

# Analisis Perbandingan Kinerja Lampu LED, CFL, dan Pijar pada Sistem Penerangan Kantor

Faiz Husnayain<sup>1</sup>, Dicky Syachreza Himawan<sup>2</sup>, Agus R Utomo<sup>3</sup>, I Made Ardita<sup>4</sup>, dan Budi Sudiarto<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
<sup>1,3,4,5</sup>*Electric Power and Energy Studies (EPES)*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Jl. Margonda Raya, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia  
\*e-mail: faiz.h@ui.ac.id

**Abstrak**— Krisis energi listrik yang terjadi di Indonesia beberapa tahun lalu membuat pemerintah harus membuat upaya kongkrit untuk mengatasinya. Penggunaan lampu hemat energi menjadi upaya yang sangat efektif sebagai alternatif penyelesaian masalah. Penelitian ini menganalisis perbandingan kinerja antara lampu LED, CFL, dan pijar dengan tujuan mendapatkan jenis lampu yang efisien dan hemat energi pada sistem penerangan kantor. Ada dua metode pengukuran yang dilakukan pada studi ini yaitu pengukuran intensitas cahaya dan efisiensi kinerja lampu. Pengukuran intensitas cahaya bertujuan untuk mengetahui besar efikasi masing-masing lampu dimana didapat nilai efikasi terbesar ada pada LED dengan 137,369 lumen/watt, diikuti CFL dengan 58,681 lumen/watt dan pijar dengan 11,258 lumen/watt. Pada pengukuran kinerja lampu didapat output berupa daya, faktor daya, dan nilai distorsi harmoniknya. Besar konsumsi daya terkecil ada pada LED dengan 7,283 watt, pada CFL sebesar 17,458 watt, dan pada pijar sebesar 92,1 watt. Faktor daya (PF) hasil pengukuran menunjukkan pada LED, CFL dan pijar masing-masing sebesar 0,855; 0,928; dan 0,995. Selain itu didapat juga nilai harmonik arus dan tegangannya dimana untuk harmonik tegangannya, besar maksimum yang terdapat pada orde ke-3 yaitu sebesar 1,72% untuk LED dan 1,79% untuk CFL. Untuk nilai TDD (*Total Demand Distortion*) yaitu sebesar 1,73% untuk LED dan 0,73% untuk CFL. Untuk lampu pijar nilai harmonik sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

**Kata kunci:** *Krisis Energi, LED, CFL, Pijar, Kinerja Lampu, Efikasi, Kualitas Daya.*

**Abstract**—The electrical energy crisis that occurred in Indonesia several years ago forced the government to make concrete efforts to overcome it. The use of energy-saving lamps is a very effective effort as an alternative solution to the problem. This study analyzes the performance comparison between LED, CFL, and incandescent lamps with the aim of obtaining efficient and energy-saving types of lamps in office lighting systems. There are two measurement methods used in this study, namely the measurement of light intensity and the efficiency of lamp performance. Measurement of light intensity aims to determine the efficacy of each lamp where the highest efficacy value is obtained for LED with 137,369 lumen/watt, followed by CFL with 58,681 lumen/watt and incandescent with 11,258 lumen/watt. In measuring the performance of the lamp, the output is obtained in the form of power, power factor, and the harmonic distortion value. The smallest power consumption is for LEDs with 7.283 watts, for CFLs for 17.458 watts, and for incandescents for 92.1 watts. The measured power factor (PF) for LED, CFL and incandescent respectively is 0.855; 0.928; and 0.995. In addition, current and voltage harmonic values are also obtained where for voltage harmonics, the maximum magnitude is in the 3rd order, which is 1.72% for LEDs and 1.79% for CFLs. The Total Demand Distortion (TDD) value is 1.73% for LED and 0.73% for CFL. For an incandescent lamp, the harmonics are so small that they can be neglected.

**Keywords:** *Energy Crisis, LED, CFL, Incandescent, Lamp Performance, Efficacy, Power Quality.*

## I. PENDAHULUAN

Krisis energi dan perubahan iklim merupakan dua tantangan global yang harus dijawab oleh seluruh warga dunia tidak terkecuali Indonesia [1]. Kedua permasalahan dasar ini memaksa pemerintah membuat upaya kongkrit dalam mengantisipasinya. Salah satu alternatif solusi atas permasalahan krisis global tersebut adalah penggunaan teknologi ramah lingkungan [2]. Pemerintah Indonesia mengeluarkan Instruksi Presiden (INPRES) Nomor 10 Tahun 2005 tentang upaya penghematan energi. Pada INPRES tersebut dinyatakan bahwa penggunaan lampu

hemat energi dapat menjadi alternatif yang sangat baik dalam mengatasi krisis energi tersebut [3]. Masyarakat harus mulai pintar memilih jenis lampu yang mereka butuhkan agar dapat menghemat energi yang dipakai.

Pemilihan jenis lampu yang tepat memiliki peranan cukup signifikan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan listrik serta kesehatan mata. Widiyantoro, Hari, et al. menganalisis pengaruh pencahayaan pada kenyamanan visual pengguna kantor [4]. Studi tersebut menyatakan layout ruangan dan standar pencahayaan merupakan dua parameter penting yang mempengaruhi kenyamanan visual dalam bekerja. Namun

tidak dibahas terkait kajian teknis konsumsi energi pada studi tersebut. Disisi lain, ada standar pencahayaan ruangan berdasarkan SNI Pencahayaan 03-6197-2000. Ini menjadi acuan dalam menentukan nilai pencahayaan patokan dalam menentukan tingkat kenyamanan termasuk pada gedung perkantoran.

Dikarenakan pentingnya tingkat kualitas pencahayaan serta penggunaan energi yang efisien, maka pada studi ini dilakukan analisis perbandingan kinerja lampu pada sistem kantor. Pada studi ini, penulis telah melakukan pengukuran intensitas cahaya dan juga kualitas daya pada lampu untuk mengetahui bagaimana perbandingan kinerja antara lampu *Light Emitting Diode (LED)*, *Compact Fluorescent Lights (CFL)*, dan pijar. Hal ini bertujuan agar masyarakat mampu mengetahui dan memilih lampu yang efisien dalam penggunaan daya dan energinya serta nyaman bagi mata.

## II. STUDI PUSTAKA

Cahaya adalah sebuah energi yang dihasilkan oleh sumber cahaya (alami atau buatan) dalam bentuk menyerupai gelombang eletromagnetik yang dapat merambat di dalam ruang hampa udara (vakum). Menurut James Maxwell (1831-1897), cahaya adalah gelombang elektromagnetik, sehingga cepat rambat cahaya sama dengan cepat rambat gelombang elektromagnetik, yaitu  $3.00 \times 10^8$  m/s [5]. Panjang gelombang cahaya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

Dengan :  $\lambda$  = Panjang gelombang (Meter)  
 $v$  = Kecepatan cahaya (Meter/Detik)  
 $f$  = Frekuensi (Hz) [6]

### A. LED (*Light Emitting Diode*)

LED (*Light Emitting Diode*) merupakan sebuah keluarga dari diode yang terdiri dari semikonduktor. LED terdiri dari dua macam kutub yaitu kutub positif (P) dan kutub negatif (N). Kutub positif biasa disebut anoda dan kutub negatif biasa disebut katoda.

LED sendiri merupakan sebuah semikonduktor dimana semikonduktor tersebut kemudian didoping sehingga menciptakan junction P dan junction N.

Apabila LED dialiri bias maju (forward biased) dari positif menuju negatif, maka LED akan dapat memancarkan cahaya. Kelebihan elektron yang ada pada material N type akan bergerak menuju bagian yang kelebihan muatan positif yaitu pada material P type. Pada saat elektron bertemu dengan hole ini lah akan dilepaskan photon yang akan memancarkan cahaya monokromatik. Dikarenakan dapat memancarkan cahaya saat diberikan tegangan maju (forward biased), maka LED dapat digolongkan kedalam transducer yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi cahaya [7].

### B. Compact Fluorescent Lamp

CFL (*Compact Fluorescent Lamp*) atau yang biasa disebut sebagai lampu hemat energi merupakan lampu neon yang umumnya dirancang sebagai pengganti lampu pijar atau lampu halogen yang menggunakan input 220 V sebagai

sumber dayanya. CFL merupakan sebuah pengembangan dari *Fluorescent Lamp*. CFL memiliki umur hidup hingga 10000 jam dan 80% lebih hemat energi dibandingkan lampu pijar.

CFL menghasilkan cahaya melalui proses eksitasi elektron. Saat dialiri dengan arus listrik, elektroda yang terdapat pada ujung tabung lampu pendar akan memancarkan elektron bebas yang kemudian akan mengionisasi gas argon dalam tabung bertekanan rendah. Karena arus listrik tadi, maka elektron bebas dan ion gas argon akan bergerak cepat dari satu elektroda ke elektroda lain dan akan mengubah cairan merkuri yang terdapat dalam tabung menjadi gas. Bergeraknya elektroda tadi akan membuat partikel yaitu elektron dan ion negatif bertabrakan dengan atom merkuri satu sama lain. Akibat tabrakan tersebut, maka elektron merkuri akan tereksitasi ke tingkat energi lebih stabil dan akan melepaskan energi dalam bentuk foton atau cahaya ultraviolet. Kemudian, cahaya tersebut akan mengeksitasi atom fosfor yang ada pada lapisan dalam tabung. Fosfor akan memberi warna putih pada tabung. Pada proses eksitasi lanjutan itu akan dihasilkan cahaya tampak putih terlihat mata [8].

### C. Pijar

Lampu pijar adalah lampu yang menghasilkan cahaya dengan cara memanaskan logam filament sampai ke suhu tinggi sehingga menghasilkan sinar. Lampu pijar bekerja melalui prinsip pemijaran dimana saat lampu pijar dinyalakan, maka akan terdapat arus yang mengalir menuju filament. Arus tersebut akan mengalir melewati kawat penghubung. Akibatnya akan muncul elektron bebas yang bergerak dari kutub negative (-) ke kutub positif (+) dan secara konstan menabrak atom yang terdapat pada filamen. Energi yang dihasilkan akibat tabrakan tersebut akan menggetarkan atom. Akibatnya, ikatan elektron yang ada pada atom yang bergetar akan mendorong atom pada tingkatan tertinggi. Saat energinya sudah kembali pada tingkat normal, maka elektron akan melepaskan energi ekstra dalam bentuk foton. foton-foton ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Namun jika dipanaskan sampai temperatur 2.200°C, cahaya tersebut akan dapat kita lihat seperti halnya bola lampu pijar yang sering kita pakai sehari-hari [9].

### D. Pengukuran Cahaya Lampu

Dalam pengukuran cahaya, ada beberapa istilah yang digunakan, yaitu:

1. Kuat penerangan lampu  
 Definisi Illuminasi atau kuat penerangan adalah jumlah fluks cahaya yang ditangkap oleh suatu bidang tegak lurus yang luasnya satu satuan luas. Satuan dan Notasi Satuan yang digunakan untuk mengukur illuminasi adalah lumen per meter persegi ( $lm/m^2$ ) atau lux. Kuat penerangan lampu dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

Dengan :  $E$  = Kuat penerangan (Lux)  
 $\Phi$  = Flux cahaya (Lumen)

A = Luas bidang pencahayaan ( $m^2$ )

2. Flux cahaya

Flux cahaya atau aliran energi rata-rata cahaya adalah total cahaya yang dihasilkan oleh sumber cahaya dalam setiap detik. Flux cahaya mempunyai satuan lumen (lm). Perbandingan antara fluks yang dihasilkan dengan daya listrik yang dikonsumsi disebut dengan efikasi. Efikasi mempunyai satuan lumen/watt. Efikasi juga disebut fluks cahaya spesifik. Nilai lumen dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\phi = \frac{Q}{t} \text{ atau } \phi = W \times \phi_{\text{spesifik}} \quad (3)$$

Dengan :  $\phi$  = Flux cahaya (Lumen)  
 W = Daya lampu (Watt)  
 Q = Energi cahaya (Lumen/Detik)  
 t = waktu (Detik)  
 $\phi_{\text{spesifik}}$  = flux secara spesifik (Lumen/watt)

E. Pengukuran Kualitas Daya

Selain mencari nilai efikasi melalui pengukuran intensitas cahaya lampu, tolak ukur lain dalam mengukur efisiensi kinerja sebuah lampu adalah daya, faktor daya, dan distorsi harmoniknya.

1. Daya

Daya listrik (*Electrical Power*) adalah jumlah energi yang diserap oleh sebuah beban (load) dalam sebuah rangkaian listrik. Daya listrik dihasilkan oleh sebuah sumber energi kemudian beban yang terhubung akan menyerap daya listrik tersebut. [3].

Daya dibagi menjadi tiga macam yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

2. Faktor daya (*Power Factor*)

Faktor daya atau *power factor* (PF) merupakan perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S) atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu. Semakin besar sudut yang dihasilkan, maka akan semakin rendah faktor dayanya. Nilai faktor daya mempunyai rentang antara 0 hingga 1(0 – 1).

$$PF = \frac{P}{S} \quad (4)$$

Dengan: PF = Faktor Daya  
 P = Daya aktif (watt)  
 S = Daya Semu (VA)

3. Harmonisa

Gelombang pada tegangan, arus, maupun daya yang terdistorsi secara periodik disebut juga dengan harmonisa. Frekuensi harmonisa merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya (dasar), sehingga bentuknya tidak lagi sinusoidal melainkan terdapat distorsinya. Hubungan antara frekuensi harmonik dan frekuensi dasarnya dapat ditulis pada persamaan sebagai berikut:

$$f_h = n f_i \quad (5)$$

Dengan :  $f_h$  = frekuensi harmonik (Hz)  
 n = kelipatan gelombang  
 $f_i$  = frekuensi dasar (Hz)

Harmonisa yang ada pada sistem tenaga listrik memberikan dampak yang buruk. Harmonisa akan membuat alat-alat yang terdapat pada sistem tenaga listrik seperti generator dan transformator menjadi panas. Hal tersebut dikarenakan harmonisa akan mengalir ke tempat dengan impedansi yang lebih rendah. Parameter besarnya harmonisa disebut juga *Total Harmonic Distortion* (THD) yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan:  $V_1$  = Nilai tegangan dasar (Volt)  
 $THD_v$  = *Total Harmonic Distortion* pada tegangan  
 $V_n$  = Nilai tegangan harmonisa (Volt)

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan :  $V_1$  = Nilai arus dasar (Ampere)  
 $THD_i$  = *Total Harmonic Distortion* pada arus  
 $I_n$  = Nilai arus harmonisa (Ampere) [10].

Tabel 1. Batasan Harmonik Tegangan Berdasarkan Standar IEEE 519-1992

Bus Voltage V at PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion THD (%)
$V \leq 1,0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

*Total Demand Distortion* (TDD) adalah distorsi harmonik arus total yang dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad (8)$$

Dengan :  $I_L$  = Arus beban maksimum (Ampere)  
 $I_h$  = Arus harmonik orde ke – h (Ampere)

Tabel 2. Batasan Distorsi Arus Berdasarkan Standar IEEE 519-1992

$I_{sc}/I_L$	Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of $I_L$					TDD
	Individual Harmonic Order ( <i>Odd Harmonics</i> )					
	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

### III. METODE

#### A. Metode Pengukuran

Pengukuran pertama dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rata-rata intensitas cahaya masing-masing lampu tersebut. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *luxmeter* dengan cara membentuk lingkaran dengan 8 titik ukur dibawah lampu dengan variasi sebanyak tiga kali pada masing-masing lampu untuk masing-masing titik. Pengukuran kedua adalah untuk mengetahui kualitas daya pada masing-masing lampu. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Power Quality Analyzer* dengan durasi selama 6 jam dan pengambilan data selama 30 menit.

Beberapa variabel yang akan dianalisis dari ketiga lampu ini meliputi daya, faktor daya, efikasinya, dan juga distorsi harmoniknya. Daya pada spesifikasi lampu LED yang dipakai pada pengukuran ini menggunakan 8 watt, pada lampu CFL menggunakan 18 watt dan pada lampu pijar menggunakan 100 watt. Seluruhnya berasal dari satu merk X. Alasan menggunakan besar daya tersebut adalah untuk mencapai standar intensitas cahaya yang telah ditetapkan yaitu sebesar 150 lux untuk ruang tamu. Namun karena penulis menggunakan lampu pijar dan untuk merk X lampu daya lampu pijar hanya mencapai 100 W, maka besar daya untuk LED dan CFL akan menyesuaikan lampu pijar, agar besar flux cahayanya setara dan juga intensitas cahayanya mendekati standar yang telah ditentukan. Setelah semua diukur akan dianalisis efisiensi kinerjanya.



Gambar 1. Flow Chart Pengukuran Kinerja LED, CFL, dan Pijar

#### B. Peralatan dan Prosedur Pengukuran

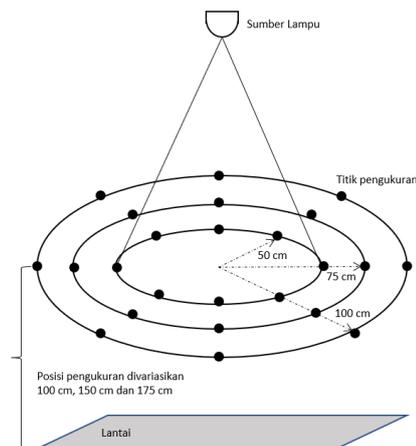
Pengukuran kualitas daya dilakukan dengan merangkai sebuah rangkaian alat untuk melakukan pengukuran kinerja lampu dengan menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer*, dan pengukuran kedua menggunakan *Luxmeter* yang dilakukan diruang tamu penulis yang memiliki area uji cahaya dengan panjang ruangan sebesar 370 cm dan lebar ruangan sebesar 350 cm. Luas area ruang pengukuran adalah sebesar 12.95 m<sup>2</sup>. Tinggi titik lampu dari lantai adalah sebesar 300 cm. pengukuran intensitas pencahayaan ini dilakukan dengan cara membuat 3 lingkaran dengan

diameter berbeda. Lingkaran dibuat dengan pusat lingkaran tegak lurus dengan posisi lampu dan pusat ketiga lingkaran berhimpit. Diameter lingkaran 1 sebesar 100 cm, diameter lingkaran 2 sebesar 150 cm dan diameter lingkaran 3 sebesar 200 cm.

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran perbandingan kinerja pada lampu LED, CFL, dan pijar antara lain :

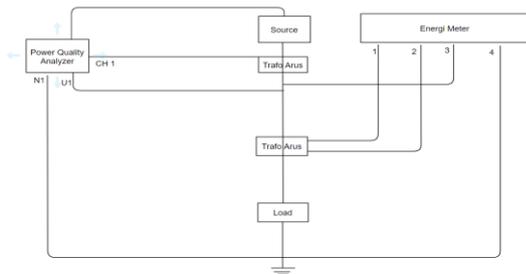
1. *Power Supply* 220 V
2. Lampu LED 8 watt 1 buah
3. Lampu CFL 18 watt 1 buah
4. Lampu pijar 100 watt 1 buah
5. Satu set alat ukur *Luxmeter*
6. Satu set alat ukur *Power Quality Analyzer*
7. Saklar Lampu 1 buah
8. Meteran 1 buah

Prosedur pengukuran Intensitas cahaya akan dilakukan diruang tamu pada malam hari, untuk menghindari adanya cahaya alami dari matahari. Ketiga lampu akan dipasang secara bergantian pada ruang tamu. Ketiga lampu akan dipasang secara bergantian dengan 8 titik pengukuran berada di bawah lingkaran dengan diameter 100 cm dan kemudian divariasikan ukuran diameternya menjadi 150 cm dan 200 cm dengan metode pengukuran yang sama. Tinggi *luxmeter* dari permukaan lantai juga akan divariasikan sebesar 100 cm, 150cm, dan juga 175 cm.



Gambar 2. Metode Pengukuran Intensitas Cahaya Lampu

Yang kedua akan dirangkai sebuah rangkaian seperti pada gambar 3 untuk melakukan pengukuran perbandingan kinerja lampu. Setelah rangkaian dibuat akan dilakukan pengecekan terlebih dahulu apakah arus dan tegangan yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi masing-masing lampu yang akan digunakan. Setelah selesai melakukan pengecekan, lampu akan dipasang. Lampu akan diberikan tegangan sebesar 220V. Setelah saklar dinyalakan maka akan muncul data yang akan diukur yaitu berupa arus, tegangan, daya aktif, frekuensi, faktor daya, energi, dan juga distorsi harmoniknya pada alat ukur *Power Quality Analyzer*. Data-data tersebut akan dicatat setiap 30 menit selama 6 jam pengukuran.



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Perbandingan Kinerja LED, CFL, dan Pijar

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Intensitas Cahaya

Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur intensitas cahaya yaitu *luxmeter*. Data yang didapat dari hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Nilai Rata-rata Pengukuran Intensitas Cahaya

Tinggi Luxmeter dari Lantai (cm)	Diameter (cm)	Tingkat Intensitas Cahaya (Lux)		
		LED	CFL	Pijar
100	100	56,3	52	57,3
	150	52,37	51	54,55
	200	49,54	49,63	49,6
150	100	94,34	93,54	97,3
	150	70,09	80	81,61
	200	65,09	67,38	65,75
175	100	121,21	124,59	127,69
	150	100,48	104,4	101,77
	200	85,8	89,42	88,04

Setelah didapat besar intensitas cahaya hasil pengukuran, maka dengan persamaan (2) didapatkan nilai lumen dari masing-masing lampu dan setelah nilai lumen didapat, maka dengan persamaan (3) dapat dihitung nilai efikasinya. Besar lumen dan nilai efikasi hasil perhitungan dapat dilihat melalui tabel 4 berikut:

Tabel 4. Perbandingan Nilai Lumen dan Nilai Efikasi LED, CFL, dan Pijar

Jenis Lampu	Nilai Lumen (lumen)	Daya (watt)	Efikasi (Lumen/Watt)
LED	1000,46	7,283	137,369
CFL	1024,47	17,458	58,681
Pijar	1036,86	92,1	11.258

Berdasarkan tabel diatas diketahui nilai efikasi yang merupakan salah satu tolak ukur efisiensi kinerja pada lampu menunjukkan bahwa LED lah yang mempunyai nilai efikasi terbesar. LED mampu mengeluarkan arus cahaya sebesar 137,369 lumen dalam setiap wattnya sedangkan CFL hanya 58,681 lumen/wattnya dan pijar 11,258 lumen/wattnya. Ini berarti dari segi nilai efikasinya, LED merupakan yang paling efisien diantara CFL dan pijar. Besarnya nilai efikasi LED dikarenakan LED tidak menghasilkan panas sehingga daya yang diserap mampu dikonversikan menjadi cahaya

secara maksimal dan tidak terbuang menjadi panas seperti pada CFL dan pijar.

B. Pengukuran Kualitas Daya

Sebagai salah satu tolak ukur efisiensi kinerja lampu, besar daya, faktor daya, dan distorsi harmonik juga tidak lepas dari pengukuran [9]. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur kualitas daya yaitu *power quality analyzer*. Data yang didapat dari hasil pengukuran meliputi daya, faktor daya hasil pengukuran dan distorsi harmonik (arus dan tegangan) adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kualitas Daya

Tolak Ukur Kinerja Lampu	Lampu		
	LED 8 Watt	CFL 18 Watt	Pijar 100 Watt
Daya Aktif (watt)	7,283	17,458	92,1
Faktor Daya	0,855	0,928	0,99
Energi (watthour)	7,3	17,16	92,1
THDi (%)	102,04	90,49	-
THDv (%)	2,32	2,37	-
TDD	0,73	1,73	-
True Power Factor	0,597	0,689	0,99
Daya Total (watt)	43,8	103,8	552,6

Setelah hasil pengukuran kualitas daya maka didapat tolak ukur mengenai perbandingan kinerja pada ketiga lampu tersebut dan juga nilainya. Efikasi didapat setelah mengukur intensitas cahaya ketiga lampu tersebut menggunakan *luxmeter*. Setelah didapat besar intensitas cahayanya, maka akan dihitung besar lumennya. Efikasi didapat dengan membagi besar lumen yang telah dihitung dengan besar daya aktif yang didapat dari hasil pengukuran. dari tabel diatas dapat dibuktikan bahwa nilai efikasi paling besar ada pada lampu LED dengan 137 lumen/watt diikuti oleh CFL dengan 58,681 lumen/watt dan pijar dengan 11,258 lumen/watt. Efikasi ini merupakan salah satu tolak ukur dari efisiensi kinerja lampu, maka dari hasil pengukuran ini dapat disimpulkan bahwa LED merupakan yang paling hemat energi dan daya karena dalam satu wattnya, LED mampu memancarkan arus cahaya sebesar 137,369 lumen.

Selain efikasi ada juga faktor daya dan distorsi harmoniknya. Keduanya saling berkaitan karena distorsi harmonik akan berdampak buruk terhadap faktor daya ketiga lampu tersebut. Distorsi harmonik akan menurunkan nilai faktor daya ketiga lampu tersebut. Seperti yang dapat dilihat pada tabel diatas, besar faktor daya pengukuran untuk lampu LED sebesar 0,855 dan untuk CFL sebesar 0,928. Namun setelah dihitung menggunakan persamaan 2.7 terlihat faktor daya sesungguhnya (PF true) dari kedua lampu tersebut. Terlihat bahwa nilai PF true turun cukup signifikan dimana untuk lampu LED menjadi 0,597 dan untuk CFL menjadi 0,689 dimana pada PF true sendiri, kondisi gelombang arus dan tegangan pada awalnya berbentuk sinusoidal menjadi mengandung harmonisa dan faktor daya tidak dapat lagi dikatakan sebagai nilai cosinus dari sudut fasanya. Perhitungan PF true akan terkait dengan jumlah daya aktif pada frekuensi fundamental (dasar) dan frekuensi harmoniknya. Dikarenakan faktor daya juga termasuk tolak

ukur efisiensi kinerja lampu, maka dapat dikatakan CFL merupakan lampu yang lebih baik dari segi faktor dayanya, karena sebesar 68,9% energi yang dibutuhkan CFL diubah menjadi cahaya sedangkan pada LED hanya 59,7%. Untuk THDv hasil perhitungan, didapat besarnya 2,32% untuk LED dan 2,37% untuk CFL. Hasil ini tergolong baik karena masih dibawah standar yang telah ditetapkan yaitu sebesar 5% sehingga dapat dikatakan kedua lampu masih aman dipakai karena tidak merusak instalasi listrik. Begitu juga untuk TDD, besar kedua lampu masih dibawah standar yang ditetapkan IEEE yaitu sebesar 5% sehingga aman dipakai dan tidak merusak instalasi listrik rumah.

Untuk besar energinya, dengan rata-rata intensitas cahaya yang sama dan juga nilai lumen yang sama, terlihat bahwa selama 6 jam pengukuran daya total yang dibutuhkan lampu LED adalah yang paling sedikit dengan 43,8 watt diikuti oleh CFL dengan 103,8 watt, dan pijar dengan 552,6 watt. Tentunya dengan daya total menjadi tolak ukur efisiensi kinerja lampu, maka dapat disimpulkan LED menjadi lampu yang paling efisien karena membutuhkan daya yang paling sedikit dengan intensitas cahaya yang sama dengan CFL dan pijar.

Daya aktif dalam pengukuran didapat LED sebesar 7,283 watt, CFL sebesar 17,456 watt, dan pijar sebesar 92,1 watt. Angka ini tidak sesuai dengan apa yang tertera pada kardus masing-masing lampu dimana pada kardus masing-masing lampu tertera LED 8 watt, CFL 18 watt, dan pijar 100 watt. Hal itu karena angka yang tertera pada kardus lampu merupakan pengukuran ideal dimana tegangan masuk tepat 220 volt sedangkan dalam pengukuran tegangan masuk berubah-ubah ( $\pm 220$  volt). Sesuai dengan persamaan 2.4 dimana daya aktif berbanding lurus dengan tegangan dikali arus, maka jika tegangan masukan tidak tepat di 220 volt maka besar daya aktif yang terukur juga tidak akan tepat dengan apa yang tertera pada kardus masing-masing lampu.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis hasil pengukuran maka didapat kesimpulan yaitu nilai efikasi terbesar ada pada LED dengan 137,369 lumen/watt diikuti oleh CFL dengan 68,681 lumen/watt dan pijar 11,258 lumen/watt. Sebagai salah satu acuan untuk menentukan tingkat kenyamanan pada mata. Untuk besar faktor daya didapat bahwa pada LED sebesar 0,855. CFL sebesar 0,928, dan pijar sebesar 0,99. Besar harmonik arus pada LED dan CFL sebesar 102,04% dan 90,49%. Dan besar harmonik tegangannya pada LED dan CFL sebesar 2,32% dan 2,37%. Nilai tersebut masih

dibawah batas standar yang ditetapkan IEEE. Dari ketiga lampu yang diteliti dengan kuat penerangan yang setara, maka didapat bahwa lampu LED adalah yang paling hemat daya dan energi. Untuk lampu pijar, meskipun tidak menimbulkan distorsi harmonik, tetapi paling boros daya dan energinya.

## ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the High Voltage and Measurement Laboratory DTE FTUI for the support to conduct the data measurement of the research.

## REFERENSI

- [1] International Energy Agency, "World Energy Outlook 2022," International Energy Agency (IEA), Paris, 2022.
- [2] U. Nation, "United Nation Sustainable Development Goals," United Nation, 1 January 2016. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/sustainable-development-goals>. [Accessed 11 January 2023].
- [3] L. Auliaurrahman, "Analisis Karakteristik Pencahayaan Serta Konsumsi Energi Pada LED dan CFL," UI, Depok, 2015.
- [4] H. Widiyantoro, E. Muladi and C. Vidiyanti, "Analisis Pencahayaan terhadap Kenyamanan Visual pada Pengguna Kantor (Studi Kasus: Kantor PT. Sandimas Intimitra Divisi Marketing di Bekasi)," *Vitruvian: Jurnal Arsitektur, Bangunan, dan Lingkungan*, vol. 6, no. 2, pp. 65-70, 2017.
- [5] P. Setiawan, "Pengertian dan Sifat Cahaya," Guru Pendidikan, 2 April 2020. [Online]. Available: <https://www.gurupendidikan.co.id/pengertian-cahaya/>. [Accessed 8 Mei 2020].
- [6] Wanto, "Rancang Bangun Pengukur Intensitas Cahaya Tampak Berbasis Mikrokontroler," UI, Depok, 2008.
- [7] D. Kho, "Pengertian LED (Light Emitting Diode) dan Cara Kerjanya," Teknik Elektronika, [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-led-light-emitting-diode-cara-kerja/>. [Accessed 2020 Mei 20].
- [8] M. A. Pradanugraha, A. Rahardjo, D. R. Ariani and F. Husnayain, "Peningkatan Efisiensi Energi Sistem Penerangan Pada Ruang Perkuliahan Dengan Lampu Led Berdasarkan Analisis Arus Cahaya," *Transmisi*, vol. 23, no. 1, pp. 5-13, 2021.
- [9] B. Priyandono, "Analisis Konservasi Energi Listrik pada Rumah Tinggal Daya 2200 VA dengan Beban Penerangan," *ISU TEKNOLOGI STT MANDALA*, vol. 6, p. 25, 2013.
- [10] M. A. Darmawan, M. A. Fauzi, Y. F. Anurrahman and F. S. Prinata, "Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik," 13 April 2014. [Online]. Available: <https://konversi.wordpress.com/2014/04/13/pengaruh-harmonisa-pada-sistem-tenaga-listrik/>. [Accessed 2 Juli 2020].