



UNIVERSITAS INDONESIA

**PELUANG PEMANFAATAN LAMPU LED SEBAGAI LAMPU
PENERANGAN YANG HEMAT ENERGI**

SKRIPSI

DANIEL YOSUA STEVANUS

0806455162

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

DEPOK

2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PELUANG PEMANFAATAN LAMPU LED SEBAGAI LAMPU
PENERANGAN YANG HEMAT ENERGI**

SKRIPSI

DANIEL YOSUA STEVANUS

0806455162

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

DEPOK

2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Daniel Yosua Stevanus

NPM : 0806459886

Tanda Tangan :



Tanggal : 7 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Daniel Yosua S
NPM : 0806455162
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Peluang Pemanfaatan Lampu LED Sebagai Lampu
Penerangan yang Hemat Energi

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

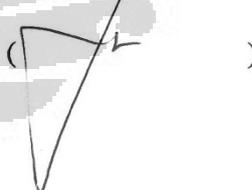
Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo, MT

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K, MT

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini. Penulisan laporan ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dan sebagai syarat untuk memenuhi mata kuliah Skripsi di program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal sampai akhir penyusunan buku laporan ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Amien Rahardjo, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Muhamad Asvial M.Eng selaku dosen pembimbing akademik yang telah mengarahkan dan membantu penulis dalam mengurus per kuliahan.
3. Orang tua, kakak dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
4. Kurniawan dan Danar yang telah membantu penulis dalam mengambil data pengujian skripsi ini.
5. Sahabat seperjuangan dan teman-teman laboratorium yang telah banyak mendukung dan membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun telah memberikan kontribusi pada penulisan laporan skripsi ini.

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

Depok, 7 Juni 2012



Daniel Yousa Stevanus

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

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

Nama : Daniel Yosua Stevanus
NPM : 0806455162
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**PELUANG PEMANFAATAN LAMPU LED SEBAGAI LAMPU
PENERANGAN YANG HEMAT ENERGI**

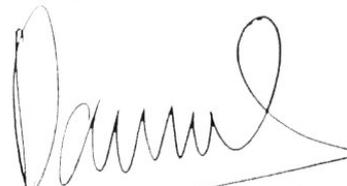
Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 5 Juli 2011

Yang menyatakan,



(Daniel Yosua Stevanus)

ABSTRAK

Nama : Daniel Yosua Stevanus

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : PELUANG PEMANFAATAN LAMPU LED SEBAGAI
LAMPU PENERANGAN YANG HEMAT ENERGI

Semakin berkembangnya jaman yang diikuti dengan perkembangan teknologi membawa dampak pada peningkatan konsumsi energi listrik sehingga perlu dilakukan penghematan. Salah satu penghematan dengan melalui penghematan konsumsi energi listrik untuk penerangan. Seiring kemajuan teknologi ditemukanlah penerangan dari LED yang lebih hemat energi. Oleh karena itu dilakukanlah pengujian lampu penerangan dari lampu pijar, lampu hemat energi, dan lampu LED untuk menemukan adakah peluang lampu LED untuk menghemat pemakaian energi listrik. Dari hasil pengujian dan simulasi yang diasumsikan maka diperoleh hasil bahwa 1 watt lampu LED akan setara dengan 1,36 watt lampu hemat energi 1,09 lampu hemat energi bentuk tornado, dan 12,19 watt lampu pijar sehingga memungkinkan peluang penghematan energi listrik dari pemakaian lampu LED. Untuk saat ini memang biaya yang dikeluarkan untuk pemakaian LED lebih mahal daripada jenis lampu hemat energi yang sudah ada dimana setelah pemakaian 5 tahun lampu LED akan lebih mahal Rp 110.058,00 dari lampu hemat energi biasa dan lebih mahal Rp 211.866,00 dari lampu hemat energi bentuk tornado.

Kata kunci :

lampu LED, peluang penghematan energi, biaya

ABSTRACT

Name : Daniel Yosua Stevanus
Study Program : Teknik Elektro
Tittle : UTILIZATION OPPORTUNITIES OF LED FOR ENERGY
SAVING

The development of the era which followed with the development of technology brings impact on electrical energy consumption increase so that the savings needed to be made. One with saving through savings on energy consumption of electricity for illumination. Technology progresses in his possession was the explanation of the LEDS more energy efficient. Therefore testing of lighting lamps was did for incandescent lamps, energy-saving lamps, LED lamps to discover the opportunities of LED lamps to save electrical energy consumption. From the results of testing and simulation assumed then retrieved the results that the 1 watt LED lamps will be the equivalent of 1.36 watts of energy-saving light bulbs, 1.09 watts of energy saving light bulb tornadoes form, and 12,19 watts of incandescent bulbs so allows saving opportunities of electric energi LED lamps usage. For the moment LED lamps cost's are more expensive than other types of energy-saving light bulbs where after 5 years of use LED lamps will be more expensive Rp 110.058 for energy-efficient lights regular form and more expensive Rp 211.866 from energy-saving lamps tornadoes form.

Key Word :

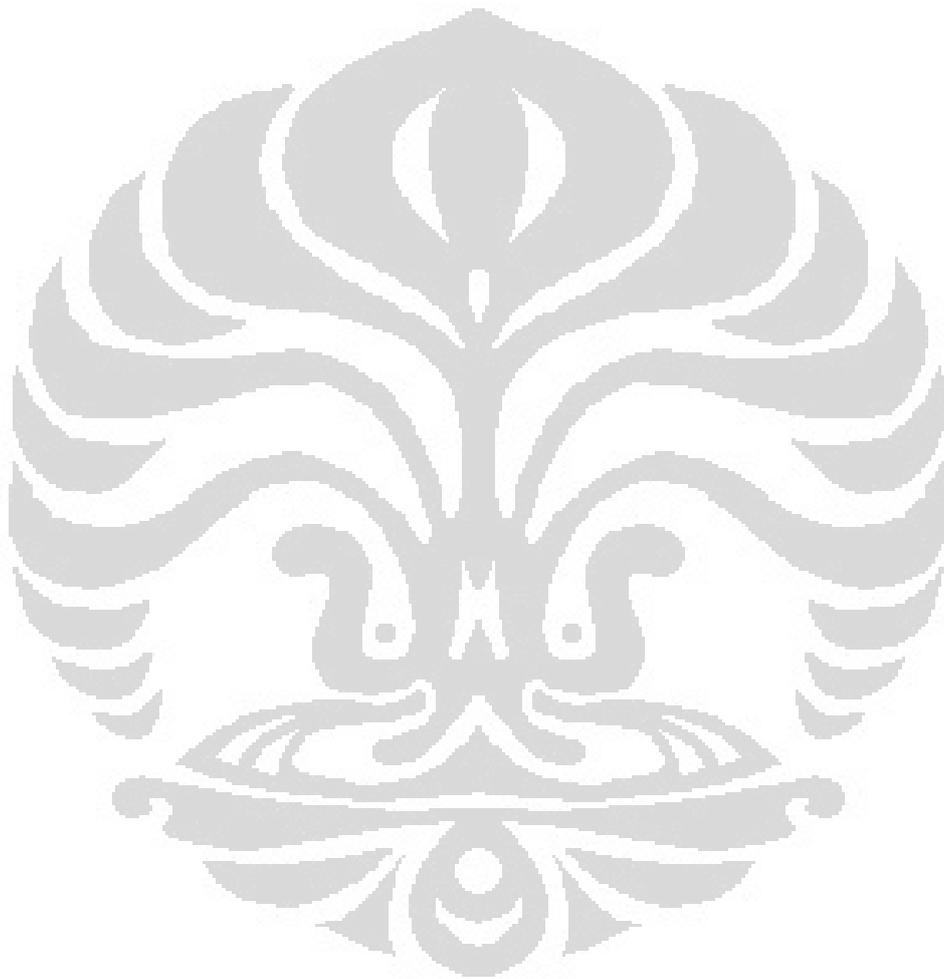
LED lamp, save electrical energy consumption, cost

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUTAN.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
DAFTAR ACUAN	xv
DAFTAR PUSTAKA	xvi
LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penulisan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB 2 DASAR TEORI.....	4
2.1 Sebagian Mengenai Cahaya.....	4
2.2 Iluminasi	5
2.2.1 Definisi.....	5
2.2.2 Satuan.....	5
2.2.3 Efikasi dan Efisiensi.....	6
2.3 Standar Pencahayaan	7

2.3.1 Penentuan Jumlah Lampu ((Luminer).....	8
2.3.2 Koefisien Penggunaan	8
2.3.3 Koefisien Depresiasi.....	9
2.4 Sumber – Sumber Cahaya	9
2.5 Dasar – Dasar Mengenai LED.....	12
2.5.1 Pencatuan Pada Dioda	12
2.5.2 Perpendaran Cahaya Pada LED.....	14
2.5.3 LED Putih.....	15
2.5.3.1 Sistem RGB (Red-Green-Blue).....	15
2.5.3.2 Sistem Phospor.....	15
2.5.4 High Power LED (HPLED).....	16
2.6 LED Sebagai Lampu Penerangan.....	17
2.7 Data Sheet LED Penerangan	20
2.7.1 Luxeon Rebel Data Sheet.....	20
2.7.2 China Bulb Data Sheet.....	21
BAB 3 METODE PENGUJIAN	24
3.1 Identifikasi Masalah dan Hipotesa Awal.....	24
3.2 Metode Pengujian Kinerja LED	24
3.2.1 Pengujian Kualitas Daya Listrik Lampu LED, LHE, dan Pijar	25
3.2.2 Pengujian Iluminasi	26
3.3 Peralatan dan Diagram Pengujian.....	26
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA.....	28
4.1 Data Pengujian Lampu LED.....	28
4.2 Data Pengujian Lampu LHE.....	33
4.3 Data Pengujian Lampu Pijar.....	37
4.4 Perbandingan Data Lampu LED, LHE, dan Pijar	38
4.4.1 Perbandingan Lumens Tiap – Tiap Lampu.....	38
4.4.2 Perbandingan Efikasi	40
4.4.3 Perbandingan Harmonik Tiap – Tiap Lampu Uji	43
4.4.4 Perbandingan Faktor Daya.....	46

4.5	Peluang Penghematan yang Dapat Dilakukan Lampu LED.....	47
4.5.1	Peluang Penghematan energi Listrik.....	47
4.5.2	Peluang Penghematan Biaya	51
BAB 5 KESIMPULAN		58



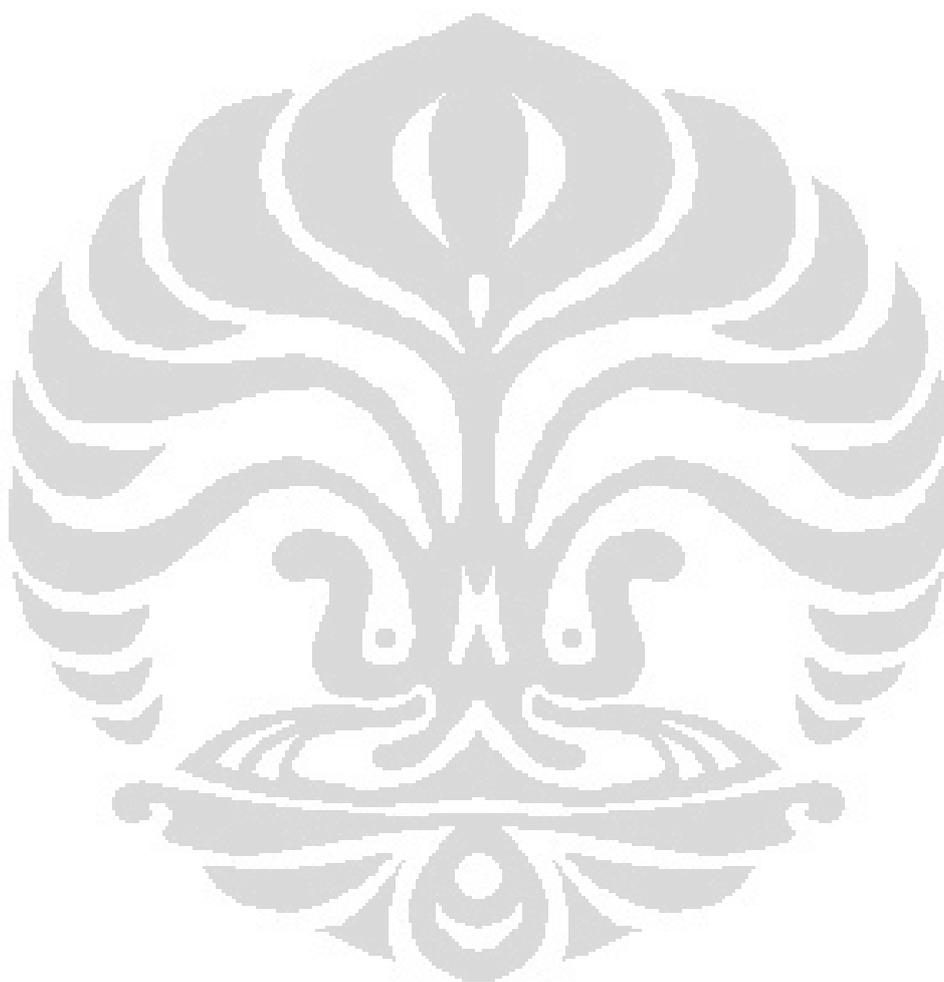
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Elektromagnetik	4
Gambar 2.2 Respon Mata Manusia Terhadap Suatu Sumber Cahaya dengan Rentang antara 400 – 700 nm	7
Gambar 2.3 Matahari	10
Gambar 2.4 Konstruksi Lampu Pijar	11
Gambar 2.5 Skema Lampu Pendar	12
Gambar 2.6 Simbol LED.....	12
Gambar 2.7 Karakteristik I-V Sebuah Dioda.....	13
Gambar 2.8 Pencatuan LED dan Level Energi Fermi.....	14
Gambar 2.9 Contoh Skematik Driver HPLED.....	17
Gambar 2.10 HPLED yang Digunakan Pada Seri Luxeon.....	20
Gambar 2.11 Skema Fisik LED Rebel.....	20
Gambar 2.12 5W LED Bulb Light AH-G60E27-511B	22
Gambar 3.1 Alur Metode Pengujian	25
Gambar 3.2 HIOKI Power Analyzer 9369-20/21	26
Gambar 3.3 Bidang Photometer.....	27
Gambar 3.4 Skema Pengukuran Kualitas Daya Lampu LED/LHE.....	27
Gambar 4.1 LED A 4w	28
Gambar 4.2 LED B 5w	29
Gambar 4.3 LED C 9w	30
Gambar 4.4 LED D 7w	31
Gambar 4.5 LED E 15w	32
Gambar 4.6 LHE A 3w	33
Gambar 4.7 LHE B 5w	34
Gambar 4.8 LHE C 5w	35
Gambar 4.9 LHE D 5w	36
Gambar 4.10 Lampu Pijar 25w	37
Gambar 4.11 Proses Pergantian Lampu Berdasarkan Masa Pakai Bulan.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standar Iluminasi Berdasarkan Ruang Kerja oleh IES (Illumination Engineer Society).....	8
Tabel 2.2	Perbandingan Flux dengan Variasi Flux Tiap Jenis Varian Luxeon....	21
Tabel 2.3	Rating Luxeon Rebel.....	21
Tabel 3.1	Contoh Hasil Pengujian kualitas Daya Philips Lumileds 4 w 180 v ..	27
Tabel 4.1	Data Pengujian LED A 4w.....	28
Tabel 4.2	Data Pengujian LED B 5w.....	29
Tabel 4.3	Data Pengujian LED C 9w.....	30
Tabel 4.4	Data Pengujian LED D 7w.....	31
Tabel 4.5	Data Pengujian LED E 15w.....	32
Tabel 4.6	Data Pengujian LHE A 3w.....	33
Tabel 4.7	Data Pengujian LHE B 5w.....	34
Tabel 4.8	Data Pengujian LHE C 5w.....	35
Tabel 4.9	Data Pengujian LHE D 5w.....	36
Tabel 4.10	Data Pengujian Lampu Pijar 25w	37
Tabel 4.11	Hasil Lumens dari Lampu yang Diuji.....	38
Tabel 4.12	Hasil Efikasi dari Lampu yang Diuji	40
Tabel 4.13	Hasil Daya dari Lampu yang Diuji	42
Tabel 4.14	Hasil % THD v dari Lampu yang Diuji	43
Tabel 4.15	Hasil % THD i dari Lampu yang Diuji	44
Tabel 4.16	Hasil Faktor Daya dari Lampu yang Diuji.....	46
Tabel 4.17	Komparasi dengan Daya Sama	48
Tabel 4.18	Komparasi dengan Lumens Sama.....	49
Tabel 4.19	Perbandingan Daya Lampu	50
Tabel 4.20	Perbandingan Konsumsi Energi Listrik	51
Tabel 4.21	Pergantian Lampu Untuk Masa Pemakaian 5 dan 10 Tahun	52
Tabel 4.22	Biaya Konsumsi Energi Listrik per Bulan dan per Tahun	53
Tabel 4.23	Biaya Lampu Saat Ini.....	53
Tabel 4.24	Biaya Total Lampu Selama 5 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus.....	53

Tabel 4.25 Biaya Total Lampu Selama 10 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus	55
Tabel 4.26 Selisih Total Biaya Selama Pemakaian 5 Tahun.....	56
Tabel 4.27 Selisih Total Biaya Selama Pemakaian 10 Tahun.....	56



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Lampu dengan Lumens yang Dihasilkan.....	38
Grafik 4.2 Perbandingan Lampu dengan Efikasi yang Dihasilkan	41
Grafik 4.3 Perbandingan Lampu dengan Daya yang Diserap	42
Grafik 4.4 Perbandingan Lampu dengan % THD v yang Dihasilkan	43
Grafik 4.5 Perbandingan Lampu dengan % THD i yang Dihasilkan	44
Grafik 4.6 Perbandingan Lampu dengan Faktor Daya yang Dihasilkan.....	46
Grafik 4.7 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik untuk Semua Pelanggan	51
Grafik 4.8 Biaya Total Tahunan Selama 5 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus.....	54
Grafik 4.9 Biaya Total Tahunan Selama 10 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus.....	55



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini energi listrik adalah suatu kebutuhan manusia yang sangat penting dalam kesehariannya. Kegiatan sehari-hari manusia sangat terbantuan dengan adanya energi listrik, mulai dari kegiatan perumahan, pendidikan, perindustrian, serta berbagai kegiatan lainnya. Dan semakin lama energi listrik menjadi suatu kebutuhan primer bagi keberlangsungan hidup manusia sehingga manusia sangat bergantung sekali dengan keberadaan energi listrik.

Ketergantungan manusia akan energi listrik yang kian lama kian meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah populasi manusia. Hal ini menyebabkan perusahaan penyedia listrik terus meningkatkan kapasitas energi yang dibangkitkan. Untuk meningkatkan kapasitas energi yang dihasilkan maka diperlukan daya yang besar dengan sumber bahan yang besar juga. Dan inilah yang menjadi permasalahan utamanya. Rata-rata pembangkit energi listrik masih menggunakan mesin yang membutuhkan bahan fosil untuk mengoperasikannya. Hal ini dikarenakan efektifitas dan efisiensi yang dimiliki oleh mesin yang menggunakan bahan fosil lebih besar ketimbang bahan lain. Sedangkan persediaan bahan fosil semakin lama semakin menipis dan permintaan akan energi listrik semakin meningkat. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penghematan konsumsi energi listrik guna keberlangsungan penyediaan energi listrik.

Penghematan energi listrik dapat berupa pengurangan waktu konsumsi energi listrik atau bisa juga dengan melakukan penggantian peralatan listrik menjadi peralatan yang hemat energi. Belakangan ini produsen-produsen peralatan listrik sedang gencar menciptakan inovasi alat-alat listrik yang hemat energi, salah satunya adalah lampu penerangan. Lampu penerangan yang ada di pasaran baik TL maupun SL sudah lebih baik ketimbang lampu pijar dengan teknologi lama. Namun inovasi terbaru adalah penggunaan lampu LED sebagai lampu penerangan. Dimana daya yang diserap oleh

lampu LED lebih sedikit ketimbang lampu *fluorescence* yang ada di pasaran. Lampu LED jenis ini lebih dikenal dengan nama HPLED (High Power LED) dimana lampu dapat menghasilkan terang yang lebih dari LED biasa dan daya yang diserap lebih sedikit dibandingkan lampu *fluorescence* dengan tingkat pencahayaan yang sama.

1.2 Maksud dan Tujuan

Tujuan dari penulisan ini adalah menemukan peluang penggunaan lampu LED khususnya sebagai lampu penerangan yang hemat energi serta biaya.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan pada skripsi ini adalah dengan melakukan pengujian daya dan iluminasi lampu LED, LHE, dan pijar dengan rentang waktu 1 jam. Kemudian dilakukan perhitungan penghematan energi dan biaya dengan asumsi lampu uji digunakan pada ruang seluas 16m^2 selama 8 jam.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan pada skripsi ini adalah

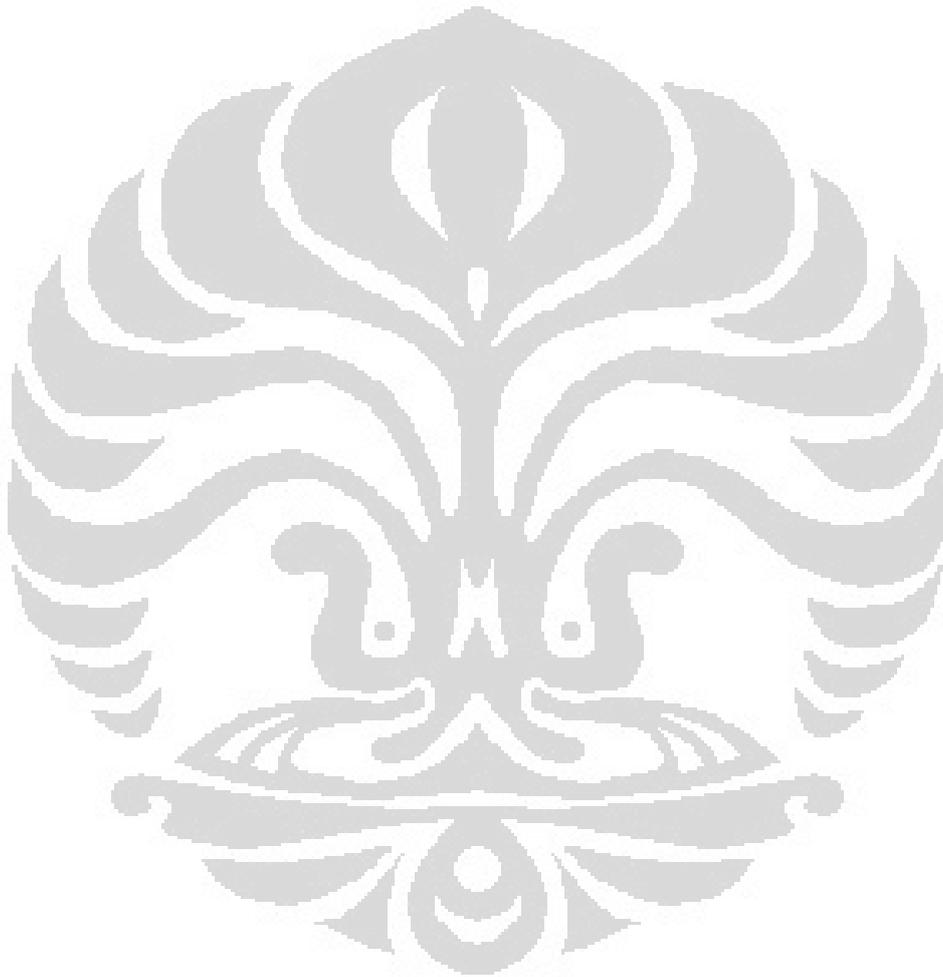
1. Pengujian iluminasi dan kualitas daya lampu LED, LHE, dan pijar.
2. Pengolahan data dengan melakukan perhitungan berdasarkan rumus satuan pencahayaan.
3. Perhitungan depresiasi biaya dengan metode garis lurus.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan ini dibagi menjadi lima bab, dimana masing-masing bab terdiri dari

Bab 1, pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, metode penulisan, serta sistematika penulisan. Bab 2, dasar teori yang berisi tentang dasar teori mengenai skripsi ini seperti cahaya, iluminasi, sumber cahaya, dasar-dasar led dan lampu led. Bab 3 metodologi pengujian yang berisi tentang semua peralatan yang digunakan dalam pengujian ini. Bab 4, hasil pengujian dan analisis data yang berisikan

hasil data pengujian kinerja kerja led dan lhe serta analisis peluang penghemataan oleh led. Bab 5, kesimpulan yang berisikan kesimpulan mengenai peluang penghematan yang dapat diperoleh dari pemakaian LED.

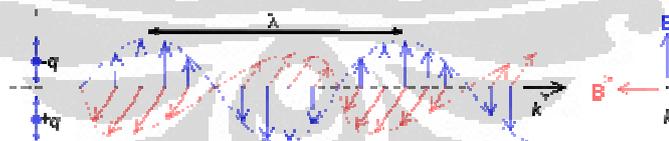


BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Sebagian Mengenai Cahaya

Secara umum, cahaya dapat didefinisikan sebagai energi yang berbentuk gelombang elektromagnetik yang dapat terlihat oleh mata. Namun berdasarkan konseptual fisika, maka cahaya dapat dijabarkan sebagai berikut: [1]

1. Cahaya merupakan radiasi elektromagnetik baik yang dapat tertangkap oleh mata manusia maupun tidak dapat terlihat oleh mata manusia. Dimana panjang gelombang yang dapat tertangkap oleh mata manusia berkisar antara 380 sampai 750 nm. Sifat-sifat yang dimiliki cahaya :
 - a. Merambat lurus pada medium yang homogen.
 - b. Dapat dipantulkan dan dibiaskan maupun diserap.
 - c. Dapat ditransformasikan ke bentuk energi lain, misalnya menjadi energi listrik.
2. Cahaya merambat dengan kecepatan 3×10^8 m/s. Dimana nilai ini merupakan nilai pembulatan. Untuk menghitung kecepatan cahaya itu sendiri sudah dilakukan berabad-abad dan dari hasil yang ditemukan semua nilai mengacu pada pembulatan angka tersebut.
3. Cahaya merupakan paket partikel yang disebut foton.



Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Elektromagnetik

Karena cahaya dapat bersifat sebagai gelombang dan juga partikel, maka hal ini kemudian dikenal dengan sebutan dualisme gelombang-partikel. Paket cahaya yang disebut spektrum kemudian dipersepsikan oleh indra pengelihatan sebagai warna.

2.2 Iluminasi

2.2.1 Definisi

Iluminasi dapat didefinisikan sebagai intensitas flux cahaya yang diterima oleh suatu luas permukaan.[2] Hal ini diukur dalam flux luminasi per unit area. Intensitas flux cahaya sendiri dapat diartikan sebagai kuat intensitas cahaya yang diradiasikan oleh sebuah sumber cahaya. Dan dari definisi ini dapat diartikan bahwa tingkat keterangan merupakan banyaknya intensitas flux cahaya per unit area. Sehingga semakin besar lux cahaya yang dihasilkan oleh sumber cahaya maka akan meningkatkan tingkat keterangannya namun apabila semakin besar tingkat keterangan suatu flux cahaya maka memungkinkan terjadinya *glare* yang menghasilkan ketidaknyamanan mata dalam menerima suatu cahaya.

2.2.2 Satuan

Intensitas cahaya yang dipancarkan dari sebuah sumber diukur dalam satuan *candle (cd)*. Pada kenyataannya *candle* (lilin) memiliki standar tersendiri dalam seberapa banyak lilin tersebut dinyalakan untuk menghasilkan cahaya, sehingga hasil cahaya standar yang dipancarkan lilin inilah yang menjadi pembanding satuan untuk menghitung intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber cahaya lain dengan satuan untuk pemabanding ini disebut dengan kuat intensitas cahaya atau disebut juga dengan *lumens*. [2]

Lux adalah kuat cahaya yang diterima oleh suatu permukaan sebesar 1 meter persegi dari suatu sumber cahaya dengan lumens 1 CP (*candle power*) yang berjarak 1 meter dari sumber tersebut. Secara matematis lux dapat dituliskan dengan

$$Lux = \frac{Flux}{Area} = \left[\frac{lumens}{m^2} \right] \quad (2.1)$$

Dikarenakan luas area permukaan yang tersinari dianggap seperti bola = $4\pi r^2$, dan cahaya yang diterima dalam luas permukaan bola dengan jari-jari satu meter dari sumber sebesar 1 CP yang diletakkan di pusat bola =

4π lumens. Jika luas permukaan bola diperbesar dengan sumber cahaya cahaya tetap, maka iluminasi akan berkurang sesuai dengan aturan yang disebut dengan *Inverse Square Law*. [2]

Secara matematis *Inverse Square Law* dapat dituliskan dengan

$$I = \frac{CP}{D^2} \left[\frac{\text{lumens}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.2)$$

Dimana

- I = Iluminasi [lux]
- CP = candle power [lumens]
- D = jarak sumber terhadap objek [meter]

Suatu luas permukaan yang disinari oleh suatu cahaya dengan dengan sudut tertentu juga akan menghasilkan iluminasi yang berbeda. Perbedaan hasil iluminasi ini dikenal dengan nama *Lambert's Cosine Law*.

Secara matematis dapat dituliskan dengan

$$I = \frac{CP}{D^2} \cos \theta \left[\frac{\text{lumens}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.3)$$

Dimana

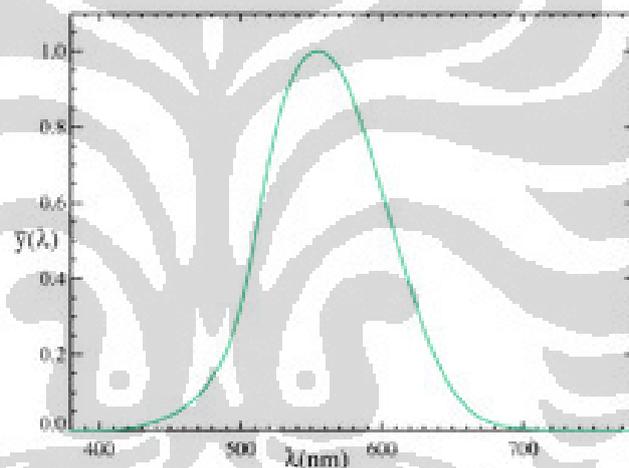
- I = Iluminasi [lux]
- CP = candle power [lumens]
- D = jarak sumber terhadap objek [meter]
- θ = sudut penyinaran

2.2.3 Efikasi dan Efisiensi

Efikasi merupakan perbandingan jumlah kuat intensitas cahaya (CP) dengan daya yang digunakan untuk memancarkan intensitas tersebut. Secara satuan efikasi ditulis dengan lumens/watt (lm/W).

Mata manusia hanya dapat melihat spectrum cahaya dengan rentang panjang gelombang berkisar antara 380 – 750 nm, di luar dari rentang itu maka cahaya tidak dapat dilihat oleh mata. Mata manusia akan

memberikan respon lebih kepada panjang gelombang yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya daripada benda yang tampak akibat pantulan cahaya tersebut. Respon ini direpresentasikan oleh *luminosity function*. Fungsi ini merupakan standar yang merepresentasikan respon mata manusia terhadap cahaya tampak yang dipancarkan oleh suatu sumber yang dikenal dengan istilah *photopic vision*. [3] Berdasarkan hasil pengujian dimana skala pengujian bernilai nol sampai dengan satu. Maka mata manusia dapat merespon hingga nilai 1 (maksimum) pada efikasi 683 lm/W. Dimana efikasi ini dihasilkan oleh cahaya monokromatik dengan panjang gelombang 555 nm (berwarna hijau). Maka Satuan Internasional menetapkan bahwa 683 lm/W merupakan standar untuk suatu sumber penerangan dengan efisiensi 100% = 1.



Gambar 0.2 Respon Mata Manusia terhadap Suatu Sumber Cahaya dengan Rentang antara 400 – 700 nm

2.3 Standar Pencahayaan

Karena penggunaan ruangan yang berbeda-beda, maka ditentukan suatu standar tingkat iluminasi (lux) berdasarkan fungsi dan kegiatan yang dilakukan dalam suatu ruangan tertentu oleh *IES (Illuminating Engineering Society)*. [5]

Tabel 2.1 Standar Iluminasi Berdasarkan Ruang Kerja oleh IES (Illumination Engineer Society)

No	Kerja Visual	Iluminansi (lux)
1	Penglihatan biasa	100
2	Kerja kasar dengan detail besar	200
3	Kerja umum dengan detail wajar	400
4	Kerja yang lumayan dengan detail kecil (studio, gambar, menjahit)	600
5	Kerja keras, lama, detail kecil (perakitan barang halus, menjahit dgn tangan)	900
6	Kerja sangat keras, lama detail sangat kecil (pemotongan batu mulia, tisik halus, mengukur benda sangat kecil)	1300-2000
7	Kerja luar biasa keras, detail sangat kecil (arloji dan pembuatan instrumen kecil)	2000-3000

2.3.1 Penentuan Jumlah Lampu (Luminer)

Jumlah lampu yang akan dipasang dalam suatu ruangan harus diperhitungkan dengan tepat supaya memenuhi standar pada bidang kerja. Untuk menentukan jumlah lampu yang dibutuhkan maka digunakan suatu metoda yang disebut metoda lumen

$$I = \frac{N\phi K_p K_d}{A} \quad (2.4)$$

Dimana:

- I = iluminasi rata-rata pada bidang kerja [lux]
- N = jumlah lampu
- ϕ = fluks luminasi [lumens]
- K_p = koefisien penggunaan
- K_d = koefisien depresiasi
- A = luas bidang kerja [m^2]

2.3.2 Koefisien Penggunaan

Koefisien penggunaan merupakan perbandingan antara fluks yang diterima pada bidang kerja dengan fluks yang dihasilkan oleh lampu. Disebut juga dengan koefisien utilisasi (cu).

Koefisien penggunaan tergantung pada :

1. Jenis lampu yang meliputi efisiensi dan distribusi
2. Faktor refleksi ruangan
3. Luas daerah kerja
4. Dimensi ruangan

2.3.3 Koefisien Depresiasi

Koefisien depresiasi merupakan perbandingan antara iluminasi terendah yang dihasilkan dengan iluminasi yang dihasilkan mula-mula oleh lampu. Diebut juga dengan *Light Loss Factor ((LLF)*.

Dengan demikian dapat ditentukan jumlah lampu yang dibutuhkan dalam suatu ruangan adalah

$$N = \frac{IA}{\phi KpKd} \quad (2.5)$$

Dimana:

- I = iluminasi rata-rata pada bidang kerja [lux]
- N = jumlah lampu
- ϕ = fluks luminasi [lumens]
- Kp = koefisien penggunaan
- Kd = koefisien depresiasi
- A = luas bidang kerja [m²]

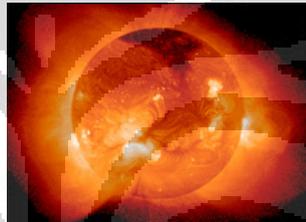
Dan berdasarkan pengujian yang sudah ditentukan oleh IES, nilai KpKd mendekati 0,5.[4]

2.4 Sumber - Sumber Cahaya

Seperti yang sudah diketahui, cahaya tidaklah mungkin terpancar dengan sendirinya. Cahaya sendiri merupakan hasil dari suatu radiasi yang berasal dari konversi suatu energi ke bentuk energi lainnya. Oleh karena itu perlu diketahui sumber-sumber yang dapat meradiasikan cahaya. Berikut adalah sumber-sumber yang dapat meradiasikan cahaya:

4. Matahari dan bintang

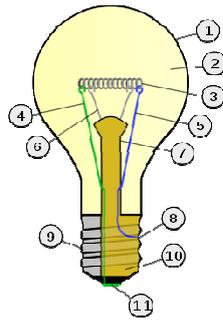
Matahari dan bintang merupakan bola raksasa yang terbentuk dari gas hidrogen dan helium dan dapat memancarkan cahayanya sendiri. Pancaran cahaya yang dihasilkan merupakan dasar dari pemancaran spektrum cahaya. Cahaya yang dihasilkan matahari berasal dari reaksi fusi gas hidrogen menjadi helium dimana terjadi pelepasan energi dari suatu atom dan pelepasan energi tersebut meradiasikan gelombang elektromagnetik. Cahaya yang tertangkap oleh mata manusia merupakan sebagian dari keseluruhan cahaya yang dipancarkan oleh matahari. Hal ini dikarenakan spectrum cahaya yang dapat tertangkap mata manusia hanya berada pada rentang 380 – 750 nm.



Gambar 2.3 Matahari

5. Lampu Pijar

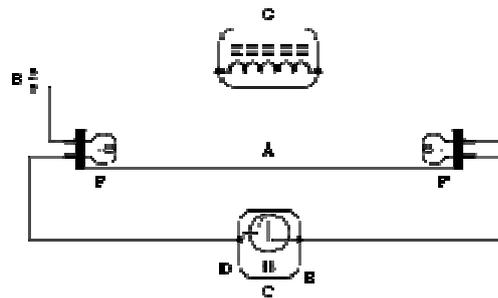
Lampu pijar merupakan suatu sumber cahaya yang berasal dari arus listrik yang mengalir pada suatu filamen. Arus listrik yang mengalir pada filamen akan menghasilkan panas terus menerus sehingga menghasilkan radiasi cahaya. Lampu pijar diselubungi oleh suatu kaca yang bertujuan agar filamen yang memanaskan tidak berhubungan dengan udara sehingga tidak teroksidasi dan terus dapat memancarkan cahaya.[7] Lampu jenis ini sangat sederhana dalam konstruksinya serta lebih murah, namun pancaran cahayanya tidak terlalu baik. Kenyataan di lapangan menyebutkan bahwa hanya sekitar 10% energi yang dikonversikan menjadi cahaya. Oleh karena itu lampu jenis ini akan sangat menyia-nyiaakan energi.



Gambar 2.4 Konstruksi Lampu Pijar dimana 1. Bola lampu 2.Gas bertekanan rendah (argon, neon, nitrogen) 3.Filamen wolfram 4.Kawat penghubung ke kaki tengah 5.Kawat penghubung ke ulir 6.Kawat penyangga 7.Kaca penyangga 8.Kontak listrik di ulir 9.Sekrup ulir 10.Isolator 11.Kontak listrik di kaki tengah

6. Electric Discharge Lamp (Lampu Pendar)

Lampu jenis ini memancarkan cahaya berdasarkan eksitasi dan ionisasi molekul gas oleh muatan (elektron) yang dilepaskan. Elektron yang dilepaskan merupakan elektron bebas yang memiliki energi kinetik yang mencukupi sehingga elektron tersebut dapat lepas.[8] Untuk menghasilkan energi kinetik yang mencukupi itu maka diperlukan suatu potensial yang besar sehingga elektron dapat tereksitasi, oleh karenanya pada lampu ini digunakan ballast (choke) untuk meningkatkan tegangan hingga 15 kilo volt dari tegangan standar 220 volt. Ketika elektron tersebut lepas (eksitasi) akan dihasilkan suatu energi sehingga meradiasikan suatu gelombang elektromagnetik, namun gelombang yang dipancarkan merupakan gelombang dengan spektrum ultra violet, dimana spektrum ultraviolet berada di luar jangkauan spektrum cahaya tampak. Oleh karena itu tingkat energi pelepasan elektron tersebut diturunkan dengan menambahkan gas ke dalam tabung lampu. Penurunan terjadi karena adanya ionisasi antara elektron yang lepas dengan gas. Karena penggunaan gas pada lampu ini, maka disain lampu jenis ini dibuat tertutup agar gas tidak berhamburan ke udara bebas dan di samping itu juga membuat ketersediaan gas untuk mengionisasi elektron tetap ada karena setelah sumber listrik mati maka ion-ion akan bersatu kembali sehingga membentuk gas kembali.



Gambar 2.5 Skema Lampu Pendar dimana A. Tabung lampu B. Sumber AC C. Starter D. Kontak bimetal E. Kapasitor F. Filamen G. Ballast

2.5 Dasar-Dasar Mengenai LED

LED (Light Emitting Diode) atau sering juga dikenal dengan dioda yang dapat memancarkan cahaya, merupakan suatu divais semikonduktor yang terdiri dari dua bagian yakni bagian yang diberi *doping* P dan juga bagian yang diberi *doping* N. Kedua bagian ini kemudian disatukan membentuk hubungan P-N *junction* atau yang lebih sering dikenal dengan nama diode. Dioda sendiri merupakan pengertian dari dua elektroda (anoda dan katoda) dan memang hubungan P-N pada dioda akan membentuk suatu bagian yang lebih positif (anoda) dan bagian yang lebih negatif (katoda).



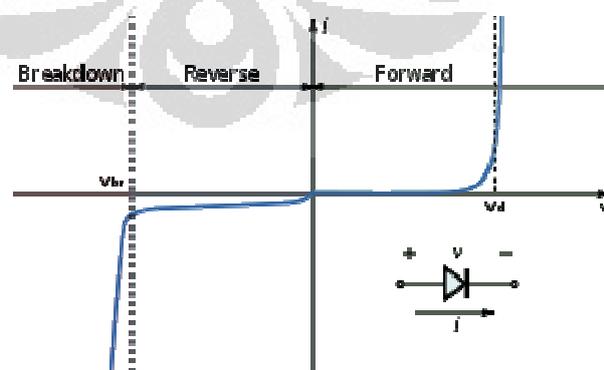
Gambar 2.6 Simbol LED

2.5.1 Pencatuan Pada Dioda

LED sebagaimana telah disebutkan sebelumnya merupakan dioda yang dapat memancarkan cahaya. Dengan kata lain prinsip kerja dari LED sama dengan dioda pada umumnya, termasuk juga HPLED yang digunakan sebagai lampu penerangan.

Dioda yang terdiri dari bagian P dan bagian N, dimana bagian P merupakan bagian yang terdiri dari *hole* yang berlebih (kekurangan elektron) dan bagian N merupakan bagian yang kekurangan *hole* (kelebihan elektron). Saat dioda diberikan catu maju, dimana kutub

postif sumber dihubungkan dengan bagian anoda dioda dan bagian kutub negatif sumber dihubungkan dengan bagian katoda, maka *hole-hole* yang ada pada anoda seolah-olah akan terorong akibat dari pengaruh gaya elektrostatis mendekati bagian katoda kemudian elektron-elektron pada katoda juga bergerak akibat pengaruh gaya elektrostatis dari kutub negatif sumber sehingga mendekati bagian anoda. Jika catu terus diberikan maka *hole* dan elektron akan memperkecil daerah deplesi dimana daerah deplesi merupakan daerah yang tidak mengandung *hole* maupun elektron, sehingga apabila daerah deplesi ini semakin kecil memungkinkan elektron dan hole dapat berekombinasi dan pada akhirnya elektron dapat bergerak (arus mengalir) dan keadaan ini disebut dengan keadaan *forward bias*. Sebaliknya, apabila dioda diberi catu mundur, yakni bagian anoda dihubungkan dengan kutub negatif sumber dan bagian katoda dihubungkan dengan bagian positif sumber, maka *hole* dan elektron akan bergerak saling menjauh akibat dari gaya elektrostatis sehingga hole tertarik ke bagian negatif sumber dan elektron tertarik ke bagian positif sumber. Akibatnya daerah deplesi semakin melebar sehingga arus tidak mengalir pada hubungan P-N dioda dan pada keadaan ini dioda berada dalam keadaan *reverse bias*. Pada reverse bias ini LED dapat menahan tegangan hingga titik tertentu dan apabila melewati batas tegangan ini maka dioda akan *break down* dan mengalirkan arus dengan kata lain dioda mengalami kerusakan.

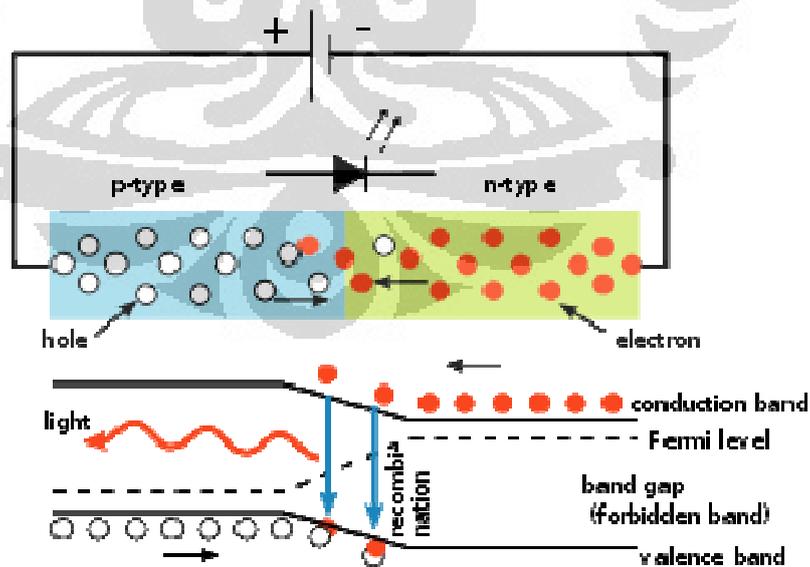


Gambar 2.7 Karakteristik I-V Sebuah Dioda

2.5.2 Perpendaran Cahaya Pada LED

Pada saat mengalami forward bias dimana dioda diberi tegangan dan tegangan merupakan energi yang dibutuhkan oleh satu muatan agar dapat berpindah dari posisi satu ke posisi lainnya, sehingga dengan terjadinya rekombinasi antara *hole* dan elektron yang disebabkan oleh menurunnya level energi Fermi akan mengakibatkan pelepasan energi dalam bentuk foton. Dengan panjang gelombang tertentu yang bergantung dari lebarnya gap antara anoda dan katoda dimana lebar gap tergantung dari substrat yang di-*doping* pada anoda maupun katoda maka memungkinkan dihasilkannya suatu cahaya tampak yang terlihat oleh mata. Apabila *doping* yang diberikan dapat menghasilkan panjang gelombang warna yang dapat dilihat mata maka dioda akan tampak menghasilkan cahaya.

Pada awalnya LED dikembangkan menggunakan panjang gelombang infra merah dan panjang gelombang cahaya merah dimana substrat yang di-*doping* adalah gallium arsenide dan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan maka terus ditemukannya substrat doping yang dapat menghasilkan panjang gelombang lainnya yang dapat ditangkap oleh mata.



Gambar 2.8 Pencatuan LED dan Level Energi Fermi

2.5.3 LED Putih

Pada umumnya lampu-lampu penerangan menggunakan lampu becahaya putih. Oleh karena itu penggunaan LED sebagai penerangan juga dirancang untuk menghasilkan cahaya putih. Ada dua cara untuk menghasilkan LED becahaya putih. Cara pertama adalah dengan menggabungkan tiga warna dasar, yakni merah, kuning, hijau. Cara kedua adalah menggunakan bahan phosphor untuk mengkonversikan cahaya monokromatik yang berwarna biru atau UV LED menjadi spektrum cahaya putih dan ini adalah cara yang sudah diterapkan pada lampu flouresence. [9]

2.5.3.1 Sistem RGB (Red-Green-Blue) [9]

Pada sistem RGB ini beberapa lampu LED dengan warna berbeda (merah, hijau, biru) dipadukan menjadi satu sehingga menghasilkan warna putih dan metode ini disebut dengan metode LED putih multi warna. Karena harus menggabungkan beberapa cahaya, maka pada metode ini diperlukan suatu rangkaian elektronik pengontrol cahaya yang akan digabungkan. Metode ini jarang diterapkan di pasaran karena terlalu banyaknya komponen terutama lampu LED itu sendiri.

2.5.3.2 Sistem Phospor [9]

Pada sistem ini, lampu LED dengan satu warna, biasanya berwarna biru yang berbahan InGaN, dilapisi dengan phosphor berwarna lain untuk menghasilkan warna putih. Hasil dari pelapisan ini disebut dengan LED putih berbasis phosphor. Hamburan dari cahaya biru ini ditransformasikan dari panjang gelombang yang lebih pendek menjadi panjang gelombang yang lebih panjang. Oleh karena itu pelapisan phosphor berdasarkan warna yang dipancarkan oleh LED itu sendiri.

Metode terbaru yang digunakan untuk menghasilkan LED cahaya putih adalah dengan tidak mendasarkan atau melibatkan keseluruhan bahan fosfor, tetapi dengan mendasarkan pada pertumbuhan seng selenida (ZnSe) di atas substrat ZnSe (secara homoepitaksial). Arsitektural secara homoepitaksial ZnSe seperti itu dapat menghasilkan cahaya biru dari area aktifnya dan memancarkan cahaya kuning dari substratnya. Teknik ini menghasilkan cahaya putih kekuning-kuningan yang serupa dengan cahaya yang dihasilkan lampu pijar.

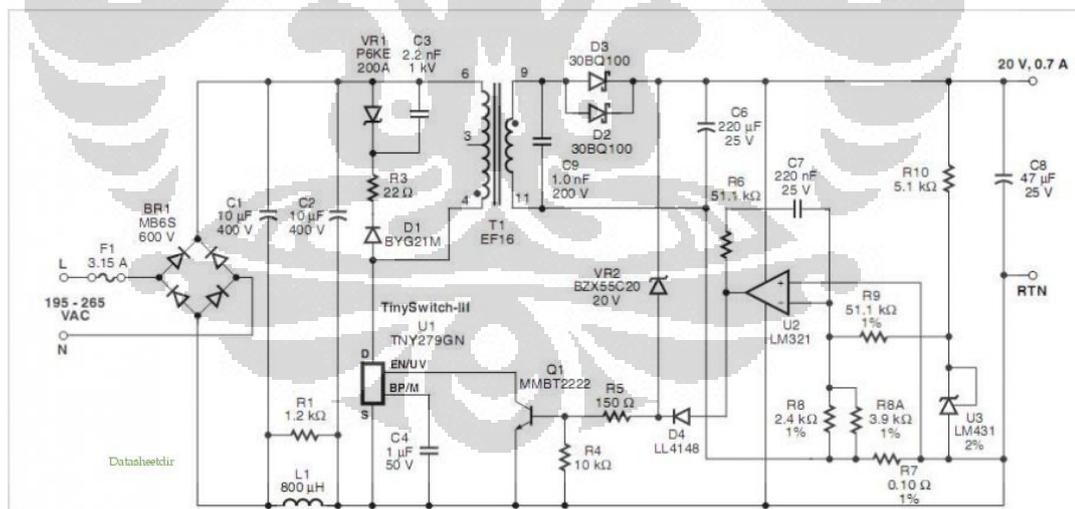
2.5.4 High Power LED (HPLED)

HPLED merupakan LED putih yang dapat menyerap arus hingga ratusan mA sehingga menarik daya yang besar jika dibandingkan LED pada umumnya. Efek dari besarnya daya yang diserap ini adalah LED ini dapat memancarkan cahaya hingga 80 lumen per watt dan jika dibandingkan dengan daya yang sama maka lampu fluoresence memancarkan 70 lumens per watt dan lampu pijar hanya 15 lumens per watt. Pemakaian daya HPLED berkisar antara 1 – 20 watt, sedangkan lampu fluoresence berdaya rendah berkisar antara 3 – 40 watt dan untuk beberapa hasil uji diperoleh hasil bahwa hasil pancaran cahaya HPLED berdaya 15 watt dapat menyamai lampu fluoresence berdaya 60 watt. [10] Hal ini menyatakan bahwa tingkat efisiensi dari HPLED tergolong tinggi di samping itu beberapa HPLED dikembangkan supaya dapat memancarkan cahaya dengan batas sudut pemancaran hingga 180°.

Karena arus yang diserap cukup besar maka dipasangkan heat sink untuk menjaga agar LED tidak mengalami panas berlebih (*over heat*). Lampu LED jenis inilah yang kemudian menjadi cikal bakal lampu LED yang digunakan sebagai penerangan.

2.6 LED Sebagai Lampu Penerangan

Sebagaimana telah ditemukannya lampu LED putih berdaya besar serta tingkat iluminasi yang tinggi maka dimulailah suatu konversi pemakaian lampu. Dimana awalnya menggunakan lampu flouresence yang lebih dikenal dengan LHE (Lampu Hemat Energi) karena daya yang diserap lebih rendah ketimbang lampu pijar, kemudian diubah menjadi lampu LED dimana daya yang diserap lebih rendah dari lampu LHE, Namun peninjauan lampu LED sebagai lampu penerangan tidak sebatas hanya pada energi yang diserap saja. Namun juga pada tingkat luminasi yang dihasilkan. Apakah luminasi tinggi yang dihasilkan oleh lampu LED dapat menyamai luminasi yang dihasilkan oleh lampu LHE. Disamping itu lampu LED yang diperuntukan sebagai penerangan memerlukan suatu inputan tegangan yang bersifat non-fluktuatif. Oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian driver yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan inputan yang diberikan berada dalam batasan yang konstan. Berikut adalah contoh rangkaian driver yang digunakan oleh lampu LED (HPLED)



Gambar 2.9 Contoh Skematik Driver HPLED

Lampu generasi pertama ditemukan oleh perusahaan lampu terkemuka di dunia, Philips, mengeluarkan lampu LED yang diperuntukan sebagai lampu penerangan. Lampu LED ini diberi nama Luxeon. Lampu ini berkembang dengan seri Luxeon I, III, dan V lalu berlanjut dengan LuxeonK2, Luxeon

Rebel, Luxeon Star, Luxeon Altilon, Luxeon Flash, Super Flux, dan Snap LED. [11]

1. Luxeon I

Luxeon I merupakan HPLED original buatan Lumileds dengan daya yang diserap mendekati 1 watt. Lampu ini terdiri dari emitter, anoda, katoda, circular base (dasar tempat peletakkan LED), dan lensa yang terintegrasi menjadi satu sirkuit. LED ini diletakkan di permukaan sebuah papan PCB dengan inti metal dan diperlukan juga heatsink untuk membuang panas hasil arus yang didisipasikan. Luxeon I memiliki variasi warna putih terang, putih sejuk, hijau, cyan, biru, merah, dan merah oranye.

2. Luxeon III

Luxeon ini menyerap daya sebesar 3 watt, luxeon III memiliki flux luminasi lebih besar daripada luxeon I. Variasi warna yang dimiliki adalah putih terang, putih sejuk, hijau, cyan, biru, merah, dan merah oranye.

3. Luxeon V

Luxeon ini menyerap daya hingga 5 watt dan menghasilkan flux luminasi kurang lebih 4 kali dari luxeon I dengan bentuk ukuran yang sama. Variasi warna yang dimiliki adalah putih sejuk, hijau, cyan, biru, dan biru dental (panjang gelombang yang dihasilkan mendekati ultraviolet yang biasa digunakan pada praktik dokter gigi).

4. Luxeon K2

Luxeon K2 merupakan emitter terbesar yang diproduksi, dengan hasil flux luminasi mencapai 200 lumens di arus 1500 mA per emitter. Permasalahan dari luxeon k2 adalah panas yang dihasilkan juga melebihi dari luxeon lainnya sehingga diperlukan heatsink dengan luas permukaan yang besar pula.

5. Luxeon Rebel

Luxeon rebel merupakan luxeon yang paling kecil baik penyerapan arus maupun flux luminasi yang dihasilkan (140 lumens untuk arus maksimum). Luxeon rebel merupakan pengganti semua jenis luxeon sebelumnya. Hal ini dikarenakan arus penyerapan yang lebih kecil sehingga panas yang dihasilkan akibat disipasi lebih kecil dengan begitu heatsink yang diperlukan juga semakin kecil. Namun jika ingin menghasilkan lumens besar pun perbandingan panas yang dihasilkan tetap lebih kecil daripada luxeon-luxeon sebelumnya.

6. Luxeon Altilon

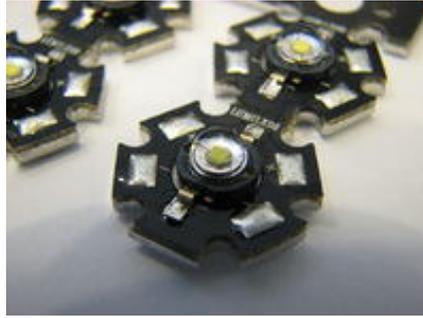
Luxeon altilon adalah seri luxeon terbaru yang diperuntukkan bagi pencahayaan otomotif. Luxeon seri ini mampu menghasilkan flux luminasi sampai 850 lumens di arus 1000 mA dengan temperatur 130° C.

7. Super Flux

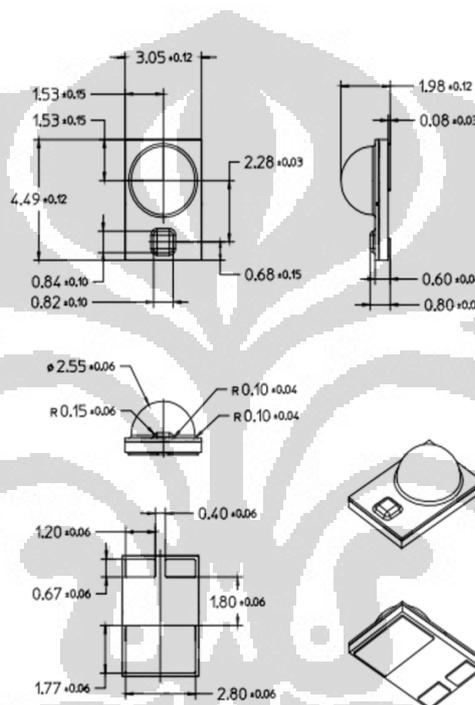
Super flux merupakan lampu LED yang diperuntukkan bagi pencahayaan otomotif khususnya di bagian lampu belakang dan lampu tanda peringatan. Pada seri ini LED yang digunakan menyerap arus sebesar 70 mA. Bentuknya yang seperti persegi sering ditiru oleh merek dagang lain.

8. Snap LED

Snap LED memiliki bentuk yang mirip dengan super flux. Perbedaannya terletak pada pin yang dimiliki. Pada snap LED terdapat 4 buah pin. Hal ini ditujukan untuk menghasilkan disipasi panas yang baik dan juga mengurangi jumlah penyolderan dari komponen ke LED. Snap LED menyerap arus sebesar 150 mA. Variasi warna hanya ada merah dan oranye. Hal ini dikarenakan pemakaiannya yang hanya digunakan pada otomotif.



Gambar 2.10 HPLED yang Digunakan Pada Seri Luxeon



Gambar 2.11 Skema Fisik LED Rebel (dengan semua satuan dalam milimimeter)

2.7 Data Sheet LED Penerangan

Berikut adalah data sheet yang diperoleh dari Luxeon dan data sheet lampu china.

2.7.1 Luxeon Rebel Data Sheet

Dari beberapa seri luxeon yang sudah dikembangkan, maka berikut data hasil pengujian Philips Lumileds untuk seri Rebel sebagai pengganti seri luxeon sebelumnya. [11]

Tabel 2.2 Perbandingan Flux dengan Variasi Flux Untuk Tiap Jenis Varian Luxeon

Nominal CCT/ Color	Part Number	Typical Luminous Flux (lm) @ 350 mA Forward Current	Typical Luminous Flux (lm) @ 700 mA Forward Current	Typical Luminous Flux (lm) @ 1000 mA Forward Current
4100K Neutral-White	LXML-PWN2	130	230	310
5650K Cool-White	LXML-PWC2	135	235	320
2700K	LXW9-PW27	75	135	184
3000K	LXW9-PW30	81	145	197
3500K	LXW8-PW35	103	185	252
4000K	LXH7-PW40	114	205	279
4000K	LXW8-PW40	106	190	258
5000K	LXW8-PW50	111	200	272

Tabel 2.3 Rating Luxeon Rebel

Parameter	4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 2700K, 3000K, 3500K, 4000K and 5000K
DC Forward Current (mA)	1000 mA
Peak Pulsed Forward Current (mA) [2]	1200 mA
Average Forward Current (mA)	1000 mA
ESD Sensitivity	< 8000V Human Body Model (HBM) Class 3A JESD22-A114-E
LED Junction Temperature ^[1]	150°C
Operating Case Temperature at 700 mA	-40°C - 135°C
Storage Temperature	-40°C - 135°C
Soldering Temperature	JEDEC 020c 260°C
Allowable Reflow Cycles	3
Autoclave Conditions	121°C at 2 ATM 100% Relative Humidity for 96 Hours Maximum
Reverse Voltage (Vr)	LUXEON Rebel ES LEDs are not designed to be driven in reverse bias

Pengembangan HPLED sebagai lampu penerangan tidak hanya dilakukan oleh Philips Lumileds saja. Beberapa perusahaan dengan merek dagang berbeda pun ikut serta melakukan pembuatan lampu LED sebagai penerangan karena melihat dari sisi daya yang diserap oleh HPLED relatif lebih rendah ketimbang lampu LHE dengan spesifikasi yang sama.

2.7.2 China Light Bulb Data Sheet

Berikut beberapa LED kembangan dari Cina 5W LED Bulb Light AH-G60E27-511B [12]



Gambar 2.12 5W LED Bulb Light AH-G60E27-511B

Rating power : 5 W

LED Qty : 5pcs

Luminous flux : 250-400lm

Size : D60*H115 mm

Physical Parameters:

- Overall Size: D60*H115mm
- Housing material:6063 Aluminum
- Base material: PC
- IP Rate : IP40
- Life span : 50,000 hours
- Net weight: 150g
- Surface temperature : $\leq 45^{\circ}\text{C}$
- LED weld point temperature : $\leq 48^{\circ}\text{C}$
- Working temperature: $-20^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$
- Storage temperature: $-20^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$
- Storage humidity: 20%~ 80%
- Working humidity: 10%~90%
- Indoor use

Optical Parameters:

- Output lumens: 250 lm(warm white), 400 lm(neutral white & cool white)
- Color temperature: Warm white(3000-3500K), Daylight white(4000-4500K), Cool white(5500-6500K) options
- Emitting angle: 15/18/30/45/60 degrees options
- Light source (LED chips) brand: CREE, Bridgelux, Edison
- Numbers of LEDs:5 pieces
- Lens type: PMMA Lens
- Color rendering index: 80+(warm white), 70+(daylight white & cool white)
- Illuminance: LX @ 1.0M, LX @2.0M, LX @3.0M
- Luminous efficacy: 73.9-100lm/watt

Electrical Parameters:

- Working voltage: 85-264Vac/dc
- Frequency: 50-60Hz

- Rated power: 5watts
- Protection: Input over current protection, Output short circuit protection,
- Output over current protection
- Pass EMI & LVD testing
- Power factor: 0.8
- Constant current LED drive



BAB 3

METODE PENGUJIAN

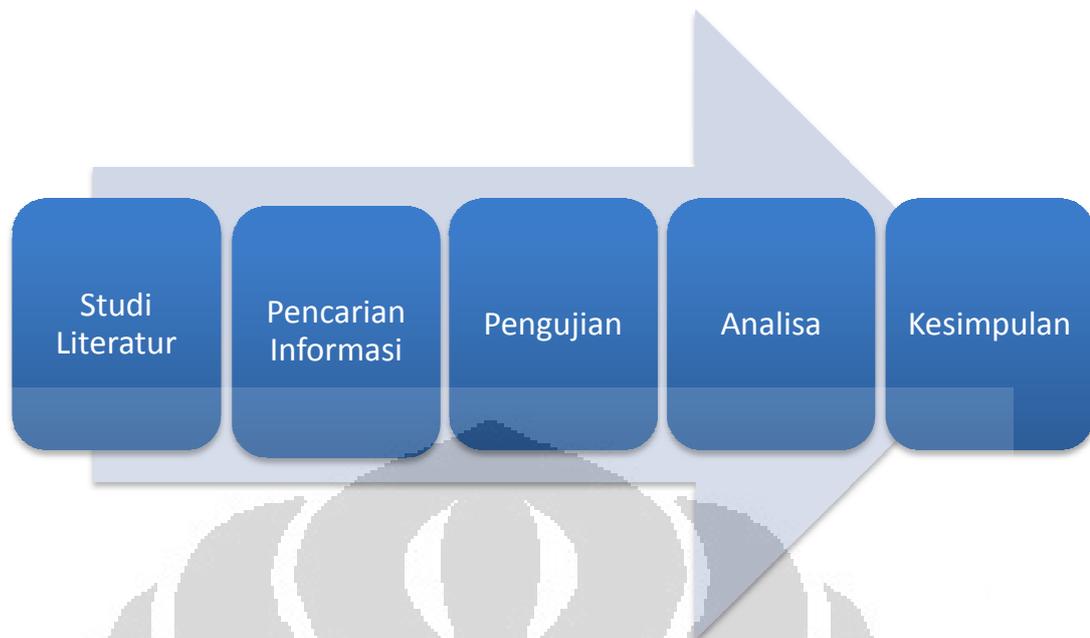
Pada bagian ini akan dijelaskan tentang metode pengujian untuk mengetahui besar flux iluminasi yang dihasilkan oleh lampu LED, LHE, dan lampu pijar serta kualitas daya lampu tersebut yang terdiri Philips Lumileds 4w, Philips Lumiled 5w, Philips Lumiled 9w, Altled 7w, Altled 15w, Philips Sitrang 3w, Philips Sitrang 5w, Panasonic 5w, Klauss 5w, serta lampu pijar Philips 25w. Pengujian flux iluminasi lampu LED dan LHE dilakukan dengan menggunakan photometer buatan yang dilengkapi dengan lux meter dan photometer dapat bergeser 180° vertikal dan 360° horizontal. Pengujian kualitas daya LED dan LHE dilakukan dengan menggunakan Hioki Power Analyzer.

3.1 Identifikasi Masalah dan Hipotesa Awal

Adapun permasalahan utama dari skripsi ini adalah sebagai berikut. Konsumsi daya yang rendah pada penggunaan lampu LED. Berdasarkan data sheet yang diperoleh bahwa daya lampu LED dengan LHE untuk iluminasi yang sama lebih rendah. Dengan demikian maka penggunaan energi listrik sehari-hari juga akan lebih rendah. Penggunaan energi listrik yang lebih rendah inilah yang akan mengindikasikan adanya penghematan energi. Diakrenanakan pemanfaatan lampu tidak hanya sebatas oleh konsumsi energinya sajai, maka perlu dilakukan suatu pengujian iluminasi dari lampu tersebut.

3.2 Metode Pengujian Kinerja LED

Adapun diagram alir atau tahapan-tahapan yang akan dilakuakan dalam penelitian adalah sebagai berikut



Gambar 3.1 Alur Metode Pengujian

Dimulai dari studi literatur, yaitu pembelajaran melalui jurnal-jurnal dengan studi kasus sejenis, ataupun melalui sumber-sumber dari internet dan buku-buku acuan dalam melakukan penelitian.

Tahap berikutnya adalah pencarian informasi, yaitu mencari mengenai segala informasi mengenai LED dan LHE.

Pengujian, yaitu melakukan uji coba terhadap lampu LED. Pengujian dilakukan terhadap daya listrik lampu dengan menaikkan dan menurunkan tegangan dengan variasi 180 volt, 220 volt, 240 volt. Disamping itu juga dilakukan pengujian iluminasi dengan photometer buatan. Analisa, yakni memaparkan hasil pengujian yang diperoleh.

Kesimpulan, yakni menarik kesimpulan hasil dari pengujian.

3.2.1 Pengujian Kualitas Daya Listrik Lampu LED, LHE, dan Pijar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas daya dan konsumsi energi oleh sebuah lampu LED dan LHE. Pada kualitas daya tersebut akan dimunculkan arus, tegangan, faktor daya, daya aktif, dan daya reaktif yang diserap oleh lampu LED dan LHE. Di samping itu ditambahkan juga dengan besar Total Harmonic Distortion (THD) baik tegangan maupun arus yang dimiliki oleh lampu LED dan juga LHE.

Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan 3 varian tegangan yakni 180 volt, 220 volt dan 240 volt.

3.2.2 Pengujian Iluminasi

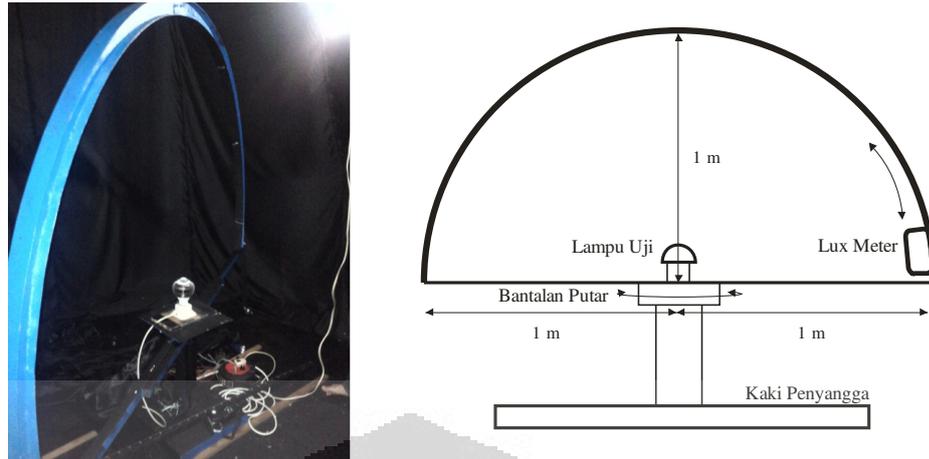
Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan besar flux iluminasi dari lampu LED dan LHE yang diuji. Hasil dari pengujian ini kemudian akan saling dibandingkan untuk menentukan apakah lampu LED dengan spesifikasi yang diujikan dapat menggantikan LHE dengan spesifikasi iluminasi yang sama. Setelah diperoleh hasil iluminasi dan daya listrik maka yang selanjutnya adalah menentukan efikasi lampu tersebut dengan membagi flux iluminasi dengan daya yang terukur untuk masing – masing variasi tegangan.

3.3 Peralatan dan Diagram Pengujian

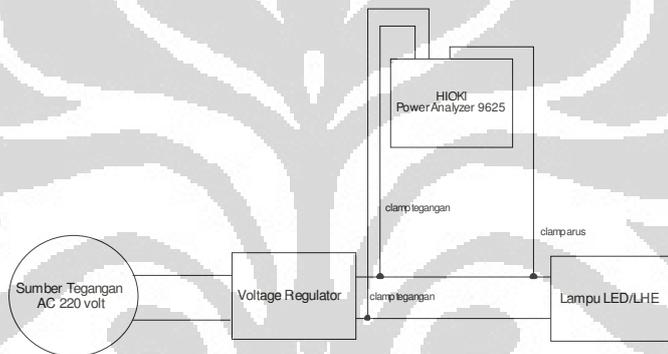
Untuk melakukan pengujian terhadap lampu HPLED ini akan dilakukan percobaan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Untuk pengujian konsumsi daya dan THD (Total Harmonic Distorsion) oleh lampu LED dan LHE digunakan HIOKI Power Analyzer 9369-20/21 dengan. Sedangkan untuk menguji iluminasi menggunakan Lux meter yang diletakkan pada photometer buatan yang dapat berputar 360° secara horizontal dan 180° secara vertikal.



Gambar 3.2 HIOKI Power Analyzer 9369-20/21



Gambar 3.3 Bidang Photometer



Gambar 3.4 Skema Pegukuran Kualitas Daya Lampu LED/LHE

Tabel 3.1 Contoh Hasil Pengujian Kualitas Daya Philips Lumileds 4w 180 V

LE118.CSV									
Measurement period 2/13/2012 09:43:00 - 2/13/2012 10:33:00									
Display period 2/13/2012 09:43:00 - 2/13/2012 12:38:00									
Measurement interval 5 Minute Data interval 5 Minute									
Date	Time	U1: Voltage CH1 Instantaneous value LE118.CSV[V]	I1: Current CH1 Instantaneous value Circuit 2 LE118.CSV[A]	P: Active power Instantaneous value Circuit 2 LE118.CSV[kw]	Q: Reactive power Instantaneous value Circuit 2 LE118.CSV[kvar]	PF: Power factor Instantaneous value Circuit 2, LE118.CSV	F: Frequency Instantaneous value LE118.CSV[Hz]	THD-F_U1: THD-F voltage CH1 Instantaneous value LE118.CSV[%]	THD-F_I1: THD-F current CH1 Instantaneous value Circuit 2, LE118.CSV[%]
Average value		181.02	0.0281	0.0039	-0.0019	-0.8995	49.876	1.19	56.59
Maximum value		182.72	0.0286	0.0040	-0.0019	-0.8966	50.047	1.26	57.81
Time of maximum value		2/13/2012 09:48:00	2/13/2012 09:43:00	2/13/2012 09:43:00	2/13/2012 09:53:00	2/13/2012 09:48:00	2/13/2012 10:08:00	2/13/2012 09:48:00	2/13/2012 09:43:00
Minimum value		179.43	0.0277	0.0039	-0.0020	-0.9018	49.680	1.14	54.42
Time of minimum value		2/13/2012 10:13:00	2/13/2012 10:18:00	2/13/2012 09:53:00	2/13/2012 09:43:00	2/13/2012 10:13:00	2/13/2012 10:23:00	2/13/2012 10:18:00	2/13/2012 10:03:00
2/13/2012	09:43:00	181.03	0.0286	0.0040	-0.0020	-0.8972	50.035	1.15	57.81
	09:48:00	182.72	0.0281	0.0040	-0.0020	-0.8966	49.897	1.26	56.66
	09:53:00	182.05	0.0281	0.0039	-0.0019	-0.8970	49.927	1.23	57.01
	09:58:00	181.53	0.0280	0.0039	-0.0019	-0.8980	49.857	1.21	56.56
	10:03:00	180.98	0.0279	0.0039	-0.0019	-0.8980	49.993	1.22	54.42
	10:08:00	179.77	0.0284	0.0039	-0.0019	-0.8991	50.047	1.18	57.34
	10:13:00	179.43	0.0281	0.0039	-0.0019	-0.9018	49.834	1.20	55.77
	10:18:00	182.21	0.0277	0.0039	-0.0019	-0.8988	49.740	1.14	55.39
	10:23:00	180.68	0.0280	0.0039	-0.0019	-0.8995	49.680	1.15	56.99
	10:28:00	180.50	0.0281	0.0039	-0.0019	-0.8989	49.732	1.16	57.03

BAB 4

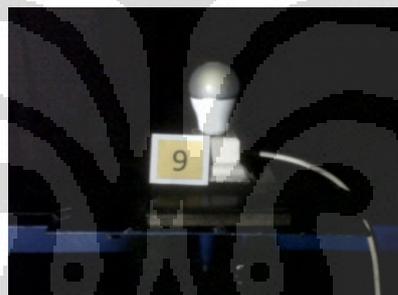
HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pada Bab IV ini diperoleh data yang sudah diolah terlebih dahulu sehingga menjadi seperti pada tabel yang tercantum. Untuk data Lux tercantum pada halaman lampiran sedangkan untuk data parameter listrik seperti daya, arus, faktor daya, dan harmonik data yang diambil adalah data dari rata – rata setiap pengukuran yang tertera pada hasil pengujian yang diolah dengan software 9625 Power Measurement Support.

4.1 Data Pengujian Lampu LED

Berikut adalah data - data pengujian lampu LED yang sudah diolah.

1. LED A 4w



Gambar 4.1 LED A 4w

Tabel 4.1 Data Pengujian LED A 4w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	3.9	4	4
I total (A)	0.0281	0.0244	0.0235
pf (lead)	0.8989	0.8424	0.807
THDv (%)	1.19	1.26	1.49
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 1.52	orde-5, 2.22	orde-5 2.59
THDi (%)	56.39	54.35	55.53
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0078	orde-3, 0.007	orde-3, 0.0067
Lumens	184.8987	185.4345	184.5582
Efikasi (lumens/watt)	47.4009	46.3586	46.1396

2. LED B 5w



Gambar 4.2 LED B 5w

Tabel 4.2 Data Pengujian LED B 5w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	5	5	5.1
I total (A)	0.0354	0.0299	0.0282
pf (lead)	0.915	0.8753	0.849
THDv (%)	1.19	1.26	1.49
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 1.52	orde-5, 2.22	orde-5 2.59
THDi (%)	58.59	53.12	51.93
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0096	orde-3, 0.0083	orde-3, 0.0079
Lumens	206.1763	206.1308	209.5319
Efikasi (lumens/watt)	41.2353	41.2262	41.0847

3. LED C 9w



Gambar 4.3 LED C 9w

Tabel 4.3 Data Pengujian LED C 9w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	8.8	8.8	8.8
I total (A)	0.0584	0.0478	0.0441
pf (lead)	0.9532	0.94	0.9298
THD _v (%)	1.41	1.54	1.56
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 1.73	orde-5, 2.57	orde-5, 2.77
THD _i (%)	53.65	50.62	48.64
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0152	orde-3, 0.0116	orde-3, 0.0109
Lumens	366.8898	371.3619	375.6527
Efikasi (lumens/watt)	41.692	42.2002	42.6878

4. LED D 7w



Gambar 4.4 LED D 7w

Tabel 4.4 Data Pengujian LED D 7w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	5.5	5.2	5.1
I total (A)	0.0558	0.052	0.0433
pf (lead)	0.9507	0.9657	0.9718
THDv (%)	1.73	1.76	1.74
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 2.74	orde-5, 3.36	orde-5, 3.68
THDi (%)	144.58	158.89	168.74
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0261	orde-3, 0.0212	orde-3, 0.0198
Lumens	258.0985	264.5307	263.6768
Efikasi (lumens/watt)	46.927	50.8713	51.7013

5. LED E 15w



Gambar 4.5 LED E 15w

Tabel 4.5 Data Pengujian LED E 15w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	14.2	15	15.6
I total (A)	0.147	0.1251	0.1206
pf (lead)	0.95	0.9548	0.957
THDv (%)	1.41	1.54	1.56
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 2.65	orde-5, 2.57	orde-5, 2.77
THDi (%)	143.68	140.32	144.81
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0712	orde-3, 0.063	orde-3, 0.0591
Lumens	863.2007	860.0605	879.9538
Efikasi (lumens/watt)	60.7888	57.3374	56.4074

4.2 Data Lampu Hemat Energi (LHE)

Berikut adalah data - data lampu LHE yang sudah diolah

1. LHE A 3w



Gambar 4.6 LHE A 3w

Tabel 4.6 Data Pengujian LHE A 3w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	2.3	3.1	3.6
I total (A)	0.0208	0.0229	0.0239
pf (lead)	0.8973	0.9092	0.9142
THDv (%)	1.81	1.92	1.92
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 2.03	orde-5, 2.88	orde-5, 3.1
THDi (%)	101.11	106.46	108.58
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0101	orde-3, 0.024	0.0177
Lumens	60.6454	75.7766	80.6869
Efikasi (lumens/watt)	26.3676	24.4441	22.413

2. LHE B 5w



Gambar 4.7 LHE B 5w

Tabel 4.7 Data Pengujian LHE B 5w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	4.1	5	5.4
I total (A)	0.036	0.0366	0.0367
pf (lead)	0.8756	0.8927	0.902
THDv (%)	1.44	1.38	1.39
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 2.25	orde-5, 2.87	orde-5, 3.12
THDi (%)	94.84	101.68	107.59
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0183	orde-3, 0.0184	orde-3, 0.0188
Lumens	116.2898	136.0552	138.5999
Efikasi (lumens/watt)	28.3634	27.211	25.6667

3. LHE C 5w



Gambar 4.8 LHE C 5w

Tabel 4.8 Data Pengujian LHE C 5w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	4.5	5.6	6.3
I total (A)	0.0379	0.0395	0.0406
pf (lead)	0.8553	0.8765	0.885
THDv (%)	1.81	1.92	1.92
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 2.03	orde-5, 2.88	orde-5, 3.1
THDi (%)	81.38	90.39	94.37
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0177	orde-3, 0.0192	orde-3, 0.0198
Lumens	118.9326	237.2093	250.7107
Efikasi (lumens/watt)	41.985	42.3588	39.795

4. LHE D 5w



Gambar 4.9 LHE D 5w

Tabel 4.9 Data Pengujian LHE D 5w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	4.7	5.9	6.5
I total (A)	0.0447	0.0467	0.0476
pf (lead)	0.9044	0.9135	0.9206
THDv (%)	1.41	1.56	1.59
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 1.92	orde-5, 2.34	orde-5, 3.21
THDi (%)	115.49	121.96	126.33
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0223	orde-3, 0.0242	orde-3, 0.0246
Lumens	170.7231	200.6359	210.5408
Efikasi (lumens/watt)	36.3241	34.0061	32.3909

4.3 Data Pengujian Lampu Pijar

Berikut adalah data lampu pijar yang sudah diolah

1. Pijar A 25w



Gambar 4.10 Lampu Pijar 25w

Tabel 4.10 Data Pengujian Lampu Pijar 25w

	Tegangan 180	Tegangan 220	Tegangan 240
Pin (watt)	17	23.2	26.9
I total (A)	0.0946	0.1051	0.1104
pf (lead)	0.9994	0.9993	0.9993
THDv (%)	1.41	1.56	1.59
Harmonik Maks. V (v)	orde-5, 1.92	orde-5, 2.43	orde-5, 3.21
THDi (%)	1.85	2.48	2.63
Harmonik Maks. i	orde-3, 0.0012	orde-3, 0.0021	orde-3, 0.0023
Lumens	38.8467	88.2306	126.386
Efikasi (lumens/watt)	2.2851	3.803	4.698

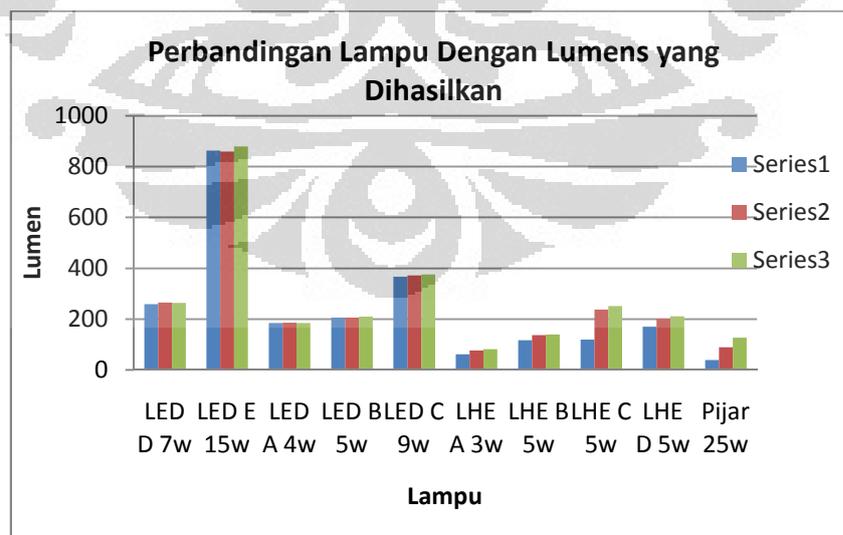
4.4 Perbandingan Data Lampu LED, LHE, dan Pijar

Setelah memperoleh semua data yang sudah diolah kemudian dilakukan perbandingan dari data – data tersebut. Adapun yang menjadi perbandingan antara lampu LED, LHE, dan pijar adalah lumens yang dihasilkan, efisiensi yang dihasilkan, daya yang dikonsumsi, dan % THD yang dihasilkan dimana % THD terdiri dari % THD v dan % THD i.

4.4.1 Perbandingan Lumens Tiap - Tiap Lampu

Tabel 4.11 Hasil Lumens dari Lampu yang Diuji

Lumens	Tegangan		
	180	220	240
LED D 7w	258.0985	264.5307	263.6768
LED E 15w	863.2007	860.0605	879.9538
LED A 4w	184.8987	185.4345	184.5582
LED B 5w	206.1763	206.1308	209.5319
LED C 9w	366.8898	371.3619	375.6527
LHE A 3w	60.6454	75.7766	80.6869
LHE B 5w	116.2898	136.0552	138.5999
LHE C 5w	118.9326	237.2093	250.7107
LHE D 5w	170.7231	200.6359	210.5408
Pijar 25w	38.8467	88.2306	126.386



Grafik 4.1 Perbandingan Lampu dengan Lumens yang Dihasilkan

Dimana :

- Series 1 = Tegangan 180 volt
- Series 2 = Tegangan 220 volt
- Series 3 = Tegangan 240 volt

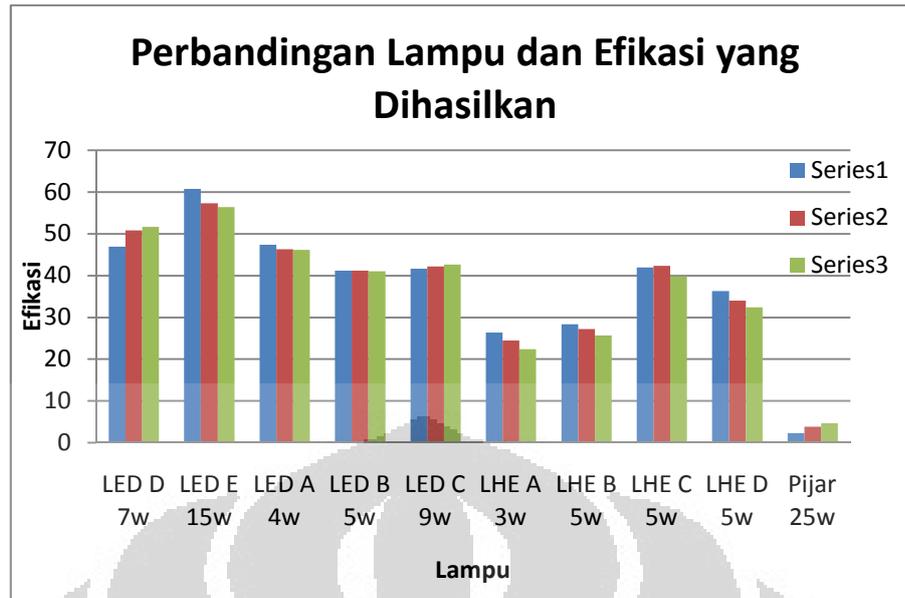
Dari grafik terlihat bahwa untuk lampu LED memiliki keluaran lumens yang rata-rata stabil untuk tiap perubahan tegangan baik dari 180, 220, dan 240 volt. Sedangkan untuk lampu LHE dan lampu pijar, lumens yang dihasilkan bervariasi dan tidak stabil untuk tiap perubahan tegangan. Hal ini menyatakan bahwa lampu LED akan mempertahankan lumens keluarannya tetap stabil dalam keadaan tegangan yang naik turun. Berbeda dengan LHE dan lampu pijar, kedua jenis lampu ini akan mengalami perubahan lumens sehingga tidak stabil. Pada umumnya lumens yang dihasilkan lampu LED lebih besar daripada lumens yang dihasilkan LHE pada daya yang relatif sama hanya saja terjadi perbedaan pada LHE C. Pada LHE C lumens yang dihasilkan lebih besar ketimbang LED dengan daya yang relatif sama bahkan lumens yang dihasilkan mendekati lumens pada LED D 7w. Pada LHE C lumens yang dihasilkan adalah 118.9326; 237.2093; 250.7107 pada tegangan 180, 220, dan 240 volt. Sedangkan LED D 7w menghasilkan lumens 258.0985; 264.5307 dan 263.6768 pada tegangan 180, 220, dan 240 volt. Memang hasil lumens LHE C mampu bersaing dengan LED yang bahkan berada pada kelas daya yang lebih tinggi, namun kestabilan lumens yang dihasilkan oleh LED lebih baik pada variasi tegangan 180 – 240 volt. Hal ini dikarenakan dari prinsip kerja lampu LHE bahwa eksitasi atau pelepasan elektron akan bergantung dari energi kinetik yang memungkinkan elektron untuk lepas dengan kata lain semakin menurun energi potensial atau tegangan yang diberikan maka energi eksitasi elektronpun akan semakin menurun. Berbeda halnya dengan lampu LED yang sudah dilengkapi dengan penyearah yang sedemikian rupa agar tegangan keluaran dari driver penyearah bertahan pada set point yang sudah ditentukan, meskipun tetap terjadi lonjakan, tetapi tidak sebesar yang terjadi pada LHE.

Sedangkan untuk lampu pijar sangat jelas terlihat bahwa lumens yang dihasilkan tidak sebanding dengan daya yang diserap, apabila dibandingkan dengan lampu LED dan LHE maka lumens lampu pijar sangat rendah, dengan kata lain tingkat keterangan lampu pijar jauh lebih rendah daripada lampu LED dan LHE. Dan pada hal ini lampu pijar hanya dijadikan suatu variabel pembandingan bahwa lampu jenis ini jauh lebih boros dalam konsumsi energi, namun lumens yang dihasilkan tidak sebanding dengan lampu LED atau LHE.

4.4.2 Perbandingan Efikasi

Tabel 4.12 Hasil Efikasi dari Lampu yang Diuji

Efikasi	Tegangan		
	180	220	240
LED D 7w	46.927	50.8713	51.7013
LED E 15w	60.7888	57.3374	56.4074
LED A 4w	47.4009	46.3586	46.1396
LED B 5w	41.2353	41.2262	41.0847
LED C 9w	41.692	42.2002	42.6878
LHE A 3w	26.3676	24.4441	22.413
LHE B 5w	28.3634	27.211	25.6667
LHE C 5w	41.985	42.3588	39.795
LHE D 5w	36.3241	34.0061	32.3909
Pijar 25w	2.2851	3.803	4.698

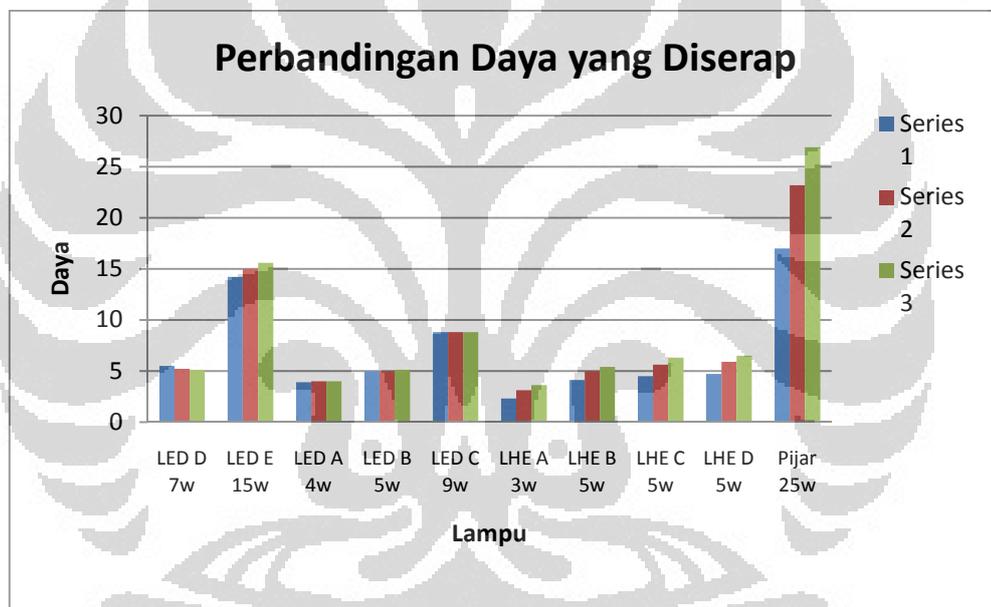


Grafik 4.2 Perbandingan Lampu dengan Efikasi yang Dihasilkan

Berdasarkan grafik efikasi hasil pengujian lampu, maka dapat dilihat bahwa efikasi yang dimiliki oleh lampu LED rata – rata lebih besar ketimbang LHE pada umumnya, namun terjadi hal yang berbeda dengan LHE C. Lampu jenis ini mampu memiliki efikasi yang relatif menyamai LED B 5w dan LED C9w hal ini sangat memungkinkan karena teknologi bentuk tornado membuat lumens meningkat sebab dari bentuk yang spiral itu membuat lumens dari sisi perpendaran yang satu dijumlah dengan lumens dari sisi perpendaran yang lain sehingga membuat efek seakan ada beberapa sumber lumener. Untuk tiap variasi tegangan, lampu LED A, B, dan C memiliki efikasi yang cenderung sama kecuali untuk lampu uji LED D 7w dan LED E 15w. Sedangkan untuk efiaksi dengan variasi tegangan pada LHE, cenderung menurun. Hal ini diakrenakan pada lampu LED khususnya pada LED A, B, dan C, daya yang diserap lampu tidak berubah secara signifikan untuk untuk tiap variasi tegangan sedangkan untuk LHE daya yang diserap selalu bertambah sesuai dengan bertambahnya variasi tegangan. Hal ini dapat dilihat dari tabel hasil penyerapan daya berikut.

Tabel 4.13 Hasil Daya dari Lampu yang Diuji

Daya	Tegangan			Rata-Rata
	180	220	240	
LED D 7w	5.5	5.2	5.1	5.26666667
LED E 15w	14.2	15	15.6	14.93333333
LED A 4w	3.9	4	4	3.96666667
LED B 5w	5	5	5.1	5.03333333
LED C 9w	8.8	8.8	8.8	8.8
LHE A 3w	2.3	3.1	3.6	3
LHE B 5w	4.1	5	5.4	4.83333333
LHE C 5w	4.5	5.6	6.3	5.46666667
LHE D 5w	4.7	5.9	6.5	5.7
Pijar 25w	17	23.2	26.9	22.36666667



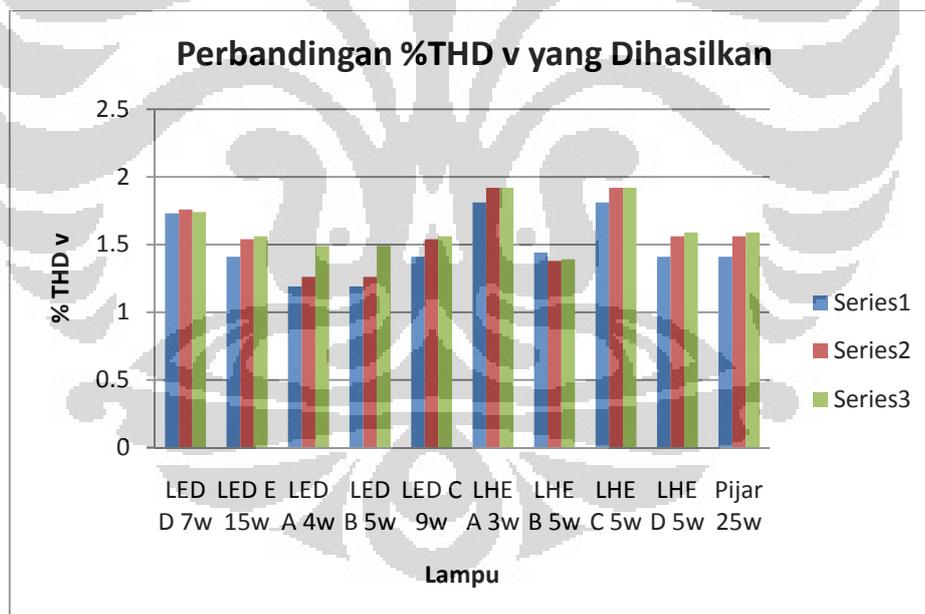
Grafik 4.3 Perbandingan Lampu dengan Daya yang Diserap

Namun secara keseluruhan efikasi LED berada di atas efikasi LHE. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyinaran lampu LED lebih besar daripada LHE untuk setiap watt-nya. Besar efikasi sendiri diperoleh dari lumens yang dihasilkan tiap lampu dibagi dengan daya yang dikonsumsi oleh masing-masing lampu tersebut.

4.4.3 Perbandingan Harmonik Tiap-Tiap Lampu Uji

Tabel 4.14 Hasil %THD v dari Lampu yang Diuji

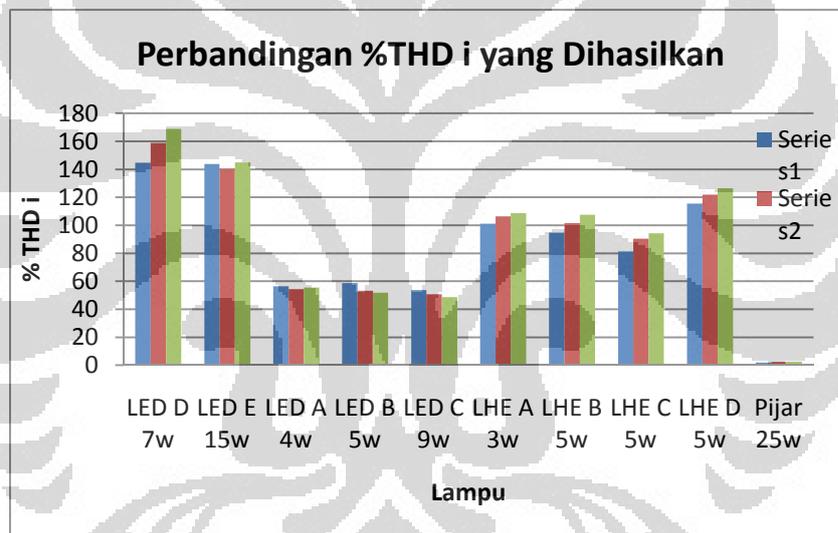
%THD v	Tegangan			Rata-Rata
	180	220	240	
LED D 7w	1.73	1.76	1.74	1.74333333
LED E 15w	1.41	1.54	1.56	1.50333333
LED A 4w	1.19	1.26	1.49	1.31333333
LED B 5w	1.19	1.26	1.49	1.31333333
LED C 9w	1.41	1.54	1.56	1.50333333
LHE A 3w	1.81	1.92	1.92	1.88333333
LHE B 5w	1.44	1.38	1.39	1.40333333
LHE C 5w	1.81	1.92	1.92	1.88333333
LHE D 5w	1.41	1.56	1.59	1.52
Pijar 25w	1.41	1.56	1.59	1.52
Rata-Rata Total				1.55866667



Grafik 4.4 Perbandingan Lampu dengan %THD v yang Dihasilkan

Tabel 4.15 Hasil %THD i dari Lampu yang Diuji

%THD i	Tegangan			Rata-Rata
	180	220	240	
LED D 7w	144.58	158.89	168.74	157.403333
LED E 15w	143.68	140.32	144.81	142.936667
LED A 4w	56.39	54.35	55.53	55.4233333
LED B 5w	58.59	53.12	51.93	54.5466667
LED C 9w	53.65	50.62	48.64	50.97
LHE A 3w	101.11	106.46	108.58	105.383333
LHE B 5w	94.84	101.68	107.59	101.37
LHE C 5w	81.38	90.39	94.37	88.7133333
LHE D 5w	115.49	121.96	126.33	121.26
Pijar 25w	1.85	2.48	2.63	2.32
Rata-Rata Total				88.0326667



Grafik 4.5 Perbandingan Lampu dengan %THD i yang Dihasilkan

Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa lampu LED, LHE, dan lampu pijar menghasilkan harmonik baik tegangan dan arus.

Berdasarkan standar IEEE 519 mengenai batasan harmonik tegangan maka semua jenis lampu uji berada di bawah batas harmonik tegangan yang diijinkan dimana %THD v pada tegangan di bawah 69 kV adalah 5%. Dan rata-rata lampu yang diujikan memiliki %THD v sebesar 1.55866667 % untuk semua variasi tegangan. Namun yang perlu diperhatikan adalah %THD v yang dihasilkan oleh LHE lebih besar dari daripada lampu LED. Khususnya untuk LHE C 5w dan LHE A 3w

dengan rata-rata untuk semua variasi tegangan adalah 1.833 %. Untuk lampu LED, semakin besar tegangan yang diberikan maka % THD v pun ikut bertambah. Berbeda dengan LHE yang hanya bertambah pada kenaikan dari tegangan 180 volt menjadi 220 volt, namun relatif tetap untuk kenaikan tegangan 220 menjadi 240 volt kecuali LHE B 5w yang mengalami penurunan dari tegangan 180 volt menjadi 220 volt dan tetap untuk tegangan 220 volt menjadi 240 volt. Namun secara keseluruhan lampu LED khususnya untuk LED A, B, dan C menghasilkan harmonik yang lebih kecil ketimbang LHE yang diuji pada umumnya.

Untuk harmonik arus, lampu LED D dan LED E menghasilkan %THD i yang lebih tinggi daripada lampu lainnya (termasuk LHE dan pijar). Untuk LED A, B, dan C %THD i yang dihasilkan lebih kecil daripada LED D dan LED E dan juga semua LHE yang diuji dan memiliki kecenderungan turun untuk setiap kenaikan variasi tegangan. Lampu LED A, B, dan C memiliki % THD i yang berkisar pada 50% sedangkan untuk semua lampu LHE memiliki %THD i yang berkisar 80% - 100%. Pada lampu pijar %THD i yang dihasilkan adalah yang paling rendah dari semua variasi lampu yakni 2%.

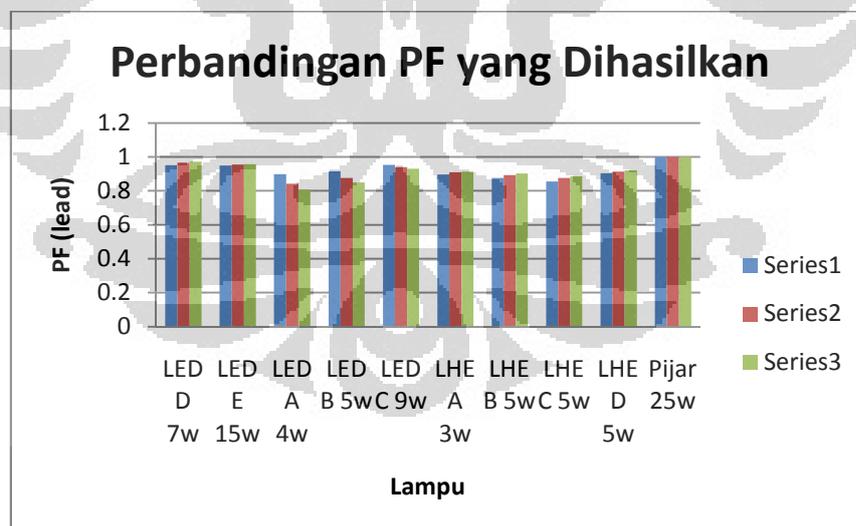
Secara keseluruhan yang menjadi perhatian dari harmonik yang dihasilkan lampu uji adalah harmonik arus. Karena harmonik tegangan yang dihasilkan berada di bawah batas standar yang sudah ditentukan. Harmonik arus pada umumnya dapat menyebabkan gangguan pada sistem, seperti resonansi yang dapat menyebabkan rusaknya kapasitor kompensator, menurunkan faktor daya, menimbulkan kerusakan alat yang sensitif ataupun peningkatan besar arus yang diserap dari nominal arus yang seharusnya oleh beban, sehingga sangat dianjurkan menggunakan filter tambahan untuk setiap penggunaan lampu LED dan LHE baik dari sisi konsumen atau penyedia listrik. Memang arus yang dihasilkan dari total harmonik lampu uji tidak sebesar beban lainnya yang menyerap arus jauh lebih besar seperti motor atau komputer. Namun juga perlu menjadi perhatian karena jumlah pemakaian lampu

bisa mencapai skala juta berdasarkan data rujukan pelanggan PLN tahun 2010 dimana totalnya adalah 42 juta pelanggan dan sekitar 30% total pemakaian listrik dari pelanggan adalah penerangan.

4.4.4 Perbandingan Faktor Daya

Tabel 4.16 Hasil Faktor Daya dari Lampu yang Diuji

pf (lead)	Tegangan		
	180	220	240
LED D 7w	0.9507	0.9657	0.9718
LED E 15w	0.95	0.9548	0.957
LED A 4w	0.8989	0.8424	0.807
LED B 5w	0.915	0.8753	0.849
LED C 9w	0.9532	0.94	0.9298
LHE A 3w	0.8973	0.9092	0.9142
LHE B 5w	0.8756	0.8927	0.902
LHE C 5w	0.8553	0.8765	0.885
LHE D 5w	0.9044	0.9135	0.9206
Pijar 25w	0.9994	0.9993	0.9993



Grafik 4.6 Perbandingan Lampu dengan Faktor Daya yang Dihasilkan

Berdasarkan data yang diperoleh, faktor daya yang dimiliki oleh semua lampu adalah leading, namun untuk lampu pijar karena nilainya adalah 0.999 maka dapat dikatakan sudah menyamai 1 dengan kata lain lampu

pujar dianggap sebagai beban resistif saja. Berbeda dengan lampu LED dan LHE yang bersifat kapasitif. Untuk LED A, B, dan C faktor daya cenderung turun sesuai dengan peningkatan variasi tegangan sedangkan untuk LED D dan E dan semua LHE faktor daya cenderung meningkat sesuai dengan peningkatan variasi tegangan. Dengan sifatnya yang kapasitif ini mungkin saja memakai lampu LED dan LHE sebagai kompensator, namun yang jadi pertimbangannya adalah daya yang dimiliki oleh sebuah lampu berkisaran pada dua puluhan watt sedangkan beban induktif pada umumnya bisa melebihi ratusan watt. Oleh karenanya pemanfaatan lampu LED dan LHE sebagai kompensator tidak direkomendasikan namun apabila digunakan sebagai penerangan yang dapat membantu sedikit membantu kompensasi bisa saja direkomendasikan.

4.5 Peluang Penghematan yang Dapat Dilakukan Lampu LED

Setelah memperoleh hasil pengujian maka dapat dibuat suatu simulasi dimana dari simulasi ini dapat dilihat peluang penghematan yang dapat dilakukan oleh lampu LED

4.5.1 Peluang Penghematan Energi Listrik

Untuk membandingkan seluruh lampu yang diuji maka parameter yang perlu diperhatikan adalah lumens dan daya yang dikonsumsi oleh tiap – tiap lampu. Dengan kata lain untuk membandingkan semua jenis lampu yang diperlukan adalah perbandingan efikasi dari lampu – lampu tersebut. Karena efikasi merupakan perbandingan jumlah lumens per satuan daya sehingga dapat diperoleh perbandingan lumens pada daya yang sama yakni 1 watt. Jika satuan tersebut ditukar menjadi daya per lumens dapat diperoleh perbandingan daya dari tiap – tiap lampu dengan jumlah lumens yang sama yakni 1 lumens. Karena lampu LED yang akan menjadi titik acuan maka perbandingan efikasi dan $1/\text{efikasi}$ tadi dibandingkan dengan lampu LED dengan membagi

efikasi lampu LED dengan efikasi tiap – tiap lampu uji lain dan 1/ efikasi dengan 1/ efikasi dari lampu LED.

Dari semua hasil lampu yang diuji, lumens lampu LED memiliki sifat linearitas sehingga sampel terbaik lampu LED dipilih LED A 4w karena memiliki efikasi besar dengan % THD i dan % THD v yang lebih rendah dari lampu LED lainnya. Sedangkan untuk LHE diambil LHE D 5w dan LHE C 5w dikarenakan LHE D 5w adalah LHE bentuk umum yang memiliki efikasi terbesar dan LHE C 5w adalah LHE dengan bentuk tornado yang memiliki efikasi terbesar. Berikut tabel komparasi efikasi dan 1/efikasi dari lampu – lampu tersebut.

Tabel 4.17 Komparasi dengan Daya Sama

Jenis Lampu	Efikasi (lm/w)	Komparasi Terhadap LED
LED A 4w	46.3586	1
LHE D 5w	34.0061	1.363244
LHE C 5w	42.3588	1.094427
Pijar 25w	3.803	12.19001

Tabel 4.18 Komparasi dengan Lumens Sama

Lampu	1/efikasi (w/lm)	Komparasi Daya Terhadap LED
LED A 4w	0.02157097	1
LHE D 5w	0.02940649	1.363243653
LHE C 5w	0.02360785	1.09442666
Pijar 25w	0.2629503	12.19000789

Dari tabel 4.17 dan 4.18 maka terdapat hasil komparasi yang sama untuk tiap – tiap lampu terhadap lampu LED, untuk lumens yang sama yakni satu lumen ternyata LHE bentuk umum memerlukan daya 1.36 kali dari lampu LED, bentuk tornado memerlukan daya 1.09 kali lampu LED, dan lampu pijar memerlukan daya 12.19 kali lampu LED. Untuk daya sama yakni satu watt maka LED menghasilkan 1,36 kali LHE bentuk umum, 1,09 kali LHE tornado, dan 12,19 kali lampu pijar. Oleh karena itu dapat diaktakan bahwa 1 buah lampu LED setara

dengan 1.36 kali LHE bnetuk umum, 1.09 kali LHE tornado, dan 12.19 kali lampu pijar.

Dari data efikasi dan 1/efikasi dapat dibuat suatu simulasi konsumsi energi listrik dengan menggunakan parameter standar lux dari IES dan jumlah pelanggan listrik di Indonesia untuk kelas Residen adalah sekitar 36 juta berdasarkan data konsumen PLN tahun 2010, dimana diasumsikan bahwa seluruh pelanggan tersebut memerlukan penerangan untuk pengelihat biasa pada ruang seluas 16 m² selama 8 jam. Berdasarkan persamaan (2.1)

$$Lux = \frac{Flux}{Area} = \left[\frac{lumens}{m^2} \right]$$

maka dapat disubtitusikan

$$Lux = \frac{Efikasi \times Daya \text{ yang diperlukan}}{Area} \quad (4.1)$$

$$Daya \text{ yang diperlukan} = \frac{Area \times Lux}{Efikasi} \quad (4.2)$$

$$Energi \text{ yang Dikonsumsi} = Daya \times waktu \quad (4.3)$$

Tabel 4.19 Perbandingan Daya Lampu

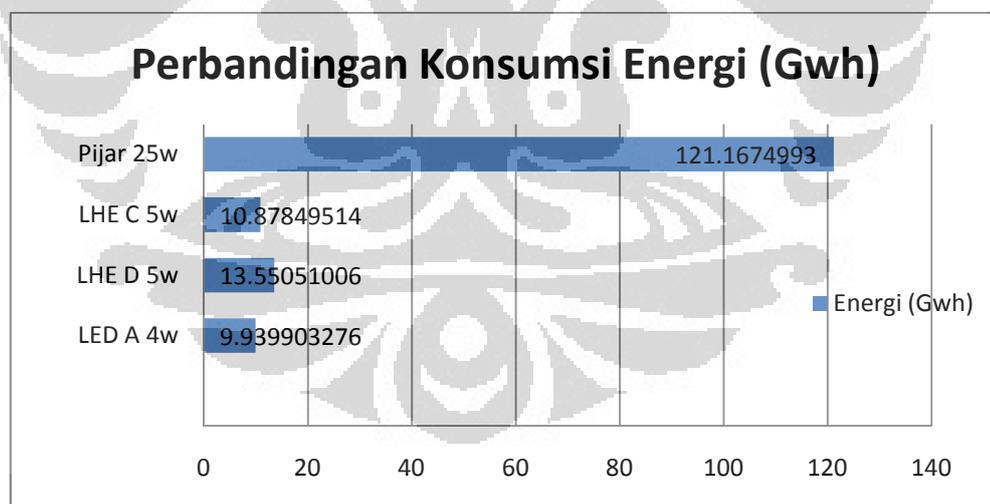
Jenis Lampu	Lux	Area (m ²)	Lumens yang Diperlukan	1/Efikasi	Daya yang Diperlukan (w)	Perbandingan Konsumsi Daya Terhadap LED
LED A 4w	100	16	1600	0.021570971	34.51355	1
LHE D 5w	100	16	1600	0.029406489	47.05038	1.363244
LHE C 5w	100	16	1600	0.023607845	37.77255	1.094427
Pijar 25w	100	16	1600	0.262950302	420.7205	12.19001

Dari tabel 4.19 dapat terlihat bahwa perbandingan daya untuk tiap – tiap lampu terhadap lampu LED ternyata sama dengan perbandingan efikasi maupun 1/efikasi. Dan dari sini dapat dikatakan bahwa untuk menghasilkan intensitas penerangan yang sama (lumens) maka perbandingan konsumsi daya lampu adalah 1 watt lampu LED akan setara dengan 1.36 watt LHE biasa, 1.09 watt LHE tornado, dan 12.19

watt lampu pijar. Dan apabila dikonversikan ke dalam kapasitas konsumsi daya lampu yang diujikan, maka LED 4 watt setara dengan LHE 5.45 watt, LHE tornado 4.38 watt, dan lampu pijar 48.76 watt. Dengan data berdasarkan tabel 4.19 dapat disimulasikan jumlah konsumsi energi listrik dengan asumsi bahwa seluruh pelanggan PLN dengan kelas residen memerlukan penerangan sebesar 100 lux untuk ruangan seluas 16 m² selama 8 jam/hari. Dan hasil simulasi ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.20 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik

Jenis Lampu	Daya yang Diperlukan /Pelanggan	Jumlah Pelanggan (juta)	Daya Total yang Diperlukan (Gw)	Waktu (h)	Energi (Gwh)	Selisih Konsumsi Energi Terhadap LED	% Penghematan Terhadap LED
LED A 4w	34.51355	36	1.242488	8	9.939903	0	0
LHE D 5w	47.05038	36	1.693814	8	13.55051	3.610607	36.32437
LHE C 5w	37.77255	36	1.359812	8	10.8785	0.938592	9.442666
Pijar 25w	420.7205	36	15.14594	8	121.1675	111.2276	1119.001



Grafik 4.7 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik untuk Semua Pelanggan Residen

Dari tabel 4.20 dapat dilihat bahwa konsumsi energi listrik lampu LED merupakan yang paling rendah jika dibandingkan dengan energi yang dikonsumsi oleh jenis lampu lainnya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa adanya peluang penghematan energi listrik yang

dimiliki oleh lampu LED apabila seluruh konsumen energi listrik memanfaatkan lampu LED sebagai penerangan dengan intensitas penerangan yang sama.

4.5.2 Peluang Penghematan Biaya

Dari tabel 4.20 terlihat bahwa lampu LED memiliki peluang untuk menghemat konsumsi energi listrik. Namun permasalahan selanjutnya adalah harga lampu LED di pasaran jauh lebih tinggi dari LHE pada umumnya. Oleh karena itu perlu juga dipertimbangkan dari segi ekonomis mengenai biaya lampu LED ini. Baik biaya awal atau harga lampu tersebut dan biaya konsumsi energi listrik. Untuk melihat dari sisi perhitungan ekonomi maka digunakan depresiasi garis lurus dengan anggapan bahwa harga lampu di masa yang akan datang akan mengalami penurunan harga seiring bertambahnya waktu, pada umumnya adalah per satu tahun.

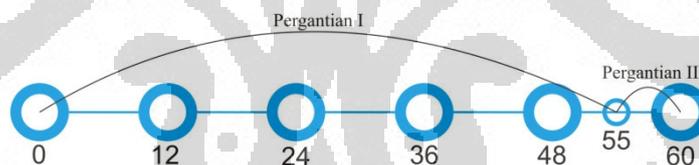
Dimana mula – mula mengubah masa pakai lampu dalam satuan tahun, dimana satu tahun terdiri dari 365 hari dan satu hari terdiri dari 24 jam sehingga satu tahun terdiri dari 8760 jam sehingga masa pakai lampu LED A 4w dibagi dengan jumlah jam/tahun adalah 4.57 tahun, masa pakai LHE D 5w adalah 0.91 tahun, LHE C 5w adalah 1.14 tahun, dan lampu pijar 25 w adalah 0.22 tahun. Selanjutnya dilakukan perubahan bentuk tahun menjadi bentuk bulan dimana satu tahun adalah 12 bulan sehingga diperoleh masa pakai LED A 4w adalah 55 bulan, LHE D 5w adalah 11 bulan, LHE C 5w adalah 14 bulan, dan lampu pijar adalah 3 bulan dengan asumsi bahwa tiap – tiap lampu tidak mengalami penurunan kualitas efikasi atau lumens sebelum habis masa pakainya.

Kemudian dibuat simulasi pemakaian dengan masa pakai selama 5 tahun dan 10 tahun dengan penurunan harga barang adalah 8 % per tahun dimana diasumsikan biaya energi listrik per kwh tetap yakni Rp 560,00/kwh dan intensitas penerangan yang diperlukan adalah 100 lux untuk ruangan seluas 16 m². Dimana terjadi pergantian lampu

Tabel 4.21 Pergantian Lampu Untuk Pemakaian 5 dan 10 Tahun

Jenis Lampu	Masa Pakai Lampu (Bulan)	Masa Pakai Lampu (Tahun)	Pergantian Untuk 5 Tahun	Pergantian Untuk 10 Tahun
LED A 4w	55	4.57	2	5
LHE D 5w	11	0.91	6	11
LHE C 5w	14	1.14	6	9
Pijar 25w	3	0.22	20	46

Terdapat dua masa pakai lampu yakni tahun dan bulan karena perbedaan masa pakai ini akan menentukan di tahun ke berapa lampu akan diganti, sebagai contoh adalah pergantian lampu Lumileds 4w selama masa pakai 5 tahun dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.11 Proses Pergantian Lampu Berdasarkan Masa Pakai Bulan

Maka berdasarkan gambar 4.11 Lumileds 4w akan mengalami pergantian lampu di pertengahan tahun ke-4 sehingga harga pergantian lampu tersebut akan mengalami penyusutan sesuai dengan tahun ke-4. Begitu pula proses perhitungan untuk lampu – lampu lainnya.

Setelah memperoleh hasil pergantian lampu maka selanjutnya dicari biaya konsumsi energi listrik yang diperlukan selama per bulan dan per tahun. Dan hasilnya adalah sebagai berikut

Tabel 4.22 Biaya Konsumsi Energi Listrik per Bulan dan per Tahun

Jenis Lampu	Energi / Tahun (kWh)	Energi / Bulan (kwh)	Biaya / kWh	Biaya / Bulan (Rp)	Biaya / Tahun (Rp)
LED A 4w	302.34	24.84975819	560.00	13,915.86	169,309.69
LHE D 5w	412.16	33.87627514	560.00	18,970.71	230,810.35
LHE C 5w	330.89	27.19623785	560.00	15,229.89	185,297.03
Pijar 25w	3,685.51	302.9187484	560.00	169,634.50	2,063,886.41

Adapun biaya lampu yang diperlukan untuk saat ini adalah

Tabel 4.23 Biaya Lampu Saat Ini

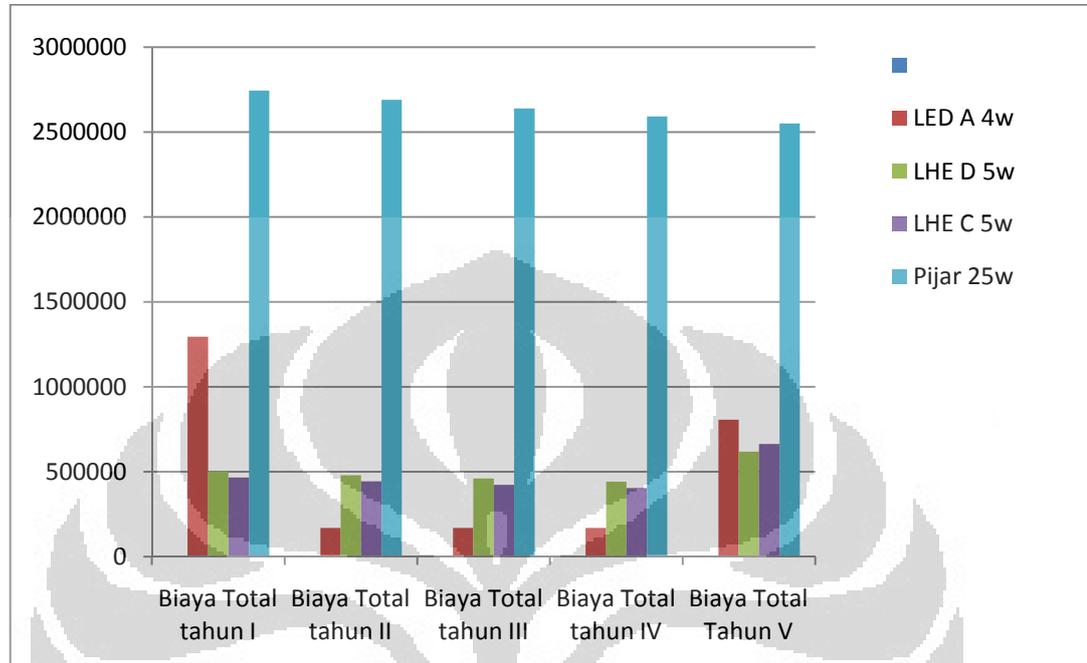
Jenis Lampu	Lampu yang Diperlukan	Harga Lampu (Rp)	Biaya Lampu (Rp)
LED A 4w	9.00	125,000	1,125,000
LHE D 5w	10.00	27,000	270,000
LHE C 5w	8.00	35,000	280,000
Pijar 25w	17.00	10,000	170,000

Berdasarkan asumsi sebelumnya bahwa harga lampu akan mengalami penyusutan sebesar 8 % per tahunnya sehingga apabila lama pemakaian direncanakan adalah 5 tahun maka dapat dibuat tabel depresiasi dengan metode garis lurus sebagai berikut

Tabel 4.24 Biaya Total Lampu Selama 5 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus

Jenis Lampu	Masa Pakai 1 tahun (jam)	Biaya Total tahun I	Biaya Total tahun II	Biaya Total tahun III	Biaya Total tahun IV	Biaya Total Tahun V	Total Biaya Selama 5 tahun
LED A 4w	8760	1,294,310	169,309.69	169,309.69	169,309.69	806,066.33	2,608,305
LHE D 5w	8760	500,810	479,210.35	459,338.35	441,056.11	617,831.93	2,498,247
LHE C 5w	8760	465,297	442,897.03	422,289.03	403,329.67	662,626.56	2,396,439
Pijar 25w	8760	2,743,886	2,689,486.41	2,639,438.41	2,593,394.25	2,551,033.62	13,217,239

Adapun hasil tabel 4.24 dapat dijadikan suatu grafik tersendiri untuk mempermudah melihat perbandingan biaya harga per tahun selama lima tahun adalah sebagai berikut

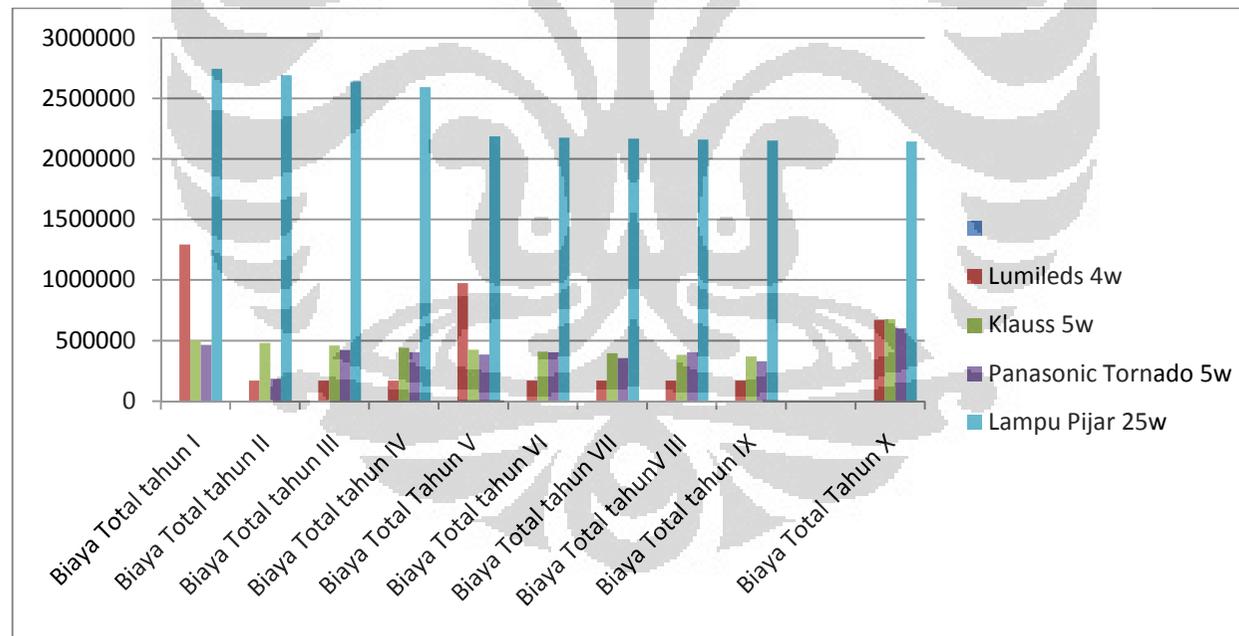


Grafik 4.8 Biaya Total Tahunan Selama 5 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus

Dan apabila dibuat tabel depresiasi metode garis lurus untuk pemakaian selama 10 tahun adalah sebagai berikut

Tabel 4.25 Biaya Total Lampu Selama 10 Tahun dengan Depresiasi Metode Garis Lurus

Jenis Lampu	Biaya Total tahun I	Biaya Total tahun II	Biaya Total tahun III	Biaya Total tahun IV	Biaya Total Tahun V	Biaya Total tahun VI	Biaya Total tahun VII	Biaya Total tahunV III	Biaya Total tahun IX	Biaya Total Tahun X	Total Biaya
LED A 4w	1,294,309.7	169,309.7	169,309.7	169,309.7	975,251.8	169,309.7	169,309.7	169,309.7	169,309.7	169,309.7	4,125,069.4
LHE D 5w	500,810.4	479,210.4	459,338.4	441,056.1	424,236.5	408,762.4	394,526.2	381,428.9	369,379.5	675,484.6	4,534,233.2
LHE C 5w	465,297.0	185,297.0	422,289.0	403,329.7	385,887.1	403,329.7	355,076.4	403,329.7	328,998.3	602,006.3	3,954,840.3
Pijar 25w	2,743,886.4	2,689,486.4	2,639,438.4	2,593,394.2	2,185,673.2	2,175,930.3	2,166,966.8	2,158,720.3	2,151,133.6	2,144,153.8	23,648,783.5



Grafik 4.9 Biaya Total Tahunan Selama 10 Tahun Dengan Depresiasi Metode Garis Lurus

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan depresiasi metode garis lurus dimana terjadi penyusutan harga lampu per tahunnya dianggap tetap sebesar 8% dan biaya listrik dianggap tetap maka untuk hasil pemakaian 5 tahun pertama, LED A 4w memiliki total biaya lebih besar ketimbang LHE D 5w dan Panasonic LHE C 5w. Meskipun untuk biaya total pada tahun II, III, dan IV Lumileds akan lebih murah karena efek dari masa pakai LED yang lebih panjang dari lampu lainnya, tetapi setelah masa pakainya habis dan terjadi pergantian lampu maka biaya Lumileds 4w akan naik lagi walaupun sudah terjadi penurunan harga dari penyusutan sebesar 8% setiap tahunnya. Adapun hasil selisih biaya total Lumileds dengan lampu lain selama pemakaian 5 tahun adalah sebagai berikut

Tabel 4.26 Selisih Total Biaya Selama Pemakaian 5 Tahun

Jenis Lampu	Selisih Total Biaya (Rp)
LED A 4w	0
LHE D 5w	110,058
LHE C 5w	211,866
Pijar 25w	-10,608,934

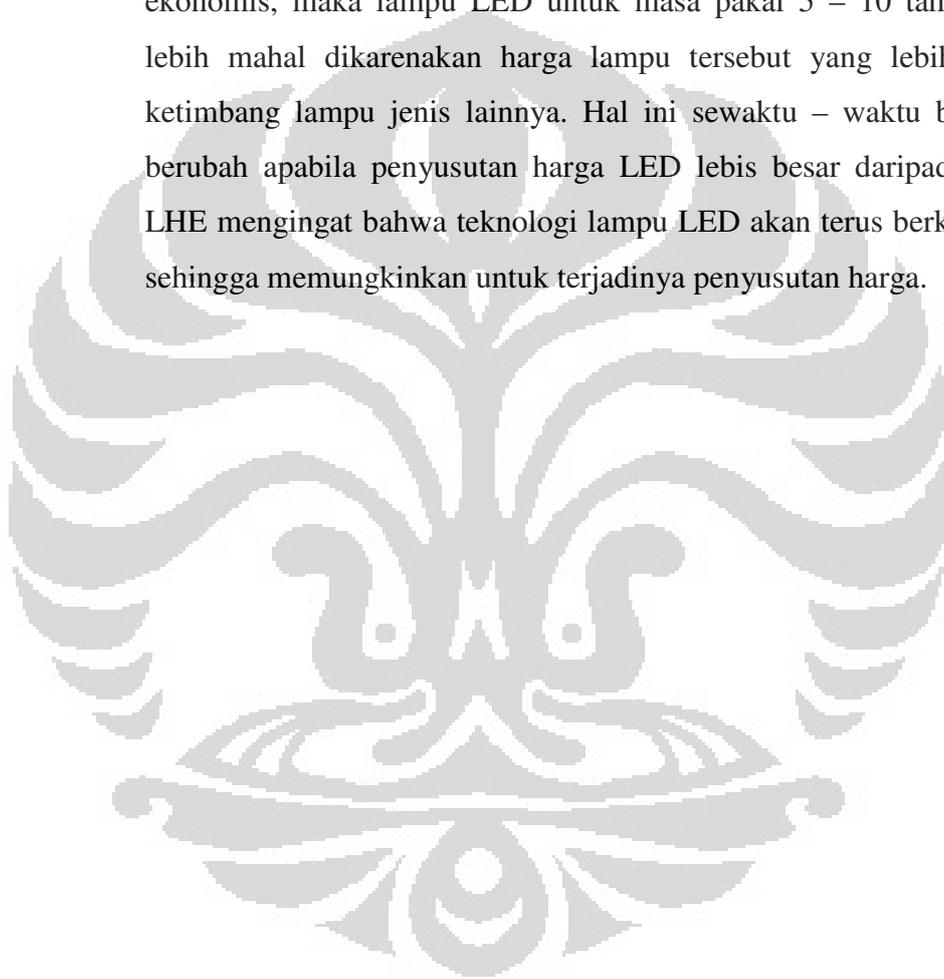
Tanda negatif (-) berarti total biaya LED A 4w lebih murah sebesar nominal tersebut. Maka untuk pemakaian selama 5 tahun lampu LED lebih mahal ketimbang LHE, tetapi lebih murah dari lampu pijar.

Untuk pemakaian selama 10 tahun dengan pola perhitungan yang sama dengan masa pemakaian selama 5 tahun dihasilkan selisih biaya total sebagai berikut

Tabel 4.27 Selisih Total Biaya Selama Pemakaian 10 Tahun

Jenis Lampu	Selisih Total Biaya (Rp)
LED A 4w	0
LHE D 5w	409,164
LHE C 5w	-170,229
Pijar 25w	19,523,714

Untuk pemakaian selama 10 tahun total biaya LED A 4w akan lebih murah daripada LHE D 5w dengan selisih Rp 409.164,00, sedangkan untuk LHE C 5w, total biaya LED A 4w masih lebih mahal dengan selisih Rp 170.229,00, dan untuk lampu pijar, LED A 4w akan lebih murah dengan selisih Rp 19.523.714,00. Ini menandakan bahwa pemakaian lampu LED memang akan lebih menghemat energi ketimbang lampu jenis lainnya. Namun apabila dilihat dari segi ekonomis, maka lampu LED untuk masa pakai 5 – 10 tahun akan lebih mahal dikarenakan harga lampu tersebut yang lebih mahal ketimbang lampu jenis lainnya. Hal ini sewaktu – waktu bisa saja berubah apabila penyusutan harga LED lebih besar daripada harga LHE mengingat bahwa teknologi lampu LED akan terus berkembang sehingga memungkinkan untuk terjadinya penyusutan harga.



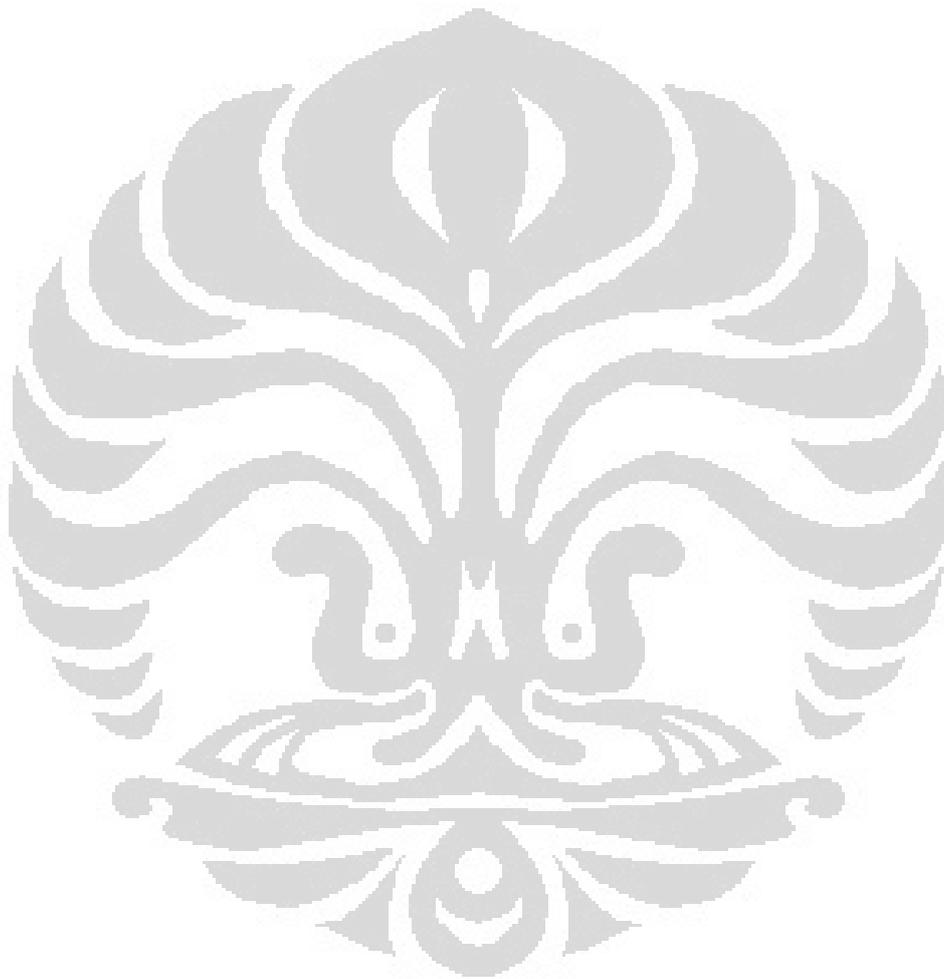
BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data dan analisis yang sudah diberikan pada Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Lampu LED dengan % THD v dan % THD i terendah memiliki efikasi yang lebih baik daripada jenis lampu LHE, LHE tornado, dan lampu pijar dengan besar efikasi LED A 4w 46.3586 lm/watt, efikasi LHE D 5w 34.0061 lm/watt, efikasi LHE C 5w 42.3588 lm/watt, dan lampu pijar 3.803 lm/watt.
2. Dengan intensitas penerangan yang sama, 1 watt LED setara dengan 1.36 watt LHE; 1.09 watt LHE tornado; 12.19 watt lampu pijar. Atau lampu LED 4 watt setara dengan LHE 5.45 watt ; LHE tornado 4.38 watt; dan lampu pijar 48.76 watt.
3. Dengan intensitas penerangan yang sama lampu LED A akan lebih hemat 36.32 % dari LHE D, 9.44 % dari LHE C, dan 1119 % dari lampu pijar. Lampu LED A memiliki peluang penghematan konsumsi energi listrik antara 0.938 Gwh – 3.61 Gwh per hari apabila seluruh pelanggan residen dengan jumlah waktu pemakaian yang sama mengganti lampu penerangannya dengan LED.
4. Setelah pemakaian selama 5 tahun dengan penyusutan harga awal sebesar 8% dan biaya konsumsi energi listrik tetap, total biaya lampu LED A 4w adalah Rp 2.608.305,00, LHE D 5w Rp 2.498.247,00, LHE C 5w Rp 2.396.439,00, dan lampu pijar Rp 13.217.239,00. Dengan demikian biaya total pemakaian lampu LED A akan lebih mahal Rp 110.058,00 dari LHE D 5w, lebih mahal Rp 211.866,00 dari LHE C 5w, dan lebih murah Rp 10.608.934,00 dari lampu pijar.
5. Setelah Pemakaian selama 10 tahun dengan penyusutan harga awal sebesar 8% dan biaya konsumsi energi listrik tetap, total biaya lampu LED A 4w adalah Rp 4.125.069,40, LHE D 5w Rp 4.534.233,20, LHE C 5w Rp 3.954.840,30, dan lampu pijar Rp 23.648.783,50. Dengan demikian biaya total pemakaian lampu LED A 4w akan lebih mahal Rp 170.229,00 dari LHE C

5w, dan lebih murah Rp 409.164,00 untuk LHE D 5w dan Rp 19.523.714,00 untuk lampu pijar.

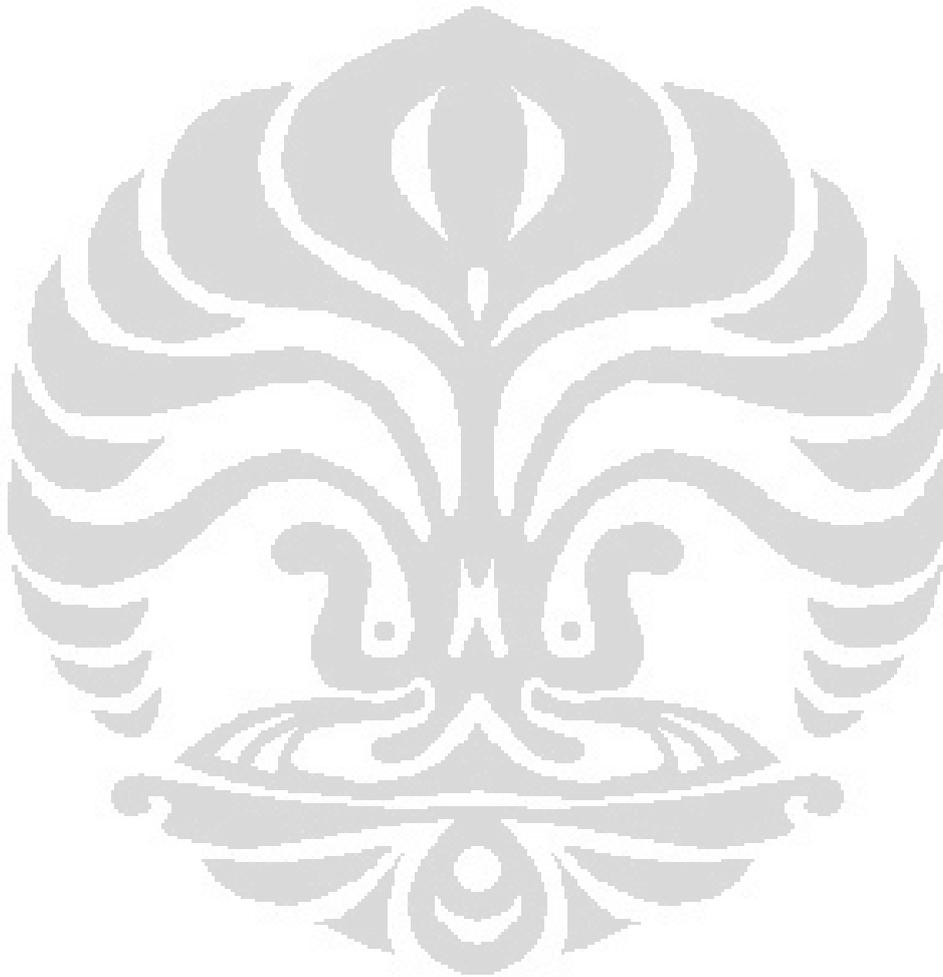


DAFTAR ACUAN

- [1.] Bahan Ajar Fisika Optik FMIPA UI.2009
- [2.] Bahan Ajar Utilisasi Tenaga Listrik Teknik Elektro FTUI.2011
- [3.] Grum, Franc and Becherer, Richard (1979). *Optical Radiation Measurements Vol 1*. New York: Academic Press.
- [4.] Standar Pencahayaan oleh Dr. Yeffry Handoko Putra, S.T, M.T. Unikom.2009
- [5.] Conway, K. M. and J. D. Bullough. 1999. Will LEDs transform traffic signals as they did exit signs? Proceedings of the Illuminating Engineering Society of North America Annual Conference (pp. 1–9), New Orleans, LA, August 9–11. New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America.
- [6.] Cappacio, G (2009), *The Sun*, Tarrytown, New York: Marshall Cavendish, ISBN 9780761442424 (bintang berukuran sedang lihat di Penelusuran Buku Google)
- [7.] (en)Klipstein, Donald L. (2006). "The Great Internet Light Bulb Book, Part I". Diakses pada 10 April 2012.
- [8.] Albert W. Hull, "Electrical Discharge Device and Method of Operation", issued 1931-01-27, assigned to General Electric Company.
- [9.] "LED". *The American heritage science dictionary*. Houghton Mifflin Company. 2005. Via <http://dictionary.reference.com/browse/ledand> <http://www.thefreedictionary.com/LED>, 2011-06-22.
- [10.] "The LED Illumination Revolution". *Forbes*. 2008-02-27. Retrieved 2009-03-04.
- [11.] Philips Lumileds Luxeon Rebel ES Data Sheet.2011. Philips Lumileds Lighting Company. All rights reserved. Product specifications are subject to change without notice. LUXEON is a registered trademark of the Philips Lumileds.
- [12.] Data Sheet China LED Light Bulb Data Sheet.via google.com/china_led_bulb.
- [13.] Survei Konsumsi Energi Listrik Indonesia 2011 dan Peluang Pemanfaatan LED sebagai Solusi Penghematan Energi . Tim Nano UI. 2011

DAFTAR PUSTAKA

1. Sudibyo , Dr. Ir. Uno Bintang. 2011. *Diktat Mata Kuliah Utilisasi Tenaga Listrik*. Depok
2. Tipler, Paul A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta : Erlangga
3. Survei Konsumsi Energi Listrik Indonesia 2011 dan Peluang Pemanfaatan LED sebagai Solusi Penghematan Energi . Tim Nano UI. 2011



LAMPIRAN

Data Lux 180 volt

Sudut Elevasi (θ)	Rho (Lux)									
	LED A 4w	LED B 5w	LED C 9w	LED D 7w	LED E 15w	LHE A 3w	LHE B 5w	LHE C 5w	LHE D 5w	Pijar 25w
0	25,8	20.2	50	15.6	5.9	11.2	19.7	31	20.1	5.1
10	27,1	23.5	52.5	21.2	9	11.3	20.1	30.7	20.7	5.4
20	28,8	28.2	56.1	31.2	15.3	11.1	20.7	30.3	27.7	6.1
30	30,1	32.9	59.8	41	26.1	11	20.9	28.8	32.7	6.6
40	31	37.7	62.2	51.8	50.6	10.3	20.4	27.7	34.9	5
50	31,3	41.7	63.5	60.8	126.7	9.4	18.6	25.2	35.3	7.1
60	31,1	44.9	64	65.1	352	8,4	16.5	22	36.2	7.3
70	31,2	47.9	64.3	72.3	731	7.3	14.2	19	37.7	7.1
80	31,3	49.6	64.6	76	910	6.5	12	17	37.7	7
90	31,3	50.3	65.5	77.2	987	6.3	10.6	15.3	39.8	6.9
100	31,2	49	64.6	75.5	907	6.3	11.4	16.2	39.3	7.3
110	31,2	46.7	65	70.2	713	7.2	14	19.1	38.1	7.4
120	31,3	43.7	63.9	63.7	365	7.9	15.6	22.2	36.6	7.2
130	31,2	40	63	55.5	146.3	8.5	17.1	24.3	35.6	7
140	30,8	35.4	61.5	46.6	59.5	9.3	18.5	26.7	35	6.5
150	29,9	31.1	59.4	36.2	29.6	9.6	18.9	28.3	31.9	6.1
160	28,8	26.8	55.2	28	17.5	9.7	18.9	29.8	26.3	5.7
170	27,4	22.8	52.4	20.5	11.5	9.8	19	30.4	21.5	5.6
180	25,4	18.4	48.6	14	6.4	9.7	18.7	30.2	20.3	5.2

Data Lux 220 volt

Sudut Elevasi (θ)	Rho (Lux)									
	LED A 4w	LED B 5w	LED C 9w	LED D 7w	LED E 15w	LHE A 3w	LHE B 5w	LHE C 5w	LHE D 5w	Pijar 25w
0	25.8	19.5	50	15.8	6	14.1	23	36	25.6	11.2
10	27.1	23.2	52.8	21.7	9	14.1	23.5	35.5	26.2	12.1
20	28.9	28	56.6	31.7	15.3	13.9	24.1	35.2	34.8	13.5
30	30.1	32.7	60.7	43	26.4	13.6	24.5	33.6	41	14.3
40	31.1	37.6	63	53.4	51.3	12.8	23.7	32.2	43.7	15.4
50	31.4	41.7	63.5	63	126.6	11.6	21.7	29.3	44.6	15.6
60	31.3	45.2	64.1	69.6	355	10.3	19.4	25.8	45.5	16.3
70	31.1	48.2	64.7	75.3	733	9	16.6	22.3	47.5	15.6
80	31.5	49.9	65.7	78.4	901	8.2	14.6	19.9	48	15.5
90	31.3	50.7	66.3	79.1	976	7.7	12.4	18	49.5	15.1
100	31.3	49.6	65.9	77.2	911	7.9	13.4	18.8	49.1	15.9
110	31.2	47.7	65.8	71.7	705	8.9	16.4	21.9	47.7	16.6
120	31.3	44.5	64.9	65	363	10	18.3	26.2	46.1	16.1
130	31.3	41.1	64	56.7	142.8	10.8	19.9	29.4	44.3	15.6
140	30.9	36.6	62.5	46.4	58.9	11.8	21.6	32	43.9	14.8
150	29.9	32.1	59.9	36.4	29	12.2	22.1	33.8	40	13.7
160	29	22.6	56.5	28.2	17.3	12.1	22.3	35.2	32.6	12.6
170	27.6	23.7	53.5	20.6	11.3	12.2	22.2	35.9	27	12.5
180	25.6	19.2	49.5	14	6.4	12	22	36	25.7	12

Data Lux 240 volt

Sudut Elevasi (θ)	Rho (Lux)									
	LED A 4w	LED B 5w	LED C 9w	LED D 7w	LED E 15w	LHE A 3w	LHE B 5w	LHE C 5w	LHE D 5w	Pijar 25w
0	25.2	19.6	50.7	15.5	6	14.6	23.6	38.1	25.9	16.1
10	26.7	23.2	53.4	21.5	9.2	14.7	24.1	37.5	27.6	17.3
20	28.7	28.1	57	31.2	15.2	14.6	24.6	36.5	35.5	19.3
30	29.7	32.5	61.3	42.1	25.9	14.4	25.1	35.5	43.1	21.1
40	30.9	37.8	63.2	51.7	51.1	13.5	24.2	33.8	46	22.3
50	31	42	64.6	60.8	121	12.3	22.2	30.6	46.5	23
60	31.1	45.4	65	68.5	347	10.9	19.7	26.8	47.9	23.6
70	31.1	48.5	65.5	75.2	730	9.4	17	23.3	50.2	22.3
80	31.3	50.4	65.9	78.8	894	8.6	14.4	20.7	52	22.1
90	30.9	51	66.8	80.6	970	8.3	12.6	18.7	52.7	21.7
100	31.3	50.1	65.6	78.3	885	8.6	13.5	19.8	52.5	21.1
110	31.3	47.9	66.2	73.7	713	9.8	16.4	23.4	50.6	23.9
120	31.2	44.7	64.9	66.3	466	11	18.4	27.3	49	23
130	31.1	41.1	64.4	57.6	140.1	11.9	20.3	30.6	47.7	22.4
140	30.9	36.7	63.4	47.4	57.6	12.7	21.8	33.6	45.9	20.9
150	30	32.2	61	37	28.9	12.9	22.5	35.4	43.1	19.3
160	29	28	57.5	28	17.3	13.1	22.5	37.1	35	17.9
170	27.7	23.8	54.5	20.5	11.4	13.2	22.9	37.7	29.1	17.6
180	25.9	19.2	50.4	14.2	6.3	12.8	22.2	37.9	27.6	17.2