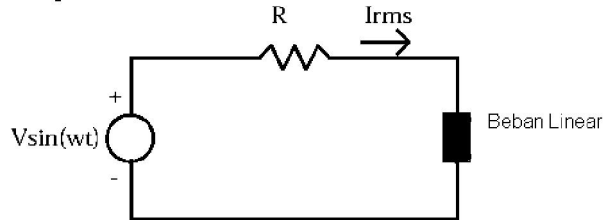
$$pf_{true} = \frac{P_{avg}}{S} = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Beberapa pengertian yang harus diketahui tentang faktor daya :

1. Faktor daya *displacement* (pf_{disp}) adalah perbandingan antara daya aktif dan daya kompleks pada kondisi normal. Atau dapat dikatakan bahwa faktor daya *displacement* adalah selisih sudut antara arus dan tegangan pada kondisi normal .
2. Faktor daya distorsi (pf_{dist}) adalah faktor daya yang terjadi akibat adanya distorsi tegangan dan distorsi arus pada kondisi harmonik.

3. Faktor daya sebenarnya (pf_{true}) adalah perbandingan antara daya aktif dan daya kompleks.

Gambar 2.4 adalah contoh sistem sederhana dengan beban linier yang akan menghasilkan gelombang sinusoidal.



Gambar 2.4. Sistem dengan beban linier

Dengan besar tegangan dan arus pada beban adalah :

$$v(t) = V_1 \sin(\omega_0 t + \delta_1) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$i(t) = I_1 \sin(\omega_0 t + \theta_1) \dots \dots \dots (2.7)$$

V_1 dan I_1 adalah nilai puncak dari tegangan dan arus, δ_1 dan θ_1 adalah sudut fasa tegangan dan arus. Untuk sistem dengan beban linier, persamaan 2.5 dapat dibuat menjadi:

$$pf_{true} = pf_{disp} = \frac{P_{avg}}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{\frac{V_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}} \cos(\delta_1 - \theta_1)}{\frac{V_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}}} = \cos(\delta_1 - \theta_1) \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana :

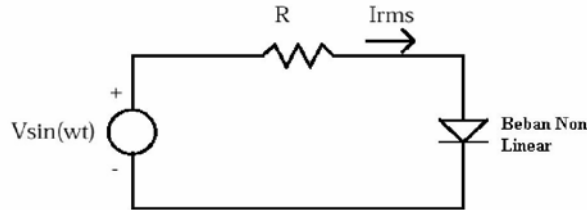
pf_{disp} : adalah faktor daya *displacement*.

$(\delta_1 - \theta_1)$: adalah selisih sudut fasa antara tegangan dan arus.

Dari persamaan 2.8 dapat dilihat bahwa pada kondisi sistem dengan beban linier hanya ada satu faktor daya karena faktor daya sebenarnya sama dengan faktor daya displacement. Pada kondisi sinusoidal faktor daya berhubungan dengan daya reaktif. Faktor daya mendekati satu maka daya reaktif yang dikonsumsi beban mendekati nol.

Artinya beban hanya menyerap daya aktif saja. Sedangkan untuk faktor daya yang rendah atau kecil (mendekati nol) berhubungan dengan daya reaktif yang besar. Pada sistem ini perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan cara memasang kapasitor.

Ketika beban non linier terdapat pada sistem tenaga listrik mengandung maka akan timbul arus dan tegangan harmonik. Gambar 2.5 adalah pemodelan sistem sederhana dengan beban non linier.



Gambar 2.5. Sistem dengan beban non linier

Bila sistem pada gambar 2.5 direpresentasikan dalam persamaan fourier maka :

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k) \dots\dots\dots (2.10)$$

dan nilai rms dari tegangan dan arus adalah

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{V_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} V_{krms}^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Daya aktif rata-rata diberikan oleh persamaan berikut :

$$P_{avg} = \sum_{k=1}^{\infty} V_{krms} I_{krms} \cos(\delta_k - \theta_k) = P_{1avg} + P_{2avg} + P_{3avg} + \dots\dots (2.13)$$

Persamaan 2.13 memperlihatkan harmonik mempengaruhi daya aktif rata-rata. Bila

dibandingkan dengan keadaan tidak ada harmonik maka yang hanya ada pada kondisi baik harmonik maupun tidak adalah P_{1avg} .

Dari persamaan 2.2 dapat dihitung tegangan RMS dan arus RMS yaitu:

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + (THD_V / 100)^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + (THD_I / 100)^2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Bila persamaan 2.14 dan 2.15 disubstitusikan ke persamaan 2.5 maka akan didapatkan persamaan umum faktor daya sebenarnya baik untuk kondisi sinusoidal maupun nonsinusoidal yaitu:

$$pf_{true} = \frac{P_{avg}}{V_{1rms} I_{1rms} \sqrt{1 + (THD_V / 100)^2} \sqrt{1 + (THD_I / 100)^2}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan membuat asumsi sebagai berikut

1. Dalam banyak kasus pengaruh harmonik terhadap daya rata-rata tidak terlalu besar. Oleh karena itu $P_{avg} \approx P_{1avg}$.
2. Oleh karena distorsi tegangan biasanya tidak melebihi 10% maka dari persamaan 2.15 bisa didapatkan $V_{rms} \approx V_{1rms}$.

Dengan asumsi diatas maka didapatkan persamaan untuk faktor daya sebenarnya untuk kondisi sinusoidal maupun tidak.

$$pf_{true} \approx \frac{P_{avg1}}{V_{1rms} I_{1rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I / 100)^2}} = pf_{disp} \times pf_{dist} \dots\dots\dots(2.17)$$

Karena faktor daya *displacement* (pf_{disp}) tidak bisa melebihi 1, maka dapat diambil kesimpulan bahwa faktor daya sebenarnya pada kondisi non-sinusoidal mempunyai batas yaitu:

$$pf_{true} \leq pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I / 100)^2}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa faktor daya untuk keadaan non-sinusoidal besarnya tidak akan melebihi dari faktor daya distorsi.

Hal penting yang harus diingat adalah untuk memperbaiki faktor daya sistem, tidak bisa hanya memasang kapasitor secara paralel. Hanya faktor daya *displacement* yang dapat dikompensasi dengan pemasangan kapasitor secara paralel. Untuk mengkompensasi faktor daya sebenarnya (pf_{true}), maka faktor daya distorsi harus dikompensasi terlebih dahulu. Untuk mengkompensasi faktor daya distorsi harus menggunakan filter baik aktif maupun pasif sehingga dapat dihasilkan faktor daya distorsi yang mendekati 1.

Tabel 2.3 berikut memperlihatkan nilai maksimum faktor daya sebenarnya (pf_{true}) dari sebuah beban nonlinier sebagai fungsi dari THD arus dengan mengasumsikan kasus optimum (faktor daya *displacement* (pf_{dsp}) sama dengan 1) [5].

Tabel 2.3 Nilai maksimum True Power Factor (PF sebenarnya) sebagai fungsi THD arus

Table 1. Maximum true power factor of a nonlinear load	
Current THD (%)	Maximum True pf
20	0.98
50	0.89
100	0.71

Sumber : [5]

2.1.5 Faktor Bentuk (*Form Factor*)

Selain dengan THD untuk menentukan ada tidaknya harmonik pada sistem tenaga listrik dapat pula dilihat dari faktor bentuk (*form factor*) dari gelombang tegangan atau arusnya. Faktor bentuk adalah perbandingan antara nilai RMS dengan nilai rata-rata dari gelombang arus atau tegangan[8]. Misalkan untuk gelombang arus sinusoidal murni maka faktor bentuknya dapat dihitung yaitu:

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t \, d\omega t = \frac{2I_m}{\pi}$$

$$\text{Faktor bentuk} = \frac{I_{RMS}}{I_{Rata-rata}} = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2I_m}{\pi}} = 1.11 \dots \dots \dots (2.19)$$

Untuk gelombang yang mengandung harmonik misalnya gelombang arus yang terdiri dari harmonik ganjil dengan bentuk setengah gelombang positifnya sama dengan setengah gelombang negatifnya maka faktor bentuknya dapat ditentukan yaitu:

$$i = I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin 3\omega t + I_{5m} \sin 5\omega t + \dots \dots$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{I_{1m}^2}{2} + \frac{I_{3m}^2}{2} + \frac{I_{5m}^2}{2} + \dots \dots \dots}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i \, d\omega t = \frac{2}{\pi} \left(I_{1m} + \frac{I_{3m}}{3} + \frac{I_{5m}}{5} + \dots \dots \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor bentuk} &= \frac{I_{RMS}}{I_{Rata-rata}} = \frac{\pi \sqrt{I_{1m}^2 + I_{3m}^2 + I_{5m}^2 + \dots \dots}}{2\sqrt{2} \left(I_{1m} + \frac{I_{3m}}{3} + \frac{I_{5m}}{5} + \dots \dots \right)} \\ &= 1.11 \times \frac{\sqrt{I_{1m}^2 + I_{3m}^2 + I_{5m}^2 + \dots \dots}}{\left(I_{1m} + \frac{I_{3m}}{3} + \frac{I_{5m}}{5} + \dots \dots \right)} \dots \dots \dots (2.20) \end{aligned}$$

Jadi dari persamaan 2.19 dan 2.20 ini terlihat untuk gelombang yang mengandung harmonik maka faktor bentuknya dapat lebih besar atau lebih kecil dari 1.11.

2.1.6 Faktor Puncak (*Crest Factor*)

Untuk menentukan ada tidaknya harmonik pada sistem tenaga listrik dapat pula dilihat dari faktor puncak (*crest factor*)nya. Faktor puncak adalah perbandingan antara nilai puncak terhadap nilai RMS dari gelombang tegangan atau arus[8].

Misalkan untuk gelombang arus sinusoidal murni maka faktor puncaknya dapat dihitung yaitu:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

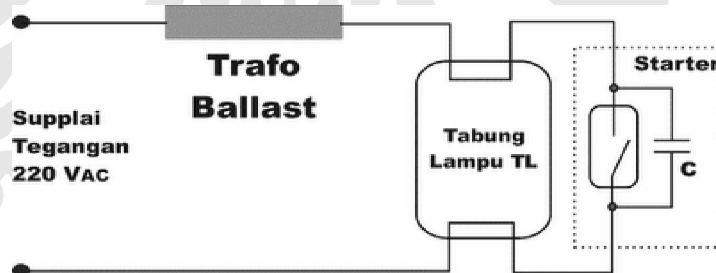
$$\text{Faktor Puncak} = \frac{I_m}{I_{RMS}} = \sqrt{2} \approx 1.414 \dots \dots \dots (2.21)$$

Untuk gelombang yang mengandung harmonik maka faktor puncaknya dapat lebih besar atau lebih kecil dari 1.414.

2.2 LAMPU HEMAT ENERGI (LHE)

2.2.1 Prinsip Kerja LHE [9]

Pada dasarnya prinsip kerja dari lampu hemat energi sama dengan prinsip kerja lampu flourescent standar (TL). Pada lampu TL standar operasinya hanya membutuhkan komponen yang sangat sedikit yaitu : Ballast (berupa induktor), starter, dan sebuah kapasitor (pada umumnya tidak digunakan) dan sebuah tabung lampu TL. Konstruksi ini dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Blok Diagram Lampu TL Standar[9]

Ketika tegangan AC 220 volt di hubungkan ke satu set lampu TL maka tegangan diujung-ujung starter sudah cukup untuk membuat gas neon di tabung starter panas (terionisasi), sehingga starter yang dalam kondisi normalnya terbuka (open) akan menjadi tertutup (closed), oleh karenanya gas neon menjadi dingin (deionisasi), dan dalam kondisi starter tertutup akan terdapat aliran arus yang memanaskan filamen tabung lampu TL sehingga gas didalam tabung lampu TL terionisasi.

Pada saat gas neon di dalam tabung starter sudah cukup dingin maka bimetal di dalam tabung starter tersebut akan kembali terbuka sehingga ballast akan menghasilkan spike tegangan tinggi yang mengakibatkan lompatan elektron dari kedua elektroda dan memendarkan lapisan fluorescent pada tabung lampu TL tersebut.

Peristiwa ini akan berulang ketika gas dalam tabung lampu TL tidak terionisasi penuh sehingga tidak terdapat cukup arus yang melewati filamen lampu neon tersebut. Lampu neon akan tampak berkedip.

Selain itu jika tegangan induksi dari ballast tidak cukup besar maka walaupun tabung neon TL tersebut sudah terionisasi penuh tetap tidak akan menyebabkan lompatan elektron dari salah satu elektroda tersebut. Besarnya loncatan tegangan (*spike*) yang dihasilkan oleh trafo ballast dapat ditentukan oleh rumus berikut:

$$V = L \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (2.22)$$

Jika proses mulai (*starting up*) pertama tidak berhasil maka tegangan diujung-ujung starter cukup untuk membuat gas neon di dalamnya terionisasi (panas) sehingga starter tertutup. Dan seterusnya sampai lampu TL masuk pada kondisi kondisi tunak (*steady state*) yaitu saat impedansinya turun menjadi ratusan ohm. Impedansi dari tabung akan turun dari ratusan megaohm menjadi ratusan ohm saja pada saat kondisi tunak. Arus yang ditarik oleh lampu TL tergantung dari impedansi trafo ballast seri dengan impedansi tabung lampu TL.

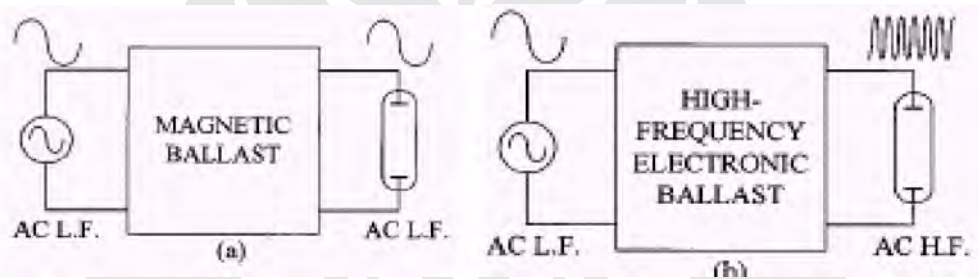
Selain itu karena tidak ada sinkronisasi dengan tegangan input maka ada kemungkinan ketika starter berubah kondisi dari tertutup menjadi terbuka terjadi pada saat tegangan AC turun mendekati nol sehingga tegangan yang dihasilkan ballast tidak cukup menyebabkan lompatan elektron pada tabung lampu TL.

2.2.2 Ballast Elektronik[9]

Ballast adalah alat yang digunakan pada lampu flouresent dan lampu *discharge* lainnya untuk memberikan tegangan dan arus yang diperlukan[10]. Fungsi utamanya adalah:

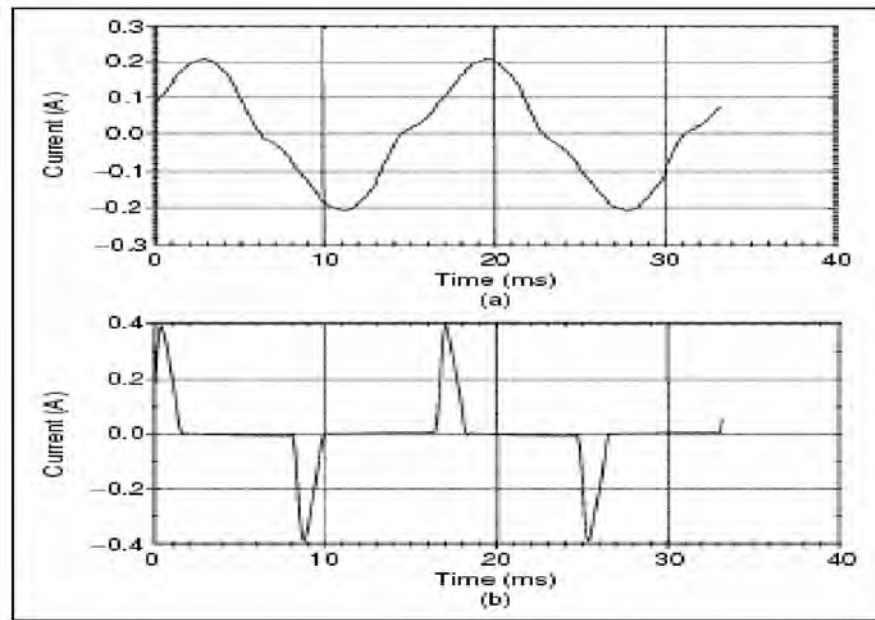
1. Memberikan arus penyalan pada lampu.
2. Menyediakan tegangan kejut yang cukup tinggi untuk elektrod-elektroda lampu TL.
3. Memberikan arus listrik yang melewati lampu agar lampu menyala dengan stabil.
4. Menyediakan tegangan yang dibutuhkan lampu selama beroperasi [11].

Ada dua tipe ballast yang biasa digunakan yaitu: ballast magnetik frekuensi rendah dan ballast elektronik frekuensi tinggi. Fungsi utama kedua ballast ini sama yaitu untuk mengontrol karakteristik start dan karakteristik operasi lampu flouresent. Perbedaan utamanya adalah pada frekuensi yang dikirim ke lampu dan tentu saja komponen-komponen untuk membangkitkan frekuensi ini[10]. Gambar 2.7 berikut memperlihatkan perbedaan kedua tipe ballast ini :



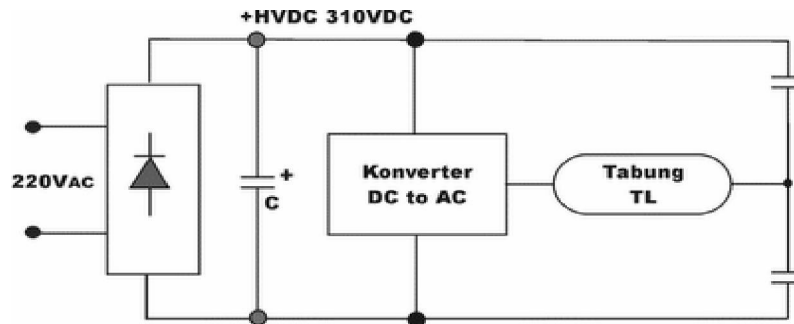
Gambar 2.7 Perbedaan frekuensi keluaran ballast (a) magnetik (b) elektronik [12]

Harmonik yang dihasilkan pada lampu flouresent tergantung pada jenis ballast yang digunakan dan hal ini secara langsung akan mempengaruhi cahaya yang dihasilkan lampu[13]. Lampu flouresent yang menggunakan ballast magnetik distorsinya didominasi oleh harmonik ketiga pada batas 15% sampai 30% dari fundamentalnya. Gambar 2.8 berikut menunjukkan perbandingan bentuk gelombang arus dari lampu flouresent yang menggunakan ballast magnetik dengan lampu flouresent yang menggunakan ballast elektronik[5].



Gambar 2.8 Bentuk gelombang arus lampu flouresent dengan
(a) ballast magnetik dan (b) ballast elektronik [5]

Ballast elektronik mempunyai keunikan khusus, yaitu sistem bekerjanya tidak lagi menggunakan gulungan (kumparan) kawat pada suatu inti besi, tetapi telah diganti dengan sistem rangkaian elektronik sehingga besarnya rugi-rugi pada inti besi pada kumparan menjadi tidak ada lagi (hanya sedikit rugi saja karena rangkaian/sirkuit). Inilah yang paling menguntungkan dalam penghematan energi listrik yang diserapnya. Keuntungan lain yang didapat adalah dapat diatur konsumsi arus listriknya dengan tetap mempertahankan besar tegangan yang diinginkan, sehingga ballast elektronik dapat digunakan untuk sistem pengaturan energi listrik sesuai yang dibutuhkan pada suatu ruangan. Dengan sistem sirkuit elektronik maka ballast menjadi lebih ringan dan lebih kecil dibandingkan dengan ballast magnetik. Gambar 2.9 berikut memperlihatkan blok diagram dari Ballast Elektronik:



Gambar 2.9 Blok Diagram Ballast Elektronik [9]

Pada prinsipnya ballast elektronik ini terdiri dari komponen yang memberikan arus dengan frekuensi tinggi di atas 18 KHz. Frekuensi yang biasa dipakai adalah frekuensi 20 KHz sampai 60 KHz. Aplikasi ini mempunyai beberapa keuntungan yaitu:

1. Meningkatkan rasio perbandingan konversi daya listrik ke cahaya yang dihasilkan.
2. Tidak terdeteksinya kedipan oleh mata karena kedipannya terjadi pada frekuensi yang sangat tinggi sehingga tidak dapat diikuti oleh kecepatan mata.
3. Ballast elektronik ringan.

Tetapi dari keuntungannya tersebut rangkaiannya menjadi lebih rumit jika dibandingkan dengan ballast magnetik. Pada ballast elektronik ini terdapat 3 macam tipe rangkaian yang sering digunakan yaitu :

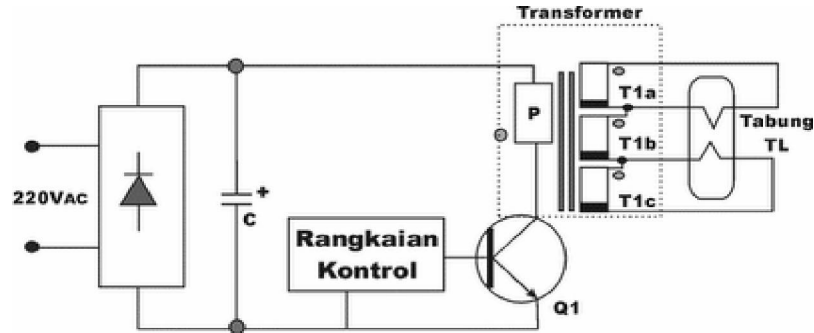
- *Flyback Inverter*
- Rangkaian *Current Source Resonant*
- Rangkaian *Voltage Source Resonant*

2.2.2.1 *Flyback Inverter*

Tipe ini tidak terlalu populer karena adanya pendekatan transien tegangan tinggi sehingga berdampak langsung dengan penggunaan tegangan rangkaian tegangan tinggi begitu pula dengan penggunaan komponen-komponen transistor untuk tegangan tinggi.

Selain itu rangkaian ini akan menurunkan efisiensi transistor karena kerugian pada saat switching . Kerugian yang utama yaitu *flyback inverter* akan menghasilkan tegangan berbentuk kotak dan arus berbentuk segitiga. Tegangan dengan bentuk

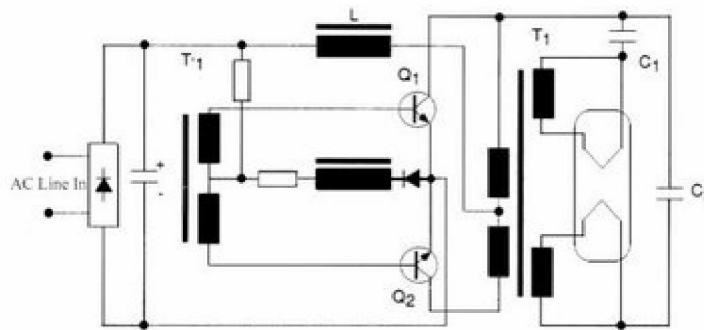
gelombang seperti ini tidak cukup baik untuk lampu TL. Agar rangkaian ini dapat menghasilkan sinyal berbentuk sinus maka perlu ditambahkan komponen induktor dan kapasitor.



Gambar 2.10 Blok Diagram *Flyback Inverter* [9]

2.2.2.2 Rangkaian *Current Source Resonant*

Untuk rangkaian dengan menggunakan teknik ini membutuhkan komponen tambahan induktor yang dinamakan *feed choke*. Komponen ini juga harus menggunakan transistor tegangan tinggi. Oleh karena itu rangkaian ballast elektronik ini membutuhkan biaya yang lebih tinggi. Komponen transistor yang digunakan harus mempunyai karakteristik tegangan breakdown (V_{BR} harus lebih besar dari 784 volt dan harus mampu mengalirkan arus kolektor sebesar 1 sampai 2A.

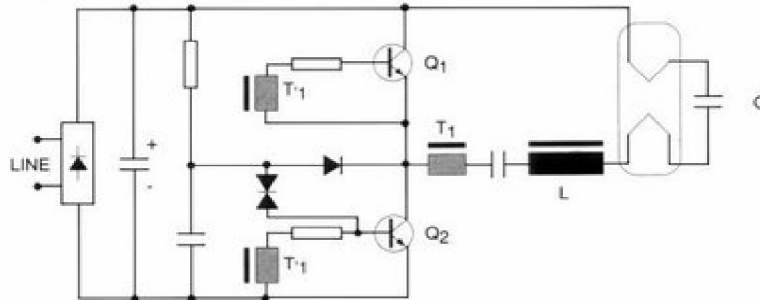


Gambar 2.11 Blok Diagram Rangkaian *Current Source Resonant* [9]

2.2.2.3 Rangkaian *Voltage Source Resonant*

Rangkaian ini paling banyak dipakai oleh berbagai industri ballast elektronik saat ini. Tegangan AC sebagai tegangan supply disearahkan dengan menggunakan *bridge DR* dan akan mengisi kapasitor bank C1. C1 akan menjadi sumber tegangan

DC untuk tabung lampu TL. Kemudian sebuah input filter dibentuk untuk mencegah rangkaian dari tegangan transien dari tegangan supply PLN dan melemahkan berbagai sumber *noise* EMI (*Electro Magnetic Interference*) yang dihasilkan oleh frekuensi tinggi dari tabung lampu TL. Filter input ini dibentuk dengan rangkaian induktor dan kapasitor. Blok diagram rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12 Blok Diagram Rangkaian *Voltage Source Resonant* [9]

Input filter ini harus mempunyai spesifikasi yang baik karena harus dapat mencegah interferensi gelombang radio sehingga di Amerika input filter ini harus mempunyai sertifikat FCC. Frekuensi resonansi yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L(C_3 C_4)}{C_3 + C_4}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Pada saat rangkaian dihidupkan maka tabung TL akan mempunyai impedansi yang sangat besar sehingga C4 seakan-akan seri dengan L dan C3 sehingga didapatkan persamaan di atas.

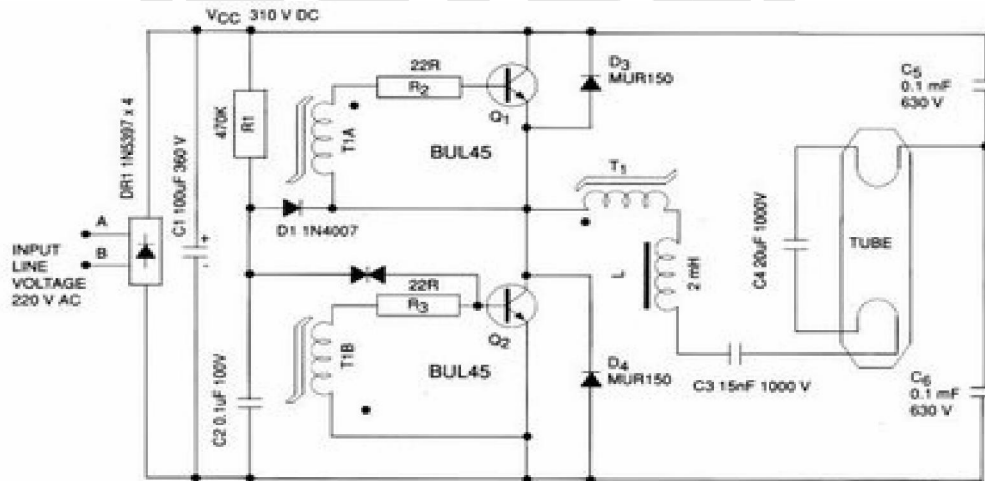
Resonansi yang dihasilkan ini mempunyai tegangan yang cukup besar agar dapat mengionisasi gas yang berada di dalam tabung lampu TL tersebut. Kondisi ini akan menyebabkan kondisi strating yang tiba-tiba sehingga dapat memperpendek umur dari filamen karena filamen belum mendapatkan pemanasan yang cukup untuk mengemisikan elektron. Kondisi ini ditentukan oleh keadaan osilatornya.

Pada saat mulai untuk on (*starting up*) terdapat arus puncak (*peak*) yang sangat besar, sebesar 4 kali arus keadaan tunak (*steady state*). Oleh karena itu harus

dipilih transistor yang mempunyai karakteristik arus kolektor sebesar 4 x arus keadaan tunak (*steady state*) yaitu sekitar 2.75A. Arus steady besarnya sekita 0.75A. Sehingga Q1 dan Q2 harus mampu melewatkan arus sebesar 2.75A.

Ketika tabung TL telah terionisasi dengan penuh maka impedansinya akan turun menjadi ratusan ohm saja sehingga akan membuang muatan pada C4. Kondisi ini akan menggeser frekuensi resonansi ke nilai yang ditentukan oleh C3 dan L. Energi yang sedang digunakan tersebut sekarang lebih kecil begitu pula dengan tegangan di antara elektroda-elektrodanya menjadi kecil pula. Kondisi ini mengakhiri kondisi startup dari lampu TL ini.

Dibawah ini merupakan contoh aplikasi untuk ballast elektronik dengan menggunakan transistor power BUL45.



Gambar 2.13 Skematik Ballast Elektronik [9]

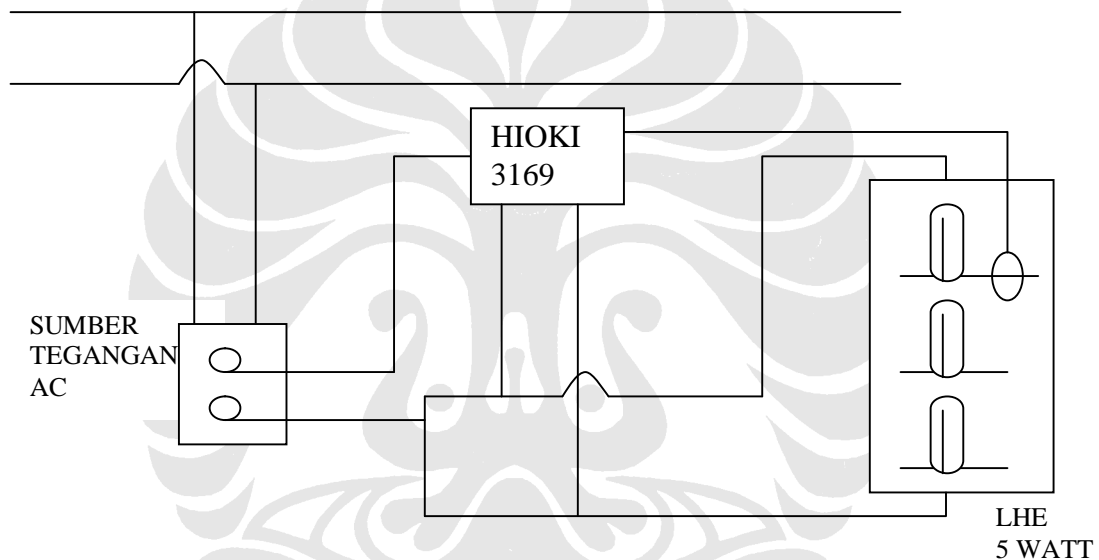
Yang perlu diperhatikan dalam pengontrolan pada ballast elektronik adalah parameter dari transistor power yang digunakan yang mampu menjamin terjadinya keadaan tunak (*steady state*) dari lampu TL tersebut.

BAB III

METODE PENGUJIAN

3.1 PENGUKURAN HARMONIK

Rangkain uji pada proses pengukuran harmonik ini ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Rangkaian pengukur harmonik

Pada pengukuran harmonik ini diambil 10 buah sampel Lampu Hemat Energi dari beberapa produsen LHE dengan besar Watt yang seragam yaitu 5 Watt dengan harga sebagai variabel pembanding. Pengukuran harmoniknya menggunakan HIOKI 3169-20 POWER TESTER. Data yang diukur adalah tegangan (volt), arus (amper), daya aktif (watt), daya reaktif (var), daya semu (VA), faktor daya (PF), THD tegangan (%) dan THD arus (%), spektrum harmonik serta bentuk gelombang tegangan dan arusnya. Tiap pengukuran dilakukan selama 1 menit dimulai saat lampu mulai dinyalakan. Semua data hasil pengukuran disimpan di PC Card.

Ada 2 pengukuran yang dilakukan yaitu:

- 1 Mengukur harmonik pada tiap LHE dan pada semua LHE yang dipasang paralel. Pengukuran ini untuk mengetahui karakteristik harmonik tiap LHE dan karakteristik harmonik ketika di pasang paralel.
- 2 Mengukur harmonik pada lampu pijar 100 Watt, hal ini untuk melihat perbandingan harmoniknya terhadap Lampu Hemat Energi.

Data hasil pengukuran untuk tiap LHE, untuk semua LHE dipasang paralel dan lampu pijar ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut:

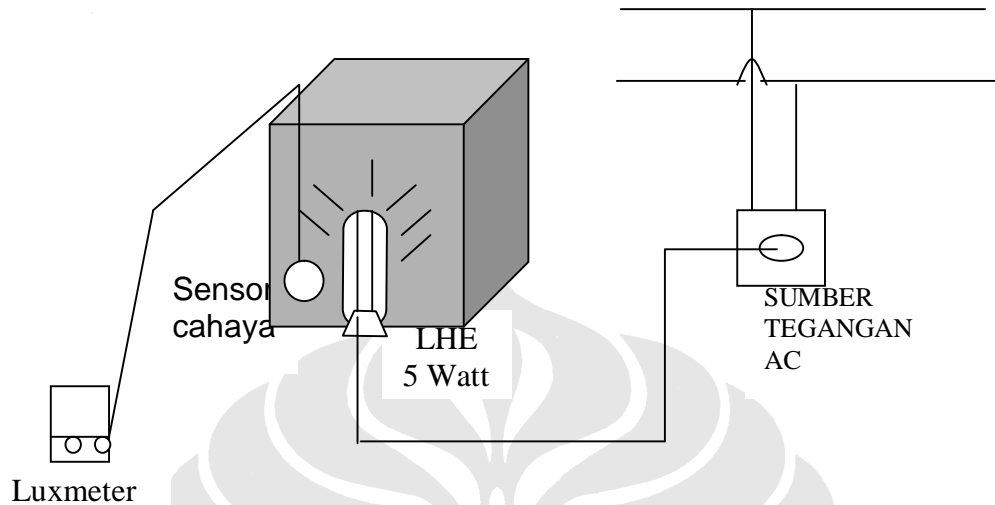
Tabel 3.1 Hasil pengukuran harmonik LHE dan lampu pijar

Lampu	S (VA)	P (WATT)	Q (VAR)	PF	THD Tegangan (%)	THD Arus (%)
LHE A 5 W	6.2	-5.4	3.1	0.8695	1.65	66.8
LHE B 5 W	7.7	-6.6	4	0.859	1.6	62.31
LHE C 5 W	5.4	-4.8	2.3	0.9	1.61	70.82
LHE D 5 W	6.7	-5.8	3.4	0.8636	1.59	64.64
LHE E 5 W	5	-4.5	2.3	0.8941	1.62	69.53
LHE F 5 W	5.5	-4.9	2.5	0.888	1.72	69.6
LHE G 5 W	5.7	-5.3	2.1	0.9313	1.69	77.9
LHE H 5 W	4.9	-4.6	1.6	0.9428	1.72	78.31
LHE I 5 W	5.1	-4.6	2.3	0.8931	1.62	71.07
LHE J 5 W	5.1	-4.6	2.2	0.901	1.53	72.54
LHE PARALEL	59.7	-53.2	27.1	0.8908	1.6	64.83
PIJAR 100 W	88	-88	1.6	0.9998	2.64	2.36

3.2 PENGUKURAN LUX

Pada pengukuran lux ini tiap LHE diukur lux nya dengan Luxmeter digital. Pengukuran dilakukan selama 5 menit dengan interval pengukuran 20 detik dimulai saat lampu mulai dinyalakan dan dilakukan pada kondisi ruang tanpa cahaya luar (gelap) agar tidak mempengaruhi pengukuran Lux nya dengan sensor cahaya

diletakkan sangat dekat dengan lampu. Rangkaian pengukuran Lux ini ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Rangkaian pengukur Lux

Data hasil pengukurannya ditunjukkan pada tabel 3.2 berikut:

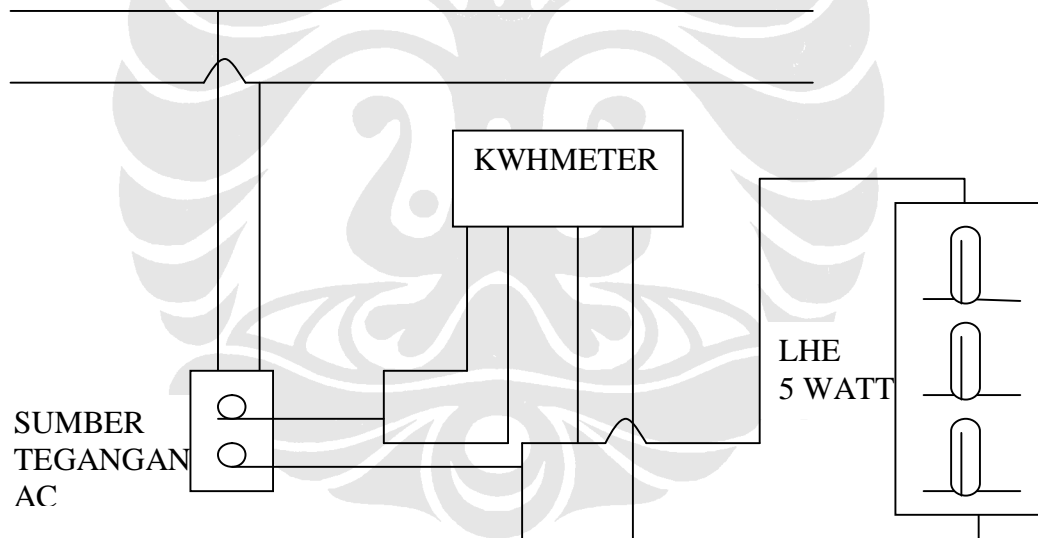
Tabel 3.2 Hasil pengukuran Lux (lumen/m²) LHE 5 watt

DETIK	Lux									
	LHE A	LHE B	LHE C	LHE D	LHE E	LHE F	LHE G	LHE H	LHE I	LHE J
20	655	668	472	648	422	738	1041	900	317	979
40	739	775	595	766	501	860	1190	1020	441	1333
60	766	823	655	820	539	912	1270	1079	501	1485
80	775	837	684	852	540	931	1314	1090	532	1535
100	774	827	691	819	555	925	1325	1099	555	1559
120	768	818	715	804	553	930	1324	1094	576	1620
140	755	806	729	844	550	950	1337	1078	583	1642
160	753	804	733	820	550	952	1307	1073	600	1629
180	738	805	734	822	538	960	1309	1059	621	1595
200	720	817	751	810	530	953	1299	102	670	1591
220	722	802	754	801	532	954	1289	1048	694	1593

240	704	780	746	787	533	950	1279	1044	714	1604
260	726	780	734	808	530	940	1275	1050	719	1674
280	721	836	739	811	523	942	1237	1079	731	1623
300	730	824	726	813	527	951	1247	1054	740	1663

3.3 PENGUKURAN ENERGI

Untuk mengetahui pengaruh harmonik Lampu Hemat Energi terhadap keakuratan pembacaan Kwhmeter analog maka dilakukan pengukuran energi pada lampu ini. Pada pengukuran ini semua Lampu Hemat Energi diparalel dan dinyalakan bersama selama 4 jam dengan mencatat posisi awal dan akhir Kwhmeter. Rangkaian pengukurannya ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Rangkaian pengukur energi

Data hasil pengukurannya ditunjukkan pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Hasil pengukuran energi

	Waktu	Kwh
Awal	13:30	1531.8
Akhir	17:30	1532

3.4 PENGUKURAN LUX DAN WATT PADA LHE BARU DAN LHE LAMA

Pada pengukuran ini 2 buah LHE 14 watt dari merk yang sama dibandingkan berdasarkan berapa lama telah digunakan. LHE pertama belum digunakan (baru) sedangkan LHE kedua (lama) telah digunakan sekitar 5 bulan dengan penggunaan 4 jam tiap hari. Untuk pengukuran lux digunakan rangkaian seperti pada gambar 3.2 sedangkan untuk pengukuran watt menggunakan Wattmeter analog. Kedua pengukuran ini dilakukan selama 8 menit dengan interval pengukuran 1 menit dimulai saat lampu mulai dinyalakan. Berikut tabel hasil pengukuran:

Tabel 3.4 Hasil pengukuran Lux (lumen/m²) LHE 14 watt

LHE	Lux (lumen/m ²)							
	Menit 1	Menit 2	Menit 3	Menit 4	Menit 5	Menit 6	Menit 7	Menit 8
Lama	330	665	1139	1620	1861	2000	>2000	>2000
Baru	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000

Tabel 3.5 Hasil pengukuran daya (Watt) LHE 14 watt

LHE	Daya (Watt)							
	Menit 1	Menit 2	Menit 3	Menit 4	Menit 5	Menit 6	Menit 7	Menit 8
Lama	14	14	14	14	14	14	14	14
Baru	15	15	15	15	15	15	15	15

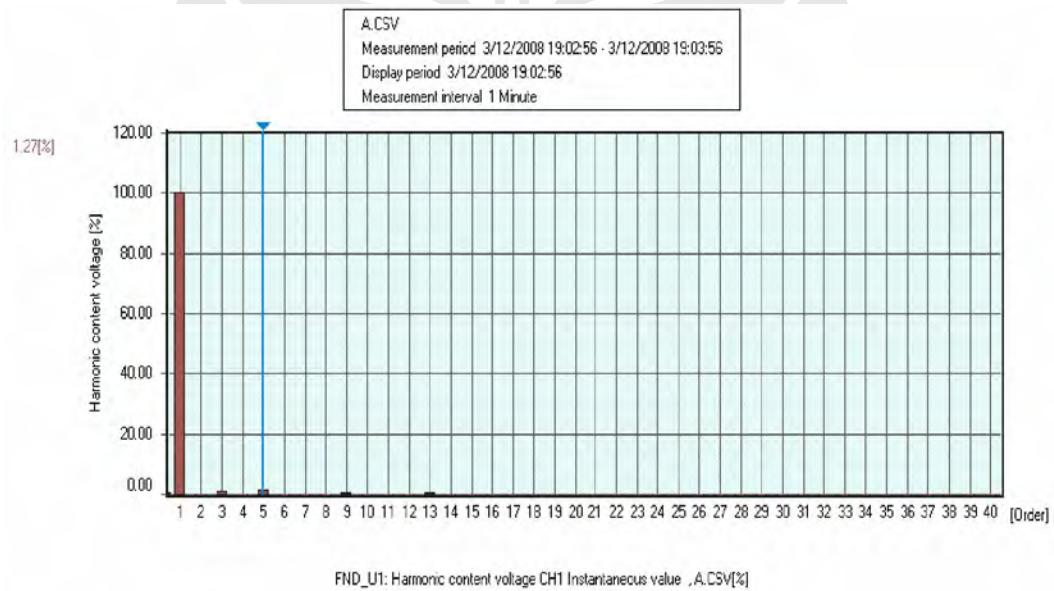
BAB IV

ANALISIS DATA

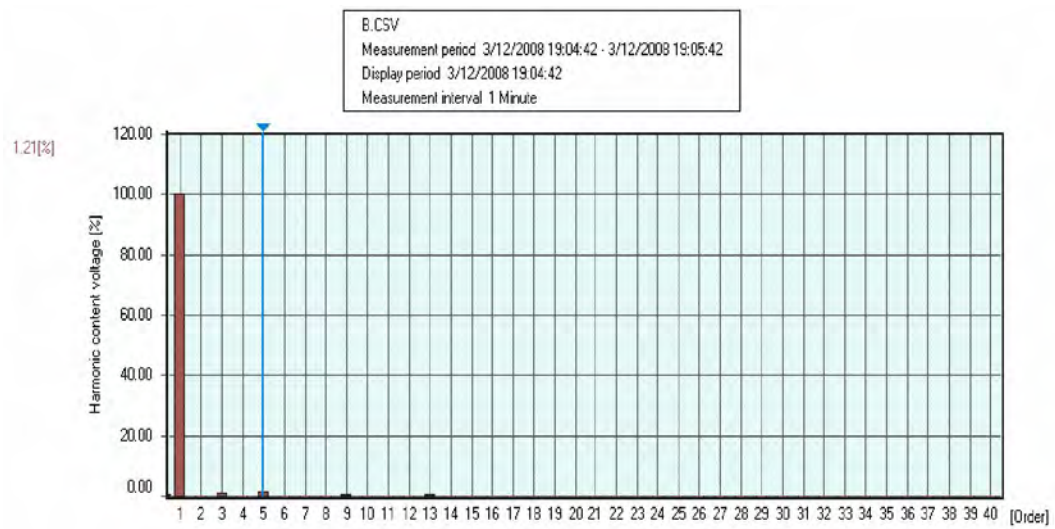
4.1 SPEKTRUM HARMONIK

4.1.1 Spektrum Harmonik Tegangan

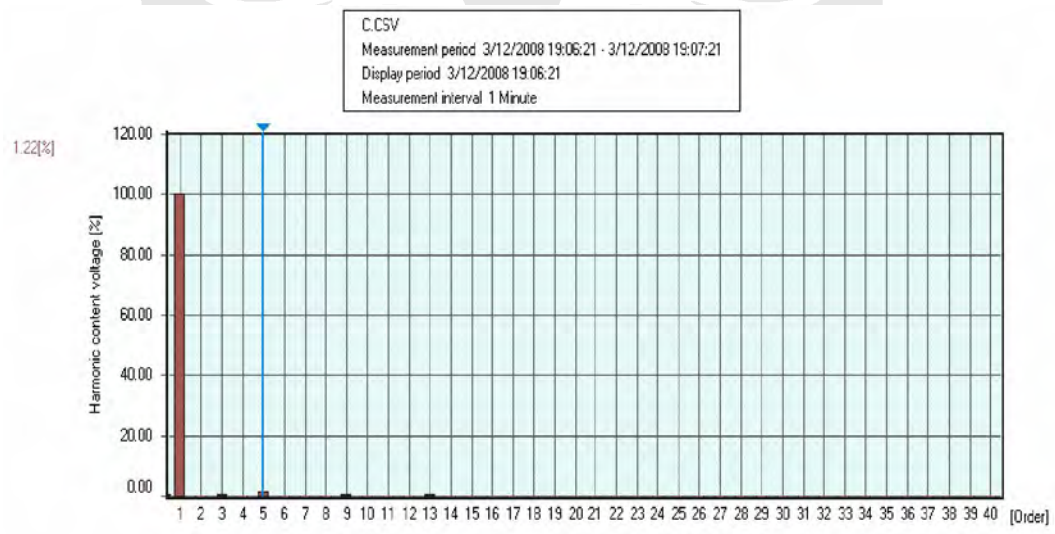
Grafik harmonik tegangan (%) untuk 10 buah LHE (A,B,C,J) ditunjukkan pada gambar berikut:



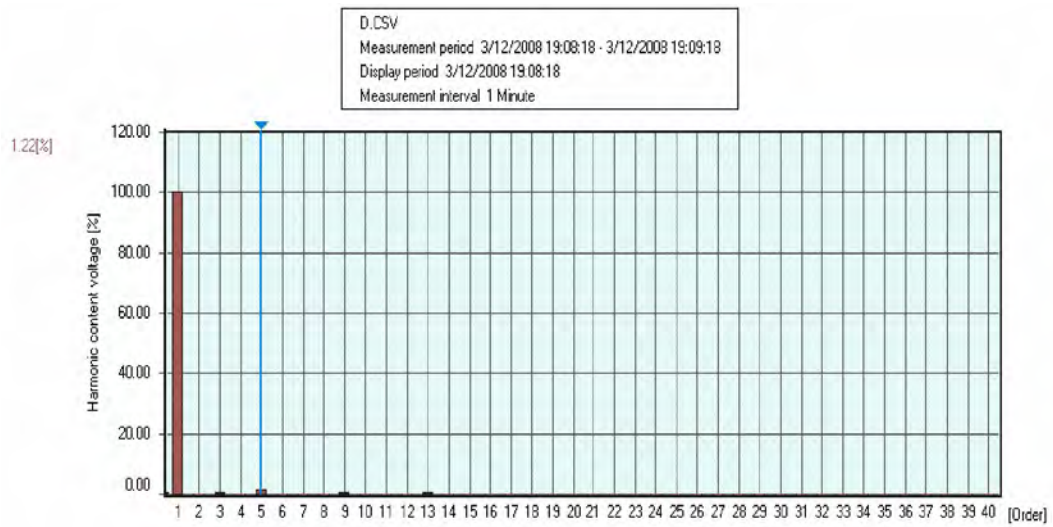
Gambar 4.1 Spektrum harmonik tegangan LHE A



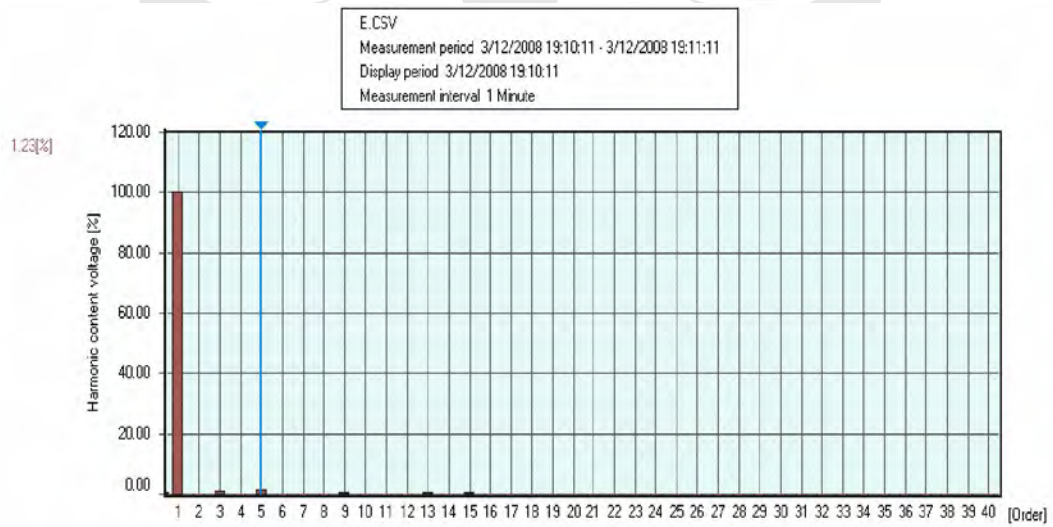
FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value , B.CSV[%]
Gambar 4.2 Spektrum harmonik tegangan LHE B



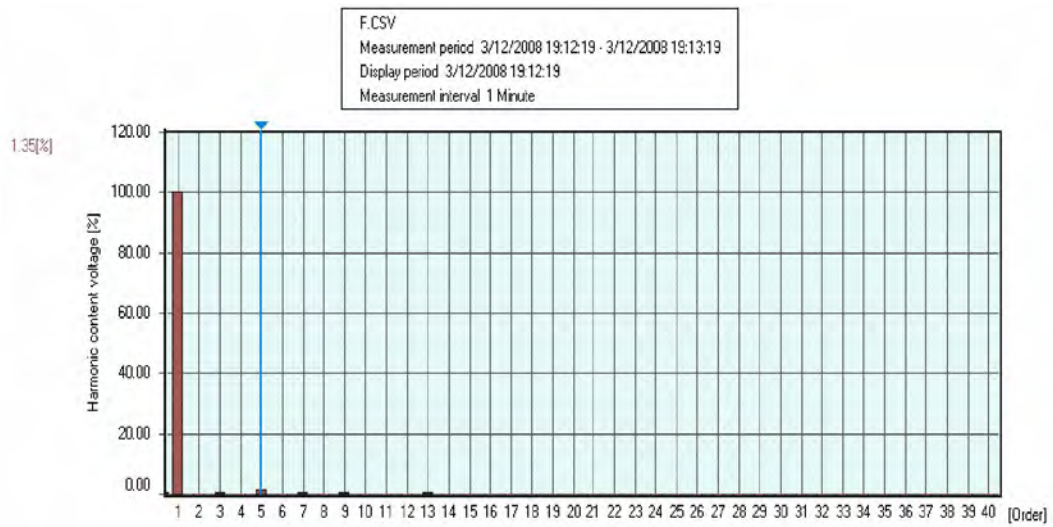
FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value , C.CSV[%]
Gambar 4.3 Spektrum harmonik tegangan LHE C



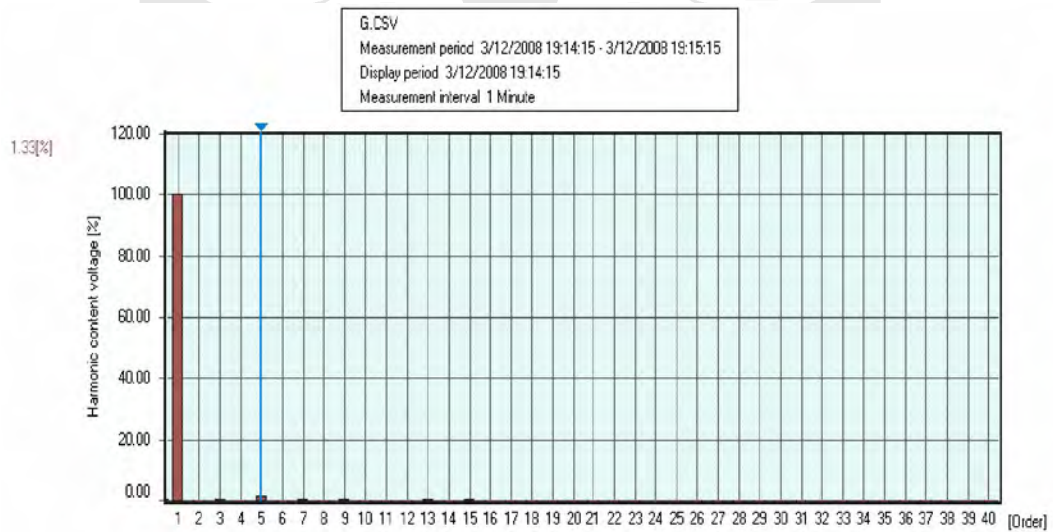
FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value , D.CSV[%]
Gambar 4.4 Spektrum harmonik tegangan LHE D



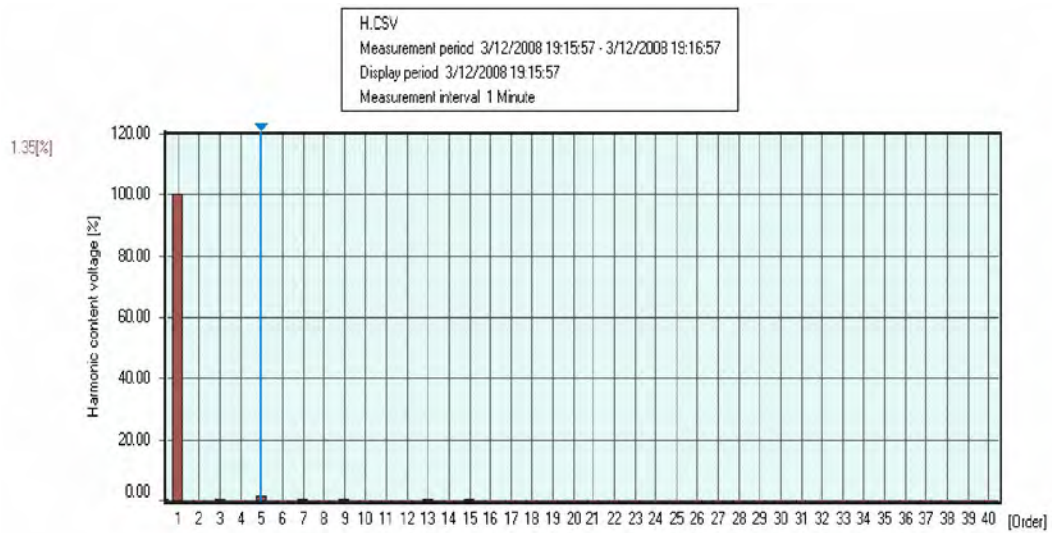
FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value , E.CSV[%]
Gambar 4.5 Spektrum harmonik tegangan LHE E



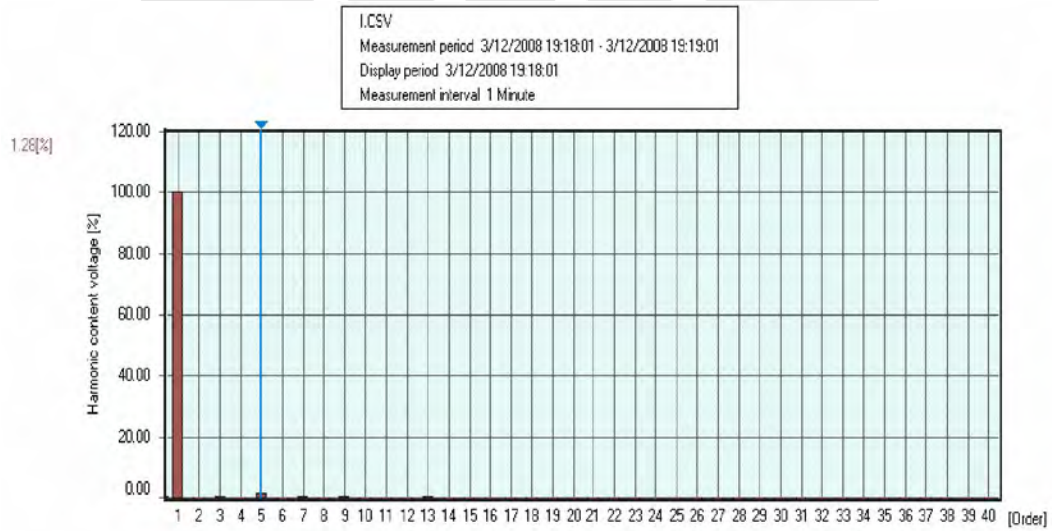
FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value , F.CSV[%]
Gambar 4.6 Spektrum harmonik tegangan LHE F



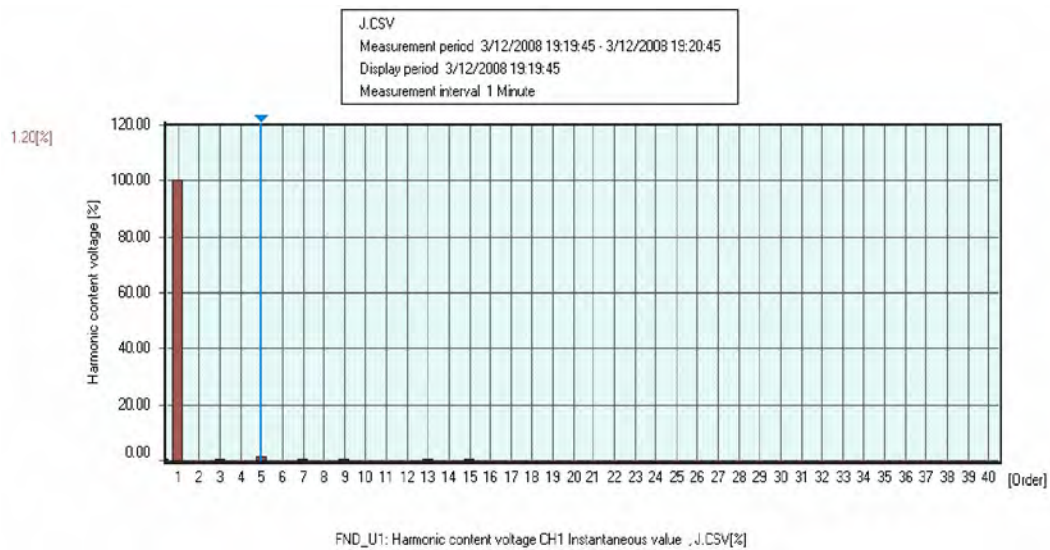
FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value , G.CSV[%]
Gambar 4.7 Spektrum harmonik tegangan LHE G



FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value .H.CSV[%]
Gambar 4.8 Spektrum harmonik tegangan LHE H



FND_U1: Harmonic content voltage CH1 Instantaneous value .I.CSV[%]
Gambar 4.9 Spektrum harmonik tegangan LHE I

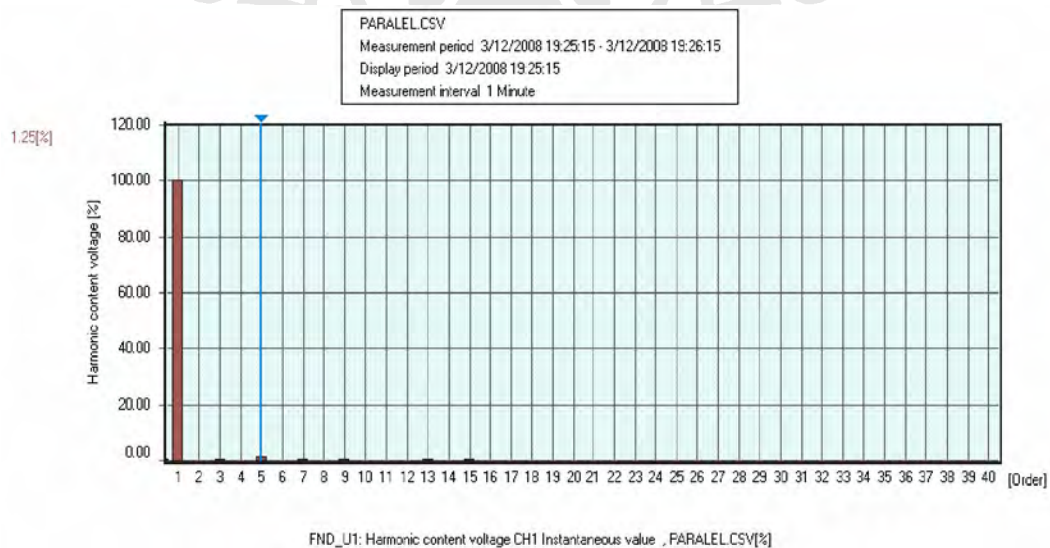


Gambar 4.10 Spektrum harmonik tegangan LHE J

Dari semua grafik harmonik tegangan di atas terlihat harmonik terjadi pada orde ganjil dan harmonik tegangan yang terbesar adalah pada orde ke_5 yaitu $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$. Dari semua grafik diatas juga dapat dihitung rata-rata persentase tegangan harmonik dari 10 LHE pada frekuensi orde ke _5 adalah :

$$\frac{1.27 + 1.21 + 1.22 + 1.22 + 1.23 + 1.35 + 1.33 + 1.35 + 1.28 + 1.20}{10} = 1.266 \%$$

Untuk semua LHE yang diparalel grafik harmonik tegangannya ditunjukkan pada gambar 4.11 berikut:



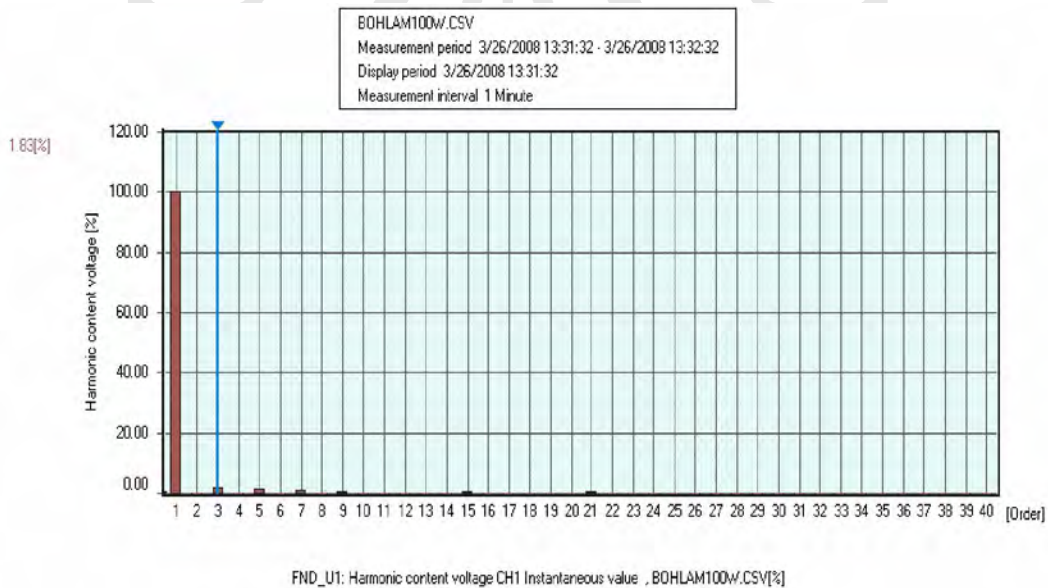
Gambar 4.11 Spektrum harmonik tegangan 10 LHE paralel

Dari grafik harmoik tegangan untuk LHE yang diparalel di atas juga terlihat frekuensi harmonik tegangan yang terbesar adalah pada orde ke_5 yaitu $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$ dengan persentase tegangan harmonik pada frekuensi orde ke _5 ini sebesar 1.25 %.

Dari kedua nilai persentase tegangan harmonik pada frekuensi orde ke _5 ini (1.266 % dan 1.25 %) terlihat perbedaannya hanya sebesar 0.016 %. Hal ini dikarenakan semua LHE disusun paralel dengan sumber sehingga tegangannya hampir sama dengan tegangan sumber. Jadi jumlah lampu sangat kecil pengaruhnya terhadap kenaikan persentase tegangan harmonik di sumber.

Jika dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992 dimana batas maksimum tegangan harmonik untuk tegangan dibawah 69 KV adalah 3 % maka dari semua grafik harmonik tegangan LHE di atas terlihat tegangan harmonik terbesar pada orde ke_5 masih dibawah batas standar IEEE. Jadi penggunaan LHE pada konsumen listrik masih dalam batas aman untuk sistem tenaga listrik.

Untuk lampu pijar spektrum harmonik tegangannya ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut:



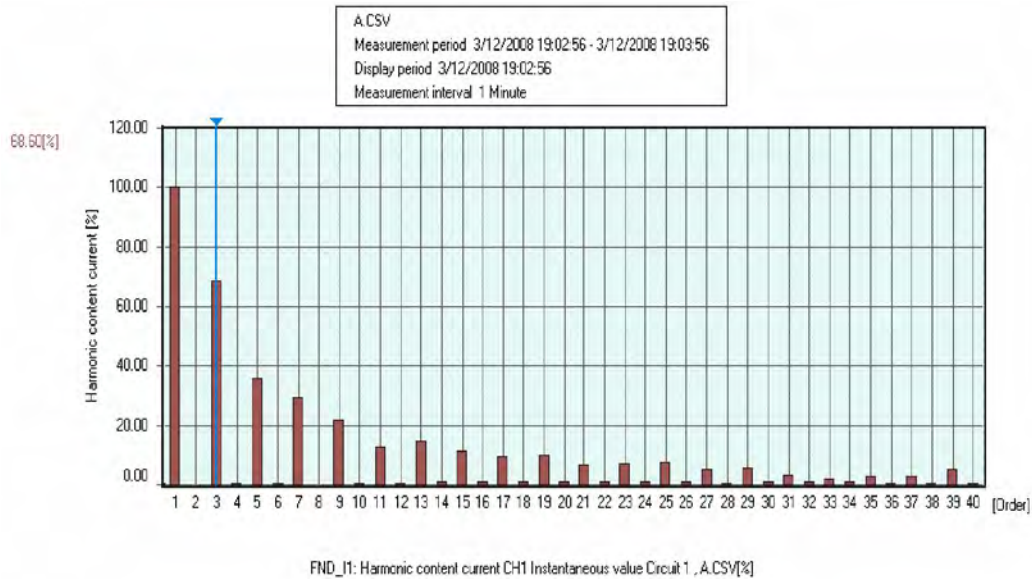
Gambar 4.12 Spektrum harmonik tegangan lampu pijar

Dari spektrum harmonik tegangan lampu pijar ini terlihat frekuensi harmonik tegangan yang terbesar adalah pada orde ke_3 yaitu $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$. Jika

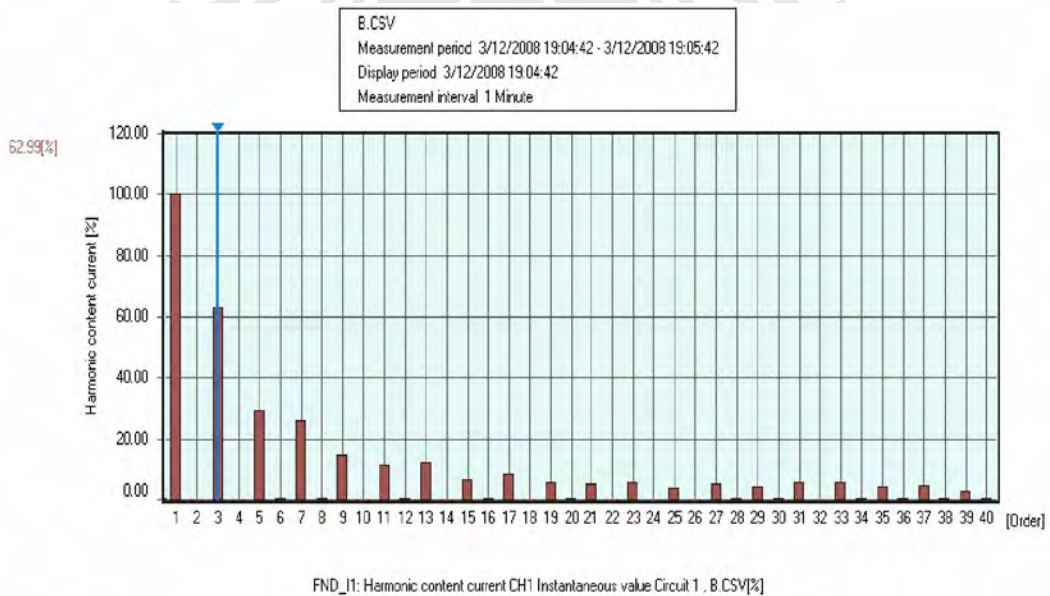
dibandingkan antara grafik harmonik tegangan LHE dengan lampu pijar terlihat kedua jenis lampu ini memiliki harmonik tegangan yang sangat kecil .

4.1.2 Spektrum Harmonik Arus

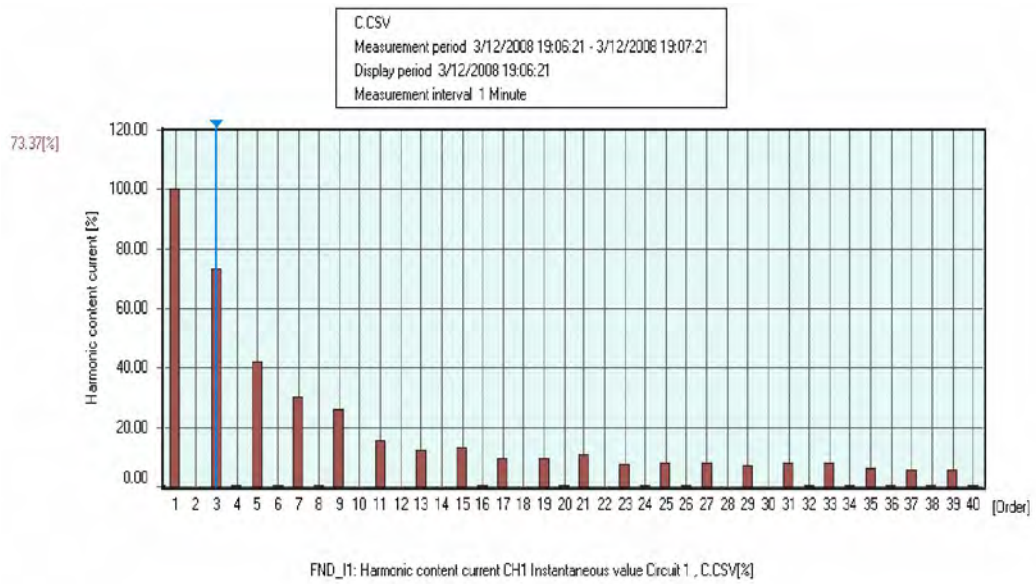
Grafik harmonik arus (%) untuk 10 buah LHE (A,B,CJ), ditunjukkan pada gambar berikut:



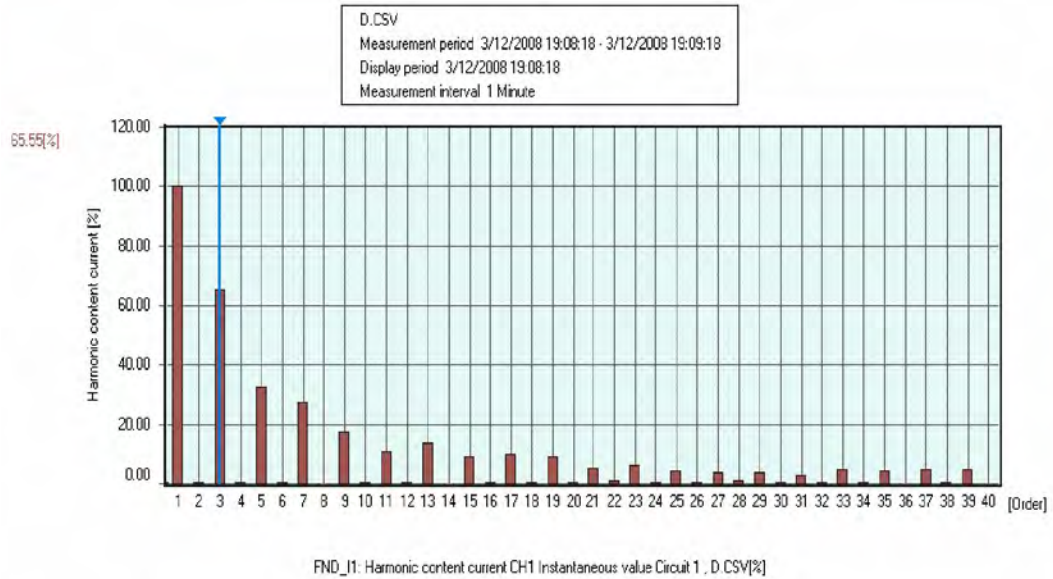
Gambar 4.13 Spektrum harmonik arus LHE A



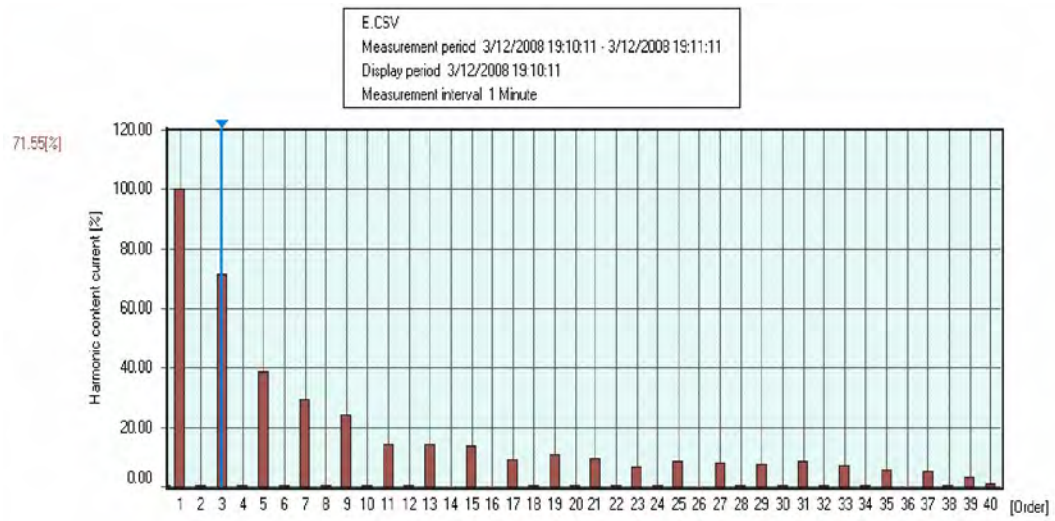
Gambar 4.14 Spektrum harmonik arus LHE B



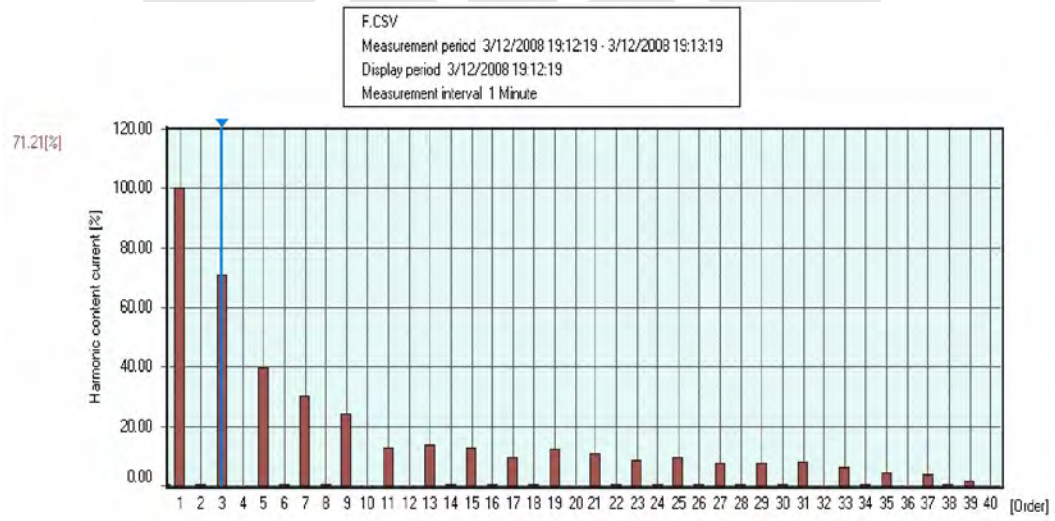
Gambar 4.15 Spektrum harmonik arus LHE C



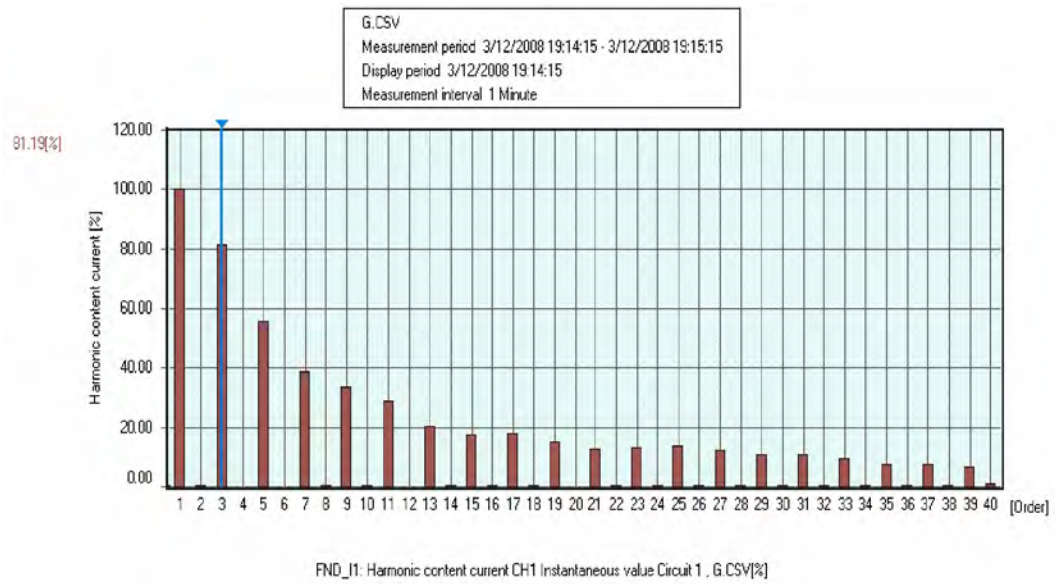
Gambar 4.16 Spektrum harmonik arus LHE D



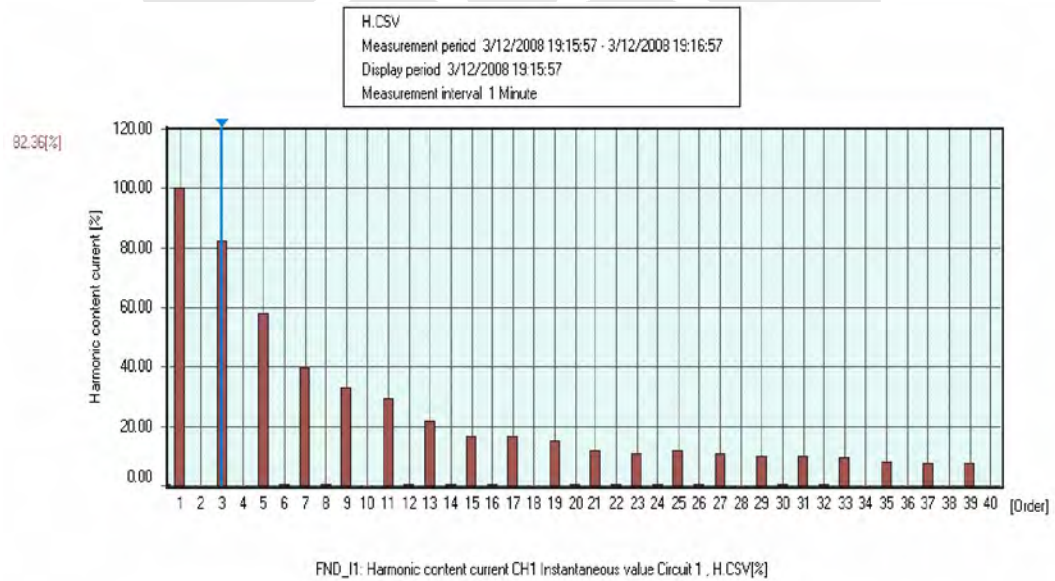
Gambar 4.17 Spektrum harmonik arus LHE E



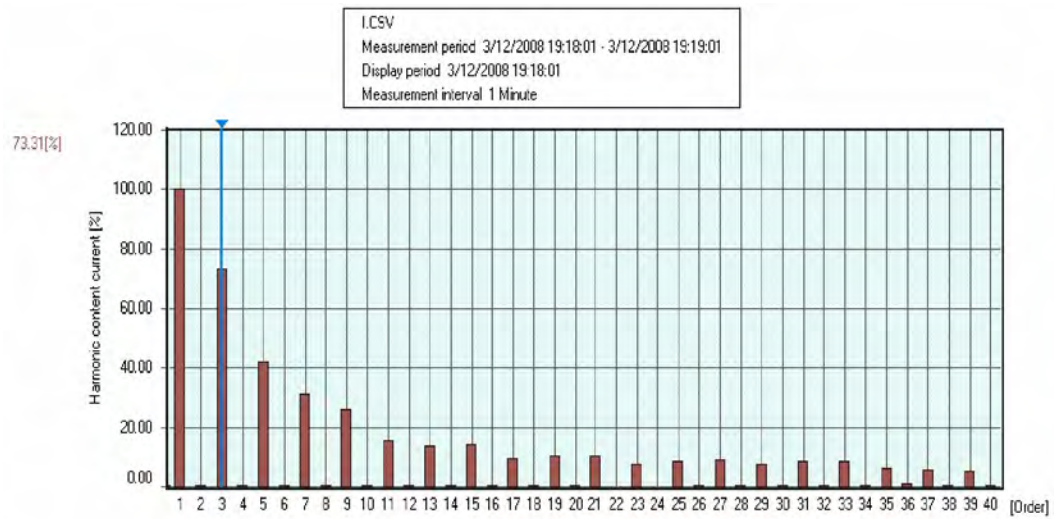
Gambar 4.18 Spektrum harmonik arus LHE F



Gambar 4.19 Spektrum harmonik arus LHE G

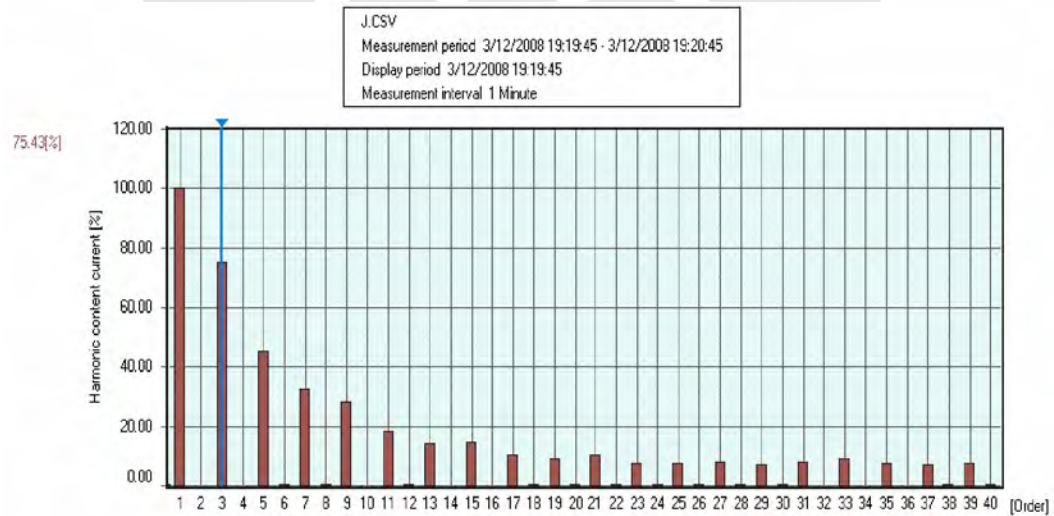


Gambar 4.20 Spektrum harmonik arus LHE H



FND_1: Harmonic content current CH1 Instantaneous value Circuit 1 ,I.CSV[%]

Gambar 4.21 Spektrum harmonik arus LHE I



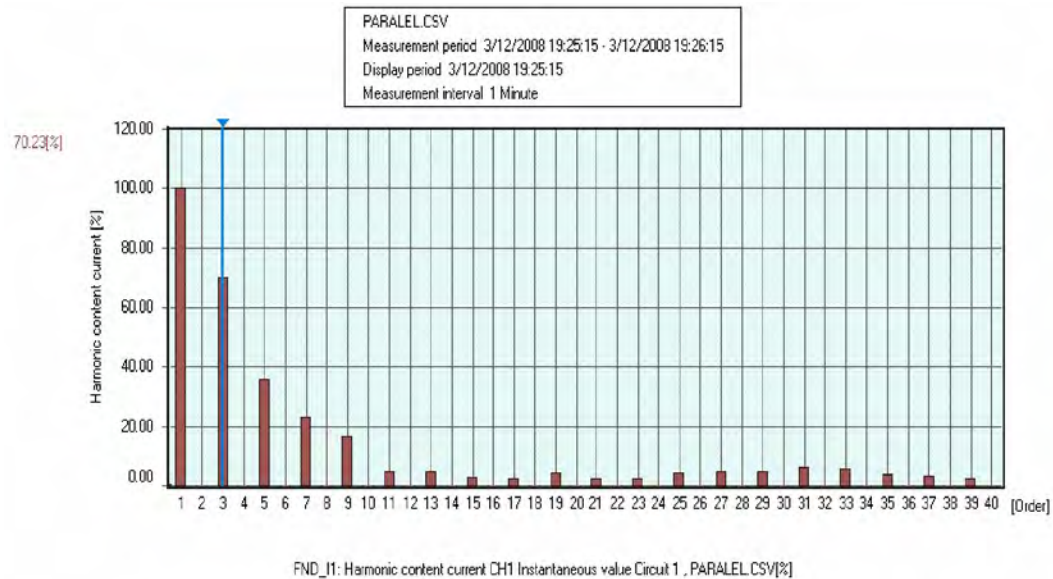
FND_1: Harmonic content current CH1 Instantaneous value Circuit 1 ,J.CSV[%]

Gambar 4.22 Spektrum harmonik arus LHE J

Dari semua grafik harmonik arus di atas terlihat harmonik juga terjadi pada orde ganjil dan harmonik arus yang terbesar adalah pada orde ke_3 yaitu $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$. Dari semua grafik diatas juga dapat dihitung rata-rata persentase arus harmonik dari 10 LHE pada frekuensi orde ke_3 adalah :

$$\frac{68.60 + 62.95 + 73.37 + 65.55 + 71.55 + 71.21 + 81.15 + 82.36 + 73.31 + 75.43}{10} = 72.55 \%$$

Untuk semua LHE yang diparalel grafik harmonik arusnya ditunjukkan pada gambar 4.23 berikut:



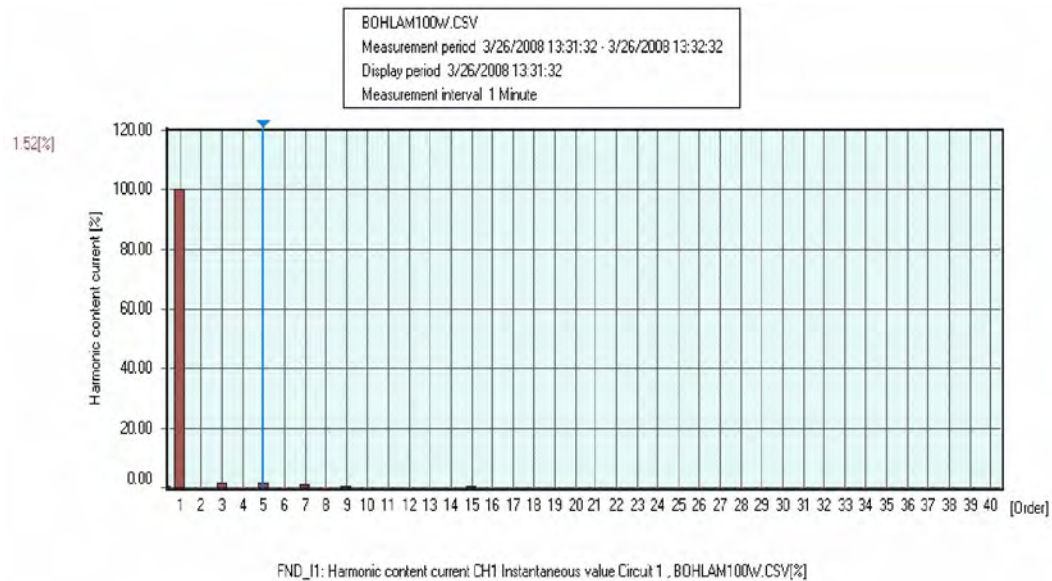
Gambar 4.23 Spektrum harmonik arus 10 LHE paralel

Dari grafik harmonik arus untuk semua LHE yang diparalel di atas juga terlihat frekuensi harmonik arus yang terbesar adalah pada orde ke_3 yaitu $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$ dengan persentase arus harmonik pada frekuensi orde ke_3 ini sebesar 70.23 %. Dari kedua nilai persentase arus harmonik pada frekuensi orde ke_3 ini (72.55 % dan 70.23 %) terlihat perbedaannya sebesar 2.32 %. Hal ini dikarenakan tiap lampu mesuplai arus harmonik ke sumber. Jadi jumlah lampu mempengaruhi kenaikan persentase arus harmonik di sumber.

Dari spektrum harmonik arus tiap LHE diatas yang perlu sangat diperhatikan adalah persentase harmonik kelipatan ganjil orde 3 (*triplen harmonic*) yaitu orde 3, 9, 15, 21 dan seterusnya. Contohnya adalah triplen orde ke_3, arus harmonik orde ini dapat mengalir di kawat netral untuk sistem bintang yang ditanahkan dengan besar hampir 3 kali arus orde ke tiga dari arus kawat fasanya (untuk sistem seimbang) sehingga kawat mengalami pemanasan berlebih (*overload*). Dari spektrum harmonik

tiap LHE di atas terlihat harmonik arus orde ke_3 adalah yang harus diwaspadai karena dari perhitungan diatas dari ke sepuluh LHE nilai rata-ratanya 72.55% . Artinya 3 kali 72.55% dari arus frekuensi dasar (50 Hz) dapat mengalir di kawat netral.

Untuk lampu pijar spektrum harmonik arusnya ditunjukkan pada gambar 4.24 berikut:



Gambar 4.24 Spektrum harmonik arus lampu pijar

Dari spektrum harmonik arus lampu pijar ini terlihat frekuensi harmonik arus yang terbesar adalah pada orde ke_5 yaitu $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$. Jika dibandingkan antara grafik harmonik arus LHE dengan lampu pijar terlihat jelas lampu pijar memiliki harmonik yang sangat kecil dibandingkan harmonik pada LHE.

4. 2 PENGARUH HARMONIK

4.2.1 Terhadap Faktor Daya (*Power Factor*)

Untuk melihat perbedaan antara Faktor daya sebenarnya (PF_{true}), Faktor daya distorsi (PF_{dist}) dan Faktor daya *displacement* (PF_{disp}) dari setiap LHE dan lampu pijar dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17 yaitu:

$$pf_{true} \approx \frac{P_{avg1}}{V_{1rms} I_{1rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I/100)^2}} = pf_{disp} \times pf_{dist} \dots\dots\dots(4.1)$$

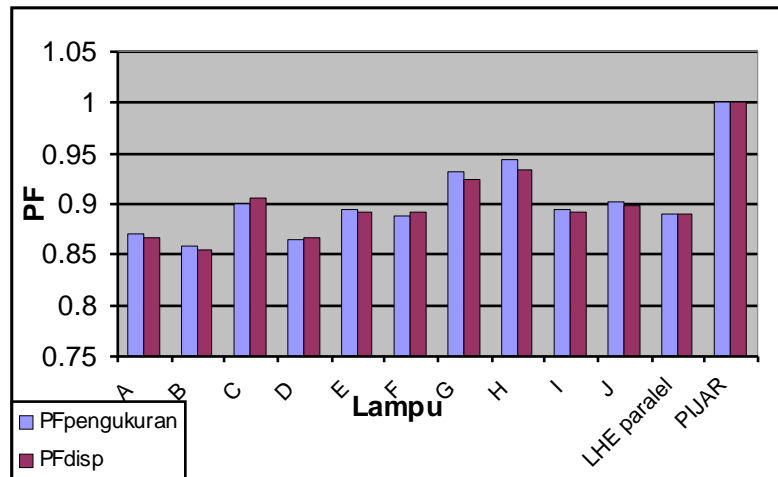
Berdasarkan data hasil pengukuran diperoleh nilai daya rata-rata (P_{avg}) untuk setiap LHE mendekati daya rata-ratanya pada frekuensi dasar (P_{1avg}) dan nilai THD tegangan setiap LHE masih dibawah 2% sehingga persamaan 4.1 di atas dapat digunakan untuk perhitungan nilai PF.

Pada persamaan 4.1 di atas nilai P_{avg1} , V_{1rms} , I_{1rms} , dan THD_I diperoleh dari data pengukuran. Dari data ini dapat dihitung Faktor daya distorsi (PF_{dist}), Faktor daya *displacement* (PF_{disp}) dan Faktor daya sebenarnya (PF_{true}). Berikut tabel hasil perhitungannya:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan Faktor daya distorsi (PF_{dist}), Faktor daya *displacement* (PF_{disp}) dan Faktor daya sebenarnya (PF_{true})

LAMPU	P_{avg1} (W)	V_{1rms} (V)	I_{1rms} (A)	THD_I (%)	PF_{pengu} kuran	PF_{dist}	PF_{disp}	PF_{true}
LHE A	5.2	216.51	0.0277	66.80	0.8695	0.8315	0.8671	0.7210
LHE B	6.6	216.17	0.0357	62.31	0.8590	0.8487	0.8552	0.7258
LHE C	4.9	216.24	0.0250	70.82	0.9000	0.8161	0.9064	0.7397
LHE D	5.8	215.77	0.0310	64.64	0.8636	0.8398	0.8671	0.7282
LHE E	4.5	216.54	0.0233	69.53	0.8941	0.8210	0.8919	0.7322
LHE F	4.9	216.92	0.0253	69.60	0.8880	0.8208	0.8928	0.7328
LHE G	5.3	216.70	0.0265	77.98	0.9313	0.7886	0.9229	0.7278
LHE H	4.6	216.88	0.0227	78.31	0.9428	0.7873	0.9344	0.7357
LHE I	4.6	216.61	0.0238	71.07	0.8931	0.8151	0.8923	0.7273
LHE J	4.6	216.22	0.0237	72.54	0.9010	0.8095	0.8977	0.7267
LHE paralel	53.3	216.80	0.2762	64.83	0.8908	0.8391	0.8901	0.7469
PIJAR	88.1	211.09	0.4175	2.36	0.9998	0.9997	0.9997	0.9994

Dari tabel perhitungan di atas dapat dilihat grafik Faktor daya untuk tiap lampu sebagai berikut:

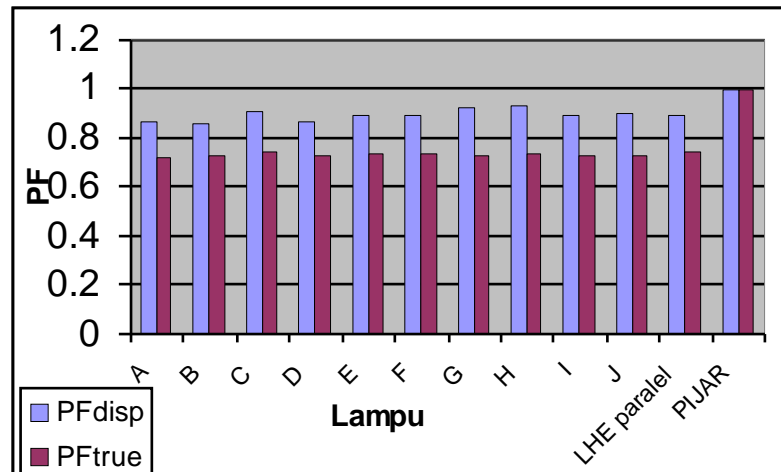


Gambar 4.25 Grafik perbandingan PF pengukuran dengan PF displacement

Dari grafik 4.25 di atas terlihat nilai PF pengukuran hampir sama dengan PF displacement. Hal ini menunjukkan bahwa nilai PF yang diukur menggunakan HIOKI 3169-20 POWER TESTER adalah nilai PF displacement yang bukan nilai PF yang sebenarnya (hanya PF pada frekuensi dasar (50 HZ)).

Dari grafik 4.25 di atas juga terlihat tiap LHE memiliki nilai PF yang berbeda. Sampel LHE yang diambil untuk pengukuran ini adalah berdasarkan harga dari yang murah (LHE A) sampai yang mahal (LHE J). Dari sini dapat dilihat bahwa harga tidak memiliki hubungan terhadap nilai PF dan tiap produsen LHE memiliki standar nilai PF yang berbeda, hampir semuanya memiliki nilai PF diatas 0.85 baik PF pengukuran maupun PF displacement. Dari grafik ini juga terlihat lampu pijar memiliki PF pengukuran dan PF displacement sama dengan 1 hal ini sesuai dengan jenis beban dari lampu pijar ini yaitu mendekati resistif murni sehingga tegangan dan arusnya sefasa. Pada kondisi sinusoidal faktor daya berhubungan dengan daya reaktif. Faktor daya mendekati satu maka daya reaktif yang dikonsumsi beban mendekati nol artinya beban hanya menyerap daya aktif saja.

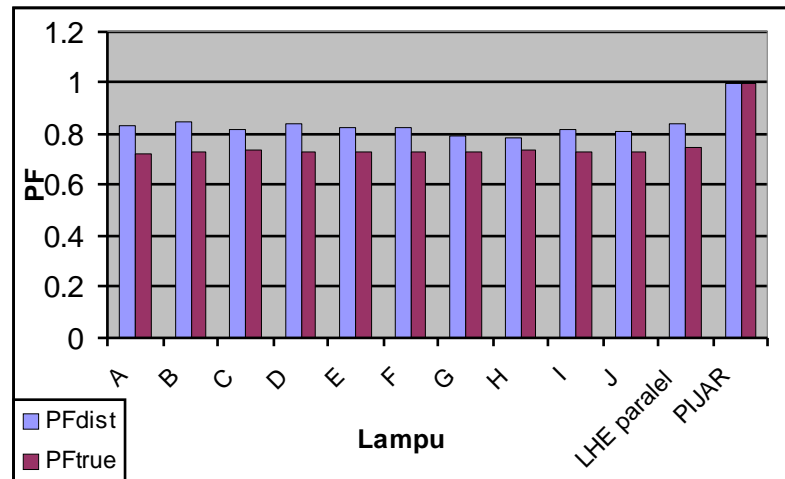
Untuk membandingkan PF sebenarnya (PF true) dengan PF pada frekuensi dasar (PF displacement) dapat dilihat pada grafik 4.26 berikut:



Gambar 4.26 Grafik perbandingan PF *displacement* dengan PF true (PF sebenarnya)

Dari grafik 4.26 diatas terlihat nilai PF *displacement* lebih besar dibandingkan dengan PF true (PF sebenarnya) untuk setiap LHE dan LHE yang diparalel. Dari grafik ini menunjukkan bahwa nilai PF yang sebenarnya untuk semua LHE adalah dibawah 0.8 (sekitar 0.73). Dari sini dapat disimpulkan bahwa harmonik memiliki pengaruh yang jelek yaitu menurunkan nilai PF. Nilai PF yang sebenarnya sekitar 0.73 ini menunjukkan hanya sekitar 73 % energi yang diubah menjadi cahaya. Untuk lampu pijar nilai PF sebenarnya (PF true) dengan PF pada frekuensi dasar (PF *displacement*) nya terlihat sama. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.8 dimana untuk beban linier hanya ada satu faktor daya karena faktor daya sebenarnya sama dengan faktor daya *displacement*

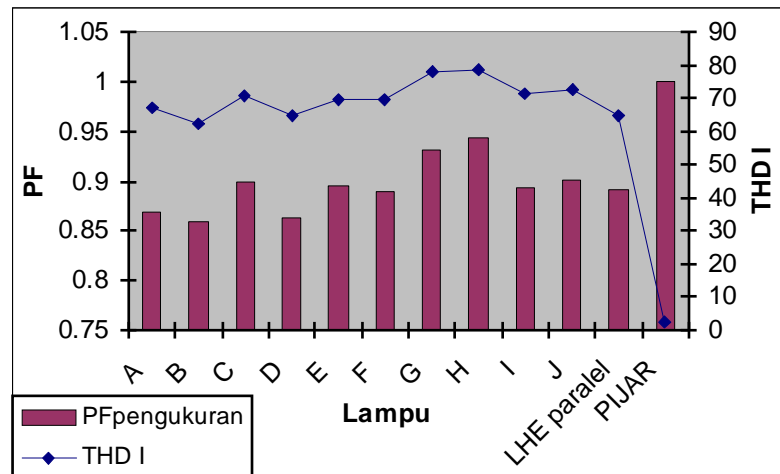
Perbandingan PF sebenarnya (PF true) dengan PF distorsi dapat dilihat pada grafik 4.27 berikut:



Gambar 4.27 Grafik perbandingan PF distorsi dengan PF true (PF sebenarnya)

Pada grafik 4.27 di atas terlihat nilai PF sebenarnya (PF true) lebih kecil dibandingkan PF distorsi untuk setiap LHE begitu pula untuk semua LHE yang diparalel. Untuk memperbaiki faktor daya sebenarnya ini tidak bisa hanya dengan memasang kapasitor pada rangkaian ballastnya seperti menggunakan PFC (*Power Factor Correction*). Hanya faktor daya pada frekuensi dasar (PF displacement) yang dapat dikompensasi dengan pemasangan kapasitor. Untuk mengkompensasi faktor daya sebenarnya (PF true), maka faktor daya distorsi harus dikompensasi terlebih dahulu. Untuk mengkompensasi faktor daya distorsi harus menggunakan filter baik aktif maupun pasif sehingga dapat dihasilkan faktor daya distorsi yang mendekati 1. Dari grafik 4.27 juga terlihat untuk lampu pijar PF distorsi dengan PF true (PF sebenarnya) sama dengan 1 hal ini karena nilai THD arus lampu pijar ini sangat kecil (hanya 2.36 %).

Untuk melihat hubungan THD arus terhadap PF pengukuran dapat dilihat pada grafik 4.28 berikut:



Gambar 4.28 Grafik THD arus terhadap PF pengukuran

Dari grafik 4.28 di atas terlihat LHE yang memiliki THD arus yang besar nilai PF hasil pengukurannya juga besar dan sebaliknya LHE yang memiliki THD arus yang kecil nilai PF hasil pengukurannya juga kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan 4.1 dengan asumsi PF true (PF sebenarnya) seragam untuk semua LHE yaitu 0.73 dan PF displacement nya adalah PF pengukuran maka diperoleh persamaan 4.2 yaitu:

$$pf_{true} \approx \frac{P_{avg1}}{V_{1rms} I_{1rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_1/100)^2}} = pf_{disp} \times pf_{dist}$$

$$0.73 \approx Pf_{pengukuran} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_1/100)^2}} \text{ atau}$$

$$Pf_{pengukuran} \approx 0.73 \times \sqrt{1 + (THD_1/100)^2} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dari persamaan 4.2 ini terlihat PF pengukuran sebanding dengan akar dari THD arus yang dikuadratkan. Dari grafik 4.28 juga terlihat untuk lampu pijar nilai PF pengukurannya berbanding terbalik dengan nilai THD arusnya. Hal ini karena nilai PF pengukurannya hampir sama dengan PF distorsi (mendekati 1) sehingga sesuai persamaaan:

$$pf_{pengukuran} \approx pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_1/100)^2}} \dots\dots\dots (4.3)$$

maka nilai PF pengukurannya nya akan berbanding terbalik dengan akar dari THD arus yang dikuadratkan.

4.2.2 Terhadap Faktor Bentuk (*Form Factor*)

Faktor bentuk dari gelombang arus dan tegangan dari setiap LHE dan lampu pijar dapat dihitung dengan membandingkan antara nilai RMS dengan nilai rata-rata dari gelombang arus atau tegangannya dengan menggunakan persamaan 2.20 (untuk arus) yaitu:

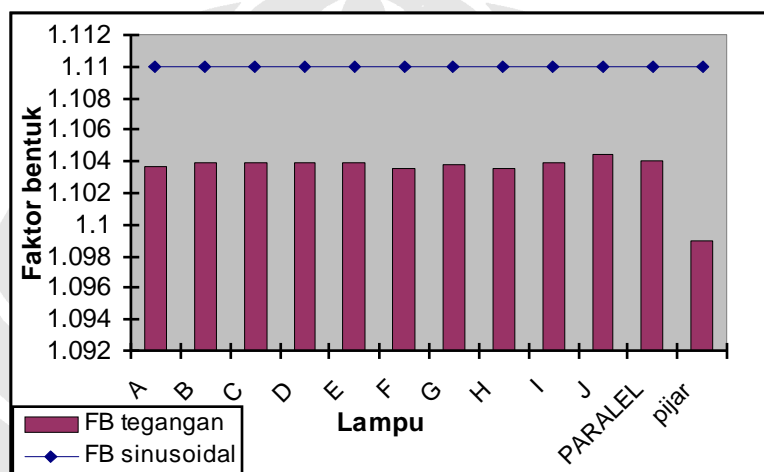
$$\begin{aligned}
 i &= I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin 3\omega t + I_{5m} \sin 5\omega t + \dots \\
 I_{RMS} &= \sqrt{\frac{I_{1m}^2}{2} + \frac{I_{3m}^2}{2} + \frac{I_{5m}^2}{2} + \dots} \\
 I_{Rata-rata} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i \, d\omega t = \frac{2}{\pi} \left(I_{1m} + \frac{I_{3m}}{3} + \frac{I_{5m}}{5} + \dots \right) \\
 \text{Faktor bentuk} &= \frac{I_{RMS}}{I_{Rata-rata}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{\sqrt{I_{1m}^2 + I_{3m}^2 + I_{5m}^2 + \dots}}{\left(I_{1m} + \frac{I_{3m}}{3} + \frac{I_{5m}}{5} + \dots \right)} \\
 &= 1.11 \times \frac{\sqrt{I_{1m}^2 + I_{3m}^2 + I_{5m}^2 + \dots}}{\left(I_{1m} + \frac{I_{3m}}{3} + \frac{I_{5m}}{5} + \dots \right)} \dots \dots \dots (4.4)
 \end{aligned}$$

dengan nilai I_{1m} , I_{3m} , I_{5m} , dan lainnya diperoleh dari data hasil pengukuran dimana yang sampel yang diambil hanya sampai harmonik ke_17 (I_{17m}) mengingat harmonik selanjutnya ampplitudonya sangat kecil. Untuk gelombang yang mengandung harmonik maka faktor bentuknya akan lebih besar atau lebih kecil dari 1.11. Berikut tabel hasil perhitungan dan grafik perbandingan faktor bentuk tegangan dan arus untuk LHE dan lampu pijar:

Tabel 4.2 Faktor bentuk tegangan dan arus LHE dan lampu pijar

Lampu	Faktor bentuk tegangan	Faktor bentuk arus
LHE A	1.103606	1.059687619
LHE B	1.103864	1.04367723
LHE C	1.103892	1.074697359
LHE D	1.103922	1.050681776

LHE E	1.10384	1.068693463
LHE F	1.103519	1.068693463
LHE G	1.10375	1.121727877
LHE H	1.103513	1.127731772
LHE I	1.103946	1.075698008
LHE J	1.104453	1.084703852
LHE PARALEL	1.104078	1.060688269
PIJAR	1.098907	1.10039226

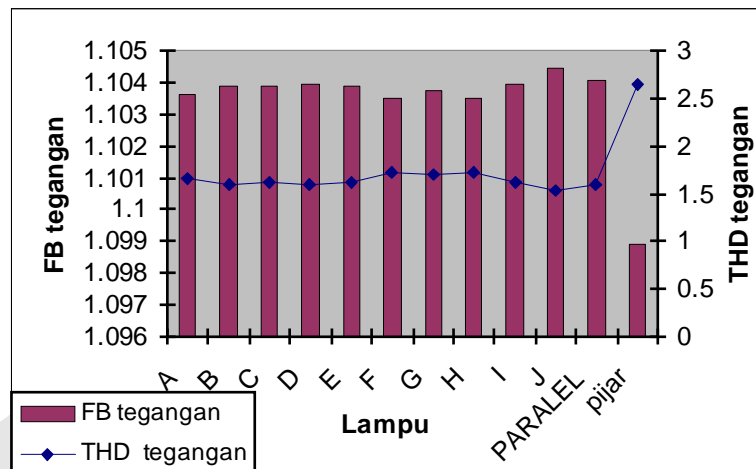


Gambar 4.29 Grafik faktor bentuk tegangan

Dari grafik 4.29 di atas terlihat faktor bentuk tegangan dari semua LHE dan LHE yang di paralel lebih kecil (sekitar 1.104) dibandingkan faktor bentuk untuk gelombang sinusoidal (1.11) dengan perbedaan sangat kecil (0.54%). Ini menunjukkan bahwa nilai dari tegangan RMS nya hampir mendekati nilai tegangan rata-ratanya dibandingkan untuk gelombang sinusoidal murni. Tetapi jika dilihat dari bentuk gelombang tegangannya (lihat lampiran) untuk semua LHE terlihat bentuknya masih sinusoidal. Hal ini juga dapat dilihat dari spektrum harmonik tegangan pada gambar 4.1 sampai gambar 4.11 dimana terlihat amplitudo yang dominan adalah pada frekuensi dasar (50 Hz).

Dari grafik 4.29 di atas juga terlihat untuk lampu pijar faktor bentuk tegangannya lebih kecil dibandingkan faktor bentuk tegangan LHE. Hal ini

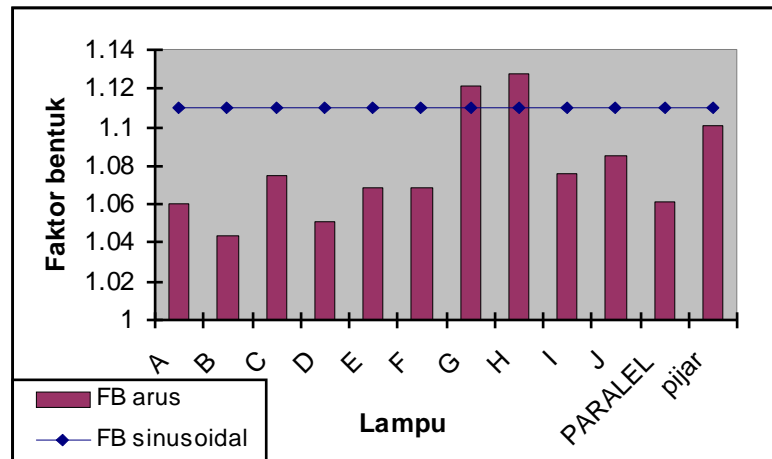
menunjukkan distorsi tegangan harmonik pada lampu pijar lebih besar dibandingkan pada LHE. Hal ini dapat pula dilihat dari hubungan dengan nilai THD tegangannya seperti pada gambar 4.30 berikut :



Gambar 4.30 Grafik faktor bentuk tegangan vs THD tegangan

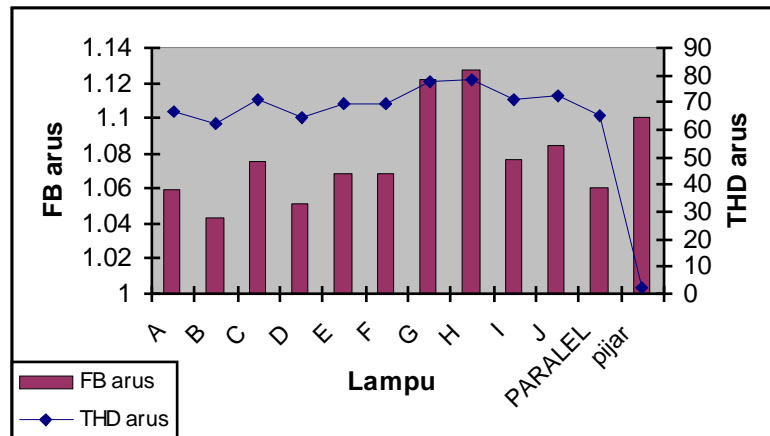
Dari grafik 4.30 di atas terlihat nilai THD tegangan lampu pijar lebih besar (2.64%) dibandingkan nilai THD tegangan LHE. Hal ini tidak sesuai karena lampu pijar adalah beban linier sedangkan LHE adalah beban nonlinier. Nilai THD tegangan lampu pijar lebih besar dibandingkan nilai THD tegangan LHE dapat disebabkan pengaruh dari beban nonlinier lain disekitar tempat pengukuran yang terhubung dengan sistem sehingga mempengaruhi bentuk tegangan sistem. Hal ini dapat diterangkan dari waktu pengukuran. Untuk LHE pengukuran dilakukan sekitar jam 19:00 malam dimana pemakain beban mulai menurun terutama beban nonlinier seperti komputer. Untuk lampu pijar sendiri pengukuran dilakukan sekitar jam 13.30 siang dimana pemakain komputer naik. Komputer juga merupakan beban nonlinier yang menggunakan SMPS (*Switch Mode Power Supply*) yang karakteristik harmoniknya hampir sama dengan ballast elektronik lampu hemat energi (harmonik orde ganjil).

Untuk faktor bentuk arus LHE dan lampu pijar dapat dilihat pada gambar 4.31 berikut:



Gambar 4.31 Grafik faktor bentuk arus

Pada grafik 4.31 di atas terlihat faktor bentuk arus dari semua LHE dan LHE yang diparalel menunjukkan nilai yang tidak seragam. Dari grafik ini terlihat untuk LHE G dan H nilai faktor bentuk arusnya lebih besar 1.11 sedangkan LHE yang lain dan yang paralel hanya sekitar 1.06. Faktor bentuk lebih dari 1.11 menunjukkan bentuk gelombangnya mendekati bentuk gelombang segitiga (faktor bentuk gelombang segitiga = 1.15). Untuk faktor bentuk kurang dari 1.11 (mendekati 1) menunjukkan bentuk gelombangnya mendekati bentuk gelombang persegi (faktor bentuk gelombang persegi = 1). Untuk lampu pijar terlihat nilai faktor bentuk arusnya mendekati faktor bentuk gelombang sinusoidal murni. Hal ini disebabkan lampu pijar adalah beban linier sehingga bentuk gelombang arusnya sinusoidal pula seperti bentuk gelombang tegangan sistem. Untuk LHE G dan H yang nilai faktor bentuk arusnya lebih besar 1.11 menunjukkan tingkat distorsi arus harmoniknya besar. Hal ini dapat dilihat dari nilai THD arusnya dimana untuk LHE G dan H nilai THD arusnya merupakan yang terbesar (77.9% dan 78.31%) seperti pada grafik hubungan THD arus dengan faktor bentuk arus berikut:



Gambar 4.32 Grafik faktor bentuk arus vs THD arus

Dari grafik 4.32 di atas terlihat untuk setiap LHE dan LHE yang diparalel faktor bentuk arusnya mengikuti (sebanding) dengan THD arusnya. Hal ini disebabkan nilai THD arus menunjukkan seberapa besar distorsi gelombang arus sehingga mempengaruhi bentuk gelombang arusnya dan faktor bentuknya. Seperti diketahui bahwa LHE dalam proses kerjanya menggunakan inverter untuk mengubah tegangan DC hasil penyearah (*Rectifier*) menjadi tegangan AC yang frekuensinya lebih tinggi. Penggunaan inverter inilah yang menyebabkan gelombang arusnya banyak mengandung harmonik. Dari grafik 4.32 juga terlihat untuk lampu pijar faktor bentuk arusnya mendekati 1.11 sedangkan nilai THD arusnya sangat kecil. Hal ini sesuai karena lampu pijar adalah beban linier sehingga faktor bentuk arusnya mendekati faktor bentuk gelombang sinusoidal murni dengan nilai THD arus yang sangat kecil.

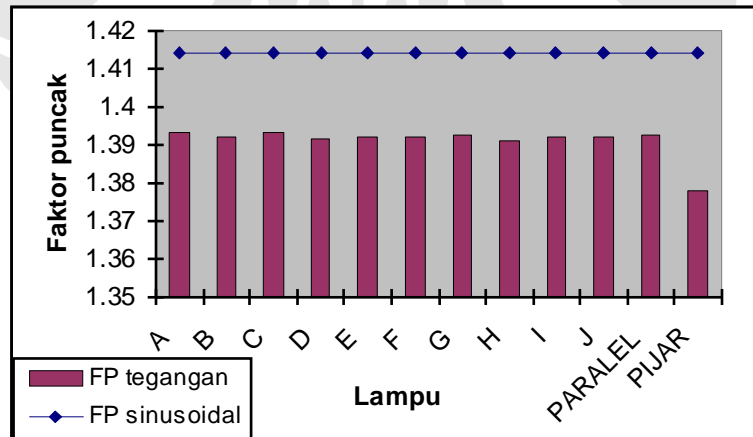
4.2.3 Terhadap Faktor puncak (*Crest Factor*)

Untuk menentukan faktor puncak dari gelombang arus dan tegangan dari setiap lampu dapat dihitung dengan membandingkan antara nilai puncak terhadap nilai RMS dari gelombang tegangan atau arusnya. Untuk gelombang yang mengandung harmonik maka faktor puncaknya dapat lebih besar atau lebih kecil dari 1.414 seperti pada persamaan 2.21. Nilai puncak diperoleh dari grafik gelombang hasil pengukuran (lihat lampiran) sedangkan nilai RMS nya diperoleh dari data RMS rata-rata (lihat lampiran). Berikut tabel hasil perhitungan dan grafik perbandingan

faktor puncak tegangan dan arus untuk tiap LHE, semua LHE diparalel dan lampu pijar :

Tabel 4.3 Faktor puncak tegangan dan arus

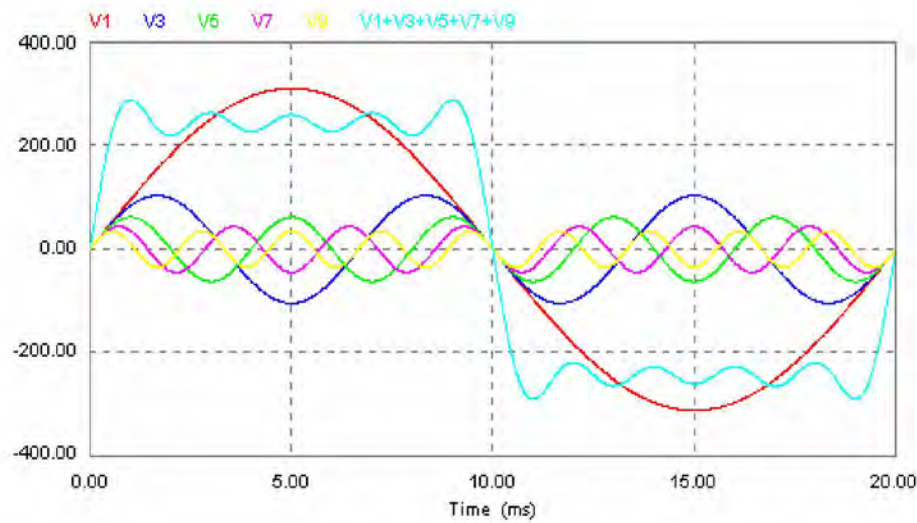
Lampu	V_{puncak} (V)	I_{puncak} (A)	V_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Faktor Puncak tegangan	Faktor Puncak arus
A	301.60	0.104	216.47	0.0386	1.3933	2.6943
B	300.93	0.111	216.19	0.0458	1.3920	2.4236
C	301.24	0.108	216.27	0.0355	1.3929	3.0422
D	300.31	0.105	215.79	0.0407	1.3917	2.5799
E	301.44	0.100	216.57	0.0325	1.3919	3.0769
F	302.01	0.103	216.95	0.0354	1.3921	2.9096
G	301.85	0.153	216.73	0.0424	1.3927	3.6085
H	301.75	0.131	216.91	0.0367	1.3911	3.5695
I	301.60	0.105	216.64	0.0339	1.3922	3.0973
J	301.08	0.119	216.25	0.0345	1.3923	3.4493
PARALEL	302.01	1.008	216.83	0.3629	1.3928	2.7776
PIJAR	290.58	0.574	210.90	0.4173	1.3778	1.3755



Gambar 4.33 Grafik faktor puncak tegangan

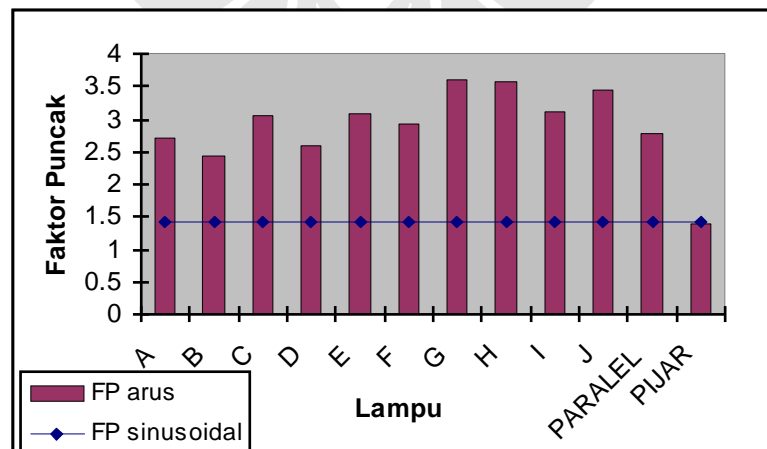
Dari grafik 4.33 di atas terlihat semua lampu memiliki faktor puncak tegangan dibawah 1.414. Hal ini menunjukkan jarak antara nilai puncak terhadap nilai RMS gelombang tegangannya lebih pendek dibandingkan untuk gelombang sinusoidal murni sehingga bentuk gelombangnya lebih pipih (flat) dibandingkan gelombang

sinusoidal murni. Untuk lampu pijar dari grafik 4.33 terlihat faktor puncaknya lebih kecil dibanding faktor puncak LHE. Hal ini dapat disebabkan pengaruh beban nonlinier sekitar tempat pengukuran yang memiliki karakteristik harmonik yang sama contohnya komputer dimana harmoniknya juga didominasi oleh harmonik orde ganjil dengan amplitudo yang semakin turun. Pengaruh harmonik ganjil dari luar ini akan menyebabkan bentuk gelombang yang simetris dengan amplitudo yang pipih seperti ditunjukkan pada gambar 4.34 berikut:



Gambar 4.34. Penjumlahan harmonik orde ganjil

Untuk grafik faktor puncak arus tiap LHE, semua LHE diparalel dan lampu pijar dapat dilihat pada gambar 4.35 berikut:



Gambar 4.35 Grafik faktor puncak arus

Dari grafik 4.35 di atas terlihat baik tiap LHE maupun semua LHE yang diparalel memiliki nilai faktor puncaknya di atas 1.414 sedangkan lampu pijar nilai faktor puncaknya hampir mendekati faktor puncak gelombang sinusoidal (1.414). Untuk LHE faktor puncak arus yang lebih dari 1.414 ini menunjukkan jarak antara nilai puncak dengan nilai RMS gelombang arusnya lebih lebar dibandingkan untuk gelombang sinusoidal murni sehingga bentuk gelombangnya lebih runcing dibandingkan gelombang sinusoidal murni hal ini dapat dilihat pada bentuk gelombang arusnya (lihat lampiran). Bentuk gelombang yang runcing ini memiliki efek negatif yaitu mempersingkat umur lampu. Faktor puncak arus lebih dari 2 dapat mempersingkat umur lampu sebesar 50%. Batas *crest factor* arus untuk ballast elektronik jenis *rapid start* adalah 1.7 sedangkan untuk jenis *instant start* sebesar 1.85. Untuk lampu pijar yang nilai faktor puncaknya hampir mendekati faktor puncak gelombang sinusoidal (1.414) hal menunjukkan bentuk gelombang arusnya mendekati sinusoidal murni.

4.2.4 Terhadap Keakuratan Pembacaan Kwhmeter

Untuk mengetahui pengaruh harmonik Lampu Hemat Energi terhadap keakuratan pembacaan Kwhmeter analog maka dilakukan pengukuran energi pada lampu ini. Pada pengukuran ini semua Lampu Hemat Energi diparalel dan dinyalakan bersama selama 4 jam dengan mencatat posisi awal dan akhir Kwhmeter.

Data hasil pengukuran dan perhitungannya ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil pengukuran dan perhitungan energi pada LHE

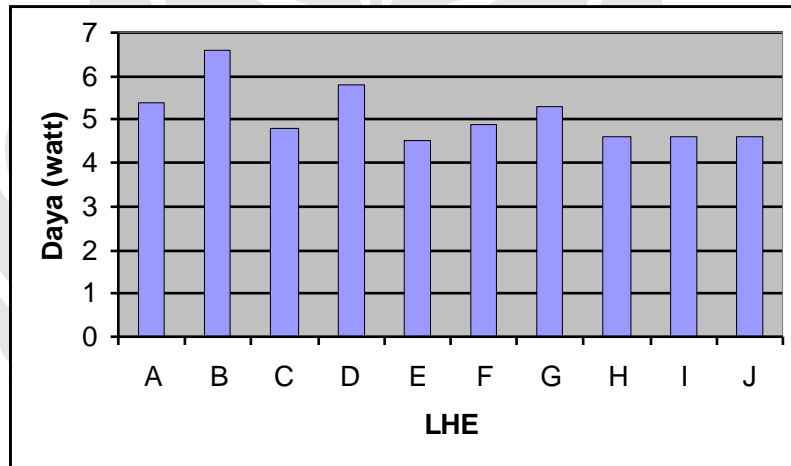
	Waktu	Energi (Kwh)
Awal	13:30	1531.8
Akhir	17:30	1532
Awal-Akhir	4 jam	0.2 Kwh
Kwh perhitungan	4 jam	5 Watt x 10 lampu x 4 jam = 0.2 Kwh

Dari tabel 4.4 di atas terlihat hasil pengukuran dengan Kwhmeter dan hasil perhitungan energi pada 10 LHE yang dinyalakan bersama selama 4 jam menunjukkan nilai Kwh yang sama. Ini tidak menunjukkan bahwa tidak ada

pengaruh harmonik pada pembacaan Kwhmeter. Tidak adanya perbedaan Kwh hasil pengukuran dengan Kwh hasil perhitungan ini bisa disebabkan beban yang diukur Kwhmeter ini sangat kecil ($10 \times 5 \text{ watt} = 50 \text{ watt}$) sehingga error yang diakibatkan harmonik pada LHE tidak terlihat. Selain itu hal ini juga dapat disebabkan Watt yang tertera di setiap LHE (5 Watt) tidak sesuai dengan Watt yang terukur. Hal ini dapat dilihat pada data hasil pengukuran harmonik pada tabel 3.1 yaitu:

Tabel 4.5 Hasil pengukuran Watt LHE pada HIOKI 3169-20 POWER TESTER

LHE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
P (watt)	5.4	6.6	4.8	5.8	4.5	4.9	5.3	4.6	4.6	4.6



Gambar 4.36 Grafik pengukuran Watt pada HIOKI 3169-20 POWER TESTER

Dari grafik 4.36 di atas terlihat tiap LHE memiliki nilai watt yang berbeda tidak sesuai dengan yang tertera di LHE (5 Watt). Jadi asumsi tiap LHE memiliki watt yang sama (5 watt) pada perhitungan tidak dapat dijadikan referensi untuk perhitungan.

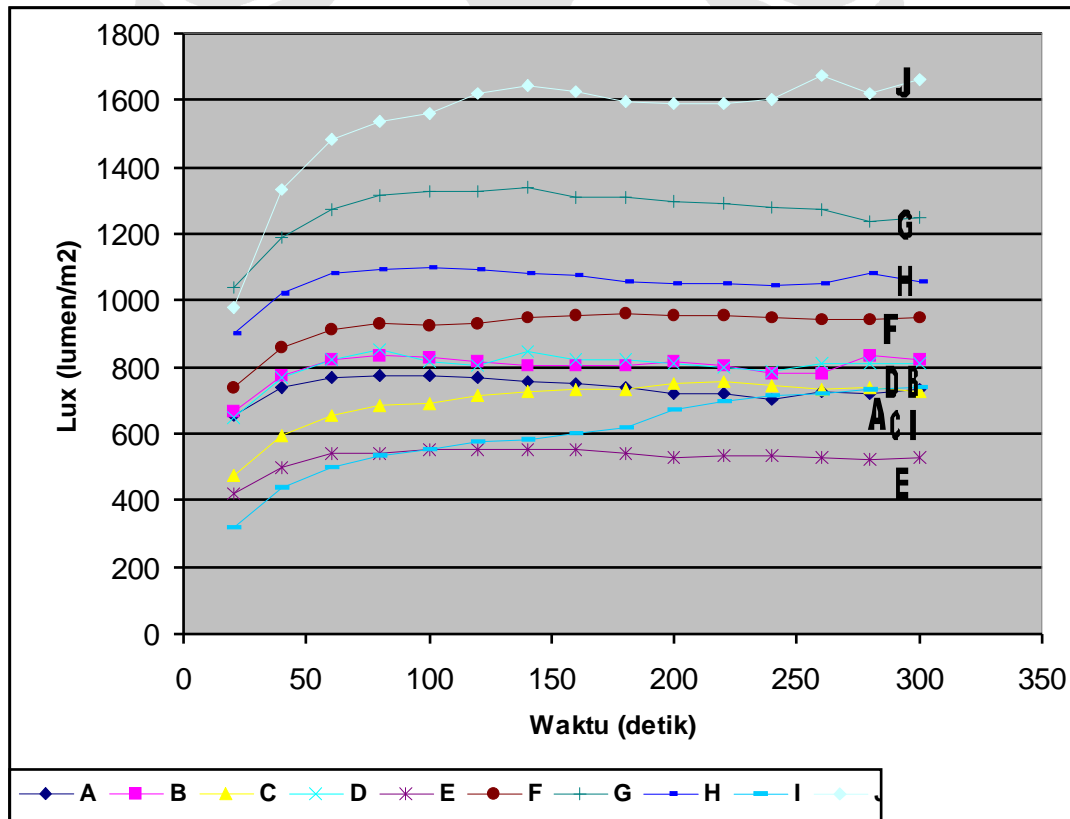
Jika dilihat dari spektrum harmonik tegangan dan bentuk gelombang tegangannya terlihat masih berbentuk sinusoidal murni dengan harmonik yang sangat kecil. Hal ini berbeda jika dilihat dari spektrum harmonik arus dan bentuk gelombang arusnya dimana sudah tidak berbentuk sinusoidal murni dengan harmonik yang besar. Hal ini juga yang menyebabkan pengaruh harmonik pada keakuratan pembacaan Kwhmeter sangat kecil karena gelombang tegangannya masih sinusoidal

murni. Bila gelombang tegangan sudah tidak sinusoidal (harmoniknya tinggi), maka besar kemungkinan penunjukan kWhmeter terganggu, ini dapat terjadi pada peralatan –peralatan yang menyumbang harmonik berskala besar.

Untuk alat ukur yang menggunakan prinsip induksi magnetik seperti pada kWhmeter analog, pengaruh harmonik dapat terjadi misalnya alat ukur kelas 2 kesalahan pembacaannya akan meningkat 0.3 % akibat harmonik ke_5 dengan rasio tegangan dan arus 5%. Alat ukur akan menjadi sensitif terhadap frekuensi. Dengan meningkatnya frekuensi maka induktansi koil tegangan akan meningkat sehingga medan magnet dan torsi akan menurun dan alat ukur ini tidak akan mengukur komponen energi DC yang seharusnya.[15]

4.3 LUX

Grafik hasil pengukuran lux (lumen / m²) untuk semua LHE dapat dilihat pada gambar 4.37 berikut:

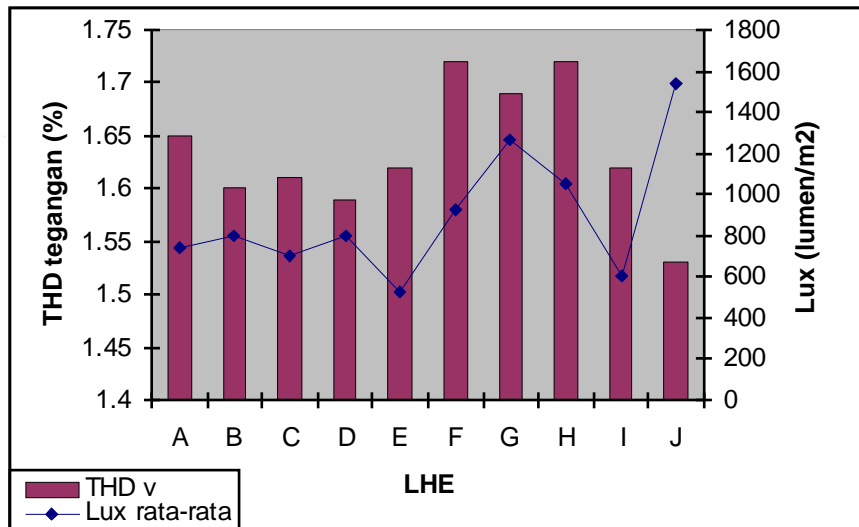


Gambar 4.37 Grafik Lux vs Waktu

Dari grafik Lux terhadap waktu di atas terlihat tiap LHE memiliki karakteristik lux yang berbeda saat awal start. Hal ini menunjukkan efisiensi (lumen/watt) yang berbeda untuk setiap LHE. Efisiensi menunjukkan efisiensi dari sebuah lampu dan juga parameter apakah lampu hemat energi atau tidak. Semakin besar efisiensi maka semakin besar energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya.. Efisiensi yang berbeda dapat dipengaruhi oleh karakteristik start rangkaian ballast elektroniknya. Ada 3 metode yang digunakan ballast saat start pada LHE yaitu preheat start, instant start dan rapid start:

1. *Preheat start* (juga disebut switch start), ballast memanaskan elektroda pada lampu beberapa detik sampai mencapai temperatur 800 hingga 1000 C. Setelah elektrodanya panas, switch pada starternya akan open (terbuka) sehingga terjadi tegangan 200 sampai 300 volt yang dapat menimbulkan lompatan elektron. ballast ini berhenti memanaskan elektroda setelah lampu mulai menyala.
2. *Instant start*, pada metode ini ballast langsung menyuplai tegangan awal yang tinggi (lebih dari 400 volt) untuk menimbulkan lompatan elektron antar elektroda yang tidak dipanaskan. Karena elektrodanya tidak dipanaskan sebelum dan selama operasi maka rugi-rugi dayanya lebih kecil dibandingkan pada metode preheat start. Tetapi metode instant start ini dapat mempersingkat umur lampu khususnya jika sering dihidup matikan. Hal ini karena tegangan tinggi saat awal startnya mempercepat kerusakan elektroda lampu.
3. *Rapid start*, metoda ini memberikan tegangan yang rendah (sekitar 3.5 volt) ke elektroda lampu kemudian memanaskan elektroda ini sampai sekitar 1000 C dalam 1 sampai 2 detik. Kemudian baru tegangan 200 sampai 300 V diberikan untuk membuat terjadinya loncatan elektron. ballast tetap memanaskan elektroda lampu dari saat awal start sampai ketika lampu menyala. Hal ini menyebabkan rugi-rugi 3 sampai 4 watt [14].

Untuk melihat hubungan antara kualitas cahaya terhadap pengaruh buruk distorsi tegangan pada LHE, dapat dibuat grafik hubungan antara lux rata-rata terhadap THD tegangan untuk tiap LHE seperti pada gambar 4.38 berikut:



Gambar 4.38 Grafik Lux rata-rata vs THD tegangan LHE

Dari gambar 4.38 di atas terlihat tidak ada hubungan antara THD tegangan dengan lux rata-rata. Ada LHE yang THD tegangannya tinggi tetapi lux rata-ratanya kecil dan sebaliknya ada LHE yang THD tegangannya rendah tetapi lux rata-ratanya tinggi. Jadi dapat disimpulkan bahwa kualitas cahaya tidak ada pengaruhnya terhadap distorsi tegangan.

4.4 RUGI ENERGI SAAT START PADA LHE YANG UMURNYA BERBEDA

Dari data hasil pengukuran lux dan watt pada LHE baru dan LHE lama 14 watt dengan merk sama pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 berikut maka dapat dilihat perbandingan lux dan watt kedua LHE ini terhadap waktu.

Tabel 4.6 Hasil pengukuran Lux (lumen/m²) LHE 14 watt

LHE	Lux (lumen/m ²)							
	Menit 1	Menit 2	Menit 3	Menit 4	Menit 5	Menit 6	Menit 7	Menit 8
Lama	330	665	1139	1620	1861	2000	>2000	>2000
Baru	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000

Tabel 4.7 Hasil pengukuran daya (Watt) LHE 14 watt

LHE	Daya (Watt)							
	Menit 1	Menit 2	Menit 3	Menit 4	Menit 5	Menit 6	Menit 7	Menit 8
Lama	14	14	14	14	14	14	14	14
Baru	15	15	15	15	15	15	15	15

Dari tabel 4.6 di atas terlihat LHE lama yang telah digunakan selama 5 bulan dan dinyalakan 4 jam per hari menunjukkan lux yang rendah ketika start dibandingkan pada LHE baru yang belum digunakan. Dari tabel 4.6 ini juga terlihat setelah 6 menit LHE lama mencapai lux sekitar 2000 lux. Jadi LHE lama ini menunjukkan output cahaya yang sama dengan LHE baru setelah 6 menit. Ini menunjukkan adanya penurunan kualitas cahaya pada LHE dan selama waktu 6 menit ini LHE lama dapat dikatakan tidak hemat energi karena membutuhkan energi yang lebih besar selama proses startnya untuk mencapai lux yang sama dengan LHE baru.

Dari tabel 4.7 di atas terlihat pula adanya perbedaan daya (watt) pada kedua LHE ini. LHE baru memiliki daya yang lebih besar (15 watt) dibandingkan LHE lama (hanya 14 watt). Dari tabel 4.6 dan 4.7 di atas dapat dihitung rugi (losses) energi yang terjadi pada LHE lama selama proses start 6 menit yaitu:

$$\frac{14}{1000} \text{ Kwatt} \times \frac{6}{60} \text{ Jam} = 1.4 \times 10^{-3} \text{ Kwh} .$$

Penurunan kualitas cahaya terhadap umur lampu pada LHE dapat disebabkan kondisi saat operasi. LHE yang dioperasikan dengan frekuensi on/off yang rendah umurnya akan lebih lama umurnya dibandingkan LHE yang sering di on/off kan.

BAB V

KESIMPULAN

1. Harmonik tegangan pada LHE didominasi oleh harmonik orde ganjil dengan harmonik tegangan yang terbesar adalah pada orde ke_5 yaitu $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$. Rata-rata harmonik tegangan pada frekuensi ini sebesar 1.266 % dan masih dibawah batas maksimum standar IEEE 519-1992 (3% untuk tegangan dibawah 69 KV).
2. Harmonik arus pada LHE juga didominasi oleh harmonik orde ganjil dengan harmonik arus yang terbesar adalah pada orde ke_3 yaitu $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$. Rata-rata harmonik arus pada frekuensi ini sebesar 72.55 %.
3. Harmonik memiliki pengaruh yang buruk yaitu menurunkan nilai PF. Nilai PF yang sebenarnya untuk tiap LHE adalah dibawah 0.8 (sekitar 0.73).
4. Faktor bentuk tegangan untuk LHE lebih kecil 1.11 menunjukkan nilai RMSnya mendekati nilai rata-ratanya. Untuk faktor bentuk arusnya ada yang lebih besar dan lebih kecil dari 1.11.
5. Faktor puncak tegangan untuk LHE lebih kecil dari 1.414 menunjukkan nilai RMSnya mendekati nilai puncaknya. Sedangkan faktor puncak arusnya lebih dari 1.414 (bentuk gelombang arusnya lebih runcing dibandingkan gelombang sinusoidal murni).
6. Harmonik pada LHE sangat kecil pengaruhnya terhadap keakuratan pembacaan kWhmeter. Bila gelombang tegangan sudah tidak sinusoidal (harmoniknya tinggi), maka besar kemungkinan penunjukan kWhmeter terganggu.
7. Losses (rugi) energi yang terjadi saat awal start pada LHE yang umurnya lebih lama dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai besar lux yang sama seperti pada LHE baru.

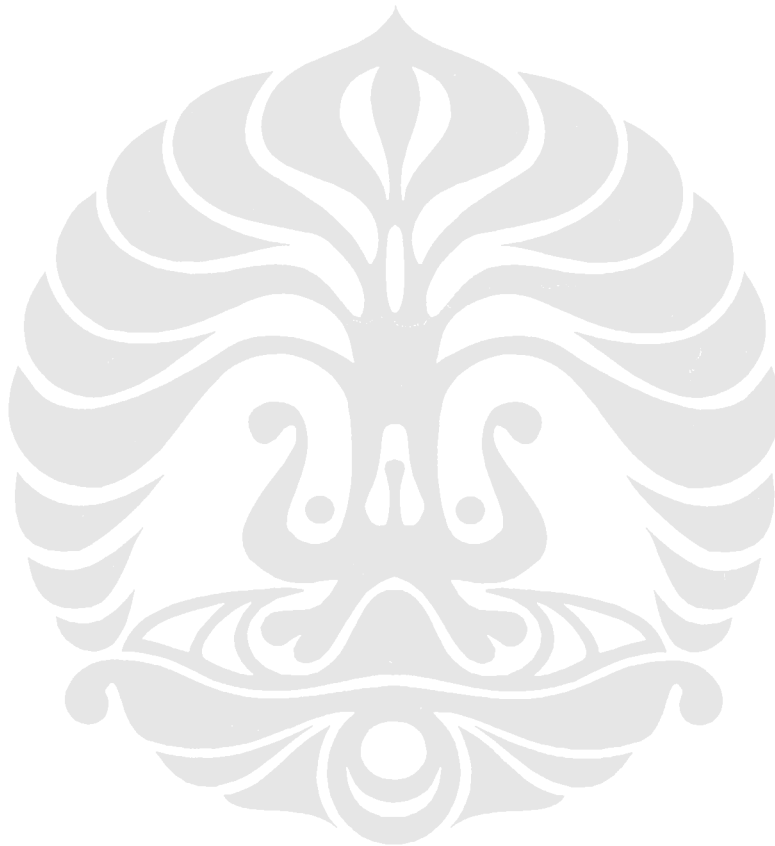
DAFTAR ACUAN

- [1] "Lampu Hemat Energi Menghemat Tenaga Listrik". Diakses 20 September 2007, dari Kompas. <http://kompas.com/kompas-cetak/0307/28/metro/456061.htm>
- [2] A Susana Kurniasih. "Kampanye Hemat Energi, Efektifkah ?". Diakses 20 September 2007, dari LIPI. <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&&7>
- [3] Roger C.Dugan, Mark F.McGranaghan , H.Wayne Beaty, *Electrical Power System Quality* (New York: McGraw-Hill,1996) , hal 127-130.
- [4] Coleman W. Smith, Jr, "Power systems & harmonic factors causes, effects and remedies", *IEEE Potentials*, 0278-6648/01, (Desember 2001/Januari 2002) ,hal 10.
- [5] W. Mack Grady, Surya Santoso, "Understanding Power System Harmonics", *IEEE Power Engineering Review*, 0272-1724/01, (November 2001), hal 8-10.
- [6] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems" , *IEEE 519-1992*, (15 Juni 2004), hal 72,78.
- [7] W. Mack Grady, Robert J. Gilleskie, "Harmonics and how they relate to power factor", *Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA '93)*,(November 1993), hal 1-5.
- [8] Copper Development Association, "True RMS – The Only True Measurement", *Power Quality Application Guide*, (November 2001), hal 2.
- [9]" Ballast ".Diakses 20 September 2007,dari Elektronika.net.ms. <http://elektronika-elektronika.blogspot.com/2007/06/ballast.html>
- [10] Saskatchewan Energy Management Task Forces, "Flourescent Lamp Ballast", *Technology Information Sheet*, hal 1.
- [11] Hasanein Haikal. "Analisa karakteristik lampu hemat energi 18 watt." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2005.
- [12] Enrico Santi, Zhe Zhang, Slobodan Cuk, "High Frequency Electronic Ballast Provides Line Frequency Lamp Current", *IEEE Transactions On Power Electronics*, 16(5) September 2001: hal 1.

[13] Antonio Nassar,Max Mednik, "Introductory physics of harmonic distortion in fluorescent lamps" ,*Am. J. Phys.*, 71(6): Juni 2003. hal 577.

[14] "Screwbase compact flourescent lamp products", *National Lighting Product Informatin program*, (Juni 1000), hal 4.

[15] Iwa Garniwa,"Pengaruh Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik Dan Penanggulangannya", *Seminar Departemen Elektro UI*, hal 2.



DAFTAR PUSTAKA

- Iwa Garniwa, “Pengaruh Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik Dan Penanggulangannya”, *Seminar Departemen Elektro UI*.
- Lithonia Lighting & US Department of Energy , “The Basics of Efficient Lighting”, (Januari 2002).
- Roger C.Dugan, Mark F.McGranaghan , H.Wayne Beaty, *Electrical Power System Quality* (New York: McGraw-Hill,1996)
- W. Mack Grady, Robert J. Gilleskie, “Harmonics and how they relate to power factor”, *Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA’93)*,(November 1993)

LAMPIRAN

HASIL PENGUKURAN HARMONIK LHE 5 WATT DAN LAMPU PIJAR 100 WATT



-LHE A

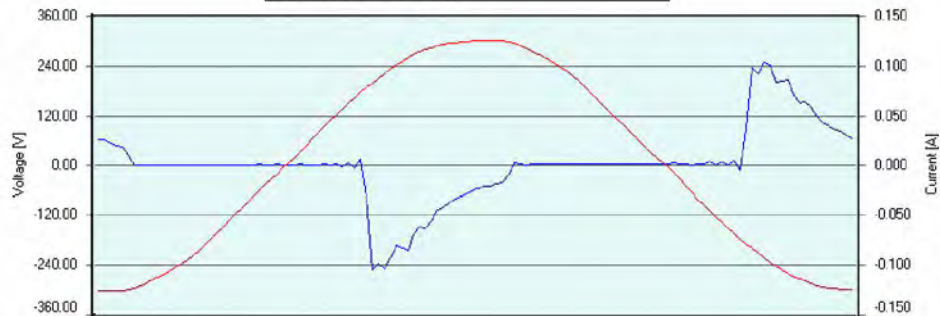
A.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:03:56
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , A.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , A.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , A.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , A.CSV[var]
Average value		216.47	0.0386	-5.4	3.1
Maximum value		216.54	0.0395	-5.2	3.2
Time of maximum value		3/12/2008 19:02:56	3/12/2008 19:03:56	3/12/2008 19:02:56	3/12/2008 19:03:56
Minimum value		216.39	0.0376	-5.5	2.9
Time of minimum value		3/12/2008 19:03:56	3/12/2008 19:02:56	3/12/2008 19:03:56	3/12/2008 19:02:56
3/12/2008	19:02:56	216.54	0.0376	-5.2	2.9
	19:03:56	216.39	0.0395	-5.5	3.2
	19:04:56				
	19:05:56				

A.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:03:56
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , A.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , A.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , A.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , A.CSV[%]
Average value		6.2	0.8695	1.65	66.80
Maximum value		6.4	0.8729	1.67	67.27
Time of maximum value		3/12/2008 19:03:56	3/12/2008 19:02:56	3/12/2008 19:02:56	3/12/2008 19:02:56
Minimum value		6.0	0.8660	1.62	66.33
Time of minimum value		3/12/2008 19:02:56	3/12/2008 19:03:56	3/12/2008 19:03:56	3/12/2008 19:03:56
3/12/2008	19:02:56	6.0	0.8729	1.67	67.27
	19:03:56	6.4	0.8660	1.62	66.33
	19:04:56				

A.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:03:56
 Display period 3/12/2008 19:02:56
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE B

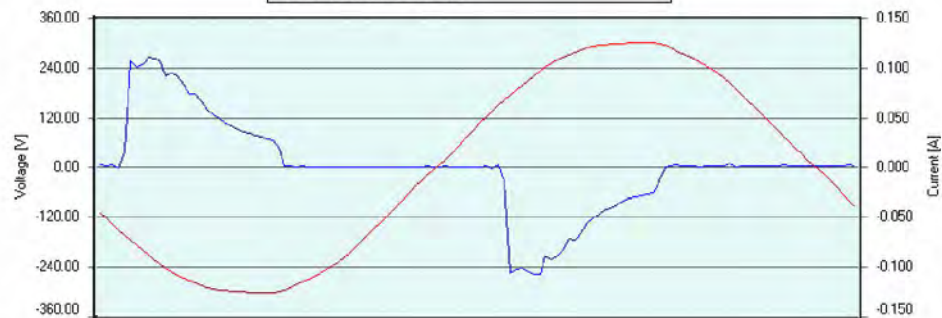
B.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:04:42 - 3/12/2008 19:05:42
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , B.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , B.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , B.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , B.CSV[var]
Average value		216.19	0.0458	-6.6	4.0
Maximum value		216.19	0.0458	-6.6	4.0
Time of maximum value		3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56
Minimum value		216.19	0.0458	-6.6	4.0
Time of minimum value		3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56	216.19	0.0458	-6.6	4.0
	19:05:56				

B.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:04:42 - 3/12/2008 19:05:42
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , B.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , B.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , B.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , B.CSV[%]
Average value		7.7	0.8590	1.60	62.31
Maximum value		7.7	0.8590	1.60	62.31
Time of maximum value		3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56
Minimum value		7.7	0.8590	1.60	62.31
Time of minimum value		3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56	3/12/2008 19:04:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56	7.7	0.8590	1.60	62.31

B.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:04:42 - 3/12/2008 19:05:42
 Display period 3/12/2008 19:04:42
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE C

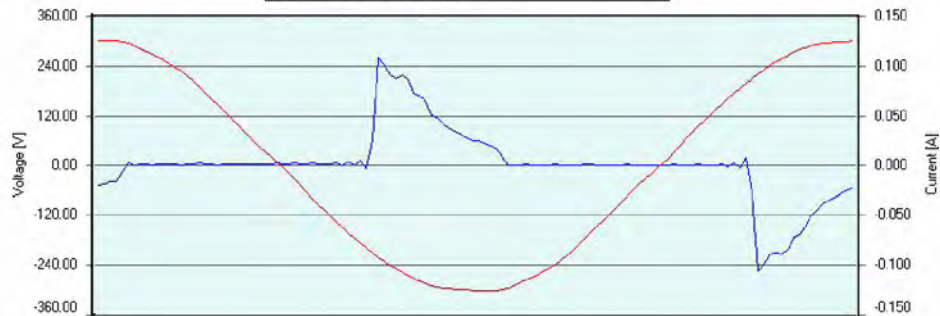
C.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:06:21 - 3/12/2008 19:07:21
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , C.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , C.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , C.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , C.CSV[var]
Average value		216.27	0.0355	-4.8	2.3
Maximum value		216.27	0.0355	-4.8	2.3
Time of maximum value		3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56
Minimum value		216.27	0.0355	-4.8	2.3
Time of minimum value		3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

C.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:06:21 - 3/12/2008 19:07:21
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , C.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , C.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , C.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , C.CSV[%]
Average value		5.4	0.9000	1.61	70.82
Maximum value		5.4	0.9000	1.61	70.82
Time of maximum value		3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56
Minimum value		5.4	0.9000	1.61	70.82
Time of minimum value		3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56	3/12/2008 19:06:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

C.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:06:21 - 3/12/2008 19:07:21
 Display period 3/12/2008 19:06:21
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE D

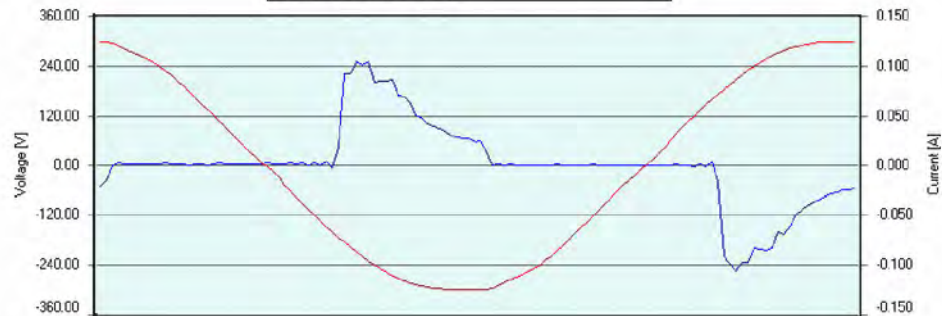
D.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:08:18 - 3/12/2008 19:09:18
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , D.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , D.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , D.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , D.CSV[var]
Average value		215.79	0.0407	-5.8	3.4
Maximum value		215.79	0.0407	-5.8	3.4
Time of maximum value		3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56
Minimum value		215.79	0.0407	-5.8	3.4
Time of minimum value		3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

D.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:08:18 - 3/12/2008 19:09:18
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , D.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , D.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , D.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , D.CSV[%]
Average value		6.7	0.8636	1.59	64.64
Maximum value		6.7	0.8636	1.59	64.64
Time of maximum value		3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56
Minimum value		6.7	0.8636	1.59	64.64
Time of minimum value		3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56	3/12/2008 19:08:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

D.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:08:18 - 3/12/2008 19:09:18
 Display period 3/12/2008 19:08:18
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE E

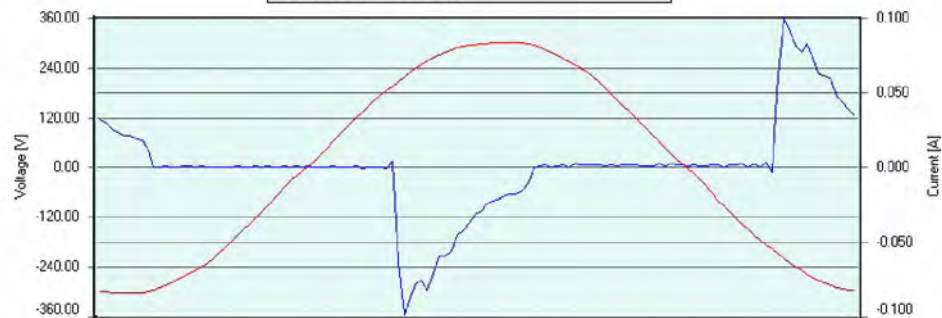
E.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:10:11 - 3/12/2008 19:11:11
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value E.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , E.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , E.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , E.CSV[var]
Average value		216.57	0.0325	-4.5	2.3
Maximum value		216.57	0.0325	-4.5	2.3
Time of maximum value		3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56
Minimum value		216.57	0.0325	-4.5	2.3
Time of minimum value		3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

E.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:10:11 - 3/12/2008 19:11:11
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , E.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , E.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value E.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , E.CSV[%]
Average value		5.0	0.8941	1.62	69.53
Maximum value		5.0	0.8941	1.62	69.53
Time of maximum value		3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56
Minimum value		5.0	0.8941	1.62	69.53
Time of minimum value		3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56	3/12/2008 19:10:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

E.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:10:11 - 3/12/2008 19:11:11
 Display period 3/12/2008 19:10:11
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE F

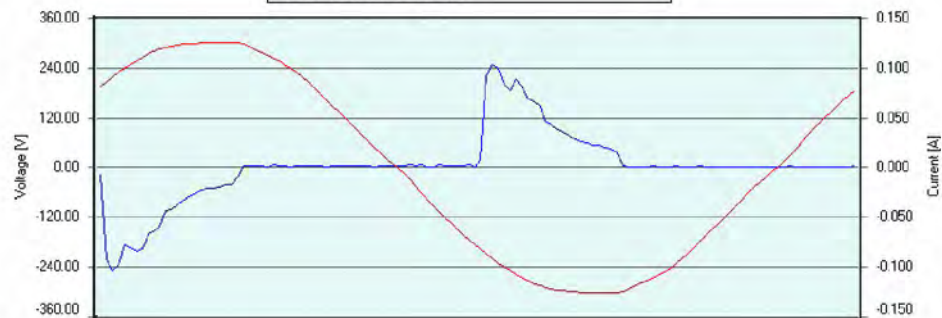
F.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:12:19 - 3/12/2008 19:13:19
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value F.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , F.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , F.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , F.CSV[var]
Average value		216.95	0.0354	-4.9	2.5
Maximum value		216.95	0.0354	-4.9	2.5
Time of maximum value		3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56
Minimum value		216.95	0.0354	-4.9	2.5
Time of minimum value		3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

F.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:12:19 - 3/12/2008 19:13:19
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , F.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , F.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value F.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , F.CSV[%]
Average value		5.5	0.8880	1.72	69.60
Maximum value		5.5	0.8880	1.72	69.60
Time of maximum value		3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56
Minimum value		5.5	0.8880	1.72	69.60
Time of minimum value		3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56	3/12/2008 19:12:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

F.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:12:19 - 3/12/2008 19:13:19
 Display period 3/12/2008 19:12:19
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE G

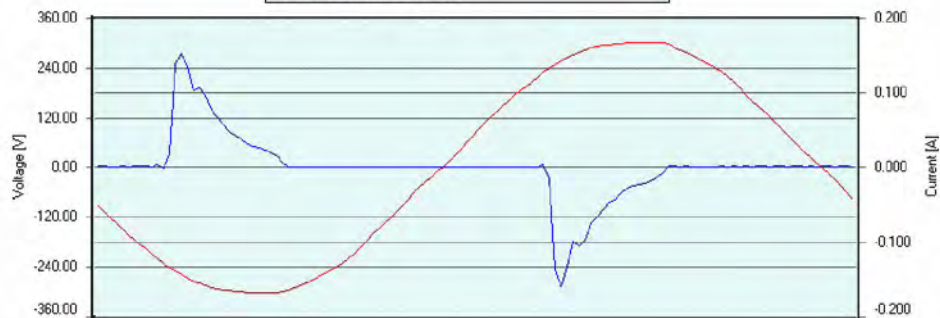
G.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:14:15 - 3/12/2008 19:15:15
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value G.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , G.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , G.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , G.CSV[var]
Average value		216.73	0.0424	-5.3	2.1
Maximum value		216.73	0.0424	-5.3	2.1
Time of maximum value		3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56
Minimum value		216.73	0.0424	-5.3	2.1
Time of minimum value		3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

G.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:14:15 - 3/12/2008 19:15:15
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , G.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , G.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , G.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , G.CSV[%]
Average value		5.7	0.9313	1.69	77.98
Maximum value		5.7	0.9313	1.69	77.98
Time of maximum value		3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56
Minimum value		5.7	0.9313	1.69	77.98
Time of minimum value		3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56	3/12/2008 19:14:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

G.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:14:15 - 3/12/2008 19:15:15
 Display period 3/12/2008 19:14:15
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE H

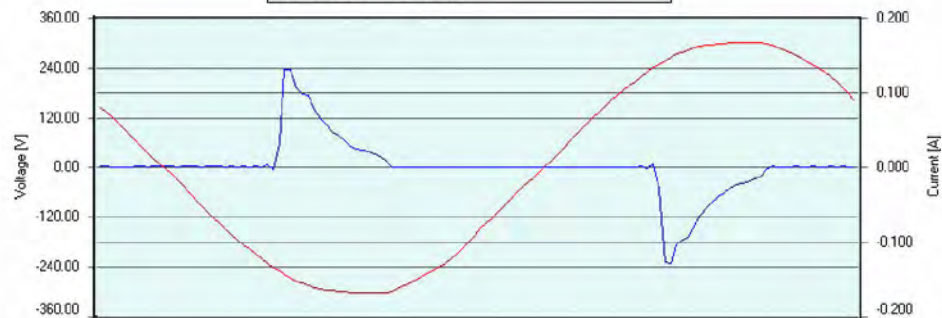
H.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:15:57 - 3/12/2008 19:16:57
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value H.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , H.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , H.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , H.CSV[var]
Average value		216.91	0.0367	-4.6	1.6
Maximum value		216.91	0.0367	-4.6	1.6
Time of maximum value		3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56
Minimum value		216.91	0.0367	-4.6	1.6
Time of minimum value		3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

H.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:15:57 - 3/12/2008 19:16:57
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , H.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , H.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , H.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , H.CSV[%]
Average value		4.9	0.9428	1.72	78.31
Maximum value		4.9	0.9428	1.72	78.31
Time of maximum value		3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56
Minimum value		4.9	0.9428	1.72	78.31
Time of minimum value		3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56	3/12/2008 19:16:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

H.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:15:57 - 3/12/2008 19:16:57
 Display period 3/12/2008 19:15:57
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE I

I.CSV

Measurement period 3/12/2008 19:18:01 - 3/12/2008 19:19:01

Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56

Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value I.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , I.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , I.CSV[var]
Average value		216.64	0.0339	-4.6	2.3
Maximum value		216.64	0.0339	-4.6	2.3
Time of maximum value		3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56
Minimum value		216.64	0.0339	-4.6	2.3
Time of minimum value		3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

I.CSV

Measurement period 3/12/2008 19:18:01 - 3/12/2008 19:19:01

Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56

Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

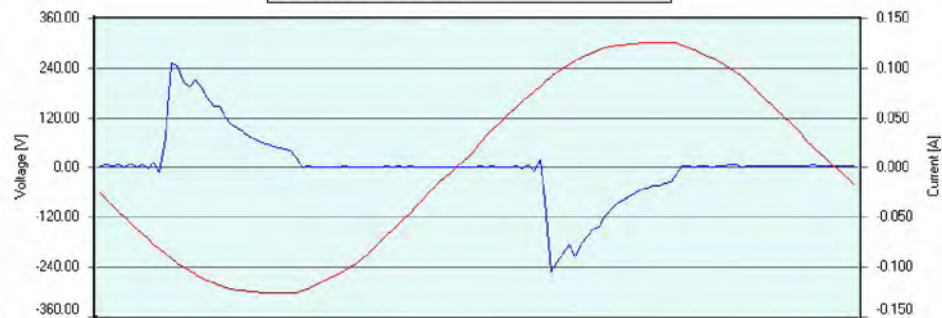
Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , I.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , I.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value , I.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , I.CSV[%]
Average value		5.1	0.8931	1.62	71.07
Maximum value		5.1	0.8931	1.62	71.07
Time of maximum value		3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56
Minimum value		5.1	0.8931	1.62	71.07
Time of minimum value		3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56	3/12/2008 19:18:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

I.CSV

Measurement period 3/12/2008 19:18:01 - 3/12/2008 19:19:01

Display period 3/12/2008 19:18:01

Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LHE J

J.CSV

Measurement period 3/12/2008 19:19:45 - 3/12/2008 19:20:45

Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56

Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value J.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , J.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , J.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , J.CSV[var]
Average value		216.25	0.0345	-4.6	2.2
Maximum value		216.25	0.0345	-4.6	2.2
Time of maximum value		3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56
Minimum value		216.25	0.0345	-4.6	2.2
Time of minimum value		3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				
	19:05:56				

J.CSV

Measurement period 3/12/2008 19:19:45 - 3/12/2008 19:20:45

Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56

Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

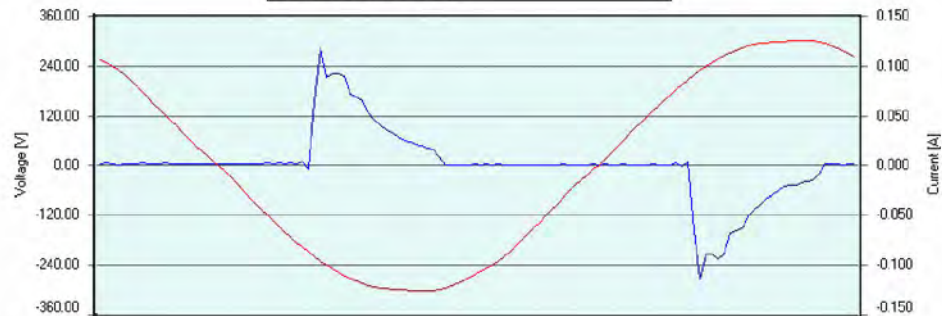
Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1 , J.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , J.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value J.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , J.CSV[%]
Average value		5.1	0.9010	1.53	72.54
Maximum value		5.1	0.9010	1.53	72.54
Time of maximum value		3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56
Minimum value		5.1	0.9010	1.53	72.54
Time of minimum value		3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56	3/12/2008 19:19:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

J.CSV

Measurement period 3/12/2008 19:19:45 - 3/12/2008 19:20:45

Display period 3/12/2008 19:19:45

Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-10 LHE DIPARALEL

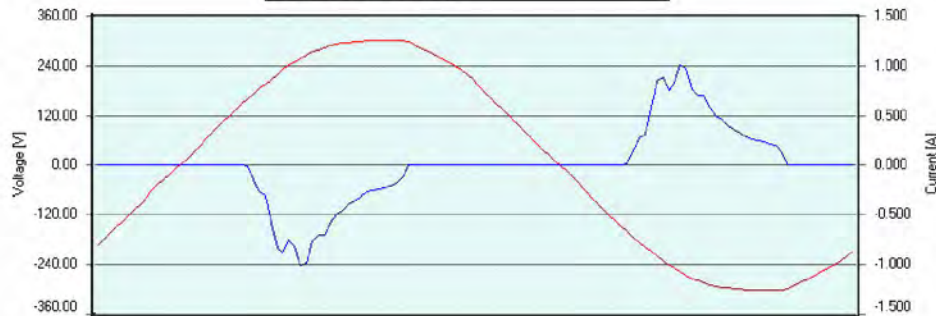
PARALEL.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:25:15 - 3/12/2008 19:26:15
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value PARALEL.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1, PARALEL.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1, PARALEL.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1, PARALEL.CSV[var]
Average value		216.83	0.3629	-53.2	27.1
Maximum value		216.83	0.3629	-53.2	27.1
Time of maximum value		3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56
Minimum value		216.83	0.3629	-53.2	27.1
Time of minimum value		3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				
	19:04:56				

PARALEL.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:25:15 - 3/12/2008 19:26:15
 Display period 3/12/2008 19:02:56 - 3/12/2008 19:25:56
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1, PARALEL.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1, PARALEL.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value PARALEL.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1, PARALEL.CSV[%]
Average value		59.7	0.8908	1.60	64.83
Maximum value		59.7	0.8908	1.60	64.83
Time of maximum value		3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56
Minimum value		59.7	0.8908	1.60	64.83
Time of minimum value		3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56	3/12/2008 19:25:56
3/12/2008	19:02:56				
	19:03:56				

PARALEL.CSV
 Measurement period 3/12/2008 19:25:15 - 3/12/2008 19:26:15
 Display period 3/12/2008 19:25:15
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1

-LAMPU PIJAR 100 WATT

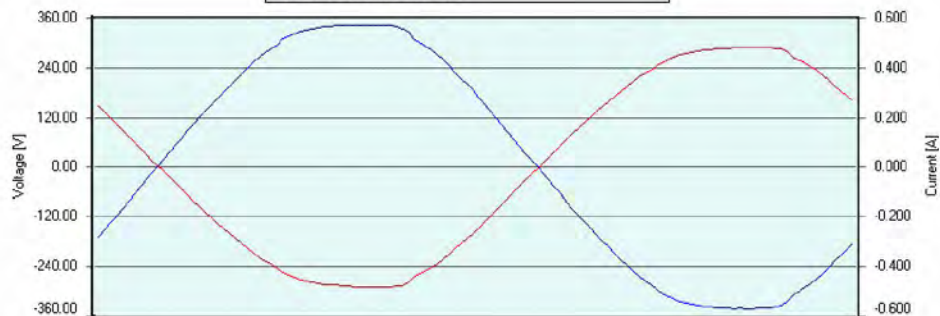
BOHLAM100w.CSV
 Measurement period 3/26/2008 13:31:32 - 3/26/2008 13:32:32
 Display period 3/26/2008 13:31:32 - 3/26/2008 13:32:32
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value BOHLAM100w.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1, BOHLAM100w.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1, BOHLAM100w.CSV[W]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1, BOHLAM100w.CSV[var]
Average value		210.90	0.4173	-88.0	1.6
Maximum value		211.16	0.4176	-87.8	1.6
Time of maximum value		3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:32:32	3/26/2008 13:31:32
Minimum value		210.63	0.4170	-88.2	1.6
Time of minimum value		3/26/2008 13:32:32	3/26/2008 13:32:32	3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:31:32
3/26/2008	13:31:32	211.16	0.4176	-88.2	1.6
	13:32:32	210.63	0.4170	-87.8	1.6

BOHLAM100w.CSV
 Measurement period 3/26/2008 13:31:32 - 3/26/2008 13:32:32
 Display period 3/26/2008 13:31:32 - 3/26/2008 13:32:32
 Measurement interval 1 Minute Data interval 1 Minute

Date	Time	S: Apparent power Instantaneous value Circuit 1, BOHLAM100w.CSV[VA]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1, BOHLAM100w.CSV	THD-R_U1: THD-R voltage CH1 Instantaneous value BOHLAM100w.CSV[%]	THD-R_I1: THD-R current CH1 Instantaneous value Circuit 1, BOHLAM100w.CSV[%]
Average value		88.0	0.9998	2.64	2.36
Maximum value		88.2	0.9998	2.70	2.43
Time of maximum value		3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:32:32	3/26/2008 13:32:32
Minimum value		87.8	0.9998	2.58	2.28
Time of minimum value		3/26/2008 13:32:32	3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:31:32	3/26/2008 13:31:32
3/26/2008	13:31:32	88.2	0.9998	2.58	2.28
	13:32:32	87.8	0.9998	2.70	2.43

BOHLAM100w.CSV
 Measurement period 3/26/2008 13:31:32 - 3/26/2008 13:32:32
 Display period 3/26/2008 13:31:32
 Measurement interval 1 Minute



Left axis	U1
Right axis	I1