

Analisis Efisiensi Energi Lampu LED Komersial Berdasarkan Efikasi Cahaya, Faktor Daya, dan Standar SKEM

Ananda Avrelya Putri Nugraha

S1 Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: 24050514015@mhs.unesa.ac.id

Ali Nur Fathoni, Khusnul Khotimah, Puput Wanarti Rusimamto

S1 Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: alifathoni@unesa.ac.id, khotimahkhusnul@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id

Abstrak

Lampu *Light Emitting Diode* (LED) menjadi teknologi pencahayaan yang banyak digunakan karena memiliki potensi efisiensi energi yang tinggi. Namun, perbedaan karakteristik komponen dan sistem pengendali menyebabkan performa setiap lampu LED dapat bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa energi lampu LED berdasarkan integrasi parameter fotometrik dan elektrik. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium menggunakan *integrating sphere* dan *power meter* untuk memperoleh data fluks cahaya (*luminous flux*), daya aktif, efikasi cahaya (*luminous efficacy*), dan faktor daya (*power factor*). Hasil penelitian menunjukkan nilai efikasi cahaya berada pada rentang 76,67–97,20 lm/W, dengan faktor daya sebesar 0,5302–0,5507. Berdasarkan klasifikasi Standar Kinerja Energi Minimum (SKEM) dan Label Tanda Hemat Energi (LTHE), sebagian besar sampel berada pada kategori efisiensi energi satu bintang, dengan adanya variasi performa energi antar sampel lampu LED. Hasil tersebut menunjukkan bahwa daya nominal tidak selalu menggambarkan performa energi aktual, sehingga evaluasi lampu LED perlu mempertimbangkan parameter fotometrik dan elektrik secara bersamaan.

Kata Kunci: lampu LED, efikasi cahaya, fotometrik, faktor daya, efisiensi energi

Abstract

Light Emitting Diode (LED) lamps have become widely used lighting technologies due to their high potential for energy efficiency. However, differences in component characteristics and driver systems may cause variations in LED lamp performance. This study aims to evaluate the energy performance of LED lamps based on the integration of photometric and electrical parameters. Laboratory testing was conducted using an integrating sphere and a power meter to obtain data on luminous flux, active power, luminous efficacy, and power factor. The results show that luminous efficacy values range from 76.67–97.20 lm/W, with power factor values of 0.5302–0.5507. Based on the Minimum Energy Performance Standard (SKEM) and Energy Saving Label (LTHE) classification, most samples were categorized as one-star energy efficiency, indicating variations in energy performance among LED lamp samples. These results show that nominal power does not always represent actual energy performance, therefore LED lamp evaluation should consider both photometric and electrical parameters simultaneously.

Keywords: LED lamp, luminous efficacy, photometric, power factor, energy efficiency

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi listrik mendorong berbagai sektor untuk melakukan upaya dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi, termasuk pada sistem pencahayaan. Sistem pencahayaan menjadi salah satu komponen yang turut berkontribusi terhadap konsumsi energi listrik, sehingga penggunaan teknologi pencahayaan yang efisien penting untuk mendukung penghematan energi. Salah satu teknologi pencahayaan yang banyak digunakan saat ini adalah *Light Emitting Diode* (LED), karena memiliki konsumsi daya yang rendah, masa penggunaan yang panjang, serta mampu menghasilkan keluaran cahaya yang tinggi dibandingkan dengan teknologi lampu konvensional (Setianingrum dkk., 2023).

Meskipun teknologi LED dikenal hemat energi, performa setiap produk dapat berbeda. Perbedaan desain,

komponen penyusun, dan sistem driver dapat memengaruhi keluaran cahaya serta konsumsi daya (Rusimamto dkk., 2025). Oleh karena itu, diperlukan pengukuran secara langsung untuk mengetahui karakteristik fotometri dan elektrik dari lampu LED yang digunakan. Hakim dkk. melakukan perbandingan kinerja beberapa merek lampu LED berdasarkan parameter kuat penerangan, daya, energi, faktor daya, tegangan, dan arus yang menunjukkan adanya perbedaan performa antar produk LED.

Salah satu parameter yang umum digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi lampu LED adalah efikasi cahaya (*luminous efficacy*), yaitu perbandingan antara *luminous flux* yang dihasilkan dengan daya listrik yang

digunakan. Parameter ini menunjukkan kemampuan suatu sumber cahaya dalam mengubah energi listrik menjadi energi cahaya dan dinyatakan dalam satuan lumen per watt

(lm/W) (Doulos dkk., 2022). Nilai efikasi yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan lampu menghasilkan cahaya lebih besar dengan konsumsi daya yang lebih rendah (Husnayain dkk., 2023). Nilai efikasi cahaya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (1):

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P} \quad (1)$$

keterangan:

η_v = efikasi cahaya (lm/W)

Φ_v = luminous flux (lm)

P = daya aktif (W)

Selain efikasi cahaya, faktor daya (*power factor*) juga merupakan parameter penting dalam evaluasi performa lampu LED. Faktor daya menunjukkan tingkat efektivitas pemanfaatan energi listrik oleh suatu beban. Nilai faktor daya yang mendekati satu menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang disuplai dapat dimanfaatkan sebagai daya aktif (Gaballah dkk., 2023). Pada sistem pencahayaan LED, nilai faktor daya dipengaruhi oleh rangkaian pengendali (*LED driver*) yang berfungsi mengatur suplai arus menuju komponen LED. Oleh karena itu, evaluasi faktor daya diperlukan untuk mengetahui kualitas penggunaan energi listrik pada lampu LED (Hosseini dan Sharifian, 2022). Faktor daya dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

$$PF = \frac{P}{V \times I} \quad (2)$$

Keterangan:

PF = faktor daya

P = daya aktif (W)

V = tegangan (V)

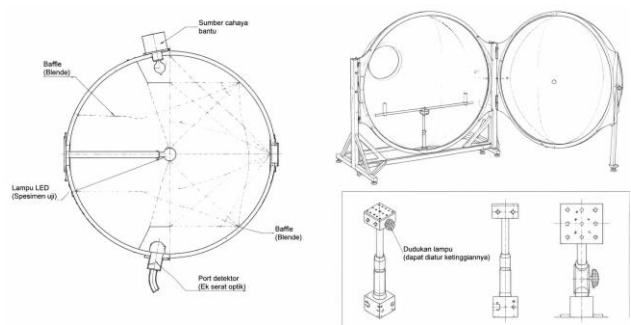
I = arus (A)

Untuk memperoleh data fotometrik dan elektrik secara akurat, diperlukan metode pengukuran yang mampu mengkarakterisasi sumber cahaya secara menyeluruh. Salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam pengujian performa lampu adalah *integrating sphere*, yaitu perangkat pengukuran fotometri yang memanfaatkan prinsip refleksi cahaya difus pada permukaan bagian dalam bola untuk memperoleh nilai total luminous flux yang dipancarkan oleh sumber cahaya (Gaballah dkk., 2023).

Berdasarkan standar ANSI/IES LM-78-20, pengukuran menggunakan *integrating sphere* photometer digunakan untuk memperoleh nilai total luminous flux lampu secara akurat dan menjadi salah satu metode standar dalam karakterisasi performa sumber cahaya, termasuk lampu LED (*Illuminating Engineering Society*, 2020). Selain parameter fotometrik, sistem pengukuran yang terintegrasi dengan instrumen elektrik juga dapat

memperoleh data daya, tegangan, arus, dan faktor daya

yang diperlukan dalam evaluasi performa energi lampu LED.



Gambar 1. Skema Setup *Integrating Sphere* Dalam Pengukuran Fotometrik LED

Penelitian mengenai performa lampu LED telah banyak dilakukan berdasarkan karakteristik fotometrik dan elektrik. Hakim dkk. membandingkan beberapa merek lampu LED menggunakan parameter kuat penerangan, daya, energi, faktor daya, tegangan, dan arus. Husnayain dkk. (2023) menganalisis efisiensi LED, CFL, dan lampu pijar berdasarkan efikasi cahaya serta parameter kelistrikan. Sementara itu, Rinaldi dkk. (2026:9) mengkaji perbandingan kinerja LED AC dan LED DC pada sistem pencahayaan *photovoltaic off-grid*.

Namun, penelitian sebelumnya masih banyak berfokus pada perbandingan jenis lampu, teknologi catu daya, atau parameter kelistrikan tertentu. Kajian yang mengintegrasikan karakteristik fotometrik (*luminous flux* dan efikasi cahaya) serta elektrik (daya aktif dan faktor daya) pada lampu LED komersial dengan variasi merek dan daya nominal menggunakan *integrating sphere* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis performa energi lampu LED komersial berdasarkan parameter *luminous flux*, efikasi cahaya, daya aktif, dan faktor daya sebagai gambaran performa aktual serta evaluasi efisiensi energi teknologi pencahayaan.

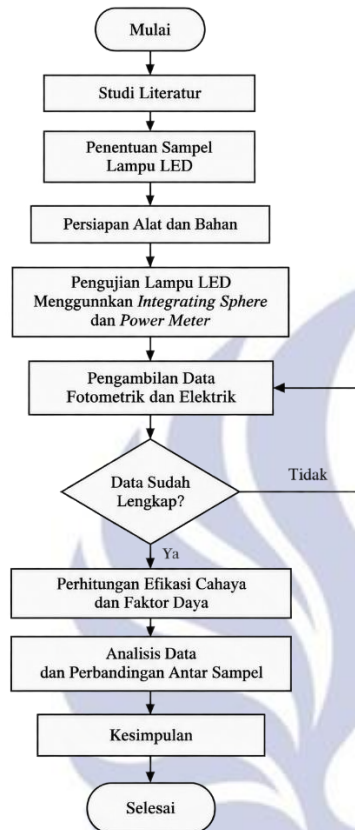
METODE

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-komparatif melalui pengujian laboratorium. Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur secara langsung sampel lampu *Light Emitting Diode* (LED) komersial untuk memperoleh karakteristik fotometrik dan elektrik. Data numerik hasil pengukuran dibandingkan antar sampel berdasarkan parameter *luminous flux*, daya aktif, faktor daya (*power factor*), dan efikasi cahaya (*luminous efficacy*). Pengujian menggunakan *integrating sphere* dan *power meter* untuk memperoleh data karakteristik pencahayaan dan konsumsi energi listrik dari setiap sampel (Kumar dan Singh, 2022).

Metode pengujian menggunakan *integrating sphere* yang dikombinasikan dengan sistem pengukuran elektrik untuk memperoleh data performa lampu LED. Penggunaan

integrating sphere dipilih karena mampu mengintegrasikan seluruh keluaran cahaya dari sumber sehingga

menghasilkan nilai total *luminous flux* yang representatif (Shul'ga, 2021). Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam diagram alir penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan Gambar 2, penelitian diawali dengan studi literatur dan penentuan sampel lampu LED yang akan diuji. Tahap selanjutnya meliputi persiapan instrumen dan sampel, kemudian dilakukan pengujian menggunakan *integrating sphere* dan *power meter* untuk memperoleh data fotometrik dan elektrik. Data hasil pengukuran digunakan untuk menghitung efikasi cahaya dan faktor daya sebelum dilakukan analisis perbandingan. Tahap akhir penelitian dilakukan dengan menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data pengujian.

Objek penelitian berupa lampu *Light Emitting Diode* (LED) komersial yang umum digunakan sebagai sumber pencahayaan rumah tangga. Pemilihan sampel dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu metode pengambilan sampel berdasarkan karakteristik tertentu yang sesuai dengan tujuan penelitian (Campbell dkk., 2020). Kriteria sampel meliputi kondisi lampu yang masih berfungsi dengan baik, memiliki informasi daya nominal pada kemasan, berbentuk bohlam umum, serta memiliki variasi daya. Sampel terdiri atas tiga merek lampu LED komersial (A, B, dan C) yang dipilih berdasarkan ketersediaan produk di pasaran sebagai objek

perbandingan performa energi. Setiap merek diuji pada variasi daya nominal 10 W, 15 W, 20 W, dan 45 W, sehingga diperoleh total 12 sampel lampu LED. Setiap kombinasi merek dan daya diuji menggunakan satu unit

lampu dengan prosedur pengukuran yang sama.



Gambar 3. Sampel Lampu LED Komersial yang Digunakan dalam Pengujian

Gambar 3 menunjukkan sampel lampu LED yang digunakan dalam pengujian. Seluruh sampel diuji dengan prosedur pengukuran yang sama untuk memperoleh karakteristik pencahayaan dan konsumsi energi listrik. Spesifikasi sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi sampel lampu LED

No.	Merek Lampu	Variasi Daya Nominal
1	A	10 W, 15 W, 20 W, dan 45 W
2	B	10 W, 15 W, 20 W, dan 45 W
3	C	10 W, 15 W, 20 W, dan 45 W

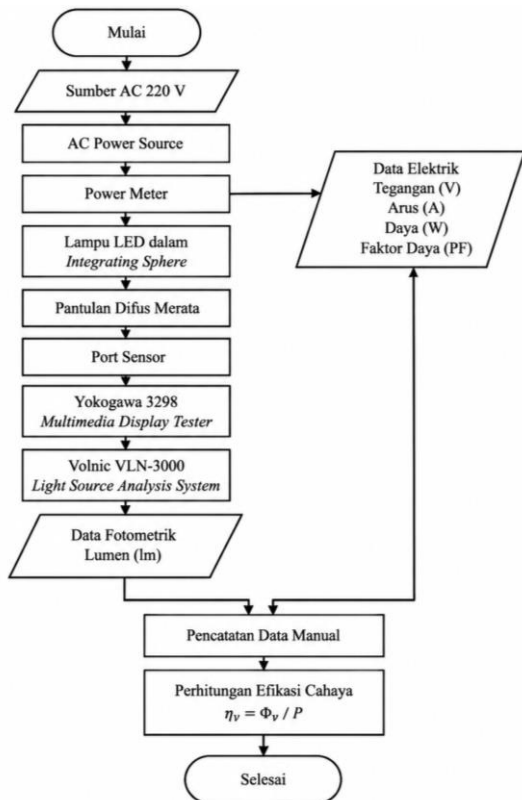
Data penelitian diperoleh melalui pengujian langsung sampel lampu LED menggunakan pengukuran fotometrik dan elektrik. Parameter yang diukur meliputi *luminous flux*, tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya (*power factor*) (Kumar dan Singh, 2022).

Pengukuran cahaya dilakukan menggunakan *integrating sphere photometer Volnic VLN-3000 Light Source Analysis System*, yang mampu mengumpulkan total keluaran cahaya melalui refleksi difus untuk memperoleh nilai *luminous flux* yang representatif (Górecki dan Kalinowska, 2024).

Parameter kelistrikan diukur menggunakan *power meter* dan digunakan untuk menghitung efikasi cahaya (*luminous efficacy*) sebagai indikator efisiensi energi. Sebelum pengujian sampel, sistem *integrating sphere* dikalibrasi menggunakan lampu standar kalibrasi (*standard tungsten halogen lamp*) sebagai referensi untuk memastikan akurasi pembacaan instrumen. Seluruh sampel diuji menggunakan konfigurasi yang sama dengan tegangan suplai terkontrol sebesar 220 V.

Lampu LED dipasang pada posisi pusat *integrating sphere* dengan konfigurasi pengukuran 4π , yaitu seluruh cahaya yang dipancarkan lampu ke berbagai arah dikumpulkan oleh permukaan reflektif bola melalui proses refleksi difus sebelum diterima oleh sensor. Sebelum

pengambilan data, lampu diberikan waktu stabilisasi selama 10 menit menggunakan lampu penetral bawaan alat untuk memastikan kondisi operasi yang stabil. Temperatur ruang selama pengujian dijaga pada $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prosedur pengukuran *luminous flux* mengacu pada standar ANSI/IES LM-78-20.



Gambar 4. Skema Pengujian Lampu LED Menggunakan *Integrating Sphere*

Berdasarkan Gambar 4, pengujian lampu LED dilakukan menggunakan sistem *integrating sphere* yang terhubung dengan sumber AC 220 V, *power meter*, dan sistem analisis cahaya. Lampu LED ditempatkan di dalam *integrating sphere* sehingga cahaya yang dipancarkan mengalami refleksi difus pada permukaan bagian dalam bola dan diterima oleh detektor fotometrik untuk memperoleh data *luminous flux*. Secara bersamaan, *power meter* digunakan untuk mengukur parameter elektrik berupa tegangan, arus, daya, dan faktor daya (*power factor*). Data fotometrik dan elektrik yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk pencatatan serta perhitungan efikasi cahaya pada setiap sampel lampu LED.

Instrumen penelitian meliputi sampel lampu LED, *integrating sphere*, *power meter*, dan detektor fotometrik yang disajikan pada Tabel 2.

Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan metode deskriptif-komparatif melalui perbandingan performa masing-masing sampel lampu LED. Parameter yang dianalisis meliputi *luminous flux*, daya aktif, tegangan, arus, dan faktor daya (*power factor*). Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk

mempermudah perbandingan karakteristik antar sampel. Penggunaan parameter fotometrik dan elektrik tersebut bertujuan untuk mengevaluasi kinerja serta tingkat efisiensi energi pada lampu LED (Doulos dkk., 2022).

Tabel 2. Spesifikasi Instrumen Dan Sampel Penelitian

No.	Instrumen	Spesifikasi	Fungsi
1	Lampu LED	Merek A, B, dan C variasi daya 10 W, 15 W, 20 W, dan 45 W	Sampel pengujian
2	<i>Integrating sphere</i>	Volnic VLN-3000 <i>Light Source Analysis System</i>	Mengukur <i>luminous flux</i>
3	<i>Power meter</i>	Yokogawa WT310E <i>Precision Power Analyzer</i>	Mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya
4	Detektor fotometrik	Yokogawa 3298 <i>Multimedia Display Tester</i>	Mengukur karakteristik fotometrik cahaya dari <i>integrating sphere</i>

Efisiensi energi lampu LED dievaluasi berdasarkan nilai efikasi cahaya (*luminous efficacy*), yaitu perbandingan antara *luminous flux* terhadap daya aktif hasil pengukuran. Daya aktif digunakan karena merepresentasikan konsumsi energi aktual lampu yang dapat berbeda dari daya nominal akibat karakteristik rangkaian *LED driver* dan kondisi operasi. Nilai efikasi cahaya menggambarkan kemampuan lampu dalam menghasilkan keluaran cahaya untuk setiap satuan daya listrik yang digunakan (Gaballah dkk., 2023). Nilai efikasi cahaya dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P} \quad (1)$$

Keterangan:

η_v = efikasi cahaya (lm/W)

Φ_v = *luminous flux* (lm)

P = daya aktif (W)

Nilai efikasi cahaya yang diperoleh digunakan sebagai dasar evaluasi performa energi dan penentuan tingkat hemat energi setiap sampel lampu LED. Perbandingan dilakukan berdasarkan kemampuan masing-masing sampel dalam menghasilkan keluaran cahaya terhadap daya listrik yang digunakan. Klasifikasi efisiensi energi mengacu pada rentang nilai efikasi cahaya dalam Standar Kinerja Energi Minimum (SKEM) dan Label Tanda Hemat Energi (LTHE) untuk lampu LED swabalast berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2021.

Tabel 3. Klasifikasi Tingkat Hemat Energi Lampu LED Berdasarkan Efikasi Cahaya (Kementerian ESDM RI 2021)

Tingkat Hemat Energi	Nilai Efikasi Cahaya
★	≥80–98 lm/W
★★	>98–108 lm/W
★★★	>108–119 lm/W
★★★★	>119–135 lm/W
★★★★★	>135 lm/W

Selain efikasi cahaya, faktor daya (*power factor*) digunakan sebagai parameter evaluasi karakteristik kelistrikan lampu LED. Faktor daya menunjukkan tingkat efektivitas pemanfaatan daya listrik oleh beban, sehingga nilai yang lebih tinggi menunjukkan penggunaan energi listrik yang lebih optimal pada sistem pencahayaan (Hosseini dan Sharifian, 2022).

Pengukuran faktor daya berkaitan dengan karakteristik kualitas daya pada peralatan listrik, termasuk perangkat pencahayaan, sebagaimana dibahas dalam IEC 61000-3-2:2018 yang mengatur batas emisi harmonisa arus pada peralatan listrik. Standar tersebut menjadi salah satu acuan dalam menilai karakteristik arus masukan suatu peralatan. Dalam penelitian ini, nilai faktor daya digunakan sebagai parameter untuk membandingkan karakteristik pemanfaatan energi listrik pada masing-masing sampel lampu LED. Perhitungan nilai faktor daya dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$PF = \frac{P}{V \times I} \quad (2)$$

Keterangan:

PF = faktor daya

P = daya aktif (W)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

Untuk mempermudah interpretasi, nilai faktor daya dikategorikan berdasarkan kualitas pemanfaatan daya listrik dengan nilai lebih tinggi menunjukkan penggunaan daya aktif yang optimal (Chapman, 2019).

Tabel 4. Interpretasi Nilai Faktor Daya Lampu LED

Nilai Faktor Daya (PF)	Interpretasi
$PF \geq 0,90$	Sangat baik
$0,80 \leq PF < 0,90$	Baik
$0,70 \leq PF < 0,80$	Cukup
$PF < 0,70$	Rendah

Nilai hasil pengukuran dan perhitungan selanjutnya dibandingkan antar sampel lampu LED untuk mengetahui perbedaan karakteristik performa berdasarkan keluaran cahaya, konsumsi energi listrik, tingkat efisiensi energi, dan karakteristik kelistrikan. Hasil analisis digunakan untuk menentukan performa masing-masing sampel berdasarkan hubungan antara luminous flux, daya aktif,

efikasi cahaya, dan faktor daya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan terhadap tiga kelompok sampel lampu LED komersial, yaitu Lampu A, Lampu B, dan Lampu C dengan variasi daya nominal 10 W, 15 W, 20 W, dan 45 W. Pengukuran dilakukan menggunakan *integrating sphere* dan *power meter* untuk memperoleh karakteristik fotometrik dan elektrik masing-masing sampel. Parameter yang diperoleh meliputi fluks cahaya (*luminous flux*), tegangan, daya aktif, dan faktor daya (*power factor*).

Setiap sampel diuji menggunakan prosedur pengukuran yang sama agar hasil dapat dibandingkan secara objektif. Variasi daya nominal digunakan untuk mengamati pengaruh kapasitas daya terhadap karakteristik keluaran cahaya dan konsumsi energi listrik.

Data hasil pengukuran digunakan sebagai dasar analisis performa energi lampu LED. Dokumentasi pengujian menggunakan *integrating sphere* ditampilkan pada Gambar 5.



(a) Pengujian Sampel lampu A dan B



(b) Pengujian Sampel lampu C

Gambar 5. Dokumentasi Pengujian Lampu LED Menggunakan *Integrating Sphere*

Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah pengolahan dan perbandingan antar sampel.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Karakteristik Lampu LED

Sampel	Daya Nominal (W)	Fluks Cahaya (lm)	Tegangan (V)	Daya Aktif (W)	Faktor Daya (PF)
Lampu A	10	784,3	220	8,82	0,5436
Lampu A	15	1235,7	220	12,90	0,5507
Lampu A	20	1514,8	220	16,95	0,5349
Lampu A	45	2671,8	220	28,91	0,5341
Lampu B	10	790,1	220	8,75	0,5447
Lampu B	15	1241,3	220	12,77	0,5490
Lampu B	20	1498,3	220	17,01	0,5372
Lampu B	45	2504,6	220	28,90	0,5416
Lampu C	10	791,7	220	8,77	0,5435
Lampu C	15	1243,6	220	12,86	0,5503
Lampu C	20	1506,9	220	16,87	0,5339
Lampu C	45	2219,3	220	28,94	0,5302

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 5, setiap sampel lampu LED menunjukkan perbedaan karakteristik keluaran cahaya dan konsumsi daya. Peningkatan daya nominal umumnya meningkatkan fluks cahaya, tetapi tidak selalu meningkatkan efisiensi energi. Hal ini menunjukkan bahwa performa lampu tidak hanya dipengaruhi oleh daya, tetapi juga oleh efisiensi komponen penyusun, terutama *LED driver* yang mengatur konversi energi listrik menuju chip LED.

Perbedaan antara daya nominal dan daya aktif terjadi karena daya nominal merupakan spesifikasi produsen, sedangkan daya aktif menunjukkan konsumsi aktual saat pengujian. Selisih tersebut dapat dipengaruhi oleh rugi-rugi pada rangkaian elektronik, toleransi komponen, serta karakteristik *LED driver* sebagai beban nonlinier yang memengaruhi arus masukan.

Efikasi cahaya (*luminous efficacy*) digunakan sebagai indikator utama efisiensi energi lampu LED karena menunjukkan kemampuan menghasilkan cahaya dari setiap watt daya listrik yang digunakan. Nilai efikasi seluruh sampel berada pada rentang **76,67–97,20 lm/W**, yang menunjukkan variasi kemampuan konversi energi antar lampu LED. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh efisiensi *LED driver*, kualitas chip LED, dan desain optik, sehingga daya nominal tidak dapat menjadi satu-satunya parameter dalam menilai performa energi lampu LED.

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P} \quad (1)$$

Keterangan:

η_v = efikasi cahaya (lm/W)

Φ_v = fluks cahaya (luminous flux) (lm)

P = daya aktif (W)

Sebagai contoh, perhitungan efikasi cahaya pada Lampu A 10 W dilakukan sebagai berikut:

Diketahui:

$$\Phi_v = 784,3 \text{ lm}$$

$$P = 8,82 \text{ W}$$

Maka:

$$\eta_v = \frac{784,3}{8,82}$$

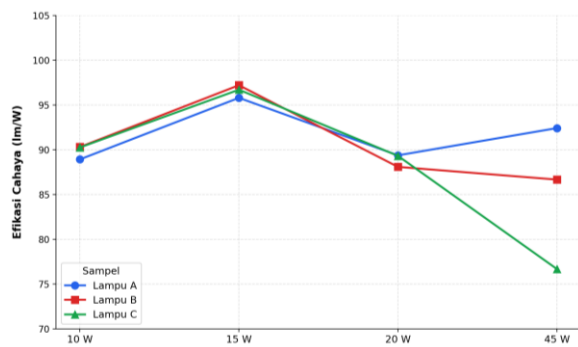
$$\eta_v = 88,92 \text{ lm/W}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, Lampu A 10 W menghasilkan efikasi cahaya sebesar 88,92 lm/W. Perhitungan yang sama dilakukan terhadap seluruh sampel lampu LED sehingga diperoleh nilai efikasi cahaya seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Efikasi Cahaya Lampu LED

Sampel	Daya Nominal (W)	Fluks Cahaya (lm)	Daya Aktif (W)	Efikasi Cahaya (lm/W)
Lampu A	10	784,3	8,82	88,92
Lampu A	15	1235,7	12,90	95,79
Lampu A	20	1514,8	16,95	89,37
Lampu A	45	2671,8	28,91	92,41
Lampu B	10	790,1	8,75	90,30
Lampu B	15	1241,3	12,77	97,20
Lampu B	20	1498,3	17,01	88,08
Lampu B	45	2504,6	28,90	86,66
Lampu C	10	791,7	8,77	90,25
Lampu C	15	1243,6	12,86	96,70
Lampu C	20	1506,9	16,87	89,31
Lampu C	45	2219,3	28,94	76,67

Variasi nilai efikasi cahaya antar sampel menunjukkan bahwa performa lampu LED tidak hanya ditentukan oleh besarnya daya listrik yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik komponen penyusun lampu, seperti efisiensi chip LED, sistem optik, serta rangkaian pengendali (*LED driver*). *LED driver* berperan penting dalam proses konversi dan pengaturan energi listrik sebelum diberikan ke chip LED. Pada produk LED komersial dengan pertimbangan efisiensi biaya produksi, penggunaan topologi *driver* yang lebih sederhana dapat menyebabkan kemampuan pengaturan arus LED menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut dapat meningkatkan rugi-rugi daya pada rangkaian elektronik dan menyebabkan energi listrik yang dikonsumsi tidak sepenuhnya dikonversi menjadi keluaran cahaya. Selain itu, karakteristik *driver* yang berbeda dapat memengaruhi kestabilan arus, sehingga menghasilkan variasi nilai efikasi cahaya antar sampel meskipun memiliki daya nominal yang sama.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Efikasi Cahaya Sampel Lampu LED

Berdasarkan Gambar 6, nilai efikasi cahaya (*luminous efficacy*) pada sampel lampu LED menunjukkan variasi pada setiap tingkat daya dengan rentang **76,67–97,20 lm/W**. Nilai tertinggi diperoleh pada Lampu B 15 W sebesar 97,20 lm/W, sedangkan nilai terendah terdapat pada Lampu C 45 W sebesar 76,67 lm/W. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan daya nominal tidak selalu menghasilkan peningkatan efisiensi energi, karena kemampuan lampu dalam mengubah energi listrik menjadi cahaya dipengaruhi oleh karakteristik komponen penyusunnya.

Pada beberapa sampel, peningkatan daya menyebabkan kenaikan fluks cahaya, tetapi tidak selalu diikuti peningkatan efikasi yang sebanding. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya yang lebih besar belum tentu menghasilkan konversi energi yang lebih efektif. Perbedaan performa antar sampel dapat dipengaruhi oleh efisiensi *LED driver*, kualitas chip LED, serta desain optik yang menentukan jumlah cahaya yang dihasilkan dari setiap watt daya listrik yang digunakan.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Husnayain dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa kinerja energi lampu LED dapat berbeda antarproduk karena adanya variasi pada karakteristik kelistrikan dan komponen penyusunnya. Doulos dkk. (2022) juga menyatakan bahwa efikasi cahaya merupakan salah satu parameter penting dalam menilai efisiensi sistem pencahayaan karena menggambarkan hubungan antara jumlah cahaya yang dihasilkan dan daya listrik yang digunakan. Oleh karena itu, variasi nilai efikasi yang diperoleh dalam penelitian ini tidak hanya berkaitan dengan perbedaan daya nominal, tetapi juga dapat menunjukkan pengaruh desain serta efisiensi sistem internal pada masing-masing lampu LED.

Selanjutnya, nilai efikasi cahaya hasil pengujian dibandingkan dengan klasifikasi efisiensi energi berdasarkan SKEM dan LTHE untuk lampu LED swabalast. Perbandingan ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan tingkat efisiensi energi berdasarkan kemampuan lampu menghasilkan keluaran cahaya per satu watt daya listrik yang digunakan. Hasil klasifikasi berdasarkan nilai efikasi cahaya disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Tingkat Hemat Energi Sampel Lampu LED Berdasarkan Efikasi Cahaya

Sampel	Daya (W)	Efikasi Cahaya (lm/W)	Tingkat Hemat Energi
A	10	88,92	★
A	15	95,79	★
A	20	89,37	★
A	45	92,41	★
B	10	90,30	★
B	15	97,20	★
B	20	88,08	★
B	45	86,66	★
C	10	90,25	★
C	15	96,70	★
C	20	89,31	★
C	45	76,67	Belum memenuhi

Berdasarkan hasil klasifikasi pada Tabel 7, sebagian besar sampel lampu LED termasuk dalam kategori efisiensi energi satu bintang (★) dengan nilai efikasi cahaya berada pada rentang 80–98 lm/W. Klasifikasi tersebut ditentukan berdasarkan nilai efikasi cahaya hasil pengukuran yang dibandingkan dengan batas minimum SKEM dan kategori pada LTHE, sehingga status kepatuhan setiap sampel ditentukan oleh kemampuan lampu dalam memenuhi nilai efikasi minimum, bukan berdasarkan besar daya nominalnya. Sementara itu, Lampu C 45 W belum memenuhi batas minimum klasifikasi karena memiliki nilai efikasi cahaya sebesar 76,67 lm/W.

Hal ini disebabkan oleh peningkatan daya aktif yang tidak sebanding dengan peningkatan fluks cahaya yang dihasilkan, sehingga kemampuan lampu dalam mengubah energi listrik menjadi cahaya menjadi lebih rendah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan daya nominal tidak selalu menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi, karena efikasi cahaya dipengaruhi oleh perbandingan antara keluaran cahaya dan konsumsi daya listrik. Hal ini terlihat pada Lampu C 45 W yang menghasilkan fluks cahaya sebesar 2219,3 lm dengan daya aktif 28,94 W, tetapi memiliki efikasi lebih rendah dibandingkan beberapa sampel dengan daya nominal lebih kecil. Oleh karena itu, evaluasi kinerja lampu LED tidak cukup hanya berdasarkan daya nominal, tetapi perlu mempertimbangkan kemampuan konversi energi listrik menjadi cahaya secara efektif.

Perbedaan nilai efikasi antar sampel dapat dipengaruhi oleh karakteristik komponen lampu, seperti kualitas *LED chip*, desain optik, dan efisiensi rangkaian pengendali (*LED driver*). Dengan demikian, klasifikasi berdasarkan efikasi cahaya dapat digunakan sebagai pendekatan untuk membandingkan tingkat efisiensi energi antarproduk lampu LED komersial. Selain parameter fotometrik, analisis dilanjutkan dengan parameter kelistrikan berupa faktor daya (*power factor*) untuk mengevaluasi karakteristik

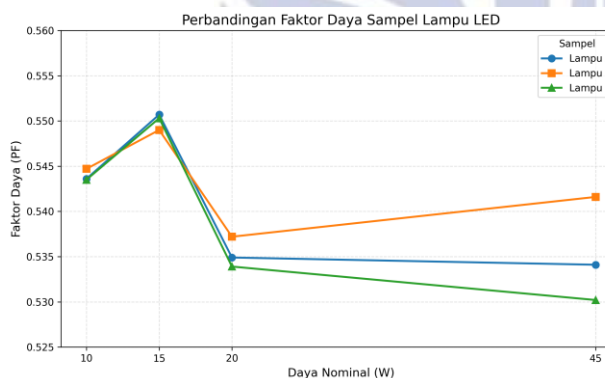
pemanfaatan daya listrik. Nilai faktor daya diperoleh melalui pengukuran menggunakan *power meter* dan hasil pengukurannya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Faktor Daya Lampu LED

Sampel	Daya Nominal (W)	Daya Aktif (W)	Faktor Daya (PF)
Lampu A	10	8,82	0,5436
Lampu A	15	12,90	0,5507
Lampu A	20	16,95	0,5349
Lampu A	45	28,91	0,5341
Lampu B	10	8,75	0,5447
Lampu B	15	12,77	0,5490
Lampu B	20	17,01	0,5372
Lampu B	45	28,90	0,5416
Lampu C	10	8,77	0,5435
Lampu C	15	12,86	0,5503
Lampu C	20	16,87	0,5339
Lampu C	45	28,94	0,5302

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 8, nilai faktor daya masing-masing sampel menunjukkan variasi yang relatif kecil pada setiap tingkat daya nominal. Untuk melihat kecenderungan perubahan nilai faktor daya antar

sampel secara lebih jelas, data hasil pengukuran tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Faktor Daya Sampel LED

Untuk memberikan interpretasi terhadap hasil pengukuran dengan kategori interpretasi faktor daya seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Interpretasi Nilai Faktor Daya Lampu LED

Nilai Faktor Daya (PF)	Interpretasi
$PF \geq 0,90$	Sangat baik
$0,80 \leq PF < 0,90$	Baik
$0,70 \leq PF < 0,80$	Cukup
$PF < 0,70$	Rendah

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada Tabel 9, faktor daya (*power factor*) seluruh sampel lampu LED berada pada kisaran 0,5302–0,5507. Variasi nilai tersebut berkaitan dengan karakteristik rangkaian pengendali (*LED driver*) yang digunakan pada masing-

masing produk dalam mengatur penggunaan daya listrik. Perbedaan desain dan komponen pada rangkaian pengendali menyebabkan sebagian daya yang disuplai tidak digunakan sebagai daya aktif, melainkan berkaitan dengan daya reaktif dan distorsi arus. Apabila dibandingkan dengan klasifikasi pada Tabel 8, seluruh sampel termasuk dalam kategori rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa untuk menghasilkan daya aktif yang sama, lampu membutuhkan daya semu yang relatif lebih besar. Akibatnya, arus masukan dapat menjadi lebih tinggi dan berpotensi memengaruhi kualitas daya pada sistem pencahayaan.

Nilai faktor daya antar sampel menunjukkan perbedaan yang relatif kecil meskipun lampu memiliki daya nominal yang berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa besarnya faktor daya tidak hanya berkaitan dengan kapasitas daya lampu, tetapi lebih banyak dipengaruhi oleh desain rangkaian elektronik di dalamnya. Karakteristik LED driver, khususnya kemampuan dalam mengatur arus masukan dan menerapkan koreksi faktor daya (*power factor correction*), turut menentukan nilai faktor daya yang dihasilkan oleh setiap produk.

Selain faktor daya, evaluasi efisiensi energi lampu LED dilakukan menggunakan parameter efikasi cahaya (*luminous efficacy*). Parameter ini menggambarkan kemampuan lampu dalam menghasilkan keluaran cahaya berdasarkan jumlah daya listrik yang dikonsumsi. Nilai efikasi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa proses konversi energi listrik menjadi cahaya berlangsung

semakin efektif. Oleh karena itu, efikasi cahaya digunakan sebagai parameter utama dalam membandingkan performa energi antar sampel, sedangkan faktor daya digunakan sebagai parameter pendukung untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik kelistrikan lampu LED.

Berdasarkan hasil analisis efikasi cahaya, Lampu B 15 W memiliki nilai efikasi tertinggi di antara sampel yang diuji. Selanjutnya, hasil tersebut dibandingkan dengan klasifikasi SKEM/LTHE sebagai acuan untuk melihat tingkat efisiensi energi lampu LED berdasarkan nilai efikasi cahaya yang diperoleh

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Surabaya yang telah memberikan fasilitas, kesempatan, serta dukungan selama proses pelaksanaan pengujian penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak di BSPJI Surabaya yang telah

membantu dan memberikan arahan selama proses pengambilan data. Dukungan yang diberikan menjadi bagian penting dalam kelancaran pelaksanaan hingga penyelesaian penelitian ini.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis karakteristik lampu LED komersial menggunakan integrating sphere dan power meter, dapat disimpulkan bahwa setiap sampel lampu LED memiliki karakteristik fotometrik dan elektrik yang berbeda berdasarkan parameter fluks cahaya (*luminous*

flux), daya aktif, efikasi cahaya (*luminous efficacy*), dan faktor daya (*power factor*). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai efikasi cahaya sampel berada pada rentang 76,67–97,20 lm/W, dengan nilai tertinggi diperoleh pada Lampu B 15 W sebesar 97,20 lm/W, sehingga menunjukkan kemampuan konversi energi listrik menjadi cahaya paling efisien berdasarkan parameter efikasi cahaya. Berdasarkan perbandingan nilai efikasi cahaya dengan referensi klasifikasi tingkat efisiensi energi SKEM dan LTHE, sebagian besar sampel berada pada kategori ★, sedangkan Lampu C 45 W memiliki nilai efikasi cahaya di bawah rentang klasifikasi tersebut. Selain itu, hasil pengukuran faktor daya menunjukkan nilai pada rentang 0,5302–0,5507 yang digunakan sebagai parameter pendukung untuk menggambarkan karakteristik kelistrikan masing-masing sampel lampu LED.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan jumlah sampel dan variasi merek lampu LED yang lebih beragam agar diperoleh gambaran performa energi yang lebih luas. Selain itu, pengujian dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter lain seperti temperatur warna (*correlated color temperature*), indeks reproduksi warna (*color rendering index*), serta karakteristik harmonisa untuk memperoleh evaluasi kualitas pencahayaan yang lebih menyeluruh. Pengujian dengan variasi waktu operasi dan kondisi penggunaan juga dapat dilakukan untuk mengetahui kestabilan performa lampu LED dalam jangka panjang. Dari sisi industri, produsen disarankan untuk meningkatkan efisiensi *LED driver* dan kualitas komponen penyusun agar menghasilkan produk dengan performa energi yang lebih optimal. Sementara itu, regulator dapat memperkuat penerapan standar efisiensi energi melalui pengujian kinerja lampu LED berdasarkan parameter fotometrik dan elektrik sebelum produk beredar di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Doulos, L., Kontadakakis, A., Madias, E. N., & Tsangrassoulis, A. (2022). Lighting application efficacy: A framework for holistically measuring lighting use in buildings. *Frontiers in Built Environment*, 8, 986961.
- Gaballah, A. E. H., Abdelmageed, A., & El-Moghazy, E. M. (2023). Investigation of energy efficiency index for indoor LED lighting units. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 26(1), 97–104.
- Górecki, K., & Kalinowska, A. (2024). Comparison of selected methods for measuring the luminous flux of solid-state light sources. *Opto-Electronics Review*, 32, e149234.
- Hakim, M. F., Syamsiana, I. N., & Prasojo, R. A. (2021). Perbandingan kinerja beberapa lampu LED cerdas. *Jurnal ELTEK*, 19(2), 48–54.
- Hosseini, S. H., & Sharifian, M. B. B. (2022). A comprehensive review on various non-isolated power converter topologies for a light-emitting diode driver. *Frontiers in Energy Research*, 10, 1055258.
- Husnayain, F., Himawan, D. S., Utomo, A. R., Ardita, I. M., & Sudiarto, B. (2023). Analisis perbandingan kinerja lampu LED, CFL, dan pijar pada sistem penerangan kantor. *Cyclotron: Jurnal Teknik Elektro*, 6(1), 78–83.
- Illuminating Engineering Society. (2020). *ANSI/IES LM-78-20: Approved method: Total luminous flux measurement of lamps using an integrating sphere photometer*. Illuminating Engineering Society.
- International Electrotechnical Commission. (2018). *IEC 61000-3-2:2018 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase)*. International Electrotechnical Commission.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2021 tentang Penerapan Standar Kinerja Energi Minimum untuk Peralatan Pemanfaat Energi*.
- Kumar, R., & Singh, B. (2022). Measurement of color, photometry and electrical parameters of street light LEDs. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3461–3466.
- Mlynczak, J. (2025). Measuring the low divergent luminous flux emitted by LED torch lamps using a simple detector and a spectrometer as an alternative to an integrating sphere. *Measurement*, 241, 115725.
- Polat, Z., Bayar, H., & Dursun, E. (2024). Comparative analysis of different LED lamps with reference to EU's ecodesign and energy labeling regulations in Türkiye. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(4), 1443–1451.
- Rinaldi, R. S., Anggraini, I. N., Herawati, A., & Ladio, W. A. (2026). Studi perbandingan kinerja bohlam LED DC dan bohlam LED AC untuk pencahayaan sistem PV off-grid. *Jurnal Surya Teknika*, 13(1), 9–14.
- Rusimanto, P. W., Achmad, F., & Fathoni, A. N. (2025). *Elektronika Dasar dan Penerapannya*. Penerbit KBM Indonesia.
- Setianingrum, Y., Hamidah, M., Rahardjo, S., Rasuanta, M. P., & Rahmadiansyah, M. (2023). Characterization of spectroradiometric based luminous flux measurements for LED luminaires at BRIN Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2498(1), 012038.
- Shul'ga, A. A. (2021). Methods to measure the radiant flux of light-emitting diodes. *Journal of Optical Technology*, 88(7), 401–404.