



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGARUH BEBAN HARMONISA  
( LAMPU HEMAT ENERGI ) TERHADAP PENGHANTAR**

**SKRIPSI**

**REZA PERKASA ALAMSYAH  
0806366296**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGARUH BEBAN HARMONISA  
( LAMPU HEMAT ENERGI ) TERHADAP PENGHANTAR**

**SKRIPSI**

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

**REZA PERKASA ALAMSYAH  
0806366296**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## **HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul :

### **ANALISIS PENGARUH BEBAN HARMONISA ( LAMPU HEMAT ENERGI ) TERHADAP PENGHANTAR**

yang dibuat untuk melengkapi sebagai persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia , sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan ataupun duplikasi dari Skripsi yang telah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di lingkungan Universitas Indonesia maupun di perguruan tinggi atau instansi manapun , kecuali pada bagian dimana sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok , Desember 2010

Reza Perkasa Alamsyah

0806366296

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Reza Perkasa Alamsyah  
N P M : 0806366296  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Beban Harmonisa  
(Lampu Hemat Energi ) terhadap Penghantar

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Aji Nurwidiyanto ST, MT (  )  
Penguji : Prof.Dr.Iwa Garniwa M.K,MT (  )  
Penguji : Prof.Dr.Rudy Setiabudy (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 28-Desember-2010

## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Aji Nur Widyanto S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua tercinta, kakak-kakak dan keluarga besar yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Sivitas akademika Departemen Teknik Elektro khususnya Dosen Teknik listrik.
- (4) Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, teman-teman asisten Lab.Pengukuran dan Instrumentasi , Teknisi lab.Bapak Sudarman , Helper dan yang lainnya tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

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

Nama : Reza Perkasa Alamsyah  
NPM : 0806366296  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISIS PENGARUH BEBAN HARMONISA  
( LAMPU HEMAT ENERGI ) TERHADAP PENGHANTAR**

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 memublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari 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 : Desember 2010

Yang menyatakan

( Reza Perkasa Alamsyah )

## ABSTRAK

Nama : Reza Perkasa Alamsyah  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Analisis Pengaruh Beban Harmonisa (Lampu Hemat Energi) terhadap penghantar

Lampu Hemat Energi ( LHE ) memiliki efisiensi yang tinggi , akan tetapi LHE menghasilkan distorsi Harmonisa yang cukup besar yang disebabkan oleh karakteritik kerja ballast elektronik . Distorsi harmonisa ini dapat menyebabkan beberapa kerugian pada sistem instalasi listrik diantaranya dapat menyebabkan rugi-rugi pada penghantar listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban harmonisa terhadap rugi-rugi dari penghantar Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap kabel NYM 2 x1.5 mm<sup>2</sup> yang digunakan sebagai penghantar untuk Lampu Hemat Energi ( LHE ) sebagai beban harmonisa. Variasi distorsi harmonisa bertujuan untuk menganalisis kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan beban dan pengaruhnya terhadap penghantar . Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa beban harmonisa berpengaruh terhadap terhadap persentase rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar akibat adanya arus harmonisa. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa distorsi harmonik yang ditimbulkan oleh LHE mempengaruhi kontribusi rugi-rugi pada penghantar.

**Kata kunci : Distorsi Harmonisa , Penghantar , Lampu Hemat Energi.**

## ABSTRACT

Name : Reza Perkasa Alamsyah  
Program Study : Electrical Engineering  
Title : Analisis Harmonic loads Effect on Conductor

Fluorescent lamps have a good efficiency .Otherwise fluorescent lamps produce Harmonic Distortion cause working of electronic ballast in this lamps. Effect of this Harmonic Distortion make some losses in electrical installation such as losses in conductor. This research used Cable NYM 2 x1.5 mm<sup>2</sup> as a conductor for harmonic loads ( LHE ). Variation of Harmonic Distortion used to find losses contribute produce by harmonic loads and the effects to conductor.From this research know that harmonic distortion produce by LHE contribute in losses in electrical circuit ( conductor / cable ) .

**Key words :**

**Harmonic Distorsion , Conductor , Flourescent Lamp**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Skripsi.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penghantar / Kabel Instalasi rumah .....	5
2.1.1 Perbedaan Penghantar Tembaga dan Alumunium.....	5
2.1.2 Bagian-bagian Penghantar / Kabel listrik NYM.....	7
2.2 Harmonisa .....	7
2.2.1 Pengertian Harmonisa.....	10
2.2.2 Sumber Harmonisa.....	11
2.2.3 Istilah-istilah yang terdapat dalam Harmonisa.....	13
2.3 Efek Harmonisa Terhadap Penghantar.....	16
2.4 Kabel NYM 2x1.5mm <sup>2</sup> sebagai penghantar.....	19
2.5 Lampu Hemat Energi sebagai sumber beban harmonisa.....	20
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Rangkaian Pengujian .....	23
3.2 Langkah-langkah pengujian Beban Harmonisa .....	25
3.2.1 Daftar perlatan yang digunakan dalam penelitian.....	25
3.2.2 Pengujian dengan variasi nilai total harmonik distorsi .....	26
3.2.3 Langkah – langkah Pengujian.....	26
3.3 Data Hasil Pengujian.....	28
3.3.1 Data Hasil Pengujian variasi THD-F.....	28
3.3.2 Data Hasil Pengujian Harmonisa Lampu A.....	28
3.3.3 Data Hasil Pengujian Harmonisa Lampu B.....	29

<b>BAB 4 ANALISA DATA.....</b>	<b>30</b>
4.1 Perhitungan rugi-rugi penghantar.....	30
4.1.1 Perhitungan Arus Harmonisa total.....	30
4.1.2 Perhitungan rugi-rugi pada penghantar/kabel.....	40
4.2 Analisa rugi-rugi pada Penghantar /Kabel .....	51
4.3 Perbandingan kontribusi nilai Total Harmonic Distorsi (THD-F) terhadap rugi-rugi penghantar.....	53
4.4 Perbandingan kontribusi Variasi nilai THD terhadap rugi-rugi Penghantar pada 2 jenis Lampu Hemat Energi yang berbeda.....	57
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>62</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>63</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi kabel NYM.....	8
Gambar 2.2	Bentuk gelombang yang terdistorsi akibat harmonisa ganjil.	11
Gambar 2.3	Penjumlahan gelombang fundamental dengan harmonisa.....	12
Gambar 2.4	Spektrum Harmonisa .....	15
Gambar 2.5	NYM 2x1.5 mm <sup>2</sup> .....	20
Gambar 2.6	Lampu Hemat Energi .....	21
Gambar 2.7	Lampu Sorot.....	21
Gambar 3.1	Rangkaian Pengujian lampu Hemat energi .....	23
Gambar 3.2	<i>Harmonic Analyzer</i> .....	26
Gambar 3.3	Pengukuran arus pada penghantar .....	27
Gambar 4.1	Rangkaian satu garis pembebanan terhadap LHE .....	30
Gambar 4.2	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 1.82% ....	32
Gambar 4.3	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 4.25% ....	33
Gambar 4.4	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 7.05% ....	34
Gambar 4.5	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 17.34% ..	35
Gambar 4.6	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 27.10% ..	36
Gambar 4.7	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 37.03% ..	37
Gambar 4.8	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 43.76% ..	37
Gambar 4.9	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 58.42% ..	38
Gambar 4.10	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 66.72% ..	38
Gambar 4.11	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 66.72% ..	38
Gambar 4.12	Spektrum Harmonisa untuk beban dengan THD-F 78.56% ..	39
Gambar 4.13	Pengaruh Frekuensi Harmonisa terhadap Kse dan Kpe. ....	52
Gambar 4.14	Pengaruh rugi-rugi pada penghantar terhadap variasi THD ..	53
Gambar 4.15	Pengaruh rugi-rugi pada penghantar terhadap variasi THD ..	54
Gambar 4.16	Kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar terhadap nilai variasi THD-F.....	56
Gambar 4.17	Spektrum Harmonisa untuk lampu A pada 2buah lampu .....	57
Gambar 4.18	Spektrum Harmonisa untuk lampu B pada 2buah lampu .....	58
Gambar 4.19	Perbandingan kontribusi rugi-rugi penghantar pada lampu A dan lampu B.....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Tembaga dan Alluminium.....	5
Tabel 2.2	Frekuensi Fundamental dan kelipantanya.....	10
Tabel 3.1	Konstruksi Mekanis Kabel NYM 2 inti.....	24
Tabel 3.2	Konstruksi Elektris Kabel NYM 2 inti.....	24
Tabel 3.3	Daftar Peralatan yang digunakan.....	25
Tabel 3.4	Hasil Pengujian Variasi THD.....	28
Tabel 3.5	Hasil Pengujian Beban Harmonisa untuk Lampu A.....	29
Tabel 3.6	Hasil Pengujian Beban Harmonisa untuk Lampu B.....	29
Tabel 4.1	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 1.82%.....	32
Tabel 4.2	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 4.25%.....	33
Tabel 4.3	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 7.05%.....	33
Tabel 4.4	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 11.23%.....	34
Tabel 4.5	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 17.34%.....	35
Tabel 4.6	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 27.10%.....	35
Tabel 4.7	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 37.03%.....	36
Tabel 4.8	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 43.76%.....	37
Tabel 4.9	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 58.42%.....	37
Tabel 4.10	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 66.72%.....	38
Tabel 4.11	Orde Harmonisa untuk beban THD-F 78.56%.....	39
Tabel 4.12	Perhitungan peningkatana tahanan Iac akibat harmonisa.....	42
Tabel 4.13	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 43.57% .	43
Tabel 4.14	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 1.82% ...	44
Tabel 4.15	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 4.25% ...	45
Tabel 4.16	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 7.05% ...	45
Tabel 4.17	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 11.23% .	46
Tabel 4.18	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 17.34% .	46
Tabel 4.19	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 27.10% .	47
Tabel 4.20	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 37.03% .	48
Tabel 4.21	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 43.75% .	48
Tabel 4.22	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 58.42% .	49
Tabel 4.23	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 66.72% .	49
Tabel 4.24	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 78.56% .	50
Tabel 4.25	Kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar THD .	55
Tabel 4.26	Orde Harmonisa untuk beban lampu A pada 2 buah lampu ..	57
Tabel 4.27	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar pada 2 buah lampu...	58
Tabel 4.28	Orde Harmonisa untuk beban lampu B pada 2 buah lampu...	58
Tabel 4.29	Perhitungan rugi-rugi pada penghantar pada 2 buah lampu...	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kabel sebagai penghantar berperan sangat penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik mulai dari pembangkit, sistem transmisi, distribusi sampai ke konsumen listrik (perumahan). Oleh karena itu kabel harus mampu mengalirkan arus listrik secara konstan dengan rugi-rugi yang diakibatkan seminimal mungkin.

Krisis energi listrik yang melanda Indonesia menyebabkan beberapa persoalan dalam bidang ketanaga listrikan, hal ini dikarenakan daya terpasang dari produsen listrik (PLN) sudah hampir tidak mencukupi memikul beban puncak sehingga terkadang dilakukan pemadaman bergilir. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi krisis energi selain dengan pemadaman bergilir adalah dengan membangun pembangkit baru baik dalam skala besar ( seperti PLTA ) maupun dalam skala kecil ( seperti PLTMH ) serta melakukan peningkatan efisiensi dari peralatan yang digunakan oleh para konsumen.

Beban puncak terjadi pada waktu sekitar pukul 17:00 – 21.00 dimana salah satu beban yang umumnya digunakan pada waktu tersebut adalah beban penerangan pada jenis pelanggan rumah tangga. Salah satu upaya yang dilakukan oleh Produsen Listrik ( PLN ) bekerjasama dengan pemerintah dan pihak swasta ( Produsen Lampu ) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada sektor penggunaan listrik rumah tangga adalah dengan merancang program penggunaan lampu hemat energi menggantikan lampu pijar.

Lampu hemat energi yang digunakan adalah jenis lampu *flouresence* yang menggunakan ballast elektronik sebagai pembatas arus. Ballast elektronik mempunyai tingkat efisiensi yang baik karena perbandingan daya yang diserap dengan cahaya yang dihasilkan cukup baik ( lumen/watt ) sehingga hal ini menyebabkan penggunaan lampu hemat energi bisa meningkatkan efisiensi . Akan tetapi lampu hemat energi mempunyai beberapa karakteristik diantaranya adalah dihasilkannya distorsi harmonisa arus dan tegangan.

Harmonisa arus dan tegangan yang dihasilkan oleh lampu hemat energi memberikan permasalahan baru dalam sistem tenaga listrik diantaranya peningkatan rugi-rugi pada saluran penghantar , rugi-rugi ini disebabkan oleh meningkatnya arus rms dan meningkatnya tahanan penghantar akibat frekuensi harmonisa yang lebih tinggi dari frekuensi fundamental dimana efek yang ditimbulkan dikenal sebagai efek kulit ( *skin effect* ) dan efek kedekatan ( *proximity effect* ) .

Dalam tulisan ini dilakukan pengukuran tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh beberapa lampu hemat energi serta perpaduan dengan lampu sorot dan dilakukan analisa terhadap rugi-rugi yang dihasilkan pada penghantar ( kabel instalasi ) supaya diketahui kontribusi rugi-rugi akibat lampu hemat energi terhadap rugi-rugi penghantar.

## **1.2 Tujuan Skripsi**

Tujuan dari skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Mengukur tingkat distorsi harmonisa yang dihasilkan oleh lampu hemat energi ( LHE ) .
2. Menghitung rugi-rugi yang dihasilkan oleh harmonisa lampu hemat energi dan pengaruhnya terhadap penghantar.
3. Menganalisa pengaruh dari distorsi harmonisa lampu hemat energi terhadap rugi-rugi penghantar ( kabel ) .

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan dari permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini diantaranya :

1. Pada percobaan ini pengukuran harmonisa dilakukan terhadap lampu hemat energi serta perpaduan dengan lampu sorot untuk menghasilkan distorsi harmonisa yang berbeda.
2. Standar yang digunakan untuk perhitungan tingkat harmonisa adalah standar IEEE 519-1992.

3. Pengukuran rugi-rugi harmonisa lampu hemat energi hanya dilakukan untuk penghantar yang digunakan pada konsumen perumahan dalam skripsi ini menggunakan kabel NYM 2 x 1.5 mm<sup>2</sup> dan tidak mencakup ke penghantar jaringan serta trafo distribusi .
4. Analisa pengaruh harmonisa yang disebabkan oleh lampu hemat energi didasarkan pada metode perancangan untuk mensimulasikan tingkat pembebanan.

#### **1.4 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan Skripsi ini dibagi dalam beberapa bab, dengan susunan sebagai berikut :

BAB I menjelaskan tentang latar belakang , maksud dan tujuan penulisan pembatasan masalah , sistematika penulisan dan metode penelitian skripsi dan disambung ke BAB II yang merupakan landasan teori dimana penulis membahas mengenai beberapa teori dasar yang mendukung dalam penyusunan skripsi ini antara lain menjelaskan tentang pengertian harmonisa , istilah-istilah tentang harmonisa beserta formulasi yang digunakan untuk melakukan analisa data , selanjutnya di BAB III mengenai perancangan sistem dimana pada bab ini menjelaskan tentang cara perancangan untuk melakukan penelitian terhadap sistem yang akan di analisa serta langkah-langkah percobaannya dan seterusnya pada BAB IV adalah analisa data yang merupakan hasil data yang diperoleh dari perancangan sistem yang telah dilakukan serta menuliskan tentang hasil dan analisa pengujian dan terakhir pada BAB V yaitu penutup yang berisi tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian pada skripsi ini.

#### **1.5 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan laporan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

Pertama dengan melakukan Studi Kepustakaan dimana dalam hal ini dilakukan pengumpulan data-data melalui buku, jurnal dan e-Book yang berkaitan dengan pembuatan Skripsi ini , selanjutnya dilakukan Studi Observasi yang

merupakan metode pencarian informasi dan sejalan dengan studi Konsultasi dan Diskusi secara langsung kepada dosen pembimbing , dosen pengajar , serta orang-orang yang memahami dan berkompeten yang berkaitan dengan pembuatan Skripsi ini dan terakhir yaitu dengan melakukan studi Penelitian dan Pengambilan data yang merupakan dengan cara melakukan penelitian di laboratorium dengan mengambil data dari karakteristik listrik termasuk tingkat harmonisa pada lampu hemat energi serta perpaduan antara lampu hemat energi dengan lampu sorot.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Penghantar / Kabel pada Instalasi Rumah

##### 2.1.1 Perbedaan Penghantar Tembaga dan Alumunium <sup>[1]</sup>

Sistem penyaluran tenaga listrik dimulai dari pembangkitan , transmisi hingga distribusi ke konsumen listrik di perumahan. Pada instalasi perumahan pada umumnya menggunakan kabel tembaga berinti tunggal serta berisolasi.

Secara garis besar penghantar terdiri dari 2 ( dua ) jenis material yang secara komersial cocok dan banyak diperlukan untuk keperluan penghantar/kabel yaitu tembaga (Cu) dan Alumunium (Al) . Tabel 2.1 dibawah ini memberikan beberapa perbandingan dari kedua material tersebut :

Tabel 2.1 : Spesifikasi Umum Tembaga dan Alumunium

No	Perbandingan	Copper	Allumunium	Units
1	<i>Electrical Conductivity</i>	101	61	% IACS
2	<i>Electrical Resistivity</i>	1.72	2.83	$\mu \Omega \text{ cm}$
3	<i>Temperature coefficient of resistance</i>	0.0039	0.004	$^{\circ}\text{C}$
4	<i>Thermal Conductivity at 20 <math>^{\circ}\text{C}</math></i>	397	230	W/mK
5	<i>Coefficient of expansion</i>	$17 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$^{\circ}\text{C}$
6	<i>Tensile Strenght</i>	200 - 250	50 - 60	N/mm <sup>2</sup>
7	<i>Elastic Modulus</i>	118 - 130	70	N/mm <sup>2</sup>
8	<i>Specific Heat</i>	385	900	J/Kg K
9	<i>Density</i>	8.91	2.7	g/cm <sup>3</sup>

Dari Tabel 2.1 diatas dapat dilihat bahwa untuk kekuatan dan penghantaran arus yang tinggi maka tembaga lebih baik dari pada alluminium . Kekurangan tembaga adalah kerapatannya sebesar  $8.91 \text{ g/cm}^3$  sehingga jauh lebih *solid* atau lebih berat persatuan volumenya dibandingkan dengan alluminium yang hanya  $2.7 \text{ g/cm}^3$  dengan demikian untuk volume yang sama tembaga mempunyai berat lebih dari 3 ( tiga ) kali lipat dari berat penghantar alluminium.

Untuk menyalurkan arus listrik yang sama besarnya maka konduktor dengan material alluminium tetap akan lebih ringan dibandingkan dengan tembaga meskipun untuk itu konduktor alluminium akan mempunyai diameter lebih besar dari pada tembaga . Selain dari masalah berat yang mendapatkan perhatian maka yang lebih penting adalah masalah jarak antar fasa terutama apabila konduktor menghantarkan jumlah arus yang besar karena biasanya tekanan elektromagnetis lebih kuat dibandingkan dengan tekanan ( *stress* ) karena berat materialnya. Harus disadari bahwa titik lebur tembaga lebih tinggi dari pada alluminium sehingga tembaga dapat dipakai pada temperatur operasional yang lebih tinggi.

Kemampuan tembaga (Cu) untuk menahan panas dan tekanan elektromagnetis akibat pembeban yang berlebihan juga merupakan suatu pertimbangan dari segi keamanan . Faktor lain yang menjadi pertimbangan adalah biaya isolasi yang lebih besar untuk alluminium. Karena untuk menghantarkan arus yang sama diameter konduktor alluminium lebih besar daripada tembaga sehingga luas permukaan jadi lebih besar yang menyebabkan biaya isolasi juga semakin meningkat.

Titik cair yang tinggi dari tembaga (Cu) serta daya hantar arus listrik yang tinggi mengurangi kemungkinan kerusakan yang disebabkan oleh pemanasan titik ( *hot spot* ) atau lompatan api ( *flash over* ) yang tiba-tiba saat pengoperasian. Apabila terjadi pemanasan yang sangat tinggi maka tembaga akan diuapkan , oleh karena itu tembaga pada umumnya dapat

menahan pembakaran apabila terjadi penyalaan ( api ) yang tiba-tiba. Panas yang berlebihan akan menyebabkan pemanasan terhadap material-material sekelilingnya , udara , dan peralatan lainnya . Oleh sebab itu makanya pada instalasi perumahan dan industri menggunakan penghantar/kabel dari tembaga dari pada yang terbuat dari alumunium dan pada skripsi ini dilakukan pengujian pada Kabel NYM 2x1.5 mm<sup>2</sup>.

Dengan berbagai macam kelebihan dan kekurangannya maka tembaga dalam bidang kelistrikan biasanya digunakan untuk bermacam keperluan seperti :

- Sebagai penghantar/kabel , karena tembaga termasuk logam yang mempunyai konduktivitas tinggi selain perak
- Dalam industri kelistrikan digunakan sebagai belitan stator dan rotor mesin listrik , lilitan transformer , kontak-kontak listrik , batangan tembaga untuk bus-bar , aplikasi kabel daya dan kabel kontrol serta kabel telepon.
- Untuk penggunaan khusus yang bekerja pada temperatur tinggi , misalnya pemegang elektroda mesin las , tungku pembakaran busur api diperlukan tembaga dengan campuran dari bahan kadmium.
- Campuran-campuran logam pada tembaga diperlukan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis tembaga yaitu kekuatan tarik (*tensile strenght*) dan ketahanan terhadap temperatur tinggi dan korosi.

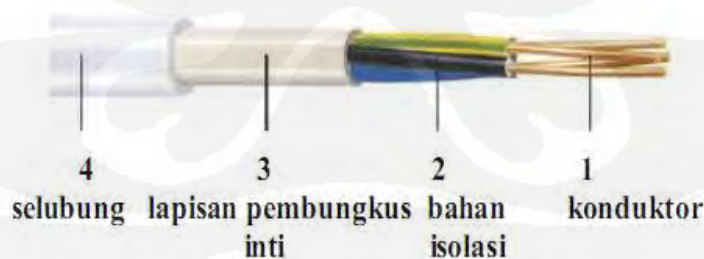
### **2.1.2 Bagian – Bagian Penghantar / Kabel Listrik NYM**

Kabel NYM merupakan kabel yang paling banyak digunakan untuk instalasi rumah tinggal. Pemasangan dari kabel tersebut dalam instalasi biasanya langsung diletakkan pada plafon rumah ( *instalasi inbow* ) yang instalasi seperti ini umum digunakan dan lebih mudah serta tidak perlu memperhatikan nilai keindahan dan yang kedua dengan instalasi dengan menggunakan conduit atau pipa dan kabel tersebut dimasukkan kedalam pipa/conduit ( *instalasi outbow* ) dalam hal ini selain pemasangannya

memerlukan tingkat ketelitian yang dalam serta harus memperhatikan nilai-nilai keindahan karena instalasi tersebut menempel pada permukaan dinding, instalasi ini biasa digunakan untuk instalasi yang bersifat sementara. Untuk penyambungan antar kabel dalam instalasi tersebut digunakan klem dan kotak sambungan (*junction box*).

Luas penampang yang digunakan ditentukan dari kemampuan hantar arus yang diperlukan untuk mensuplai beban dan memperhatikan rugi tegangan yang terjadi pada penghantar. Rugi – rugi yang diakibatkan oleh penghantar dari kabel mulai dari Panel Hubung Bagi ( PHB ) sampai dengan titik sambungan beban pada keadaan stationer sampai keadaan beban penuh (*full load*) tidak diperbolehkan lebih dari 5% dari PHB<sup>[6]</sup>. Untuk saluran 2 kawat ( Fasa – Netral ) dimana luas penampang kawat penghantar Fasa harus sama besar dengan luas penampang Netral. Untuk saluran 3Fasa dengan hantaran netral , kemampuan hantar arusnya harus sesuai dengan arus maksimum saat terjadi keadaan beban tidak setimbang yang mungkin timbul saat melakukan *start* ( lonjakan arus start ) . Dalam saluran 3Fasa semua kawat phasanya harus memiliki luas penampang yang sama sedangkan untuk kawat netral tidak harus sama dengan luas penampang dari kawat fasa minimal 70% dari luas penampang kawat fasa.

Adapun bagian – bagian dari kabel NYM tersebut adalah :



Gambar 2.1 : Konstruksi kabel NYM <sup>[2]</sup>

### 1. **Konduktor**

Merupakan bagian dari kabel yang bertegangan dan berfungsi untuk menyalurkan arus listrik ke beban yang berupa kawat pejal yang terbuat dari bahan berupa tembaga dan bentuk penampangnya bulat tanpa rongga.

### 2. **Bahan Isolasi**

Isolasi dari suatu kabel berfungsi untuk menahan tekanan listrik sehingga arus listrik tidak bocor kemana-mana ( tempat kembalinya arus listrik dari beban ke suplay ) . Terdapat beberapa bahan isolasi yang dikelompokkan kedalam bahan isolasi cair , padat dan gas . Untuk kabel NYM memiliki isolasi padat.

### 3. **Lapisan Pembungkus Inti**

Untuk tegangan kerja yang tinggi setiap inti dari kabel memiliki pembungkus yang dinamakan dengan pembungkus inti yang terbuat dari bahan semikonduktif. Lapisan ini berfungsi untuk meratakan distribusi medan listrik sehingga tidak terjadi penumpukan tegangan. Untuk mengamankan manusia dari bahaya listrik dan untuk menahan radiasi gelombang elektromagnetik.

### 4. **Selubung ( *Shealded* )**

Lapisan ini berfungsi untuk melindungi inti kabel dari pengaruh luar , perlindungan terhadap bahaya mekanis , bahaya listrik dan bahaya korosif dari lingkungan penghantar maupun dari bahaya masuknya air dan tekanan uap kedalam inti sehingga meminimalisir terjadinya gangguan. Bahan yang digunakan adalah untuk selubung biasanya digunakan bahan yang terbuat dari bahan sintesis seperti PVC, karet dan silikon serta juga ada dari bahan logam lainnya yaitu Tembaga (Cu) dan Alumunium (Al).

## 2.2 Harmonisa <sup>[3]</sup>

### 2.2.1. Pengertian Harmonisa

Sistem tenaga listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50Hz atau 60Hz. Akan tetapi pada aplikasinya beberapa beban menyebabkan munculnya arus/tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan 50/60Hz. Frekuensi 50/60Hz disebut dengan frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut frekuensi harmonisa, seperti ditunjukkan dalam tabel 2.2.

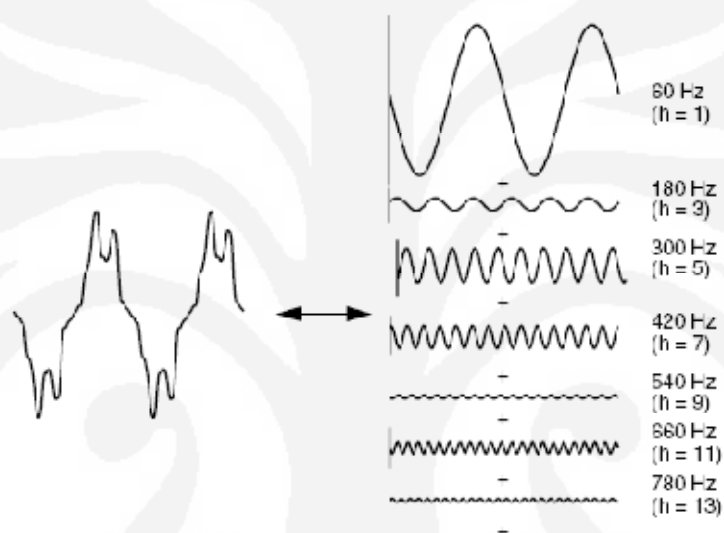
Tabel 2.2 : Frekuensi fundamental dan kelipatannya

Frekuensi (Hz)	Istilah
50	Frekuensi Fundamental
100	Harmonisa Kedua
150	Harmonisa Ketiga
200	Harmonisa Keempat
250	Harmonisa Kelima
Dan seterusnya	Dan seterusnya

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. 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 atau orde harmonisa. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang

murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya.

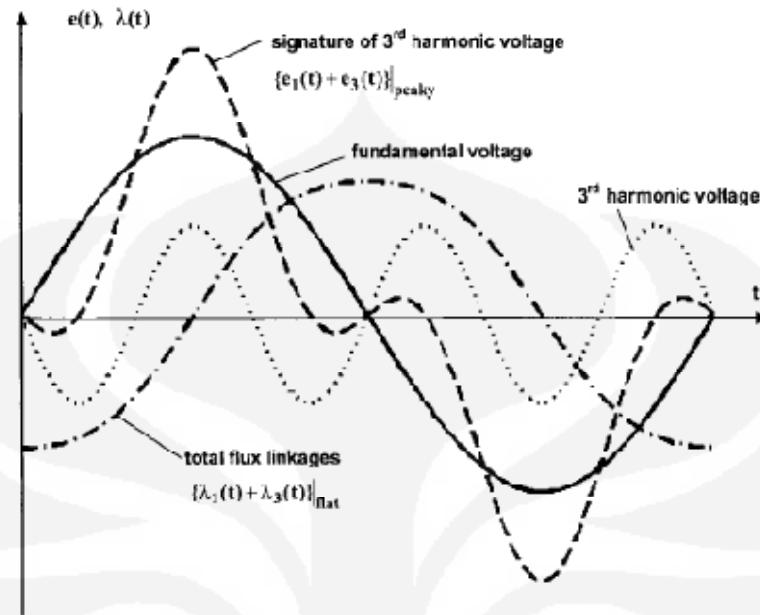
Harmonisa urutan genap biasanya memiliki *Root Mean Square* (RMS) yang lebih kecil dibandingkan dengan harmonisa urutan ganjil. Jumlah antara frekuensi fundamental dan kelipatannya, akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinus murni, tetapi mengalami distorsi.



Gambar 2.2 Bentuk gelombang yang terdistorsi akibat harmonisa ganjil

### 2.2.2 Sumber Harmonisa<sup>[4]</sup>

Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor, 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.



Gambar 2.3 Penjumlahan gelombang fundamental dengan harmonisa ke-3

Pada gambar 2.2, menunjukkan sebuah gelombang sinus yang terdistorsi akibat adanya harmonik pertama, ketiga, kelima, ketujuh, dan seterusnya. Nampak bahwa bentuk gelombang berubah sama sekali dari bentuk sebuah gelombang sinus. Hal ini akan menyebabkan perubahan pada nilai besaran-besaran gelombang tersebut (misalnya nilai *rms*). Sedangkan pada gambar 2.3, terlihat penjumlahan gelombang fundamental dengan harmonisa ke-3, menghasilkan amplitude yang lebih besar.

Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonisa antara lain power suplay, komputer, printer, lampu fluorescent yang menggunakan elektronik ballast( lampu hemat energi ), power elektronik (Thyristor), dan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor atau elektronika daya sebagai rangkaian pengendali motor listrik.

Peralatan ini dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semi konduktornya selama periode pengaturan yang telah ditentukan. Namun



disisi lain hal ini akan menyebabkan gelombang mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik. Fenomena ini akan menimbulkan gangguan beban tidak linier satu phase. Hal di atas banyak terjadi pada distribusi yang memasok pada areal perkantoran/komersial. Sedangkan pada areal perindustrian gangguan yang terjadi adalah beban non linier tiga phase yang disebabkan oleh motor listrik, kontrol kecepatan motor, batere charger, electroplating, dapur busur listrik, dan lain-lain. Peralatan ini banyak menggunakan dioda, *silicon controlled rectifier* (SCR), transistor dan lain-lain.

### 2.2.3 Istilah-istilah yang terdapat dalam Harmonisa.<sup>[4]</sup>

#### 1. Komponen Harmonisa

Komponen harmonisa adalah gelombang yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan asli terhadap frekuensi dasar ( frekuensi fundamental ).

#### 2. Orde Harmonisa

Orde Harmonisa adalah perbandingan frekuensi harmonic dan frekuensi dasar

$$n = \frac{F_n}{F} \quad \text{..... (2-1)}$$

n : Orde Harmonisa

$F_n$  : Frekuensi ke-n

F : Frekuensi Fundamental ( 50Hz )

#### 3. Distorsi Harmonisa ( Total Harmonik Distorsi = THD )

Distorsi Harmonisa adalah besarnya distorsi yang ditimbulkan oleh semua komponen Harmonisa.

*Total Harmonic Distortion* (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai RMS dari fundamental, biasanya dinyatakan dalam persen (%). Nilai dari THD ini digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang

periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai dari THD adalah bernilai 0%. Untuk mencari nilai THD untuk tegangan dan arus dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

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

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2-3)$$

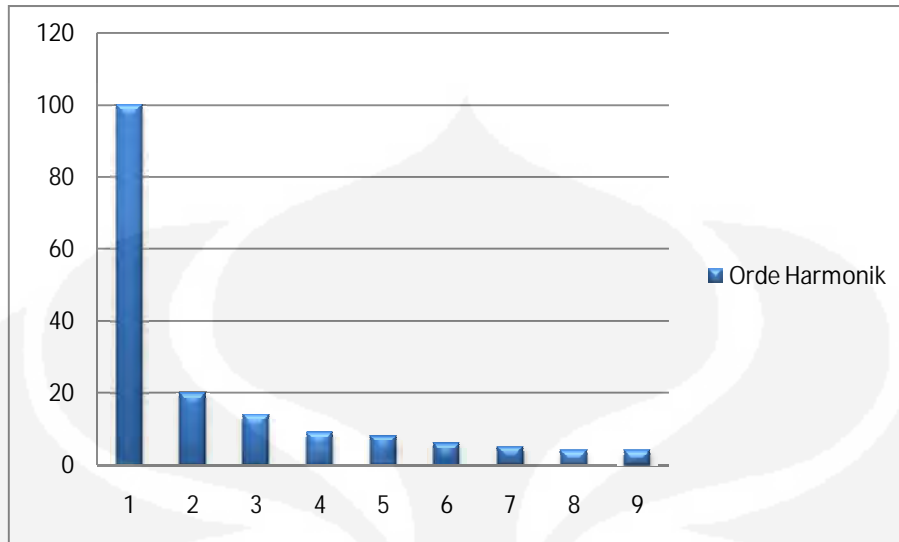
Keterangan:

- $V_n$  : Nilai tegangan harmonisa (V)
- $V_1$  : Nilai fundamental (V)
- $I_n$  : Nilai arus harmonisa (A)
- $I_1$  : Nilai fundamental (A)
- $n$  : Komponen harmonisa maksimum yang diamati

#### 4. Spektrum Harmonisa

Spektrum Harmonisa adalah distribusi dari semua amplitude komponen harmonisa sebagai fungsi dari harmonisanya

Spektrum harmonisa juga dapat diartikan sebagai distribusi semua amplitudo komponen harmonisa sebagai fungsi orde harmonisanya dan diilustrasikan menggunakan histogram. Gambar di bawah ini merupakan contoh spektrum harmonisa. Dari gambar tersebut dapat dikatakan bahwa spektrum merupakan perbandingan arus atau tegangan frekuensi harmonisa terhadap arus atau tegangan frekuensi dasar.



Gambar 2.4 Spektrum Harmonisa

### 5. Nilai *Root Mean Square* (RMS)

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

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

Sedangkan untuk menghitung tegangan dan arus atau  $V_{RMS}$  adalah :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai  $I_{RMS}$  adalah :

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2} \dots\dots\dots (2-10)$$

### 2.3 Efek Harmonisa Terhadap Penghantar <sup>[4]</sup>.

Pada sistem distribusi arus listrik, penghantar/kabel merupakan sarana yang sangat dibutuhkan. Adanya gangguan harmonisa dalam suatu distribusi arus sangatlah merugikan berdasarkan persamaan  $I^2R$  dapat didefinisikan bahwa nilai arus ( $I$ ) akan menjadi lebih besar, sedangkan untuk tahanan ( $R$ ) dapat dibedakan menjadi nilai tahanan arus searah ( $R_{DC}$ ), efek kulit penghantar (*Skin effect*) dan efek dari kedekatan penghantar (*Proximity effect*)

#### a. Efek Kulit (*Skin effect*)

*Skin effect* merupakan akibat dari adanya distribusi arus dipermukaan lebih besar daripada yang ada di dalam penghantar yang mengakibatkan tahanan efektif sistem meningkat. Hal yang mempengaruhi kenaikan dari *skin effect* ini adalah kenaikan frekuensi dan diameter penghantar yang digunakan dalam system distribusi arus listrik.

#### b. Efek Kedekatan (*Proximity effect*)

*Proximity effect* disebabkan oleh adanya medan magnet penghantar mengganggu distribusi arus pada penghantar-penghantar yang berdekatan.

Pengaruh harmonisa terhadap tahanan dapat dijelaskan sebagai berikut, harmonisa memiliki frekuensi kelipatan dan frekuensi fundamental.

Frekuensi harmonisa ini mempengaruhi besarnya tahanan arus bolak-balik ( $R_{AC}$ ), akibat efek kulit penghantar (*Skin effect*) dan efek dari kedekatan penghantar (*Proximity effect*). Sehingga rasio perbandingan antara tahanan arus searah dengan tahanan arus bolak-balik yang dilambangkan  $k_c$  dapat diperoleh dari persamaan berikut ini,

$$k_c = \frac{R_{ac}}{R_{dc}} = 1 + k_{SE} + k_{PE} \dots\dots\dots (2-11)$$

dimana :

$k_c$  : Rasio perbandingan  $R_{dc}$  dengan  $R_{ac}$

$R_{ac}$  : Tahanan penghantar – isolasi sebelum dialiri arus bolak-balik

$R_{dc}$  : Tahanan penghantar – isolasi setelah dialiri arus bolak-balik

$k_{SE}$  : Penambahan tahanan akibat *Skin effect*

$k_{PE}$  : Penambahan tahanan akibat *Proximity effect*

$R_h$  : Tahanan Harmonisa

Letak aliran arus pada suatu penghantar dipengaruhi oleh besarnya frekuensi, semakin besar frekuensi yang di terapkan maka aliran arus akan semakin mendekati permukaan atau menjauh dari pusat penampang penghantar tersebut. Parameter efek kulit (*Skin effect*) diperoleh sebagai fungsi dari frekuensi dan tahanan arus searah dengan persamaan sebagai berikut :

$$x = 0,027678 \sqrt{\frac{f \cdot \mu}{R_{dc}}} \dots\dots\dots (2-12)$$

Dimana :

- X : Parameter efek kulit  
 F : frekuensi (Hz)  
 $\mu$  : permeabilitas magnet dari konduktor  
 Rdc : tahanan konduktor setelah dialiri arus

Penambahan nilai tahanan akibat efek kulit ( $k_{SE}$ ) merupakan fungsi nonlinier dari parameter  $x$  tersebut. Suatu metode pendekatan kurva dilakukan untuk mendapatkan perhitungan  $k_{SE}$  sehingga didapatkan persamaan orde 5 sebagai berikut, dengan  $x \leq 2$ .

$$k_{SE} = 10^{-3}(-1,04x^5 + 8,24x^4 - 3,24x^3 + 1,447x^2 - 0,2764x + 0,0166) \dots (2-13)$$

Untuk  $2 < x \leq 10$  berlaku :

$$k_{SE} = 10^{-3}(-0,2x^5 + 6,616x^4 - 83,345x^3 + 500x^2 - 1061,9x + 769,63) \dots (2-14)$$

Sedangkan nilai  $k_{PE}$  yang merupakan suatu harga penambahan nilai tahanan akibat efek kedekatan (*Proximity effect*) dari persamaan :

$$k_{PE} = k_{SE} \sigma^2 \left[ \frac{1,18}{k_{SE} + 0,27} + 0,312\sigma^2 \right] \dots (2-15)$$

Dengan  $\sigma$  adalah perbandingan antara diameter penghantar dengan jarak antar penghantar. Setelah didapat nilai  $k_{SE}$  dan  $k_{PE}$  maka didapat juga nilai Rac. Dengan demikian diperoleh nilai tahanan penghantar saat distorsi (Rh).

Rac = kc.Rdc dan Rh = Rdc + Rac, Sehingga,

$$Rh = Rdc.(kc+1) \dots (2-16)$$

$$P = I^2 \cdot Rh \dots (2-17)$$

## 2.4 Kabel NYM 2x1.5 mm<sup>2</sup> sebagai Penghantar.<sup>[6]</sup>

Sistem penyaluran tenaga listrik dimulai dari pembangkitan , transmisi , distribusi sampai ke konsumen listrik . Dalam tulisan ini akan dihitung pengaruh harmonisa yang dibangkitkan pada sisi pelanggan akibat penggunaan lampu hemat energi terhadap rugi-rugi sistem distribusi jaringan tegangan rendah pada penghantar / kabel instalasi rumah Pada dasarnya Jaringan Tegangan rendah ini menyangkut bagaimana tenaga listrik didistribusikan ke konsumen yang terdiri atas :

- Saluran udara / Kabel tegangan rendah.
- Sambungan rumah / instalasi rumah

Penghantar Jaringan tegangan rendah ( JTR ) terdiri dari dua macam yaitu :

- Penghantar telanjang dari alluminium campuran.
- Penghantar berisolasi dipilin dengan penghantar fasa alluminium dan penghantar netral alluminium campuran.

Penghantar sambungan rumah terdiri 3 macam yaitu :

- Penghantar berisolasi dipilin dengan penghantar netral bersiolasi.
- Penghantar tembaga telanjang dan kabel tanah.

Pada skripsi ini tidak membahas tentang pengaruh harmonisa pada Jaringan Tegangan Rendah ( JTR ) tetapi lebih fokus kepada pengaruh harmonisa terhadap penghantar / kabel instalasi rumah yaitu kabel **NYM 2 x 1.5 mm<sup>2</sup> 300/500 V SNI 04-2699-1992 ( SPLN 42-2 :1992)**.

Konstruksi kabel tersebut diatas yang umumnya digunakan di Indonesia adalah seperti terlihat pada gambar 2.5



Gambar.2.5 Konstruksi kabel NYM 2 x 1.5 mm<sup>2</sup><sup>[7]</sup>

Keterangan :

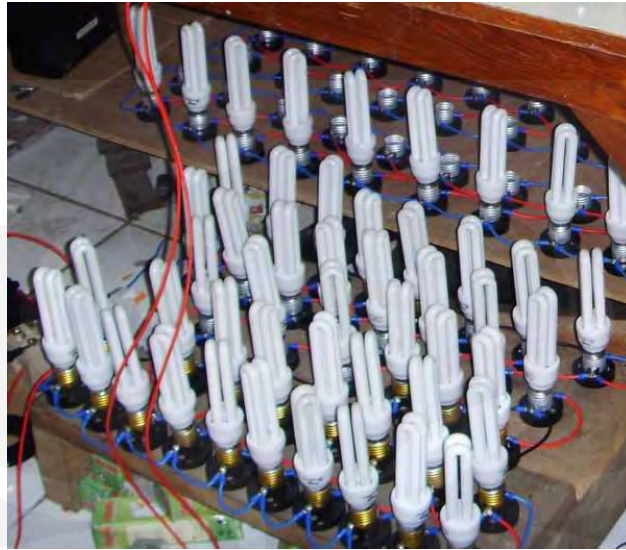
1. Konduktor
2. Isolasi Konduktor
3. Filler
4. Sheald

Penandaan kode pengenal dilengkapi dengan jumlah inti, luas penampang penghantar dan tegangan pengenal dengan penulisan lengkapnya adalah : **NYM 2x1.5mm<sup>2</sup> 300/500V rm SNI 04-2699-1992 PVC SPLN**. NYM 2x1.5mm<sup>2</sup> menyatakan kabel dengan isolasi PVC berinti 2 terdiri dari 1 kawat untuk phasa dan 1 kawat untuk netral tegangan pengenal 300/500 Volt , berpengantar tembaga yang dipilin bulat dengan luas penampang 1.5mm<sup>2</sup>

## 2.5 Lampu Hemat Energi sebagai Beban Harmonisa.<sup>[7]</sup>

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.





Gambar 2.6 : Lampu Hemat Energi ( LHE )



Gambar 2.7 : Lampu Spotlight ( LS )

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. Ballast ini mempunyai fungsi:

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

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya lampu hemat energi adalah lampu yang menggunakan ballast elektronik. Di bawah ini disebutkan beberapa keuntungan dari penggunaan dengan pemakaian ballast elektronik adalah:

- Start yang cepat tanpa kedip, dengan tidak menggunakan starter.
- Arusnya yang kecil, sehingga pemakaian dayanya hemat.
- Tidak menggunakan elektroda yang berkedip dan tidak berdengung (bising).
- Faktor daya rata-rata mendekati 0,85 sehingga tidak menggunakan kapasitor sebagai pengkoreksi faktor daya.

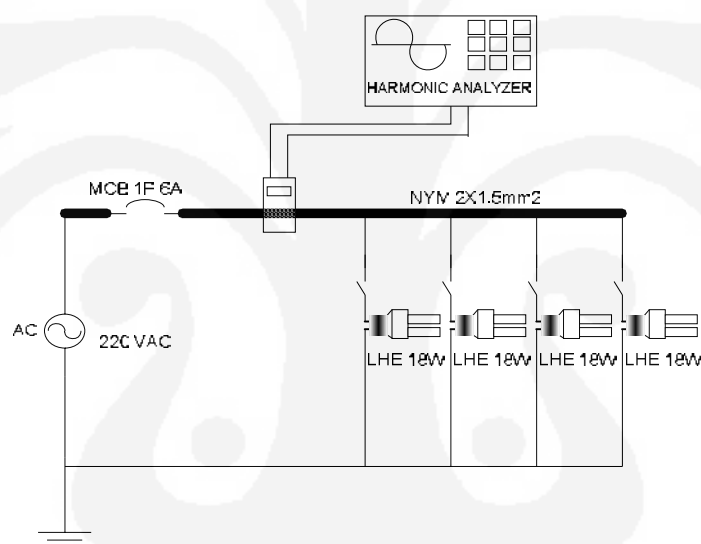
Oleh karena itu lampu tabung fluorescent menghasilkan tingkat penerangan yang sangat baik.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Rangkaian Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh beban harmonisa terhadap penghantar maka dilakukan perancangan sistem untuk melakukan pengujian dan melakukan pengukuran yaitu dengan memvariasikan nilai distorsi harmonisa ( THD-F ). Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengukuran Listrik, Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Adapun rangkaian pengujian seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 : Rangkaian Pengujian Lampu Hemat Energi ( LHE )

Gambar rangkaian 3.1 diatas merupakan rangkaian yang digunakan untuk melakukan pengujian dimana Lampu Hemat Energi ( LHE ) dipasang parallel terhadap sumber tegangan dan memvariasikan LHE dengan lampu sorot ( *spot light* ) untuk mendapatkan nilai THD-F .Dari hasil percobaan akan dianalisa tentang pengaruh dari variasi nilai THD-F tersebut terhadap penghantar yang digunakan.

Berdasarkan data yang diperoleh dari standar konstruksi PLN , dan katalog produk dari kabel NYM  $2 \times 1.5 \text{mm}^2$  yang mencakup spesifikasi mekanik dan elektrik dari konstruksi penghantar/kabel instalasi rumah dapat dilihat pada tabel 3.1 hingga tabel 3.2.

Tabel 3.1 : Konstruksi Mekanis kabel NYM 2 inti

NO of Cores	Size	Conductor		Insulation Thickness	Jacket Thickness	Aprrox Overall Dia	Aprrox Net weight	Standart Reel Length
		Construc tion	No of wire					
	$\text{mm}^2$	-	-	mm	mm	mm	kg/km	m
2	1.5	re (rm)	1(7)	0.7	1.2	10.0	112	500
	2.5	re (rm)	1(7)	0.8	1.2	11.5	152	500
	4	re (rm)	1(7)	0.8	1.2	13.0	206	500
	6	re (rm)	1(7)	0.8	1.2	13.7	263	500
	10	re (rm)	1(7)	1.0	1.4	17.1	426	500
	16	rm	7	1	1.4	20.0	632	500
	25	rm	7	1.2	1.4	24.0	943	500
	35	rm	7(19)	1.2	1.6	27.5	1300	500

Tabel 3.2 : Konstruksi Elektris kabel NYM 2 inti

NO of Cores	Size	Resistance at 20 °C		Current Carrying Capacity	Reactance per Conductor	Short Circuit current at 1 sec	Test Voltage
		Conductor	Insulation				
		DC Calculated	at 70 C	in air 30°C			
-	$\text{mm}^2$	Ohm/km	M.ohm.km	A	Ohm/Km	kA	kV/5 min
2	1.5	12.1	50	9	0.108	0.17	2
	2.5	7.41	50	15	0.104	0.29	2
	4	4.61	50	20	0.1	0.46	2
	6	3.08	50	26	0.094	0.70	2
	10	1.83	50	37	0.008	1.16	2
	16	1.15	40	49	0.093	1.86	2
	25	0.727	40	62	0.08	2.91	2
	35	0.524	40	80	0.077	4.07	2

### 3.2. Langkah – Langkah Pengujian Beban Harmonisa

#### 3.2.1 Daftar Peralatan yang Digunakan dalam Pengujian

Tabel berikut ini adalah daftar peralatan yang digunakan untuk pengujian yaitu:

Tabel 3.3 : Daftar Peralatan yang Digunakan

No	Nama Alat	Merek	Spesifikasi	Jumlah	
				Satuan	Unit
1	<i>Harmonic Analyzer</i>	HIOKI	9625 POWER MEASUREMENT	1	Set
2	Kabel Power	Kabelindo	NYM 2x1.5 mm <sup>2</sup>	3	Meter
3	Lampu Hemat Energi (LHE)	Tami	18W/220V 50 Hz	100	Buah
4	Lampu Pijar (LP)	Philips	75W/220V 50Hz	1	Buah
5	Lampu Sorot (LS)	Hannocks	500W/220 V 50Hz	2	Buah
6	MCB 1 Phasa	Schneider	1P 6A	1	Buah
7	Tang Ampere	Kyoritsu	Kew Snap Model 2007A	1	Buah

*Harmonic Analyzer* digunakan sebagai alat ukur distorsi harmonisa, baik harmonisa arus maupun harmonisa tegangan. Melalui alat tersebut akan didapatkan nilai-nilai parameter  $I_{RMS}$ ,  $V_{RMS}$ , THD arus maupun tegangan beserta nilai-nilai setiap ordenya, bentuk gelombang serta spektrum harmonisa. Gambar dari *Harmonic Analyzer* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.2 : Harmonik Analyzer

### 3.2.2 Pengujian dengan Variasi nilai Total Harmonik Distorsi (THD)

Hasil pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari nilai THD yang berubah dengan mempertahankan arus yang mengalir pada penghantar/kabel listrik apakah dengan memvariasikan nilai dari THD akan mempengaruhi terhadap rugi-rugi yang ditimbulkan oleh penghantar tersebut . Pengujian ini dilakukan dengan mempertahankan arus pada penghantar sebesar  $\pm 60\%$  dari Kemampuan Hantar Arus (KHA) dari kabel NYM  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$  dimana KHA dari kabel NYM  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$  seperti diketahui dalam tabel 3.2 adalah 11A. Jadi  $60\% \times 9 \text{ A} = 5.4 \text{ A}$ .

Dalam memvariasikan nilai THD tetapi tetap menjaga supaya arus yang mengalir pada penghantar  $\pm 6 \text{ A}$  yaitu dengan perpaduan antara Lampu Hemat Energi 18W/220V 0.05mA seperti pada gambar 2.6 dengan Lampu Sorot 500W/220V 1.8A seperti gambar 2.7

### 3.2.3 Langkah – Langkah Pengujian

Untuk langkah pengujian secara terperinci adalah sebagai berikut :

1. Siapkan semua peralatan yang dibutuhkan dan pastikan semua peralatan semua dalam keadaan layak pakai

2. Sebelum merangkai semua peralatan menjadi sebuah rangkaian pengujian seperti gambar lakukan kalibrasi pada semua peralatan yang akan dipakai untuk kepresisian pembacaan dari alat ukur.
3. Buatlah rangkaian pengujian sesuai dengan gambar rangkaian 3.4
4. Atur posisi semua peralatan agar dapat memudahkan pengecekan apabila terjadi kesalahan dalam pengujian.
5. Hubungkan semua peralatan dan material yang akan di uji.
6. Hidupkan power suplai untuk suplay Harmonik Analyzer dan beban.
7. Variasikan beban Harmonisa sehingga menghasilkan  $I_{rms} = 60\%$  KHA dan variasikan nilai THD
8. Lakukan Pencatatan terhadap nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk analisis pengaruh beban harmonisa terhadap kinerja Parameter-parameter tersebut antara lain  $I_{RMS}$ ,  $V_{RMS}$ , THD arus , THD Tegangan setiap orde , bentuk gelombang serta spektrum harmonisa.
9. Kembali ke prosedur nomor 2 dan variasikan beban sehingga  $I_{rms}$  tetap 60% KHA tetapi % THD berubah.



Gambar 3.3 : Pengukuran Arus pada penghantar

### 3.3. Data Hasil Pengujian

Berikut ini adalah hasil pengujian dengan beban LHE dan Lampu sorot sebagai beban harmonisa didapatkan hasil sebagai berikut :

#### 3.3.1 Data Hasil Pengujian Variasi THD

Tabel 3.4 : Hasil Pengujian Variasi THD

NO	BEBAN			I <sub>rms</sub> (A)	I THD-F (%)	V THDF (%)	PF
	LHE	LS	LP				
	(Buah)	(Buah)	(Buah)				
1	1	2	3	5.0724	1.82	1.87	-0.9998
2	5	2	2	4.9443	4.25	1.98	-0.9991
3	10	2	1	5.0495	7.05	1.94	-0.9978
4	15	2	1	5.0309	11.23	1.75	0.9949
5	25	2	0	5.0105	17.34	1.83	0.9893
6	40	1	3	5.0975	27.10	2.21	-0.9814
7	55	1	2	4.9992	37.03	2.26	-0.9669
8	65	1	1	5.1342	43.76	2.33	-0.9555
9	70	0	3	5.0922	58.42	2.38	-0.8162
10	85	0	2	5.0983	66.72	2.44	-0.9031
11	100	0	1	5.1024	77.56	2.52	-0.9088

#### 3.3.2 Data Hasil Pengujian Harmonisa Lampu A

Tabel 3.5 : Hasil Pengujian Beban Harmonisa Lampu A

NO	BEBAN	I <sub>rms</sub> (A)	I THD-F (%)	V THDF (%)	Power Factor
	LHE				
	(Buah)				
1	1	0.1409	110.24	1.63	-0.8999
2	2	0.2840	110.28	1.67	-0.8997
3	4	0.5846	110.64	1.71	-0.9034
4	6	0.9178	111.30	1.77	-0.9073
5	8	1.2531	112.65	1.11	-0.9081
6	10	1.5932	112.93	1.23	-0.9082



### 3.3.3 Data Hasil Pengujian Harmonisa Lampu B

Tabel 3.6 : Hasil Pengujian Beban Harmonisa Lampu B

NO	BEBAN	I <sub>rms</sub> (A)	I THD-F (%)	V THDF (%)	Power Factor
	LHE (Buah)				
1	1	0.0528	72.87	1.80	-0.8301
2	2	0.1025	75.27	1.78	-0.8362
3	4	0.2094	77.28	1.84	-0.8398
4	6	0.3084	78.44	1.84	-0.8417
5	8	0.4151	79.28	1.84	-0.8418
6	10	0.5126	78.52	1.95	-0.8471
7	15	0.7193	79.84	2.01	-0.8499
8	25	1.2199	79.92	2.05	-0.8535
9	35	1.7214	79.76	2.13	-0.8573
10	45	2.1975	80.66	2.36	-0.8637
11	55	2.6780	80.80	2.40	-0.8665
12	75	3.6837	80.70	2.43	-0.8657
13	85	4.1338	80.09	2.45	-0.8665

Untuk data-data berupa  $I_{RMS}$ ,  $V_{RMS}$ , THD, Spektrum Harmonisa dan nilai-nilai setiap ordenya semua hasil pengujian, selengkapnya disertakan pada lampiran. Nilai THD dapat merepresentasikan besarnya distorsi harmonisa yang ditimbulkan.

## BAB IV

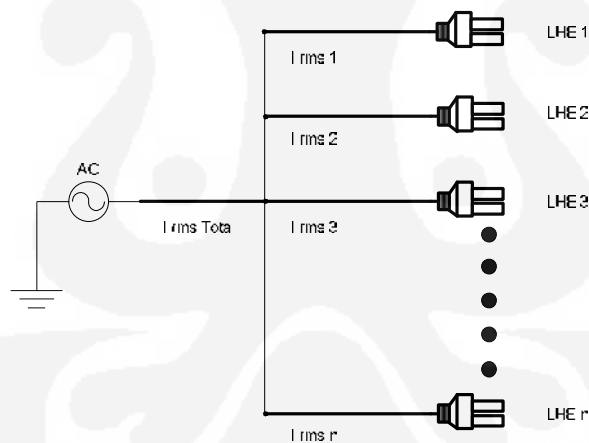
### ANALISA RUGI-RUGI PADA PENGHANTAR AKIBAT BEBAN HARMONISA

#### 4.1. Perhitungan rugi-rugi pada Penghantar.

Dengan mengacu sesuai rancangan sistem yang telah dijelaskan pada BAB III maka dapat dihitung besarnya rugi-rugi yang diakibatkan oleh beban harmonisa pada penghantar , untuk lebih terperinci perhitungannya sebagai berikut :

##### 4.1.1 Perhitungan Arus Harmonisa Total.

Berdasarkan rancangan pembebanan diketahui bahwa setiap penghantar dibebanni sama yaitu  $\pm 5A$  ( 60% KHA penghantar ) tetapi dengan pembebanan bervariasi sehingga Total Harmonik Distorsi (THD) nya pun bervariasi atau sesuai dengan gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4-1 : Rangkaian satu garis ( *single line* ) Pembebanan beban LHE

Dari gambar diatas apabila pada masing-masing lampu hemat energi mengalir arus  $I_{rms}$  , maka perhitungan besarnya arus rms untuk 3 lampu (misal untuk perhitungan lampu 1 , 2 dan 3 ) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 & \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \\
 & \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \\
 & \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \\
 & \quad - 3 \qquad \qquad \qquad = I_{rms1} + I_{rms2} + I_{rms3} \\
 = & \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} + \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \\
 & + \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- $I_{rms-1}$  : Arus Harmonisa untuk lampu-1
- $I_{rms-2}$  : Arus Harmonisa untuk lampu-2
- $I_{rms-3}$  : Arus Harmonisa untuk lampu-3
- $I_{rms-3}$  lampu : Arus Harmonisa untuk 3 lampu
- $I_1$  : Arus Harmonisa untuk orde 1
- $I_2$  : Arus Harmonisa untuk orde 2
- $I_3$  : Arus Harmonisa untuk orde 3
- $I_n$  : Arus Harmonisa untuk orde ke n

Berdasarkan contoh perhitungan arus untuk 3 lampu diatas dapat diketahui bahwa total arus untuk orde harmonisa ke-n di penghantar adalah penjumlahan arus-arus pada orde harmonisa ke-n dari masing-masing lampu.

$$I_n = I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} + \dots + I_{n.m}$$

Dimana :

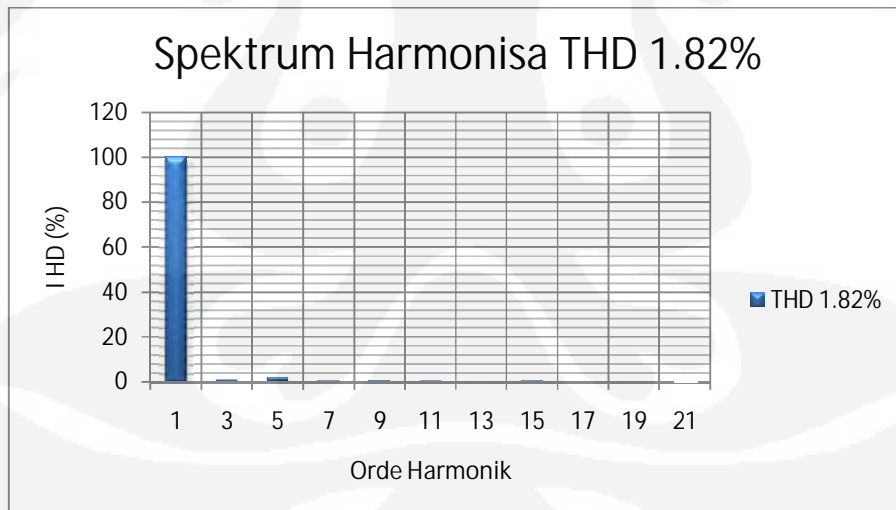
- $I_{n(m-lampu)}$  : Besarnya Arus untuk harmonisa orde ke-n untuk lampu sebanyak m buah
- $I_{n1}$  : Arus Harmonisa orde ke-n untuk beban lampu-1

- In2 : Arus Harmonisa orde ke-n untuk beban lampu-2  
 In3 : Arus Harmonisa orde ke-n untuk beban lampu-3  
 Inm : Arus Harmonisa orde ke-n untuk beban lampu-m

Apabila lampu hemat energi yang digunakan mempunyai karakteristik arus seperti yang telah diuji pada tabel 4.1 maka dapat dihitung total arus harmonisa untuk semua lampu dalam satu kali pengujian ke penghantar yang mengalirkan arus ke beban tersebut.

Tabel 4.1 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 1.82%

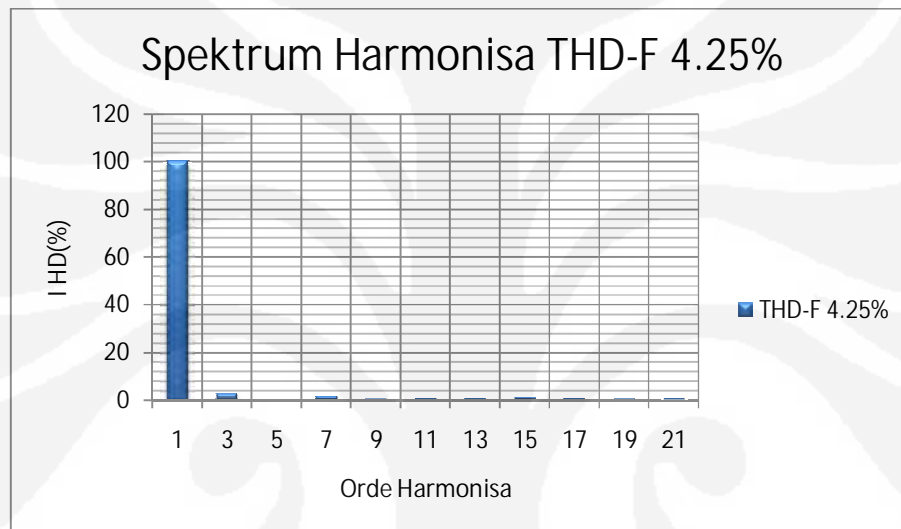
Beban	1LHE , 2LS , 3LP										
THD-F	1.82 %										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	5.08	0.03	0.08	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
%	100	0.54	1.58	0.31	0.43	0.25	0.13	0.39	0.12	0.08	0.13



Gambar 4.2 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 1.82%

Tabel 4.2 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 4.25%

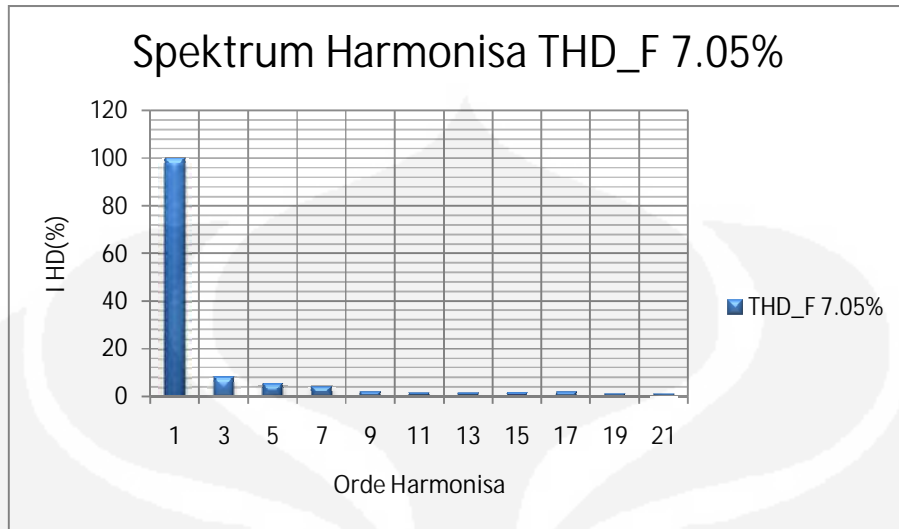
Beban	5LHE , 2LS , 2LP										
THD-F	4.25 %										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	4.92	0.13	0.13	0.07	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02
%	100	2.53	2,67	1.34	0.22	0.54	0.42	0.86	0.59	0.32	0.42



Gambar 4.3 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 4.25%

Tabel 4.3 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 7.05%

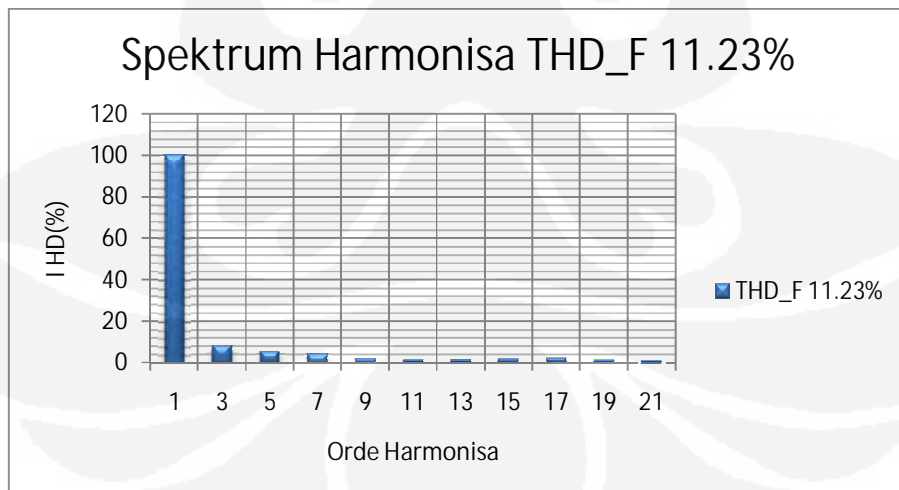
Beban	10LHE , 2LS , 3LP										
THD-F	7.05 %										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	5.05	0.25	0.20	0.12	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04
%	100	4.86	3.86	2.30	0.83	0.94	0.86	0.95	1.00	0.63	0.72



Gambar 4.4 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 7.05%

Tabel 4.4 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 11.23%

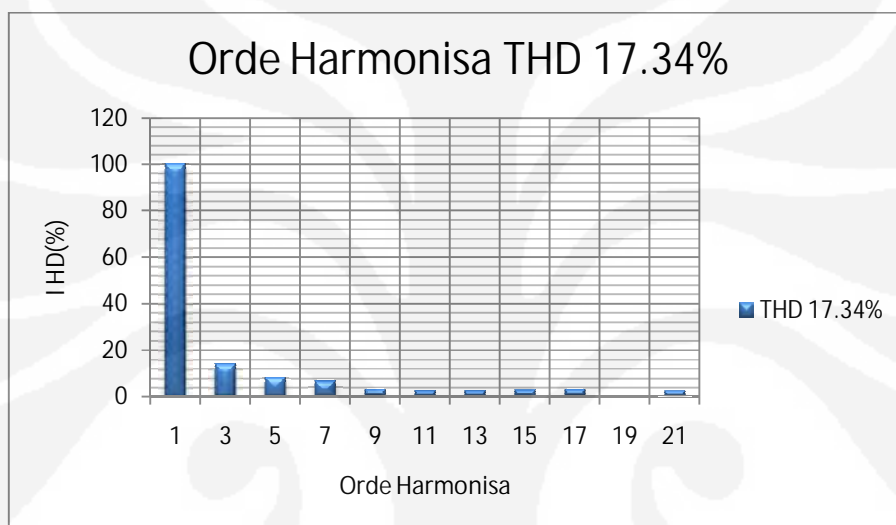
Beban	15LHE,2LS,1LP										
THD_F	11.23 %										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	4.99	0.41	0.26	0.20	0.09	0.06	0.07	0.08	0.09	0.06	0.04
%	100	8.16	5.23	3.96	1.78	1.20	1.21	1.64	1.79	1.06	0.90



Gambar 4.5 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 11.23%

Tabel 4.5 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 11.23%

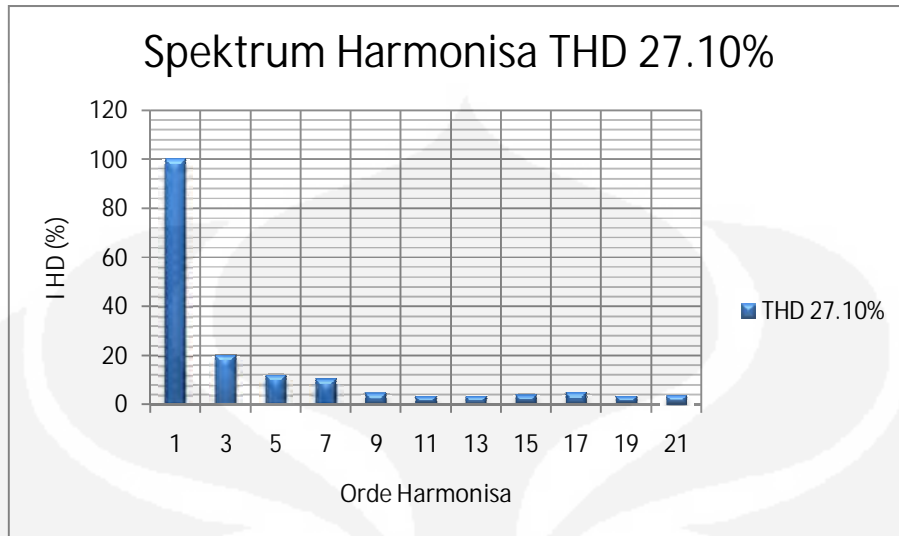
Beban	25LHE,2LS,0LP										
THD	17.34%										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
IHD(A)	4.99	0.69	0.40	0.32	0.13	0.11	0.11	0.12	0.14	0.09	0.91
%	100	13.83	8.05	6.37	2.70	2.24	2.26	2.48	2.73	1,78	2.05



Gambar 4.6 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 17.34%

Tabel 4.6 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 27.10 %

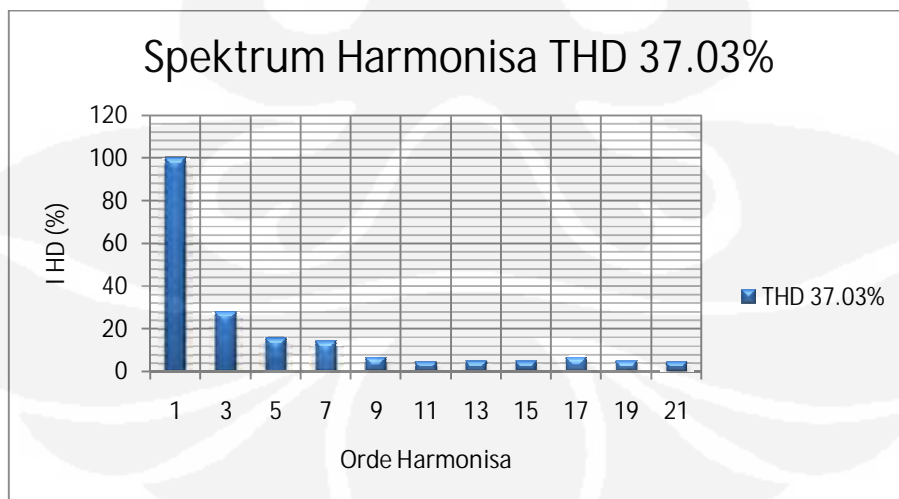
Beban	40LHE ,1LS ,3LP										
THD-F	27.10%										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
IHD(A)	4.91	0.98	0.58	0.50	0.22	0.16	0.16	0.19	0.23	0.16	0.17
%	100	20.01	11.86	10.24	4.49	3.24	3.12	3.75	4.59	3.31	3.55



Gambar 4.7 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 27.10%

Tabel 4.7 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 37.03%

Beban	55LHE 1LS 2LP										
THD	37.03%										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	4.64	1.29	0.72	0.67	0.30	0.19	0.21	0.24	0.32	0.23	0.20
%	100	27.72	15.37	14.15	6.48	4.29	4.63	4.80	6.62	4.79	4.37

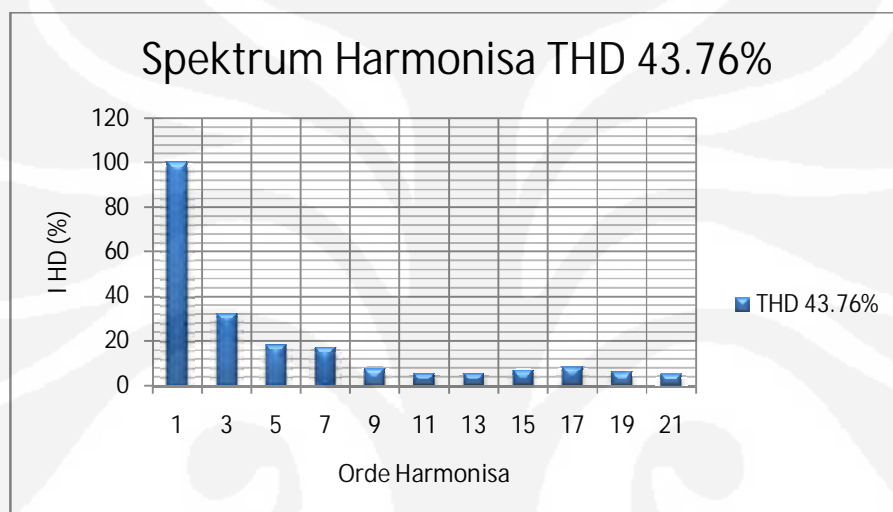


Gambar 4.8 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 37.03%



Tabel 4.8 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 43.76 %

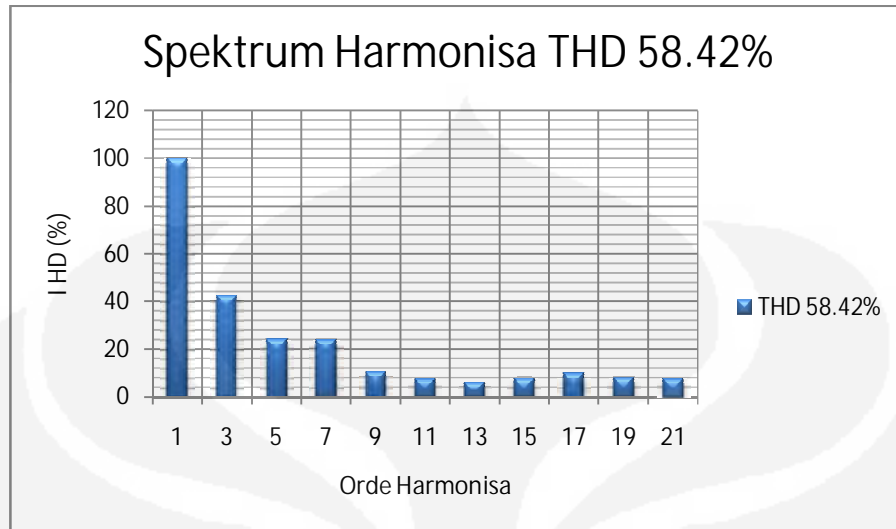
Beban	65LHE, 1LS, 1LP										
THD_F	43.76%										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	4.72	1.51	0.85	0.80	0.35	0.23	0.23	0.31	0.38	0.27	0.23
%	100	32.00	18.04	16.89	7.42	4.97	4.95	6.57	7.97	5.78	4.90



Gambar 4.9 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 43.76%

Tabel 4.9 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 58.42 %

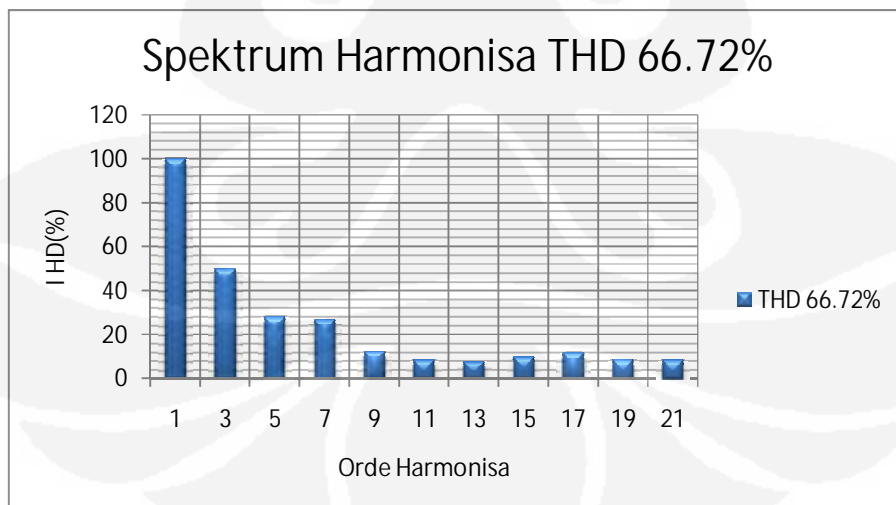
Beban	70LHE OLS 1LP										
THD_F	58.42 %										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	3.85	1.63	0.93	0.91	0.40	0.27	0.22	0.33	0.40	0.28	0.29
%	100	42.55	24.20	23.97	10.58	7.38	6.03	7.74	10.10	7.91	7.45



Gambar 4.10 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 58.42%

Tabel 4.10 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 66.72 %

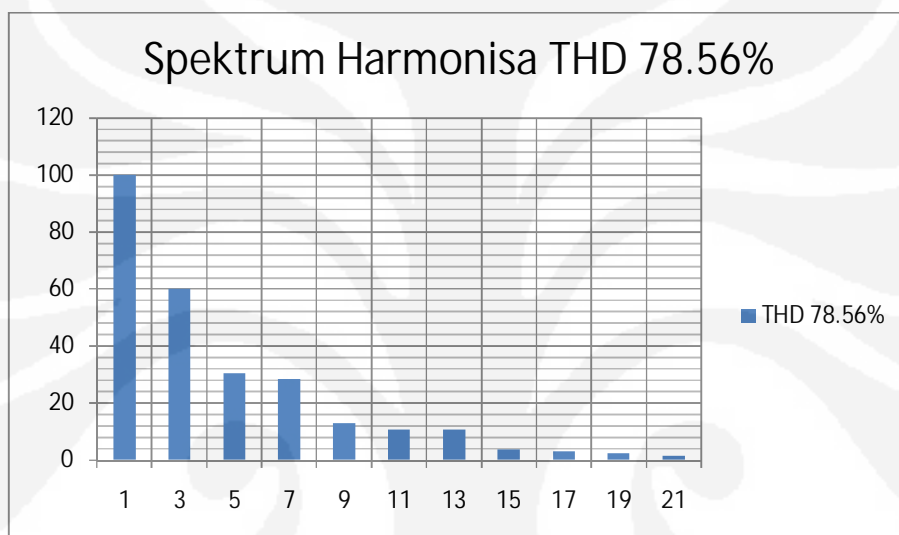
Beban	85LHE OLS 1LP											
THD-F	66.72 %											
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	
I HD(A)	3.78	1.87	1.04	0.99	0.46	0.33	0.27	0.34	0.44	0.32	0.30	
%	100	49.74	27.91	26.49	12.18	8.37	7.48	9.54	11.52	8.65	8.26	



Gambar 4.11 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 66.72%

Tabel 4.11 : Orde harmonisa utk Beban dengan THD-F 78.56 %

Beban	100LHE OLS 1LP										
THD-F	78.56%										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	3.59	2.16	1.09	1.26	0.46	0.38	0.36	0.29	0.37	0.22	0.13
%	100	60.20	30.30	28.50	12.80	10.60	10.50	3.58	2.91	2.26	1.58



Gambar 4.12 : Spektrum Harmonisa untuk Beban dengan THD-F 78.56%.

Pada pengujian diatas tidak di variasikan besarnya arus yang mengalir pada penghantar atau dengan kata lain arus yang mengalir pada penghantar konstan dan hanya memvariasikan nilai THD-F dari beban sesuai dengan pada tabel 3.4 .

Hasil perhitungan total arus rms dan distorsi harmonisa untuk seluruh lampu pada setiap pengujian dijadikan sebagai acuan untuk menghitung rugi-rugi pada penghantar.

#### 4.1.2 Perhitungan Rugi-rugi pada Penghantar / Kabel.

Untuk menghitung rugi-rugi pada penghantar/kabel yang mengalirkan arus ke LHE maka perlu dihitung pengaruh *skin effect* ( efek kulit =  $K_{SE}$ ) dan *proximity effect* ( efek kedekatan =  $K_{PE}$ ) pada penghantar/kabel tersebut . Perhitungan peningkatan tahanan Arus bolak-balik ( $I_{AC}$ ) dapat dilakukan dengan melihat karakteristik penghantar/kabel NYM 2x1.5mm<sup>2</sup> pada tabel 3.2.

Contoh perhitungan peningkatan tahanan penghantar/kabel akibat efek kulit dan efek kedekatan pada frekuensi tertentu misalkan frekuensi 650 Hz ( harmonisa orde 13 ) sesuai dengan tabel 4.1 adalah:

Diketahui :

Rdc	: 12.1 Ω/km	( dari tabel 3.2 Rdc pada 20 <sup>0</sup> C )
F	: 650 Hz	( Orde Harmonisa ke 13 )
μ <sub>r</sub>	: 1	( Permeabilitas Relatif )
D	: 1.38 mm	(Penampang kabel 1.5 mm <sup>2</sup> )
Isolasi	: 0.7	( dari tabel 3.1 )

Untuk menghitung peningkatan tahanan akibat efek kulit ( $K_{SE}$  ) diperlukan komponen X (Parameter Efek Kulit ) , yang dapat dicari dengan persamaan 2-12 :

$$x = 0,027678 \sqrt{\frac{f \cdot \mu}{Rdc}}$$

$$X = 0.027678 \sqrt{650.1/12.1}$$

$$X = 0.027678 \sqrt{53.72}$$

$$X = 0.027678 \times 7.329$$

$$X = \mathbf{0.2029}$$

Besarnya konstanta penambahan akibat *skin effect* ( $K_{se}$ ) untuk frekuensi 650Hz dapat dihitung menggunakan persamaan 2-17 dimana untuk nilai  $x \leq 2$  maka persamaan  $K_{SE}$  adalah :

$$K_{se}(x) = 10^{-3}(-1,04x^5 + 8,24x^4 - 3,24x^3 + 1,447x^2 - 0,2764x + 0,0166)$$

$$K_{se}(x) = 10^{-3}(-1.04 \times 0.20295) + (8.24 \times 0.20294) - (3.24 \times 0.20293) \\ + (1.447 \times 0.20292) - (0.2764 \times 0.2029) + 0.0166$$

$$K_{se}(x) = 10^{-3}(-1.04 \times 3.44 \times 10^{-9}) + (8.24 \times 1.69 \times 10^{-7}) - (3.24 \times 2.71 \times 10^{-5}) + \\ (1.447 \times 0.000412) - (0.2767 \times 0.2029) + 0.0166$$

$$\mathbf{K_{se}(x) = 0.0066}$$

Rasio perbandingan diameter konduktor dengan jarak antar konduktor ( ) (jumlah tebal isolasi 2 kabel yaitu  $2 \times 0.7 \text{ mm} = 1.4$ ) :

$$\sigma = \frac{\text{Diameter}}{2s} = \frac{1.38 \text{ mm}}{1.4 \text{ mm}} = .$$

Besarnya efek Kedekatan (*proximity effect*)  $K_{PE}$  dapat dicari menggunakan persamaan 2.15 yaitu :

$$k_{PE} = k_{SE} \sigma^2 \left[ \frac{1,18}{k_{SE} + 0,27} + 0,312 \sigma^2 \right]$$

$$K_{pe} = 0.0066 \times (0.484)^2 \cdot \left( \frac{1,18}{0.0066 + 0,27} + 0.312(0.484)^2 \right)$$

$$\mathbf{K_{pe} = 0.0067}$$

Setelah diperoleh konstanta pengaruh efek kulit ( $K_{SE}$ ) dan efek kedekatan ( $K_{PE}$ ) maka dapat dihitung rasio peningkatan tahanan  $I_{AC}$  terhadap tahanan arus searah akibat frekuensi dengan menggunakan persamaan 2.16 :

$$\text{---} = 1 + K_{se} + K_{PE}$$

$$\text{---} = 1 + 0.0066 + 0.0067$$

$$\text{---} = 1.0133$$

Hasil perhitungan peningkatan tahanan  $I_{AC}$  akibat pengaruh frekuensi untuk penghantar/kabel dengan luas penampang  $1.5\text{mm}^2$  berlaku sama untuk semua variasi nilai THD dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4.12 Perhitungan peningkatan tahanan  $I_{AC}$  akibat frekuensi harmonisa

Orde	$\mu_r$	Frekuensi (Hz)	Konstanta (X)	Peningkatan Tahanan		$R_{AC} / R_{DC}$	
				$K_{SE}$	$K_{PE}$		
1	1	50	0.056	0.0051	0.0052	1.0104	0.484
3	1	150	0.097	0.0011	0.0012	1.0023	0.484
5	1	250	0.126	0.0003	0.0003	1.0006	0.484
7	1	350	0.149	0.0008	0.0008	1.0016	0.484
9	1	450	0.169	0.0021	0.0022	1.0043	0.484
11	1	550	0.187	0.0041	0.0042	1.0083	0.484
13	1	650	0.203	0.0066	0.0067	1.0133	0.484
15	1	750	0.218	0.0096	0.0097	1.0193	0.484
17	1	850	0.232	0.0131	0.0130	1.0260	0.484
19	1	950	0.245	0.0169	0.0166	1.0335	0.484
21	1	1050	0.258	0.0212	0.0205	1.0417	0.484

Dengan Karakteristik peningkatan tahanan  $I_{AC}$  seperti pada tabel 4.12 maka perhitungan rugi-rugi pada suatu penghantar / kabel untuk masing-masing nilai THD-F adalah sebagai berikut :

$$P_k = \sum h \quad h$$

$P_k$  = Rugi-rugi pada Penghantar / kabel.

$I_h$  = Arus harmonisa ke h

$R_h$  = Tahanan  $I_{AC}$  untuk frekuensi harmonisa orde ke-h

**Contoh perhitungan :**

Menghitung rugi-rugi kabel penghantar/kabel pada THD-F 43.57% untuk harmonisa orde ke 17 ;

Orde frekuensi ( h ) = 17 = 850 Hz

$R_{AC} / R_{DC}$  kabel penghantar/kabel untuk frekuensi 850 Hz = 1.0260

$R_{DC}$  untuk Penghantar sepanjang 50m = 12.1  $\Omega$ /km x 50m = 0.605  $\Omega$

(asumsikan beban terjauh yang disupply oleh penghantar adalah 50m/1 roll kabel )

Maka tahanan harmonisa untuk orde ke 17 adalah :

$$( R_{AC} / R_{DC} )_{17} \times R_{DC-50m} = 1.0260 \times 0.605 \Omega = 0.6207 \Omega$$

$$P_{k17} = I_{h17}^2 \times R_{h17}$$

$$P_{k17} = 0.1557A \times 0.6207 \Omega$$

$$P_{k17} = 0.015 \text{ Watt}$$

Untuk lebih terperinci dapat dilihat sesuai tabel 4.13 dibawah ini :

Tabel 4.13 : Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 43.57 %

I rms ( A )	5.17	I _F	5.1703			
P rms (W)	16.173	Beban	60LHE,1SL,1LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC-50m}$	$R_{\text{Harmonik}} ( )$	$I_{HD} (A)$	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.9717	2.357
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.7992	0.387
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.5625	0.192
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.2849	0.049
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.1171	0.008
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.1916	0.023
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.0739	0.003

- Sambungan -

17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.1557	0.015
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0833	0.004
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0564	0.002
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						3.041
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						18.80%

Terlihat bahwa terjadi peningkatan tahanan pada penghantar / kabel akibat pengaruh frekuensi dimana penningkatan tahanan tergantung dari diameter penghantar , frekuensi kerja dan tebalnya isolasi .

Secara lebih terperinci berikut tabel hasil perhitungan rugi-rugi pada penghantar akibat pengaruh harmonisa pada :

### 1. THD 1.82 %

Tabel 4.14 : Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 1.82%

I rms ( A )	5.07	I -F	5.0826			
P rms (W)	15.566	Beban	1LHE,2SL,3LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC-50m}$	$R_{Harmonik} ( )$	$I_{HD} (A)$	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	0.0276	0.000
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.0797	0.004
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.0153	0.001
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.0236	0.000
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.0122	0.000
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.0073	0.000
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.0199	0.000
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.0058	0.000
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0035	0.000
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0076	0.000
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						0.005
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						0.03%



## 2. THD 4.25 %

Tabel 4.15 : Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 4.25%

I rms ( A )	4.94	I -Fund	4.9228			
P rms (W)	14.790	Beban	5LHE,2SL,2LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	R <sub>AC</sub> / R <sub>DC</sub>	R <sub>DC</sub> -50m	R <sub>Harmonik</sub> ( )	I <sub>HD</sub> (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	0.1251	0.009
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.1327	0.011
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.0684	0.003
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.0096	0.000
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.0287	0.001
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.0196	0.000
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.0412	0.001
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.0277	0.000
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0145	0.000
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0210	0.000
Rugi - Rugi ( P <sub>h</sub> )						0.026
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						0.17%

## 3. THD 7.05 %

Tabel 4.16 : Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 7.05%

I rms ( A )	5.05	I -Fund	5.0479			
P rms (W)	15.426	Beban	10LHE,2SL,1LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	R <sub>AC</sub> / R <sub>DC</sub>	R <sub>DC</sub> -50m	R <sub>Harmonik</sub> ( )	I <sub>HD</sub> (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	0.2452	0.036
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.1977	0.024
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.1152	0.008
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.0416	0.001
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.0472	0.001
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.0444	0.001
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.0483	0.001
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.0509	0.002
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0317	0.001
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0357	0.001

- Sambungan -	
Rugi - Rugi ( $P_h$ )	0.076
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms	0.49%

#### 4. THD 11.23 %

Tabel 4.17: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 11.23%

I rms ( A )	5.03	I Fund	4.9867			
P rms (W)	15.313	Beban	15LHE,2SL,1LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC-50m}$	$R_{Harmonik} ( )$	$I_{HD} (A)$	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	0.4068	0.100
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.2626	0.042
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.1984	0.024
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.0867	0.005
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.0632	0.002
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.0655	0.003
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.0822	0.004
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.0892	0.005
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0583	0.002
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0397	0.001
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						0.188
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						1.23%

#### 5. THD 17.34 %

Tabel 4.18: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 17.34%

I rms ( A )	5.01	I -Fund	4.9920			
P rms (W)	15.189	Beban	28LHE,2SL,0LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC-50m}$	$R_{Harmonik} ( )$	$I_{HD} (A)$	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	0.6879	0.287

			- Sambungan -			
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.4031	0.098
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.3188	0.062
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.1277	0.010
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.1120	0.008
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.1119	0.008
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.1223	0.009
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.1361	0.011
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0899	0.005
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.9088	0.521
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						1.018
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						6.71%

## 6. THD 27.10 %

Tabel 4.19: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 27.10%

I rms ( A )	5.10	I Fundamental	4.9073			
P rms (W)	15.721	Beban	40LHE,1SL,3LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	Rac / RDC	$R_{DC-50m}$	$R_{Harmonik}$ ( )	$I_{HD}$ (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.4239	1.229
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.5989	0.217
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.4023	0.098
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.1038	0.007
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.2083	0.026
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.1959	0.024
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.1237	0.009
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.1454	0.013
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0506	0.002
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0563	0.002
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						1.627
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						10.35%

## 7. THD 37.03 %

Tabel 4.20: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 37.03%

I rms ( A )	5.00	I - Fund	4.6392			
P rms (W)	15.120	Beban	55LHE,1SL,2LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	R <sub>AC</sub> / R <sub>DC</sub>	R <sub>DC</sub> -50m	R <sub>Harmonik</sub> ( )	I <sub>HD</sub> (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.2885	1.007
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.7190	0.313
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.6660	0.269
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.3048	0.056
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.1869	0.021
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.2124	0.028
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.2439	0.037
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.3170	0.062
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.2298	0.033
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.2042	0.026
Rugi - Rugi ( P <sub>h</sub> )						1.852
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						12.25%

## 8. THD 43.57%

Tabel 4.21: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 43.57%

I rms ( A )	5.17	I Fundamental	5.1703			
P rms (W)	16.173	Beban	60LHE,1SL,1LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	R <sub>AC</sub> / R <sub>DC</sub>	R <sub>DC</sub> -50m	R <sub>Harmonik</sub> ( )	I <sub>HD</sub> (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.9717	2.357
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.7992	0.387
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.5625	0.192
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.2849	0.049
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.1171	0.008
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.1916	0.023
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.0739	0.003
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.1557	0.015

19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.0833	0.004
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.0564	0.002
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						3.041
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						18.80%

## 9. THD 58.42%

Tabel 4.22: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 58.42%

I rms (A)	5.09	I Fundamental	3.8457			
P rms (W)	15.688	Beban	70LHE,0SL,1LP			
Orde	Frekuensi (Hz)	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC-50m}$	$R_{Harmonik} ( )$	$I_{HD} (A)$	Rugi-rugi (Watt)
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.6291	1.609
5	250	1.0006	0.605	0.6054	0.9250	0.518
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.9082	0.500
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.4039	0.099
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.2687	0.044
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.2233	0.031
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.3267	0.066
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.3972	0.098
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.2842	0.051
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.2862	0.052
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						3.067
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						19.55%

## 10. THD 66.72%

Tabel 4.23: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 66.72%

I rms (A)	5.10	I - Fund	3.7750			
P rms (W)	15.725	Beban	85LHE,0SL,2LP			
Orde	Frekuensi (Hz)	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC-50m}$	$R_{Harmonik} ( )$	$I_{HD} (A)$	Rugi-rugi (Watt)
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.8653	2.110

- Sambungan -						
5	250	1.0006	0.605	0.6054	1.0425	0.658
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.9943	0.599
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.4566	0.127
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.3255	0.065
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.2652	0.043
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.3374	0.070
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.4404	0.120
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.3221	0.065
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.2972	0.056
Rugi - Rugi ( P <sub>h</sub> )						3.912
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						24.88%

## 11. THD 77.56%

Tabel 4.24: Perhitungan rugi-rugi pada penghantar untuk THD 77.56%

I rms (A)	5.04	I Fundamental	3.5900			
P rms (W)	15.368	Beban	100LHE,OSL,1LP			
Orde	Frekuensi ( Hz )	R <sub>AC</sub> / R <sub>DC</sub>	R <sub>DC</sub> -50m	R <sub>Harmonik</sub> ( )	I <sub>HD</sub> (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.605	0.6064	2.1640	2.840
5	250	1.0006	0.605	0.6054	1.0890	0.718
7	350	1.0016	0.605	0.6060	1.2580	0.959
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.4630	0.130
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.3810	0.089
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.3580	0.079
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.2910	0.052
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.3660	0.083
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.2200	0.030
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.1300	0.011
Rugi - Rugi ( P <sub>h</sub> )						4.990
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						32.47%

## 4.2 Analisa Rugi-rugi pada Penghantar / Kabel.

Berdasarkan hasil perhitungan rugi-rugi pada penghantar / kabel diperoleh data besarnya rugi-rugi seperti pada tabel perhitungan diatas. Rugi-rugi akibat arus fundamental (50Hz) dapat diperoleh dengan mengalikan arus dan frekuensi fundamentalnya dengan tahanan penghantar / kabel untuk frekuensi fundamental tersebut. Dengan mengacu pada rancangan sistem seperti yang telah di uraikan pada BAB III bahwa untuk arus yang mengalir pada sistem di usahakan tetap, jadi dapat dihitung besarnya

$$P_k = I_f^2 \times R_{DC}$$

**Misal untuk THD-F 43.57 %**

$$P_k = (5.1703)^2 \times 0.6113$$

$$P_k = 16.173 \text{ W}$$

Dengan mengetahui daya yang dapat disuplay oleh penghantar/kabel maka dapat dihitung rugi-rugi pada penghantar / kabel yang disebabkan distorsi harmonisa ( selain orde ke-1 ) adalah sebesar :

$$P_{k-THD} = P_k - P_h$$

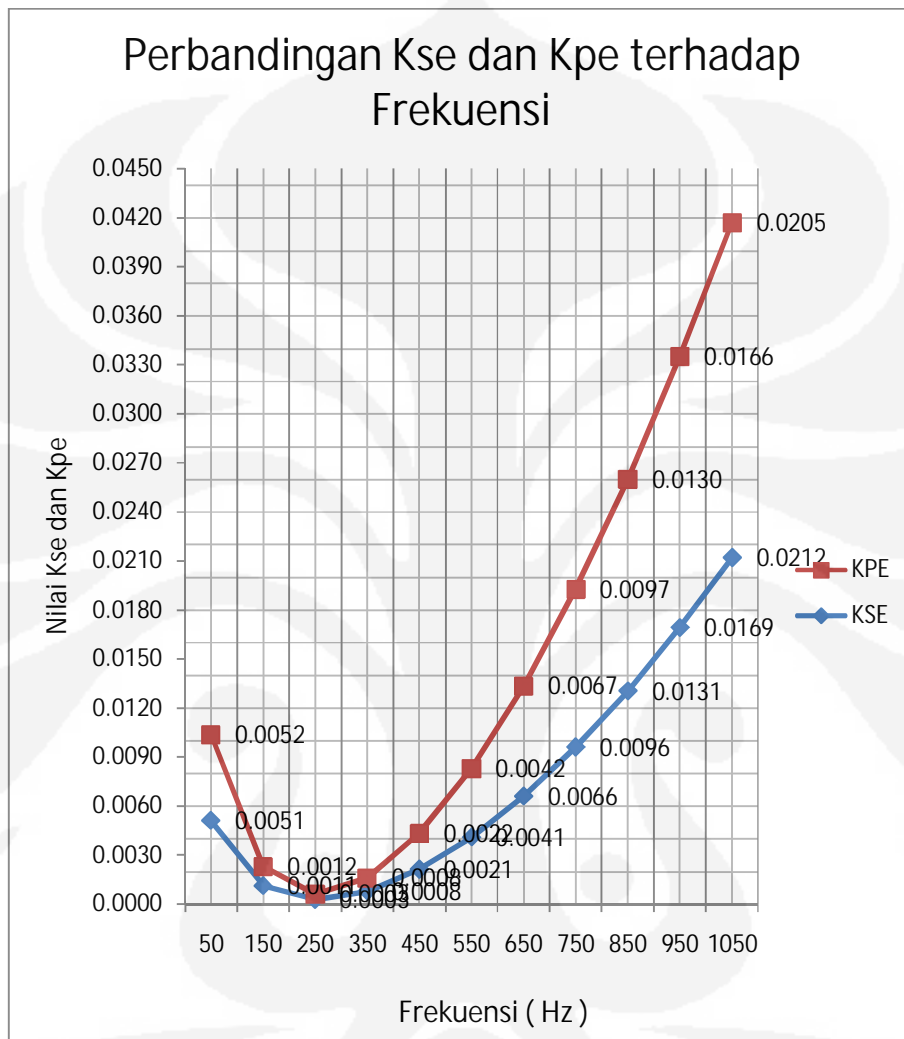
$$P_{k-THD} = 16.173 \text{ W} - 3.0412 \text{ W}$$

$$P_{k-THD} = 12.32 \text{ W} = 82 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa total daya yang disuplay oleh penghantar/kabel ke beban hanya mencapai 82% dari total daya yang seharusnya bisa disuplay atau dengan kata lain 18% rugi-rugi daya akibat dari distorsi harmonisa LHE.

Rugi-rugi yang dihasilkan oleh lampu hemat energi juga sangat berpengaruh pada penghantar/kabel , beban yang menghasilkan distorsi harmonisa dapat dilihat pada orde ke 3,5,7,9,11,13,15,17,21 dan orde ke-1

sebagai acuan ( orde fundamental ) hal ini dapat dilihat pada gambar grafik berikut



Gambar 4.13 : Pengaruh Frekuensi Harmonisa terhadap efek kulit (  $K_{SE}$  ) dan efek kedekatan (  $K_{PE}$  )

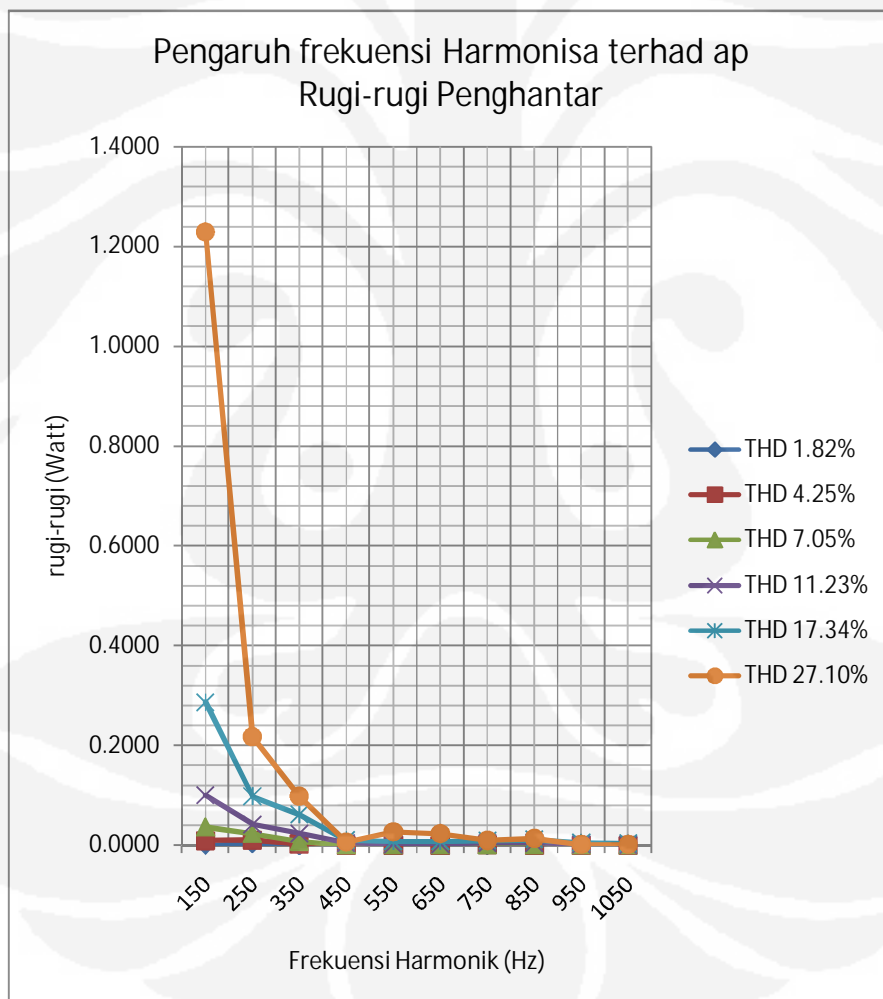
Dari grafik 4.13 dapat dilihat bahwa efek kulit dan efek kedekatan sangat mempengaruhi besarnya rugi-rugi pada kabel/penghantar. Pada grafik warna biru mulai dilihat pada orde ke-3 ( Frekuensi 150Hz ) efek kulit dari penghantar sebesar 0.0012 dan terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan frekuensi harmonisa , dengan meningkatnya



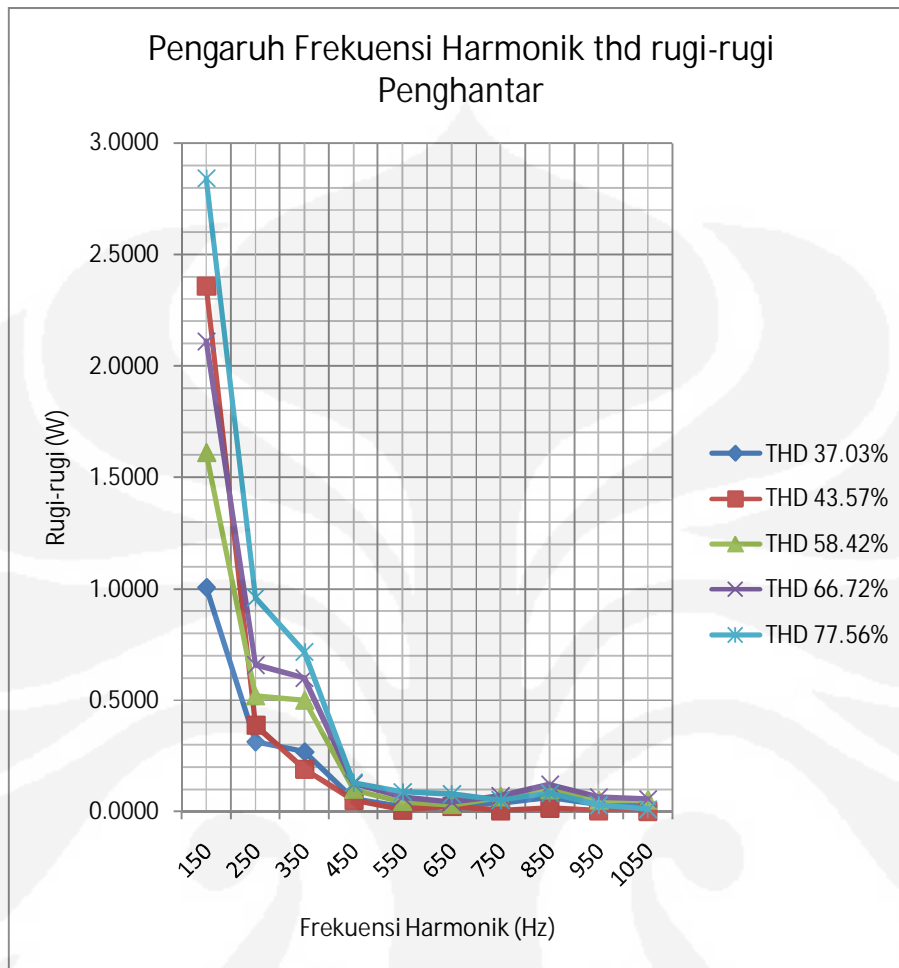
efek kulit ( $K_{SE}$ ) maka efek kedekatan ( $K_{PE}$ ) juga semakin meningkat. Untuk kabel berdiameter kecil terlihat bahwa efek kedekatan ( $K_{PE}$ ) lebih dominan daripada efek kulit yang terlihat hampir pada semua frekuensi harmonisa.

#### 4.3 Perbandingan Kontribusi Variasi nilai Total Distorsi Harmonisa (THD-F) terhadap Rugi-rugi Penghantar.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan yaitu dengan memvariasikan nilai THD-F maka dapat dilihat pengaruh nya terhadap rugi-rugi yang diakibatkan oleh penghantar untuk setiap orde harmonisa



Gambar 4.14 : Pengaruh Rugi-rugi pada penghantar terhadap variasi nilai THD-F



Gambar 4.15 : Pengaruh Rugi-rugi pada penghantar terhadap variasi nilai THD-F

Dari grafik 4.14 dan 4.15 diatas dengan memvariasikan nilai THD untuk setiap pengujian rugi-rugi yang diakibatkan oleh penghantar/kabel pada setiap orde ( mulai dari orde ke-3 yaitu 150Hz ) mengalami peningkatan walaupun tidak signifikan.

Pada hampir semua variasi nilai THD pada penelitian ini mengalami perbedaan rugi-rugi pada orde ke-3, ke-5 dan ke-7 atau pada  $f = 150\text{Hz}$ ,  $f = 250\text{Hz}$  dan  $f = 350\text{Hz}$  sedangkan mulai dari orde ke 9 dan seterusnya tidak ada perubahan yang berarti dengan kata lain sudah mendekati nol ini akibat dari efek kulit dan efek kedekatan pada orde harmonisa tersebut sudah relatif konstan , seperti terlihat dalam tabel 4.12

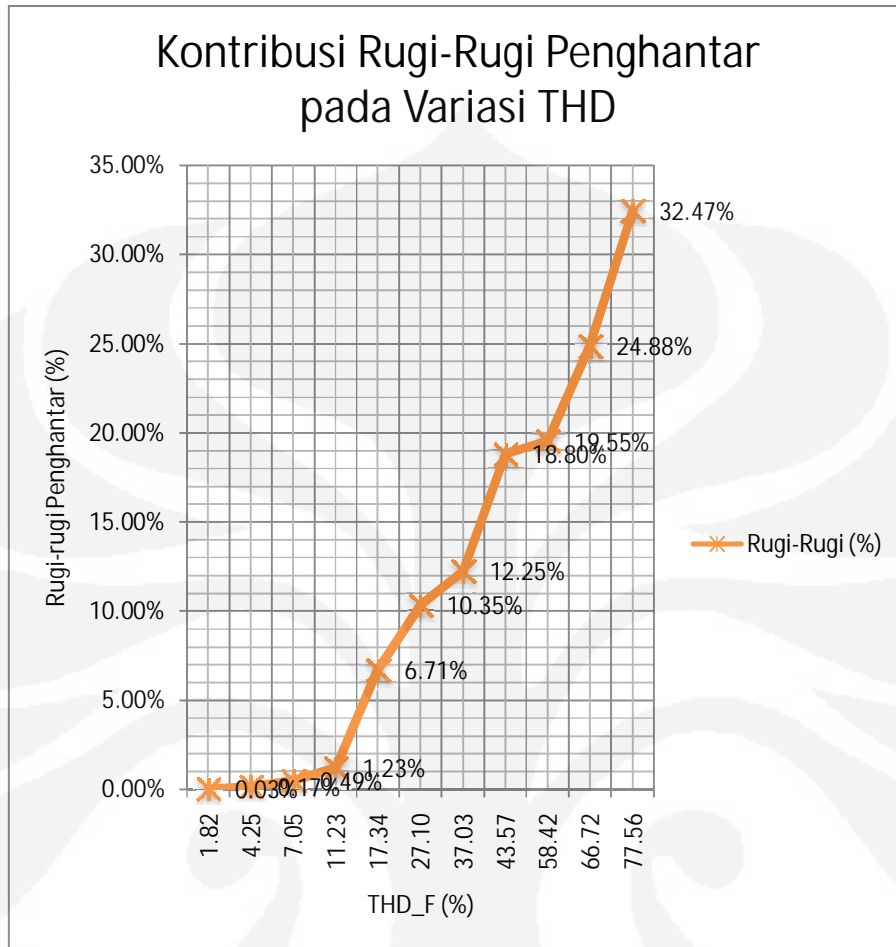
diatas,bahwa sesuai dengan persamaan untuk mencari besarnya rugi-rugi pada penghantar sangat berpengaruh terhadap tahanan harmonisa masing-masing orde dan apabila tahanan harmonisanya sudah mendekati konstan maka rugi-rugi nya pun juga akan konstan ( tidak terlalu bervariasi ) karena arus distorsi pada orde ke-9 dan seterusnya sudah kecil sekali yaitu hanya mempengaruhi 12% dari pengaruh arus fundamental .

Untuk mengetahui berapa besarnya kontribusi yang dihasilkan masing-masing %THD-F terhadap rugi-rugi yang timbul pada penghantar/kabel dapat kita lihat pada tabel seperti dibawah ini.

Tabel 4.25 : Kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar pada Variasi THD

NO	THD_F (%)	Prms (Watt)	Ph (Watt)	Kontribusi Rugi - Rugi (%)
1	1.82	15.57	0.01	0.03%
2	4.25	14.79	0.03	0.17%
3	7.05	15.43	0.08	0.49%
4	11.23	15.31	0.19	1.23%
5	17.34	15.19	1.02	6.71%
6	27.10	15.72	1.63	10.35%
7	37.03	15.12	1.85	12.25%
8	43.57	16.17	3.04	18.80%
9	58.42	15.69	3.07	19.55%
10	66.72	15.73	3.91	24.88%
11	77.56	15.37	4.99	32.47%

Dari grafik dibawah diketahui bahwa rugi-rugi yang dihasilkan pada penghantar/kabel di hasilkan sebagian besar oleh beban harmonisa. Terlihat bahwa semakin banyak pemakaian lampu hemat energi ( beban harmonisa ) semakin tinggi pula persentase besarnya kontribusi rugi-rugi penghantar/kabel.



Gambar 4.16: Kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar pada variasi THD

Sesuai dengan metode pengujian pada BAB III untuk THD 58.42% 66.72% dan 77.56% adalah pemakain dengan beban lampu hemat energi yang mendominasi akibatnya persentase rugi-rugi yang dihasilkan besar. Untuk THD 27.10% , 37,03% dan 43.57% memvariasikan lampu hemat energi dan lampu sorot serta lampu pijar terlihat seperti pada grafik diatas persentase kontribusi rugi-rugi akibat arus harmonisa mulai menurun dan sedangkan untuk THD 1.82% sampai dengan THD 17.34% sudah memakai lampu hemat energi dan dikombinasikan dengan lampu pijar sebagai kombinasi beban dan terlihat pada grafik diatas bahwa kontribusi rugi-rugi akibat arus harmonisa minimum.

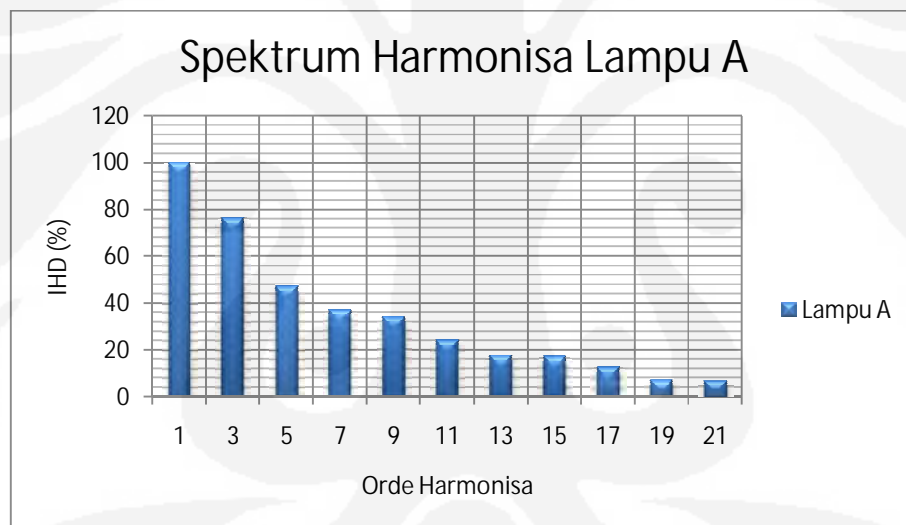
#### 4.4 Perbandingan Kontribusi Variasi nilai Total Distorsi Harmonisa terhadap Rugi-rugi Penghantar pada 2 jenis LHE yang berbeda

Berikut ini adalah hasil pengujian pada 2 jenis LHE yang berbeda sebagai beban harmonisa didapatkan hasil sebagai berikut :

##### 1.Lampu A

Tabel 4.26 : Orde harmonisa utk Beban Lampu A pada 2 buah lampu

Lampu A	2 Lampu										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	0.19	0.15	0.09	0.07	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
%	100	76.08	47.19	36.88	33.99	24.11	17.53	17.11	12.49	6.98	6.44



Gambar 4.17: Spektrum Harmonisa untuk Lampu A pada 2 buah lampu

Dengan perhitungan yang sama untuk mencari rugi-rugi pada penghantar seperti pada tabel 4.13 , maka dapat diketahui besarnya rugi-rugi penghantar untuk 2 buah lampu A dan B sebagai berikut :

Tabel 4.27 : Perhitungan rugi-rugi pada penghantar pada lampu A untuk 2 buah lampu

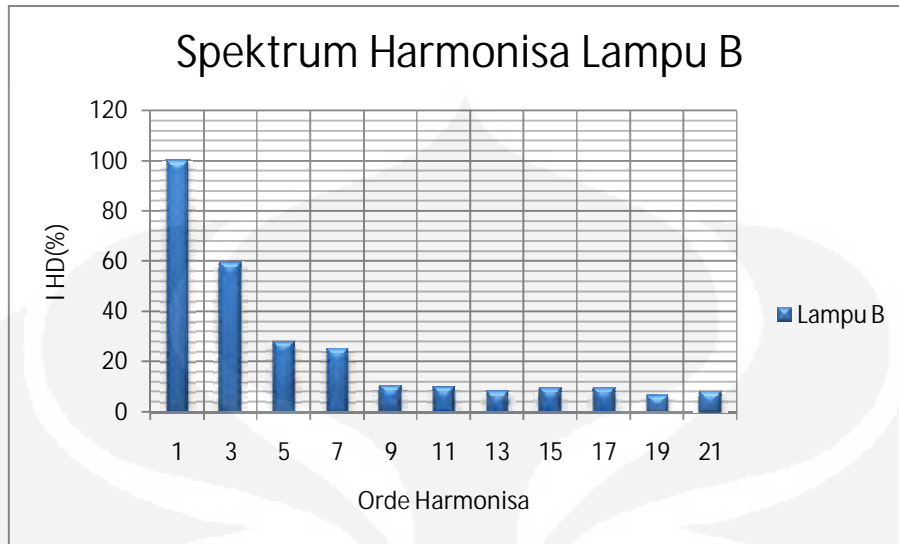
I rms ( A )	0.28	I -Fund	0.1912			
P rms (W)	0.04880	THD_F	110.28%			
Orde	Frekuensi ( Hz )	R <sub>AC</sub> / R <sub>DC</sub>	R <sub>DC</sub>	R <sub>Harmonik</sub> ( )	I <sub>HD</sub> (A)	Rugi-rugi ( Watt )
3	150	1.0023	0.036	0.0364	0.1454	0.000769
5	250	1.0006	0.036	0.0363	0.0902	0.000296
7	350	1.0016	0.036	0.0364	0.0705	0.000181
9	450	1.0043	0.036	0.0365	0.0650	0.000154
11	550	1.0083	0.036	0.0366	0.0461	0.000078
13	650	1.0133	0.036	0.0368	0.0335	0.000041
15	750	1.0193	0.036	0.0370	0.0327	0.000040
17	850	1.0260	0.036	0.0372	0.0239	0.000021
19	950	1.0335	0.036	0.0375	0.0133	0.000007
21	1050	1.0417	0.036	0.0378	0.0123	0.000006
Rugi - Rugi ( P <sub>h</sub> )						0.001592
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						3.26%

Untuk jumlah lampu dari yang lainnya serta data-data berupa I<sub>RMS</sub>, V<sub>RMS</sub>, THD, Spektrum Harmonisa dan nilai-nilai setiap ordenya semua hasil pengujian, selengkapya disertakan pada lampiran. Nilai THD dapat merepresentasikan besarnya distorsi harmonisa yang ditimbulkan.

## 2.Lampu B

Tabel 4.28 : Orde harmonisa utk Beban Lampu B pada 2 buah lampu

Lampu B	2 Lampu										
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
I HD(A)	0.08	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
%	100	59.61	27.88	25.25	10.48	10.01	8.26	9.45	9.46	6.59	8.00



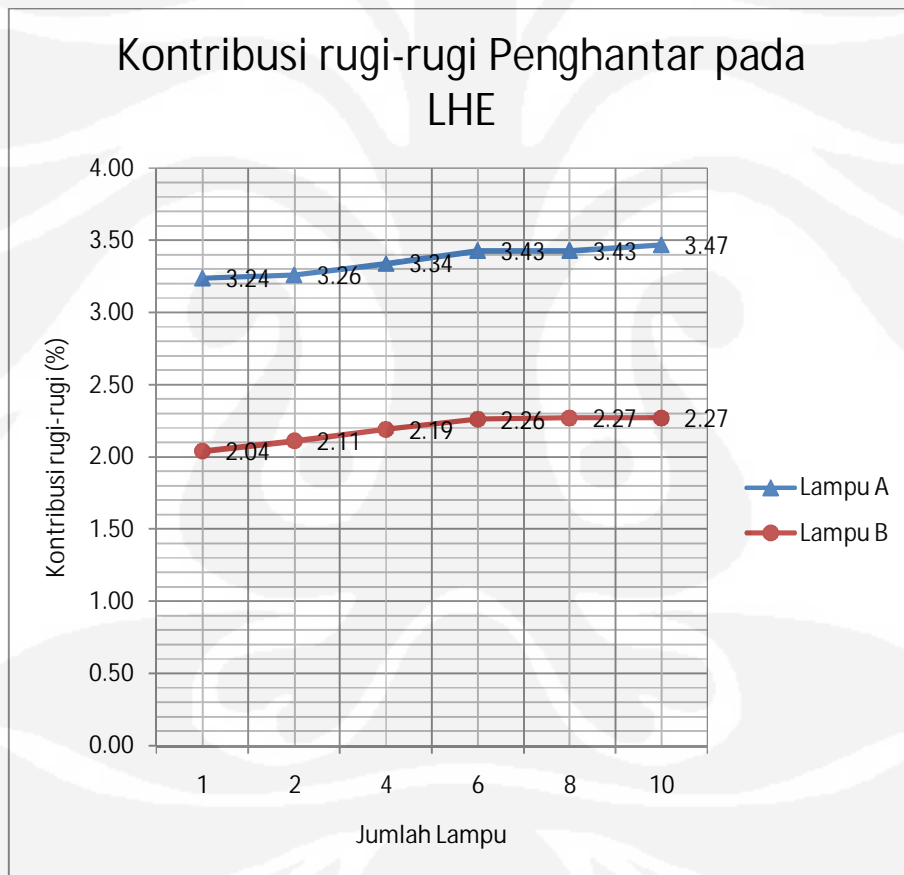
Gambar 4.18: Spektrum Harmonisa untuk Lampu B pada 2 buah lampu

Tabel 4.29 : Perhitungan rugi-rugi penghantar pada lampu B untuk 2 buah lampu

$I_{rms}$ (A)	0.10	I- Fund	0.0815			
$P_{rms}$ (W)	0.00636	THD_F	75.27%			
Orde	Frekuensi (Hz)	$R_{AC} / R_{DC}$	$R_{DC}$	$R_{Harmonik}$ ( )	$I_{HD}$ (A)	Rugi-rugi (Watt)
3	150	1.0023	0.036	0.0364	0.0485	0.000086
5	250	1.0006	0.036	0.0363	0.0227	0.000019
7	350	1.0016	0.036	0.0364	0.0210	0.000016
9	450	1.0043	0.036	0.0365	0.0085	0.000003
11	550	1.0083	0.036	0.0366	0.0082	0.000002
13	650	1.0133	0.036	0.0368	0.0067	0.000002
15	750	1.0193	0.036	0.0370	0.0077	0.000002
17	850	1.0260	0.036	0.0372	0.0078	0.000002
19	950	1.0335	0.036	0.0375	0.0047	0.000001
21	1050	1.0417	0.036	0.0378	0.0064	0.000002
Rugi - Rugi ( $P_h$ )						0.000134
Kontribusi Rugi-rugi thd $P_{rms}$						2.11%

Dari tabel 4.27 dan 4.29 diketahui bahwa Lampu tipe A menghasilkan rugi-rugi pada penghantar lebih tinggi dibanding dari

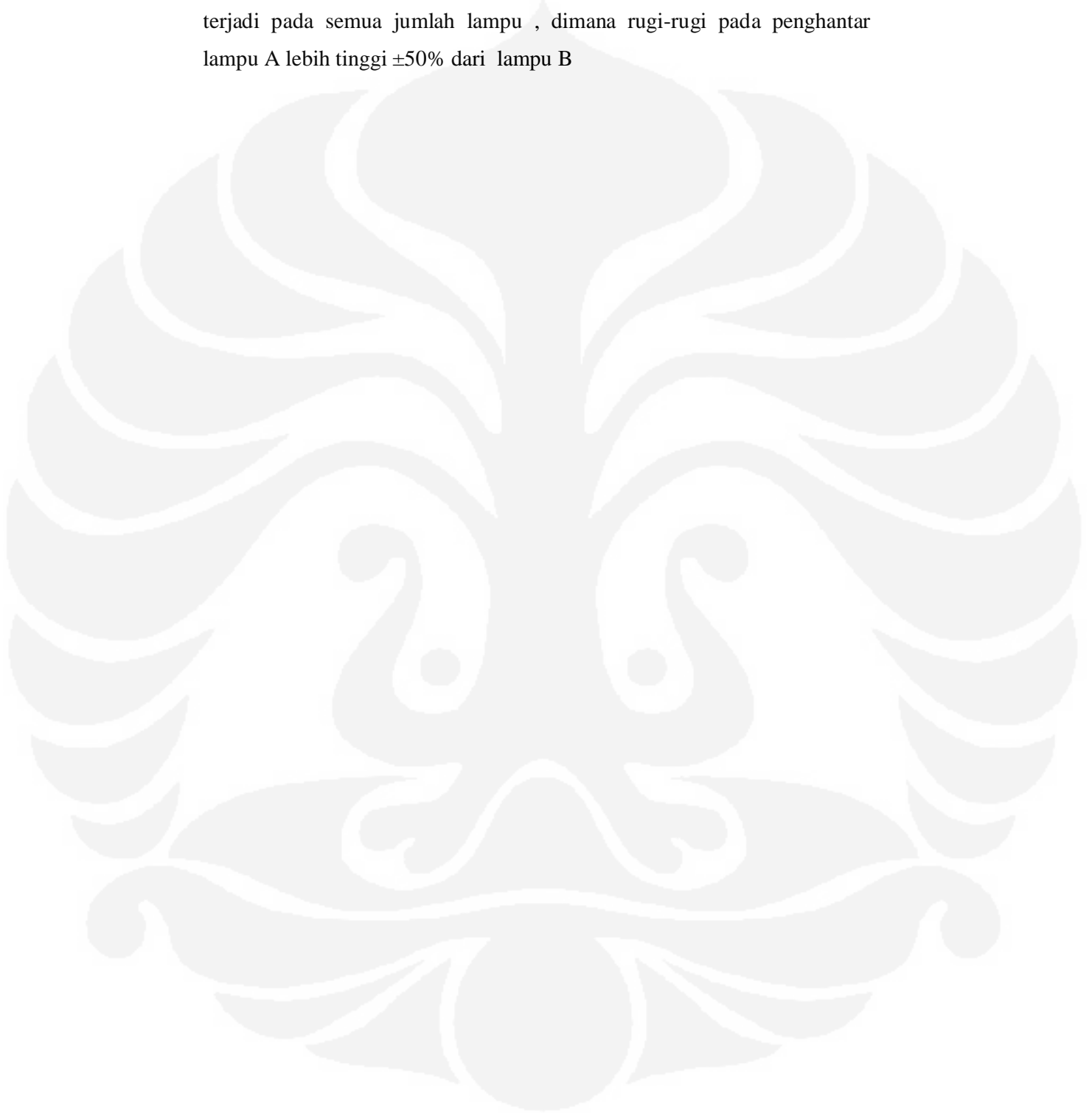
Lampu tipe B , dapat juga dilihat dari spektrum harmonisa dari kedua lampu tersebut dimana pada lampu tipe A arus orde ke-3 mencapai 76% dari arus fundamental sedangkan dalam kondisi yang sama pada lampu tipe B arus orde ke-3 hanya mencapai 60% dari arus fundamental atau dengan kata lain arus yang terdistorsi pada lampu tipe A besar dibanding lampu tipe B yaitu mencapai  $\pm 20\%$  . Mengacu pada persamaan 2-3 bahwa nilai THD merupakan perbandingan antara jumlah semua arus harmonisa terhadap arus fundamental semakin tinggi arus yang terdistorsi sedangkan arus fundamentalnya konstan maka semakin besar THD nya dan ini akan berdampak pada rugi-rugi penghantar. Untuk lebih jelasnya



Gambar 4.19: Perbandingan Kontribusi rugi-rugi penghantar pada 2 LHE yang berbeda.



Dari gambar 4.19 diatas dapat dilihat bahwa rugi-rugi penghantar yang dihasilkan oleh Lampu A lebih tinggi dari pada Lampu B dan itu terjadi pada semua jumlah lampu , dimana rugi-rugi pada penghantar lampu A lebih tinggi  $\pm 50\%$  dari lampu B



## BAB V

### KESIMPULAN

1. Frekuensi harmonik menyebabkan peningkatan tahanan pada penghantar/kabel akibat efek kulit ( $K_{SE}$ ) dan efek kedekatan ( $K_{PE}$ ) dan bernilai sama untuk semua THD.
2. Kontribusi masing-masing orde harmonik terhadap rugi-rugi kabel/penghantar sangat dipengaruhi oleh tahanan arus harmonik ( $I_{AC}$ ) akibat pengaruh efek kulit dan efek kedekatan untuk beban lampu hemat energi dimana kontribusi rugi-rugi terbesar terjadi pada orde harmonik ke-3 dan ke-5.
3. Untuk variasi nilai THD-F bahwa semakin besar beban harmonik yang disuplay oleh penghantar maka semakin besar pula rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar tersebut dimana peningkatan  $K_{se}$  dan  $K_{pe}$  sebanding dengan frekuensi harmonik ( semakin tinggi nilai frekuensi harmonik semakin tinggi nilai  $K_{SE}$  dan  $K_{PE}$  ).
4. Rugi-rugi penghantar tidaklah sama untuk semua jenis lampu hemat energi , dimana rugi-rugi penghantar pada Lampu A lebih tinggi  $\pm 1.5$  kali dari lampu B .

## DAFTAR ACUAN

- [1] Setiabudy,Rudy , “ Material Teknik Listrik “ Februari 2007 , Depok UI Press , Indonesia.
- [2][3] “*Industrial cable wire*”. Di akses dari [http://www.kabelindo.co.id/industrial\\_cable\\_wire/NYM.html](http://www.kabelindo.co.id/industrial_cable_wire/NYM.html) pada tanggal 10 september 2010.
- [4] Sujatmiko , Agung , Juni 2010 “Pengaruh Harmonisa terhadap Kinerja Transformator Arus “.Depok : Skripsi Departemen Teknik Elektro FT UI
- [5] Chairul Gagarin Irianto, Maula Sukmawidjaja & Aditya Wisnu. Februari 2008. ”Mengurangi Harmonisa pada Transformator 3 Fasa”. Jurnal Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti.
- [6][7] Fuchs, Ewald F., dan Masoum, Mohammad A.S., “Power Quality in Power Systems and Electrical Machines”. March 2008, Perth, Australia.

## DAFTAR PUSTAKA

1. De La Rosa, Francisco C. 2006. "Harmonic and Power Systems". Taylor & Francis Group, LLC.
2. Kusko, Alexander and Thompson, Marc T. 2007. "Power Quality in Electrical Systems". McGraw-Hill.
3. Fuchs, Ewald F., dan Masoum, Mohammad A.S. March 2008. "Power Quality in Power Systems and Electrical Machines". Perth, Australia.
4. Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark f., Santoso, Surya, and Beaty, H. Wayne. 2002. "Electrical Power System Quality Second Edition". McGraw-Hill.
5. Setiabudy, Rudy, "Material Teknik Listrik" Februari 2007, Depok UI Press, Indonesia.
6. Wildi, Theodore, September 1981 "Electrical Power Technology" Laval University, Toronto.
7. ASTM, 1979 "Annual Book of ASTM standards : Part 6 : Copper and Copper Alloy". Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
8. Kabelindo, PT "Building wire catalog and reference" June 2010, Jakarta Indonesia.
9. PLN, PT "Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000", Jakarta Indonesia
10. Fantoni, PF, "OECD Halden Reactor Project" 2006, Institute for energiteknik..Italia,
11. GJ.TOMAN, PF, Fantoni "Cable Aging assessment and condition Monitoring unit Using Line Resonance Analysis(LIRA) on harmonic load" May 2008 ICONE-16. Orlando, Florida
12. Thomas Key "Cost and Benefits of Harmonic Current Reduction for Swith Mode Power Supplies in a Commercial Office Building" March 2004.
13. R.C Celio and P.F Riberio. "Verification of DSM lighting saving when harmonics are introduced." in Electronic Ballast, April 1994.



# LAMPIRAN

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE3_2_3.CSV		
Measurement period	12/30/2010 10:55:10 - 12/30/2010 11:12:14		
Display period	12/30/2010 10:55:10 - 12/30/2010 11:12:10		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE3_2_3.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE3_2_3.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE3_2_3.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE3_2_3.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE3_2_3.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , RE3_2_3.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , RE3_2_3.CSV[kW]
Average value		209.53	5.0886	1.87	1.87	-0.8888	-0.0174	0.9474
Maximum value		209.86	5.1239	2.46	1.93	0.9978	0.0705	1.0743
Time of maximum value		12/30/2010 11:10:10	12/30/2010 10:56:10	12/30/2010 10:55:10	12/30/2010 11:12:10	12/30/2010 10:55:10	12/30/2010 10:55:10	12/30/2010 10:56:10
Minimum value		208.35	5.0682	1.78	1.83	-0.9998	-0.0272	-1.0655
Time of minimum value		12/30/2010 11:05:10	12/30/2010 11:05:10	12/30/2010 11:06:10	12/30/2010 11:00:10	12/30/2010 10:57:10	12/30/2010 10:56:10	12/30/2010 10:55:10
12/30/2010	10:55:10	209.65	5.0963	2.46	1.86	0.9978	0.0705	-1.0655
	10:56:10	209.76	5.1239	2.09	1.86	-0.9997	-0.0272	1.0743
	10:57:10	209.71	5.0872	1.82	1.85	-0.9998	-0.0228	1.0666
	10:58:10	209.45	5.0841	1.82	1.86	-0.9998	-0.0223	1.0646
	10:59:10	209.48	5.0856	1.81	1.85	-0.9998	-0.0218	1.0650
	11:00:10	209.55	5.0867	1.79	1.83	-0.9998	-0.0225	1.0656
	11:01:10	209.39	5.0843	1.79	1.84	-0.9998	-0.0222	1.0643
	11:02:10	209.45	5.0856	1.81	1.85	-0.9998	-0.0219	1.0649
	11:03:10	209.52	5.0861	1.81	1.87	-0.9998	-0.0224	1.0653
	11:04:10	209.67	5.0880	1.79	1.85	-0.9998	-0.0223	1.0665
	11:05:10	208.35	5.0682	1.85	1.87	-0.9998	-0.0221	1.0557
	11:06:10	209.16	5.0816	1.78	1.83	-0.9998	-0.0224	1.0626
	11:07:10	209.48	5.0858	1.85	1.89	-0.9998	-0.0226	1.0651
	11:08:10	209.76	5.0896	1.87	1.91	-0.9998	-0.0223	1.0673
	11:09:10	209.81	5.0905	1.80	1.86	-0.9998	-0.0227	1.0678
	11:10:10	209.86	5.0910	1.87	1.91	-0.9998	-0.0223	1.0681
	11:11:10	209.72	5.0891	1.85	1.87	-0.9998	-0.0225	1.0670
	11:12:10	209.84	5.0908	1.88	1.93	-0.9998	-0.0221	1.0680

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE3_2_3.CSV		
Measurement period	12/30/2010 10:55:10 - 12/30/2010 11:12:14		
Display period	12/30/2010 11:05:10		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE3\_2\_3.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	5.0673	100.00	1.20	21	0.0063	0.12	-42.57
2	0.0047	0.09	-14.37	22	0.0005	0.01	26.29
3	0.0276	0.55	-0.61	23	0.0056	0.11	160.77
4	0.0010	0.02	-34.10	24	0.0008	0.01	-53.46
5	0.0796	1.57	179.99	25	0.0045	0.09	-29.81
6	0.0012	0.02	84.79	26	0.0007	0.01	-155.26
7	0.0159	0.31	52.75	27	0.0073	0.14	-11.88
8	0.0009	0.02	82.14	28	0.0006	0.01	126.41
9	0.0225	0.44	-120.56	29	0.0059	0.12	-108.94
10	0.0008	0.02	-38.37	30	0.0006	0.01	-32.50
11	0.0141	0.28	73.54	31	0.0049	0.10	-112.67
12	0.0009	0.02	-93.33	32	0.0007	0.01	-96.79
13	0.0051	0.10	-83.74	33	0.0034	0.07	122.19
14	0.0007	0.01	-136.15	34	0.0009	0.02	150.56
15	0.0197	0.39	-74.17	35	0.0005	0.01	13.03
16	0.0003	0.01	98.54	36	0.0007	0.01	89.57
17	0.0042	0.08	109.32	37	0.0040	0.08	-34.51
18	0.0001	0.00	-129.59	38	0.0005	0.01	-28.46
19	0.0041	0.08	-111.17	39	0.0008	0.02	-151.95
20	0.0003	0.01	-132.33	40	0.0002	0.00	-117.94
TOTAL	5.0682						
THD-F		1.85					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE10_2_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:22		
Display period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:01		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE10_2_1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE10_2_1.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV[kW]
Average value		210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983	-0.0661	1.1211
Maximum value		210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983	-0.0661	1.1211
Time of maximum value		12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01
Minimum value		210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983	-0.0661	1.1211
Time of minimum value		12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01
12/30/2010	11:46:01	210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983	-0.0661	1.1211
	11:47:01							
	11:48:01							
	11:49:01							
	11:50:01							
	11:51:01							
	11:52:01							
	11:53:01							
	11:54:01							
	11:55:01							
	11:56:01							
	11:57:01							
	11:58:01							
	11:59:01							
	12:00:01							
	12:01:01							
	12:02:01							



**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE5_1_6.CSV		
Measurement period	12/30/2010 11:22:08 - 12/30/2010 11:37:11		
Display period	12/30/2010 11:24:08		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE5\_1\_6.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	4.9214	100.00	2.42	21	0.0205	0.42	10.39
2	0.0069	0.14	44.43	22	0.0008	0.02	178.74
3	0.1271	2.58	-66.16	23	0.0067	0.14	-71.99
4	0.0006	0.01	26.51	24	0.0014	0.03	95.68
5	0.1347	2.74	-164.19	25	0.0123	0.25	-79.04
6	0.0010	0.02	-61.87	26	0.0013	0.03	-41.06
7	0.0637	1.29	115.14	27	0.0021	0.04	-128.90
8	0.0013	0.03	141.19	28	0.0006	0.01	-57.59
9	0.0073	0.15	1.68	29	0.0044	0.09	-175.67
10	0.0012	0.03	-177.81	30	0.0012	0.02	-156.13
11	0.0315	0.64	38.98	31	0.0020	0.04	-62.56
12	0.0011	0.02	4.80	32	0.0010	0.02	120.65
13	0.0220	0.45	-56.05	33	0.0049	0.10	102.01
14	0.0013	0.03	-176.14	34	0.0017	0.03	93.26
15	0.0387	0.79	-86.13	35	0.0052	0.11	-3.59
16	0.0008	0.02	8.01	36	0.0008	0.02	0.50
17	0.0240	0.49	163.35	37	0.0079	0.16	-71.77
18	0.0007	0.02	31.80	38	0.0009	0.02	-59.84
19	0.0133	0.27	116.14	39	0.0060	0.12	-163.85
20	0.0016	0.03	-105.97	40	0.0014	0.03	-152.93
TOTAL	4.9258						
THD-F		4.21					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE10_2_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:22		
Display period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:01		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE10_2_1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE10_2_1.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE10_2_1.CSV
Average value		210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983
Maximum value		210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983
Time of maximum value		12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01
Minimum value		210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983
Time of minimum value		12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01
12/30/2010	11:46:01	210.46	5.3475	6.44	2.00	-0.9983
	11:47:01					
	11:48:01					
	11:49:01					
	11:50:01					
	11:51:01					
	11:52:01					
	11:53:01					
	11:54:01					
	11:55:01					
	11:56:01					
	11:57:01					
	11:58:01					
	11:59:01					
	12:00:01					
	12:01:01					
	12:02:01					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE10_2_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:22		
Display period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:01		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	Q: Reactive power	P: Active power
		Instantaneous value Circuit 1, RE10_2_1.CSV[kvar]	Instantaneous value Circuit 1, RE10_2_1.CSV[kW]
Average value		-0.0661	1.1211
Maximum value		-0.0661	1.1211
Time of maximum value		12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01
Minimum value		-0.0661	1.1211
Time of minimum value		12/30/2010 11:46:01	12/30/2010 11:46:01
12/30/2010	11:46:01	-0.0661	1.1211
	11:47:01		
	11:48:01		
	11:49:01		
	11:50:01		
	11:51:01		
	11:52:01		
	11:53:01		
	11:54:01		
	11:55:01		
	11:56:01		
	11:57:01		
	11:58:01		
	11:59:01		
	12:00:01		
	12:01:01		
	12:02:01		

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE10_2_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 11:46:01 - 12/30/2010 12:02:22		
Display period	12/30/2010 11:46:01		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE10\_2\_1.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	5.3364	100.00	3.33	21	0.0374	0.70	21.38
2	0.0090	0.17	-99.33	22	0.0019	0.04	-10.22
3	0.2326	4.36	-71.73	23	0.0177	0.33	-65.94
4	0.0039	0.07	-20.73	24	0.0035	0.06	-65.23
5	0.1909	3.58	-158.78	25	0.0189	0.35	-97.31
6	0.0026	0.05	133.14	26	0.0016	0.03	143.99
7	0.1187	2.22	122.99	27	0.0077	0.14	133.04
8	0.0010	0.02	2.31	28	0.0009	0.02	-173.82
9	0.0274	0.51	29.43	29	0.0052	0.10	-148.95
10	0.0021	0.04	57.42	30	0.0015	0.03	34.80
11	0.0474	0.89	33.70	31	0.0024	0.04	126.83
12	0.0025	0.05	-153.58	32	0.0008	0.01	98.43
13	0.0341	0.64	-52.88	33	0.0091	0.17	59.13
14	0.0032	0.06	2.42	34	0.0024	0.05	-23.30
15	0.0611	1.14	-85.96	35	0.0093	0.17	-48.29
16	0.0015	0.03	-123.24	36	0.0029	0.05	-130.91
17	0.0477	0.89	171.02	37	0.0036	0.07	-91.92
18	0.0032	0.06	-130.75	38	0.0036	0.07	135.12
19	0.0299	0.56	113.50	39	0.0042	0.08	-134.93
20	0.0047	0.09	88.52	40	0.0037	0.07	28.79
TOTAL	5.3475						
THD-F		6.44					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE15_2_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 09:51:41 - 12/30/2010 10:11:42		
Display period	12/30/2010 09:51:41 - 12/30/2010 10:11:41		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE15_2_1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE15_2_1.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE15_2_1.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE15_2_1.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE15_2_1.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , RE15_2_1.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , RE15_2_1.CSV[kW]
Average value		211.08	5.0241	11.15	1.81	0.9947	0.1082	-1.0482
Maximum value		211.84	5.0418	11.32	1.87	0.9950	0.1128	-1.0421
Time of maximum value		12/30/2010 09:51:41	12/30/2010 09:51:41	12/30/2010 09:55:41	12/30/2010 10:07:41	12/30/2010 09:51:41	12/30/2010 09:59:41	12/30/2010 10:09:41
Minimum value		210.17	5.0152	11.00	1.74	0.9942	0.1043	-1.0560
Time of minimum value		12/30/2010 10:10:41	12/30/2010 10:09:41	12/30/2010 09:51:41	12/30/2010 09:55:41	12/30/2010 09:59:41	12/30/2010 10:11:41	12/30/2010 09:51:41
12/30/2010	09:51:41	211.84	5.0418	11.00	1.75	0.9950	0.1062	-1.0560
	09:52:41	211.27	5.0267	11.09	1.77	0.9946	0.1097	-1.0495
	09:53:41	211.58	5.0358	11.04	1.75	0.9949	0.1063	-1.0534
	09:54:41	211.17	5.0216	11.11	1.75	0.9944	0.1111	-1.0478
	09:55:41	211.10	5.0297	11.32	1.74	0.9949	0.1059	-1.0494
	09:56:41	211.19	5.0247	11.19	1.83	0.9947	0.1088	-1.0487
	09:57:41	211.23	5.0181	11.15	1.81	0.9943	0.1127	-1.0472
	09:58:41	211.18	5.0172	11.13	1.82	0.9943	0.1122	-1.0468
	09:59:41	211.28	5.0170	11.18	1.80	0.9942	0.1128	-1.0471
	10:00:41	211.25	5.0202	11.11	1.85	0.9944	0.1113	-1.0478
	10:01:41	210.93	5.0178	11.15	1.80	0.9945	0.1106	-1.0458
	10:02:41	211.45	5.0284	11.21	1.85	0.9946	0.1092	-1.0508
	10:03:41	211.26	5.0260	11.22	1.84	0.9948	0.1078	-1.0494
	10:04:41	211.53	5.0342	11.24	1.83	0.9950	0.1060	-1.0527
	10:05:41	211.29	5.0284	11.16	1.82	0.9949	0.1062	-1.0503
	10:06:41	211.16	5.0271	11.16	1.83	0.9948	0.1072	-1.0493
	10:07:41	211.04	5.0258	11.17	1.87	0.9949	0.1067	-1.0484
	10:08:41	210.44	5.0169	11.16	1.86	0.9948	0.1063	-1.0436
	10:09:41	210.20	5.0152	11.15	1.83	0.9948	0.1063	-1.0421
	10:10:41	210.17	5.0165	11.14	1.85	0.9949	0.1054	-1.0423
	10:11:41	210.20	5.0174	11.13	1.86	0.9950	0.1043	-1.0427

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE15_2_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 09:51:41 - 12/30/2010 10:11:42		
Display period	12/30/2010 10:09:41		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE15\_2\_1.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	4.9843	100.00	-174.22	21	0.0562	1.13	-144.99
2	0.0133	0.27	52.49	22	0.0052	0.11	171.79
3	0.4057	8.14	103.94	23	0.0474	0.95	129.39
4	0.0007	0.01	-51.93	24	0.0042	0.08	125.10
5	0.2564	5.14	22.10	25	0.0331	0.66	71.38
6	0.0015	0.03	-81.12	26	0.0057	0.11	26.35
7	0.1983	3.98	-50.05	27	0.0273	0.55	-15.09
8	0.0032	0.06	136.40	28	0.0039	0.08	-62.57
9	0.0846	1.70	-147.64	29	0.0109	0.22	-87.15
10	0.0013	0.03	-75.52	30	0.0041	0.08	-120.83
11	0.0623	1.25	-153.91	31	0.0113	0.23	-107.83
12	0.0030	0.06	28.88	32	0.0037	0.07	135.12
13	0.0670	1.34	126.23	33	0.0131	0.26	172.18
14	0.0062	0.12	-149.15	34	0.0009	0.02	113.23
15	0.0769	1.54	86.16	35	0.0099	0.20	123.19
16	0.0047	0.09	69.82	36	0.0044	0.09	36.09
17	0.0826	1.66	-7.76	37	0.0094	0.19	54.36
18	0.0026	0.05	30.14	38	0.0043	0.09	-72.30
19	0.0501	1.00	-85.11	39	0.0045	0.09	45.25
20	0.0069	0.14	-73.61	40	0.0033	0.07	-133.67
TOTAL	5.0152						
THD-F		11.15					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE25_2_0.CSV		
Measurement period	12/30/2010 10:28:46 - 12/30/2010 10:49:10		
Display period	12/30/2010 10:28:46 - 12/30/2010 10:48:46		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE25_2_0.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE25_2_0.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE25_2_0.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE25_2_0.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE25_2_0.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , RE25_2_0.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , RE25_2_0.CSV[kW]
Average value		209.87	5.0166	17.65	1.85	0.9895	0.1496	-1.0254
Maximum value		210.56	5.0784	18.41	1.91	0.9900	0.1550	-1.0188
Time of maximum value		12/30/2010 10:34:46	12/30/2010 10:44:46	12/30/2010 10:47:46	12/30/2010 10:45:46	12/30/2010 10:36:46	12/30/2010 10:45:46	12/30/2010 10:41:46
Minimum value		208.46	4.9866	17.28	1.79	0.9890	0.1457	-1.0356
Time of minimum value		12/30/2010 10:46:46	12/30/2010 10:30:46	12/30/2010 10:28:46	12/30/2010 10:29:46	12/30/2010 10:44:46	12/30/2010 10:41:46	12/30/2010 10:44:46
12/30/2010	10:28:46	209.79	4.9993	17.28	1.82	0.9899	0.1465	-1.0225
	10:29:46	209.93	4.9998	17.35	1.79	0.9899	0.1468	-1.0232
	10:30:46	209.78	4.9866	17.30	1.85	0.9891	0.1519	-1.0190
	10:31:46	210.01	4.9932	17.44	1.83	0.9893	0.1504	-1.0216
	10:32:46	210.09	4.9972	17.40	1.84	0.9898	0.1474	-1.0233
	10:33:46	210.18	4.9943	17.32	1.82	0.9896	0.1490	-1.0231
	10:34:46	210.56	4.9999	17.44	1.88	0.9897	0.1483	-1.0261
	10:35:46	210.28	4.9989	17.38	1.89	0.9898	0.1474	-1.0245
	10:36:46	210.31	4.9946	17.31	1.86	0.9900	0.1462	-1.0240
	10:37:46	210.14	4.9953	17.47	1.84	0.9898	0.1473	-1.0231
	10:38:46	210.51	4.9957	17.39	1.87	0.9897	0.1486	-1.0250
	10:39:46	210.45	4.9996	17.37	1.85	0.9899	0.1467	-1.0257
	10:40:46	209.76	4.9925	17.50	1.86	0.9899	0.1461	-1.0207
	10:41:46	209.50	4.9887	17.36	1.83	0.9899	0.1457	-1.0188
	10:42:46	209.36	5.0246	17.88	1.86	0.9894	0.1504	-1.0241
	10:43:46	209.42	5.0274	17.89	1.84	0.9893	0.1509	-1.0248
	10:44:46	209.74	5.0784	18.34	1.90	0.9890	0.1546	-1.0356
	10:45:46	209.72	5.0765	18.26	1.91	0.9890	0.1550	-1.0353
	10:46:46	208.46	5.0578	18.25	1.86	0.9890	0.1537	-1.0252
	10:47:46	209.68	5.0751	18.41	1.86	0.9890	0.1548	-1.0345
	10:48:46	209.51	5.0729	18.30	1.87	0.9891	0.1540	-1.0334

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE25_2_0.CSV		
Measurement period	12/30/2010 10:28:46 - 12/30/2010 10:49:10		
Display period	12/30/2010 10:28:46		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE25\_2\_0.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	4.9261	100.00	-171.91	21	0.0832	1.69	-145.31
2	0.0051	0.10	-128.31	22	0.0058	0.12	-137.54
3	0.6430	13.05	103.82	23	0.0541	1.10	125.36
4	0.0007	0.01	-147.14	24	0.0056	0.11	140.84
5	0.3723	7.56	26.77	25	0.0364	0.74	86.71
6	0.0018	0.04	2.65	26	0.0070	0.14	70.79
7	0.2933	5.95	-47.67	27	0.0347	0.71	4.38
8	0.0004	0.01	-135.92	28	0.0099	0.20	-22.07
9	0.1155	2.35	-136.63	29	0.0208	0.42	-55.53
10	0.0009	0.02	17.74	30	0.0092	0.19	-122.04
11	0.1055	2.14	-147.70	31	0.0248	0.50	-137.46
12	0.0016	0.03	-96.05	32	0.0076	0.15	150.53
13	0.0978	1.98	134.31	33	0.0104	0.21	92.09
14	0.0009	0.02	163.88	34	0.0063	0.13	62.98
15	0.1217	2.47	91.82	35	0.0080	0.16	-149.97
16	0.0032	0.06	114.66	36	0.0024	0.05	-35.68
17	0.1297	2.63	-2.61	37	0.0119	0.24	124.88
18	0.0039	0.08	16.98	38	0.0026	0.05	-15.22
19	0.0793	1.61	-77.72	39	0.0198	0.40	37.62
20	0.0040	0.08	-53.57	40	0.0051	0.10	-115.26
TOTAL	4.9991						
THD-F		17.28					



**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	R485_0_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 14:40:08 - 12/30/2010 14:55:09		
Display period	12/30/2010 14:40:08 - 12/30/2010 14:55:08		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , R485_0_1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , R485_0_1.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , R485_0_1.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , R485_0_1.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , R485_0_1.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , R485_0_1.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , R485_0_1.CSV[kW]
Average value		212.50	4.5621	67.90	2.43	-0.9054	-0.3394	0.7237
Maximum value		213.10	4.5767	68.36	2.50	-0.9040	-0.3364	0.7279
Time of maximum value		12/30/2010 14:43:08	12/30/2010 14:41:08	12/30/2010 14:54:08	12/30/2010 14:55:08	12/30/2010 14:41:08	12/30/2010 14:51:08	12/30/2010 14:43:08
Minimum value		212.09	4.5521	66.97	2.37	-0.9066	-0.3432	0.7203
Time of minimum value		12/30/2010 14:52:08	12/30/2010 14:49:08	12/30/2010 14:40:08	12/30/2010 14:53:08	12/30/2010 14:51:08	12/30/2010 14:41:08	12/30/2010 14:52:08
12/30/2010	14:40:08	212.19	4.5705	66.97	2.42	-0.9044	-0.3426	0.7262
	14:41:08	212.36	4.5767	67.59	2.42	-0.9040	-0.3432	0.7257
	14:42:08	212.73	4.5739	67.92	2.49	-0.9052	-0.3409	0.7262
	14:43:08	213.10	4.5714	67.58	2.45	-0.9053	-0.3416	0.7279
	14:44:08	212.65	4.5675	67.73	2.39	-0.9044	-0.3420	0.7250
	14:45:08	212.62	4.5664	67.87	2.42	-0.9050	-0.3407	0.7248
	14:46:08	212.62	4.5647	68.14	2.42	-0.9047	-0.3407	0.7235
	14:47:08	212.57	4.5562	67.84	2.39	-0.9057	-0.3385	0.7232
	14:48:08	212.42	4.5581	68.09	2.44	-0.9054	-0.3388	0.7225
	14:49:08	212.31	4.5521	67.66	2.38	-0.9055	-0.3384	0.7223
	14:50:08	212.35	4.5555	68.03	2.41	-0.9059	-0.3374	0.7220
	14:51:08	212.51	4.5529	68.01	2.46	-0.9066	-0.3364	0.7227
	14:52:08	212.09	4.5565	68.33	2.45	-0.9055	-0.3375	0.7203
	14:53:08	212.44	4.5548	68.02	2.37	-0.9056	-0.3380	0.7217
	14:54:08	212.29	4.5592	68.36	2.45	-0.9063	-0.3368	0.7221
	14:55:08	212.82	4.5579	68.32	2.50	-0.9062	-0.3375	0.7234

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	R485_0_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 14:40:08 - 12/30/2010 14:55:09		
Display period	12/30/2010 14:40:08		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , R485\_0\_1.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	3.7968	100.00	25.09	21	0.3066	8.08	-28.39
2	0.0070	0.19	71.60	22	0.0188	0.50	28.84
3	1.8606	49.00	-82.81	23	0.2032	5.35	-134.99
4	0.0031	0.08	-168.25	24	0.0131	0.34	-112.71
5	1.0406	27.41	-150.83	25	0.1072	2.82	153.14
6	0.0090	0.24	-31.52	26	0.0143	0.38	127.13
7	0.9934	26.16	121.03	27	0.1024	2.70	43.59
8	0.0100	0.26	172.19	28	0.0235	0.62	-5.09
9	0.4252	11.20	28.50	29	0.0453	1.19	-127.15
10	0.0066	0.17	68.20	30	0.0261	0.69	-138.92
11	0.3396	8.95	1.87	31	0.0205	0.54	27.59
12	0.0121	0.32	-40.82	32	0.0225	0.59	105.24
13	0.2925	7.70	-73.31	33	0.0208	0.55	10.73
14	0.0164	0.43	175.80	34	0.0211	0.56	-9.21
15	0.3663	9.65	-125.42	35	0.0512	1.35	-140.75
16	0.0156	0.41	42.73	36	0.0178	0.47	-139.36
17	0.4051	10.67	137.27	37	0.0461	1.21	60.27
18	0.0162	0.43	-66.66	38	0.0138	0.36	74.15
19	0.2906	7.65	56.70	39	0.0186	0.49	-66.59
20	0.0204	0.54	170.12	40	0.0121	0.32	-64.10
TOTAL	4.5697						
THD-F		66.97					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE55_1_3.CSV		
Measurement period	12/30/2010 13:23:22 - 12/30/2010 13:38:24		
Display period	12/30/2010 13:23:22 - 12/30/2010 13:38:22		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE55_1_3.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE55_1_3.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE55_1_3.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE55_1_3.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE55_1_3.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , RE55_1_3.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , RE55_1_3.CSV[kW]
Average value		210.64	4.9723	37.39	2.25	-0.9675	-0.2477	0.9481
Maximum value		211.46	4.9980	37.81	2.32	-0.9667	-0.2441	0.9566
Time of maximum value		12/30/2010 13:23:22	12/30/2010 13:24:22	12/30/2010 13:36:22	12/30/2010 13:27:22	12/30/2010 13:33:22	12/30/2010 13:32:22	12/30/2010 13:25:22
Minimum value		209.98	4.9572	36.70	2.19	-0.9683	-0.2525	0.9404
Time of minimum value		12/30/2010 13:36:22	12/30/2010 13:36:22	12/30/2010 13:23:22	12/30/2010 13:33:22	12/30/2010 13:31:22	12/30/2010 13:24:22	12/30/2010 13:36:22
12/30/2010	13:23:22	211.46	4.9600	36.70	2.27	-0.9682	-0.2463	0.9523
	13:24:22	211.10	4.9980	36.73	2.23	-0.9669	-0.2525	0.9564
	13:25:22	211.31	4.9970	37.06	2.24	-0.9674	-0.2504	0.9566
	13:26:22	211.29	4.9892	37.18	2.28	-0.9679	-0.2479	0.9552
	13:27:22	211.05	4.9794	37.32	2.32	-0.9679	-0.2471	0.9520
	13:28:22	210.86	4.9770	37.32	2.31	-0.9682	-0.2458	0.9508
	13:29:22	210.62	4.9752	37.36	2.25	-0.9678	-0.2467	0.9489
	13:30:22	210.52	4.9715	37.45	2.23	-0.9679	-0.2461	0.9476
	13:31:22	210.57	4.9730	37.47	2.29	-0.9683	-0.2444	0.9483
	13:32:22	210.28	4.9631	37.22	2.24	-0.9683	-0.2441	0.9457
	13:33:22	210.29	4.9656	37.72	2.19	-0.9667	-0.2499	0.9435
	13:34:22	210.07	4.9614	37.65	2.21	-0.9668	-0.2489	0.9419
	13:35:22	210.17	4.9605	37.74	2.19	-0.9669	-0.2486	0.9420
	13:36:22	209.98	4.9572	37.81	2.24	-0.9670	-0.2479	0.9404
	13:37:22	210.48	4.9638	37.67	2.25	-0.9673	-0.2477	0.9445
	13:38:22	210.16	4.9641	37.79	2.26	-0.9671	-0.2481	0.9427

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE55_1_3.CSV		
Measurement period	12/30/2010 13:23:22 - 12/30/2010 13:38:24		
Display period	12/30/2010 13:26:22		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE55\_1\_3.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	4.6763	100.00	14.47	21	0.2227	4.76	-8.48
2	0.0126	0.27	-76.28	22	0.0082	0.18	-68.59
3	1.2678	27.11	-80.56	23	0.1274	2.72	-110.12
4	0.0052	0.11	-91.63	24	0.0039	0.08	-57.83
5	0.7276	15.56	-149.24	25	0.0631	1.35	-158.52
6	0.0087	0.19	160.10	26	0.0060	0.13	172.36
7	0.6578	14.07	125.57	27	0.0542	1.16	102.36
8	0.0047	0.10	28.30	28	0.0074	0.16	161.27
9	0.2689	5.75	32.64	29	0.0049	0.11	-159.64
10	0.0063	0.14	11.72	30	0.0123	0.26	31.05
11	0.2066	4.42	15.68	31	0.0349	0.75	30.69
12	0.0076	0.16	-146.12	32	0.0088	0.19	-52.33
13	0.1878	4.01	-52.72	33	0.0070	0.15	-7.04
14	0.0036	0.08	-3.44	34	0.0091	0.20	-155.95
15	0.2759	5.90	-102.14	35	0.0395	0.84	-105.55
16	0.0010	0.02	115.48	36	0.0088	0.19	102.83
17	0.3145	6.73	158.74	37	0.0281	0.60	101.64
18	0.0080	0.17	-153.33	38	0.0065	0.14	-79.16
19	0.2240	4.79	75.55	39	0.0100	0.21	-0.74
20	0.0127	0.27	64.39	40	0.0052	0.11	57.77
TOTAL	4.9890						
THD-F		37.18					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE65_1_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 13:47:41 - 12/30/2010 13:58:27		
Display period	12/30/2010 13:47:41 - 12/30/2010 13:57:41		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE65_1_1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE65_1_1.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE65_1_1.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE65_1_1.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE65_1_1.CSV	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 1 , RE65_1_1.CSV[kvar]	P: Active power Instantaneous value Circuit 1 , RE65_1_1.CSV[kW]
Average value		211.37	5.1487	43.76	2.31	-0.9568	-0.2894	0.9526
Maximum value		211.56	5.1767	43.92	2.40	-0.9550	-0.2819	0.9559
Time of maximum value		12/30/2010 13:51:41	12/30/2010 13:47:41	12/30/2010 13:54:41	12/30/2010 13:57:41	12/30/2010 13:47:41	12/30/2010 13:57:41	12/30/2010 13:47:41
Minimum value		211.13	5.1342	43.55	2.24	-0.9589	-0.2968	0.9491
Time of minimum value		12/30/2010 13:52:41	12/30/2010 13:57:41	12/30/2010 13:47:41	12/30/2010 13:53:41	12/30/2010 13:57:41	12/30/2010 13:47:41	12/30/2010 13:53:41
12/30/2010	13:47:41	211.22	5.1767	43.55	2.31	-0.9550	-0.2968	0.9559
	13:48:41	211.28	5.1714	43.71	2.34	-0.9556	-0.2946	0.9553
	13:49:41	211.39	5.1562	43.55	2.27	-0.9558	-0.2935	0.9536
	13:50:41	211.50	5.1543	43.76	2.32	-0.9562	-0.2920	0.9537
	13:51:41	211.56	5.1526	43.86	2.32	-0.9564	-0.2912	0.9533
	13:52:41	211.13	5.1469	43.88	2.28	-0.9564	-0.2902	0.9501
	13:53:41	211.17	5.1361	43.79	2.24	-0.9566	-0.2893	0.9491
	13:54:41	211.38	5.1357	43.92	2.29	-0.9572	-0.2871	0.9502
	13:55:41	211.53	5.1358	43.76	2.29	-0.9583	-0.2842	0.9527
	13:56:41	211.39	5.1353	43.86	2.35	-0.9586	-0.2827	0.9519
	13:57:41	211.48	5.1342	43.71	2.40	-0.9589	-0.2819	0.9530

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE65_1_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 13:47:41 - 12/30/2010 13:58:27		
Display period	12/30/2010 13:50:41		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE65\_1\_1.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	4.7217	100.00	16.87	21	0.2314	4.90	-20.59
2	0.0050	0.11	173.46	22	0.0241	0.51	168.67
3	1.5108	32.00	-80.07	23	0.1452	3.08	-129.04
4	0.0090	0.19	169.59	24	0.0188	0.40	63.03
5	0.8520	18.04	-149.08	25	0.0259	0.55	138.76
6	0.0149	0.32	69.80	26	0.0140	0.30	-18.36
7	0.7974	16.89	126.87	27	0.0181	0.38	105.11
8	0.0114	0.24	-38.25	28	0.0146	0.31	-110.81
9	0.3505	7.42	30.60	29	0.0216	0.46	-177.29
10	0.0070	0.15	-115.57	30	0.0076	0.16	141.11
11	0.2344	4.97	15.21	31	0.0341	0.72	30.09
12	0.0047	0.10	-178.05	32	0.0061	0.13	131.49
13	0.2335	4.95	-56.11	33	0.0081	0.17	178.41
14	0.0045	0.10	174.25	34	0.0096	0.20	6.27
15	0.3101	6.57	-106.06	35	0.0155	0.33	-33.87
16	0.0114	0.24	97.38	36	0.0017	0.04	-177.06
17	0.3763	7.97	156.03	37	0.0078	0.16	-33.77
18	0.0150	0.32	3.64	38	0.0082	0.17	-86.38
19	0.2731	5.78	64.04	39	0.0192	0.41	-158.93
20	0.0205	0.44	-85.77	40	0.0054	0.12	112.69
TOTAL	5.1541						
THD-F		43.76					

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**

Time series data

Title	RE70_1_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 14:12:07 - 12/30/2010 14:27:58		
Display period	12/30/2010 14:12:07 - 12/30/2010 14:27:07		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	1 Minute
Comment			

Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value , RE70_1_1.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE70_1_1.CSV[A]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE70_1_1.CSV[%]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value , RE70_1_1.CSV[%]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 1 , RE70_1_1.CSV
Average value		212.18	4.4665	58.50	2.38	-0.9281
Maximum value		212.63	4.4865	59.05	2.44	-0.9261
Time of maximum value		12/30/2010 14:26:07	12/30/2010 14:13:07	12/30/2010 14:25:07	12/30/2010 14:25:07	12/30/2010 14:12:07
Minimum value		211.86	4.4609	57.69	2.31	-0.9297
Time of minimum value		12/30/2010 14:14:07	12/30/2010 14:18:07	12/30/2010 14:12:07	12/30/2010 14:12:07	12/30/2010 14:26:07
12/30/2010	14:12:07	212.01	4.4698	57.69	2.31	-0.9261
	14:13:07	212.11	4.4865	57.96	2.36	-0.9267
	14:14:07	211.86	4.4694	57.91	2.33	-0.9269
	14:15:07	212.15	4.4633	58.37	2.36	-0.9272
	14:16:07	212.05	4.4621	58.07	2.34	-0.9277
	14:17:07	212.17	4.4635	58.35	2.37	-0.9280
	14:18:07	211.99	4.4609	58.42	2.32	-0.9276
	14:19:07	212.08	4.4640	58.55	2.39	-0.9285
	14:20:07	212.01	4.4653	58.49	2.35	-0.9279
	14:21:07	212.09	4.4653	58.79	2.38	-0.9281
	14:22:07	212.23	4.4710	58.98	2.43	-0.9288
	14:23:07	212.20	4.4651	58.83	2.43	-0.9293
	14:24:07	212.33	4.4619	58.86	2.40	-0.9293
	14:25:07	212.37	4.4650	59.05	2.44	-0.9288
	14:26:07	212.63	4.4636	58.72	2.43	-0.9297
	14:27:07	212.60	4.4670	58.96	2.43	-0.9291

**9625 POWER  
MEASUREMENT  
SUPPORT SOFTWARE**  
Harmonic list

Title	RE70_1_1.CSV		
Measurement period	12/30/2010 14:12:07 - 12/30/2010 14:27:58		
Display period	12/30/2010 14:18:07		
Measurement interval	1 Minute	Data interval	
Comment			

LVL\_I1: Harmonic level current CH1 Instantaneous value Circuit 1 , RE70\_1\_1.CSV[A]

Order	[A]	[%]	[°]	Order	[A]	[%]	[°]
1	3.8516	100.00	21.76	21	0.2871	7.45	-29.87
2	0.0097	0.25	-53.64	22	0.0088	0.23	-32.78
3	1.6406	42.60	-82.39	23	0.1887	4.90	-138.40
4	0.0022	0.06	-103.40	24	0.0110	0.28	-92.28
5	0.9157	23.77	-151.48	25	0.0644	1.67	151.43
6	0.0043	0.11	162.72	26	0.0107	0.28	173.24
7	0.8788	22.82	121.88	27	0.0673	1.75	72.41
8	0.0006	0.02	24.84	28	0.0119	0.31	101.48
9	0.3989	10.36	26.23	29	0.0080	0.21	-97.51
10	0.0017	0.05	30.71	30	0.0147	0.38	1.32
11	0.2689	6.98	-0.63	31	0.0393	1.02	-22.39
12	0.0037	0.09	145.58	32	0.0122	0.32	-106.50
13	0.2301	5.97	-70.64	33	0.0209	0.54	158.99
14	0.0080	0.21	-12.07	34	0.0065	0.17	168.21
15	0.3223	8.37	-116.88	35	0.0170	0.44	-109.43
16	0.0048	0.12	-115.85	36	0.0072	0.19	66.58
17	0.3911	10.15	144.17	37	0.0184	0.48	56.43
18	0.0113	0.29	-167.18	38	0.0037	0.10	-134.27
19	0.2962	7.69	56.80	39	0.0078	0.20	-174.67
20	0.0158	0.41	67.35	40	0.0047	0.12	14.41
TOTAL	4.4606						
THD-F		58.42					