



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KORELASI PEMBEBANAN LAMPU HEMAT  
ENERGI TERHADAP BESARAN DAN BENTUK  
GELOMBANG HARMONISA**

**TESIS**

**AHMAD RAJANI**

**0906577633**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA KORELASI PEMBEBANAN LAMPU HEMAT  
ENERGI TERHADAP BESARAN DAN BENTUK  
GELOMBANG HARMONISA**

**TESIS**

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

**Magister Teknik**

**AHMAD RAJANI**

**0906577633**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Ahmad Rajani**

**NPM : 0906577633**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 3 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Ahmad Rajani

NPM : 0906577633

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Seminar : Analisa Korelasi Pembebanan Lampu Hemat Energi Terhadap  
Besaran dan Bentuk Gelombang Harmonisa

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Iwa Garniwa M.K, MT. (.....)

Penguji : Ir. Amien Rahardjo, MT (.....)

Penguji : Ir. I Made Ardita, MT. (.....)

Penguji : Ir. Soepranyoto, MSc. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Kekhususan Tenaga Listrik & Energi pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M K, MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- 2) Kepala Laboratorium di B2TE, Puspiptek – Serpong, beserta para staf yang telah menyediakan sarana dan prasarana dan banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- 3) Orang tua dan keluarga saya yang telah membarikan bantuan dukungan moral dan material;
- 4) Teman-teman Teknik Elektro yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 3 Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : Ahmad Rajani  
NPM : 0906577633  
Program Studi : Kekhususan Tenaga Listrik & Energi  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

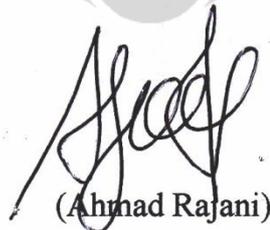
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisa Korelasi Pembebanan Lampu Hemat Energi Terhadap Besaran dan  
Bentuk Gelombang Harmonisa

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Depok  
Pada tanggal 3 Juli 2010  
Yang menyatakan

  
(Ahmad Rajani)

## ABSTRAK

Nama : Ahmad Rajani  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Analisa Korelasi Pembebanan Lampu Hemat Energi Terhadap Besaran dan Bentuk Gelombang Harmonisa

Penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE) beberapa tahun terakhir telah rame diperdebatkan. LHE memiliki keuntungan dalam penggunaan energi yang rendah dan umur yang panjang. Oleh karena itu peningkatan penggunaan LHE tersebut begitu signifikan. Namun, yang jadi masalah adalah penggunaan LHE menimbulkan efek harmonisa. Distorsi harmonisa ini memiliki dampak negatif pada sistem tenaga listrik. Dalam tesis ini akan menganalisa korelasi pembebanan lampu hemat energi dengan besar dan bentuk gelombang dari harmonisa yang ditimbulkan LHE tersebut. Untuk mengetahui korelasi tersebut, akan dilakukan penelitian terhadap beberapa lampu hemat energi yang ada dipasaran Indonesia. Pengukuran lampu hemat energi tersebut dilakukan dengan dua tahap, yang pertama diukur individual masing-masing lampu, selanjutnya dilakukan pengukuran kombinasi paralel. Dari hasil penelitian tersebut tersebut diperoleh hasil V-THD 2,27% dan I-THD 106,64% pengukuran individual LHE untuk merk dan daya yang sama. Nilai I-THD relatif turun setelah dilakukan pengukuran kombinasi paralel, sedangkan untuk V-THD relatif tetap. Untuk pengukuran masing-masing orde, orde harmonik ke-3 merupakan penghasil distrosi terbesar untuk arus dan harmonik ke-5 untuk tegangan.

Kata Kunci : LHE, Harmonisa

## ABSTRACT

Name : Ahmad Rajani

Study Program: Electrical Engineering

Title : Analysis Of Correlation For Compact Fluorescent Lighting  
Imposition Of Quantity and Waveform Harmonics

Use of Energy Saving Lamps (LHE) in recent years have been crowded debated. LHE has the advantage in the use of low energy and long life. Therefore, the increased use of LHE is so significant. However, the problem is the use of harmonic effects LHE. Harmonic distortion has a negative impact on the power system. In this thesis will analyze the correlation with the imposition of a large energy saving lamps and harmonic waveform generated from the LHE. To find out the correlation, will do research on some energy saving lamps in the market of Indonesia. Measurement of energy saving lamps are done in two stages, the first measure of each individual lamp, the parallel combination is then performed measurements. From these results it obtained the V-THD 2.27% and 106.64% THD I-LHE individual measurements for the same brand and power. I-THD relative value fell after the parallel combination of measurements, whereas for the V-THD is relatively fixed. For the measurement of each order, third order harmonic distortions is the largest producer-order harmonic currents and-5 to a voltage.

Keywords : CFL, Harmonic

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
I. Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Maksud Dan Tujuan	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Metodeologi Penelitian	2
I.5 Sistematika Panulisan	3
Landasan	
II Teori	4
2.1 Harmonisa	4
2.2 Penyebab Timbulnya Harmonisa	6
2.3 Jenis Peralatan Penghasil Harmonisa	7
2.4 Akibat Yang Ditimbulkan Harmonisa	8
2.4.1 Netral berbeban lebih	8
2.4.2 Rugi-Rugi Tembaga	9
2.4.3 Rugi-rugi Arus Eddy	9
2.5 Perhitungan Distorsi Harmonisa	10
2.5.1 Distorsi Harmonik Total (Total Harmonik Distortion)	10
2.5.2 Persamaan Fourier	10
2.5.3 Nilai RMS	12
2.6 Lampu Hemat Energi	13
2.6.1 Umum	13
2.6.2 Prinsip Kerja Lampu Hemat Energi	15
III Pengujian Lampu Hemat Energi	18
3.1 Umum	18
3.2 Komponen Pengujian	18
3.2.1 Alat Ukur dan Metode Pengukuran	18

3.2.2	Objek Pengujian	19
3.2.3	Proses Pengukuran	21
3.3	Skenario Pembebanan LHE	21
3.3.1	LHE Merk dan Daya Sama	22
3.3.2	LHE Merk Sama Daya Beda	22
3.3.3	LHE Merk Beda Daya Sama	23
3.3.4	LHE Merk Beda Daya Beda	23
IV	Hasil Pengukuran Dan Analisa Data	24
4.1	Hasil Pengukuran Lampu Hemat Energi (LHE)	24
4.1.1	LHE Merk dan Daya Sama	24
4.1.2	LHE Merk Sama dan Daya Beda	31
4.1.3	LHE Merk Beda Daya Sama	37
4.1.4	LHE Merk Beda Daya Beda	42
4.2	Analisa Hasil Pengukuran Lampu Hemat Energi (LHE)	48
4.2.1	Analisa Arus	48
4.2.2	Analisa Tegangan	58
4.3	Analisa Gelombang Harmonik Yang Dihasilkan Lampu Hemat Energi	64
V	Kesimpulan	66
	Daftar	66
	Refrensi	67

## DAFTAR GAMBAR

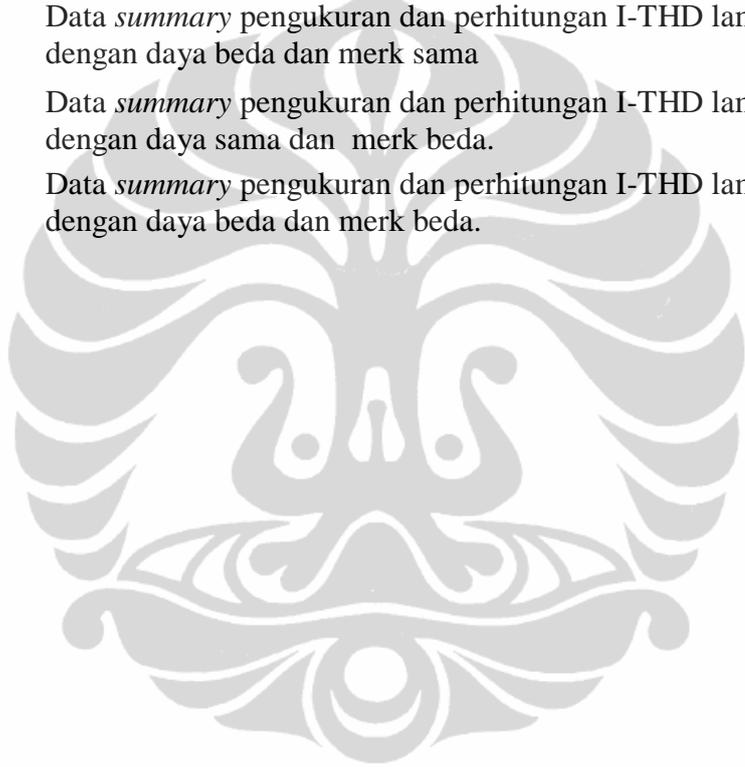
		Halaman
Gambar 2.1	Bentuk gelombang dasar 50 Hz dan 60 Hz	4
Gambar 2.2	Bentuk gelombang harmonik	6
Gambar 2.3	Spektrum harmonik beban PC	7
Gambar 2.4	Spektrum harmonik beban LHE	7
Gambar 2.5	Arus Netral pada Sistem Wye-Grounded Akibat Triplen Harmonik	9
Gambar 2.6	Beban terdistorsi mempengaruhi instalasi didekatnya	10
Gambar 2.7	Lampu Pijar Edison	14
Gambar 2.8	Gambar beberapa Jenis Lampu Hemat Energi	15
Gambar 2.9	Rangkaian Ballast Elektronika Lampu Hemat Energi	16
Gambar 2.10	Ballast Pada Lampu Hemat Energi	17
Gambar 3.1	Digital Clamp On Power HiTerster, Hioki 3169	18
Gambar 3.2	AC Voltage Stabilizer, VA-1500	19
Gambar 3.3	AC Voltage Regulator, 0 V-250 V/ 1 KVA	19
Gambar 3.4	Skema Pengukuran LHE	21
Gambar 3.5	Skenario Pembebana Lampu Hemat Energi	21
Gambar 4.1	Grafik Distorsi Arus (mA) Masing-Masing Lampu Orde 1-39	25
Gambar 4.2	Grafik Distorsi Tegangan (%) Kombinasi Lampu Orde 1-39	35
Gambar 4.3	Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk sama dan daya sama	50
Gambar 4.4	Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk sama dan daya beda	51
Gambar 4.5	Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk beda dan daya sama	52
Gambar 4.6	Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk beda dan daya beda	53
Gambar 4.7	Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya sama merk sama	54
Gambar 4.8	Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya sama merk sama	54
Gambar 4.9	Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya beda merk sama	55
Gambar 4.10	Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya beda merk sama	55
Gambar 4.11	Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya sama merk beda	56
Gambar 4.12	Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya sama merk beda	57
Gambar 4.13	Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya dan	57

	merk beda	
Gambar 4.14	Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya dan merk beda	58
Gambar 4.15	Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya dan merk sama	59
Gambar 4.16	Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya dan merk sama	59
Gambar 4.17	Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya beda dan merk sama	60
Gambar 4.18	Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya beda dan merk sama	60
Gambar 4.19	Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya sama dan merk beda	61
Gambar 4.20	Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya sama dan merk beda	62
Gambar 4.21	Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya beda dan merk beda	62
Gambar 4.22	Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya beda dan merk beda	63
Gambar 4.23	Bentuk Harmonik Lampu 1	64
Gambar 4.24	Bentuk Harmonik Lampu 2	64
Gambar 4.25	Bentuk Harmonik Lampu 1 Paralel Lampu 2	64

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Polaritas dari komponen harmonik	8
Tabel 2.2	Standar Harmonisa Arus	12
Tabel 2.3	Standar Harmonisa Tegangan	13
Tabel 3.1	Daftar Lampu yang di uji	20
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran 5 LHE Merk Sama dan daya sama	24
Tabel 4.2	Data harmonik orde tegangan, lampu dengan daya dan merk sama.	25
Tabel 4.3	Data harmonik orde Arus , lampu dengan daya dan merk sama	26
Tabel 4.4	Hasil pengukuran LHE Dihubungkan Paralel	28
Tabel 4.5	Data V-THD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk sama	29
Tabel 4.6	Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk sama	30
Tabel 4.7	Nilai ukur masing-masing lampu merk sama daya beda	31
Tabel 4.8	Data harmonik orde tegangan , lampu dengan daya beda dan merk sama	32
Tabel 4.9	Data harmonik orde arus , lampu dengan daya beda dan merk sama	33
Tabel 4.10	Hasil pengukuran LHE merk sama daya beda dihubungkan paralel	34
Tabel 4.11	Data VTHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya beda dan merk sama	35
Tabel 4.12	Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya beda dan merk sama	36
Tabel 4.13	Nilai pengukuran masing-masing LHE Merk beda daya sama	37
Tabel 4.14	Data harmonik orde arus, lampu dengan daya sama dan merk beda	38
Tabel 4.15	Data harmonik orde tegangan , lampu dengan daya sama dan merk beda	38
Tabel 4.16	Hasil pengukuran LHE merk beda, daya sama dihubungkan paralel	40
Tabel 4.17	Data VTHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya sama dan merk beda	40
Tabel 4.18	Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya sama dan merk beda	41
Tabel 4.19	Nilai pengukuran masing-masing LHE Merk beda daya beda	43
Tabel 4.20	Data harmonik orde tegangan, lampu dengan daya beda dan merk beda	43
Tabel 4.21	Data harmonik orde arus, lampu dengan daya beda dan merk	44

	beda	
Tabel 4.22	Nilai Pengukuran LHE merk dan daya beda dihubungkan paralel	45
Tabel 4.23	Data VTHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk beda	46
Tabel 4.24	Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk beda	47
Tabel 4.25	Data harmonik orde arus (mA) , lampu dengan daya dan merk sama.	48
Tabel 4.26	Data <i>summary</i> pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya dan merk sama	49
Tabel 4.27	Data <i>summary</i> pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya beda dan merk sama	51
Tabel 4.28	Data <i>summary</i> pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya sama dan merk beda.	52
Tabel 4.29	Data <i>summary</i> pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya beda dan merk beda.	53



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Untuk dapat menghemat energi listrik beberapa tahun belakangan ini digalakkan penggunaan lampu hemat energi (LHE). Pada awalnya penggunaan lampu hemat energi ini selalu dikaitkan hanya sebatas energi yang dapat dihemat oleh lampu tersebut tanpa mempertimbangkan dampak negatif yang dapat ditimbulkan lampu tersebut. Ini dikarenakan lampu hemat energi ini mengubah 80% dari daya yang diterimanya diubah menjadi cahaya, serta umurnya yang dapat 15 kali lebih lama dari lampu pijar[5].

Salah satu dampak negatif dari penggunaan lampu hemat energi ini adalah timbulnya arus harmonik, arus harmonik yang mengalir ke jaringan akan menimbulkan tegangan harmonik pada jaringan.

Distorsi harmonik yang timbul pada jaringan tenaga listrik tersebut akan mengakibatkan kualitas daya menurun. Hal itu dapat merugikan konsumen pengguna energi tersebut. Selain itu harmonik ini juga dapat mengakibatkan panas berlebih pada kabel dan meningkatnya rugi-rugi pada transformator, hal ini dapat mengakibatkan berkurangnya beban maksimum dari trafo tersebut.

Semakin banyaknya jenis lampu hemat energi yang ada di pasaran dengan kualitas yang berbeda-beda, perlu dilakukan penelitian untuk mengukur besar harmonik yang ditimbulkan lampu-lampu tersebut dengan berbagai kondisi pengukuran.

Lampu hemat energi menyebabkan harmonisa arus ganjil dengan THD yang besar sekali, dan harmonisa arus yang paling dominan adalah harmonisa arus orde ke-3. Mengingat harmonisa yang disebabkan penggunaan lampu hemat energi adalah harmonisa ganjil orde ke-3, maka pengurangan gangguan harmonisa yang disebabkan lampu hemat energi dapat dilakukan dengan menggunakan filter harmonisa ke-3. (Liem Ek Bien dan Sudarno, 2004 : 2)

Selain itu juga telah banyak penelitian yang menyatakan bahwa, distorsi harmonik yang ditimbulkan lampu hemat energi menimbulkan efek negatif terhadap jaringan distribusi, trafo distribusi, dan lain-lain. Sehingga perlu diteliti hubungan korelasi antara pembebanan lampu hemat energi dengan besaran dan bentuk gelombang distorsi harmonik yang timbul.

## **1.2 Maksud dan Tujuan**

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisa tingkat distorsi harmonik yang ditimbulkan lampu hemat energi pada berbagai daya dan merk lampu hemat energi.
2. Mengetahui dan menganalisa korelasi antara pembebanan lampu hemat energi dengan besar dan bentuk gelombang harmonisa yang ditimbulkan berdasarkan konfigurasi pembebanan .

## **1.3 Batasan Masalah**

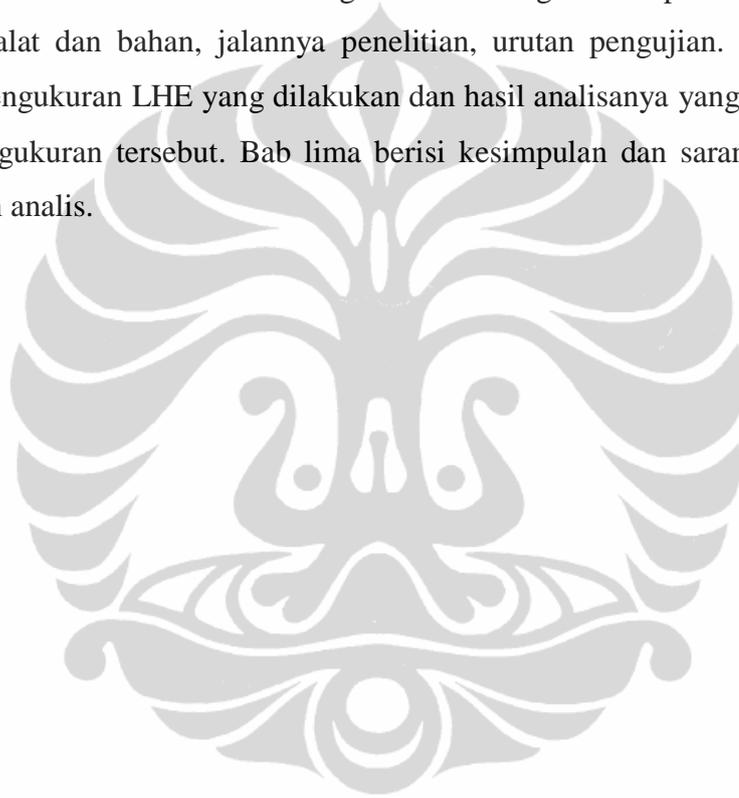
1. Percobaan ini hanya menganalisa mengenai harmonisa yang ditimbulkan lampu hemat energi saja.
2. Kondisi pengukuran yang dilakukan berdasarkan SNI IEC 60969:2009.
3. Analisa korelasi pembebanan lampu hemat energi terhadap besar dan bentuk gelombang harmonisa yang ditimbulkan didasarkan pada skenario pembebanan yang dirancang.

## **1.4 Metode Penelitian**

- Studi literature perihal karakteristik dan dampak dari harmonik yang ditimbulkan lampu hemat energi.
- Melakukan pengukuran harmonik pada beberapa jenis lampu hemat energi dengan beberapa konfigurasi pembebanan yang di skenario.
- Menganalisa dan membandingkan besaran dan bentuk gelombang harmonik yang ditimbulkan lampu hemat energi berdasarkan berbagai macam konfigurasi pengukuran yang dilakukan.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Pada penulisan Tesis ini akan dibahas beberapa pokok permasalahan yang terbagi dalam beberapa bagian yaitu: Bab pendahuluan, berisi latar Belakang, Maksud dan tujuan, batasan masalah, metodeologi penelitian, serta sistematika penulisan. Bab dua berisi tentang teori-teori yang melandasi penelitian ini dan perkembangan mengenai harmonisa, dampak-dampaknya serta persamaan-persamaan harmonisa. Bagian ini diambil dari beberapa buku literatur, jurnal penelitian dan situs-situs internet. Bab tiga berisi tentang metode penelitian, waktu dan tempat, alat dan bahan, jalannya penelitian, urutan pengujian. Bab empat berisi hasil pengukuran LHE yang dilakukan dan hasil analisisnya yang ditemukan dari data pengukuran tersebut. Bab lima berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian dan analisis.



## BAB II

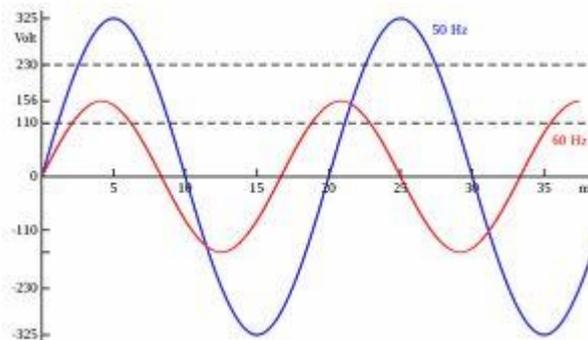
### Landasan Teori

#### 2.1 Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedensi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan.

Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya.

Sebuah sistem tenaga listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50 atau 60Hz (gambar 2.1), akan tetapi pada aplikasinya beberapa beban menyebabkan munculnya arus/tegangan dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi 50/60Hz. Frekuensi 50/60Hz disebut dengan frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut dengan frekuensi harmonik.

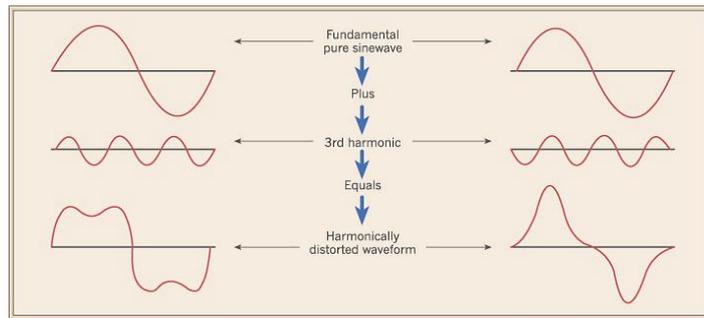


Gambar 2.1. Bentuk gelombang dasar 50 Hz dan 60 Hz[4]

Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan, dimana terjadi gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150Hz dan seterusnya.

Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya. Harmonik urutan genap biasanya memiliki rms yang lebih kecil dibandingkan harmonik urutan ganjil. Jumlah antara frekuensi fundamental dan kelipatannya, akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinus murni, tetapi mengalami distorsi.

Berdasarkan *Standart IEC (International Electrotechnical Commission) 1000.4-11*, gangguan harmonisa tergolong kedalam Distorsi Bentuk Gelombang (Dugan 2004: 3) seperti pada gambar 2.2. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa bentuk gelombang berubah dari bentuk sebuah gelombang sinus, yang akan menyebabkan perubahan pada nilai pada gelombang tersebut (misalnya nilai *rms*). Pada fenomena ini terjadi perubahan bentuk gelombang dari gelombang dasarnya. Harmonisa adalah gelombang tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi yang merupakan hasil kali integer dari frekuensi dasar dimana suplai system dirancang untuk beroperasi (biasanya 50 atau 60 Hz). Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa.



Gambar 2.2. Bentuk gelombang harmonik

Fenomena harmonik pada sistem tenaga listrik pertama kali diteliti oleh Steinmetz pada tahun 1916 (*Grady 2002*), yang pada penelitiannya di fokuskan pada harmonik ketiga yang muncul pada sistem 3 fase. Kemunculan harmonik ketiga tersebut disebabkan oleh kejenuhan inti besi pada trafo dan mesin mesin listrik.

Dari data yang diambil di United States, kandungan beban non linier pada keseluruhan beban sangat meningkat dengan pesat. Pada tahun 1960, hanya 5 % dari keseluruhan beban, kemudian pada tahun 1990 meningkat 30% dan semakin pesat meningkat pada tahun 2000 menjadi 60% dari keseluruhan beban. Pada era sekarang, penyebab timbulnya harmonik sebagian besar dikarenakan banyaknya digunakan peralatan berbasis elektronika daya

## 2.2 Penyebab Timbulnya Harmonisa

Harmonisa timbul akibat adanya beban non linier. Beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).

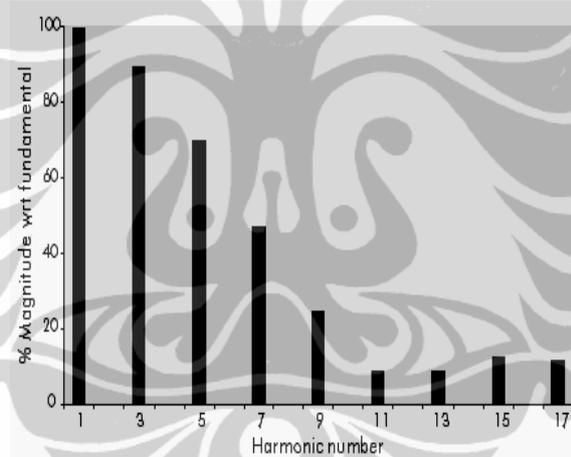
Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam

peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya.

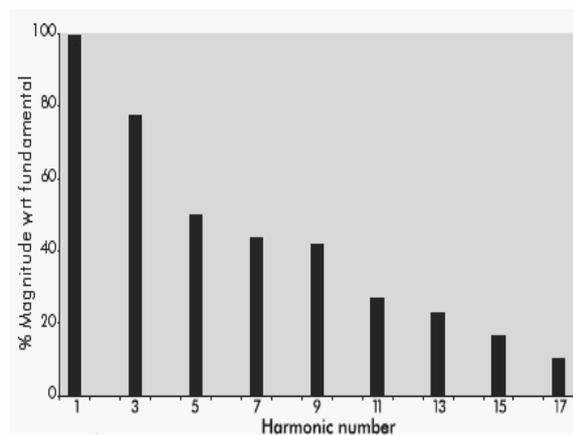
### 2.3 Jenis Peralatan Penghasil Harmonisa[3]

Arus harmonik dibangkitkan oleh beban non-linier, beban non linier ini terdiri dari dua jenis yaitu beban fasa tunggal dan beban tiga fasa. Berikut contoh-contoh peralatan penghasil harmonisa berdasarkan beban fasanya:

1. Beban fasa tunggal :
  - *Switched mode power supplies (SMPS)*
  - *Electronic fluorescent lighting ballasts*
  - *Small uninterruptible power supplies (UPS)*



Gambar 2.3 Spektrum harmonik beban PC[3]



Gambar 2.4 Spektrum harmonik beban LHE[3]

2. Beban tiga fasa :
  - *Variable speed drives*
  - *Large UPS units*

## 2.4 Akibat Yang Ditimbulkan Harmonisa

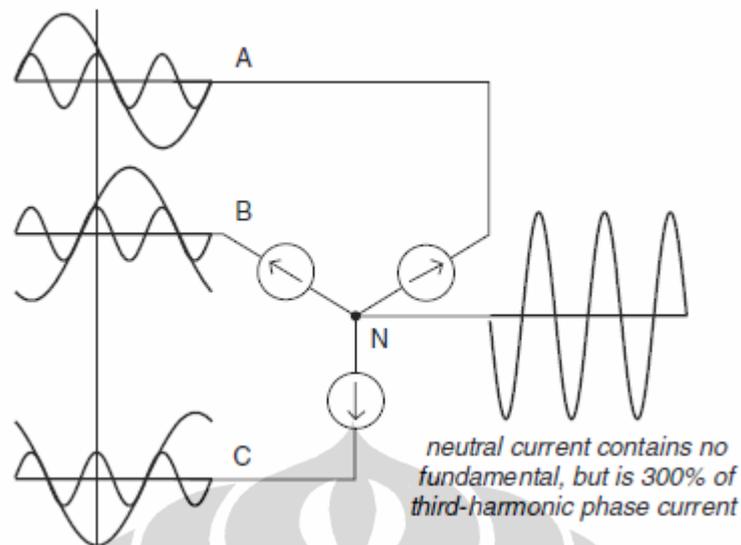
### 2.4.1 Netral berbeban lebih

Pada keadaan normal, arus beban setiap phase dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling menghapuskan sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya beban tidak linier satu phase akan menimbulkan harmonik kelipatan tiga ganjil yang disebut triplen harmonik (harmonik ke-3, ke-9, ke-15 dan seterusnya) yang sering disebut *zero sequence* harmonik (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Polaritas dari komponen harmonik[1]

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Harmonik ini dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa karena saling menjumlah di tiap fasanya. Harmonik pertama urutan polaritasnya adalah positif, harmonik kedua urutan polaritasnya adalah negatif dan harmonik ketiga urutan polaritasnya adalah nol, harmonik keempat adalah positif (berulang berurutan dan demikian seterusnya). Akibat yang ditimbulkan oleh arus urutan nol dari komponen harmonik antara lain tingginya arus netral pada sistem 3 phase 4 kawat (sisi sekunder transformator) karena arus urutan nol (*zero sequence*) kawat netral 3 kali arus urutan nol masing-masing fasa.



Gambar 2.5 Arus Netral pada Sistem Wye-Grounded Akibat Triplen Harmonik[3]

#### 2.4.2 Rugi-rugi Tembaga

Rugi ini terjadi disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga, jika nilai rms dari arus beban naik yang disebabkan oleh adanya komponen harmonik, maka rugi-rugi tersebut akan naik sebanding dengan kuadrat dari arus.

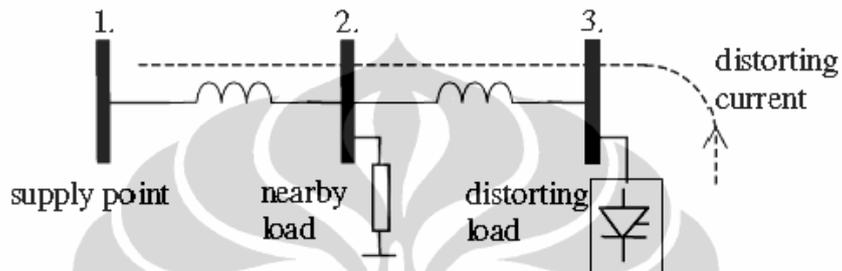
#### 2.4.3 Rugi-rugi Arus Eddy

Secara konvensional, rugi-rugi arus eddy ditimbulkan oleh flux elektromagnetik yang diasumsikan berubah-ubah sesuai dengan kuadrat dari arus rms dan kuadrat dari frekuensi tingkatan harmonik. Sesungguhnya, berdasarkan *skin effect*, flux elektromagnetik tidak secara total mempengaruhi rangkaian dalam belitan pada frekuensi yang tinggi. Kenaikan dari rugi-rugi arus eddy dihasilkan oleh arus beban yang non sinusoidal dan dapat menyebabkan rugi belitan yang berlebih dan kenaikan temperatur yang tidak normal. Karena itu pengaruh dari arus harmonik sangat penting, tidak hanya karena diasumsikan tingkatan dari kuadrat harmonik tetapi juga disebabkan oleh kehadiran arus harmonik yang relatif besar dalam sistem tenaga.

Harmonik beban terdistorsi fasa tunggal menyebar ketiga fasa, pada bangunan perkantoran, menyebabkan arus netral melebihi arus saluran aktif.

Hal ini menyebabkan overloading netral dengan akibat:

- Overheating konduktor netral menyebabkan singkatnya life konduktor dan adanya resiko kebakaran
- Tegangan netral-tanah tinggi dapat mempengaruhi peralatan digital dan LAN bila sistem pentanahan jelek.



Gambar 2.6 Beban terdistorsi mempengaruhi instalasi didekatnya [4]

## 2.5 Perhitungan Distorsi Harmonisa[1]

### 2.5.1 Distorsi Harmonik Total (*Total Harmonik Distortion*)

Distorsi Harmonik Total atau THD (*Total Harmonik Distortion*) menyatakan besarnya distorsi yang ditimbulkan oleh semua komponen harmonik dan didefinisikan sebagai :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} M_n^2}}{M_1} \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan :

$THD$  = *Total Harmonik Distortion*

$M_n$  = Nilai RMS dari arus atau tegangan ke-n

$M_1$  = Nilai RMS dari arus atau tegangan pada frekuensi dasar.

### 2.5.2 Persamaan Fourier

Bentuk tegangan dan arus yang terdistorsi dapat diperoleh dengan menjumlahkan secara aljabar gelombang dasar (yang dibangkitkan oleh pembangkit) dengan gelombang-gelombang harmonik yang mempunyai frekuensi

dan amplitudo yang bervariasi. Analisa Fourier telah digunakan untuk menganalisis amplitudo dan frekuensi dari gelombang sinusoidal yang telah terdistorsi. Teorema Fourier dalam bentuk gelombang kompleks

dinyatakan sebagai berikut :

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + B_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right\} \dots\dots\dots(2-2)$$

Rumus diatas diperuntukkan untuk gelombang yang berperiode kontinu yang mana didalam teori Fourier menyatakan hal-hal yang mengacu pada persamaan 2 yaitu  $A_0$  ( nilai rata-rata dari fungsi  $x(t)$  ),  $A_n$  dan  $B_n$  (koefisien deret) ketiga koefisien tersebut didapat dengan persamaan :

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) dt \dots\dots\dots(2-3)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt \dots\dots\dots(2-4)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :  $n$  = indeks harmonisa

Berdasarkan persamaan diatas, secara umum harmonisa tegangan dan arus dinyatakan dalam deret Fourier :

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} A_h \cos (h\omega t + \phi_h) \dots\dots\dots(2-6)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} B_h \cos (h\omega t + \theta_h) \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana  $h$  adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 1,2,3...dan seterusnya.

Persamaan Fourier ini dapat digunakan untuk memecah gelombang yang telah terdistorsi menjadi gelombang dasar dan gelombang harmonik. Hal ini menjadi dasar dalam menganalisa harmonik pada sistem tenaga listrik.

### 2.5.3 Nilai RMS

Nilai rms yang dihasilkan oleh gelombang arus/tegangan yang terdistorsi harmonik dapat dinyatakan dengan :

$$rms = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD^2} \dots\dots\dots(2-8)$$

dengan :  $M_h$  = Nilai RMS dari arus atau tegangan ke-h

Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisa distorsi harmonisa, limitasi untuk distorsi arus harmonisa dan limitasi untuk distorsi tegangan harmonisa. Standar yang dipakai untuk limitasi tegangan harmonisa adalah IEEE 519. Untuk standard harmonisa arus, ditentukan oleh rasio  $I_{sc}/I_L$  (arus hubung singkat dibagi dengan arus beban) seperti tabel berikut.

Tabel 2.2 Standar Harmonisa Arus[4]

$I_{sc}/I_L$	Orde Harmonisa					THD (%)
	< 11	11 - 16	17 - 22	23 - 24	> 35	
< 20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20 - 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 - 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 - 1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

dimana:

$I_{sc}$  : arus hubung singkat pada PCC (*Point of Common Coupling*)

$I_L$  : arus beban fundamental nominal

$I_{sc}$  adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*) (Dugan, 2004: 3),  $I_L$  adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk

standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai seperti tabel berikut.

Tabel 2.3 Standar Harmonisa Tegangan[4]

Tegangan Sitem	Maximum Distorsi (%)	
	Individual Harmonic	Total Harmonic
< 69 kV	3	5
69 - 138 kV	1,5	2,5
> 138 kV	1	1,5

## 2.6 Lampu Hemat Energi

### 2.6.1 Umun[6]

Sejarah perkembangan perlampuan bermula pada puluhan abad yang lalu dari suatu penemuan manusia yang membutuhkan penerangan (cahaya buatan) untuk malam hari dengan cara menggosok-gosokan batu hingga mengeluarkan api/cahaya, kemudian dari api dikembangkan dengan membakar benda-benda yang mudah menyala hingga membentuk sekumpulan cahaya dan seterusnya sampai ditemukan bahan bakar minyak dan gas yang dapat digunakan sebagai bahan penyalan untuk lampu obor, lampu minyak maupun lampu gas. Teknologi berkembang terus dengan ditemukannya lampu listrik oleh Thomas Alpha Edison pada tanggal 21 Oktober 1879 di laboratorium Edison-Menlo Park, Amerika. Prinsip kerja dari lampu listrik tersebut adalah dengan cara menghubungkan singkat listrik pada filamen carbon ( C ) sehingga terjadi arus hubung singkat yang mengakibatkan timbulnya panas. Panas yang terjadi dibuat hingga suhu tertentu sampai mengeluarkan cahaya, dan cahaya yang didapat pada waktu itu baru mencapai 3 Lumen/W (*Lumen = satuan arus cahaya*).



Gambar 2.7 Lampu Pijar Edison[6]

Baru lima puluh tahun kemudian, tepatnya Th 1933 filamen carbon diganti dengan filamen tungsten atau Wolfram (=wo) yang dibuat membentuk lilitan kumparan sehingga dapat meningkatkan Efficacy lampu menjadi  $\pm 20$  Lumen/W. Sistem pembangkitan cahaya buatan ini disebut sistem pemijaran (Incandescence). Revolusi teknologi perlampuan berkembang dengan pesatnya. Pada tahun 1910 pertama kali digunakan lampu luah (discharge) tegangan tinggi. Prinsip kerja lampu ini menggunakan sistem emisi-elektron yang bergerak dari Katoda menuju Anoda pada tabung lampu akan menumbuk 'atom-atom media gas yang ada di dalam tabung tersebut, akibat tumbukan akan menjadi pelepasan energi dalam bentuk cahaya. Sistem pembangkitan cahaya buatan ini disebut *Luminescence* (berpendarnya energi cahaya keluar tabung).

Media gas yang digunakan dapat berbagai macam. Tahun 1932 ditemukan lampu luah dengan gas Sodium tekanan rendah, dan tahun 1935 dikembangkan lampu luah dengan gas Merkuri, dan kemudian tahun 1939 berhasil dikembangkan lampu Fluorescen, yang biasa dikenal dengan lampu neon. Selanjutnya lampu Xenon tahun 1959. Khusus lampu sorot dengan warna yang lebih baik telah dikembangkan gas Metalhalide (Halogen yang dicampur dengan Iodine) pada tahun 1964, sampai pada akhirnya lampu Sodium tekanan tinggi tahun 1965. Prinsip emisi elektron ini yang dapat meningkatkan efficacy lampu diatas 50 Lumen/W, jauh lebih tinggi dibanding dengan prinsip pemijaran. Hal ini

kelas karena rugi energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya melalui proses emisi elektron dapat dihemat banyak sekali dibanding dengan cara pemijaran dimana energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya banyak yang hilang terbuang menjadi energi panas (sebelum menjadi energi cahaya). Distribusi energi yang diubah menjadi energi cahaya.

Pada era yang terakhir telah dikembangkan lampu pijar dengan sistem induksi magnet yang mempunyai umur paling lama dari lampu-lampu jenis lain  $\pm 60.000$  jam. Namun hal ini masih dalam tahap penelitian. Dan penelitian & pengembangan (R & D) guna mendapat nilai ekonomi yang lebih baik (benefit/cost ratio). Untuk sistem penerangan dekade 90-an yang banyak digunakan oleh masyarakat umum saat ini adalah jenis lampu fluorescen kompak model SL atau PL dan ini yang dikenal lampu hemat energi (LHE).



Gambar 2.8 Gambar beberapa Jenis Lampu Hemat Energi[6]

### 2.6.2 Prinsip Kerja Lampu Hemat Energi[7]

Lampu hemat energi telah digunakan secara komersial selama lebih kurang empat puluh tahun, dan sampai sekarang jenis lampu ini merupakan lampu yang paling banyak digunakan. Lampu hemat energi merupakan lampu yang efisien dalam mengubah energi listrik menjadi energi cahaya, terutama jika dibandingkan dengan lampu pijar.

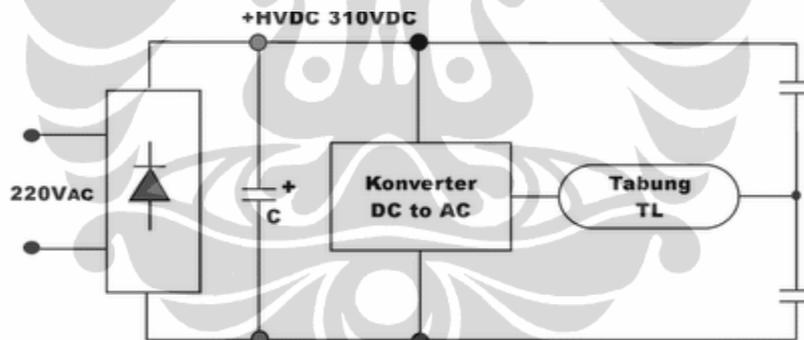
Pada prinsipnya lampu hemat energi merupakan lampu fluorescent yang menggunakan ballast elektronik. Untuk itu, di bawah ini akan dijelaskan tentang lampu fluorescent dan ballast elektronik.

Prinsip kerja lampu fluorescent adalah berdasarkan pelepasan elektron dari kutub negatif ke kutub positif. Elektron yang terlepas ini akan bertabrakan dengan atom gas yang diisikan ke dalam tabung tersebut. Tumbukan elektron dan atom

gas ini akan menghasilkan elektron yang akan menabrak atom berikut, dan seterusnya.

Adapun atom yang tidak cukup energi untuk lepas dari ikatan atom akan mengalami perpindahan dari tingkat energi rendah ke tingkat energi tinggi. Karena pada tingkat energi tinggi ini keadaan elektron tidak stabil maka ia akan kembali ke lintasan semula (tingkat energi lebih rendah) sambil mengeluarkan gelombang elektromagnetik yang merupakan sinar ultra violet. Sinar ini oleh gas fluorescent dalam sisi tabung diubah menjadi sinar tampak.

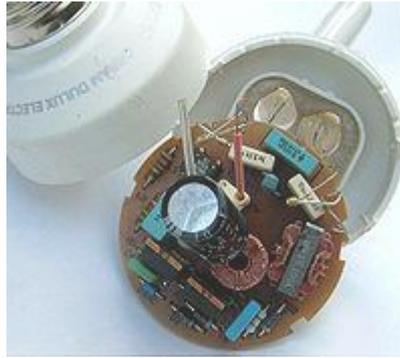
Tumbukan yang terjadi di dalam tabung kalau tidak dikendalikan, maka akan menyebabkan panas berlebihan dan tabung akan rusak. Untuk itu dipasang ballast yang berfungsi untuk mengendalikan arus yang mengalir ke dalam tabung lampu. Ballast dapat dibuat dari suatu kawat atau penghantar yang dililit sedemikian rupa atau berupa kumparan (choke coil) berinti besi. Selain itu juga ballast dapat dibuat dari rangkaian elektronik yang disebut ballast elektronik.



Gambar 2.9 Rangkaian Ballast Elektronika Lampu Hemat Energi[7]

Ballast ini mempunyai fungsi:

- a) Memberikan pemanasan mula pada elektroda untuk penyediaan elektron bebas dalam jumlah yang banyak.
- b) Memberikan gelombang potensial yang cukup besar untuk mengadakan bunga api antara kedua elektrodanya.
- c) Mencegah terjadinya peningkatan arus bunga api yang melebihi batas yang telah ditentukan dari setiap ukuran lampu.



Gambar 2.10 Ballast Pada Lampu Hemat Energi[7]

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya lampu hemat energi adalah lampu fluorescent yang menggunakan ballast elektronik.

Di bawah ini disebutkan beberapa keuntungan dari penggunaan dengan pemakaian ballast elektronik adalah:

- a. Start yang cepat tanpa kedip, dengan tidak menggunakan starter.
- b. Arusnya yang kecil yaitu 0,1 Ampere, sehingga pemakaian dayanya hemat.
- c. Tanpa efek stroboskop dan tidak menggunakan elektroda yang berkedip dan tidak berdengung (bising).
- d. Faktor daya rata-rata mendekati 0,85 sehingga tidak menggunakan kapasitor sebagai pengkoreksi faktor daya.

Oleh karena itu lampu tabung fluorescent yang menggunakan ballast elektronik sangat cocok untuk ruangan yang membutuhkan tingkat keamanan yang tinggi, karena tingkat keamanan dan kuat penerangan yang dihasilkan sangat baik.

## BAB III

### Pengujian Lampu Hemat Energi

#### 3.1 Umum

Data dalam penelitian ini diperlukan untuk melakukan analisis terhadap penelitian ini. Kualitas dan kuantitas data dapat mempengaruhi tepat tidaknya suatu kesimpulan. Data-data ini dapat diperoleh melalui studi literatur maupun hasil pengujian terhadap obyek yang diteliti.

Pengujian lampu hemat energi ini dilakukan di laboratorium uji lampu di B2TE, kawasan puspiptek serpong – Tangerang. Dalam proses pengujian ini, dipilih beberapa lampu hemat energi yang banyak beredar dipasaran.

#### 3.2 Komponen Pengujian

##### 3.2.1 Alat ukur dan Metode Pengukuran

Dalam proses pengujian ini, akan digunakan beberapa alat – alat ukur, berikut nama alat ukur beserta gambar yang akan digunakan:

1. Digital Clamp On Power HiTerster, Hioki 3169
2. AC Voltage Stabilizer, VA-1500
3. AC Voltage Regulator, 0 V-250 V/ 1 KVA
4. Rak Uji Lampu.



Gambar 3.1 Digital Clamp On Power HiTerster, Hioki 3169



Gambar 3.2 AC Voltage Stabilizer, VA-1500



Gambar 3.3 AC Voltage Regulator, 0 V-250 V/ 1 KVA

Dalam pengukurannya mengikuti aturan metoda pengukuran karakteristik lampu SNI IEC 60969:2009, diantara lain.

1. Pengujian dilakukan dalam ruang tanpa gerakan udara.
2. Suhu ruangan berada pada  $(25 \pm 1) ^\circ c$
3. Kelembaban nisbi maksimum 65%
4. Tegangan uji harus stabil pada  $\pm 0.5\%$
5. Keadaan lampu uji telah di-*ageing* selama 100 jam operasi.

### 3.2.2 Objek Pengujian

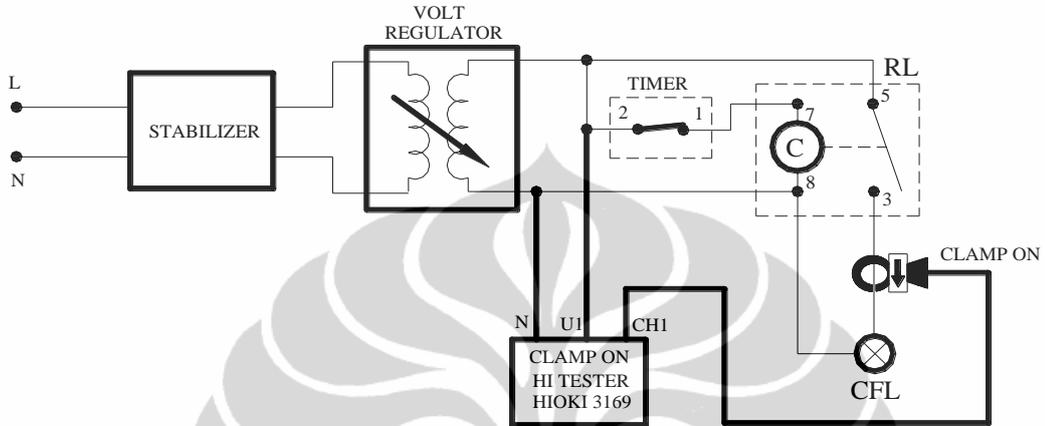
Yang menjadi objek dalam pengujian ini adalah beberapa jenis lampu hemat energi yang banyak dijumpai dipasaran, berikut beberapa contoh objek lampu dan spesifikasi yang akan diteliti dalam pengukuran ini:

Tabel 3.1 Daftar Lampu yang di uji

No	Merk Lampu	Daya	Spesifikasi	No	Merk Lampu	Daya	Spesifikasi
1	A	23 Watt	SNI 04-6504-2001 NPB 101-116-081041 1500 Lm, 60 Lm/W 150-250 V ~ , 50-60 Hz	6	F	30 Watt	SNI 04-6504-2001 NPB 1431.2007-004544 1163020705 200-240 V ~ , 50-60 Hz
2	B	25 Watt	SNI 04-6504-2001 NRP 203-027-100651 170-250 V ~ , 50-60 Hz	7	G	28 Watt	SNI 04-6504-2001 150-250 V ~ , 50-60 Hz
3	C	23 Watt	SNI 04-6504-2001 NPB 4431.2007-010639 1163020607 1500 Lm, 60 Lm/W 220-240 V ~	8	H	20 Watt	SNI 04-6504-2001 NPB 1431.2007-003797 1163020305 170-253 V ~ , 50-60 Hz
4	D	30 Watt	SNI 04-6504-2001 1740 Lm, 58 Lm/W 170-250 V ~ , 50-60 Hz	9	I	25 Watt	SNI 04-6504-2001 1450 Lm 170-240 V ~ , 50-60 Hz
5	E	18 Watt	SNI 04-6504-2001 1040 Lm, 58 Lm/W 220-240 V ~ , 50-60 Hz	10	J	23 Watt	SNI 04-6504-2001 NRP 113-001-070056 170-250 V ~ , 50-60 Hz

### 3.2.3 Proses Pengukuran

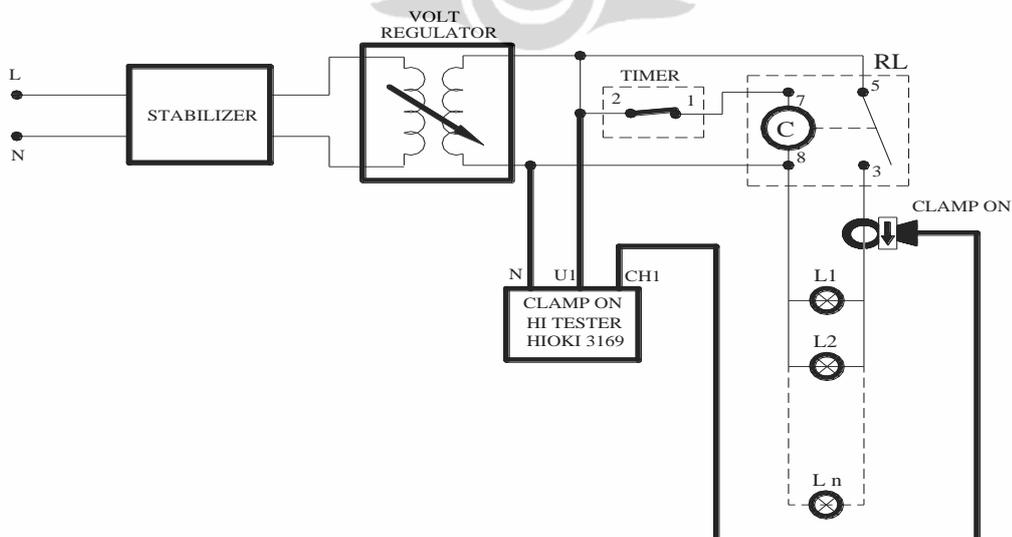
Dalam proses pengujian, diagram skema pengukurannya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.4 Skema Pengukuran LHE

### 3.3 Skenario Pembebanan LHE

Untuk menghasilkan data yang akurat untuk menganalisa korelasi pembebanan lampu hemat energi terhadap besar dan bentuk distorsi yang ditimbulkan, maka dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa skenario pembebanan lampu hemat energi.



Gambar 3.5 Skenario Pembebana Lampu Hemat Energi

### **3.3.1 LHE Merk dan Daya Sama**

Dalam pengukuran lampu hemat energi dengan spesifikasi yang sama ini akan diambil delapan buah lampu, yang merk dan spesifikasi sama.

Proses pengukurannya ada 2 tahap, yaitu:

1. Pengukuran masing-masing lampu.

Lima buah lampu diukur masing-masing, ini bertujuan untuk meneliti seberapa besar kesamaan nilai spesifikasi dan nilai pada pengukuran. Pengukuran ini bertujuan untuk menyakinkan bahwa lampu yang diukur tersebut relatif sama.

2. Pengukuran terhubung paralel.

setelah dilakukan pengukuran masing-masing lima buah lampu hemat energi sebagai contoh bahwa lampu tersebut spesifikasinya sama. Maka langkah selanjutnya adalah mengukur kedelapan lampu yang spesifikasinya sama ini dengan hubungan paralel, mulai dari dua lampu dihubungkan paralel sampai delapan lampu dihubungkan paralel.

Dengan pengukuran ini nantinya akan dianalisa, korelasi penambahan beban lampu hemat energi yang identik terhadap perubahan besar harmonisa yang ditimbulkan lampu tersebut. Analisa akan dilakukan terhadap total harmonisa arus dan tegangan yang dikorelasikan dengan perubahan nilai daya, arus beban untuk masing-masing jumlah lampu yang dihubungkan paralel tersebut.

### **3.3.2 LHE Merk Sama Daya Beda**

Untuk pengukuran ini juga akan diuji delapan buah sampel lampu hemat energi yang ber merk sama, namun dayanya berbeda, masing-masing lampu dayanya yang terkecil mulai sari 5 watt sampai terbesar 23 watt.

Dalam proses ini juga akan dilakukan dua tahap pengukuran, yaitu:

1. Pengukuran masing-masing lampu.

Pengujian masing-masing lampu ini bertujuan untuk mengetahui nilai daya ukur, arus ukur, tegangan ukur, total distorsi harmonisa arus dan tegangan untuk tiap-tiap lampu. Nilai tersebut nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa korelasi penambahan beban terhadap perubahan nilai distorsi harmonik yang ditimbulkan.

## 2. Pengukuran terhubung paralel.

Setelah nilai daya ukur, arus ukur, tegangan ukur serta nilai-nilai harmonisa tiap-tiap lampu diukur, maka akan dilakukan pengukuran dengan hubungan paralel. Pengukuran ini dilakukan dengan mengakumulasi beban dari daya yang paling kecil diparalel dengan daya yang lebih besar, sampai ke delapan lampu tersebut terhubung paralel.

Pada percobaan ini akan terlihat jelas perubahan nilai arus ukur dan nilai total distorsi harmonik arus dengan akumulasi penambahan beban yang dilakukan. Data ini nantinya akan dapat mempermudah dalam penganalisaan korelasi penambahan beban terhadap perubahan besar dan bentuk harmonisa yang ditimbulkan.

### **3.3.3 LHE Merk Beda Daya Sama.**

Pada pengukuran ini juga dilakukan dengan sampel delapan buah lampu hemat energi dimana setiap lampu hemat energi memiliki daya yang sama yaitu 15 watt, namun diambil dari beberapa merk yang berbeda. Pengujian pada lampu-lampu ini dilakukan persis dengan yang dilakukan terhadap lampu hemat energi dengan yang bermerk sama dan daya sama yaitu dengan 2 tahap pengukuran.

Nilai pada pengukuran ini akan dibuat sebagai pembandingan dengan nilai ukur yang dilakukan kepada pengukuran lampu hemat energi yang merk dan daya sama yang dilakukan sebelumnya.

### **3.3.4 LHE Merk Beda Daya Beda**

Pengukuran ini dilakukan dengan beberapa sampel lampu yang memiliki daya bervariasi dan daya yang berbeda-beda pula. Pengujian lampu-lampu ini juga dilakukan seperti pengukuran-pengukuran sebelumnya.

Nilai dari pengukuran ini juga akan digunakan sebagai pembandingan untuk dapat menganalisa korelasi penambahan beban lampu hemat energi terhadap perubahan nilai dan bentuk distorsi harmonisa yang dihasilkan oleh lampu tersebut.

## BAB IV

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Hasil Pengukuran Lampu Hemat Energi (LHE)

##### 4.1.1 LHE Merk dan Daya Sama

Berikut data hasil pengukuran terhadap lima dari delapan buah lampu hemat energi yang memiliki merk sama dan daya sama yaitu masing-masing 15 watt, dapat dilihat dari tabel berikut.

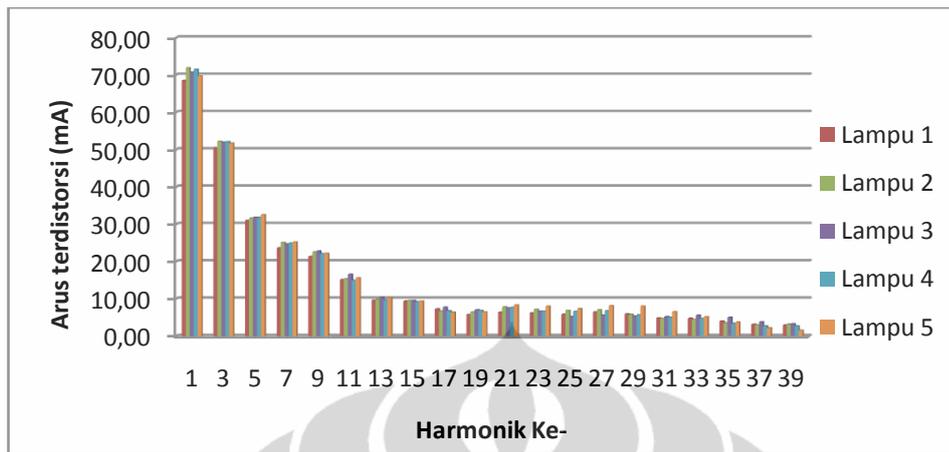
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran 5 LHE Merk Sama dan daya sama

No	Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
1	Lampu 1	15	13,10	220,47	100,45	2,25	106,40
2	Lampu 2	15	13,61	219,47	104,11	2,29	105,09
3	Lampu 3	15	13,50	220,43	104,05	2,32	107,18
4	Lampu 4	15	13,67	220,48	104,55	2,25	105,20
5	Lampu 5	15	13,38	220,88	103,31	2,26	109,31
Max		15	13,67	220,88	104,55	2,32	109,31
Rata-rata		15	13,45	220,35	103,29	2,27	106,64
Min		15	13,10	219,47	100,45	2,25	105,09

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai ukur daya, arus, dan tegangan tidak begitu jauh begitu juga dengan nilai THDnya. Sehingga dapat dinyatakan kelima lampu tersebut relatif identik.

Tabel diatas juga menunjukkan bahwa nilai daya yang terukur maksimum hanya 13,67 watt yang artinya dibawah nilai spesifikasi yang tertera pada lampu tersebut. Nilai distorsi harmonik untuk tegangan relatif rendah, nilai maksimum V-THD hanya 2,35 %. Namun untuk distorsi arus cukup tinggi, nilai maksimum arus yang terdistorsi sampai 109,31 %. Nilai tersebut cukup tinggi.

Berikut digambarkan nilai harmonik arus (mA) untuk masing-masing orde (1-39) dari masing-masing lampu. Berikut gambar grafiknya:



Gambar 4.1. Grafik Distorsi Arus (mA) Masing-Masing Lampu Orde 1-39.

Dari gambar grafik diatas dapat mempertegas bahwa ke-lima lampu tersebut relatif identik, karena nilai harmonisa tiap-tiap orde dari lampu-lampu tersebut juga relatif sama, perbedaan beberapa nilai harmonisanya masih dapat ditoleransi karna sangat kecil.

Pada tiap-tiap lampu hemat energi ini juga akan di ukur nilai harmonisanya pada tiap-tiap orde. Berikut nilai V-THD maupun I-THD masing-masing orde dalam persen.

Tabel 4.2 Data harmonik orde tegangan, lampu dengan daya dan merk sama.

Harmonik ke-n	Masing-masing Lampu				
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5
3	1,08	1,05	1,07	1,02	1,02
5	1,84	1,90	1,90	1,84	1,85
7	0,53	0,54	0,59	0,63	0,57
9	0,16	0,20	0,21	0,21	0,19
11	0,15	0,14	0,19	0,12	0,19
13	0,26	0,28	0,25	0,28	0,33
15	0,29	0,28	0,26	0,23	0,26
17	0,05	0,06	0,07	0,11	0,16

Harmonik ke-n	Masing-masing Lampu				
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5
19	0,03	0,03	0,06	0,04	0,02
21	0,02	0,02	0,01	0,02	0,07
23	0,06	0,02	0,02	0,01	0,06
25	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04
27	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
29	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05
31	0,02	0,01	0,00	0,01	0,04
33	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
35	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
37	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
39	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
V-THD	2,25	2,29	2,32	2,25	2,26

Pada tabel diatas dapat kita lihat bahwa orde ke-5 merupakan orde yang memiliki nilai distorsi tegangan paling besar untuk masing-masing orde, yaitu berada pada kisaran 1,84% - 1,90% dan untuk total V-THDnya berada pada kisaran 2,25% - 2,32%. Dari tabel diatas juga dapat diliha nilai tegangan yang terdistorsi untuk masing-masing orde juga identik.

Untuk selanjutnya akan disajikan tabel data harmonik masing-masing orde untuk arus lampu yang merk sama dan daya sama, berikut tabelnya:

Tabel 4.3 Data harmonik orde Arus , lampu dengan daya dan merk sama

Harmonik ke-n	Masing-masing Lampu				
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5
3	73,75	72,63	73,52	72,92	74,21
5	45,30	44,04	45,03	44,51	46,77
7	34,55	34,89	34,95	34,98	36,20
9	31,18	31,42	32,26	30,95	31,82
11	22,16	21,39	23,45	21,03	22,45

Harmonik ke-n	Masing-masing Lampu				
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5
13	14,10	13,79	14,79	13,70	14,81
15	13,78	13,33	13,61	12,93	13,46
17	10,71	9,43	11,00	9,52	9,21
19	8,45	9,05	9,98	9,64	9,34
21	9,42	10,89	10,78	10,83	12,00
23	9,16	10,04	9,47	9,33	11,53
25	8,66	9,61	7,50	9,29	10,60
27	9,51	9,81	8,01	9,55	11,77
29	8,73	8,12	7,69	8,05	11,58
31	7,20	6,66	7,48	7,14	9,41
33	7,04	6,30	8,01	6,67	7,48
35	5,94	5,03	7,16	4,83	5,48
37	4,68	4,21	5,48	3,85	3,25
39	4,43	4,55	4,71	3,90	2,35
I-THD	106,40	105,09	107,18	105,20	109,31

Untuk harmonik arus ini, dapat dilihat dari tabel diatas penyumbang distorsi harmonik terbesar adalah orde ke-3 yaitu ada pada kisaran 72,63%-74,21%. Pada pengukuran arus ini, nilai harmonik yang terdistorsi pada masing-masing orde tidak terlalu jauh beda, begitu juga dengan I-THDnya relatif sama, ada pada kisaran 105,09%-109,31%.

Selanjutnya setelah kelima lampu tersebut diukur masing-masing, kelima lampu tersebut akan diukur secara kombinasi paralel, dimulai dari 2 lampu paralel sampai 8 lampu di paralel. Seperti dijelaskan diatas, ke-8 lampu tersebut merupakan lampu dengan merk yang sama dan daya yang sama, yaitu masing-masing 15 watt. Hasil pengukuran ke delapan lampu hemat energi tersebut dengan kombinasi paralel dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Hasil pengukuran LHE Dihubungkan Paralel

No	Susunan Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
1	1 Lampu	15	13,38	220,88	103,31	2,26	109,31
2	2 Paralel	30	26,51	220,28	204,67	2,21	107,95
3	3 Paralel	45	40,69	220,37	310,28	2,44	104,96
4	4 Paralel	60	55,05	220,30	416,36	2,43	104,02
5	5 Paralel	75	67,87	220,65	511,85	2,34	103,82
6	6 Paralel	90	82,55	219,99	620,34	2,38	103,87
7	7 Paralel	105	95,37	220,60	713,70	2,47	103,10
8	8 Paralel	120	109,15	220,36	812,00	2,44	101,50
Max		120	109,15	220,88	812,00	2,47	109,31
Rata-rata		67,50	61,32	220,43	461,56	2,37	104,82
Min		15	13,38	219,99	103,31	2,21	101,50

Pada tabel diatas dapat dilihat nilai V-THD relatif tidak berubah masih berada pada kisaran 2,21% - 2,47%, nilai tersebut tidak jauh beda dengan nilai V-THD pengukuran untuk masing-masing lampu, jadi kombinasi pembebanan lampu hemat energi relatif tidak mempengaruhi V-THD. Namun, nilai I-THD malah relatif turun, setelah dilakuka kombinasi paralel, nilai I-THD jadi berada pada kisara 101,50% - 109,31%, artinya nilai minimum I-THD turun dibandingkan pada saat pengukuran masing-masing lampu, yang nilai minimum pengukuran I-THDnya samapai pada nilai 105,09%. Sedangkan untuk nilai maksimumnya sama yaitu pada nilai 109,31%.

Sama seperti penyajian data pada pengukuran masing-masing lampu, selanjutnya akan dilakukan pengukuran harmonisa untuk masing-masing orde pada pengukuran kombinasi paralel ini. berikut tabel pengukuran masing-masing orde tegangan dan arus untuk tiap-tiap kombinasi pengukuran:

Tabel 4.5 Data V-THD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk sama

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	1,08	1,06	1,21	1,12	1,21	1,29	1,34	1,40
5	1,84	1,80	2,00	2,04	1,87	1,83	1,94	1,87
7	0,53	0,56	0,52	0,49	0,54	0,57	0,55	0,43
9	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,18	0,20	0,22
11	0,15	0,14	0,17	0,13	0,15	0,17	0,18	0,19
13	0,26	0,25	0,24	0,23	0,27	0,29	0,25	0,30
15	0,29	0,24	0,29	0,30	0,29	0,32	0,29	0,27
17	0,05	0,09	0,10	0,06	0,08	0,15	0,10	0,20
19	0,03	0,05	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03	0,04
21	0,02	0,02	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,09
23	0,06	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
25	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,01	0,04	0,05
27	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,07	0,08
29	0,01	0,01	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07
31	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04
33	0,03	0,03	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,03
35	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04
37	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02
39	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
V-THD	2,26	2,21	2,44	2,43	2,34	2,38	2,47	2,44

Nilai V-THD untuk masing-masing orde ini juga karakteristiknya sama dengan pengukuran masing-masing lampu, nilai V-THD terbesar ada pada orde ke 5. Dan nilai V-THD untuk masing-masing orde pada kombinasi pembebanan paralel 2 lampu sampai 8 lampum relatif sama.

Untuk selanjutnya, akan dipaparkan nilai I-THD masing-masing orde untuk pengukuran lampu dengan daya sama, merk sama dengan kombinasi 2 lampu paralel samapai 8 lampu paralel, berikut datanya:

Tabel 4.6 Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk sama

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	73,75	73,60	72,40	72,32	73,22	73,03	72,31	71,65
5	45,30	46,08	43,85	43,56	44,69	44,17	43,50	41,92
7	34,55	36,64	35,44	34,71	34,36	34,30	34,94	33,67
9	31,18	32,79	31,81	30,63	29,87	30,67	31,52	31,07
11	22,16	22,89	21,89	20,42	20,07	21,22	21,23	20,89
13	14,10	14,89	15,76	14,56	13,89	14,63	13,97	12,83
15	13,78	14,27	15,52	14,55	14,30	14,77	13,08	10,57
17	10,71	10,60	10,76	9,90	10,21	10,28	8,02	5,31
19	8,45	8,60	8,17	8,23	8,10	6,99	6,42	8,10
21	9,42	10,16	8,58	9,20	8,94	7,92	8,16	11,06
23	9,16	9,45	7,13	8,48	7,78	7,19	7,31	10,40
25	8,66	8,75	7,38	9,56	6,94	7,08	7,74	9,83
27	9,51	9,54	8,62	10,40	7,39	8,15	8,45	9,39
29	8,73	8,53	7,51	8,63	6,04	6,94	6,73	6,74
31	7,20	6,75	6,61	6,94	5,04	5,29	5,26	3,91
33	7,04	5,89	6,37	5,93	5,15	4,81	4,74	2,85
35	5,94	4,61	4,44	3,66	4,06	3,31	2,96	1,78
37	4,68	3,22	3,11	2,33	3,36	1,79	1,86	2,39
39	4,43	3,56	3,04	2,60	3,40	1,89	2,13	2,77
I-THD	109,31	107,95	104,96	104,02	103,82	103,87	103,10	101,50

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kombinasi paralel lampu dapat mempengaruhi nilai I-THD (%). Nilai I-THD relati turun setelah dilakukan kombinasi paralel, sebagai contoh, dapat dilihat pada orde 39, untuk pengukuran 1 lampu, nilai I-THDnya 4,43%, setelah diparalel 5 lampu jadi 3,40% selanjutnya untuk 8 lampu paralel 2,77% (terjadi penurunan I-THD dalam persen).

#### 4.1.2 LHE Merk sama dan Daya Beda

Selanjutnya akan di lakukan pengukuran pada lampu hemat energi dengan merk sama dan daya yang bervariasi, Pada pengukuran lampu hemat energi ini dilakukan terhadap delapan buah lampu dengan daya, 5,8,11,14,15,18,20 dan 23 watt, berikut data pengukuran untuk masing-masing lampu hemat energi tersebut.

Tabel 4.7 Nilai ukur masing-masing lampu merk sama daya beda

No	Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
1	Lampu 1	5	5,02	220,37	36,04	2,31	96,07
2	Lampu 2	8	7,90	220,21	56,71	2,44	98,23
3	Lampu 3	11	10,23	220,25	72,60	2,04	100,64
4	Lampu 4	14	12,71	220,62	90,95	2,43	99,42
5	Lampu 5	15	14,31	220,38	107,41	2,45	99,41
6	Lampu 6	18	17,35	221,43	120,65	2,28	106,62
7	Lampu 7	20	17,80	220,39	134,53	2,26	103,60
8	Lampu 8	23	22,04	219,99	158,42	2,20	101,82
Max		23	22,04	221,43	158,42	2,45	106,62
Rata-rata		14,25	13,42	220,46	97,16	2,30	100,73
Min		5	5,02	219,99	36,04	2,04	96,07

Dari tabel diatas dapat dilihat lampu yang mempunyai merk yang sama dengan daya yang berbeda menghasilkan I-THD yang berragam namun nilainya tidak terlalu beda jauh (berada pada kisaran 96,07%-106,62%) , namun untuk VTHD relatif tidak jauh beda, berada pada nilai 2,04%-2,45%. Dan dari data diatas juga dapat dilihat daya lampu tidak mempengaruhi %THD arus maupun tegangan suatu lampu.

Sama seperti data yang disajikan pada lampu merk sama dan daya sama, selanjutnya akan disajikan data nilai harmonisa tiap-tiap lampu pada tiap-tiap orde, berikut datanya:

Tabel 4.8 Data harmonik orde tegangan , lampu dengan daya beda dan merk sama

Harmonik ke-n	Masing-masing Lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
3	1,00	1,04	1,08	1,06	1,06	1,01	1,04	1,06
5	1,98	2,09	1,63	2,08	2,11	2,06	1,92	1,82
7	0,57	0,56	0,31	0,47	0,56	0,48	0,50	0,44
9	0,16	0,15	0,30	0,16	0,16	0,18	0,16	0,18
11	0,01	0,07	0,12	0,23	0,09	0,11	0,10	0,20
13	0,19	0,21	0,16	0,27	0,22	0,14	0,15	0,21
15	0,20	0,25	0,22	0,22	0,23	0,21	0,21	0,27
17	0,11	0,11	0,07	0,14	0,09	0,03	0,04	0,08
19	0,06	0,05	0,03	0,06	0,03	0,04	0,07	0,05
21	0,03	0,06	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05
23	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,05	0,02
25	0,01	0,04	0,02	0,07	0,01	0,02	0,01	0,02
27	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
29	0,01	0,01	0,03	0,06	0,01	0,04	0,01	0,02
31	0,02	0,02	0,02	0,06	0,01	0,02	0,01	0,02
33	0,03	0,03	0,00	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
35	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
37	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00
39	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02
VTHD	2,31	2,44	2,04	2,43	2,45	2,28	2,26	2,20

Untuk lampu merk sama dan daya bervariasi ini ternyata karakteristiknya juga sama dengan pengukuran lampu hemat energi daya sama merk sama, pada tabel di atas dapat dilihat bahwa persen harmonik terbesar untuk tegangan ada pada orde ke -5, yaitu ada pada kisaran 1,63%-2,09%.

Data selanjutnya yang akan disajikan adalah nilai I-THD untuk masing-masing orde dan masing-masing lampu, berikut tabelnya:

Tabel 4.9 Data harmonik orde arus , lampu dengan daya beda dan merk sama

Harmonik ke-n	Masing-masing Lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
3	70,37	71,59	74,19	72,58	70,81	74,86	72,31	73,99
5	39,12	40,42	42,01	41,35	40,68	46,01	42,79	43,16
7	32,12	32,51	30,51	31,73	32,47	35,55	33,50	32,38
9	25,03	26,63	28,57	26,14	28,47	29,36	29,26	27,88
11	13,59	15,20	19,19	14,90	17,94	18,72	19,87	17,37
13	13,66	13,74	12,72	12,99	13,22	16,32	16,25	13,28
15	11,31	11,96	11,61	11,48	12,92	15,40	15,41	12,46
17	9,20	8,11	7,82	7,79	8,68	11,14	10,72	8,44
19	10,77	10,17	8,65	11,00	9,37	12,22	10,26	9,53
21	8,75	9,35	10,52	11,32	10,16	13,05	10,72	9,96
23	7,74	8,02	8,52	9,60	8,58	11,20	8,88	8,10
25	7,10	8,20	6,71	10,16	8,99	10,61	8,99	8,56
27	4,87	6,18	5,88	8,77	8,09	9,20	8,85	8,02
29	5,19	5,16	3,41	6,26	6,00	6,42	7,18	5,75
31	5,43	5,20	2,41	4,44	6,11	5,65	6,83	5,01
33	5,62	4,10	3,06	1,62	5,30	4,89	5,94	3,70
35	6,08	4,80	2,37	2,58	4,40	3,91	4,74	2,32
37	5,31	4,68	2,81	4,30	6,01	4,54	5,55	3,37
39	4,84	4,11	2,84	4,46	6,05	4,41	5,81	3,50
ITHD	96,07	98,23	100,64	99,42	99,41	106,62	103,60	101,82

Nilai harmonik distorsi arus dari masing-masing orde pada pengukuran masing-masing lampu relatif berbeda satu sama lain, padahal lampu tersebut memiliki merk yang sama walaupun dayanya beda.

Data-data pengukuran masing-masing lampu diatas akan digunakan untuk menganalisa nilai dan bentuk harmonisa pada saat lampu-lampu tersebut di ukur dengan dilakukan kombinasi paralel

Maka setelah dilakukan pengukuran masing-masing lampu selanjutnya dilakukan pengukuran lampu dengan hubungan paralel. Hubungan paralel pertama dilakukan antara lampu 5 watt dan 8 watt, konfigurasi pembebanan selanjutnya menambah beban lampu hemat energi secara paralel secara berurutan dari daya yang terkecil sampai terbesar.

Tabel 4.10 Hasil pengukuran LHE merk sama daya beda dihubungkan paralel

No	Susunan Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Ukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
1	1 Lampu	5	5,02	220,37	36,04	2,31	96,07
2	2 Paralel	13	12,91	220,18	91,14	2,14	95,30
3	3 Paralel	24	23,28	219,81	163,23	2,21	95,13
4	4 Paralel	38	36,14	220,08	254,87	2,16	96,01
5	5 Paralel	53	50,78	220,07	360,10	2,23	95,49
6	6 Paralel	71	67,23	219,89	476,73	2,08	97,92
7	7 Paralel	91	85,35	218,24	609,00	2,11	96,57
8	8 Paralel	114	107,03	219,82	763,00	2,11	98,23
Max		114	107,03	220,37	763,00	2,31	98,23
Rata-rata		51,13	48,47	219,81	344,26	2,17	96,34
Min		5	5,02	218,24	36,04	2,08	95,13

Dari nilai pengukura yang tertera pada tabel diatas, dapat dilihat nilai rata-rata V-THD adalah 2,17% dengan nilai maksimum 2,31% dan nilai minimum 2,08%. Nilai tersebut tidak jauh beda dengan nilai V-THD yang diukur untuk masing-masing lampu

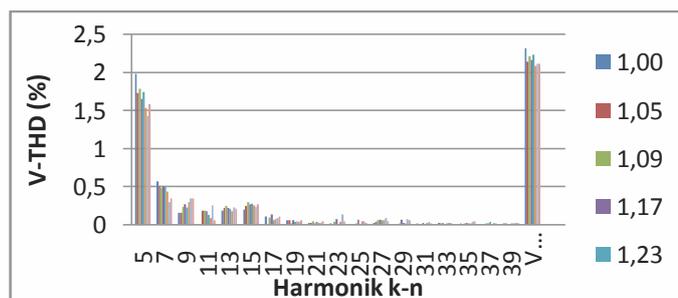
Untuk nilai I-THD, nilai maksimumnya 98,23%, nilai minimumnya 95,13% seta nilai rata-ratanya 96,43%. Nilai I-THD tersebut turun dibanding dengan pengukuran masing-masing lampu, yang nilai maksimum I-THDnya 106,62%, nilai minumumnya, 96,07% serta nilai rata-ratanya 100,73%.

Selanjutnya akan disajikan data nilai harmonisa tiap-tiap lampu pada tiap-tiap orde, yang nantinya akan digunakan pada saat analisa, berikut datanya:

Tabel 4.11 Data VTHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya beda dan merk sama

Harmoni k ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	1,00	1,05	1,09	1,17	1,23	1,24	1,38	1,25
5	1,98	1,73	1,78	1,65	1,74	1,53	1,43	1,58
7	0,57	0,51	0,49	0,51	0,50	0,44	0,30	0,35
9	0,16	0,16	0,24	0,27	0,23	0,30	0,35	0,35
11	0,01	0,19	0,19	0,18	0,13	0,09	0,26	0,06
13	0,19	0,22	0,25	0,22	0,21	0,18	0,23	0,21
15	0,20	0,25	0,30	0,27	0,28	0,26	0,24	0,27
17	0,11	0,01	0,10	0,14	0,06	0,08	0,09	0,11
19	0,06	0,06	0,02	0,06	0,04	0,05	0,04	0,06
21	0,03	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05
23	0,02	0,00	0,04	0,08	0,01	0,04	0,14	0,05
25	0,01	0,01	0,02	0,07	0,01	0,05	0,05	0,03
27	0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06	0,09	0,05
29	0,01	0,00	0,02	0,07	0,03	0,02	0,08	0,06
31	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,04	0,02
33	0,03	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00
35	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,05
37	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,00	0,03	0,02
39	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
V-THD	2,31	2,14	2,21	2,16	2,23	2,08	2,11	2,11

Sama seperti data-data sebelumnya, pada pengukuran V-THD masing-masing orde untuk kombinasi lampu di paralel, nilai V-THD orde ke 5 lebih tinggi dibanding orde-orde yang lain. Hal ini dapat juga di pertegas dengan gambar berikut.



Gambar 4.2. Grafik Distorsi Tegangan (%)Kombinasi Lampu Orde 1-39.

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat lebih jelas bahwa, orde ke-5 memiliki nilai V-THD(%) lebih besar dibanding orde-orde lain.

Setelah data masing-masing orde harmonik untuk tegangan, selanjutnya akan disajikan data yang untuk I-THD yaitu untuk masing-masing orde, berikut datanya:

Tabel 4.12 Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya beda dan merk sama

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	70,37	71,12	71,24	71,73	71,26	72,08	72,22	72,62
5	39,12	39,15	38,91	39,27	39,14	40,32	39,67	39,93
7	32,12	30,49	31,37	30,15	10,54	31,35	28,77	29,45
9	25,03	24,28	27,08	25,92	26,83	28,19	26,14	28,26
11	13,59	13,63	15,18	15,66	16,37	18,28	16,35	19,44
13	13,66	13,92	10,75	12,51	12,34	13,97	10,89	13,63
15	11,31	11,88	8,25	9,83	10,07	11,96	10,01	12,57
17	9,20	7,98	4,93	7,37	5,82	6,98	8,18	8,89
19	10,77	9,51	9,16	11,27	8,87	8,63	11,26	8,86
21	8,75	8,37	8,74	10,75	8,92	9,73	12,19	9,93
23	7,74	7,46	6,72	7,56	6,02	6,45	9,38	7,56
25	7,10	7,64	6,67	6,40	5,11	4,98	7,14	5,39
27	4,87	5,47	4,22	3,98	3,34	3,92	5,98	4,76
29	5,19	4,51	1,52	1,38	2,55	1,38	3,52	3,09
31	5,43	4,13	2,64	2,61	4,28	1,90	1,42	2,30
33	5,62	2,65	2,05	2,48	3,90	2,07	0,99	2,59
35	6,08	3,29	2,93	3,08	3,21	1,33	0,15	1,71
37	5,31	3,13	3,08	2,90	3,01	1,70	0,95	1,08
39	4,84	2,81	1,88	1,47	1,71	1,44	1,04	1,14
I-THD	96,07	95,30	95,13	96,01	95,49	97,92	96,57	98,23

Dari data diatas dapat dilihat nilai I-THD total setelah lampu di kombinasi dari 2 sampai 8, nilainya berbeda cukup tipis, nilai terkecil 95,13% dan nilai terbesar 98,23%. Namun untuk masing-masing orde relatif nilai persen I-THDnya relatif turun.

### 4.1.3 LHE Merk Beda Daya Sama.

Pengukuran selanjutnya dilakukan pada lampu dengan daya yang sama, namun merknya beda. Untuk pengukuran ini diambil delapan buah contoh lampu hemat energi, dimana daya spesifikasinya sama, yaitu 15 watt. Hasil pengukuran ini nantinya dapat di bandingkan dengan pengukuran di 4.1.1 yaitu lampu hemat energi dengan daya sama namun merknya sama juga. Berikut tabel hasil pengukuran masing-masing lampu tersebut:

Tabel 4.13 Nilai pengukuran masing-masing LHE Merk beda daya sama

No	Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan (%)	Arus (%)
1	Lampu 1	15	13,38	220,88	103,31	2,26	109,31
2	Lampu 2	15	12,04	219,23	93,74	2,29	120,12
3	Lampu 3	15	9,72	219,57	70,07	2,45	98,96
4	Lampu 4	15	13,68	220,23	103,12	2,50	109,37
5	Lampu 5	15	6,77	220,60	46,58	2,53	81,71
6	Lampu 6	15	12,10	220,28	89,11	2,53	105,02
7	Lampu 7	15	7,80	220,04	52,78	2,45	76,90
8	Lampu 8	15	6,28	220,14	43,57	2,32	84,04
Max		15	13,68	220,88	103,31	2,53	120,12
Rata-rata		15,00	10,22	220,12	75,29	2,42	98,18
Min		15	6,28	219,23	43,57	2,26	76,90

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai I-THD bervariasi dari nilai minimum 76,90%, nilai maksimum 120,12 % dan rata-ratanya 98,18%. Namun, nilai V-THDnya relatif sama. Disamping itu, nilai daya ukurnya juga cukup jauh bedanya, dimana daya minimum hanya 6,28 watt sedangkan daya maksimum 13,68 watt. Ini menunjukkan ke delapan lampu tersebut beda merk, beda kualitas.

Untuk pengujian ini juga akan di sajikan data pengukuran ITHD dan VTHD masing-masing lampu pada tiap-tiap orde, data ini juga akan digunakan pada saat analisa, akan dilihat perubahan nilai THD baik arus maupun tegangan pada saat lampu-lampu tersebut diukur dengan kombinasi paralel. Berikut data-data harmonisa tiap-tiap orde:

Tabel 4.14 Data harmonik orde arus, lampu dengan daya sama dan merk beda

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
3	1,02	1,17	0,96	1,09	1,08	1,02	1,00	1,07
5	1,85	1,86	2,14	2,16	2,21	2,22	2,13	1,96
7	0,57	0,45	0,53	0,48	0,42	0,49	0,49	0,52
9	0,19	0,24	0,17	0,14	0,13	0,15	0,17	0,14
11	0,19	0,12	0,06	0,12	0,17	0,12	0,09	0,13
13	0,33	0,21	0,26	0,25	0,20	0,23	0,24	0,26
15	0,26	0,26	0,26	0,23	0,21	0,25	0,23	0,24
17	0,16	0,11	0,06	0,09	0,07	0,06	0,07	0,05
19	0,02	0,20	0,01	0,06	0,02	0,07	0,06	0,04
21	0,07	0,06	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01
23	0,06	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
25	0,04	0,04	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
27	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
29	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02
31	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01
33	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02
35	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
37	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
39	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
V-THD	2,26	2,29	2,45	2,50	2,53	2,53	2,45	2,32

Data dari tabel diatas dapat dilihat bahwa, V-THD untuk orde 5 masih lebih tinggi dibanding dengan orde-orde lain, ini sama dengan data yang diperoleh pada pengukuran lampu yang merk sama, untuk daya sama dan daya beda.

Berikut tabel harmonik arus untuk masing-masing orde untuk masing-masing lampu yang daya sama merk beda:

Tabel 4.15 Data harmonik orde tegangan , lampu dengan daya sama dan merk beda

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
3	74,21	79,25	71,39	75,51	60,74	74,13	58,78	63,08
5	46,77	50,84	40,24	46,41	30,73	44,27	28,88	31,84
7	36,20	35,69	32,14	35,86	27,75	34,72	26,42	28,28

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
9	31,82	35,78	25,42	31,66	14,10	30,00	12,09	15,56
11	22,45	32,11	14,83	21,74	14,97	18,69	13,87	12,73
13	14,81	24,16	14,96	17,15	13,60	14,73	11,10	13,51
15	13,46	19,90	12,67	16,43	11,06	14,85	9,74	10,31
17	9,21	17,44	10,19	11,60	11,57	11,10	9,84	12,10
19	9,34	12,21	12,58	9,67	7,65	10,37	6,78	9,27
21	12,00	15,56	11,24	10,70	9,13	10,40	7,69	8,92
23	11,53	14,41	9,45	8,68	7,10	8,47	5,33	8,10
25	10,60	13,67	8,83	8,36	6,61	7,69	5,61	6,56
27	11,77	14,12	5,84	8,65	5,99	6,41	4,12	6,68
29	11,58	14,09	4,99	7,52	4,64	4,96	3,97	4,73
31	9,41	12,55	5,04	7,10	5,28	5,05	4,01	4,64
33	7,48	10,12	4,85	6,84	4,21	4,90	3,92	3,95
35	5,48	8,12	6,15	5,14	4,95	4,93	4,26	3,87
37	3,25	3,36	6,13	4,14	4,45	5,52	3,33	4,35
39	2,35	4,11	5,68	4,24	4,22	5,26	3,63	3,89
I-THD	109,31	120,12	98,96	109,37	81,71	105,02	76,90	84,04

Pada pengukuran masing-masing lampu untuk tiap-tiap orde kecenderungannya sama, yaitu nilai harmonik pada orde ke-3 lebih tinggi dibanding orde-orde yang lain. Dan dari data diatas juga dapat dilihat bahwa nilai pada masing-masing orde nilainya relatif berbeda yang satu dengan yang lain. Ini dapat menjadi informasi tambahan bahwa lampu-lampu tersebut mempunyai kualitas yang bervariasi.

Sama dengan pengukuran-pengukuran sebelumnya, setelah di lakukan pengukuran secara individual untuk masing-masing lampu, maka selanjutnya akan dilakukan pengukuran secara kombinasi paralel.

Berikut tabel hasil pengukuran dari pengujian lampu-lampu tersebut yang dikombinasi paralel dari dua lampu sampai dengan delapan lampu.

Tabel 4.16 Hasil pengukuran LHE merk beda, daya sama dihubungkan paralel

No	Susunan Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan (%)	Arus (%)
1	1 Lampu	15	13,38	220,88	103,31	2,26	109,31
2	2 Paralel	30	25,10	220,12	186,74	2,39	106,21
3	3 Paralel	45	35,19	220,23	254,45	2,36	99,38
4	4 Paralel	60	41,71	220,42	289,33	2,29	91,75
5	5 Paralel	75	56,45	220,43	391,09	2,38	91,98
6	6 Paralel	90	67,63	220,23	476,60	2,41	94,69
7	7 Paralel	105	75,76	220,03	532,50	2,42	93,37
8	8 Paralel	120	82,75	220,04	578,80	2,40	91,76
Max		120	82,75	220,88	578,80	2,42	109,31
Rata-rata		67,50	49,75	220,30	351,60	2,36	97,31
Min		15	13,38	220,03	103,31	2,26	91,75

Sama seperti pengujian lampu-lampu sebelumnya, nilai rata-rata THD arus pada pengujian ini juga relatif turun setelah dilakukan kombinasi paralel beberapa lampu hemat energi, jadi ada kemungkinan arus harmonik masing-masing lampu saling menghilangkan. Namun untuk THD tegangan masih relatif konstan.

Untuk memperdalam analisa nantinya akan disajikan juga data nilai harmonisa arus dan tegangan untuk masing-masing orde pada tiap-tiap kombinasi pengukuran, berikut ini data dari harmonisasinya:

Tabel 4.17 Data VTHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya sama dan merk beda

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	1,02	1,11	1,24	1,13	1,17	1,30	1,19	1,22
5	1,85	2,01	1,89	1,85	1,94	1,90	2,01	1,99
7	0,57	0,49	0,54	0,61	0,51	0,56	0,47	0,39
9	0,19	0,13	0,11	0,14	0,13	0,16	0,14	0,16

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
11	0,19	0,10	0,06	0,05	0,20	0,13	0,03	0,03
13	0,33	0,25	0,23	0,26	0,32	0,22	0,16	0,22
15	0,26	0,29	0,28	0,28	0,27	0,28	0,26	0,24
17	0,16	0,10	0,12	0,11	0,14	0,07	0,08	0,08
19	0,02	0,06	0,01	0,07	0,04	0,04	0,05	0,04
21	0,07	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
23	0,06	0,01	0,05	0,03	0,07	0,04	0,05	0,03
25	0,04	0,02	0,00	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03
27	0,04	0,03	0,04	0,04	0,07	0,04	0,05	0,05
29	0,05	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,03	0,05
31	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,01
33	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03
35	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03
37	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,03
39	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
VTHD	2,26	2,39	2,36	2,29	2,38	2,41	2,42	2,40

Pada pengukuran kombinasi lampu untuk tiap-tiap orde juga terlihat bahwa orde ke-5 memiliki nilai yang lebih besar dibanding orde-orde yang lain, hasil ini sama dengan pengukuran-pengukuran sebelumnya. Selanjutnya akan dibuat tabel harmonik arus kombinasi masing-masing lampu untuk tiap-tiap orde, berikut tabelnya:

Tabel 4.18 Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya sama dan merk beda

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	74,21	75,59	74,10	71,60	71,24	72,60	71,18	70,62
5	46,77	46,67	43,66	39,35	39,82	41,00	40,04	39,42
7	36,20	34,13	31,42	27,06	27,92	29,16	29,48	29,31

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
9	31,82	30,78	27,51	22,37	22,31	24,76	23,01	22,46
11	22,45	22,42	18,22	13,64	12,23	15,29	12,70	11,92
13	14,81	15,19	11,74	8,32	7,97	9,47	9,38	8,31
15	13,46	14,95	11,42	9,94	8,66	9,72	10,39	9,54
17	9,21	12,00	7,84	8,47	5,27	6,79	7,46	7,40
19	9,34	7,48	3,36	5,14	3,21	3,42	5,73	4,44
21	12,00	6,32	2,50	3,94	5,25	4,07	7,14	5,27
23	11,53	5,13	2,18	3,05	4,53	3,00	5,58	4,11
25	10,60	2,96	0,92	0,64	4,15	3,04	4,85	3,51
27	11,77	3,51	1,98	1,15	4,51	3,72	5,18	4,06
29	11,58	3,31	3,03	1,10	3,31	2,44	3,51	2,41
31	9,41	2,27	2,81	0,92	2,08	1,33	2,27	0,91
33	7,48	2,23	2,84	1,84	2,05	1,59	2,65	1,59
35	5,48	1,65	3,23	3,31	2,39	2,08	3,16	3,18
37	3,25	0,47	2,40	3,52	1,84	1,85	2,72	3,46
39	2,35	0,52	1,52	2,88	1,11	1,45	2,49	2,65
ITHD	109,31	106,21	99,38	91,75	91,98	94,69	93,37	91,76

Sama seperti pengukuran-pengukuran harmonik arus masing-masing orde seperti sebelumnya, nilai harmonik yang timbul pada orde ke-3 merupakan nilai yang paling tinggi. Disamping itu, nilai I-THD cenderung turun setelah dilakukan kombinasi paralel.

#### 4.1.4 LHE Merk Beda Daya Beda

Pada pengukuran ini, akan diambil delapan lampu hemat energi dengan merk yang berbeda-beda dan daya yang berbeda-beda juga, pada pengukuran ini daya yang lampu yang diambil adalah 18, 20, 23, 25 dan 30 watt.

Sama seperti proses pengukuran sebelumnya. Pada tahap ini, yang pertama dilakukan adalah pengukuran masing-masing lampu, yang nantinya dilanjutkan pengukuran dengan kombinasi paralel ke delapan lampu tersebut.

Berikut tabel hasil pengukuran masing-masing lampu hemat energi dengan daya yang berbeda dan merk yang berbeda :

Tabel 4.19 Nilai pengukuran masing-masing LHE Merk beda daya beda

No	Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
1	Lampu 1	23	19,98	220,99	147,30	2,59	108,69
2	Lampu 2	25	17,92	220,58	141,40	2,49	123,78
3	Lampu 3	23	20,39	220,81	160,60	2,43	116,70
4	Lampu 4	30	20,36	220,91	165,90	2,42	135,19
5	Lampu 5	18	17,35	221,43	126,50	2,28	106,62
6	Lampu 6	30	27,42	220,11	229,00	2,39	137,64
7	Lampu 7	28	18,78	220,74	142,50	2,22	114,17
8	Lampu 8	20	17,10	221,51	147,10	2,24	135,82
Max		30	27,42	221,51	229,00	2,59	137,64
Rata-rata		24,63	19,91	220,89	157,54	2,38	122,33
Min		18	17,10	220,11	126,50	2,22	106,62

Dari data yang tertera pada tabel diatas dapat dilihat nilai THD arus maupun tegangan dalam persen bervariasi. Untuk nilai I-THD, nilai maksimalnya ada pada nilai 137,64% dan minimumnya 106,62% dengan nilai rata-rata 122,33%. Sedangkan untuk nilai V-THD, walaupun nilainya bervariasi namun nilainya tidak jauh beda, nilai maksimumnya 2,59% dan nilai minimumnya 2,22%.

Untuk bahan analisa, pada tahap ini juga akan dibuat tabel harmonisa tiap-tiap lampu untuk masing-masing orde, berikut tabelnya:

Tabel 4.20 Data harmonik orde tegangan, lampu dengan daya beda dan merk beda

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
3	1,11	1,17	1,11	1,05	1,01	1,09	1,04	1,03
5	2,19	2,09	2,04	2,13	2,07	2,07	1,95	1,95
7	0,67	0,53	0,57	0,45	0,47	0,35	0,40	0,41
9	0,20	0,20	0,26	0,17	0,17	0,13	0,18	0,14
11	0,12	0,09	0,16	0,08	0,11	0,18	0,19	0,23
13	0,16	0,11	0,03	0,18	0,14	0,29	0,26	0,27

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
15	0,29	0,22	0,26	0,14	0,21	0,18	0,20	0,21
17	0,40	0,03	0,08	0,06	0,02	0,09	0,07	0,07
19	0,50	0,08	0,12	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03
21	0,04	0,06	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04
23	0,03	0,02	0,03	0,04	0,01	0,03	0,01	0,03
25	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
27	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03
29	0,03	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02
31	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
33	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02
35	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
37	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
39	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
V-THD	2,59	2,49	2,43	2,42	2,28	2,39	2,22	2,24

Dari data tabel diatas untuk pengukuran tiap lampu dan tiap orde dapat dilihat bahwa sama seperti pengukuran sebelumnya, bahwa untuk orde, orde ke-5 merupakan orde dengan nilai harmonik tegangan paling tinggi dibanding orde-orde lainnya.

Setelah dibuat tabel untuk tegangan, selanjutnya akan dibuat juga tabel harmonik orde untuk masing-masing lampu, berikut tabelnya:

Tabel 4.21 Data harmonik orde arus, lampu dengan daya beda dan merk beda

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
3	77,16	80,51	75,33	84,98	74,76	85,16	77,90	79,30
5	47,27	53,26	46,49	62,64	45,81	63,66	50,23	55,12
7	32,68	36,53	36,24	44,66	35,39	47,07	36,60	41,86
9	30,00	33,57	34,12	36,43	29,23	39,22	30,77	36,42
11	22,63	29,39	26,53	31,25	18,55	32,73	20,93	29,02
13	16,17	22,59	21,05	25,02	16,31	24,79	16,07	21,44
15	15,18	20,45	18,74	20,94	15,68	20,31	16,72	21,10
17	11,78	19,52	13,91	19,72	11,68	19,95	13,02	20,96

Harmonik ke-n	Masing-masing lampu							
	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4	Lampu 5	Lampu 6	Lampu 7	Lampu 8
19	7,62	15,16	12,92	17,57	12,43	18,13	10,00	17,25
21	11,71	9,22	16,09	14,05	12,80	14,33	11,38	14,68
23	10,87	11,32	15,25	11,64	10,59	11,63	10,89	15,77
25	9,53	11,88	13,66	10,31	9,89	10,13	10,97	16,66
27	8,85	12,05	13,69	8,52	8,59	7,71	12,37	16,68
29	6,38	12,66	12,42	7,08	6,09	5,37	11,68	16,64
31	3,29	12,19	10,71	6,96	5,67	5,21	9,99	15,65
33	2,38	10,86	10,50	6,88	5,05	5,41	9,34	13,31
35	2,27	9,91	9,70	5,61	4,21	5,29	7,77	11,41
37	3,60	8,86	8,82	7,05	4,76	6,61	5,39	10,12
39	4,67	7,04	9,21	7,59	4,47	7,10	4,39	8,30
I-THD	108,69	123,78	116,70	135,19	106,62	137,64	114,17	135,82

Pada tabel diatas dapat dilihat nilai masing-masing orde harmonik dan masing-masing lampu berbeda-beda, dan nilai perbedaannya sebagian ada yang cukup jauh. Nilai tersebut nantinya akan dianalisa dan dibandingkan setelah lampu-lampu tersebut diukur secara paralel.

Selanjutnya ke delapan lampu tersebut akan diukur dengan hubungan paralel, sama seperti sebelumnya dimulai dari dua lampu sampai delapan lampu. Berikut tabel hasil pengukurannya.

Tabel 4.22 Nilai Pengukuran LHE merk dan daya beda dihubungkan paralel

No	Susunan Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
1	1 Lampu	23	19,98	220,99	147,30	2,59	108,69
2	2 Paralel	48	38,53	220,60	291,30	2,45	114,06
3	3 Paralel	71	58,36	220,53	439,40	2,26	112,12
4	4 Paralel	101	80,69	220,57	599,30	2,24	112,14
5	5 Paralel	119	98,59	220,50	710,90	2,27	103,28
6	6 Paralel	149	126,62	219,92	920,20	2,40	105,32

No	Susunan Lampu	Daya Spesifikasi (W)	Daya Pengukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (mA)	THD (%)	
						Tegangan	Arus
7	7 Paralel	177	146,64	219,66	1093,00	2,38	110,62
8	8 Paralel	197	162,76	219,74	1190,70	2,40	107,35
Max		197	162,76	220,99	1190,70	2,59	114,06
Rata-rata		110,63	91,52	220,31	674,01	2,37	109,20
Min		23	19,98	219,74	147,30	2,24	103,28

Sama seperti data-data sebelumnya, dari tabel diatas dapat dilihat nilai V-THD relatif sama, begitu juga dengan nilai I-THD tidak sama seperti pengukuran sebelumnya yang relatif makin turun, tapi nilai I-THD pada pengukuran ini naik turun (bervariasi).

Sama seperti pengukuran-pengukuran sebelumnya, pada percobaan ini juga akan di jabarkan hasil pengukuran harmonisa pada tiap-tiap orde pada masing-masing konfigurasi pengukuran. Berikut tabel harmonisa tiap-tiap orde pada masing-masing konfigurasi pengukuran:

Tabel 4.23 Data VTHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk beda

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	1,11	1,19	1,01	1,12	1,17	1,24	1,25	1,26
5	2,19	1,90	2,01	1,84	1,96	1,90	1,93	1,83
7	0,67	0,61	0,25	0,35	0,34	0,52	0,31	0,52
9	0,20	0,16	0,24	0,16	0,18	0,12	0,17	0,08
11	0,12	0,23	0,14	0,12	0,12	0,19	0,22	0,20
13	0,16	0,33	0,21	0,28	0,22	0,29	0,24	0,33
15	0,29	0,27	0,22	0,20	0,22	0,19	0,22	0,22
17	0,40	0,09	0,10	0,11	0,09	0,06	0,08	0,05
19	0,50	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04
21	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
23	0,03	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02
25	0,04	0,01	0,06	0,04	0,04	0,05	0,07	0,02

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
27	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05
29	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,07	0,04
31	0,04	0,01	0,05	0,05	0,05	0,03	0,07	0,04
33	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04
35	0,03	0,20	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05
37	0,02	0,01	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04
39	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
VTHD	2,59	2,45	2,26	2,24	2,27	2,40	2,38	2,40

Dari data diatas, dapat dilihat sama seperti pengukuran-pengukuran sebelumnya, orde yang menghasilkan harmonisa paling tinggi yaitu orde ke-5, sedangkan V-THDnya masih relatif sama.

Selanjutnya akan dibuat tabel masing-masing lampu untuk masing-masing orde, berikut ini datanya:

Tabel 4.24 Data ITHD(%) kombinasi beban lampu dengan daya dan merk beda

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	77,16	78,12	77,08	78,99	77,54	78,62	79,35	79,37
5	47,27	49,68	48,99	51,24	48,07	49,99	52,10	51,70
7	32,68	34,04	36,78	35,16	32,07	32,58	36,02	34,00
9	30,00	27,82	33,02	29,87	27,80	26,43	29,87	27,18
11	22,63	18,12	23,90	21,81	20,04	17,99	20,95	18,84
13	16,17	11,44	16,40	12,73	11,69	7,99	22,03	9,14
15	15,18	11,91	14,75	9,10	8,66	3,32	6,99	5,02
17	11,78	8,82	10,81	5,74	5,03	1,73	4,17	3,12
19	7,62	4,81	8,42	1,09	1,82	2,81	1,36	1,73
21	11,71	6,28	10,98	4,60	4,89	4,43	4,50	4,16
23	10,87	6,26	11,28	5,57	5,43	3,87	5,16	4,26
25	9,53	5,56	10,55	5,44	5,48	3,88	5,34	3,86
27	8,85	6,09	10,80	6,10	5,84	4,28	5,94	4,28
29	6,38	5,31	9,81	5,57	4,80	3,36	5,14	3,39
31	3,29	3,41	7,60	3,90	3,12	2,71	3,46	2,12

Harmonik ke-n	Kombinasi Lampu							
	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
33	2,38	2,45	6,15	3,11	2,21	2,86	2,60	1,96
35	2,27	2,17	4,90	2,55	1,25	2,32	1,77	1,42
37	3,60	1,89	2,94	1,23	0,49	1,95	0,49	0,76
39	4,67	1,71	1,55	1,08	1,29	2,27	1,23	1,46
ITHD	108,69	114,06	112,12	112,14	103,28	105,32	110,62	107,35

## 4.2 Analisa Hasil Pengukuran Lampu Hemat Energi (LHE)

### 4.2.1 Analisa Arus

Untuk menganalisa harmonisa arus yang ditimbulkan oleh lampu hemat energi, berikut akan ditampilkan tabel nilai arus (mA) untuk masing-masing orde dari orde ke-3 sampai orde 39 untuk masing-masing pengukuran, yaitu dimulai dari satu lampu sampai delapan lampu.

Untuk data dibawah ini merupakan pengukuran untuk lampu dengan merk yang sama dan daya sama, yaitu 15 watt.

Tabel 4.25 Data harmonik orde arus (mA) , lampu dengan daya dan merk sama.

Harmonik ke-n	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
3	50,56	102,14	155,01	208,28	259,57	315,17	359,20	406,70
5	31,06	63,96	93,88	125,44	158,43	190,62	216,10	238,00
7	23,69	50,86	75,88	99,96	121,81	148,02	173,60	191,10
9	21,38	45,51	68,11	88,21	105,88	132,39	156,60	176,40
11	15,20	31,77	46,86	58,82	71,14	91,59	105,50	118,60
13	9,67	20,66	33,75	41,93	49,25	63,15	69,40	72,80
15	9,45	19,80	33,23	41,89	50,69	63,75	65,00	60,00
17	7,34	14,71	23,04	28,52	36,19	44,38	39,90	30,10
19	5,79	11,94	17,49	23,69	28,72	30,19	31,90	46,00
21	6,46	14,10	18,37	26,49	31,68	34,18	40,40	62,80
23	6,28	13,11	15,27	24,43	27,57	31,03	36,30	59,00
25	5,94	12,14	15,81	27,53	24,60	30,54	38,50	55,80
27	6,52	13,24	18,45	29,96	26,19	35,17	42,00	53,30

Harmonik ke-n	1 Lampu	2 Lampu	3 Lampu	4 Lampu	5 Lampu	6 Lampu	7 Lampu	8 Lampu
29	5,99	11,84	16,07	24,87	21,40	29,97	33,40	38,30
31	4,93	9,37	14,15	19,99	17,86	22,81	26,10	22,20
33	4,83	8,18	13,64	17,08	18,26	20,75	23,60	16,20
35	4,07	6,39	6,50	10,55	14,40	14,29	14,70	10,10
37	3,21	4,47	6,65	6,72	11,90	7,74	9,20	13,50
39	3,04	4,95	6,51	7,47	12,05	8,15	10,60	15,70

Dari data tabel harmonik orde diatas akan dibuat tabel *summary* dimana, nilai I-THD pengukuran akan dibandingkan dengan I-THD perhitungan individual, maksud dari I-THD perhitungan individual ini adalah, nilai I-THD dihitung dari nilai THD masing-masing orde dari tabel 4.25 diatas, rumus yang akan digunakan dalam perhitungan ini adalah:

$$I_{THD} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \dots \dots \dots (4.1)$$

Selain dengan I-THD individual, I-THD pengukuran juga akan diukur dengan I-THD perhitungan, dimana maksudnya I-THD perhitungannya ini adalah, I-THD masing-masing lampu akan dijumlahkan sesuai dengan hukum kirchoff, yaitu arus yang masuk akan sama dengan arus yang keluar, jadi nilai I-THD pengukuran masing-masing lampu yang telah dijumlahkan akan dibandingkan dengan I-THD pengukuran lampu setelah dilakukan pengukuran dengan kombinasi lampu paralel.

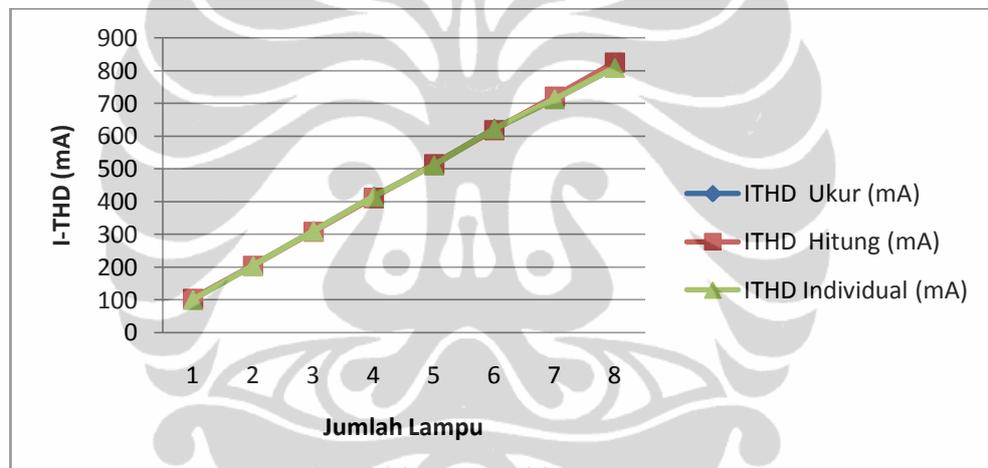
Tabel 4.26 Data *summary* pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya dan merk sama

Pengukuran Individual		Pengukuran Paralel		Perhitungan THD dan Error		Perhitungan THD (Individual)	
Lampu	I-THD Arus (mA)	Rangkaian Pengukuran	I-THD Arus (mA)	I-THD Arus (mA)	Persen Kesalahan	I-THD (mA)	Persen Kesalahan
1	100,11	1 Lampu	103,35	103,35	0	100,10	3,25
2	104,37	2 Paralel	204,22	204,48	0,13	204,21	0,00
3	103,76	3 Paralel	310,39	307,83	0,83	310,30	0,03
4	103,84	4 Paralel	415,57	411,18	1,07	415,53	0,01

5	103,35	5 Paralel	511,03	514,53	0,68	510,94	0,02
6		6 Paralel	622,26	617,88	0,71	622,24	0,00
7		7 Paralel	713,5	721,23	1,07	713,40	0,01
8		8 Paralel	808,8	824,58	1,91	808,76	0,01

Dari tabel diatas dapat dilihat persen kesalahan antara pengukuran dan perhitungan cukup kecil, persen kesalah paling tinggi hannya 1,91% untuk error I-THD perhitungan dan pengukuran, serta 3,25% untuk error pengukuran dan perhitungan individual. Nilai tersebut masih cukup kecil.

Untuk memperjelas tabel diatas, maka akan dibuat gambar grafik I-THD antara pengukura, perhitungan dan perhitungan individual, derikut grafiknya:



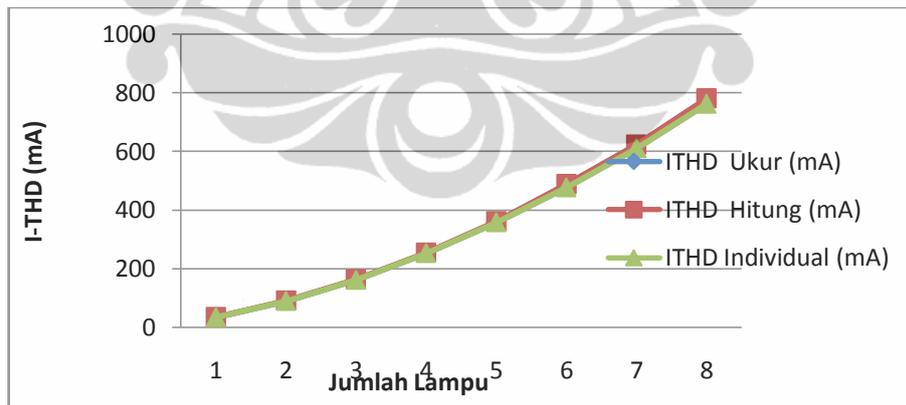
Gambar 4.3. Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk sama dan daya sama.

Untuk kombinasi pengukuran yang lain juga akan dilakukan analisa seperti diatas. Berikut tabel *summary* dan grafik pendukung dari kombinasi pengukuran merk sama daya beda, merk beda daya sama serta merk beda daya beda.

Tabel 4.27 Data *summary* pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya beda dan merk sama

No	Pengukuran Individual		Pengukuran Paralel		Perhitungan THD dan Error		Perhitungan THD (Individual)	
	Daya Lampu (Watt)	I-THD (mA)	Kombinasi	I-THD (mA)	I-THD (mA)	Persen Kesalahan	I-THD (mA)	Persen Kesalahan
1	5	35,90	1 Lampu	35,9	35,9	0,00	35,90	0,01
2	8	56,57	2 Paralel	90,97	92,47	1,62	90,95	0,02
3	11	72,60	3 Paralel	162,78	165,07	1,39	162,64	0,08
4	14	90,34	4 Paralel	254,05	255,41	0,53	254,02	0,01
5	15	106,56	5 Paralel	358,76	361,97	0,89	358,72	0,01
6	18	126,50	6 Paralel	477,7	488,47	2,20	477,62	0,02
7	20	133,34	7 Paralel	610,7	621,81	1,79	610,65	0,01
8	23	158,31	8 Paralel	762,2	780,12	2,30	762,11	0,01

Dari tabel diatas dapat dilihat pada kombinasi pembebanan dengan daya beda merk sama, nilai erornya juga cukup kecil, persen kesalah paling tinggi hanya 2,30% untuk error I-THD perhitungan dan pengukuran, serta 0,08% untuk error pengukuran dan perhitungan individual. Nilai tersebut masih cukup kecil.



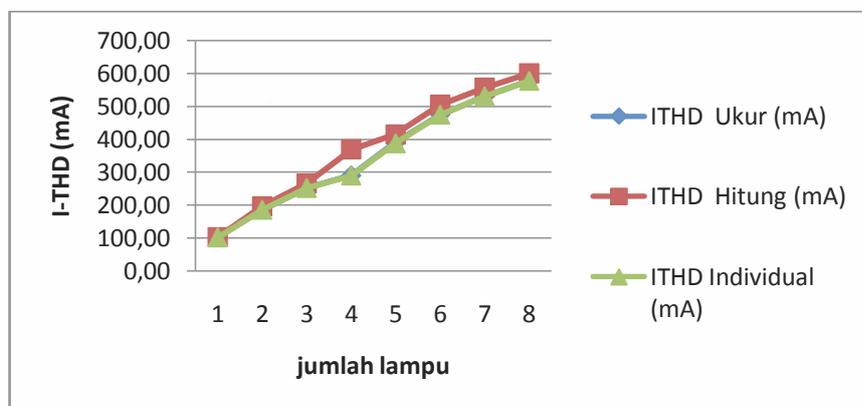
Gambar 4.4. Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk sama dan daya beda.

Selanjutnya akan disajikan tabel *summary* dan grafik untuk pengukuran kombinasi lampu merk beda daya sama, berikut tabelnya:

Tabel 4.28 Data *summary* pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya sama dan merk beda.

No	Pengukuran Individual		Pengukuran Paralel		Perhitungan THD dan Error		Perhitungan THD (Individual)	
	Daya Lampu (Watt)	I-THD (mA)	Kombinasi	I-THD (mA)	I-THD (mA)	Persen Kesalahan	I-THD (mA)	Persen Kesalahan
1	15	103,35	1 Lampu	103,35	103,35	0,00	103,14	0,20
2	15	93,25	2 Paralel	186,67	196,60	5,05	186,63	0,02
3	15	69,87	3 Paralel	252,66	266,47	5,18	252,64	0,01
4	15	102,41	4 Paralel	290,46	368,88	21,26	290,43	0,01
5	15	46,36	5 Paralel	390,96	415,24	5,85	388,05	0,75
6	15	88,87	6 Paralel	475,00	504,11	5,77	474,91	0,02
7	15	52,52	7 Paralel	531,00	556,63	4,60	530,67	0,06
8	15	43,31	8 Paralel	577,90	599,94	3,67	577,44	0,08

Untuk hasil pengukuran ini, pada kombinasi 4 lampu paralel nilai persen kesalahan pengukuran dan perhitungan I-THDnya cukup tinggi yaitu 21,26. Nilai ini cukup tinggi mungkin ada faktor pengukuran yang kurang akurat yang menyebabkan hal tersebut. Namun untuk persen kesalahan pengukuran dan perhitungan individual, nilainya cukup tinggi.



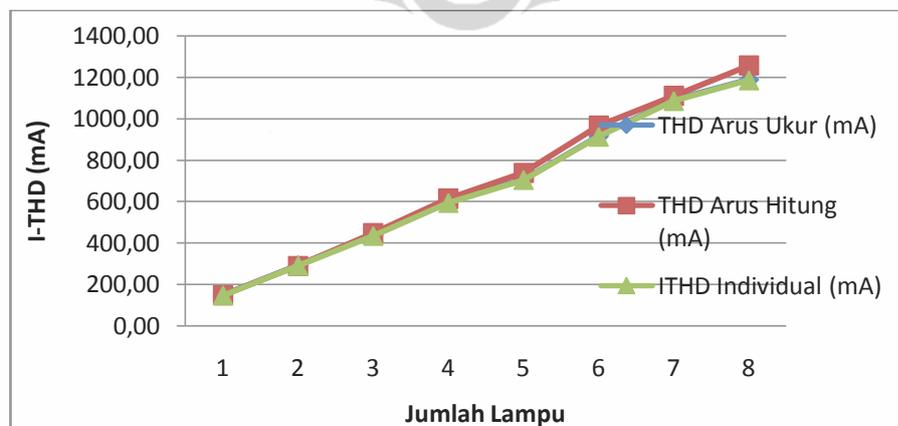
Gambar 4.5. Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk beda dan daya sama.

Selanjutnya tabel *summary* dan grafik untuk pengukuran kombinasi lampu merk beda daya beda, berikut tabelnya:

Tabel 4.29 Data *summary* pengukuran dan perhitungan I-THD lampu dengan daya beda dan merk beda.

No	Pengukuran Individual		Pengukuran Paralel		Perhitungan THD dan Error		Perhitungan THD (Individual)	
	Daya Lampu (Watt)	I-THD (mA)	Kombinasi	I-THD (mA)	I-THD (mA)	Persen Kesalahan	I-THD (mA)	Persen Kesalahan
1	23	147,30	1 Lampu	147,30	147,30	0,00	145,67	1,12
2	25	140,90	2 Paralel	290,90	288,20	0,94	288,25	0,92
3	23	158,30	3 Paralel	439,70	446,50	1,52	433,47	1,44
4	30	167,00	4 Paralel	602,45	613,50	1,80	592,81	1,63
5	18	125,80	5 Paralel	706,40	739,30	4,45	704,09	0,33
6	30	227,70	6 Paralel	915,30	967,00	5,35	913,03	0,25
7	28	143,00	7 Paralel	1090,10	1110,00	1,79	1085,84	0,39
8	20	146,90	8 Paralel	1188,40	1256,90	5,45	1185,86	0,21

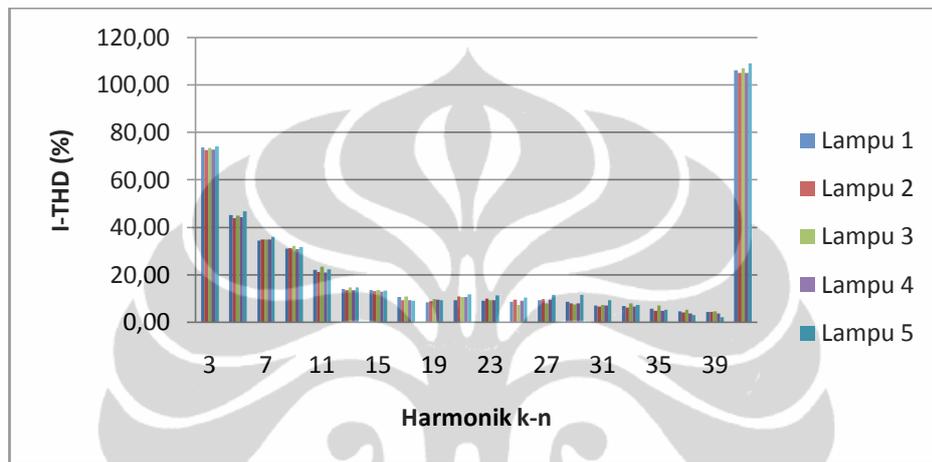
Pada pengukuran ini juga dapat dilihat bahwa nilai persen kesalahannya cukup kecil, persen kesalah paling tinggi hanya 5,45% untuk error I-THD perhitungan dan pengukuran, serta 1,63% untuk error pengukuran dan perhitungan individual. Nilai tersebut masih cukup kecil.



Gambar 4.6. Grafik I-THD ukur, hitung dan perhitungan individual lampu merk beda dan daya beda.

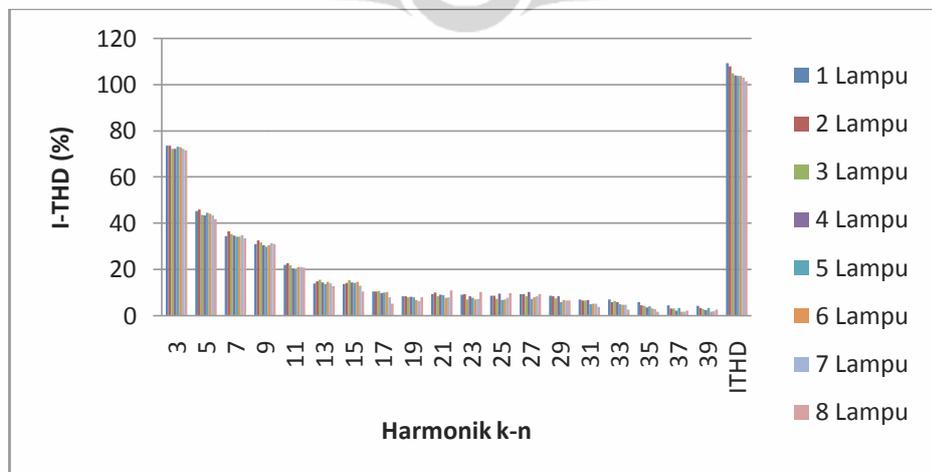
Selanjutnya akan dianalisa mengenai persentase arus yang terdistorsi pada tiap-tiap kombinasi pengukuran. Anaisa ini akan didasarkan pada data-data yang ada pada tabel-tabel 4.1, barikut analisisnya.

Untuk lampu hemat energi dengan daya sama dan merk sama dapat dilihat bahwa masing-masing harmonik ordenya hampir sama, dan persen total harmonik arusnya juga hampir sama, ini dapat dilihat dari data pada tabel 4.3 dan di gambarkan pada grafik di bawah.



Gambar 4.7 Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya sama merk sama

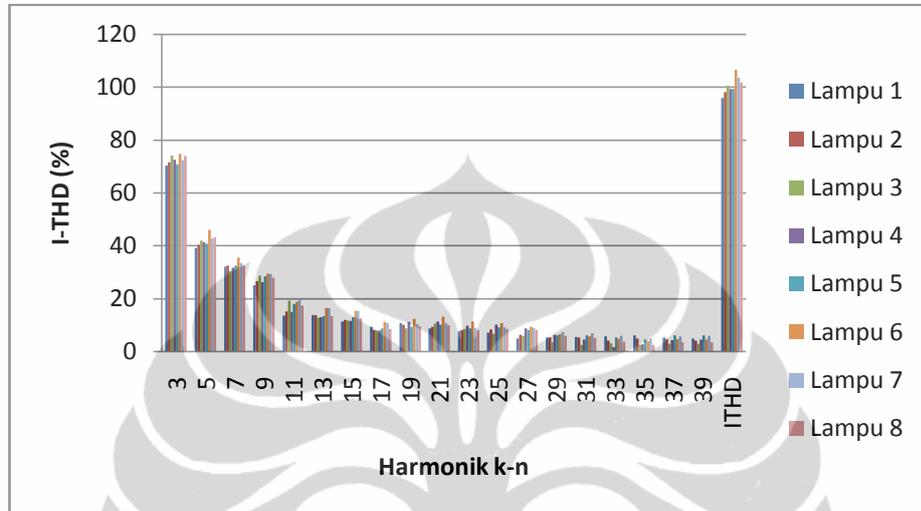
Selanjutnya gambar grafik pengukuran individual ini akan dibandingkan dengan grafik yang dihasilkan dengan pengukuran kombinasi paralel mulai dari 2 lampu paralel sampai 8 paralel, berikut gambarnya.



Gambar 4.8 Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya sama merk sama

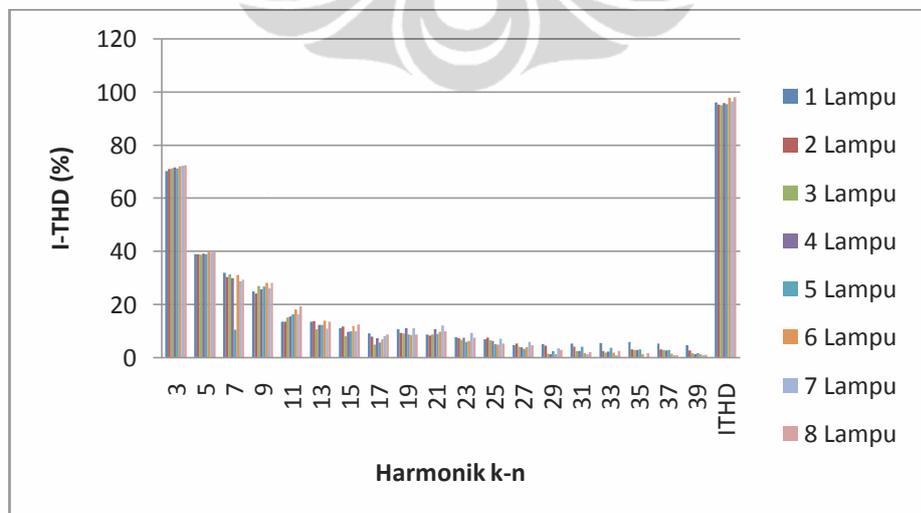
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai persen harmonik arus pada masing-masing orde hampir sama, namun total harmonik arus relatif turun.

Dengan cara yang sama akan di buat analisa dengan bahan pengukuran lampu merk sama dan daya yang berbeda. Berikut adalah gambar grafik tiap-tiap lampu untuk tiap-tiap ordenya.



Gambar 4.9 Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya beda merk sama

Selanjutnya akan di bandingkan dengan gambar grafik pengukuran lampu tersebut secara kombinasi paralel, dimulai dari 2 lampu paralel sampai dengan delapan lampu paralel. Berikut gambarnya:



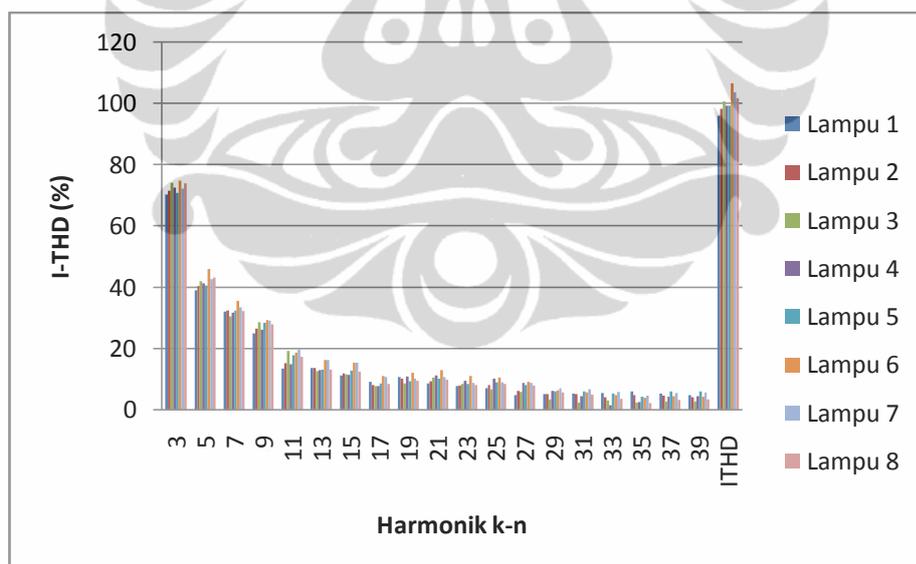
Gambar 4.10 Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya beda merk sama

Dari dua kombinasi pengukuran diatas yaitu kombinasi pengukuran lampu merk dan daya sama serta lampu merk sama daya beda dapat dilihat, setelah terjadi pembebanan kombinasi paralel, I-THD dalam % malah menjadi turun, jadi mungkin antar sesama lampu tersebut saling menghilangkan harmoniknya

Selain itu dari beberapa gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa orde penyumbang distorsi arus (%) tertinggi adalah orde ke -3 yaitu ada pada kisaran 70%.

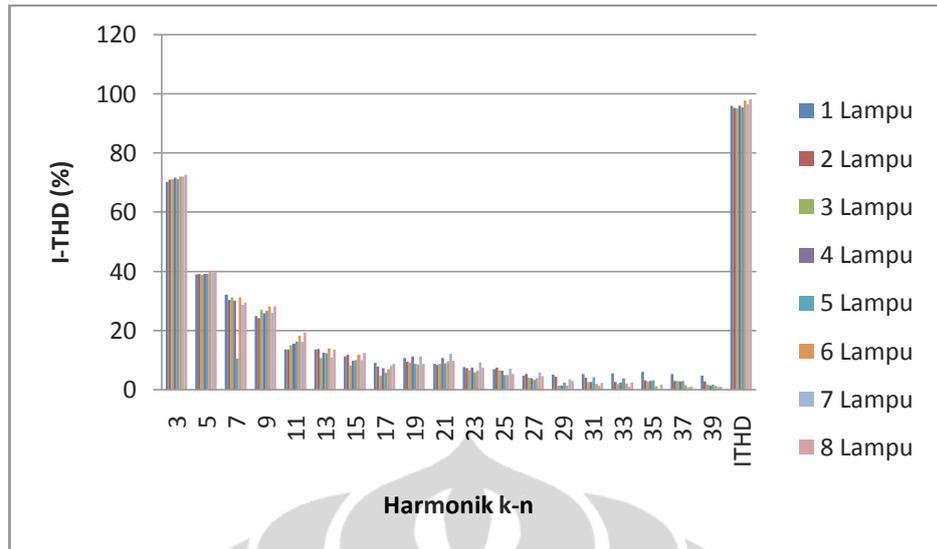
Selanjutnya akan dibahas untuk lampu yang beda merk pada pengukuran dengan daya sama dan dengan daya yang berbeda-beda. Sama seperti proses analisa dengan merk yang sama (seperti diatas), akan dianalisa perbandingan grafik pengukuran individual masing-masing lampu dan akan dibandingkan dengan grafik hasil pengukuran kombinasi paralel dari dua lampu sampai delapan lampu.

Berikut akan dibandingkan grafik persentase arus terdistorsi masing-masing lampu dan kombinasi pembebanan lampu paralel antara lampu-lampu yang dayanya sama dan merk beda.



Gambar 4.11 Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya sama merk beda

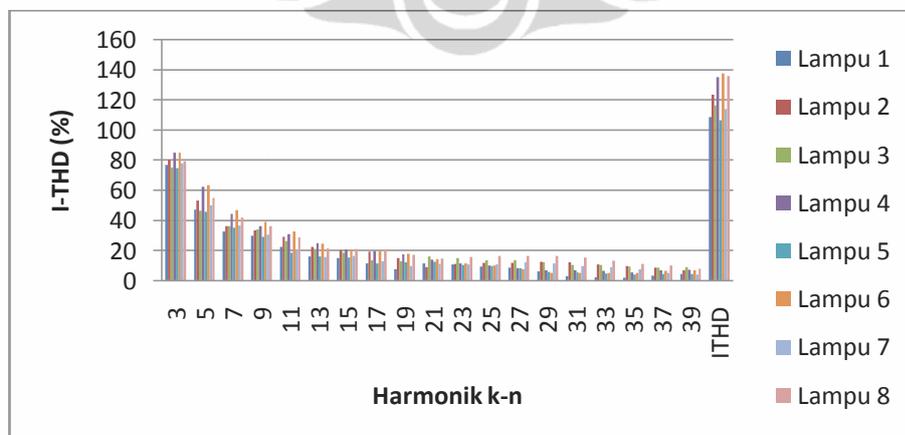
Grafik diatas merupakan gambar yang dibuat berdasarkan data dari tabel 4.14, grafik merupakan gambar distorsi arus dalam persen untuk masing-masing lampu. Berikut akan dibuat gambar grafik pengukuran dengan kombinasi paralel lampu daya sama merk beda tersebut, berikut gambarnya grafiknya:



Gambar 4.12 Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya sama merk beda

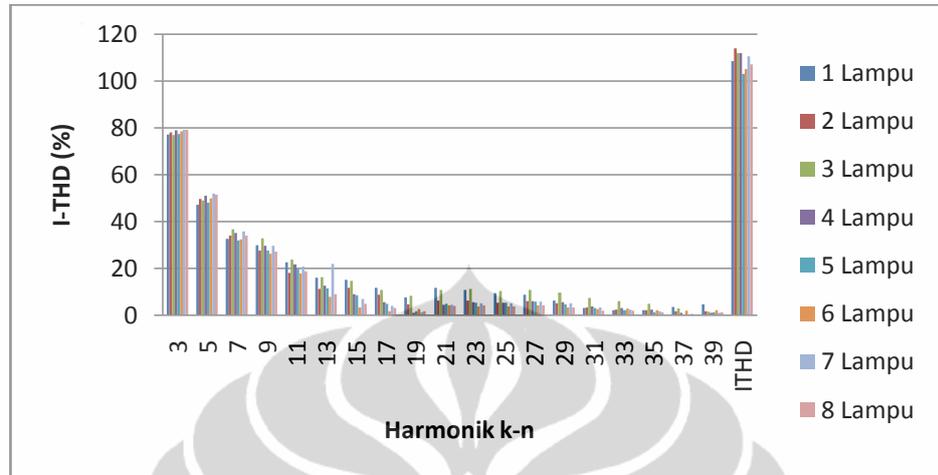
Dari kedua gambar yang dihasilkan dari pengukuran untuk lampu merk beda dan daya sama diatas, dapat dilihat bahwa I-THD dalam persen untuk pengukuran lampu yang beda merk ini juga turun setelah dilakukan pengukuran dengan kombinasi paralel. Pada saat pengukuran individual masing-masing lampu, ada beberapa lampu yang I-THDnya di atas 100% namun setelah dilakukan kombinasi paralel, I-THDnya turun menjadi dibawah 100%.

Terakhir akan di analisa pengarus I-THD dalam persen untuk lampu dengan merk dan daya yang beda. Berikut gambar grafik I-THD dalam persen untuk masing-masing lampu.



Gambar 4.13 Grafik distorsi arus (%) masing-masing lampu daya dan merk beda

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat I-THD yang dihasilkan masing-masing lampu cukup bervariasi. Selanjutnya grafik tersebut akan dibandingkan dengan grafik pengukuran kombinasi paralel.



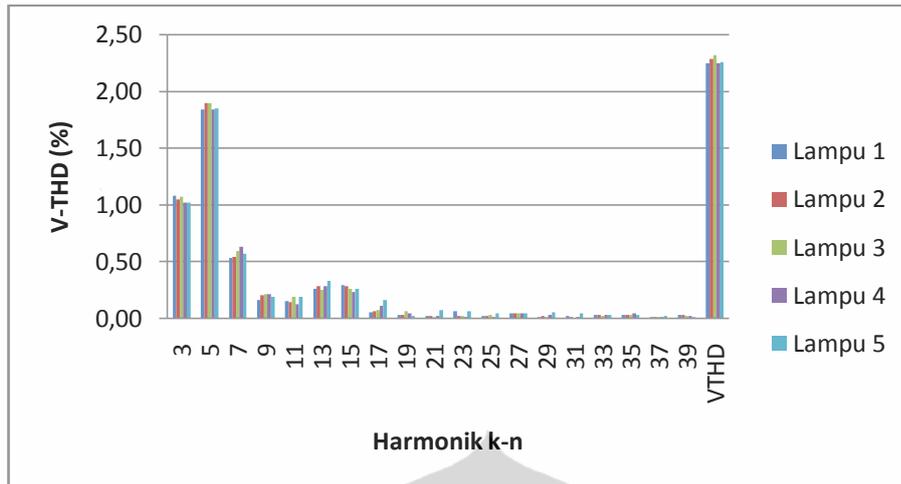
Gambar 4.14 Grafik distorsi arus (%) kombinasi lampu daya dan merk beda

Untuk pengukuran ini dihasilkan juga nilai rata-rata I-THD pengukuran kombinasi paralel lebih rendah dari pada pengukuran individual masing-masing lampu. Pada pengukuran kombinasi paralel pada pengukuran ini fluktuatif naik turun.

#### 4.2.2 Analisa Tegangan

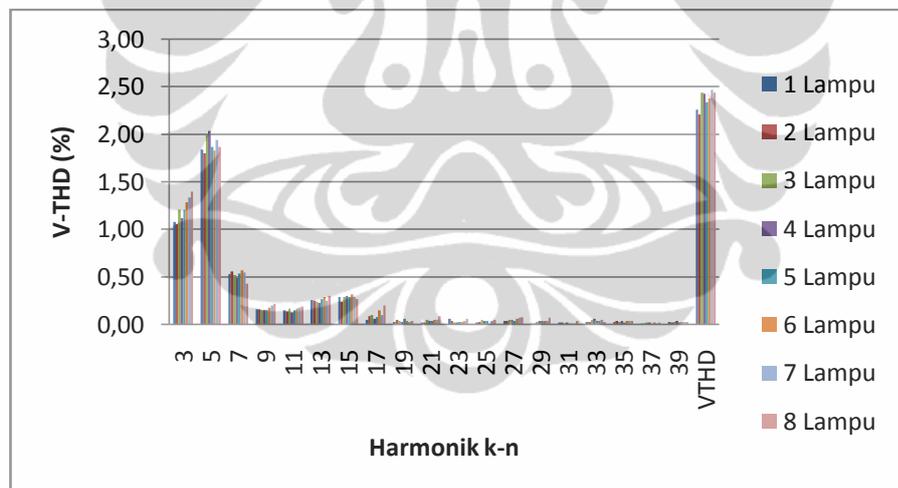
Untuk nilai tegangan yang terdistorsi pada saat pengukuran individual masing-masing lampu tidak terlalu beda dengan nilai tegangan yang terdistorsi setelah dilakukan kombinasi pembebanan secara paralel. Ini disebabkan karena nilai tegangan tidak berubah pada saat hubungan paralel.

Berikut beberapa grafik pengukuran tegangan yang terdistorsi dalam persen, pengukuran dilakukan untuk masing-masing lampu seperti data pada tabel 4.2 yaitu data lampu bermerk dan daya sama.



Gambar 4.15 Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya dan merk sama

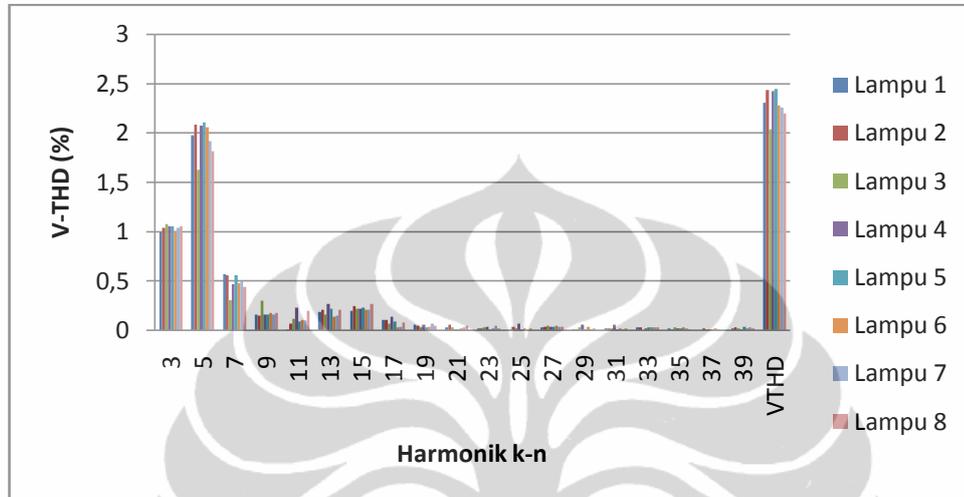
Setelah grafik masing-masing lampu, berikutnya akan di tampilkan grafik pengukuran distorsi harmonik untuk pengukuran kombinasi paralel, berikut gambarnya:



Gambar 4.16 Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya dan merk sama

Dari kedua gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai distorsi harmonik tegangan tidak ada perubahan signifikan yang terjadi akibat pembebanan paralel lampu hemat energi. Selanjutnya dapat dilihat bahwa orde 5 merupakan orde penyumbang harmoik terbesar diantara orde-orde yang lain.

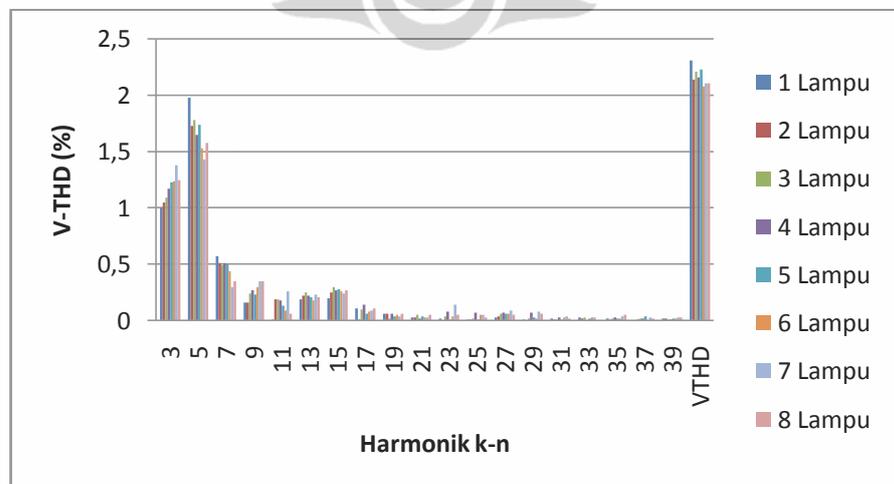
Grafik diatas akan di bandingkan dengan beberapa grafik yang dihasilkan pada pengukuran selanjutnya. Berikut ini merupakan grafik hasil dari pengukuran lampu hemat energi dengan merk yang sama dan daya yang berbeda. Sama seperti gamba grafik sebelumnya, pertama akan di tampilkan grafik pengukuran V-THD masing-masing lampu.



Gambar 4.17 Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya beda dan merk sama.

Dari tabel pengukuran individual masing-masing lampu diatas dapat dilihat V-THD yang dihasilkan berada diantara 2-2,5%, serta orde ke-5 merupakan orde penghasil harmonik terbesar dibanding degan orde-orde lain.

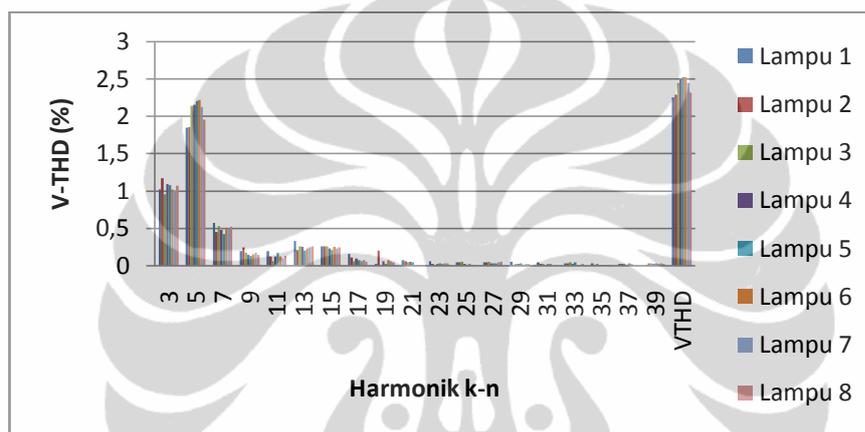
Selanjutnya akan diperlihatkan tabel yang dihasilkan dari pengukuran kombinasi paralel dari lampu-lampu dengan daya beda merk sama tersebut.



Gambar 4.18 Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya beda dan merk sama.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai V-THD yang dihasilkan lampu hemat energi daya beda merk sama masih berada pada nilai 2-2,5% artinya masih sama dengan nilai V-THD yang dihasilkan lampu-lampu tersebut saat diukur individual masing-masing lampu. Dan pada pengukuran kombinasi paralel ini juga dapat dilihat bahwa orde ke-5 masih merupakan orde penghasil harmonik terbesar diantara orde-orde lainnya.

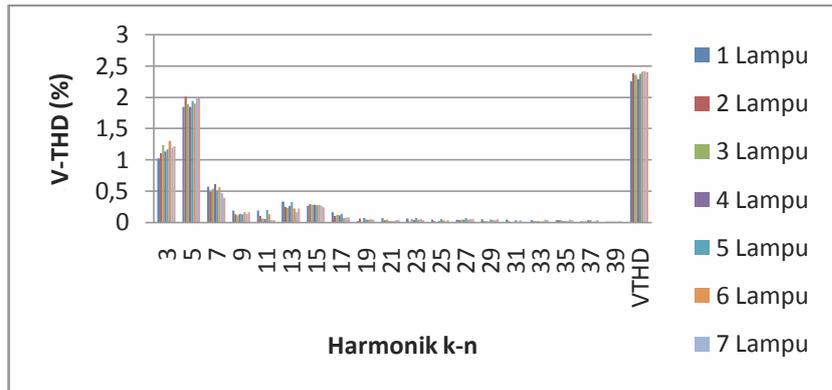
Berikutnya akan diperlihatkan tabel hasil pengukuran lampu hemat energi untuk merk yang beda dan daya yang sama. Berikut gambar grafik untuk pengukuran individual masing-masing lampu hemat energi tersebut.



Gambar 4.19 Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya sama dan merk beda

Pada grafik diatas dapat dilihat nilai V-THD yang dihasilkan bervariasi diantara 2,2-2,6%. Pada pengukuran individual ini, orde ke-5 masih merupakan orde penghasil distorsi terbesar diantara orde-orde lainnya.

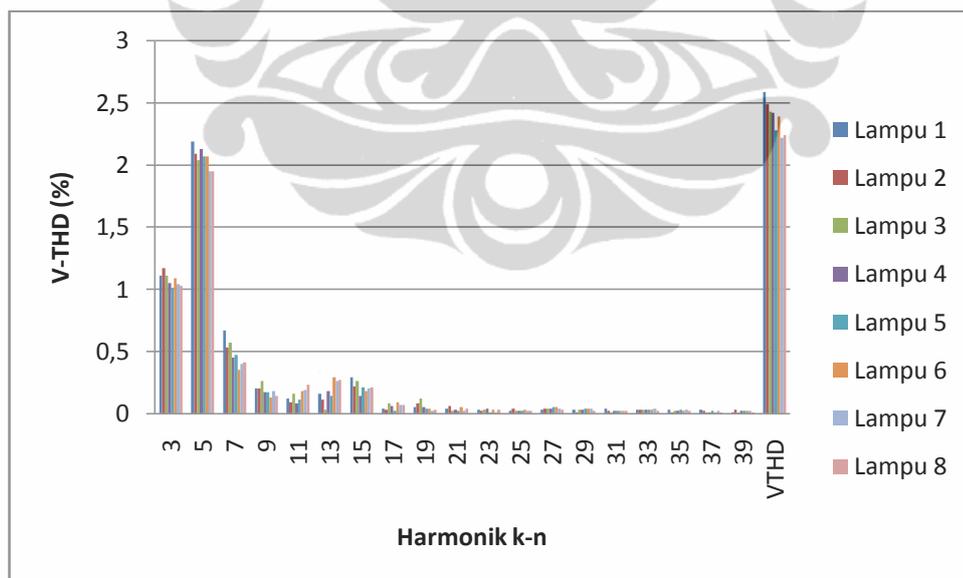
Grafik pengukuran individual diatas akan dibandingkan dengan grafik yang dihasilkan pada pengukuran kombinasi paralel. Berikut grafik hasil pengukurannya.



Gambar 4.20 Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya sama dan merk beda

Dari hasil pengukuran kombinasi paralel diatas, dapat dilihat V-THD yang dihasilkan hanya berada dibawah 2,5%. Artinya nilai V-THD setelah di kombinasi paralel ada penurunan dibandingkan pengukuran individual. Namun nilai penurunannya sangat sedikit.

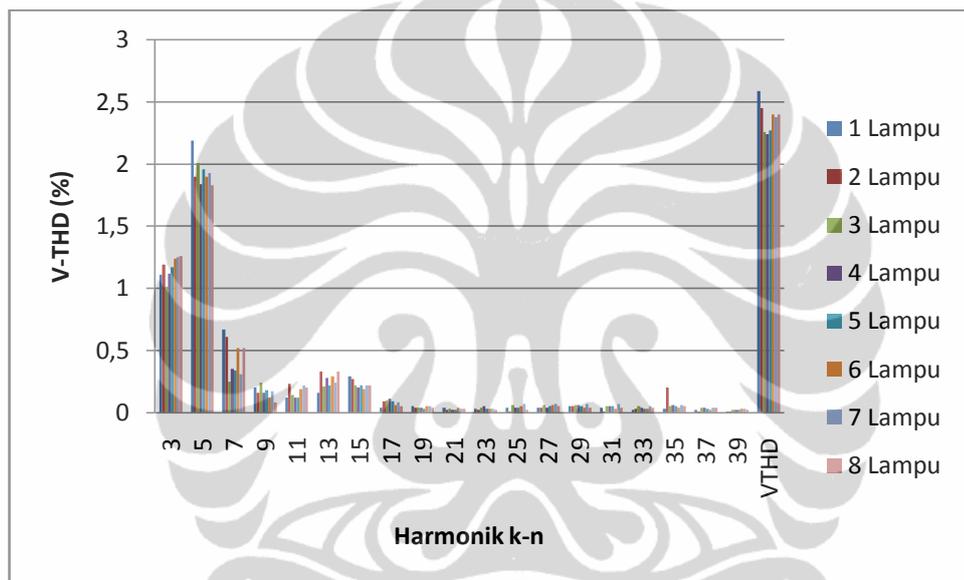
Terakhir akan dibandingkan tabel hasil pengukuran individual dan kombinasi paralel lampu hemat energi merk beda dan daya beda. Berikut gambar grafik hasil pengukuran individual masing-masing lampu.



Gambar 4.21 Grafik distorsi tegangan (%) masing-masing lampu daya beda dan merk beda

Dari gambar grafik diatas hasil V-THD yang dihasilkan masing-masing lampu bervariasi. Namun nilainya satu dengan yang lain bedanya tidak jauh berbeda. Dan pada pengukuran lampu dengan merk dan daya beda ini, sama seperti pengukuran-pengukuran sebelumnya, orde ke-5 yang menghasilkan harmonik terbesar dibanding orde-orde lainnya.

Gambar grafik diatas akan dibandingkan dengan grafik yang dihasilkan pada pengukuran kombinasi paralel lampu dengan beda merk dan daya beda tersebut. Berikut gambar grafik yang dihasilkan dari pengukuran kombinasi paralel tersebut.



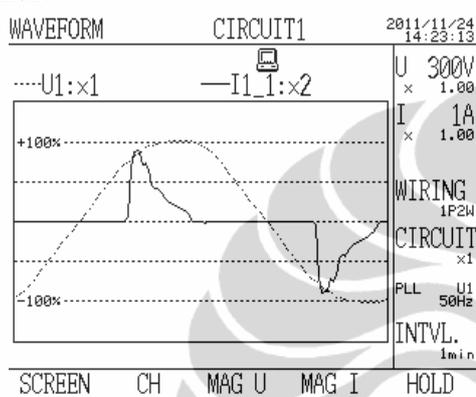
Gambar 4.22 Grafik distorsi tegangan (%) kombinasi lampu daya beda dan merk beda

Dari gambar hasil pengukuran kombinasi paralel diatas dapat dilihat V-THD yang dihasilkan masih ada pada kisaran 2-2,5%. Dan masih dapat dilihat bahwa orde penghasil harmonik tegangan terbesar adalah harmonik ke-5.

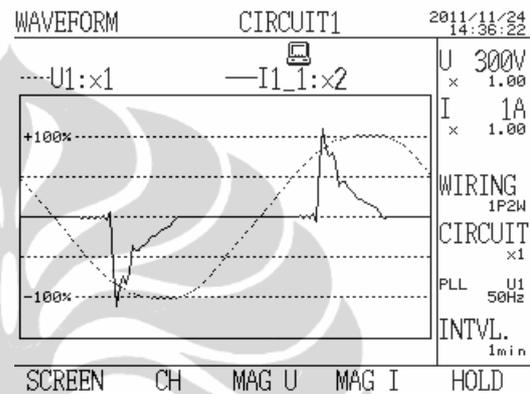
### 4.3 Analisa Gelombang Harmonik Yang Dihasilkan Lampu Hemat Energi

Gelombang harmonisa yang dihasilkan pada pengukuran lampu hemat energi untuk tiap-tiap lampu berbeda-beda satu sama lain. Namun untuk lampu yang mempunyai merk sama ada kemiripan.

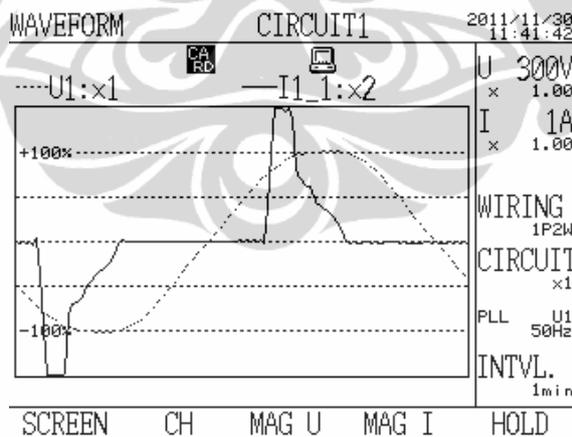
Berikut contoh-contoh gambar gelombang harmonik yang dihasilkan lampu hemat energi, gambar-gambar ini merupakan gambar yang dihasilkan alat ukur.



Gbr 4.23 Bentuk Harmonik Lampu 1



Gbr 4.24 Bentuk Harmonik Lampu 2



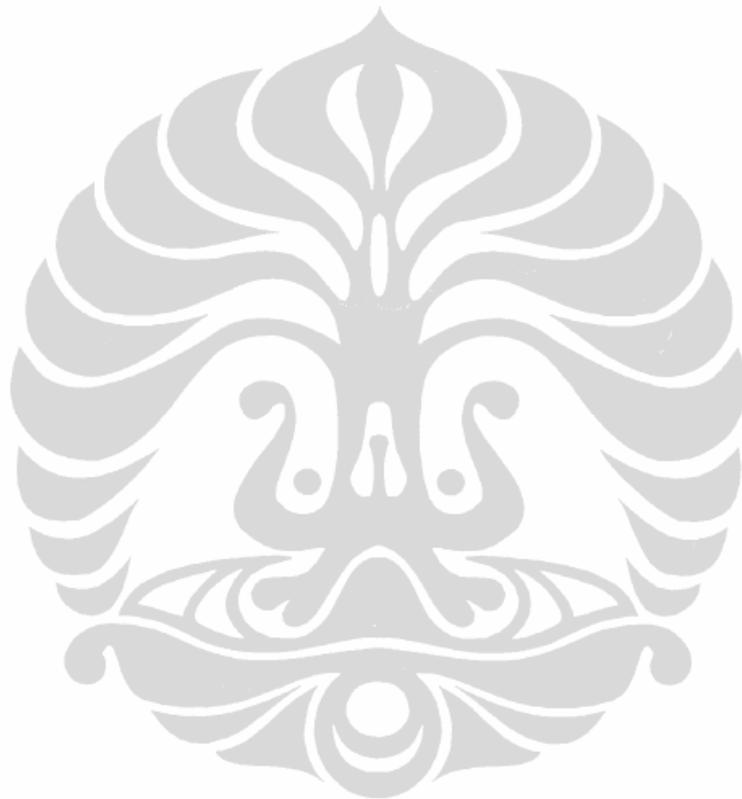
Gbr 4.25 Bentuk Harmonik Lampu 1 Paralel Lampu 2

Contoh gambar gelombang harmonik diatas merupakan hasil dari pengukuran lampu hemat energi beda merk dan beda daya.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gelombang yang dihasilkan masing-masing lampu dan setelah diparalel tidak ada perubahan untuk gelombang tegangan yang dihasilkan lampu hema energi tersebut, namun untuk arus, setelah

dilakukan pengukuran paralel, terjadi perubahan bentuk gelombang yang begitu signifikan dibandingkan pada pengukuran masing-masing lampu. Hal ini berbanding lurus dengan pengukuran arus harmonik yang di ukur (dalam mA).

Pada pengukuran-pengukuran kombinasi yang lain juga dihasilkan hal yang demikian, perubahan gelombang hanya terjadi pada gelombang harmonik arus, dan perubahan gelombangnya berbanding lurus dengan Irms dari besar harmoik yang dihasilkan pengukuran lampu hemat energi tersebut.



## BAB V

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab-bab sebelumnya maka dapat disampaikan beberapa kesimpulan :

1. Distorsi Harmonik Total untuk tegangan (V-THD) lampu LHE baik yang diukur secara individu maupun secara paralel untuk jenis lampu yang sama, rata-rata 2,27%, sedangkan lampu yang memiliki kapasitas dan merek berbeda yang dipasang secara paralel menghasilkan V-THD sedikit lebih tinggi yaitu 2,37%.
2. Untuk pengukuran masing-masing harmonik orde tegangan, harmonik orde ke-5 merupakan penghasil distorsi tegangan terbesar untuk tiap-tiap pengukuran, baik itu pengukuran lampu yang satu merk maupun yang berlainan merk.
3. Distorsi Harmonik Total untuk arus (I-THD) lampu LHE baik yang diukur secara individu maupun secara paralel untuk jenis lampu yang sama, rata-rata 104,82%, sedangkan lampu yang memiliki kapasitas dan merek berbeda yang dipasang secara paralel menghasilkan I-THD sedikit lebih rendah yaitu 96,34%. Namun di tiap pengukuran individual I-THD lampu rata-rata nilai I-THDnya lebih tinggi dibanding I-THD setelah lampu-lampu tersebut diukur dengan kombinasi paralel. Artinya kombinasi pembebanan paralel lampu dapat menurunkan nilai I-THD lampu hemat energi.
4. Untuk pengukuran masing-masing harmonik orde arus, harmonik orde ke-3 merupakan penghasil distorsi tegangan terbesar untuk tiap-tiap pengukuran, baik itu pengukuran lampu yang satu merk maupun yang berlainan merk.
5. Pada pengukuran Irms distorsi arus dengan perhitungan dihasilkan eror yang kecil, sehingga hasil pengukuran hampir sama dengan perhitungan.
6. Gelombang harmonik yang dihasilkan pada pengukuran berbanding lurus dengan Irms (mA) dari besar harmonik yang dihasilkan pengukuran lampu hemat energi.

## DAFTAR REFERENSI

1. Budi Sudiarto, “*Analisa Pengaruh Harmonik Lampu Hemat Energi Terhadap Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah*”, Magister Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2004.
2. Liem Ek Bien dan Sudarno, “*Pengujian Harmonisa dan Upaya Pengurangan Gangguan Harmonisa Pada Lampu Hemat Energi*”, FTI- Univ Trisakti
3. Dugan Roger C, Surya Santoso, Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, New York, 2004.
4. “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, IEEE 519 - 1992
5. [http://ikhaskitta.blogspot.com/2010\\_11\\_01\\_archive.html](http://ikhaskitta.blogspot.com/2010_11_01_archive.html)
6. [http://id.wikipedia.org/wiki/Lampu\\_pijar](http://id.wikipedia.org/wiki/Lampu_pijar)
7. <http://elektroindonesia.com/elektro/no1a.html>