



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA *BALLAST*
ELEKTROMAGNETIK DENGAN *BALLAST* ELEKTRONIK
PADA *TUBE FLOURESCENT LAMP***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

WILMAN AGUSTIAWAN

0706268083

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

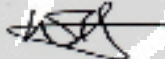
JUNI 2011

HALAMAN PENYATAAN ORISINAITAS

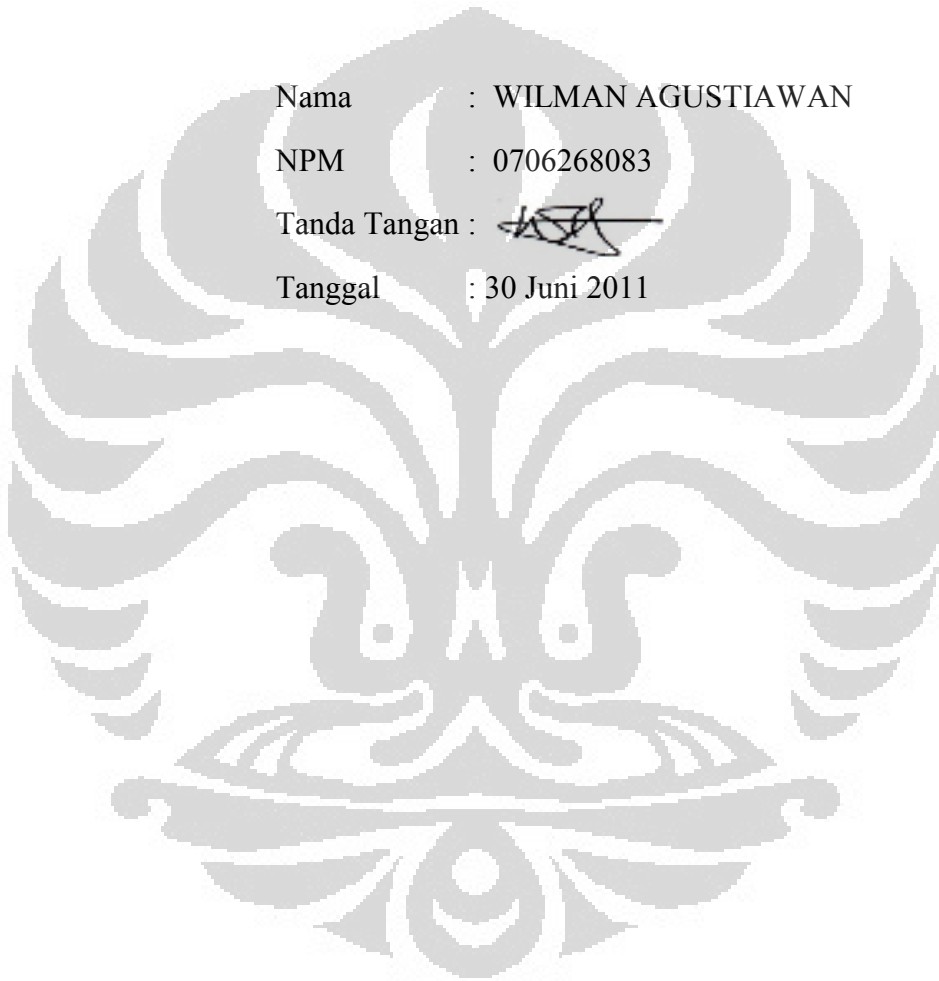
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan benar

Nama : WILMAN AGUSTIAWAN

NPM : 0706268083

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Wilman Agustianawan

NPM : 0706268083

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Studi Perbandingan Unjuk Kerja Ballast
Elektromagnetik dengan Ballast Elektronik Pada
Tube Fluorescent Lamp

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dalam Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Arrian Rahardjo, MT

Penguji : Prof. Dr. Ir. Rucy Setiawan, DEA

Penguji : Aji Nur Widyanto, ST, MT

Ditandatangani di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

v

KATA PENGANTAR

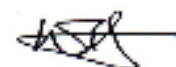
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.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

- (1) Ir. Amien Rahardjo, MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Aji Nur Widyanto, ST. MT. selaku dosen yang banyak memberikan bantuan dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) pihak Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Departemen Teknik Elektro FTUI yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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, 13 Juni 2011

Penulis



Wilman Agustiawan

NPM. 0706268083

HALAMAN PENYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademis Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wilman Agustiawan

NPM : 0706268083

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 :

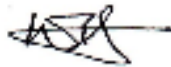
**STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA *BALLAST*
ELEKTROMAGNETIK DENGAN *BALLAST* ELEKTRONIK PADA *TUBE*
*FLOURESCENT LAMP***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalty Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir 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 :

Pada tanggal :



Yang menyatakan
(Wilman Agustiawan)

ABSTRAK

Nama : Wilman Agustiawan
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Perbandingan Unjuk Kerja *Ballast* Elektromagnetik dengan *Ballast* Elektronik Pada *Tube Flourescent Lamp*

Lampu Flourescent telah digunakan oleh banyak pihak dikarenakan lampu ini lebih efisiensi dibandingkan dengan lampu pijar. Pada awalnya digunakan *ballast* elektromagnetik untuk mendukung kerja dari lampu fluorescent. Namun *ballast* elektromagnetik memiliki faktor daya yang kecil dan efisiensi yang kecil yang mendorong timbul *ballast* elektronik untuk mengatasi masalah pada *ballast* elektromagnetik. Pada penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan unjuk kerja dari *ballast* elektromagnetik dan ballast elektronik. Perbandingan yang dilakukan pada skripsi ini adalah *power quality*, *current crest factor* dan segi ekonomis. Pada perbandingan *power quality* tentang konsumsi daya didapatkan bahwa *ballast* elektronik 18 W lebih efisien 36.40 % daripada *ballast* elektromagnetik 18 W

Kata Kunci :

lampu fluorescent, ballast *elektromagnetik*, ballast elektronik

ABSTRACT

Name : Wilman Agustiawan
Program Study : Electrical Engineering
Title : Comparative Studies Performance Electromagnetic
Ballast With Electronic Ballast In Tube Flourescent Lamp

Flourescent lamps have been used by many parties because this lamp is more efficient than incandescent bulbs. Initially used to support the work of electromagnetic ballasts of flourescent lamps. However, electromagnetic ballast has a small power factor and efficiency that arise encourage small electronic ballast to overcome the problem of the electromagnetic ballast. In this study aims to compare the performance of electromagnetic ballasts and electronic ballasts. Comparisons are done on this thesis is the power quality, current crest factor and economically. In the comparison of power quality on power consumption was found that the electronic ballast 18 W 36.40% more efficient than electromagnetic ballast 18 W

Key Word :

Flourescent Lamp, Electromagnetic Ballast, Electronic Ballast

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENYATAAN ORISINAITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1 Tujuan Penulisan	2
1.2 Pembatasan Masalah.....	2
1.3 Metologi Penulisan	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 DASAR TEORI	4
2.1 Ballast	4
2.1.1 <i>Ballast</i> Elektromagnetik	4
2.1.2 <i>Ballast Elektronik</i>	7
2.1.3 Metode Starting Ballast Lampu TL.....	11
2.2 Lampu	12
2.2.1 Macam-macam Jenis Lampu.....	13
2.3 Pengertian Daya Listrik	18
2.3.1 Daya Aktif.....	18
2.3.2 Daya Reaktif.....	19
2.3.3 Daya Nyata	20
2.4 Faktor Daya	20
2.4.1 Perbaikan Faktor Daya	20
2.4.2 Metode Pemasangan Kapasitor	21
2.5 Harmonisa.....	22
2.5.1 Definisi Harmonisa.....	22
2.5.2 Sumber Harmonisa	23
2.5.3 Pengaruh Harmonisa	24

2.5.4	Indeks Harmonisa.....	26
2.5.5	Pengaruh Harmonisa terhadap Faktor Daya.....	29
BAB 3	OBJEK DAN PROSEDUR PENGUJIAN	34
3.1	Objek Pengujian.....	34
3.2	Peralatan Pengujian	37
3.3	Rangkaian Pengujian	38
3.4	Prosedur Pengujian	41
BAB 4	ANALISIS DATA PENGUJIAN	43
4.1	Analisa Power Quality Ballast.....	43
4.1.1	Konsumsi Daya	43
4.1.2	Total Harmonic Distortion (THD)	48
4.1.3	Faktor Daya	54
4.2	Analisa <i>Current Crest Factor</i> (CCF).....	57
4.3	Analisis Segi Ekonomis <i>Ballast</i>	58
BAB 5	KESIMPULAN	66
DAFTAR ACUAN	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Kurva frekuensi kerja <i>ballast</i> terhadap <i>lumen output</i> [1].....	7
Gambar 2-2 Rangkaian Umum <i>ballast elektronik</i> [2].....	8
Gambar 2-3 Rangkaian <i>flyback inverter</i> [3].....	9
Gambar 2-4 Rangkaian <i>current source resonant</i> [4].....	9
Gambar 2-5 Rangkaian <i>voltage source resonant</i> [5}	10
Gambar 2-6 Aplikasi <i>voltage source resonant</i> [6].....	11
Gambar 2-7 Lampu Halogen.....	14
Gambar 2-8 Lampu Fluorescent.....	15
Gambar 2-9 Lampu High Intensity Discharge	17
Gambar 2-10 Lampu Light Emitting Diode.....	18
Gambar 2-11 Perbaikan faktor daya [8].....	21
Gambar 2-12 Proses pembentukan gelombang non-sinusoidal akibat distorsi harmonisa	23
Gambar 2-13 Keluaran gelombang linear	23
Gambar 2-14 Keluaran gelombang non-linear.....	24
Gambar 2-15 Pengaruh harmonisa terhadap faktor daya [13].....	32
Gambar3-1 <i>Ballast elektronik</i>	35
Gambar 3-2 <i>Ballast elektromagnetik</i>	36
Gambar 3-3 Lampu TL.....	36
Gambar 3-4 <i>Starter</i>	36
Gambar 3-5 Kapasitor 4 μ F merk P	37
Gambar3-6 <i>Power Analyzer</i> Hiokiseri 3169-20	38
Gambar 3-7 Rangkaian pengukuran ballast berbeban.....	39
Gambar 3-8 Rangkaian pengukuran ballast tak berbeban keadaan <i>open circuit</i> ... 39	
Gambar 3-9 Rangkaian pengukuran ballast tak berbeban keadaan <i>short circuit</i> .. 40	
Gambar 3-10 Rangkaian pengujian pemasangan kapasitor pada <i>ballast</i> elektromagnetik	40
Gambar 3-11 Rangkaian pengukuran <i>losses</i> pada <i>ballast</i> elektromagnetik.....	41
Gambar 4-1 Grafik perbandingan konsumsi daya pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 18 W dengan beban lampu P 18 W	43

Gambar 4-2 Grafik perbandingan konsumsi daya pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 36W dengan beban lampu P 36 W	44
Gambar 4-3 Grafik konsumsi daya setelah pemasangan kapasitor 4 μ F pada <i>ballast</i> elektromagnetik 18 W	45
Gambar 4-4 Grafik konsumsi daya setelah pemasangan kapasitor 4 μ F pada <i>ballast</i> elektromagnetik 36 W	46
Gambar 4-5 Rangkaian pengganti trafo	46
Gambar 4-6 Grafik perbandingan nilai I_{THD} pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 18 W dengan beban lampu P 18 W	50
Gambar 4-7 Grafik perbandingan nilai I_{THD} pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 36 W dengan beban lampu P 36 W	50
Gambar 4-8 Gelombang arus dan tegangan pada <i>ballast</i> elektronik tipe A 36 W	51
Gambar 4-9 Grafik perbandingan V_{THD} pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 18 W dengan beban lampu P	51
Gambar 4-10 Grafik perbandingan V_{THD} pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 36W dengan beban lampu P	52
Gambar 4-11 Grafik V_{THD} dan I_{THD} setelah diapasngakan kapasitor 4 μ F pada <i>ballast</i> elektromagnetik 18 W	53
Gambar 4-12 Grafik V_{THD} dan I_{THD} setelah dipasangkan kapasitor 4 μ F pada <i>ballast</i> elektromagnetik 36 W	54
Gambar 4-13 Grafik perbandingan faktor daya pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 18 W	55
Gambar 4-14 Grafik perbandingan faktor daya pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 36 W	55
Gambar 4-15 Grafik faktor daya pada <i>ballast elektromagnetik</i> 18 dan 36 W setelah dipasangkan kapasitor 4 μ F	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Akibat perbedaan metode start antara ballast dan lampu [7].....	12
Tabel 2-2 Kelipatan frekuensi harmonisa serta urutan setiap ordenya [9].....	25
Tabel 2-3 Pengaruh tiap urutan terhadap motor dan distribusi [10].....	26
Tabel 2-4 Standar nilai IHD dan THD arus [11].....	29
Tabel 2-5 Standar nilai IHD dan THD tegangan [12].....	29
Tabel 3-1 Data Spesifikasi dari <i>power analyzer</i> Hioki seri 3169-20	38
Tabel 4-1 Perhitungan efisiensi konsumsi daya real <i>ballast</i> elektronik dibandingkan dengan <i>ballast</i> elektromagnetik.....	45
Tabel 4-2 Data perbandingan <i>losses core</i> pada ballast elektromagnetik 18 W dan 36 W dengan beban lampu P	48
Tabel 4-3 Data perbandingan nilai I_{THD} pengukuran terhadap standar IEEE 519 – 1992 pada <i>ballast</i> elektromagnetik.....	49
Tabel 4-4 Data perbandingan nilai I_{THD} pengukuran terhadap standar IEEE 519 – 1992 pada <i>ballast</i> elektronik	49
Tabel 4-5 Data perbandingan nilai V_{THD} pengukuran terhadap standar V_{THD} IEEE 519 pada <i>ballast</i> elektromagnetik.....	52
Tabel 4-6 Data perbandingan nilai V_{THD} pengukuran terhadap standar V_{THD} IEEE 519 pada <i>ballast</i> elektronik	53
Tabel 4-7 Perhitungan CCF pada ballast elektromagnetik dan ballast elektronik dengan beban lampu Philips.....	57
Tabel 4-8 Perbandingan konsumsi energi dan biaya listrik pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 36 W dengan beban lampu P 36 W	61
Tabel 4-10 Perbandingan konsumsi energi dan biaya listrik pada <i>ballast</i> elektromagnetik dan <i>ballast</i> elektronik 18 W pada beban lampu Philips 18 W ...	65

ABSTRAK

Nama : Wilman Agustiawan
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Perbandingan Unjuk Kerja *Ballast* Elektromagnetik dengan *Ballast* Elektronik Pada *Tube Flourescent Lamp*

Lampu Flourescent telah digunakan oleh banyak pihak dikarenakan lampu ini lebih efisiensi dibandingkan dengan lampu pijar. Pada awalnya digunakan *ballast* elektromagnetik untuk mendukung kerja dari lampu fluorescent. Namun *ballast* elektromagnetik memiliki faktor daya yang kecil dan efisiensi yang kecil yang mendorong timbul *ballast* elektronik untuk mengatasi masalah pada *ballast* elektromagnetik. Pada penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan unjuk kerja dari *ballast* elektromagnetik dan ballast elektronik. Perbandingan yang dilakukan pada skripsi ini adalah *power quality*, *current crest factor* dan segi ekonomis. Pada perbandingan *power quality* tentang konsumsi daya didapatkan bahwa *ballast* elektronik 18 W lebih efisien 36.40 % daripada *ballast* elektromagnetik 18 W

Kata Kunci :

lampu fluorescent, ballast *elektromagnetik*, ballast elektronik

ABSTRACT

Name : Wilman Agustiawan
Program Study : Electrical Engineering
Title : Comparative Studies Performance Electromagnetic
Ballast With Electronic Ballast In Tube Flourescent Lamp

Flourescent lamps have been used by many parties because this lamp is more efficient than incandescent bulbs. Initially used to support the work of electromagnetic ballasts of flourescent lamps. However, electromagnetic ballast has a small power factor and efficiency that arise encourage small electronic ballast to overcome the problem of the electromagnetic ballast. In this study aims to compare the performance of electromagnetic ballasts and electronic ballasts. Comparisons are done on this thesis is the power quality, current crest factor and economically. In the comparison of power quality on power consumption was found that the electronic ballast 18 W 36.40% more efficient than electromagnetic ballast 18 W

Key Word :

Flourescent Lamp, Electromagnetic Ballast, Electronic Ballast

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lampu fluorescent atau dikenal dengan lampu TL kurang lebih telah digunakan lima puluh tahun yang lalu secara komersil oleh masyarakat. Lampu TL banyak menja dipilihan masyarakat disebabkan karena lampu TL memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan lampu pijar. Efisiensi lampu TL yang lebih baik mengkonversi energy listrik menjadi energy cahaya dibandingkan dengan lampu pijar. Namun pada lampu TL masih juga memiliki kekurangan dimana biaya ekonomis yang tinggi disebabkan pada lampu TL diperlukan *ballast* dan *starter*.

Pada awal penggunaannya lampu TL ballast yang digunakan adalah jenis ballast *elektromagnetik*. Ballast *elektromagnetik* memiliki kekurangan, yaitu rugi – rugi yang timbul pada ballast *elektromagnetik*. Ballast *elektromagnetik* memiliki faktor daya yang kecil karena ballast merupakan trafo berukuran kecil atau bersifat induktor. Hal inilah yang mendorong beberapa kalangan untuk mengembangkan ballast yang lebih efisien dibandingkan dengan *ballast elektromagnetik* dan perkembangan teknologi dibidang elektronika mendorong munculnya *ballast elektronik*.

Ballast elektronik merupakan solusi yang ditawarkan untuk mengatasi kekurangan – kekurangan yang ada pada ballast *elektromagnetik*. *Ballast elektronik* menjadi pilihan masyarakat dan perusahaan untuk menggantikan *ballast elektromagnetik* dengan melihat potensi penghematan yang dapat diberikan dan faktor daya yang lebih baik dibandingkan dengan *ballast elektromagnetik*.

Hal inilah yang menjadi latar belakang penulis untuk melakukan pengukuran pada kinerja *ballast* tersebut baik *ballast elektromagnetik* maupun *ballast elektronik*. Data pengukuran yang akan digunakan penulis untuk melakukan perbandingan terhadap kinerja dua jenis *ballast* tersebut. Pengukuran dilakukan dengan berbagai macam variable pengukuran yang diharapkan penulis untuk melihat karakteristik dari *ballast* tersebut.

1.1 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah studi untuk membandingkan unjuk kerja dari *ballast* elektromagnetik dengan kinerja dari *ballast* elektronik dengan melakukan beberapa jenis pengukuran terhadap kedua jenis *ballast* tersebut. Sehingga dari penelitian ini bisa didapatkan garis besar mengenai kelebihan serta kekurangan dari jenis *ballast* tersebut.

1.2 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah pengukuran *ballast* pada lampu TL baik itu pada *ballast elektromagnetik* dan juga *ballast elektronik*. Hasil pengukuran ini selanjutnya akan dianalisa dan dibandingkan pada kedua jenis *ballast* tersebut. Adapun analisis yang akan dilakukan adalah analisis *power quality*, analisis *current crest factor* dan analisis segi ekonomis

1.3 Metologi Penulisan

Metode penulisan pada skripsi ini diawali dengan studi literature mengenai ballast baik pada ballast *elektromagnetik* maupun pada ballast elektronik. Setelah itu dilakukan pengumpulan data dengan melakukan pengukuran pada kedua jenis ballast tersebut. Pengukuran dilakukan dengan berbagai jenis pengukuran serta berbagai jenis variable pengukuran. Data pengukuran didapatkan dengan menggunakan *power analyzer*. Data pengukuran tersebut selanjutnya akan diolah dan dianalisis untuk mengetahui perbedaan serta karakteristik dari kedua jenis *ballast* tersebut.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab. Bab satu membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metologi penulisan, dan sistematika penulisan skripsi ini. Bab dua membahas dasar teori mengenai *ballast elektromagnetik*, *ballast elektronik*, metode *starting ballast* lampu TL, lampu, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya dan harmonisa baik penyebab harmonisa dan juga akibat yang ditimbulkan dari harmonisa. Pada bab tiga membahas objek dan prosedur pengukuran yang terdiri atas objek pengukuran, peralatan pengukuran, rangkaian pengukuran, dan juga prosedur pengukuran. Bab empat menjelaskan mengenai analisa data pengukuran yang

didapatkan yang dibagi menjadi beberapa sub bab. Sedangkan pada bab lima dibahas mengenai kesimpulan akhir dari skripsi ini. Selain itu juga pada laporan skripsi ini juga terdapat daftar pustaka dan lampiran data pengukuran.



BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Ballast

Fungsi utama dari *ballast* pada lampu *fluorescent* adalah untuk membatasi aliran arus listrik agar rangkaian lampu bekerja sesuai dengan range daya yang dibutuhkan. *Ballast* hendaknya harus efisien, sederhana, tidak membawa dampak terhadap umur lampu serta mendukung proses start dan operasi lampu. Dalam perkembangannya *ballast* memiliki dua golongan, yaitu *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik.

2.1.1 Ballast Elektromagnetik

Prinsip kerja dari *ballast* elektromagnetik pada lampu TL yaitu ketika tegangan AC 220 volt dihubungkan ke satu set lampu TL maka tegangan diujung-ujung starter sudah cukup untuk membuat gas neon di tabung starter panas (terionisasi), sehingga starter yang dalam kondisi normalnya “*open*” akan menjadi “*closed*”. Oleh karenanya gas neon menjadi dingin (deionisasi), dan dalam kondisi starter ‘*closed*’ ini terdapat aliran arus yang memanaskan filament tabung lampu TL sehingga gas didalam tabung lampu TL terionisasi.

Pada saat gas neon di dalam tabung starter sudah cukup dingin maka bimetal di dalam tabung starter tersebut akan “*open*” kembali sehingga *ballast* akan menghasilkan spike tegangan tinggi yang mengakibatkan lompatan electron dari kedua elektroda dan memendarkan lapisan *fluorescent* pada tabung lampu TL tersebut. Peristiwa ini akanberulang ketika gas dalam tabung lampu TL tidak terionisasi penuh sehingga tidak terdapat cukup arus yang melewati filament lampu tersebut. Lampu tersebut akan tampak berkedip, selain itu jika tegangan induksi dari *ballast* tidak cukup besar walaupun tabung neon TL tersebut sudah terionisasi penuh tetap tidak akan menyebabkan lompatan elektron dari salah satu elektroda tersebut.

Jika proses ‘*starting up*’ pertama tidak berhasil maka tegangan diujung-ujung *starter* cukup untuk membuat gas neon di dalamnya terionisasi (panas) sehingga *starter* ‘*closed*’. Dan seterusnya sampai lampu TL masuk pada kondisi

steady state yaitu saat impedansinya turun menjadi ratusan ohm. Impedansi dari tabung akan turun dari ratusan mega ohm menjadi ratusan ohm saja pada saat kondisi '*steady state*'. Arus yang ditarik oleh lampu TL tergantung pada dari impedansi trafo *ballast* seri dengan impedansi tabung lampu TL. Selain itu karena tidak ada sinkronisasi dengan tegangan input maka ada kemungkinan ketika starter berubah kondisi dari '*closed*' ke '*open*' terjadi pada saat tegangan AC turun mendekati nol sehingga tegangan yang dihasilkan *ballast* tidak cukup menyebabkan lompatan electron pada tabung lampu TL.

Ballast konvensional mempunyai beberapa macam tipe, masing-masing tipe tersebut mempunyai perbedaan pada komponen pembentuknya, namun pada prinsipnya mempunyai fungsi yang sama. Yang termasuk bagian dalam *ballast* elektromagnetik antara lain adalah :

1. Choke atau inductor ballast

Choke mempunyai fungsi utama untuk dapat mengalirkan daya dan arus mengoperasikan lampu dan dalam rangkaian tertentu juga akan melewatkan arus yang bertujuan untuk memanaskan elektroda. Kumputan atau lilitan tembaga dirangkai secara seri dengan rangkaian lampu yang dapat berfungsi sebagai *ballast*, dimana hal ini sering disebut dengan *ballast* magnetis. Pada umumnya nilai efisiensi yang dimiliki *ballast* ini antara 80% - 90%, lebih stabil dalam beroperasi dan memiliki distorsi yang kecil pada arus. Untuk desain dari sebuah *ballast* magnetis, ukuran dan besar kumputan ditentukan pada rating volt dan amperenya. Semakin besar daya yang terdapat pada *ballast* maka semakin besar pula arus yang mengalir, sehingga diperlukan adanya suatu kumputan yang lebih besar pula. Sebagian besar peralatan magnetik seperti pada *ballast* magnetik ini apabila bekerja pada peralatan AC akan menimbulkan suatu noise atau gangguan bising, dimana tingkat kebisingannya tergantung dari desain dan ukurannya. Bentuk gelombang dari *ballast* membawa komponen harmonisa pada range 100 Hz sampai dengan 3000 Hz atau lebih, jadi gangguan yang muncul bisa bervariasi dari pitch rendah hingga pitch tinggi. Noise juga dapat timbul dari beberapa macam cara, antara lain

perubahan *cyclic magnetostrictive* didalam inti kumparan, getaran yang terjadi pada inti kumparan, dan perpindahan medan magnetik yang disebabkan oleh getaran pada lapisan pembungkus *ballast* yang pada umumnya dari bahan besi.

2. Kapasitor *ballast*

Penggunaan kapasitor sebagai *ballast* dapat mengurangi rugi-rugi listrik yang rendah sehingga efisiensi dapat diperoleh hampir 100%. Kapasitor sulit menjadi panas sehingga terjadinya *noise* atau suara bising dapat diperkecil. Pada frekuensi yang cukup tinggi keuntungan-keuntungan tersebut dapat diperoleh tetapi pada frekuensi rendah, dimana tegangan lampu masih berbentuk gelombang segi empat, sehingga kapasitor tidak dapat digunakan karena adanya distorsi dari arus lampu. Ketidaksesuaian kapasitor pada frekuensi rendah juga disebabkan oleh hal – hal yang lain. Salah satu contohnya adalah tegangan lampu yang berubah secara tidak kontinyu. Hal ini dapat dianggap bahwa perubahan membutuhkan waktu yang singkat, tegangan utama tetap konstan, sehingga perubahan tegangan ditanggung oleh kapasitor.

3. *Choke-capacitor ballast*

Ballast tipe ini merupakan kombinasi antara ballast magnetis dengan *ballast* kapasitor. Kumparan dirangkakan secara seri dengan sebuah kapasitor kemudian dihubungkan dengan rangkaian lampu. *Ballast* tipe ini memungkinkan untuk digunakan pada *high lamps voltage* karena memiliki bentuk gelombang yang lebih baik jika dibandingkan dengan *ballast* tipe yang lainnya dan mempunyai tingkat sensitivitas yang kecil terhadap perubahan tegangan yang terjadi pada sumber yang disebabkan karena mempunyai karakteristik arus yang hampir konstan.

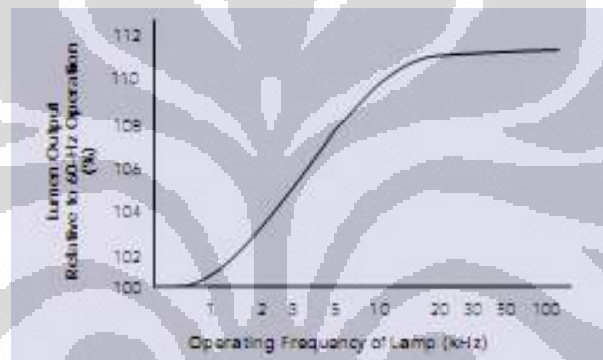
4. *Leakage-reactance transformer ballast*

Pada kondisi tertentu tegangan sumber AC normal tidak mampu untuk melakukan start dan mengoperasikan beberapa jenis lampu. Dalam

hal ini, *ballast* perlu menaikkan tegangan untuk membangkitkan gas-gas yang ada didalam tabung lampu. Rangkaian ini lebih dikenal dengan *stray-field* atau *leakage-reactance transformer*.

2.1.2 Ballast Elektronik

Awal tahun 1990, terjadi perkembangan teknologi manufaktur *ballast* yang menggantikan *ballast* konvensional yang berprinsip kerja dengan *core and coil transformer* dengan komponen elektronik yang dapat menyalakan lampu saat frekuensi kerja sebesar 20-60 kHz. *Ballast elektronik* memiliki *losses* yang lebih kecil daripada *ballast* konvensional. Efisiensi dari lampu akan semakin meningkat ketika lampu tersebut bekerja dalam frekuensi kerja diatas 20 kHz.

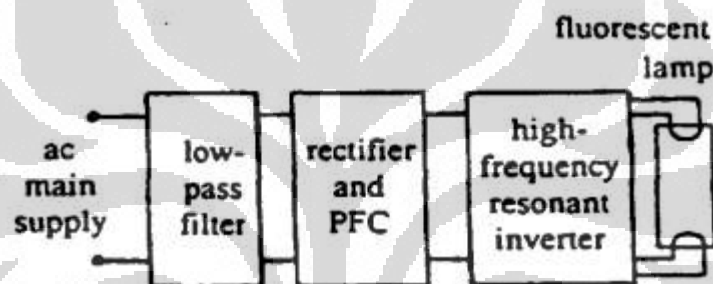


Gambar 2-1 Kurva frekuensi kerja *ballast* terhadap *lumen output* [1]

Dengan menggunakan semikonduktor modern yang digunakan sebagai komponen material pada *ballast* elektronik, maka fungsi dari semikonduktor modern berfungsi untuk melakukan *start* dan suplai listrik pada lampu *fluorescent*. Beberapa keunggulan atau kelebihan yang didapatkan dari *ballast* elektronik antara lain adalah

1. Meningkatkan efisiensi dari rangkaian yang bertujuan untuk mengurangi *loss* yang ditimbulkan dari *ballast*.
2. Mengurangi berat pada *ballast*, sehingga dapat menambah nilai ekonomis dari pemasangan lampu.
3. Mengurangi *noise* suara yang terjadi pada *ballast*
4. Mengurangi timbulnya harmonisa pada arus dan mempunyai faktor kerja yang lebih bagus jika dibandingkan dengan *ballast* konvensional.

5. Mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk *start* dan *restart* pada lampu.
6. Meningkatkan nilai *luminous efficacy* atau perbandingan jumlah lumen yang dihasilkan dengan daya listrik yang dipakai.
7. Menghilangkan fenomena lampu berkedip yang sering terjadi pada penggunaan *ballast* elektromagnetik.
8. Mampu untuk mengontrol tegangan dan arus yang dikehendaki dengan lebih akurat.
9. Mengontrol keadaan *start* dan operasi dengan lebih baik sehingga memperpanjang masa kerja aktif dari lampu.



Gambar 2-2 Rangkaian Umum *ballast elektronik* [2]

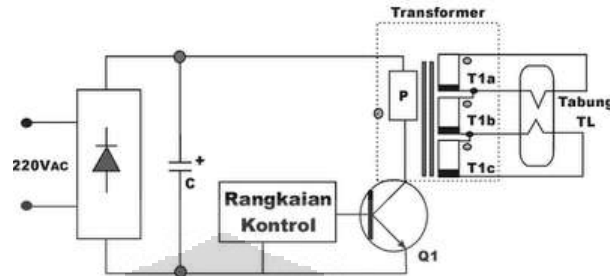
Tetapi dari keuntungan yang didapatkan pada *ballast elektronik* didapatkan kerumitan rangkaian jika dibandingkan dengan *ballast* konvensional. Secara umum pada *ballast elektronik* terdapat 3 macam tipe rangkaian yang sering digunakan, yaitu :

1. *Flyback inverter*

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

Selain itu rangkaian *flyback* akan menurunkan efisiensi transistor karena kerugian pada saat switching. Kerugian yang utama dari rangkaian ini adalah tegangan berbentuk kontak dan arus berbentuk segitiga yang dihasilkan dari rangkaian *flyback inverter*. Tegangan ini tidak cukup baik

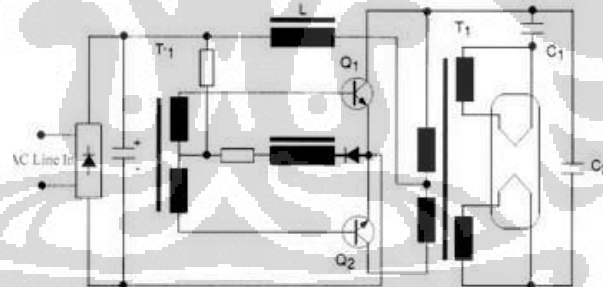
untuk lampu TL dan agar rangkaian ini dapat menghasilkan sinyal berbentuk sinus maka perlu ditambahkan komponen induktor dan kapasitor.



Gambar 2-3 Rangkaian *flyback inverter* [3]

2. *Current Source Resonant*

Pada rangkaian ini digunakan komponen tambahan induktor yang dinamakan dengan *feed choke*. Komponen ini juga harus menggunakan transistor tegangan tinggi. Oleh karena itu rangkaian *ballast elektronik* ini membutuhkan biaya yang lebih tinggi. Komponen transistor yang digunakan harus dapat mempunyai karakteristik tegangan *breakdown*.

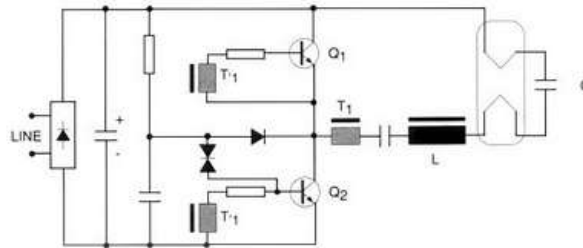


Gambar 2-4 Rangkaian *current source resonant* [4]

3. *Voltage Source Resonant*

Rangkaian ini paling banyak dipakai oleh industri *ballast elektronik* saat ini. Tegangan AC masukan dari PLN disearahkan dengan menggunakan *bridge DR* dan akan mengisi kapasitor bank C1. C1 akan menjadi sumber tegangan DC untuk tabung lampu TL. Filter digunakan untuk mencegah rangkaian dari tegangan transien dari tegangan supply PLN dan melemahkan berbagai sumber noise EMI (*Electro Elektromagnetik Interference*) yang dihasilkan oleh frekuensi tinggi dari tabung lampu TL.

Filter ini dibentuk dengan rangkaian induktor dan kapasitor. Blok diagram rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2-5 Rangkaian *voltage source resonant* [5]

Frekuensi resonansi yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L(C3 \times C4)}{(C3 + C4)}} \dots \dots \dots (2.1)$$

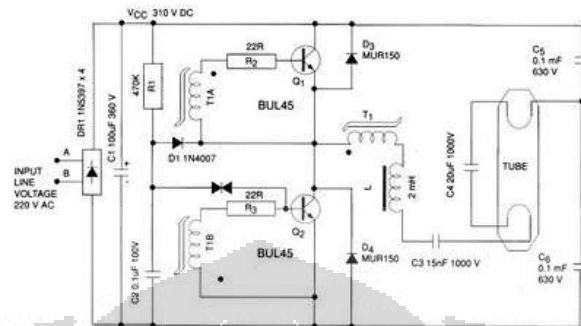
Pada saat rangkaian dihidupkan maka tabung TL akan mempunyai impedansi yang sangat besar sehingga C4 seakan-akan seri dengan L dan C3.

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

Pada saat *startingup* ini pula terdapat arus *peak* yang sangat besar, sebesar 4 kali arus *steady state*. Oleh karena itu harus dipilih transistor yang mempunyai karakteristik arus kolektor sebesar 4 x arus *steady state* yaitu sekitar 2.75 A. arus *steady* besarnya sekitar 0.75 A. sehingga Q1 dan Q2 harus mampu melewati arus sebesar 2.75 A.

Ketika tabung TL telah terionisasi dengan penuh maka impedansinya akan turun menjadi ratusan ohm saja sehingga akan membuang muatan pada C4. Kondisi ini akan menggeser frekuensi resonansi ke nilai yang ditentukan oleh C3 dan L. energi yang sedang digunakan tersebut sekarang

lebih kecil begitu pula dengan tegangan di antara elektroda-elektroda menjadi kecil pula. Kondisi ini mengakhiri kondisi *startup* darilampu TL ini.



Gambar 2-6 Aplikasi voltage source resonant [6]

2.1.3 Metode Starting Ballast Lampu TL

Ballast secara umum menggunakan salah satu dari tiga buah metode dalam starting lampu TL. Berdasarkan *American National Standards Institute* (ANSI) dalam start fluorescent yaitu *preheat*, *instant-start* dan *rapid-start*.

1. *Preheat*

Metode start ini biasanya digunakan pada *ballast elektromagnetik*. Operasi *preheat* dilakukan dengan memanaskan terlebih dahulu elektroda dalam beberapa detik hingga mencapai 800 – 1000 C. Setelah elektroda telah menjadi panas, starter akan terbuka sehingga memberikan suplai tegangan sebesar 200 – 300 V yang akan melalui lampu tersebut. Metode ini akan menyebabkan timbulnya *flash on* dan *off* dalam beberapa detik sebelum lampu *menyala*.

2. *Instant-Start*

Metode ini dikembangkan dengan tujuan agar tidak ada *delay* dalam menyalakan lampu. Metode ini menyuplai tegangan awal yang sangat tinggi untuk menyalakan lampu. Tegangan yang tinggi dibutuhkan untuk mendischarge antara elektroda yang tidak dipanaskan. Pada metode ini tidak menimbulkan panas yang disebabkan oleh tegangan awal sehingga metode ini memiliki *losses* yang kecil.

Switching frekuensi menyebabkan nilai hidup lampu menjadi berkurang dikarenakan pada metode ini tidak terlebih dahulu memanaskan elektroda. Elektroda mengalami penurunan elektroda *emissive coating*.

3. *Rapid-Start*

Metode ini dikembangkan untuk mengatasi *flashing* dan juga penurunan *life time* lampu yang ditimbulkan akibat metode start yang lainnya. Ballast memiliki sepasang kumparan yang terpisah yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan yang bernilai kecil (3.5 V). Tegangan tersebut menyebabkan elektroda memanaskan hingga 800 C dalam 1 sampai 2 detik. Ketika memanaskan elektroda, metode ini menyuplai tegangan sebesar 200 – 300 V untuk menyalakan lampu. Metode ini membutuhkan daya tambahan sebesar 1.5 – 2 W untuk tiap lampu. Metode ini memberikan delay yang sebentar tanpa menimbulkan *flashing*.

Tabel 2-1 Akibat perbedaan metode start antara ballast dan lampu [7]

	Preheat Ballast	Instant-start Ballast	Rapid-Start Ballast
Preheat Lamp	Bekerja Normal	Mengurangi life time	Tidak dapat bekerja
Instant-start Lamp	Tidak dapat bekerja	Bekerja normal	Tidak dapat bekerja
Rapid-start Lamp	Bekerja normal	Mengurangi life time	Bekerja normal

2.2 Lampu

Lampu dalam perkembangan dewasa ini menjadi salah satu media penerangan penting buatan manusia untuk menggantikan keberadaan cahaya matahari. Seiring dengan kemajuan teknologi, lampu telah mengalami banyak perubahan bila dibandingkan dengan awal penemuannya.

Lampu pertama kali ditemukan pada tahun 1878 oleh Thomas Alva Edison dalam bentuk lampu pijar, penemuan tersebut berawal dari ide untuk membuat

lampu dengan filament yang terbuat dari platinum kemudian dialiri arus, dimana logam platinum tersebut sukar untuk teroksidasi dan mempunyai titik lebur yang tinggi. Namun pada awal-awal percobaan, lampu tersebut padam setiap beberapa menit karena filament tersebut mendapatkan panas yang berlebih dan terbakar akibat masih adanya kontak dengan udara luar.

Kemudian dari hasil eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan dengan filament platinum, Thomas Alva Edison menemukan bahwa pada filament-filamen yang panas mengeluarkan gas yang terjebak di dalam tersebut, sehingga diperlukan sebuah desain untuk membuat udara disekitar filament menjadi hampa udara agar tidak terjadi kontak antara gas yang dihasilkan oleh filament dengan udara. Oleh karena itu, hingga saat ini lampu dibuat dengan konstruksi berbentuk ruang hampa udara.

Secara umum konsep dasar dari sebuah lampu adalah salah satu bentuk pemanfaatan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan dari transfer energi baik yang bersifat fisik maupun kimiawi yang terjadi pada saat lampu menyala. Radiasi elektromagnetik tidak semuanya dapat mudah terlihat oleh mata manusia, untuk menghasilkan radiasi elektromagnetik yang dapat dilihat oleh manusia dengan mata telanjang tanpa bantuan apa pun, dipilihlah radiasi dengan panjang gelombang antara 380 nm sampai 780 nm, karena panjang gelombang inilah radiasi gelombang elektromagnetik lebih efisien untuk dapat diubah menjadi terlihat oleh mata.

2.2.1 Macam-macam Jenis Lampu

Lampu berdasarkan cara kerjanya dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok antara lain :

1. Lampu *incandescent* dan Lampu *Hallogen*

Lampu *incandescent* dikenal dengan sebutan lampu DOP sedangkan lampu jenis *halogen* (*tungsten halogen lamps*) merupakan perkembangan dari lampu *incandescent* sehingga kedua lampu ini memiliki prinsip kerja yang sama.

Lampu *incandescent* dan *halogen* ini menghasilkan cahaya ketika arus listrik melewati filament dan kemudian memanasi filament lampu tersebut, semakin panas filament lampu tersebut maka akan semakin terang pula cahaya yang dipancarkan. Dalam perkembangan penggunaan lampu jenis ini, filament kawat dari *tungsten* lebih banyak dipakai sebagai standar lampu karena warna yang dihasilkan putih hangat dan memiliki titik lebur yang tinggi dan mempunyai rata-rata nilai relativitas yang rendah pada keadaan suhu yang tinggi.



Gambar 2-7 Lampu Halogen

Penggunaan lampu *incandescent* banyak digunakan untuk penerangan pada rumah tinggal, dekorasi, dan hotel karena proses pemasangannya cukup mudah, serta dapat diletakan pada berbagai posisi dan waktu untuk *start* dan *warm up* berlangsung pada waktu yang hampir bersamaan.

Pada lampu *halogen* pada dasarnya memiliki konstruksi yang hampir sama dengan lampu DOP, yang membedakan adalah ukuran kawat filament yang ada pada lampu *halogen* relative besar. Ukuran tabung yang lebih besar dan bekerja pada daya yang lebih besar jika dibandingkan dengan lampu DOP. Gas *halogen* coba digunakan untuk memenuhi ruang udara pada tabung lampu, terjadi reaksi kimia antara kawat *tungsten* dan gas *halogen* yang mengakibatkan proses evaporasi menjadi semakin terhambat. Namun untuk mendukung proses evaporasi dibutuhkan ruangan yang lebih besar dan jarak tertentu diantara kawat filament *tungsten* dan

dinding pada tabung lampu. Oleh karena itu lampu *halogen* memiliki ukuran yang lebih besar dari lampu DOP.

2. Lampu *Fluorescent*

Lampu *fluorescent* lebih dikenal pada masyarakat dengan nama lampu TL. Prinsip kerja dari lampu ini menggunakan media gas mineral *flour* yang berfungsi untuk menghasilkan cahaya, dimana energi listrik akan membangkitkan gas di dalam tabung lampu sehingga akan timbul sinar ultra violet, dari sinar ultra violet itu akan menimbulkan *phosphors* yang kemudian akan bercampur dengan mineral lainnya yang telah dilukiskan pada tabung lampu sehingga akan timbul cahaya. *Phosphors* didesain untuk meradiasikan cahaya putih sehingga besar lampu model jenis ini berwarna putih.

Lampu TL sangat peka terhadap temperatur udara disekitarnya karena temperatur tabung lampu sangat berpengaruh terhadap cahaya yang akan dihasilkan. Jadi, apabila suhu ruangan terlalu dingin dibandingkan suhu lampu, maka kemungkinan lampu jenis ini tidak akan dapat menyala. Pada umumnya temperatur udara minimum pada sebuah lampu bergantung dari *ballast* lampu itu sendiri dan sudah tercantum jelas pada spesifikasi *ballast* tersebut.



Gambar 2-8 Lampu Fluorescent

Pada sebuah rangkaian lampu *fluorescent* umumnya terdiri dari berbagai komponen, antara lain :

a. Lamp Holder

Lamp holder memiliki 4 pin (2 pin pada setiap sisi) yang bertujuan untuk menghubungkan dengan rangkaian, pada model ini banyak digunakan sebagai penerangan pada rumah tangga serta gedung perkantoran. *Lamp holder* terdapat dalam bentuk U, ataupun lingkaran (*circular*)

b. Starter

Starter berfungsi untuk melakukan pemanasan awal pada electrode dan membantu membangkitkan tegangan tinggi yang dibutuhkan untuk start lampu

c. Switch

Switch ini adalah pengontrol on/off yang dihubungkan antara rangkaian lampu dengan aliran listrik yang ada pada jaringan. Tetapi pada aplikasinya, *switch* terkadang digantikan dengan *stop contact*.

d. Ballast

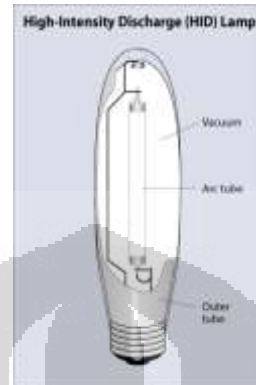
Ballast berfungsi untuk membangkitkan gas-gas yang ada didalam tabung lampu (*discharge*) dan untuk mencegah aliran arus listrik agar rangkaian lampu dapat bekerja sesuai dengan range daya yang dibutuhkan. *Ballast* hendaknya harus efisien, sederhana, dan tidak membawa dampak terhadap umur lampu serta mendukung proses *start* dan operasi pada lampu.

3. Lampu HID (*High Intensity Discharge*)

Lampu HID memiliki konsep kerja yang hampir sama dengan prinsip kerja dari lampu TL, pada beberapa jenis tertentu masih memerlukan *ballast*, namun dengan sedikit perubahan pada electrode yang digunakan serta ukuran tabung yang digunakan. Diameter electrode yang digunakan lebih besar sehingga arus yang dibutuhkan juga semakin besar, sedangkan tabung kaca yang digunakan ada dua macam yaitu tabung pembungkus dan tabung *arc tube*.

Lampu ini umumnya digunakan untuk penerangan diluar ruangan dan banyak digunakan untuk pencahayaan desain *outdoor*. Perkembangan

dari lampu HID adalah lampu merkuri (*mercury vapor lamps*), lampu *metal halide*, dan perkembangan terakhir dari lampu ini adalah lampu *high pressure sodium lamps* (HPS).



Gambar 2-9 Lampu High Intensity Discharge

4. Lampu LED (*Light Emitting Diodes*)

Lampu LED merupakan elektroluminasi yaitu emisi cahaya yang disebabkan akibat interaksi dari sebuah medan listrik dengan benda yang solid. Lampu LED komersial yang ada berbahan dasar *gallium arsenide* dan *gallium phosphide*. Lampu LED mempunyai karakteristik listrik yang sama dengan *diode rectifier*. Umumnya tegangan yang digunakan adalah 2 volt sedangkan arusnya 10 mA, namun arus yang melewati perlu dibatasi dengan menggunakan resistor yang dirangkakan seri untuk menghindari peningkatannya suhu yang berlebihan pada LED.

Penggunaan lampu LED, salah satunya adalah sebagai lampu indicator pada berbagai peralatan elektronik. Digunakan sebagai lampu indicator karena lampu LED ini selain memiliki masa kerja yang sangat lama, konsumsi arus yang dibutuhkan kecil serta material yang digunakan jarang mengalami kerusakan.



Gambar 2-10 Lampu Light Emitting Diode

2.3 Pengertian Daya Listrik

Daya merupakan besarnya energi yang diperlukan untuk melakukan suatu usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya listrik berarti jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan suatu usaha atau kerja. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau *Horsepower* (HP), dimana 1 HP bernilai setara dengan 746 Watt. Sedangkan 1 Watt dapat disetarakan dengan jumlah energi (Joule) per satuan waktu (detik). Watt juga merupakan hasil perkalian scalar antara tegangan dan arus yang mengalir di rangkaian listrik AC tersebut. Namun, dalam sistem tenaga listrik arus bolak – balik (AC), terdapat tiga macam daya diantaranya yaitu daya aktif, daya reaktif serta resultan dari keduanya yang disebut dengan daya nyata.

2.3.1 Daya Aktif

Daya aktif merupakan jumlah daya yang sesungguhnya digunakan oleh beban untuk dapat melakukan suatu usaha atau kerja. Satuan daya aktif adalah Watt. Dalam sistem tenaga listrik AC, bentuk sinusoidal pada gelombang tegangan dan arus menunjukkan bahwa besar daya setiap saat berubah. Sehingga daya yang diukur adalah daya rata-rata yang membentuk daya aktif dalam jumlah waktu tertentu. Pengukuran daya sebesar 1 kWh berarti adanya konsumsi energi listrik 1000 Watt dalam satu jam

$$P = v \times i \times \cos \varphi \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

P : daya aktif (Watt)

- v : tegangan (volt)
 i : arus (ampere)
 ϕ : sudut antara arus dan tegangan

2.3.2 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan jumlah daya yang hanya diperlukan untuk membangkitkan fluk-fluk *elektromagnetik* sehingga muncul medan magnet (magnetisasi) pada komponen beban listrik, dan setelah itu daya ini dikembalikan lagi ke dalam sistem karena efek induksi elektromagnetik itu sendiri. Daya reaktif dapat diukur dengan satuan VAR (*Volt-Ampere Reaktif*). Pada suatu instalasi baik di perumahan maupun pabrik selalu terdapat beban-beban listrik yang membutuhkan daya reaktif ini seperti transformator, motor-motor listrik, lampu TL dan lain-lain.

$$Q = v \times i \times \sin \phi \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

- Q : daya reaktif (VAR)
 v : tegangan (volt)
 i : arus (ampere)
 ϕ : sudut antar arus dan tegangan

Daya ini terjadi akibat fenomena induktansi dan kapasitansi. Induktansi diakibatkan akibat komponen induktid berbentuk kumparan seperti seperti yang telah disebutkan diatas. Sedangkan kapasitansi muncul dari beban-beban kapasitif yaitu komponen kapasitor. Sifat induktansi dan kapasitansi ini saling berlawanan, dapat dilihat dari diagram segitiga daya, dimana komponen inductor memiliki nilai reaktansi induktif yang mengarah ke atas, sedangkan komponen kapasitor memiliki reaktansi kapasitif yang arahnya ke bawah, sehingga terlihat bahwa korelasi diantara keduanya yaitu saling menghilangkan. Terkait dengan daya reaktif ini, beban induktif bersifat menyerap daya reaktif dan beban kapasitif menghasilkan daya reaktif.

2.3.3 Daya Nyata

Daya nyata (*Apparent Power*) merupakan hasil penjumlahan resultan dari daya aktif dan daya reaktif. Nilai daya ini juga dapat diperoleh dari perkalian rms antara tegangan dan arus yang memiliki satuan VA (*Volt-Ampere*). Daya nyata dalam sistem tenaga listrik menunjukkan kapasitas dari setiap peralatan listrik tersebut, seperti dalam transformator maupun generator terdapat rating dalam MVA yang menunjukkan kapasitas daya listrik dari peralatan tersebut.

$$S = v \times i \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

S : daya nyata (VA)

v : tegangan (volt)

i : arus (ampere)

2.4 Faktor Daya

Faktor daya (*Power Factor*) merupakan perbandingan antara daya aktif yang diserap oleh beban dengan daya nyata yang dikirimkan oleh sumber dalam rangkaian listrik arus bolak-balik. Faktor daya biasa dinyatakan dengan $\cos \phi$ ($\cos \phi$) yaitu sudut antara daya aktif dan daya nyata pada segitiga daya. Nilai $\cos \phi$ dapat juga diperoleh dari perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus. Faktor daya memiliki *range* antara 0 sampai 1. Faktor daya yang baik apabila nilainya mendekati 1.

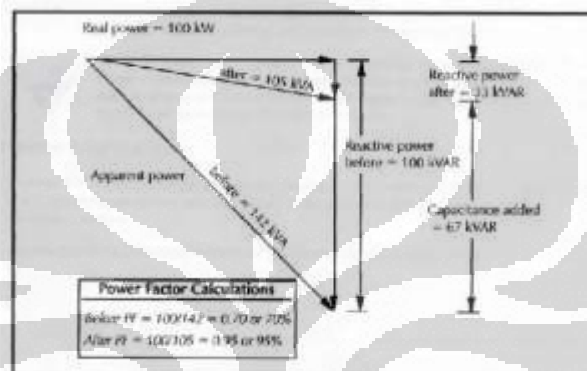
Faktor daya yang rendah bisa disebabkan oleh peralatan seperti motor induksi dan *ballast* pada lampu TL yang memerlukan arus magnetisasi reaktif. Peralatan seperti ini tidak memerlukan arus untuk melakukan kerja yang bermanfaat, melainkan untuk membangkitkan medan magnet.

2.4.1 Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya merupakan gambaran tentang efisiensi suatu peralatan mengubah masukan arus dan tegangan menjadi energi listrik. Faktor daya merupakan salah satu parameter melihat suatu kehandalan listrik atau dikenal dengan *power quality*. Sehingga dalam aplikasinya dibutuhkan perbaikan faktor daya agar mendapatkan kehandalan yang baik. *Capasitor bank* merupakan

peralatan yang dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya dari suatu sistem atau peralatan.

Pemasangan *capasitor bank* harus diperhitungkan besarnya kapasitor yang dipasang agar dapat menghindari masalah yang dapat muncul saat besarnya kapasitor tidak sesuai. Masalah yang dapat ditimbulkan adalah beban yang berlebihan pada trafo, turunnya tegangan, kenaikan suhu, arus pada kabel, rugi-rugi listrik dan juga pengaruh terhadap harmonisa.



Gambar 2-11 Perbaikan faktor daya [8]

2.4.2 Metode Pemasangan Kapasitor

Pada metode pemasangan kapasitor terdapat dua metode yang dapat dilakukan, yaitu :

1. *Direct Connection / Direct Compensation Method*

Metode pengukuran ini juga dikenal dengan metode hubungan langsung. Pemasangan kapasitor pada metode ini biasanya digunakan pada beban motor dan trafo yang berukuran besar. Pada metode ini, kapasitor dipasang secara langsung dengan *switch on-off* dan *paralel* yang diletakkan pada terminal input pada beban. Ditinjau dari segi ekonomis, metode ini sangat menguntungkan dikarenakan tidak mengeluarkan biaya untuk pemasangan *automatic power factor regulator*

2. Radial Connection Method

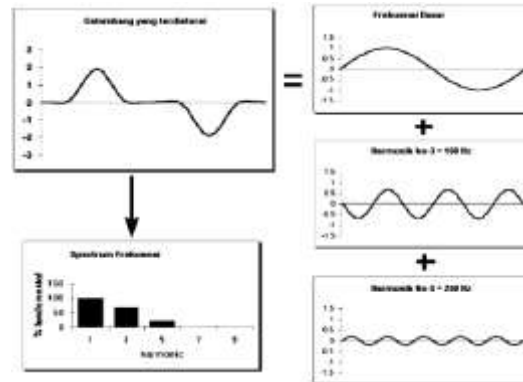
Metode pengukuran ini juga dikenal dengan metode tak langsung. Pemasangan kapasitor pada metode ini dilakukan dengan sistem terpusat pada panel induk. Metode ini cocok digunakan untuk distribusi beban yang beragam. Pada metode ini, kapasitor dipasang secara terpusat pada panel induk. Kapasitor dihubungkan ke busbar pada panel secara paralel. Pada pemasangan sistem terpusat ini, suplai daya dari kapasitor harus dapat berubah-ubah sesuai dengan perubahan beban yang terjadi dalam upaya agar tidak terjadi *over compensation*. Untuk melakukan perubahan suplai daya dari kapasitor dapat dilakukan baik secara manual maupun secara otomatis. Secara manual dilakukan dengan menenpatkan operator untuk mengubah *setting* kapasitor dengan melihat kondisi beban. Sedangkan secara otomatis dapat dilakukan dengan cara memasang *automatic power factor regulator* yang berfungsi mengatur jumlah suplai daya dari perubahan beban yang terjadi.

2.5 Harmonisa

Pada umumnya dalam dunia elektro, khususnya sistem tenaga listrik, distribusi listrik dapat digambarkan sebagai bentuk gelombang sinus. Salah satu karakteristik dari sistem ini adalah pembentukan gelombang sinus ideal dimana bentuk gelombangnya bersih dan tidak terdistorsi. Namun, bila terjadi distorsi berlebihan yang ditimbulkan oleh sumber harmonisa seperti *converter*.

2.5.1 Definisi Harmonisa

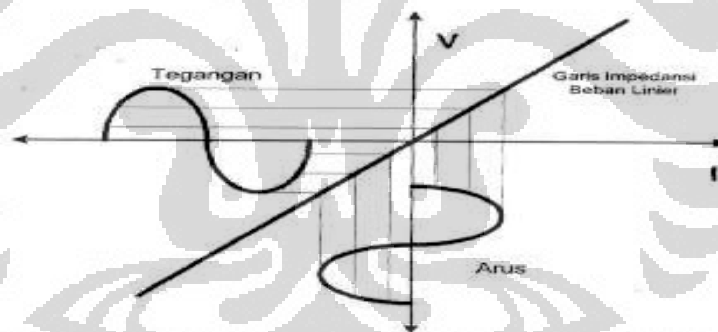
Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Bila terjadi superposisi antara gelombang frekuensi dasar dengan gelombang frekuensi harmonik maka terbentuklah gelombang terdistorsi sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinusoidal. Fenomena ini disebut dengan distorsi harmonik. Pembentukan gelombang non-sinusoidal hasil distorsi harmonik dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2-12 Proses pembentukan gelombang non-sinusoidal akibat distorsi harmonisa

2.5.2 Sumber Harmonisa

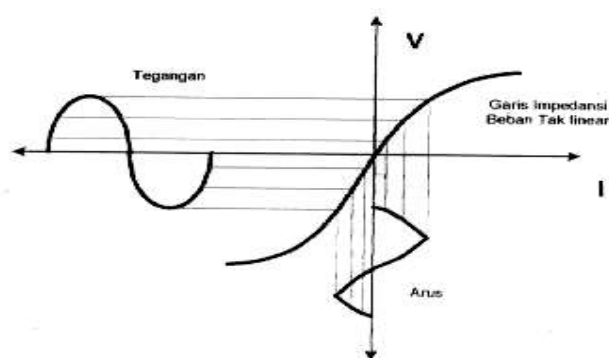
Pada sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier memberikan gelombang keluaran linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar dibawah berikut :



Gambar 2-13 Keluaran gelombang linear

Pada gambar diatas terlihat bahwa saat gelombang tegangan berbentuk sinusoidal maka gelombang arus juga berbentuk sinusoidal yang sama dengan gelombang tegangan. Salah satu jenis beban linier adalah resistor.

Beban non linier memberikan gelombang keluaran arus yang tidak sebanding dengan tegangan dasar sehingga gelombang arus maupun tegangannya tidak sama dengan gelombang masukannya. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 2-14 Keluaran gelombang non-linear

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. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semikonduktor dalam peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya. Arus beban non linear tidak membentuk gelombang sinusoidal meskipun sumber tegangan yang digunakan merupakan gelombang sinusoidal.

Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonisa antara lain komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik *ballast* dan UPS (*Uninterruptible Power Supplies*). Peralatan ini dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semikonduktor 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.

2.5.3 Pengaruh Harmonisa

Tegangan dan arus harmonisa dapat menimbulkan efek yang berbeda-beda pada peralatan listrik yang terhubung dengan jaringan listrik tergantung karakteristik listrik beban itu sendiri. Seperti terjadinya penurunan kinerja dan bahkan menimbulkan kerusakan. Akan tetapi, secara umum pengaruh harmonisa pada peralatan listrik ada tiga, yaitu :

1. Nilai rms baik tegangan dan arus lebih besar
2. Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus lebih besar
3. Frekuensi sistem turun

Namun harmonisa arus memiliki dampak yang lebih besar dibandingkan dengan harmonisa tegangan. Secara umum terdapat 2 dampak yang ditimbulkan dari harmonisa arus yaitu seperti yang dipaparkan pada pengaruh harmonisa pada peralatan listrik dimana harmonisa arus menyebabkan bertambahnya harga nilai rms fundamental. Penambahan arus ini dapat menyebabkan *loses* yang besar baik pada kabel, busbar dan juga transformator. Seiring dengan bertambahnya arus akibat harmonisa arus maka akan diikuti dengan timbul panas. Karena timbulnya panas yang berlebih dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan listrik dan dapat juga menimbulkan api.

Dampak lainnya yang dapat ditimbulkan dari harmonisa arus adalah timbulnya panas pada kawat netral. Hal ini disebabkan timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik. Pada keadaan normal besarnya arus setiap fasa seimbang sehingga besarnya arus yang timbul pada kawat netral berjumlah nol. Hal ini berbeda saat beban non linear satu fasa akan menimbulkan harmonisa kelipatan tiga. Harmonisa arus ini dapat menimbulkan arus pada kawat netral yang lebih besar daripada arus pada fasa.

Komponen-komponen simetris dapat digunakan untuk memberikan gambaran perilaku sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa ditransformasikan menjadi tiga sistem satu fasa yang lebih sederhana untuk dapat dianalisis. Metode komponen simetris dapat juga digunakan untuk analisa respon sistem terhadap arus harmonisa. Berikut ini tabel urutan fasa harmonisa :

Tabel 2-2 Kelipatan frekuensi harmonisa serta urutan setiap ordenya [9]

Harmonisa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Urutan	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Urutan harmonisa tersebut akan terus berulang dengan pola yang sama

dimana pada urutan harmonisa ke-1 adalah positif, urutan harmonisa ke-2 adalah negatif dan urutan harmonisa ke-3 adalah nol. Berikut ini adalah akibat yang ditimbulkan dari urutan harmonisa tersebut :

Tabel 2-3 Pengaruh tiap urutan terhadap motor dan distribusi [10]

Urutan	Pengaruh terhadap Motor	Pengaruh terhadap distribusi
+	Menimbulkan medan magnet putar arah maju	Panas
-	Menimbulkan medan magnet putar arah mundur	Panas
0	Tidak ada	Panas, menambah arus pada kawat netral

2.5.4 Indeks Harmonisa

Dalam analisa harmonisa ada beberapa indeks yang penting untuk menggambarkan efek harmonisa pada komponen system tenaga listrik.

2.5.4.1 Root Mean Square

Karena intensitas sebuah sinyal yang bervariasi dengan waktu berubah dari waktu ke waktu, maka tidak tepat untuk menyatakan sebuah sinyal dengan suatu nilai yang dimilikinya pada waktu sembarang. Beberapa yang harus diperhatikan adalah intensitas rata-rata sebuah sinyal, definisi nilai rata-rata sebuah sinyal berkala adalah sebagai berikut :

$$X_{average} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

$X_{average}$: intensitas rata-rata sebuah sinyal

T : amplitude gelombang

Namun, nilai rata-rata tidak memberikan informasi mengenai amplitude sebuah fungsi berkala, karena nilai ini hanya menyebutkan nilai *offset* dc. Bila informasi amplitude diperlukan, maka yang dibutuhkan adalah nilai akar kuadrat rata-rata dari fungsi tersebut rms (*root mean square*), yang didefinisikan sebagai akar kuadrat dari rata-rata dari kuadrat dari fungsi tersebut pada suatu periode, artinya :

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \dots \dots \dots (2.6a)$$

Maka, untuk perhitungan dalam tegangan dan arus dapat dinyatakan dalam bentuk

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} v_h^2} \dots \dots \dots (2.6b)$$

atau

$$V_{rms} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_n^2} \dots \dots \dots (2.6c)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \dots \dots \dots (2.6d)$$

atau

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \dots \dots \dots (2.6e)$$

2.5.4.2 Individual Harmonic Distortion dan Total Harmonic Distortion

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai rms dari harmonisa individual terhadap nilai rms dari fundamental. Sebagai contoh, nilai rms dari arus harmonisa ketiga adalah 25 A, nilai rms dari arus harmonisa kelima adalah 20 A, dan nilai rms dari arus fundamental adalah 60 A.

$$IHD_3 = 25/60 = 0.416 \text{ atau } 41.6 \%$$

$$IHD_5 = 20/60 = 0.333 \text{ atau } 33.3 \%$$

Dengan pengertian ini, nilai IHD_1 selalu 100 %. Kesepakatan ini yang digunakan oleh *Institute of Electrical and Elektroniks Engineers* (IEEE).

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio antara nilai rms dari seluruh komponen harmonisa dan nilai rms dari fundamental yang biasanya nilai

THD dinyatakan dalam persen (%). Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi dari bentuk gelombang periodic yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal sempurna. Untuk gelombang sinusoidal sempurna, THD bernilai nol persen. Berikut merupakan rumus THD untuk tegangan dan arus :

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \dots \dots \dots (2.8)$$

Hubungan antara THD dengan IHD dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$THD = (IHD_2^2 + IHD_3^2 + IHD_4^2 + \dots + IHD_n^2)^{1/2}$$

Untuk analisa THD arus, maka kita perlu menghitung terlebih dahulu nilai perbandingan antara I_{sc} dan I_L . Dari perbandingan nilai ini kita bisa mengetahui nilai THD yang diperoleh dari hasil pengukuran memenuhi standar atau tidak memenuhi standar. Untuk mencari hubung singkat (I_{sc}) yaitu pertama kali harus dicari nilai P_{sc} kemudian akan didapatkan I_{sc} tersebut. Berikut ini merupakan rumus P_{sc} dan I_{sc} :

$$P_{sc} = \frac{S}{Z} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$I_{sc} = \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.5.4.3 Standar Harmonisa

Standar Harmonisa yang digunakan berdasarkan standar IEEE 519-1992. Terdapat dua kriteria dalam standar ini yang digunakan dalam mengevaluasi distorsi harmonisa. Kriteria pertama adalah batasan untuk harmonisa arus dan kriteria kedua adalah batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan rasio I_{sc}/I_L dimana I_{sc} adalah arus hubung singkat pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban *fundamental* nominal. Untuk harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan system yang digunakan.

Standar harmonisa arus dapat dilihat pada tabel 2-4, sedangkan harmonisa tegangan dapat dilihat pada tabel 2-5

Tabel 2-4 Standar nilai IHD dan THD arus [11]

I_{sc}/I_L	Harmonic Orde (Odd Harmonics)					THD (%)
	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	
	IHD (%)					
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabel 2-5 Standar nilai IHD dan THD tegangan [12]

Maximum Voltage Distortion			
Maximum Distortion	Sytem Voltage		
	Below 69 kV	69 – 138 kV	> 138 kV
Individual Harmonics (%)	3	1.5	1
Total Harmonics (%)	5	2.5	1.5

2.5.5 Pengaruh Harmonisa terhadap Faktor Daya

Definisi tegangan dan arus sebagai fungsi waktu dalam deret *fourier* adalah

:

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 0}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

$v(t)$ = tegangan sesaat,

V_0 = harga rata-rata,

V_h = harga rms dari tegangan harmonisa h ,

α_h = sudut fasa dari tegangan harmonisa

$$v(t) = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 0}^{\infty} I_h \sin(h\omega t + \beta_h) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

$I(t)$ = arus sesaat,

I_0 = komponen dc,

I_h = harga rms dari arus harmonisa h,

β_h = sudut fasa dari arus harmonisa h,

Harga rms tegangan dan arus adalah :

$$V = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} V_h^2} ; \quad I = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} \dots \dots \dots (2.13)$$

Kemudian dengan memisahkan komponen fundamental V_1 , I_1 dari komponen harmonisa V_h , I_h maka akan diperoleh :

$$V^2 = V_1^2 + V_h^2 \dots \dots \dots (2.14)$$

dan

$$I^2 = I_1^2 + I_h^2 \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana

$$V_H^2 = \sum_{h \neq 1} V_h^2 ; \quad I_H^2 = \sum_{h \neq 1} I_h^2 \dots \dots \dots (2.16)$$

Daya nyata S memiliki dua komponen :

$$S^2 = S_1^2 + S_N^2 \dots \dots \dots (2.17)$$

dimana

$$S_1^2 = (V_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2$$

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1$$

Dengan S_1 merupakan daya nyata *fundamental*, yang terdiri dari daya aktif fundamental P_1 dan daya reaktif Q_1 .

Sedangkan daya *non-fundamental* S_N terdiri dari tiga komponen yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$S_N^2 = (V_1 I_H)^2 + (V_H I_1)^2 + (V_H I_H)^2 \dots \dots \dots (2.18)$$

Komponen pertama merupakan perkalian antara tegangan rms *fundamental* dengan arus rms harmonisa. Bentuk ini, $V_1 I_H$ dinamakan *Current Distortion Power*. Bentuk kedua, $V_H I_1$ merupakan perkalian antara arus rms *fundamental* dengan tegangan rms harmonisa. Bentuk kedua ini dinamakan dengan *Voltage Distortion Power*, bentuk ini merefleksikan distorsi tegangan. Komponen ketiga disebut daya nyata harmonisa (*Harmonic Apparent Power*), dan lebih lanjut dapat dibagi sebagai berikut :

$$S_H^2 = (V_H I_H)^2 = P_H^2 + N_H^2 \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana

$$P_H = \sum_{h \neq 1} V_h I_h \cos \theta_h; \theta_h = \alpha_h - \beta_h$$

P_H merupakan *Total Harmonic Active Power* sedangkan N_H adalah *Total Nonactive Power*.

Ketiga komponen dalam S_N berguna untuk mengetahui tingkat polusi harmonisa. Kegunaan ini menjadi jelas dengan membagi persamaan diatas sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\left(\frac{S_N}{S_1}\right)^2 = \left(\frac{I_H}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{V_H}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{V_H I_H}{V_1 I_1}\right)^2 \dots \dots \dots (2.20)$$

atau bila ditulis sebagai fungsi dari THD dari tegangan dan arus, maka didapatkan persamaan :

$$\left(\frac{S_N}{S_1}\right)^2 = (I_{THD})^2 + (V_{THD})^2 + (I_{THD} V_{THD})^2 \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana $\left(\frac{S_N}{S_1}\right)^2$ disebut dengan *Normalized Non-Fundamental Apparent Power*.

Sedangkan *Normalized Harmonic Apparent Power* S_H/S_1 dapat dihitung dengan persamaan :

$$\frac{S_H}{S_1} = \frac{V_H I_H}{V_1 I_1} = I_{THD} V_{THD} \dots \dots \dots (2.22)$$

Penting untuk diketahui perbedaan yang tergambar antara daya nyata *non-fundamental* dan daya nyata harmonik. Daya nyata harmonik S_H jauh lebih kecil daripada S_N dan tidak cukup untuk menunjukkan tingkat distorsi akibat beban non-linear. Sehingga S_N/S_1 lebih baik digunakan untuk mengetahui tingkat polusi harmonisa daripada S_H/S_1 .

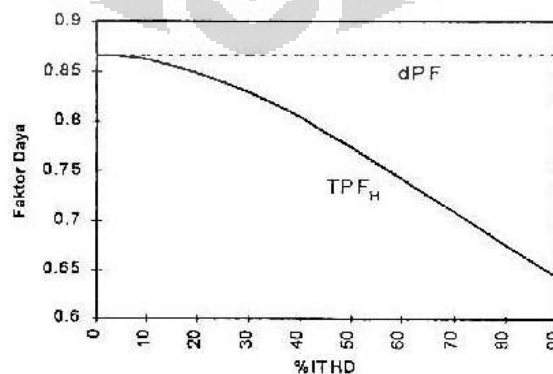
Untuk mengetahui faktor daya sebenarnya pada kondisi ini dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$TPF_H = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_H}{S} \dots \dots \dots (2.23)$$

Kemudian dengan memisahkan P_1 , Q_1 dan S_1 dari daya *non-fundamental* akan diperoleh *Displacement Power Factor* (DPF) :

$$DBF = \frac{P_1}{S_1} = \cos \theta \dots \dots \dots (2.24)$$

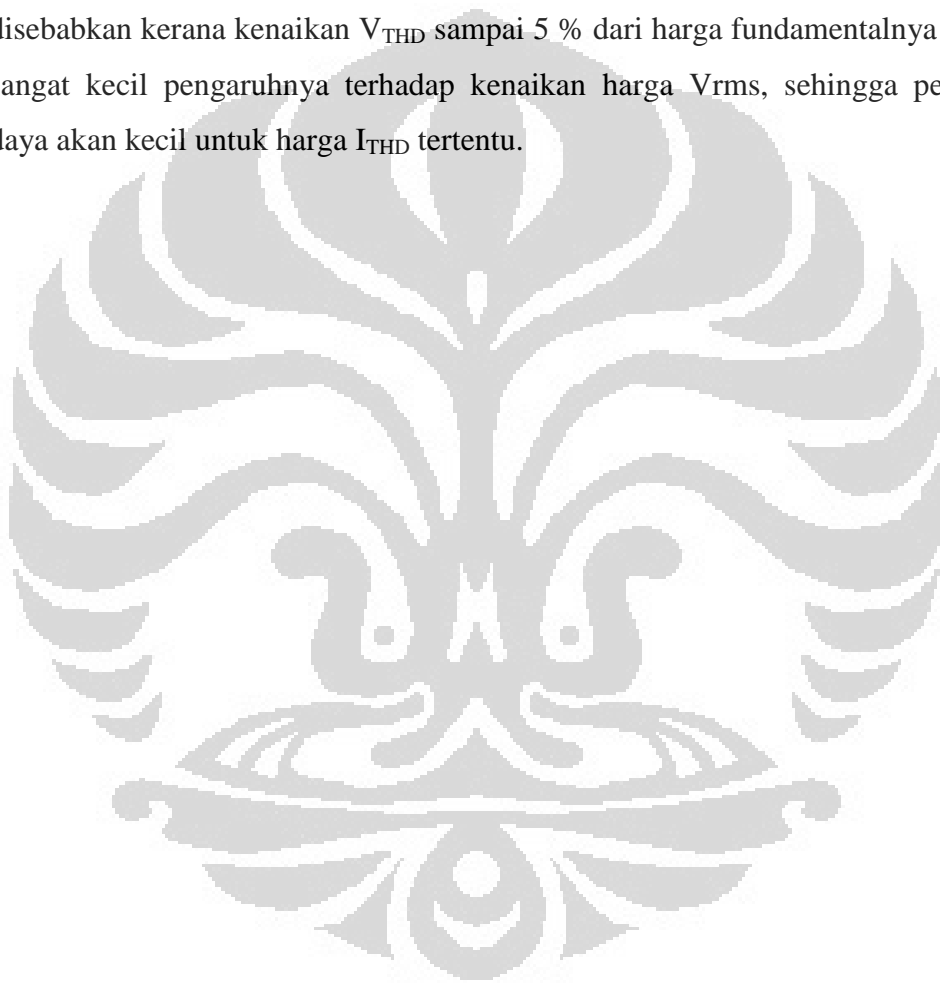
Berikut ini adalah gambaran umum mengenai pengaruh harmonisa terhadap faktor daya :



Gambar 2-15 Pengaruh harmonisa terhadap faktor daya [13]

Dari gambar 2.11 terlihat bahwa semakin besarnya persentase dari I_{THD} maka faktor dayanya semakin turun. Tinggi nilai I_{THD} disebabkan karena nilai I_{rms} dari fundamental menjadi besar.

Sementara itu, nilai I_{THD} tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai DPF. Karena DPF merupakan ukuran dari kemampuan daya rangkaian yang tidak mencakup komponen harmonisa .sedangkan untuk kenaikan V_{THD} hingga batas yang diizinkan tidak berpengaruh terhadap perubahan harga faktor daya. Hal ini disebabkan kerana kenaikan V_{THD} sampai 5 % dari harga fundamentalnya tersebut sangat kecil pengaruhnya terhadap kenaikan harga V_{rms} , sehingga perubahan daya akan kecil untuk harga I_{THD} tertentu.



BAB 3

OBJEK DAN PROSEDUR PENGUJIAN

Pada bab ini bertujuan untuk membahas tentang objek dari pengukuran yang akan dilakukan pada skripsi ini dan juga menjelaskan pengukuran yang dilakukan. Dengan hasil pengukuran yang didapatkan selanjutnya akan dibandingkan unjuk kerja dari *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik. Perbandingan unjuk kerja yang dibahas pada skripsi ini meliputi konsumsi daya, THD, factor daya, *current crest factor*, dan juga segi ekonomis.

3.1 Objek Pengujian

Objek dari pengujian ini adalah untuk *ballast* elektronik dengan *ballast* elektromagnetik lampu TL (*Tube Lamp*). Dari kedua jenis *ballast* tersebut akan dilakukan perbandingan antara *ballast elektronik* dan *ballast elektromagnetik*. Adapun Pengujian yang dilakukan pada *ballast* tersebut sebagai berikut :

- Pengujian *ballast elektronik* dan *ballast elektromagnetik* berbeban
- Pengujian *ballast elektronik* dan *ballast elektromagnetik* tak berbeban saat kondisi *open* dan *short circuit*.
- Pengujian *ballast elektromagnetik* berbeban dengan menggunakan kapasitor
- Pengujian *loses* pada *ballast elektromagnetik*

Dari Pengujian yang dilakukan tersebut akan didapatkan data karakteristik dari *ballast-ballast* baik *ballast* elektromagnetik maupun *ballast* elektronik. Data pengujian tersebut yang selanjutnya akan digunakan pada bab 4 untuk digunakan melakukan analisis. Data yang dibutuhkan dari pengujian-pengujian *ballast elektronik* maupun *ballast elektromagnetik* dari pengujian berbeban, tak berbeban serta penggunaan kapasitor adalah sebagai berikut :

- DayaSemu (VA)
- DayaAktif (W)
- DayaReaktif (VAr)
- Power Faktor (pf)

- THD I (%)
- THD V (%)

Ballast-ballast yang digunakan dalam sebagai objek pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. *Ballast Elektronik*

Adapun merk *ballast elektronik* yang digunakan sebagai berikut :

- *Ballast elektronik* tipe A yang terdiri atas 36 Watt dan 18 Watt masing-masing 1 buah
- *Ballast elektronik* tipe B yang terdiri atas 36 Watt dan 18 Watt masing-masing 1 buah
- *Ballast elektronik* tipe C yang terdiri atas 36 Watt dan 18 Watt masing-masing 1 buah



Gambar3-1 *Ballast elektronik*

2. *Ballast Elektromagnetik*

Adapun merk *ballast elektromagnetik* yang digunakan sebagai berikut :

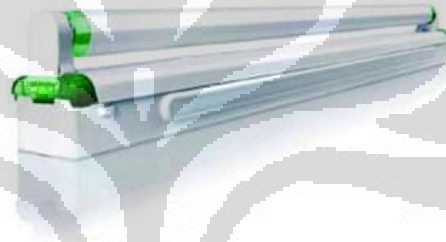
- *Ballast elektromagnetik* tipe A yang terdiri atas 36 Watt dan 18 Watt masing-masing sebanyak 1 buah
- *Ballast elektromagnetik* tipe A yang terdiri atas 36 Watt dan 18 Watt masing-masing sebanyak 1 buah
- *Ballast elektromagnetik* tipe A yang terdiri atas 36 Watt dan 18 Watt masing-masing sebanyak 1 buah



Gambar 3-2 *Ballast elektromagnetik*

Selain *ballast* yang digunakan jugadigunakan bahan-bahan lain, yaitu :

1. Lampu TL (*Tube Lamp*) yang digunakan pada pengujian ini adalah lampu TL merk P 18 Watt dan 36 Watt masing-masing sebanyak 1 buah.



Gambar 3-3 Lampu TL

2. *Stater* Psebanyak 1 buah



Gambar 3-4 *Starter*

3. Kapasitor sebesar 4,7 μ F sebanyak 1 buah



Gambar 3-5 Kapasitor 4 μ F merk P

3.2 Peralatan Pengujian

Pada awalnya peralatan yang akan digunakan adalah alat ukur analog dan juga alat ukur digital. Namun karena ketidakterediaan alat ukur analog yang memiliki *range* ukur yang dibutuhkan maka dalam pengujian ini digunakan alat ukur digital. Pada pengujian ini digunakan *Power Quality Analyzer* bermerk Hioki dengan seri 3169-20. Peralatan ini mampu mengukur berbagai komponen listrik seperti tegangan (V), arus (I), frekuensi (f), daya kompleks (S), daya real (P), daya reaktif (Q), konsumsi energi (kWh) dan faktor daya (pf). Selain itu, alat ini juga mampu mengukur komponen harmonik arus dan juga komponen harmonik tegangan sampai dengan orde ke-40. Alat ini memiliki input 4 terminal tegangan (3 tegangan fasadan 1 netral) dan 4 terminal arus sehingga alat ini mampu mengukur system dari 1 *phase-2 wire* sampai 3 *phase-4 wire*. Alat ini juga dapat *me-record* hasil pengujian dan dilengkapi dengan *PC card* untuk menyimpan hasil *record* hasil pengujian.

Data hasil pengujian dapat dengan mudah ditransfer dari *PC card* ke computer melalui *universal card reader*. Dengan bantuan program yang dimilikinya, hasil pengujian dapat diamati dan dianalisis melalui komputer. Program yang digunakan adalah *9625 Power Measurement Support Software*. Dari program ini kita bias menyajikan data hasil pengujian yang berupa ringkasan, grafik gelombang, dan spectrum untuk memudahkan analisa. Berikut ini adalah gambar alat yang digunakan dalam pengujian :



Gambar3-6 Power AnalyzerHiokiseri 3169-20

Berikutini *basic specifications* dari hioki seri 3169-20 :

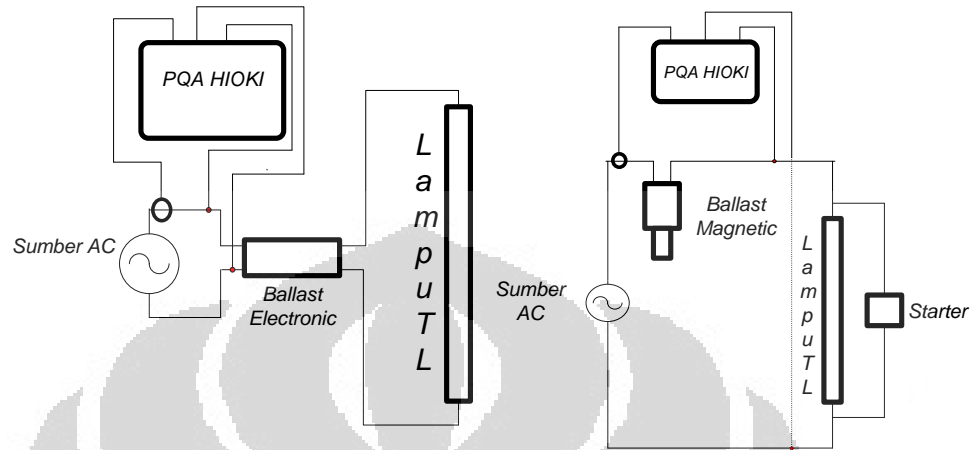
Tabel 3-1 Data Spesifikasi dari *power analyzer* Hioki seri 3169-20

<i>Measurement line type</i>	<i>Single-phase 2-wire, single-phase 3-wire, three-phase 3-wire,three-phase 4-wire</i>
<i>Input methods</i>	<i>Voltage : isolated input Current : isolated input using a clamp-on</i>
<i>Input resistance</i>	<i>Voltage : 2 MΩ \pm 10% Current : 200 kΩ \pm 10%</i>
<i>Maximum input</i>	<i>Voltage input : 780 Vrms AC, peak value : 1103 V Current input : 1.7 Vrms AC, peak value : 2.4V</i>
<i>Maximum rated voltage to earth</i>	<i>Voltage input terminals 600 Vrms AC</i>

3.3 Rangkaian Pengujian

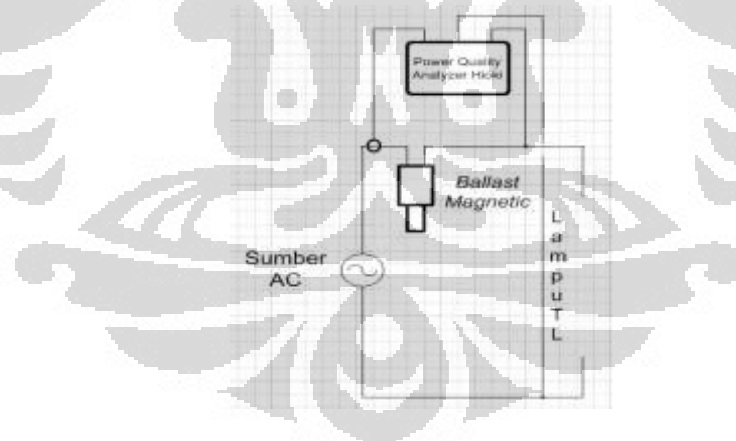
Pemasangan *power analyzer* pada rangkaian pengujian ini memiliki prinsip dasar yang sama dari pemasangan *voltmeter* dan *amperemeter*. Jepit tegangan dari *power analyzer* dipasang secara parallel terhadap sumber dan untuk mendapatkan nilai arus dipasang dengan menggunakan *clamping* sehingga memungkinkan pengukuran secara seri tanpa harus melepas rangkaian.

Berikut ini pada gambar 3-7 menunjukkan rangkaian pengujian saat ballast berbeban. Pada rangkaian pengujian tersebut dapat terlihat cara pemasangan jepit tegangan dan *clamp* dari *power analyzer*.

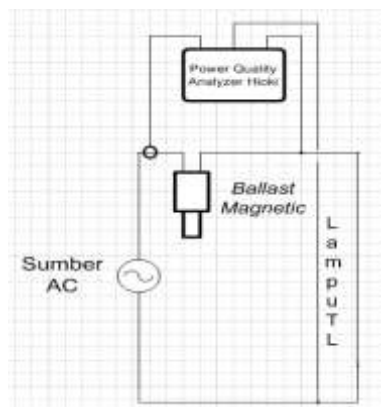


Gambar 3-7 Rangkaian pengukuran ballast berbeban

Pada gambar 3-8 dan 3-9 menunjukkan pengukuran tidak berbeban pada *ballast elektromagnetik* saat keadaan *open circuit* dan *short circuit*.

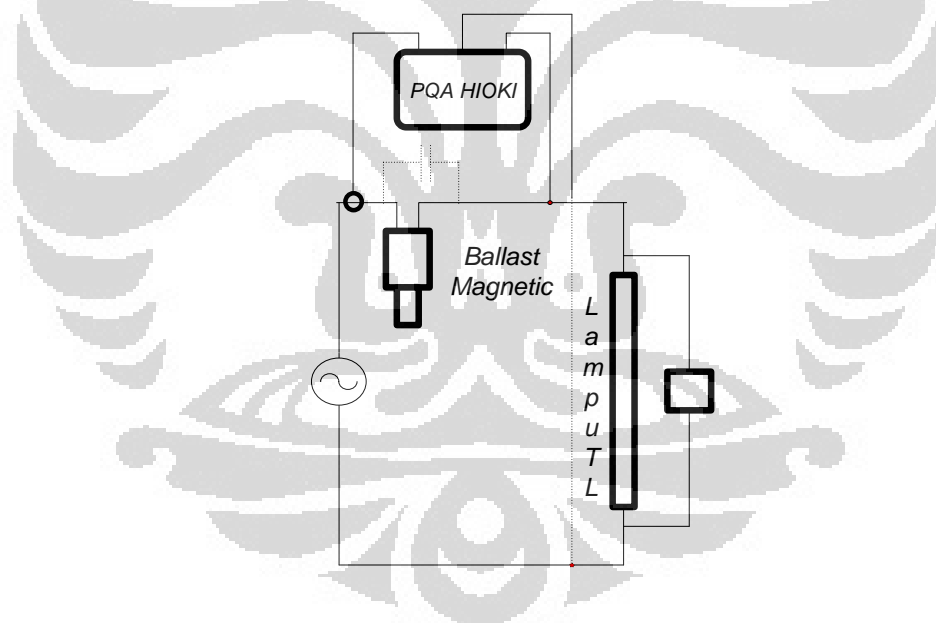


Gambar 3-8 Rangkaian pengukuran ballast tak berbeban keadaan *open circuit*



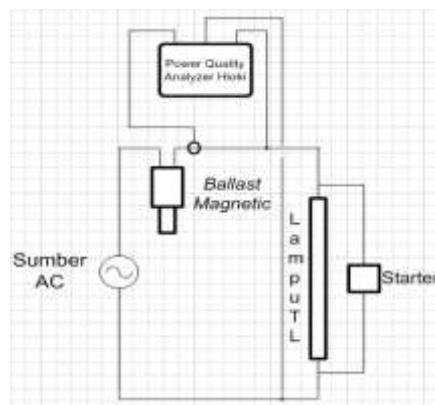
Gambar 3-9 Rangkaian pengukuran ballast tak berbeban keadaan *short circuit*

Untuk rangkaian pengujian pemasangan kapasitor pada *ballast* elektromagnetik, kapasitor dipasang secara parallel seperti yang terlihat pada gambar 3-10. Clamp arus power analyzer dipasang dengan meng-*clamp* secara bersamaan kabel dari sumber dan kabel dari kapasitor.



Gambar 3-10 Rangkaian pengujian pemasangan kapasitor pada *ballast* elektromagnetik

Untuk rangkaian pengujian loses pada *ballast* elektromagnetik, dilakukan dengan memasang clamp arus yang dipasang pada sisi sekunder *ballast* dengan memasang jepit tegangan pada lampu TL. Dengan rangkain pengujian ini dapat terlihat besarnya loses yang terjadi pada *ballast* elektromagnetik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3-11.



Gambar 3-11 Rangkaian pengukuran *losses* pada *ballast* elektromagnetik

3.4 Prosedur Pengujian

Berikut ini adalah prosedur pengujian untuk setiap pengujian yang dilakukan baik pada *ballast elektronik* dan *ballast elektromagnetik* :

1. Pengujian *ballast elektronik* dan *ballast elektromagnetik* berbeban
 - a. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian diatas.
 - b. Mengaktifkan peralatan dengan memberikan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz.
 - c. Menyetel peralatan (*power analyzer*) sesuai kondisi pengujian
 - d. Mengaktifkan *power analyzer* untuk mencatat pengujian selama 30 menit.
 - e. Setelah pengujian selesai, peralatan di-nonaktifkan dan data dari memori dipindahkan ke komputer
2. Pengujian *ballast elektronik* dan *ballast elektromagnetik* tak berbeban
 - a. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian diatas dengan melepas bebanlampu TL.
 - b. Mengaktifkan peralatan dengan memberikan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz.
 - c. Menyetel peralatan (*power analyzer*) sesuai dengan kondisi pengujian
 - d. Mengaktifkan *power analyzer* untuk mencatat pengujian selama 30 menit.

- e. Setelah pengujian selesai, peralatan di-nonaktifkan dan data dari memori dipindahkan ke komputer
3. Pengujian *ballast elektromagnetik* berbeban dengan menggunakan kapasitor
 - a. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian diatas dengan memasangkan kapasitor secara paralel.
 - b. Mengaktifkan peralatan dengan memberikan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz.
 - c. Menyetel peralatan (*power analyzer*) sesuai dengan kondisi pengujian
 - d. Mengaktifkan *power analyzer* untuk mencatat pengujian selama 30 menit.
 - e. Setelah pengujian selesai, peralatan di-nonaktifkan dan data dari memori dipindahkan ke komputer
 4. Pengujian *losses* pada *ballast elektromagnetik*
 - a. Memasang rangkaian seperti pada gambar rangkaian pengujian *losses*. Dimana *clamp* arus dipasang pada masukan primer dan keluaran dari sekunder.
 - b. Mengaktifkan peralatan dengan memberikan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz.
 - c. Menyetel peralatan (*power analyzer*) sesuai dengan kondisi pengujian
 - d. Mengaktifkan *power analyzer* untuk mencatat pengujian selama 10 menit
 - e. Setelah pengujian selesai, peralatan di non-aktifkan dan data dari memori dipindahkan ke computer

BAB 4

ANALISIS DATA PENGUJIAN

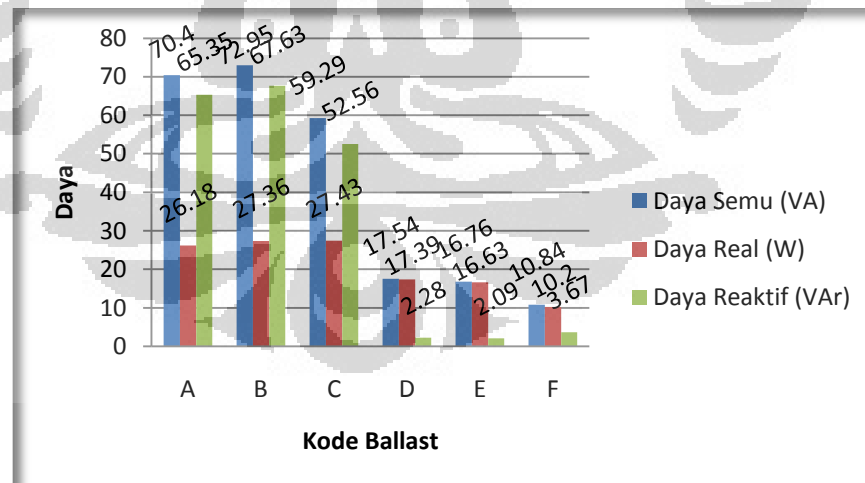
Pada bab ini akan dibahas menampilkan data hasil pengukuran dari beberapa pengujian yang telah dilakukan. Dari data yang didapatkan tersebut, akan diolah dan analisa menjadi bahasan pokok pada bab ini. Pada bab ini terdapat bahasan pokok, yaitu : analisa *power quality ballast*, analisa *current crest factor*, dan analisa segi ekonomis *ballast*.

4.1 Analisa Power Quality Ballast

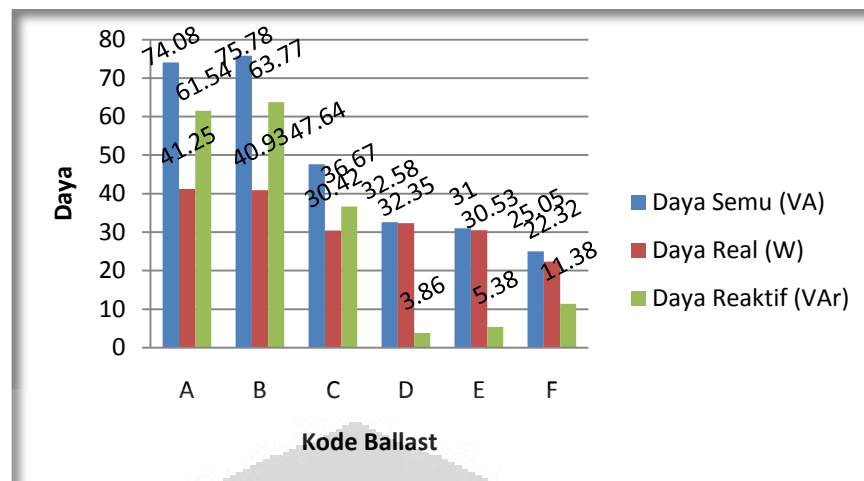
Pada sub bab analisis ini digunakan data yang didapatkan dari pengujian *ballast* berbeban, pengujian *ballast elektromagnetik* yang menggunakan kapasitor $4\mu\text{F}$ dan pengujian *ballast* elektromagnetik tak berbeban. Parameter power quality yang dianalisis pada sub bab ini adalah konsumsi daya, *Total Harmonic Distortion* (THD), dan faktor daya.

4.1.1 Konsumsi Daya

Dari pengukuran *ballast berbeban* didapatkan data mengenai konsumsi daya dari kedua jenis *ballast* tersebut. Gambar 4-1 dan 4-2 menunjukkan data konsumsi daya pada kedua jenis *ballast* tersebut.



Gambar 4-1 Grafik perbandingan konsumsi daya pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 18 W dengan beban lampu P 18 W



Gambar 4-2 Grafik perbandingan konsumsi daya pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 36W dengan beban lampu P 36 W.

Keterangan :

A : *Ballast Elektromagnetik* tipe A

B : *Ballast Elektromagnetik* tipe B

C : *Ballast Elektromagnetik* tipe C

D : *Ballast Elektronik* tipe A

E : *Ballast Elektronik* tipe B

F : *Ballast Elektronik* tipe C

Dari data tersebut terlihat bahwa *ballast* elektronik mengkonsumsi daya yang lebih kecil dibandingkan *ballast* elektromagnetik untuk spesifikasi daya yang sama. Pada *ballast* elektronik terdapat proses switching power suplai yang dapat menyebabkan losses yang terjadi sangat kecil. Sedangkan pada *ballast* elektromagnetik terlihat besarnya daya yang dibangkitkan yaitu daya semu lebih banyak yang dikonsumsi menjadi daya reaktif disebabkan karena *ballast* elektromagnetik sendiri yang bersifat induktif.

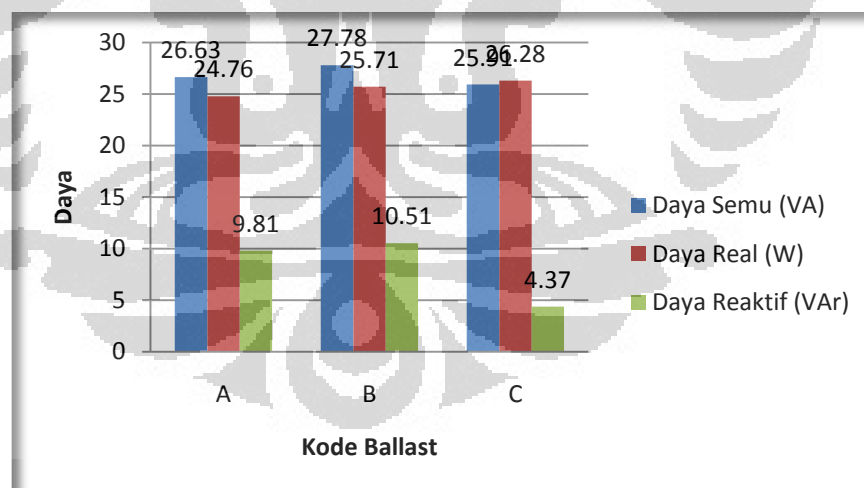
Dari data konsumsi daya real pada kedua *ballast* tersebut terlihat bahwa dengan penggunaan *ballast* elektronik didapatkan penghematan konsumsi daya real dibandingkan *ballast* elektromagnetik. Berikut ini adalah perhitungannya potensi penghematan daya real pada *ballast* tipe A dan B

Tabel 4-1 Perhitungan efisiensi konsumsi daya real *ballast* elektronik dibandingkan dengan *ballast* elektromagnetik

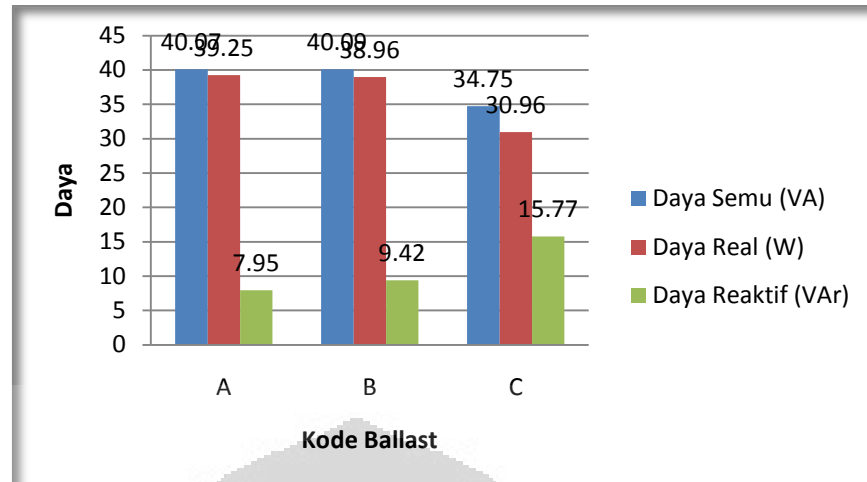
<i>Ballast</i> Elektronik	Efisiensi Tipe A	Efisiensi Tipe B	Rata – rata efisiensi
18 W	33.57 %	39.21 %	36.40 %
36 W	21.57 %	25.40 %	23.49 %

Untuk mengatasi masalah tersebut maka dalam aplikasinya biasa *ballast* elektromagnetik ditambahkan dengan memasang kapasitor. Gambar 4-3 dan 4-4 menunjukkan data konsumsi daya dari setelah *ballast* elektromagnetik dipasangkan dengan kapasitor. Dalam pengukuran ini digunakan kapasitor sebesar $4\mu\text{F}$.

Dari data tersebut terlihat bahwa setelah *ballast* elektromagnetik dipasangkan dengan kapasitor besarnya daya semu (S) dan daya reaktif (Q) menjadi lebih kecil dibandingkan sebelum dipasangkan dengan kapasitor. Kapasitor sendiri berfungsi sebagai kompensator daya reaktif dalam hal ini memberikan pasokan daya reaktif ke sistem *ballast*.



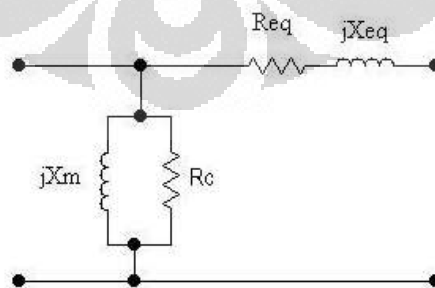
Gambar 4-3 Grafik konsumsi daya setelah pemasangan kapasitor $4\mu\text{F}$ pada *ballast* elektromagnetik 18 W



Gambar 4-4 Grafik konsumsi daya setelah pemasangan kapasitor $4\mu\text{F}$ pada *ballast* elektromagnetik 36 W

Besarnya konsumsi daya real pada *ballast* elektromagnetik yang terukur tidak sama dengan besarnya daya yang terpakai pada lampu TL. Hal ini disebabkan karena *losses* yang terjadi pada *ballast* tersebut.

Untuk mengetahui besarnya *loses core* yang terjadi pada *ballast magnetic* maka pada pengujian dilakukan pengukuran *ballast* tak berbeban dan *loses ballast*. Pada pengukuran *ballast* tak berbeban dilakukan dua jenis pengukuran, yaitu saat *open circuit* dan *short circuit*. Dimana dari kedua data pengukuran tersebut akan diarahkan untuk mencari nilai R_{eq} , jX_{eq} , R_c dan jX_m pada rangkaian pengganti trafo seperti yang terlihat pada gambar 4-5.



Gambar 4-5 Rangkaian pengganti trafo

Pada contoh perhitungan ini akan digunakan data pengukuran dari *ballast* elektromagnetik 36 W tipe A. Berikut ini adalah data yang digunakan $V_{OC} = 212.62$ V, $I_{OC} = 0.0004$ A, $PF_{OC} = 0.22$, $I_{SC} = 0.58$ A, $V_{SC} = 217.38$ V, dan $PF_{SC} = 0.17$.

Open Circuit :

$$\begin{aligned} Y_E &= \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \angle -\cos^{-1} PF \\ &= \frac{0.0004}{212.62} \angle -\cos^{-1} 0.22 \\ &= 1.88 \times 10^{-6} \angle -1.34 \\ &= 4.23 \times 10^{-7} - j1.83 \times 10^{-8} = \frac{1}{R_C} - j \frac{1}{X_M} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai :

$$R_C = \frac{1}{4.23 \times 10^{-7}} = 2360 \text{ k}\Omega$$

$$X_M = \frac{1}{1.83 \times 10^{-8}} = 546 \text{ k}\Omega$$

Short Circuit :

$$\begin{aligned} Z_{SE} &= \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \angle \cos^{-1} PF \\ &= \frac{217.38}{0.58} \angle \cos^{-1} 0.17 \\ &= 374.79 \angle 1.4 \\ &= 63.71 + j369.34 \Omega \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai :

$$R_{eq} = 63.71 \Omega \quad X_{eq} = 369.34 \Omega$$

Jika dari perhitungan didapatkan $a = 1.09$ dan dari pengukuran juga didapatkan $I_s = 0.3885$, $V_s = 109.6$ V dengan $PF = 0.9389$.

$$\frac{V_p}{a} = V_s + R_{eq}I_s + jX_{eq}I_s$$

$$= 109.6 + (53.92)(0.3885 \angle -0.35) + j(312.57)(0.3885 \angle -0.35)$$

$$\frac{V_p}{a} = 115.56 + j6.67 \text{ Volt}$$

Besarnya *losses core* terjadi pada R_C :

$$P_{core} = \frac{V_p/a^2}{2001.13}$$

$$P_{core} = 6.67 \text{ W}$$

Tabel 4-2 Data perbandingan *losses core* pada ballast elektromagnetik 18 W dan 36 W dengan beban lampu P

Merk	Daya (W)	Losses Perhitungan (W)	Losses Pengukuran (W)
A	36	6.67	6.67
B	36	7.7	5.97
C	36	6.56	6.73
A	18	1.4	1.75
B	18	2.07	2.57
C	18	0.87	1.53

4.1.2 Total Harmonic Distortion (THD)

Pada pengukuran *ballast* berbeban didapatkan besarnya nilai THD, baik I_{THD} dan V_{THD} . Dari gambar 4-6 dan 4-7 terlihat besarnya nilai I_{THD} pada kedua jenis ballast tersebut. Dari data yang didapatkan selanjutnya akan dilakukan pengolahan untuk dilakukan perbandingan terhadap standar yang digunakan. Standar yang digunakan adalah standar IEEE 519-1992.

Pertama yang dilakukan adalah mencari besarnya arus *short circuit Point of Common Coupling* (PCC) dalam hal ini adalah *circuit breaker*. Dari data didapatkan bahwa besarnya nilai $I_L = 25$ A dan nilai $I_{SC} = 5000$ A

Tabel 4-3 Data perbandingan nilai I_{THD} pengukuran terhadap standar IEEE 519 – 1992 pada *ballast* elektromagnetik

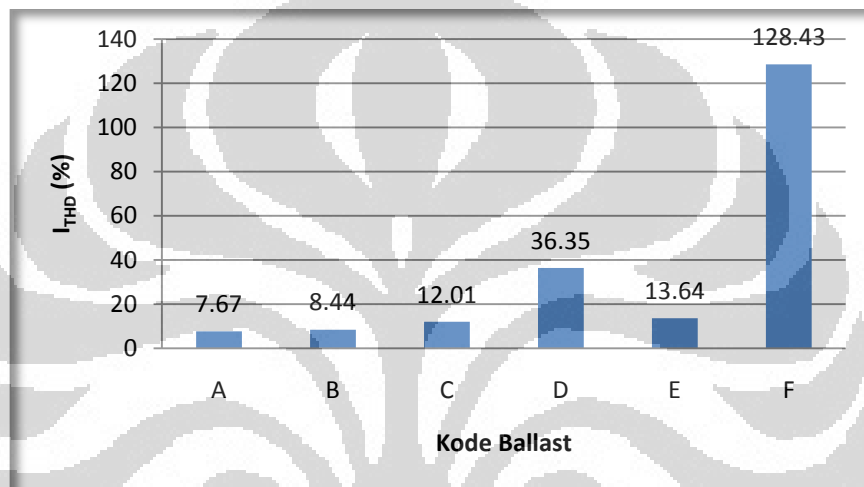
TIPE	Daya Ballast (W)	I_L (A)	I_{THD} (%)	Standar		Keterangan
				I_{sc}/I_L	I_{THD} (%)	
A	36	0.36	11.2	200	15	Memenuhi standar
B	36	0.36	10.8	200	15	Memenuhi standar
C	36	0.23	14.67	200	15	Memenuhi standar
A	18	0.33	7.67	200	15	Memenuhi standar
B	18	0.34	8.44	200	15	Memenuhi standar
C	18	0.28	12.01	200	15	Memenuhi standar

Tabel 4-4 Data perbandingan nilai I_{THD} pengukuran terhadap standar IEEE 519 – 1992 pada *ballast* elektronik

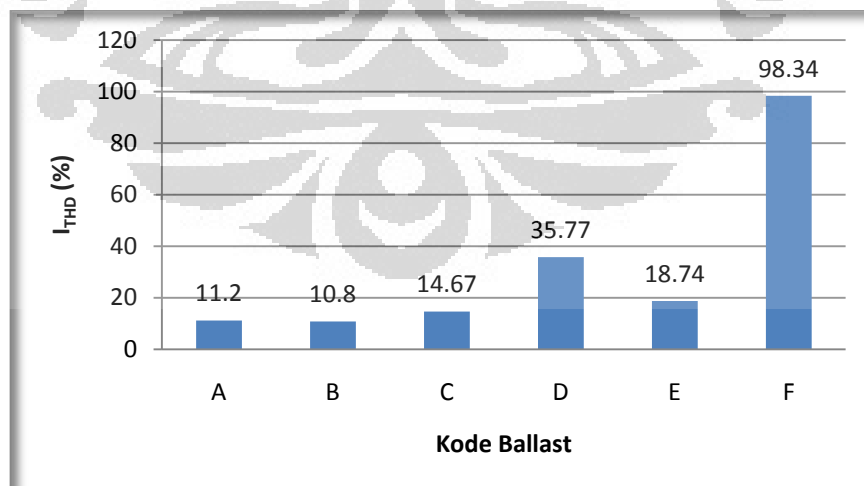
TIPE	Daya Ballast (W)	I_L (A)	I_{THD} (%)	Standar		Keterangan
				I_{sc}/I_L	I_{THD} (%)	
A	36	0.16	35.77	200	15	Tidak memenuhi standar
B	36	0.15	18.74	200	15	Tidak Memenuhi Standar
C	36	0.17	98.34	200	15	Tidak memenuhi standar
A	18	0.09	36.35	200	15	Tidak memenuhi standar
B	18	0.08	13.64	200	15	Memenuhi Standar
C	18	0.09	128.43	200	15	Tidak memenuhi standar

Dari tabel diatas terlihat bahwa untuk *ballast* elektromagnetik memiliki nilai I_{THD} yang masih memenuhi standar. Sedangkan untuk

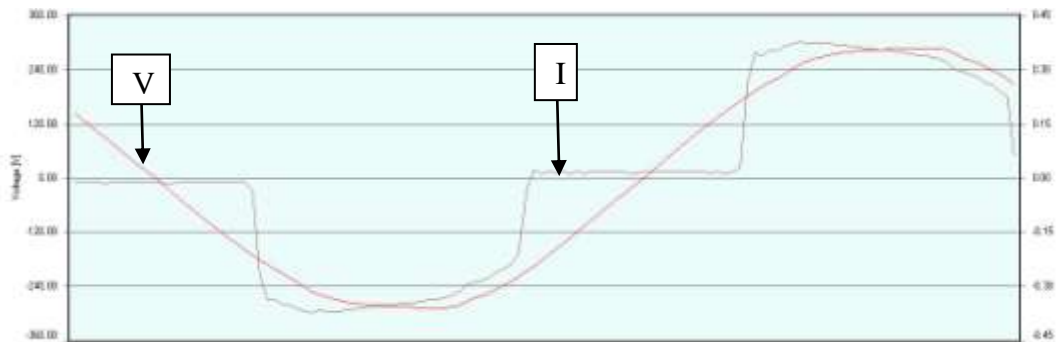
ballast elektronik hanya *ballast elektronik* 18 W tipe B saja yang memenuhi standar yang ada. Hal ini disebabkan karena pada *ballast elektronik* terdapat proses *switching power* suplai. Karena proses tersebut *ballast elektronik* dapat menghaikan dua sampai tiga kali nilai I_{THD} *ballast elektromagnetik*. Untuk mengatasi masalah tersebut pada *ballast elektronik* terdapat pasif filter. Setiap *ballast elektronik* memiliki desain filter yang berbeda – beda sehingga nilai I_{THD} setiap *ballast elektronik* berbeda pula.



Gambar 4-6 Grafik perbandingan nilai I_{THD} pada *ballast elektromagnetik* dan *ballast elektronik* 18 W dengan beban lampu P 18 W

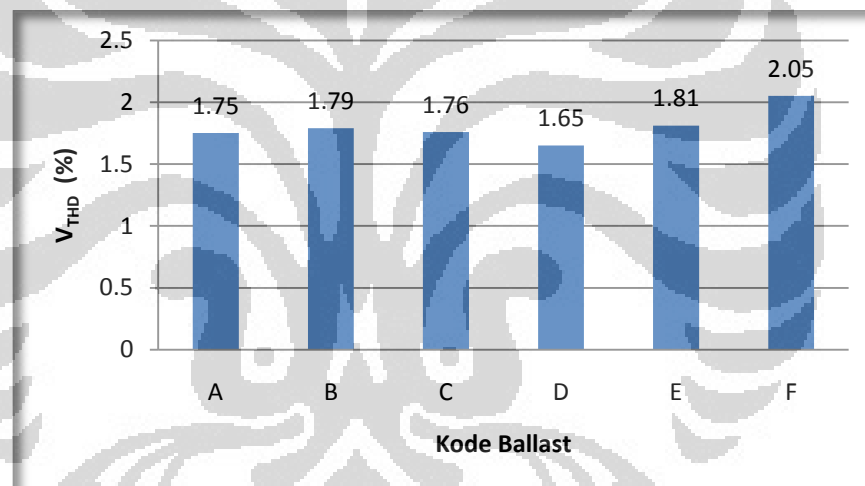


Gambar 4-7 Grafik perbandingan nilai I_{THD} pada *ballast elektromagnetik* dan *ballast elektronik* 36 W dengan beban lampu P 36 W.

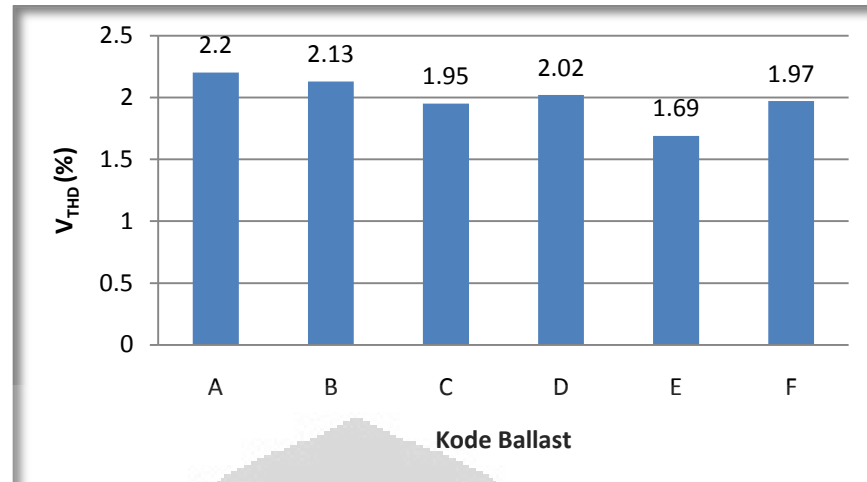


Gambar 4-8 Gelombang arus dan tegangan pada *ballast* elektronik tipe A 36 W

Pada pengukuran *ballast* berbeban selain didapatkan nilai I_{THD} (%) juga didapatkan nilai V_{THD} (%). Gambar 4-9 dan 4-10 menunjukkan data pengukuran yang didapatkan pada kedua jenis *ballast* tersebut.



Gambar 4-9 Grafik perbandingan V_{THD} pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 18 W dengan beban lampu P



Gambar 4-10 Grafik perbandingan V_{THD} pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 36W dengan beban lampu P

Sama hal dengan nilai I_{THD} , maka pada nilai V_{THD} akan dibandingkan dengan standar IEEE 519 – 1992. Tegangan sistem yang digunakan pada lingkungan UI sebesar 20 kV. Berikut ini adalah tabel hasil perbandingan nilai V_{THD} pengukuran terhadap nilai V_{THD} standar yang digunakan.

Tabel 4-5 Data perbandingan nilai V_{THD} pengukuran terhadap standar V_{THD} IEEE 519 pada *ballast* elektromagnetik.

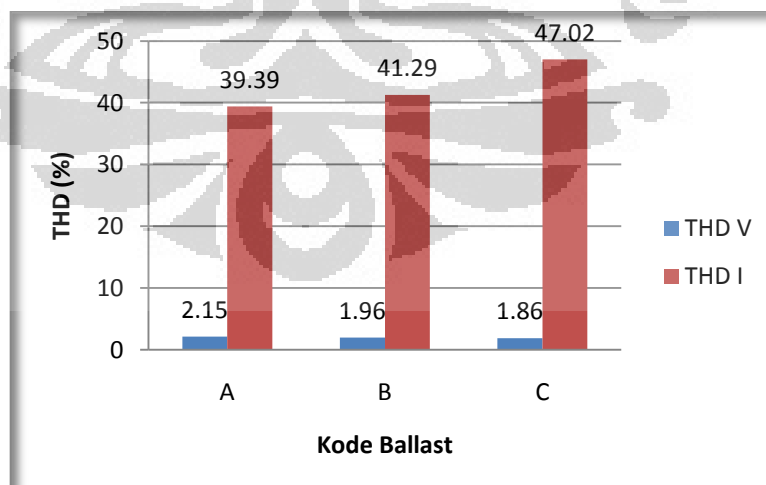
TIPE	Daya Ballast (W)	V_{THD} (%)	Standar	Keterangan
			V_{THD} (%)	
A	36	2.2	5	Memenuhi standar
B	36	2.13	5	Memenuhi standar
C	36	1.95	5	Memenuhi standar
A	18	1.75	5	Memenuhi standar
B	18	1.79	5	Memenuhi standar
C	18	1.76	5	Memenuhi standar

Tabel 4-6 Data perbandingan nilai V_{THD} pengukuran terhadap standar V_{THD} IEEE 519 pada *ballast* elektronik

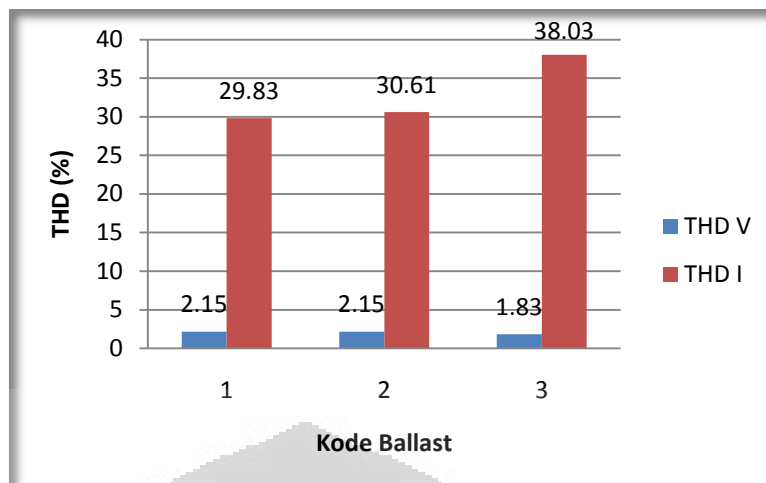
TIPE	Daya Ballast (W)	V_{THD} (%)	Standar	Keterangan
			V_{THD} (%)	
A	36	2.02	5	Memenuhi standar
B	36	1.69	5	Memenuhi standar
C	36	1.97	5	Memenuhi standar
A	18	1.65	5	Memenuhi standar
B	18	1.81	5	Memenuhi standar
C	18	2.05	5	Memenuhi standar

Dari hasil perbandingan diatas terlihat bahwa seluruh *ballast elektromagnetik* dan *ballast elektronik* memiliki nilai V_{THD} yang masih dalam standar. Besarnya nilai V_{THD} dipengaruhi oleh distorsi arus yang terjadi..

Pada analisis ini juga akan dilihat pengaruh pemasangan kapasitor pada *ballast elektromagnetik* terhadap THD yang didapatkan. Gambar 4-11 dan 4-12 menunjukkan besarnya nilai THD yang didapatkan setelah dipasangkan kapasitor pada *ballast elektromagnetik*.



Gambar 4-11 Grafik V_{THD} dan I_{THD} setelah diapasngkan kapasitor $4\mu F$ pada *ballast* elektromagnetik 18 W



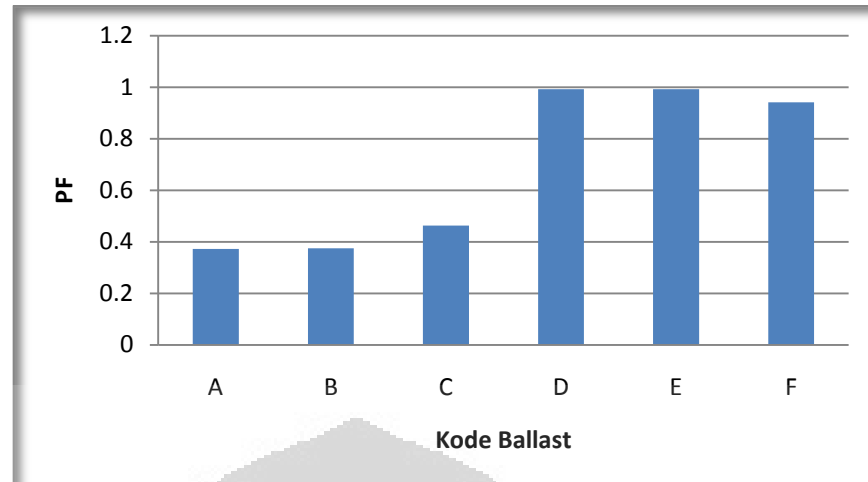
Gambar 4-12 Grafik V_{THD} dan I_{THD} setelah dipasangkan kapasitor $4\mu F$ pada *ballast* elektromagnetik 36 W

Dari data pengukuran diatas terlihat dengan pemasangan kapasitor menyebabkan nilai I_{THD} menjadi lebih besar. Dari data tersebut terlihat bahwa kenaikan rata – rata I_{THD} setelah pemasangan pada *ballast* 18 W sebesar 3.65 % dan 36 W sebesar 1.7 %.

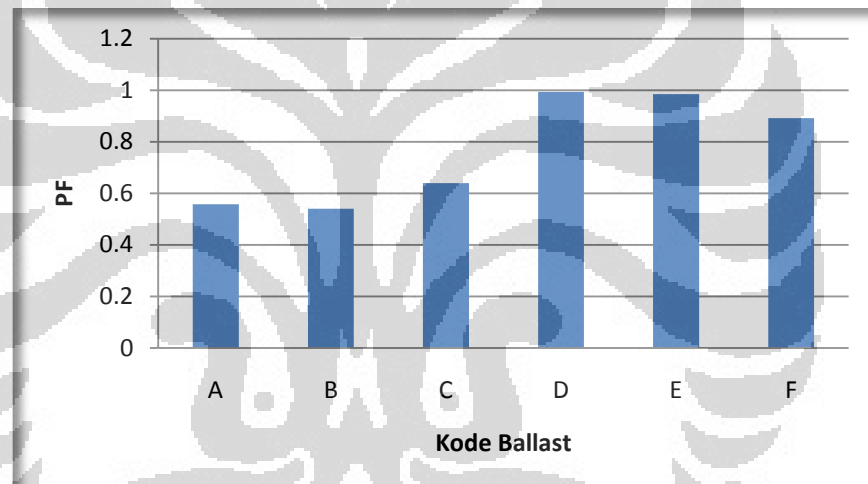
4.1.3 Faktor Daya

Faktor daya merupakan parameter dalam power quality yang menunjukkan seberapa efisien suatu sistem atau peralatan mengubah arus dan tegangan masukan menjadi energi listrik. Gambar 4-13 dan 4-14 menunjukkan nilai faktor daya yang didapatkan dari pengukuran pada kedua jenis *ballast* tersebut.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa *ballast elektronik* memiliki nilai faktor daya yang lebih baik dibandingkan dengan *ballast electomagnetic*. Pada sub bab analisa mengenai THD terlihat bahwa *ballast elektronik* memiliki nilai I_{THD} yang besar dibandingkan dengan *ballast* elektromagnetik. Seperti yang diketahui bahwa saat nilai I_{THD} semakin besar maka akan berakibat faktor daya menjadi buruk. Namun hal tersebut tidak terjadi pada *ballast elektronik* dikarenakan pada *ballast elektronik* terdapat rangkain *Power Factor Correction (PFC)*.



Gambar 4-13 Grafik perbandingan faktor daya pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 18 W



Gambar 4-14 Grafik perbandingan faktor daya pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 36 W

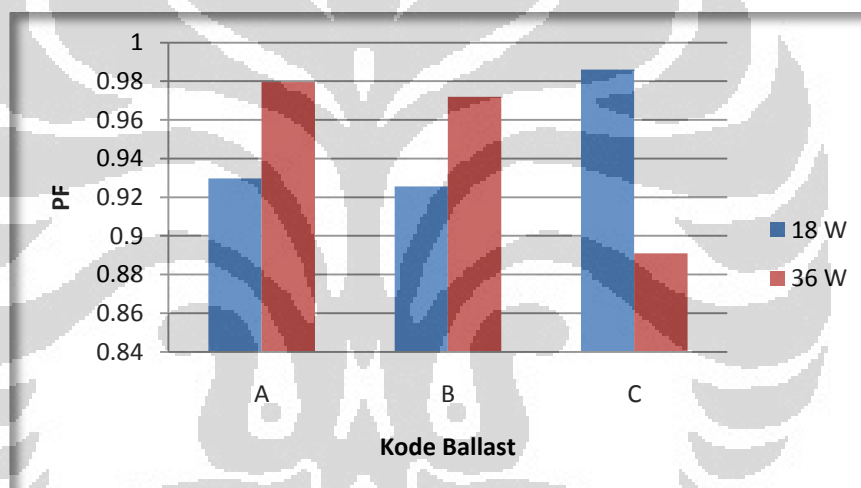
Faktor daya yang kurang baik pada *ballast magnetic* disebabkan karena sifat induktif dari *ballast* tersebut. Pada data faktor daya antara *ballast* elektromagnetik 18 W dan 36 W terlihat bahwa *ballast* elektromagnetik 36 W memiliki nilai faktor daya yang lebih baik dibandingkan dengan *ballast* elektromagnetik 18W. Untuk analisa hal ini bisa dilihat pada pengukuran daya semu dan daya aktif pada *ballast* elektromagnetik 16 W dan 36 W. Sebagai contoh pada *ballast* elektromagnetik tipe A dimana daya semu *ballast* elektromagnetik 118 W sebesar 70.4 VA dan daya aktif sebesar 26.18 W sedangkan pada *ballast*

elektromagnetik 36 W sebesar 74.08 VA dan daya aktif sebesar 41.25. Dengan menggunakan persamaan :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Maka dapat terlihat bahwa faktor daya pada ballast elektromagnetik 36 W lebih baik daripada ballast elektromagnetik 36 W.

Pada pengukuran didapatkan setelah *ballast* elektromagnetik dipasangkan kapasitor besarnya nilai faktor daya menjadi lebih baik. Gambar 4-15 menunjukkan nilai faktor daya pada *ballast* elektromagnetik setelah dipasangkan kapasitor.



Gambar 4-15 Grafik faktor daya pada *ballast elektromagnetik* 18 dan 36 W setelah dipasangkan kapasitor 4 μ F.

Perbaikan faktor daya terjadi dipasangkannya kapasitor. Kapasitor sendiri merupakan kompensator daya reaktif yang memberikan pasokan daya reaktif. Dan diketahui bahwa *ballast* elektromagnetik bersifat induktif (mengkonsumsi daya reaktif) sehingga dengan memberikan daya reaktif akan membuat nilai daya reaktif menjadi kecil. Daya reaktif pada segitiga daya ditunjukkan dalam garis vertikal dan ketika garis itu menjadi kecil maka nilai daya semu akan mengecil dan besarnya φ akan kecil pula. Hal ini yang menyebabkan perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor.

4.2 Analisa *Current Crest Factor* (CCF)

Current Crest Factor (CCF) merupakan salah satu parameter yang digunakan melihat life time dari lampu TL. Semakin besar nilai *current crest factor* akan berpengaruh mengurangi life time lampu tersebut. *Current crest factor* merupakan perbandingan antara nilai arus peak terhadap nilai arus RMS.

$$CCF = \frac{I_{peak}}{I_{RMS}}$$

Berikut ini tabel perhitungan *current crest factor* :

Tabel 4-7 Perhitungan CCF pada ballast elektromagnetik dan ballast elektronik dengan beban lampu Philips

Ballast Elektromagnetik					Ballast Elektronik				
TIPE	Daya (W)	I_{RMS}	I_{Peak}	CCF	TIPE	Daya (W)	I_{RMS}	I_{Peak}	CCF
A	36	0.59	0.36	1.66	A	36	0.23	0.16	1.40
B	36	0.55	0.36	1.53	B	36	0.20	0.15	1.33
C	36	0.44	0.23	1.95	C	36	0.23	0.17	1.38
A	18	0.36	0.33	1.08	A	18	0.14	0.09	1.64
B	18	0.41	0.34	1.2	B	18	0.11	0.08	1.42
C	18	0.35	0.28	1.27	C	18	0.12	0.09	1.37

Berdasarkan standar ANSI besarnya CCF adalah < 1.77 . Dari data perhitungan diatas terlihat bahwa ballast – ballast tersebut memenuhi standar yang ada kecuali *ballast* elektromagnetik 36 W tipe C. Seperti yang dijelaskan diatas jika nilai CCF melebihi nilai standar dapat menyebabkan terhadap *life time* lampu tersebut berkurang. Dari nilai diatas terlihat bahwa *ballast* elektronik 36 W memiliki nilai CCF lebih kecil dibandingkan dengan *ballast* elektromagnetik 36 W.

4.3 Analisis Segi Ekonomis *Ballast*

Pada analisis segi ekonomis ini akan dibahas dengan meninjau penggunaan ballast *elektromagnetik* maupun ballast elektronik dari segi ekonomis. Peninjauan dilakukan dengan melihat besarnya konsumsi energi yang digunakan baik pada ballast *elektromagnetik* maupun ballast elektronik. Konsumsi energi listrik tersebut yang selanjutnya akan dikonversi dalam bentuk rupiah atau pada analisis ini dilihat biaya listrik yang dibayar dalam satu bulan. Pada analisis ini perbandingan segi ekonomis dilakukan pada ballast untuk setiap watt yang sama dengan diasumsikan bahwa setiap ballast menggunakan lampu TL merk Philips.

Misalkan pada suatu rumah tempat tinggal yang memiliki daya nyata sebesar 1300 VA dan diasumsikan dirumah tersebut terdapat dua buah lampu TL 36 W dan dua buah lampu TL 18 W dengan asumsi penggunaan lampu tersebut selama 12 jam dalam satu hari. Berikut ini perhitungannya :

- Ballast *Elektromagnetik* tipe A 36 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan bahwa besarnya daya aktif rata-rata dari ballast *elektromagnetik* tipe A 36 W sebesar 41.25 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 41,25 \times 12 \times 2 \\ &= 0,99 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0,99 \times 30 \\ &= 29,7 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} biaya \text{ listrik per bulan} &= 29,7 \times Rp. 793 \\ &= Rp 23.552,1 \end{aligned}$$

- Ballast *Elektronik* tipe A 36 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan bahwa besarnya daya aktif rata-rata dari ballast elektronik tipe A 36 W sebesar 32.35 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi dalam sehari adalah

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 32.35 \times 12 \times 2 \\ &= 0.776 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.776 \times 30 \\ &= 23.28 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik per bulan} &= 23.28 kWh \times Rp. 793 \\ &= Rp 18.461,04 \end{aligned}$$

- Ballast *Elektromagnetik* tipe B 36 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan bahwa besarnya daya aktif rata-rata dari ballast *elektromagnetik* tipe B 36 W sebesar 40.93 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energy dalam sehari adalah

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 40.93 \times 12 \times 2 \\ &= 0.982 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.982 \times 30 \\ &= 29.46 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energy listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{biaya listrik per bulan} &= 29.46 \times Rp 793 \\ &= Rp 23.361,78 \end{aligned}$$

- Ballast *Elektronik* tipe B 36 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan bahwa besarnya daya aktif rata-rata dari ballast elektronik tipe B 36 W sebesar 30.53 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energy listrik dalam sehari adalah

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 30.53 \times 12 \times 2 \\ &= 0.732 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.732 \times 30 \\ &= 21.98 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energy listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} biaya \text{ listrik per bulan} &= 21.98 \times Rp 793 \\ &= Rp 17.430,14 \end{aligned}$$

- Ballast *Elektromagnetik* tipe C 36 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan bahwa besarnya daya aktif rata-rata dari ballast *elektromagnetik* tipe C 36 W sebesar 30.42 W. maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 30.42 \times 12 \times 2 \\ &= 0.73 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.73 \times 30 \\ &= 21.9 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energy listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} biaya \text{ listrik per bulan} &= 21.98 \times Rp 793 \\ &= Rp 17.366,1 \end{aligned}$$

- Ballast *Elektronik* tipe C 36 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan bahwa besarnya daya aktif rata-rata dari ballast elektronik tipe C 36 W sebesar 22.32 W. maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 22.32 \times 12 \times 2 \\ &= 0.536 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.536 \times 30 \\ &= 16.08 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} biaya \text{ listrik per bulan} &= 16.08 \times Rp 793 \\ &= Rp 12.571,44 \end{aligned}$$

Tabel 4-8 Perbandingan konsumsi energi dan biaya listrik pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 36 W dengan beban lampu P 36 W

Merk Ballast	Elektronik		Elektromagnetik	
	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)
Tipe A 36 W	23,28	18.461,04	29,7	23.552,1
Tipe B 36 W	21,98	17.430,14	29,46	23.361,78
Tipe C 36 W	16,08	12.571,144	21,9	17.366,1

Dari tabel diatas terlihat bahwa *ballast* elektronik memiliki biaya listrik per bulan dan konsumsi energi yang lebih kecil dibandingkan dengan *ballast* elektromagnetik. Hal ini dapat dilihat sebagai potensi penghematan yang dapat dilakukan dengan mengganti *ballast* elektromagnetik dengan *ballast* elektronik.

- *Ballast Elektromagnetik* tipe A 18 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan besarnya daya aktif rata-rata dari *ballast elektromagnetik* tipe A 18 W sebesar 26.18 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 26.18 \times 12 \times 2 \\ &= 0.628 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.628 \times 30 \\ &= 18.85 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} biaya \text{ listrik per bulan} &= 18.85 \times Rp 793 \\ &= Rp 14.948,05 \end{aligned}$$

- *Ballast Elektronik* tipe A 18 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan besarnya daya aktif rata-rata dari *ballast elektronik* tipe A 18 W sebesar 17.39 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per hari} &= 17.39 \times 12 \times 2 \\ &= 0.417 kWh \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} kWh \text{ per bulan} &= 0.417 \times 30 \\ &= 12.51 kWh \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{biaya listrik per bulan} &= 12.51 \times \text{Rp } 793 \\ &= \text{Rp } 9.920,43 \end{aligned}$$

- *Ballast Elektromagnetik* tipe B 18 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan besarnya daya aktif rata-rata dari ballast *elektromagnetik* tipe B 18 W sebesar 27.36 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} \text{kWh per hari} &= 27.36 \times 12 \times 2 \\ &= 0.657 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{kWh per bulan} &= 0.657 \times 30 \\ &= 19.71 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{biaya listrik per bulan} &= 19.71 \times \text{Rp } 793 \\ &= \text{Rp } 15.630,03 \end{aligned}$$

- *Ballast Elektronik* tipe B 18 W

Pada pengukuran berbeban didapatkan besarnya daya aktif rata-rata dari ballast elektronik tipe B 18 W sebesar 16.63 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} \text{kWh per hari} &= 16.63 \times 12 \times 2 \\ &= 0.399 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{kWh per bulan} &= 0.399 \times 30 \\ &= 11.97 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{biaya listrik per bulan} &= 11.97 \times \text{Rp } 793 \\ &= \text{Rp } 9.492,21 \end{aligned}$$

- *Ballast Elektromagnetik tipe C 18 W*

Pada pengukuran berbeban didapatkan besarnya daya aktif rata-rata dari ballast *elektromagnetik* C 18 W sebesar 27.43 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} \text{kWh per hari} &= 27.43 \times 12 \times 2 \\ &= 0.658 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{kWh per bulan} &= 0.658 \times 30 \\ &= 19.74 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{biaya listrik per bulan} &= 19.74 \times \text{Rp } 793 \\ &= \text{Rp } 15.653,82 \end{aligned}$$

- *Ballast Elektronik tipe C 18 W*

Pada pengukuran berbeban didapatkan besarnya daya aktif rata-rata dari ballast elektronik tipe D 20 W sebesar 10.2 W. Maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam sehari adalah :

$$\begin{aligned} \text{kWh per hari} &= 10.2 \times 12 \times 2 \\ &= 0.245 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan dalam satu bulan terdapat tiga puluh hari maka didapatkan besarnya konsumsi energi listrik dalam satu bulan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{kWh per bulan} &= 0.245 \times 30 \\ &= 7.35 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Selanjutnya besarnya konsumsi energi listrik dalam sebulan tersebut dikonversi dalam bentuk biaya listrik dalam satu bulan sehingga didapatkan besarnya biaya listrik dalam satu bulan, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{biaya listrik per bulan} &= 7.35 \times \text{Rp } 793 \\ &= \text{Rp } 5.828,55 \end{aligned}$$

Tabel 4-9 Perbandingan konsumsi energi dan biaya listrik pada *ballast* elektromagnetik dan *ballast* elektronik 18 W pada beban lampu Philips 18 W

Merk Ballast	Elektronik		Elektromagnetik	
	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)
Tipe A 18 W	12.51	9.920,43	18.85	14.948,05
Tipe B 18 W	11.97	9.492,21	19.71	15.630,03
Tipe C 18 W	7,35	5.828,55	19.74	15.653,82

Dari tabel diatas terlihat sama hal dengan pada *ballast* 36 W bahwa *ballast* elektronik 18 W memiliki biaya listrik per bulan dan konsumsi energi listrik yang lebih kecil dibandingkan dengan *ballasat* elektromagnetik. Hal ini dapat dilihat sebagai potensi penghematan yang dapat dilakukan dengan mengganti *ballast* elektromagnetik menjadi *ballast* elektronik.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Besarnya penghematan konsumsi daya real rata-rata untuk penggunaan *ballast* elektronik 18 W sebesar 36.40 % dan 36 W sebesar 23.49 %.
2. Pada pengukuran berbeban terlihat bahwa ballast elektronik kecuali tipe B memiliki nilai I_{THD} (%) yang tidak memuhi standar. Hal ini disebabkan karena proses switching power suplai pada kerja dari *ballast* elektronik.

Elektromagnetik				Elektronik			
Tipe	I_{THD} (%)	Tipe	I_{THD} (%)	Tipe	I_{THD} (%)	Tipe	I_{THD} (%)
A 18 W	7.67	A 36 W	11.2	A 18 W	36.35	A 36 W	35.77
B 18 W	8.44	B 36 W	10.8	B 18 W	13.64	B 36 W	18.74
C 18 W	12.01	C 36 W	14.67	C 18 W	128.43	C 36 W	98.34

3. Perhitungan Current Crest Factor (CCF) menunjukkan bahwa dari ballast yang diuji kecuali ballast elektromagnetik 36 W tipe C, memiliki nilai $CCF < 1.77$. Nilai CCF yang melebihi standar dapat mengurangi *life time* dari lampu TL tersebut.

Ballast Elektromagnetik					Ballast Elektronik				
TIPE	Daya (W)	I_{RMS}	I_{Peak}	CCF	TIPE	Daya (W)	I_{RMS}	I_{Peak}	CCF
A	36	0.59	0.36	1.66	A	36	0.23	0.16	1.40
B	36	0.55	0.36	1.53	B	36	0.20	0.15	1.33
C	36	0.44	0.23	1.95	C	36	0.23	0.17	1.38
A	18	0.36	0.33	1.08	A	18	0.14	0.09	1.64
B	18	0.41	0.34	1.2	B	18	0.11	0.08	1.42
C	18	0.35	0.28	1.27	C	18	0.12	0.09	1.37

4. Pemakaian kapasitor pada ballast *elektromagnetik* dapat memperbaiki konsumsi daya semu dan reaktif dari ballast tersebut dan juga memperbaiki faktor daya ballast tersebut namun juga menyebabkan nilai I_{THD} (%) menjadi lebih besar 3.65 % untuk *ballast* 18 W dan 1.7 % untuk *ballast* 36 W.

5. Dilihat dari segi ekonomis, biaya listrik per bulan untuk penggunaan *ballast elektronik* lebih hemat daripada *ballast elektromagnetik*.

Merk Ballast	Elektronik		<i>Elektromagnetik</i>	
	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)
Tipe A 36 W	23,28	18.461,04	29,7	23.552,1
Tipe B 36 W	21,98	17.430,14	29,46	23.361,78
Tipe C 36 W	16,08	12.571,144	21,9	17.366,1

Merk Ballast	Elektronik		<i>Elektromagnetik</i>	
	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)	Konsumsi Energi Listrik per Bulan (kWh)	Biaya Listrik per Bulan (Rp)
Tipe A 18 W	12.51	9.920,43	18.85	14.948,05
Tipe B 18 W	11.97	9.492,21	19.71	15.630,03
Tipe C 18 W	7,35	5.828,55	19.74	15.653,82

DAFTAR ACUAN

- [1] NLPIP. (2000). *Specifier Reports : Elektronik Ballast Non-dimming elektronik ballast for 4-foot and 8-foot fluorescent lamps Volume 8 Number 1*. New York : NLPIP. Hal 7
- [2] Maamoun, A. (2000). *An Elektronik Ballast with Power Factor Correction for Flourescent Lamps*. Cairo : National Research Center El-Tahrir. Hal 1
- [3] <http://elektronika-elektronika.blogspot.com/2007/06/ballast.html>
- [4] <http://elektronika-elektronika.blogspot.com/2007/06/ballast.html>
- [5] <http://elektronika-elektronika.blogspot.com/2007/06/ballast.html>
- [6] <http://elektronika-elektronika.blogspot.com/2007/06/ballast.html>
- [7] NLPIP. (2000). *Specifier Reports : Elektronik Ballast Non-dimming elektronik ballast for 4-foot and 8-foot fluorescent lamps Volume 8 Number 1*. New York : NLPIP. Hal 8
- [8] <http://www.cosphi.com>
- [9] Tribuana, Wanhar. 1999. *Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi*.
- [10] Tribuana, Wanhar. 1999. *Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi*
- [11] IEEE 519-1992
- [12] IEEE 519-1992
- [13] Panangsang, O. Anam, S. *Analisa Kesalahan Pengukuran Energi Listrik Dengan Adanya Penurunan Kualitas Sumber Daya Listrik Pada Sistem Kelistrikan Industri*. Laporan Penelitian ITS.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chapman, Stephen J. (2002). *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. New York : McGraw-Hill Higher Education, hal. 109 – 110.
2. Dugan, Roger C. et al. (2002). *Electrical Power Systems Quality*. New York : McGraw-Hill, hal 186 – 188
3. NLPIP. (2000). *Specifier Reports : Elektronik Ballast Non-dimming elektronik ballast for 4-foot and 8-foot fluorescent lamps Volume 8 Number 1*. New York : NLPIP.
4. NLPIP. (1992). *Specifier Report : Power Reducers Flourescent Lighting*. New York : NLPIP
5. Hibbard, John F. Lowenstein, Michael Z. *Meeting IEEE 519-1992 Harmonic Limits*. Milwaukee : Trans-Coil, Inc. hal 5
6. Maamoun, A. (2000). *An Elektronik Ballast with Power Factor Correction for Flourescent Lamps*. Cairo : National Research Center El-Tahrir.
7. Kazimierczuk, Marian K. (1993). *Elektronik Ballast for Flourescent Lamps*. Wojciech Szaraniec.

LAMPIRAN

1. Data Pengukuran berbeban *ballast elektronik* 18 W tipe C

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
13:39:59	0.01032	-0.00373	0.01097	-0.9405	2.07	124.1
13:40:59	0.01038	-0.00373	0.01103	-0.9411	2.06	124.17
13:41:59	0.01034	-0.00375	0.011	-0.9399	2.08	126.69
13:42:59						
13:43:59	0.01025	-0.00371	0.0109	-0.9403	2.05	124.51
13:44:59	0.01023	-0.0037	0.01088	-0.9403	2.07	125.06
13:45:59						
13:46:59	0.01016	-0.00367	0.01081	-0.9406	2.07	125.63
13:47:59	0.01016	-0.00367	0.0108	-0.9406	2.07	127.44
13:48:59						
13:49:59	0.01013	-0.00366	0.01077	-0.9407	2.07	127.1
13:50:59	0.01011	-0.00364	0.01075	-0.9409	2.05	126.19
13:51:59	0.01008	-0.00364	0.01072	-0.9407	2.08	127.16
13:52:59						
13:53:59	0.01012	-0.00362	0.01075	-0.9414	2.07	127.96
13:54:59	0.01009	-0.00362	0.01072	-0.9412	2.07	129.45
13:55:59						
13:56:59	0.01006	-0.00359	0.01068	-0.9417	2.1	127.45
13:57:59	0.01026	-0.00368	0.0109	-0.9413	2.05	129.65
13:58:59	0.0102	-0.00366	0.01084	-0.9413	2.03	127.5
13:59:59						
14:00:59	0.0102	-0.00369	0.01084	-0.9405	2.05	128.44
14:01:59	0.01023	-0.00369	0.01087	-0.9408	2.06	129.75
14:02:59	0.01017	-0.00366	0.01081	-0.9411	2.05	129.01
14:03:59	0.01021	-0.00369	0.01086	-0.9404	2.07	129.21
14:04:59	0.01018	-0.00381	0.01087	-0.9367	1.95	130.97
14:05:59	0.01018	-0.00363	0.01081	-0.9421	2.19	128.56
14:06:59	0.01021	-0.00363	0.01083	-0.9422	2.04	136.23
14:07:59						
14:08:59	0.01019	-0.00364	0.01082	-0.9418	2.06	129.41
14:09:59	0.0102	-0.00366	0.01083	-0.9412	2.03	129.4
14:10:59	0.0102	-0.00366	0.01084	-0.9413	1.99	129.85
14:11:59	0.01018	-0.00367	0.01082	-0.9408	2.03	128.46
14:12:59	0.01021	-0.00367	0.01085	-0.941	2.04	130.52
14:13:59	0.01019	-0.00368	0.01083	-0.9407	2.03	129.5
14:14:59	0.01018	-0.00365	0.01081	-0.9413	2.04	129.58
14:15:59						
14:16:59	0.01022	-0.00366	0.01086	-0.9413	2.04	129.31

2. Data pengukuran berbeban *ballast elektronik* 36 W tipe C

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
12:06:03	0.02252	-0.01159	0:36:29	-0.8892	1.98	96.75
12:07:03	0.02261	-0.01157	0:36:35	-0.8902	1.96	97.46
12:08:03	0.02253	-0.01156	0:36:28	-0.8898	1.97	97.15
12:09:03	0.02255	-0.01153	0:36:29	-0.8905	2.01	97.61
12:10:03	0.0225	-0.01155	0:36:25	-0.8896	1.99	98.18
12:11:03	0.02249	-0.01147	0:36:22	-0.8908	1.97	98.17
12:12:03	0.02245	-0.01134	0:36:13	-0.8926	2.04	97.36
12:13:03	0.02239	-0.0114	0:36:11	-0.8911	1.99	98.12
12:14:03	0.02237	-0.01139	0:36:09	-0.8911	2.01	97.76
12:15:03	0.02235	-0.0113	0:36:03	-0.8925	2	97.82
12:16:03	0.02231	-0.01138	0:36:03	-0.8907	1.98	98.6
12:17:03	0.02236	-0.01138	0:36:08	-0.8912	2	98.19
12:18:03	0.02235	-0.01131	0:36:03	-0.8922	2.01	98.26
12:19:03	0.02229	-0.01136	0:36:02	-0.891	2.01	98.7
12:20:03	0.02231	-0.01133	0:36:02	-0.8916	2.02	98.48
12:21:03	0.02225	-0.01128	0:35:56	-0.8919	1.99	98.29
12:22:03	0.0222	-0.01131	0:35:52	-0.8909	1.94	98.73
12:23:03	0.02215	-0.01133	0:35:50	-0.8902	1.96	98.09
12:24:03	0.02216	-0.01129	0:35:49	-0.8911	1.97	98.78
12:25:03	0.0222	-0.01126	0:35:51	-0.8918	1.97	98.26
12:26:03	0.02219	-0.01126	0:35:50	-0.8917	1.98	98.19
12:27:03	0.0222	-0.01131	0:35:52	-0.8911	1.95	98.23
12:28:03	0.02224	-0.01132	0:35:57	-0.8911	1.92	98.55
12:29:03	0.02222	-0.01136	0:35:57	-0.8904	1.98	98.84
12:30:03	0.02226	-0.01137	0:36:00	-0.8906	1.92	98.65
12:31:03	0.02225	-0.01134	0:35:57	-0.8909	1.94	99.24
12:32:03	0.02226	-0.01134	0:35:58	-0.891	1.95	99.18
12:33:03	0.02225	-0.01141	0:36:01	-0.8898	1.93	99.08
12:34:03	0.02223	-0.01138	0:35:57	-0.8901	1.97	98.95
12:35:03	0.02225	-0.0113	0:35:57	-0.8917	1.95	99.12
12:36:03	0.02222	-0.01137	0:35:57	-0.8902	1.95	99.69
12:37:03	0.02183	-0.01114	0:35:18	-0.8908	1.98	98.47

3. Data pengukuran berbeban *ballast elektronik* 18 W tipe B

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
16:36:21	0.0167	-0.00213	0.01683	-0.992	1.84	13.15
16:37:21	0.01648	-0.00205	0.01661	-0.9923	1.85	13.6
16:38:21	0.01634	-0.00204	0.01647	-0.9923	1.84	13.87
16:39:21	0.01623	-0.00203	0.01635	-0.9923	1.86	13.91
16:40:21	0.0163	-0.00204	0.01643	-0.9923	1.85	13.87
16:41:21	0.01634	-0.00204	0.01647	-0.9923	1.85	13.88
16:42:21	0.01632	-0.00204	0.01644	-0.9923	1.83	13.86
16:43:21	0.01636	-0.00204	0.01649	-0.9923	1.84	13.83
16:44:21	0.01643	-0.00205	0.01656	-0.9923	1.89	13.79
16:45:21	0.0165	-0.00206	0.01663	-0.9923	1.89	13.6
16:46:21	0.01649	-0.00207	0.01662	-0.9922	1.91	13.67
16:47:21	0.01653	-0.00206	0.01666	-0.9923	1.91	13.72
16:48:21	0.01651	-0.00207	0.01664	-0.9923	1.9	13.68
16:49:21	0.01657	-0.00207	0.0167	-0.9923	1.89	13.68
16:50:21	0.01665	-0.00209	0.01678	-0.9922	1.86	13.55
16:51:21	0.01657	-0.00207	0.0167	-0.9923	1.86	13.67
16:52:21	0.01657	-0.00207	0.0167	-0.9923	1.83	13.62
16:53:21	0.01668	-0.00209	0.01681	-0.9922	1.87	13.61
16:54:21	0.01668	-0.00209	0.01681	-0.9922	1.8	13.57
16:55:21	0.01669	-0.00209	0.01682	-0.9922	1.78	13.51
16:56:21	0.01657	-0.00208	0.0167	-0.9922	1.78	13.78
16:57:21	0.01675	-0.0021	0.01688	-0.9922	1.79	13.59
16:58:21	0.01676	-0.00211	0.0169	-0.9922	1.73	13.59
16:59:21	0.01677	-0.00211	0.01691	-0.9922	1.73	13.63
17:00:21	0.01684	-0.00213	0.01697	-0.9921	1.77	13.53
17:01:21	0.01692	-0.00215	0.01706	-0.9921	1.75	13.45
17:02:21	0.01687	-0.00212	0.017	-0.9922	1.74	13.59
17:03:21	0.0169	-0.00214	0.01703	-0.9921	1.74	13.59
17:04:21	0.01691	-0.00213	0.01705	-0.9921	1.74	13.52
17:05:21	0.01693	-0.00214	0.01706	-0.9921	1.68	13.54
17:06:21	0.017	-0.00215	0.01714	-0.9921	1.72	13.45
17:07:21	0.01703	-0.00216	0.01716	-0.9921	1.75	13.48

4. Data pengukuran berbeban *ballast elektronik* 36 W tipe B

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
10:43:20	0.03085	-0.00548	0.03133	-0.9846	1.59	19.52
10:44:20	0.03075	-0.00541	0.03123	-0.9849	1.62	18.69
10:45:20	0.03063	-0.00539	0.03111	-0.9849	1.62	18.71
10:46:20	0.03061	-0.0054	0.03109	-0.9848	1.6	18.69
10:47:20	0.03056	-0.00538	0.03103	-0.9849	1.63	18.67
10:48:20	0.03054	-0.00538	0.03101	-0.9848	1.64	18.76
10:49:20	0.03074	-0.00543	0.03121	-0.9848	1.67	18.75
10:50:20	0.03069	-0.00542	0.03116	-0.9848	1.66	18.81
10:51:20	0.03067	-0.00542	0.03114	-0.9847	1.63	18.86
10:52:20	0.03058	-0.00539	0.03105	-0.9848	1.66	18.72
10:53:20	0.03048	-0.00538	0.03096	-0.9848	1.64	18.61
10:54:20	0.03053	-0.00539	0.031	-0.9848	1.7	18.74
10:55:20	0.03059	-0.00538	0.03106	-0.9849	1.68	18.82
10:56:20	0.03051	-0.00538	0.03098	-0.9848	1.68	18.86
10:57:20	0.03053	-0.00537	0.031	-0.9849	1.65	18.86
10:58:20	0.03054	-0.00538	0.03101	-0.9848	1.7	18.79
10:59:20	0.03046	-0.00537	0.03093	-0.9848	1.7	18.66
11:00:20	0.03043	-0.00536	0.03089	-0.9849	1.71	18.63
11:01:20	0.03042	-0.00536	0.03089	-0.9848	1.68	18.66
11:02:20	0.03042	-0.00537	0.03089	-0.9848	1.65	18.71
11:03:20	0.03047	-0.00536	0.03094	-0.9849	1.7	18.71
11:04:20	0.03045	-0.00536	0.03092	-0.9849	1.7	18.71
11:05:20	0.03045	-0.00539	0.03093	-0.9847	1.71	18.73
11:06:20	0.03047	-0.00536	0.03094	-0.9849	1.69	18.69
11:07:20	0.03045	-0.00537	0.03092	-0.9848	1.66	18.68
11:08:20	0.03047	-0.00537	0.03094	-0.9848	1.72	18.73
11:09:20	0.03056	-0.00538	0.03103	-0.9848	1.74	18.76
11:10:20	0.03036	-0.00532	0.03082	-0.985	1.73	18.64
11:11:20	0.03041	-0.00534	0.03087	-0.9849	1.87	18.65
11:12:20	0.03031	-0.00531	0.03077	-0.985	1.83	18.61
11:13:20	0.03038	-0.00534	0.03085	-0.9849	1.81	18.62
11:14:20	0.03047	-0.00535	0.03093	-0.9849	1.82	18.68
11:15:20	0.03047	-0.00536	0.03093	-0.9849	1.83	18.65
11:16:20	0.03056	-0.00538	0.03103	-0.9849	1.84	18.75
11:17:20	0.03053	-0.00538	0.031	-0.9848	1.81	18.71
11:18:20	0.03053	-0.00537	0.031	-0.9849	1.8	18.74
11:19:20	0.03052	-0.00537	0.03099	-0.9849	1.81	18.75
11:20:20	0.03047	-0.00536	0.03094	-0.9849	1.74	18.72
11:21:20	0.0305	-0.00538	0.03097	-0.9848	1.78	18.74
11:22:20	0.03049	-0.00537	0.03096	-0.9849	1.75	18.72

5. Data pengukuran berbeban *ballast elektronik* 18 W tipe A

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	VTHD (%)
17:18:16	0.02958	-0.00175	0.02963	-0.9983	5.11	31.34
17:19:16	0.01868	-0.00235	0.01883	-0.9922	1.74	37.24
17:20:16	0.01845	-0.00234	0.0186	-0.992	1.65	36.76
17:21:16	0.0182	-0.00234	0.01835	-0.9918	1.65	36.65
17:22:16	0.01804	-0.00233	0.01818	-0.9918	1.65	36.62
17:23:16	0.01792	-0.00234	0.01807	-0.9916	1.61	36.6
17:24:16	0.01784	-0.00232	0.01799	-0.9916	1.63	36.58
17:25:16	0.01775	-0.00231	0.0179	-0.9916	1.62	36.47
17:26:16	0.01771	-0.0023	0.01786	-0.9916	1.6	36.4
17:27:16	0.01764	-0.00231	0.01779	-0.9915	1.63	36.44
17:28:16	0.01762	-0.00231	0.01777	-0.9915	1.63	36.38
17:29:16	0.01762	-0.00232	0.01777	-0.9914	1.65	36.36
17:30:16	0.01757	-0.00231	0.01772	-0.9914	1.66	36.36
17:31:16	0.01757	-0.00232	0.01772	-0.9914	1.64	36.25
17:32:16	0.01757	-0.00234	0.01772	-0.9913	1.67	36.33
17:33:16	0.01765	-0.00235	0.0178	-0.9912	1.65	36
17:34:16	0.01744	-0.00231	0.0176	-0.9913	1.67	36.41
17:35:16	0.0174	-0.00228	0.01755	-0.9915	1.67	36.33
17:36:16	0.01736	-0.00233	0.01752	-0.9911	1.62	36.35
17:37:16	0.01732	-0.00231	0.01747	-0.9912	1.63	36.37
17:38:16	0.01733	-0.00232	0.01748	-0.9912	1.64	36.4
17:39:16	0.01706	-0.00226	0.01721	-0.9914	1.65	36.42
17:40:16	0.01682	-0.00221	0.01696	-0.9915	1.63	36.15
17:41:16	0.01681	-0.00221	0.01695	-0.9915	1.66	36.09
17:42:16	0.0168	-0.0022	0.01694	-0.9915	1.66	36.16
17:43:16	0.01676	-0.0022	0.0169	-0.9915	1.62	36.06
17:44:16	0.01674	-0.00221	0.01689	-0.9914	1.64	36.18
17:45:16	0.01678	-0.0022	0.01693	-0.9915	1.65	36.13
17:46:16	0.01669	-0.00218	0.01683	-0.9916	1.65	36.15
17:47:16	0.0167	-0.00219	0.01684	-0.9915	1.63	36.09
17:48:16	0.01669	-0.00218	0.01683	-0.9916	1.65	36.13
17:49:16	0.01669	-0.00218	0.01683	-0.9915	1.65	36.04

6. Data pengukuran berbeban *ballast elektronik* 36 W tipe A

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
11:28:41	0.04864	-0.00276	0.04872	-0.9984	5.82	37.54
11:29:41	0.03315	-0.00389	0.03338	-0.9932	2.05	36.01
11:30:41	0.03295	-0.0039	0.03318	-0.9931	2.05	35.92
11:31:41	0.0326	-0.00387	0.03283	-0.993	2.06	35.89
11:32:41	0.03243	-0.00384	0.03266	-0.9931	2.02	35.82
11:33:41	0.03229	-0.00384	0.03252	-0.993	2.07	35.73
11:34:41	0.03227	-0.00383	0.0325	-0.993	2.04	35.82
11:35:41	0.03227	-0.00385	0.0325	-0.993	2.03	35.8
11:36:41	0.03226	-0.00385	0.03249	-0.993	2.06	35.72
11:37:41	0.0322	-0.00383	0.03243	-0.993	2.05	35.78
11:38:41	0.03225	-0.00385	0.03248	-0.9929	2.03	35.86
11:39:41	0.03224	-0.00386	0.03247	-0.9929	2.06	35.76
11:40:41	0.0323	-0.00385	0.03253	-0.993	2.04	35.76
11:41:41	0.03236	-0.00384	0.03259	-0.993	2.02	35.85
11:42:41	0.03231	-0.00384	0.03254	-0.993	2.05	35.84
11:43:41	0.03231	-0.00386	0.03254	-0.9929	2.03	35.84
11:44:41	0.03222	-0.00387	0.03245	-0.9929	1.99	35.66
11:45:41	0.03219	-0.00389	0.03243	-0.9928	2.01	35.69
11:46:41	0.0323	-0.00386	0.03253	-0.9929	2	35.67
11:47:41	0.03218	-0.00386	0.03241	-0.9929	2	35.62
11:48:41	0.03221	-0.00385	0.03244	-0.9929	1.99	35.8
11:49:41	0.03226	-0.0039	0.03249	-0.9928	1.93	35.71
11:50:41	0.03218	-0.00389	0.03241	-0.9928	1.92	35.67
11:51:41	0.03214	-0.00387	0.03238	-0.9928	1.98	35.68
11:52:41	0.03217	-0.00387	0.0324	-0.9929	1.93	35.69
11:53:41	0.03219	-0.00388	0.03242	-0.9928	1.97	35.62
11:54:41	0.03228	-0.00388	0.03251	-0.9928	1.99	35.72
11:55:41	0.03232	-0.00391	0.03256	-0.9928	1.94	35.62
11:56:41	0.03228	-0.00389	0.03252	-0.9928	2.01	35.68
11:57:41	0.03238	-0.00383	0.03261	-0.9931	2.06	35.78
11:58:41	0.03256	-0.00386	0.03278	-0.9931	2.06	35.83
11:59:41	0.03269	-0.00387	0.03292	-0.9931	2.09	35.95
12:00:41	0.03231	-0.00388	0.03254	-0.9929	2.04	35.61

7. Data pengukuran berbeban *ballast elektromagnetik* 18 W tipe C

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	VTHD (%)
19:00:13	0.0271	0.05195	0.0586	0.4625	1.81	11.79
19:01:13	0.02695	0.05253	0.05904	0.4564	1.81	12.05
19:02:13	0.02699	0.05261	0.05912	0.4565	1.79	12.07
19:03:13	0.02703	0.05269	0.05922	0.4565	1.81	12.03
19:04:13	0.02701	0.05249	0.05903	0.4575	1.79	11.99
19:05:13	0.02708	0.0526	0.05916	0.4577	1.78	11.99
19:06:13	0.02709	0.05253	0.0591	0.4584	1.78	11.99
19:07:13	0.02712	0.05247	0.05907	0.4592	1.77	11.94
19:08:13	0.0273	0.05285	0.05948	0.459	1.8	12.06
19:09:13	0.02725	0.05271	0.05934	0.4593	1.78	12
19:10:13	0.02729	0.05263	0.05929	0.4603	1.79	11.99
19:11:13	0.02735	0.05267	0.05934	0.4609	1.78	12.05
19:12:13	0.0273	0.05244	0.05912	0.4617	1.76	11.97
19:13:13	0.02737	0.05249	0.0592	0.4623	1.79	11.96
19:14:13	0.02741	0.05257	0.05929	0.4623	1.82	11.98
19:15:13	0.0274	0.05249	0.05921	0.4627	1.76	11.99
19:16:13	0.02751	0.05262	0.05938	0.4632	1.78	12
19:17:13	0.02738	0.05233	0.05906	0.4636	1.75	11.98
19:18:13	0.02747	0.05227	0.05905	0.4652	1.72	11.98
19:19:13	0.0275	0.05237	0.05915	0.4649	1.79	12.02
19:20:13	0.02757	0.05241	0.05922	0.4655	1.76	12.04
19:21:13	0.02752	0.05223	0.05903	0.4662	1.77	12.03
19:22:13	0.02762	0.05233	0.05917	0.4668	1.73	12.02
19:23:13	0.02778	0.05278	0.05965	0.4658	1.74	12.05
19:24:13	0.02779	0.05268	0.05956	0.4667	1.75	12.04
19:25:13	0.02784	0.05286	0.05974	0.466	1.73	12.07
19:26:13	0.02787	0.05278	0.05969	0.4669	1.72	12.11
19:27:13	0.02787	0.05269	0.05961	0.4676	1.72	12.06
19:28:13	0.02795	0.05287	0.0598	0.4674	1.7	12.1
19:29:13	0.02789	0.05277	0.05969	0.4673	1.71	12.05
19:30:13	0.0278	0.05266	0.05955	0.4669	1.68	12.02

8. Data pengukuran berbeban *ballast electomagnetic* 36 W tipe C

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	VTHD (%)
15:50:47	0.02986	0.04047	0.0503	0.5937	2.05	14.5
15:51:47	0.02991	0.03724	0.04777	0.6262	2.05	14.94
15:52:47	0.02995	0.03641	0.04714	0.6352	2.08	14.97
15:53:47	0.03016	0.03656	0.0474	0.6363	2.06	14.83
15:54:47	0.03015	0.03644	0.04729	0.6375	2.06	14.83
15:55:47	0.03007	0.03617	0.04704	0.6393	2.06	14.78
15:56:47	0.03019	0.03638	0.04728	0.6386	2.1	14.75
15:57:47	0.03014	0.03641	0.04726	0.6377	2.11	14.75
15:58:47	0.03019	0.03637	0.04727	0.6387	2.07	14.74
15:59:47	0.03037	0.03654	0.04751	0.6392	2.06	14.71
16:00:47	0.0304	0.03663	0.0476	0.6387	2	14.61
16:01:47	0.03038	0.03673	0.04767	0.6373	1.96	14.63
16:02:47	0.03045	0.03672	0.0477	0.6384	1.93	14.63
16:03:47	0.03036	0.03659	0.04754	0.6386	1.96	14.71
16:04:47	0.03042	0.03658	0.04758	0.6394	1.95	14.63
16:05:47	0.03051	0.03674	0.04775	0.6388	1.96	14.61
16:06:47	0.03055	0.03682	0.04784	0.6385	1.95	14.64
16:07:47	0.03049	0.03678	0.04778	0.6382	1.91	14.59
16:08:47	0.03042	0.03653	0.04754	0.6399	1.87	14.58
16:09:47	0.03052	0.03669	0.04772	0.6394	1.88	14.56
16:10:47	0.03054	0.03675	0.04778	0.6392	1.87	14.59
16:11:47	0.03055	0.03671	0.04775	0.6397	1.91	14.66
16:12:47	0.0306	0.03685	0.0479	0.6388	1.91	14.59
16:13:47	0.03064	0.03696	0.04801	0.6382	1.89	14.58
16:14:47	0.03061	0.03688	0.04793	0.6386	1.93	14.59
16:15:47	0.03059	0.03664	0.04772	0.6409	1.88	14.55
16:16:47	0.03065	0.03679	0.04788	0.6401	1.89	14.55
16:17:47	0.03059	0.0367	0.04777	0.6403	1.86	14.62
16:18:47	0.03056	0.0367	0.04776	0.6399	1.86	14.68
16:19:47	0.03055	0.03661	0.04768	0.6407	1.84	14.63
16:20:47	0.03074	0.03699	0.04809	0.6392	1.85	14.58
16:21:47	0.03073	0.03682	0.04796	0.6408	1.88	14.54
16:22:47	0.03072	0.03693	0.04804	0.6395	1.9	14.54
16:23:47	0.03069	0.03677	0.04789	0.6407	1.86	14.6
16:24:47	0.03074	0.03695	0.04806	0.6395	1.88	14.63
16:25:47	0.03077	0.03703	0.04814	0.6391	1.91	14.6
16:26:47	0.03088	0.03722	0.04836	0.6386	1.86	14.53

9. Data pengukuran berbeban *ballast elektromagnetik* 18 W tipe B

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	VTHD (%)
18:27:17	0.02654	0.06692	0.07199	0.3686	1.79	8.54
18:28:17	0.0268	0.06664	0.07183	0.3731	1.77	8.36
18:29:17	0.02697	0.06696	0.07219	0.3737	1.77	8.35
18:30:17	0.02698	0.06718	0.07239	0.3726	1.76	8.36
18:31:17	0.02705	0.06731	0.07254	0.3729	1.77	8.39
18:32:17	0.02699	0.0671	0.07232	0.3731	1.75	8.33
18:33:17	0.02711	0.06743	0.07267	0.373	1.76	8.43
18:34:17	0.02708	0.0672	0.07245	0.3738	1.75	8.37
18:35:17	0.02721	0.06761	0.07288	0.3734	1.79	8.42
18:36:17	0.02723	0.06763	0.0729	0.3735	1.8	8.41
18:37:17	0.02727	0.0677	0.07298	0.3737	1.79	8.39
18:38:17	0.02734	0.06779	0.0731	0.3741	1.78	8.41
18:39:17	0.02729	0.06744	0.07275	0.3751	1.79	8.39
18:40:17	0.02736	0.06769	0.07301	0.3747	1.77	8.44
18:41:17	0.02741	0.06761	0.07296	0.3756	1.79	8.45
18:42:17	0.02743	0.06771	0.07306	0.3755	1.8	8.38
18:43:17	0.02747	0.06781	0.07316	0.3755	1.78	8.47
18:44:17	0.02755	0.06805	0.07342	0.3753	1.75	8.45
18:45:17	0.02749	0.06782	0.07318	0.3757	1.78	8.47
18:46:17	0.02755	0.06792	0.0733	0.3759	1.79	8.47
18:47:17	0.02758	0.06778	0.07318	0.3769	1.79	8.46
18:48:17	0.0276	0.06788	0.07328	0.3767	1.79	8.48
18:49:17	0.0276	0.06792	0.07332	0.3764	1.8	8.5
18:50:17	0.02763	0.06792	0.07333	0.3768	1.83	8.49
18:51:17	0.02762	0.06787	0.07327	0.377	1.8	8.47
18:52:17	0.02765	0.068	0.07341	0.3767	1.81	8.48
18:53:17	0.02766	0.06795	0.07336	0.377	1.83	8.46
18:54:17	0.0276	0.06761	0.07303	0.378	1.84	8.42
18:55:17	0.02766	0.06779	0.07322	0.3777	1.84	8.48
18:56:17	0.02772	0.06797	0.0734	0.3776	1.83	8.53
18:57:17	0.0278	0.06823	0.07368	0.3773	1.82	8.55

10. Data pengukuran berbeban *ballast elektromagnetik* 36 W tipe B

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	VTHD (%)
14:40:37	0.0397	0.06704	0.07791	0.5096	2.08	10.75
14:41:37	0.04042	0.06365	0.0754	0.5361	2.04	10.97
14:42:37	0.04062	0.06311	0.07505	0.5412	2.1	10.95
14:43:37	0.04082	0.06356	0.07553	0.5404	2.06	10.79
14:44:37	0.04083	0.06339	0.0754	0.5415	2.06	10.82
14:45:37	0.04091	0.06361	0.07563	0.5409	2.03	10.73
14:46:37	0.04096	0.06371	0.07574	0.5408	2.09	10.76
14:47:37	0.04092	0.06358	0.07561	0.5412	2.05	10.79
14:48:37	0.04101	0.06393	0.07595	0.5399	2.09	10.7
14:49:37	0.04088	0.06352	0.07554	0.5412	2.01	10.75
14:50:37	0.0409	0.06355	0.07558	0.5412	2.2	10.85
14:51:37	0.04093	0.06365	0.07567	0.5409	2.08	10.83
14:52:37	0.04088	0.06358	0.07559	0.5409	2.19	10.85
14:53:37	0.04086	0.06342	0.07545	0.5416	2.14	10.85
14:54:37	0.04077	0.0632	0.07521	0.5421	2.12	10.87
14:55:37	0.04092	0.06354	0.07558	0.5415	2.11	10.81
14:56:37	0.04099	0.06353	0.07561	0.5421	2.15	10.81
14:57:37	0.04098	0.06356	0.07562	0.5418	2.16	10.82
14:58:37	0.04105	0.0638	0.07586	0.5411	2.18	10.77
14:59:37	0.04112	0.06392	0.07601	0.541	2.15	10.79
15:00:37	0.04103	0.0638	0.07585	0.5409	2.13	10.87
15:01:37	0.04113	0.0641	0.07616	0.54	2.16	10.76
15:02:37	0.04117	0.0641	0.07618	0.5404	2.18	10.79
15:03:37	0.04113	0.06406	0.07613	0.5403	2.2	10.74
15:04:37	0.04113	0.06407	0.07614	0.5402	2.15	10.69
15:05:37	0.0411	0.0636	0.07573	0.5427	2.16	10.8
15:06:37	0.04117	0.06372	0.07586	0.5427	2.17	10.73
15:07:37	0.04104	0.06353	0.07563	0.5427	2.18	10.81
15:08:37	0.04115	0.06379	0.07591	0.5421	2.19	10.81
15:09:37	0.04109	0.06367	0.07578	0.5422	2.2	10.82
15:10:37	0.04113	0.06368	0.0758	0.5425	2.17	10.81

11. Data pengukuran berbeban *ballast elektromagnetik* 18 W tipe A

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
17:54:48	0.02543	0.06614	0.07086	0.3589	1.72	7.86
17:55:48	0.02592	0.06528	0.07024	0.3691	1.75	7.78
17:56:48	0.02609	0.06528	0.0703	0.3711	1.74	7.73
17:57:48	0.026	0.0653	0.07029	0.3699	1.76	7.69
17:58:48	0.02594	0.06533	0.07029	0.3691	1.72	7.63
17:59:48	0.02591	0.06509	0.07006	0.3699	1.7	7.59
18:00:48	0.02596	0.06515	0.07013	0.3702	1.7	7.63
18:01:48	0.02595	0.06509	0.07007	0.3703	1.7	7.61
18:02:48	0.02598	0.06483	0.06984	0.3719	1.69	7.6
18:03:48	0.02607	0.06503	0.07006	0.3721	1.71	7.62
18:04:48	0.0261	0.0651	0.07014	0.3721	1.68	7.62
18:05:48	0.02614	0.06506	0.07011	0.3728	1.71	7.66
18:06:48	0.02618	0.06525	0.0703	0.3724	1.72	7.63
18:07:48	0.02616	0.06515	0.07021	0.3726	1.76	7.63
18:08:48	0.02616	0.065	0.07006	0.3733	1.77	7.64
18:09:48	0.02619	0.06509	0.07016	0.3733	1.76	7.66
18:10:48	0.02626	0.06537	0.07045	0.3728	1.76	7.71
18:11:48	0.02627	0.06549	0.07056	0.3724	1.79	7.68
18:12:48	0.02635	0.06569	0.07078	0.3723	1.81	7.66
18:13:48	0.02633	0.06557	0.07066	0.3727	1.77	7.7
18:14:48	0.02632	0.06545	0.07054	0.3731	1.83	7.66
18:15:48	0.02634	0.06551	0.07061	0.3731	1.78	7.68
18:16:48	0.02632	0.06539	0.07049	0.3734	1.79	7.65
18:17:48	0.02633	0.06539	0.0705	0.3736	1.78	7.65
18:18:48	0.02633	0.06531	0.07042	0.3739	1.78	7.66
18:19:48	0.02635	0.06541	0.07052	0.3737	1.76	7.68
18:20:48	0.02647	0.06565	0.07078	0.374	1.78	7.69
18:21:48	0.02631	0.06533	0.07043	0.3736	1.73	7.65
18:22:48	0.0264	0.0656	0.07071	0.3733	1.77	7.66
18:23:48	0.0265	0.06575	0.07089	0.3738	1.74	7.69
18:24:48	0.02643	0.06577	0.07088	0.3729	1.77	7.69

12. Data pengukuran berbeban *ballast elektromagnetik* 36 W tipe A

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
15:14:07	0.03981	0.06475	0.07601	0.5238	2.21	11.72
15:15:07	0.03975	0.06264	0.07419	0.5358	2.22	11.89
15:16:07	0.04006	0.06189	0.07372	0.5434	2.23	11.7
15:17:07	0.04021	0.06214	0.07402	0.5433	2.22	11.59
15:18:07	0.04032	0.06242	0.07432	0.5426	2.25	11.55
15:19:07	0.04035	0.06235	0.07427	0.5433	2.22	11.54
15:20:07	0.04023	0.06189	0.07382	0.545	2.2	11.6
15:21:07	0.04044	0.06244	0.07439	0.5436	2.21	11.52
15:22:07	0.04026	0.06194	0.07387	0.545	2.16	11.57
15:23:07	0.04054	0.06251	0.07451	0.5441	2.15	11.54
15:24:07	0.04051	0.06239	0.07439	0.5446	2.17	11.51
15:25:07	0.04073	0.06288	0.07492	0.5437	2.17	11.47
15:26:07	0.04059	0.0626	0.07461	0.544	2.18	11.48
15:27:07	0.04069	0.06265	0.0747	0.5447	2.19	11.49
15:28:07	0.0405	0.06221	0.07423	0.5456	2.21	11.53
15:29:07	0.04049	0.06206	0.0741	0.5464	2.18	11.54
15:30:07	0.04056	0.06222	0.07427	0.5461	2.17	11.5
15:31:07	0.04071	0.06252	0.0746	0.5457	2.15	11.46
15:32:07	0.04069	0.06247	0.07455	0.5458	2.19	11.51
15:33:07	0.0408	0.06266	0.07477	0.5456	2.16	11.44
15:34:07	0.04081	0.06256	0.0747	0.5463	2.17	11.45
15:35:07	0.04078	0.06256	0.07468	0.5461	2.13	11.45
15:36:07	0.04069	0.06239	0.07449	0.5463	2.16	11.48
15:37:07	0.04101	0.06307	0.07523	0.5452	2.1	11.42
15:38:07	0.04099	0.06301	0.07517	0.5453	2.15	11.46
15:39:07	0.04106	0.0631	0.07528	0.5454	2.1	11.4
15:40:07	0.04091	0.06276	0.07491	0.546	2.1	11.44
15:41:07	0.04104	0.06304	0.07522	0.5456	2.11	11.45
15:42:07	0.04085	0.06257	0.07472	0.5466	2.09	11.46
15:43:07	0.04099	0.06292	0.07509	0.5459	2.14	11.48
15:44:07	0.04095	0.06274	0.07492	0.5465	2.09	11.45
15:45:07	0.04088	0.0626	0.07477	0.5468	2.12	11.5
15:46:07	0.04101	0.06278	0.07499	0.5469	2.12	11.5

13. Data pengukuran *ballast elektromagnetik* 18 W tipe C dengan kapasitor $4\mu\text{F}$

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
16:26:19	0.02614	-0.00597	0.02681	-0.9749	1.89	49.9
16:27:19	0.02516	-0.00426	0.02552	-0.986	1.87	46.17
16:28:19	0.02528	-0.00427	0.02564	-0.986	1.89	44.95
16:29:19	0.02532	-0.00426	0.02568	-0.9861	1.89	48.56
16:30:19	0.02532	-0.00424	0.02567	-0.9862	1.89	50.59
16:31:19	0.02537	-0.00422	0.02572	-0.9865	1.89	49.08
16:32:19	0.0253	-0.00435	0.02567	-0.9856	1.92	48.61
16:33:19	0.0255	-0.00431	0.02586	-0.986	1.91	46.5
16:34:19	0.02548	-0.00436	0.02585	-0.9856	1.9	46.24
16:35:19	0.02557	-0.00443	0.02595	-0.9853	1.89	46.67
16:36:19	0.02566	-0.00422	0.02601	-0.9868	1.88	46.45
16:37:19	0.02574	-0.0044	0.02611	-0.9857	1.89	47.63
16:38:19	0.02573	-0.00442	0.02611	-0.9855	1.87	45.88
16:39:19	0.02571	-0.00439	0.02608	-0.9857	1.87	45.96
16:40:19	0.02567	-0.00448	0.02606	-0.9851	1.9	47.2
16:41:19	0.02577	-0.00436	0.02613	-0.986	1.87	46.67
16:42:19	0.02576	-0.00454	0.02615	-0.9848	1.91	47.16
16:43:19	0.02589	-0.00452	0.02628	-0.9851	1.89	47.99
16:44:19	0.02578	-0.00464	0.02619	-0.9842	1.85	45.85
16:45:19	0.02598	-0.00459	0.02638	-0.9847	1.87	47.25
16:46:19	0.02595	-0.0048	0.02639	-0.9833	1.87	47.44
16:47:19	0.02595	-0.00496	0.02642	-0.9822	1.88	47.05
16:48:19	0.02614	-0.00471	0.02656	-0.9841	1.86	47.43
16:49:19	0.02607	-0.00475	0.0265	-0.9838	1.84	46.7
16:50:19	0.02601	-0.00463	0.02642	-0.9845	1.85	48.27
16:51:19	0.02609	-0.00423	0.02643	-0.9871	1.84	46.05
16:52:19	0.02607	-0.00418	0.02641	-0.9874	1.83	48.29
16:53:19	0.0262	-0.00422	0.02654	-0.9873	1.82	46.28
16:54:19	0.02606	-0.00435	0.02642	-0.9864	1.83	47.8
16:55:19	0.02634	-0.00416	0.02667	-0.9878	1.85	47.82
16:56:19	0.02639	-0.00411	0.02671	-0.9881	1.86	47.94
16:57:19	0.02643	-0.00415	0.02675	-0.9879	1.84	47.23
16:58:19	0.02638	-0.00417	0.02671	-0.9878	1.85	46.17
16:59:19	0.0263	-0.00422	0.02664	-0.9874	1.82	46.29
17:00:19	0.02644	-0.00427	0.02678	-0.9872	1.82	46.13
17:01:19	0.02646	-0.0042	0.02679	-0.9876	1.84	46.41
17:02:19	0.02638	-0.00428	0.02673	-0.9871	1.8	44.37
17:03:19	0.02634	-0.00422	0.02668	-0.9874	1.87	46.26

14. Data pengukuran *ballast elektromagnetik* 18 W tipe B dengan kapasitor 4 μ F

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
15:50:06	0.0253	0.01034	0.02733	0.9257	2.08	39.07
15:51:06	0.02517	0.01056	0.02729	0.9222	2.06	39.27
15:52:06	0.02517	0.0105	0.02727	0.9229	2.01	38.83
15:53:06	0.02527	0.0105	0.02736	0.9234	1.96	37.8
15:54:06	0.02527	0.01043	0.02734	0.9243	1.99	37.89
15:55:06	0.02532	0.01045	0.02739	0.9244	1.99	39.82
15:56:06	0.02547	0.01066	0.02761	0.9225	1.96	39.01
15:57:06	0.02552	0.01064	0.02765	0.923	1.98	40.13
15:58:06	0.02562	0.01071	0.02777	0.9227	2	40.88
15:59:06	0.02553	0.01039	0.02756	0.9262	1.98	40.23
16:00:06	0.02545	0.01041	0.02749	0.9256	1.93	40.74
16:01:06	0.02554	0.01049	0.02761	0.925	1.96	42.09
16:02:06	0.02566	0.01065	0.02778	0.9237	1.96	39.26
16:03:06	0.02569	0.01055	0.02777	0.925	1.97	40.37
16:04:06	0.02577	0.0106	0.02786	0.9247	1.95	41.01
16:05:06	0.02575	0.01056	0.02783	0.9252	1.92	40.39
16:06:06	0.02573	0.01051	0.02779	0.9257	1.94	40.21
16:07:06	0.02584	0.01062	0.02793	0.925	1.9	40.58
16:08:06	0.02583	0.01047	0.02787	0.9268	1.92	42.61
16:09:06	0.02587	0.01019	0.0278	0.9305	1.94	41.74
16:10:06	0.02586	0.01009	0.02776	0.9316	1.94	42.88
16:11:06	0.0259	0.01031	0.02788	0.9291	1.99	44.96
16:12:06	0.02587	0.01025	0.02783	0.9297	1.95	43.25
16:13:06	0.02583	0.0102	0.02777	0.9301	1.97	43.85
16:14:06	0.02588	0.0105	0.02793	0.9267	1.96	43.79
16:15:06	0.02603	0.01086	0.0282	0.9228	1.99	43.22
16:16:06	0.026	0.01071	0.02811	0.9246	1.94	43.01
16:17:06	0.02606	0.01079	0.0282	0.9239	1.94	42.32
16:18:06	0.02603	0.0107	0.02815	0.925	1.94	42.67
16:19:06	0.02616	0.01066	0.02825	0.926	1.91	41.46
16:20:06	0.02609	0.01056	0.02815	0.927	1.92	43.09
16:21:06	0.02596	0.01038	0.02796	0.9286	1.91	42.52
16:22:06	0.02618	0.01072	0.02829	0.9254	1.91	42.17

15. Data pengukuran *ballast elektromagnetik* 18 W tipe A dengan kapasitor $4\mu\text{F}$

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
15:16:52	0.02458	0.01021	0.02662	0.9236	2.16	39.36
15:17:52	0.02491	0.0098	0.02677	0.9306	2.16	40.05
15:18:52	0.0249	0.01003	0.02684	0.9276	2.13	38.76
15:19:52	0.02469	0.01001	0.02664	0.9267	2.13	39.17
15:20:52	0.02461	0.00982	0.02649	0.9287	2.14	39.11
15:21:52	0.02466	0.00983	0.02655	0.9288	2.13	39.74
15:22:52	0.0246	0.00982	0.02649	0.9287	2.16	39.04
15:23:52	0.0246	0.00981	0.02648	0.9289	2.19	40.18
15:24:52	0.02459	0.0099	0.02651	0.9276	2.14	39.83
15:25:52	0.02461	0.00994	0.02654	0.9273	2.18	39.67
15:26:52	0.0247	0.00999	0.02664	0.9271	2.15	40.1
15:27:52	0.02476	0.01011	0.02674	0.9257	2.15	40.27
15:28:52	0.02481	0.01012	0.02679	0.9259	2.2	41.21
15:29:52	0.0247	0.00995	0.02663	0.9276	2.17	39.29
15:30:52	0.02471	0.00981	0.02659	0.9294	2.15	39.71
15:31:52	0.0247	0.00965	0.02651	0.9315	2.14	37.63
15:32:52	0.02471	0.00976	0.02657	0.9301	2.16	39.49
15:33:52	0.02473	0.00969	0.02656	0.9311	2.14	38.91
15:34:52	0.02472	0.00961	0.02652	0.9321	2.15	39.05
15:35:52	0.02489	0.0098	0.02675	0.9305	2.16	39.93
15:36:52	0.02493	0.00977	0.02677	0.931	2.16	39.87
15:37:52	0.02488	0.00978	0.02674	0.9307	2.19	40.6
15:38:52	0.02495	0.00978	0.02679	0.931	2.14	39.68
15:39:52	0.02486	0.00963	0.02666	0.9325	2.17	40.12
15:40:52	0.02481	0.00962	0.0266	0.9324	2.16	39.36
15:41:52	0.02477	0.00945	0.02651	0.9344	2.14	39.21
15:42:52	0.02475	0.00957	0.02654	0.9327	2.11	37.3
15:43:52	0.02476	0.00953	0.02653	0.9333	2.16	38.75
15:44:52	0.02483	0.00965	0.02663	0.9321	2.08	37.38
15:45:52	0.02494	0.00982	0.0268	0.9304	2.13	38.74
15:46:52	0.02497	0.00973	0.02679	0.9318	2.1	39.47

16. Data pengukuran *ballast elektromagnetik* 36 W tipe C dengan kapasitor $4\mu\text{F}$

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
17:10:56	0.03023	-0.01403	0.03333	-0.9071	1.89	39.6
17:11:56	0.03056	-0.01551	0.03427	-0.8917	1.83	38.72
17:12:56	0.03075	-0.01573	0.03454	-0.8903	1.86	37.84
17:13:56	0.03091	-0.0156	0.03463	-0.8927	1.85	39.11
17:14:56	0.03105	-0.01553	0.03472	-0.8944	1.83	38.91
17:15:56	0.03107	-0.01549	0.03472	-0.895	1.9	38.66
17:16:56	0.0311	-0.01549	0.03474	-0.8951	1.87	38.31
17:17:56	0.03125	-0.01545	0.03487	-0.8964	1.84	37.84
17:18:56	0.03114	-0.01546	0.03477	-0.8956	1.83	37.73
17:19:56	0.03111	-0.01567	0.03484	-0.8932	1.83	37.81
17:20:56	0.03116	-0.01574	0.03491	-0.8926	1.84	37.8
17:21:56	0.03111	-0.01564	0.03482	-0.8934	1.79	37.83
17:22:56	0.03102	-0.01575	0.03479	-0.8916	1.83	37.5
17:23:56	0.031	-0.01579	0.03479	-0.8911	1.86	38.33
17:24:56	0.03106	-0.01567	0.03479	-0.8928	1.84	38.52
17:25:56	0.031	-0.01579	0.03479	-0.8911	1.84	37.95
17:26:56	0.03115	-0.01558	0.03483	-0.8943	1.85	38.9
17:27:56	0.0311	-0.01564	0.03481	-0.8934	1.8	38.62
17:28:56	0.03113	-0.01576	0.03489	-0.8921	1.82	38.27
17:29:56	0.03108	-0.01592	0.03492	-0.8901	1.81	37.39
17:30:56	0.03097	-0.01599	0.03485	-0.8886	1.81	37.5
17:31:56	0.03098	-0.01604	0.03489	-0.888	1.83	37.57
17:32:56	0.03096	-0.01602	0.03486	-0.8882	1.82	36.78
17:33:56	0.03079	-0.0161	0.03474	-0.8861	1.79	36.84
17:34:56	0.03095	-0.01604	0.03485	-0.8879	1.79	37.31
17:35:56	0.03086	-0.01619	0.03485	-0.8855	1.85	38.06
17:36:56	0.03093	-0.01604	0.03484	-0.8878	1.86	38.07
17:37:56	0.03103	-0.01625	0.03502	-0.8859	1.83	37.38
17:38:56	0.03082	-0.01632	0.03487	-0.8838	1.85	37.93
17:39:56	0.03077	-0.01628	0.03481	-0.8839	1.81	37.78
17:40:56	0.03072	-0.01645	0.03485	-0.8816	1.78	37.96
17:41:56	0.03061	-0.01642	0.03473	-0.8812	1.81	37.45

17. Data pengukuran *ballast elektromagnetik* 36 W tipe B dengan kapasitor $4\mu\text{F}$

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
14:36:46	0.03792	0.01075	0.03942	0.9621	2.23	33.52
14:37:46	0.03857	0.0091	0.03963	0.9733	2.18	33.45
14:38:46	0.03884	0.00929	0.03994	0.9725	2.15	31.03
14:39:46	0.03882	0.00934	0.03993	0.9722	2.14	32.4
14:40:46	0.03874	0.00918	0.03982	0.973	2.12	29.63
14:41:46	0.03883	0.00948	0.03997	0.9715	2.18	32.68
14:42:46	0.03883	0.00943	0.03996	0.9717	2.13	30.25
14:43:46	0.0388	0.00954	0.03995	0.9711	2.12	32.24
14:44:46	0.03882	0.00943	0.03995	0.9718	2.16	31.88
14:45:46	0.03895	0.00961	0.04012	0.9709	2.12	29.75
14:46:46	0.03903	0.00968	0.04021	0.9706	2.17	30.86
14:47:46	0.03893	0.00966	0.04012	0.9706	2.12	30.58
14:48:46	0.03913	0.00986	0.04035	0.9697	2.13	29.52
14:49:46	0.03888	0.00944	0.04001	0.9717	2.11	29.5
14:50:46	0.03893	0.00957	0.04009	0.9711	2.13	31.13
14:51:46	0.03887	0.00938	0.03998	0.9721	2.14	29.91
14:52:46	0.0389	0.00932	0.04	0.9725	2.11	29.8
14:53:46	0.03906	0.00946	0.04019	0.9719	2.08	29.6
14:54:46	0.039	0.00922	0.04007	0.9732	2.1	29.75
14:55:46	0.03903	0.00932	0.04013	0.9726	2.1	29.89
14:56:46	0.03911	0.00932	0.04021	0.9728	2.15	30.27
14:57:46	0.03921	0.00951	0.04035	0.9718	2.13	29.82
14:58:46	0.03931	0.00945	0.04043	0.9723	2.19	29.94
14:59:46	0.03902	0.00924	0.0401	0.9731	2.18	30.04
15:00:46	0.03915	0.00926	0.04023	0.9732	2.19	30.15
15:01:46	0.03913	0.00911	0.04017	0.974	2.15	29.84
15:02:46	0.0392	0.00912	0.04024	0.974	2.15	31.58
15:03:46	0.03912	0.00907	0.04016	0.9742	2.18	29.98
15:04:46	0.03909	0.00908	0.04013	0.9741	2.2	30.33
15:05:46	0.03926	0.00928	0.04034	0.9732	2.17	29.86
15:06:46	0.03936	0.00952	0.04049	0.972	2.16	29.82

18. Data pengukuran *ballast elektromagnetik* 36 W tipe A dengan kapasitor $4\mu\text{F}$

Waktu	P (kW)	Q (kVAr)	S(kVA)	PF	I _{THD} (%)	V _{THD} (%)
13:51:32	0.03834	0.0155	0.04135	0.9271	2.12	25.78
13:52:32	0.03937	0.0089	0.04036	0.9754	2.12	25.49
13:53:32	0.03984	0.00829	0.0407	0.979	2.12	24.82
13:54:32	0.03982	0.00844	0.0407	0.9783	2.19	33.65
13:55:32	0.03972	0.00844	0.04061	0.9781	2.23	34.05
13:56:32	0.03955	0.00815	0.04038	0.9794	2.2	33.06
13:57:32	0.03949	0.00797	0.04029	0.9802	2.13	31.65
13:58:32	0.03949	0.00788	0.04026	0.9807	2.13	32.61
13:59:32	0.03959	0.00797	0.04038	0.9803	2.15	32.52
14:00:32	0.03947	0.00764	0.04021	0.9818	2.09	26.19
14:01:32	0.03937	0.00819	0.04021	0.9791	2.12	26.46
14:02:32	0.03921	0.00795	0.04001	0.9801	2.07	24.62
14:03:32	0.03922	0.00777	0.03998	0.9809	2.15	31.94
14:04:32	0.03896	0.00747	0.03967	0.9821	2.04	24.2
14:05:32	0.03911	0.0077	0.03986	0.9812	2.14	32.73
14:06:32	0.03913	0.00757	0.03985	0.9818	2.1	24.81
14:07:32	0.03909	0.00754	0.03981	0.9819	2.1	25.74
14:08:32	0.03921	0.00757	0.03994	0.9819	2.19	33.11
14:09:32	0.03915	0.00763	0.03989	0.9815	2.1	29.4
14:10:32	0.03906	0.0074	0.03975	0.9825	2.19	32.65
14:11:32	0.0392	0.00749	0.03991	0.9822	2.09	26.07
14:12:32	0.03914	0.00741	0.03983	0.9826	2.19	33.1
14:13:32	0.03916	0.00747	0.03987	0.9823	2.13	26.27
14:14:32	0.03914	0.00735	0.03982	0.9828	2.17	28.1
14:15:32	0.03912	0.0073	0.03979	0.983	2.23	32.84
14:16:32	0.03921	0.0074	0.0399	0.9826	2.14	30.51
14:17:32	0.03916	0.00728	0.03983	0.9832	2.2	33.01
14:18:32	0.0393	0.00762	0.04003	0.9817	2.21	33.09
14:19:32	0.03909	0.00715	0.03973	0.9837	2.21	31.78
14:20:32	0.03903	0.007	0.03965	0.9843	2.16	32.06
14:21:32	0.03903	0.00693	0.03964	0.9846	2.16	32.44