

Makalah Penelitian

Analisis Efisiensi Energi Berbasis Konsumsi Daya Pada Tiga Generasi Teknologi Lampu

Rikky Yaldi Girsang¹, Zuraidah Tharo², Muhammad Erpandi Dalimunthe³

^{1,2,3}Universitas Pembangunan Panca Budi

¹gustiarsiregar19@gmail.com

Corresponding Author: Rikky Yaldi Girsang

ABSTRACT

The problem of limited energy and high household electricity consumption in Indonesia encourages the importance of implementing energy-efficient lighting technology. The still high use of energy-wasting incandescent lamps indicates the low energy literacy of the community in choosing efficient types of lamps. This study aims to analyze and compare the energy efficiency of three generations of lamp technology, namely incandescent lamps, compact fluorescent lamps (CFLs), and LED lamps, with an experimental approach. Testing was carried out using a wattmeter, lux meter, and infrared thermometer in a closed room with controlled conditions. Each type of lamp was tested with a light output equivalent to ± 800 lumens. The test results showed that LED lamps had the lowest power consumption of 10 watts with the highest efficiency of 80 lumens per watt and a surface temperature of 45°C. CFLs have a power consumption of 15 watts with an efficiency of 53.3 lumens per watt and a temperature of 70°C. Meanwhile, incandescent lamps consume 60 watts with an efficiency of only 13.3 lumens per watt and a surface temperature of 120°C. Simulation of household use shows that the use of LEDs can save electricity costs of up to 112,500 rupiah per month compared to incandescent lamps. The results of this study provide empirical evidence that LEDs are the most efficient lighting solution in terms of energy, cost, and safety of use for the household sector.

Kata Kunci: Energy Efficiency, LED Lights, CFL, Incandescent Lights, Power Consumption

ABSTRAK

Permasalahan keterbatasan energi dan tingginya konsumsi listrik rumah tangga di Indonesia mendorong pentingnya penerapan teknologi pencahayaan yang hemat energi. Masih tingginya penggunaan lampu pijar yang boros energi menunjukkan rendahnya literasi energi masyarakat dalam memilih jenis lampu yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi energi dari tiga generasi teknologi lampu, yaitu lampu pijar, lampu fluoresen kompak (CFL), dan lampu LED, dengan pendekatan eksperimental. Pengujian dilakukan menggunakan wattmeter, lux meter, dan termometer inframerah dalam ruang tertutup dengan kondisi terkontrol. Masing-masing jenis lampu diuji dengan output cahaya setara ± 800 lumen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa lampu LED memiliki konsumsi daya terendah yaitu 10 watt dengan efisiensi tertinggi sebesar 80 lumen per watt dan suhu permukaan 45°C. CFL memiliki konsumsi daya 15 watt dengan efisiensi 53,3 lumen per watt dan suhu 70°C. Sedangkan lampu pijar mengonsumsi 60 watt dengan efisiensi hanya 13,3 lumen per watt dan suhu permukaan mencapai 120°C. Simulasi penggunaan dalam rumah tangga menunjukkan bahwa penggunaan LED dapat menghemat biaya listrik hingga 112.500 rupiah per bulan dibandingkan lampu pijar. Hasil penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa LED adalah solusi pencahayaan paling efisien dari sisi energi, biaya, dan keselamatan penggunaan untuk sektor rumah tangga.

Kata kunci: PLC, greenhouse piggyback, kendali otomatis, wick system, irigasi sumbu, dan pertanian presisi

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi yang semakin terbatas menjadi salah satu tantangan utama yang dihadapi dunia pada abad ke-21. Ketergantungan global terhadap sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam telah berlangsung selama puluhan tahun dan hingga kini masih mendominasi lebih dari 80% total kebutuhan energi dunia.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Menurut laporan *World Energy Outlook 2023* yang dirilis oleh International Energy Agency (IEA), konsumsi energi primer global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi, di mana kebutuhan energi meningkat sebesar 2,2% dibandingkan tahun sebelumnya. Ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan ini tidak hanya menimbulkan kekhawatiran terhadap kelangkaan energi di masa depan, tetapi juga berdampak besar terhadap kerusakan lingkungan. Proses pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyumbang utama emisi karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer, yang mempercepat laju perubahan iklim global dan menyebabkan pemanasan bumi, kenaikan permukaan air laut, serta gangguan cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi. Data dari United Nations Environment Programme (UNEP) menunjukkan bahwa sektor energi menyumbang hampir 75% dari total emisi gas rumah kaca global, dan tanpa adanya perubahan mendasar dalam sistem energi, target pengurangan emisi karbon yang disepakati dalam Perjanjian Paris 2015 akan sulit tercapai. Oleh karena itu, transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan efisien menjadi sangat mendesak, tidak hanya dari sisi produksi energi berbasis energi terbarukan, tetapi juga dari sisi konsumsi energi oleh masyarakat. Efisiensi energi merupakan salah satu pendekatan paling strategis dan hemat biaya untuk mengurangi permintaan energi global, memperpanjang umur sumber daya energi yang ada, serta menurunkan emisi karbon secara signifikan. Konsep efisiensi energi mengacu pada upaya untuk menggunakan energi seminimal mungkin untuk menghasilkan keluaran atau manfaat yang sama, baik dalam bentuk penerangan, pemanasan, pendinginan, maupun aktivitas industri. Berdasarkan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia tahun 2022, efisiensi energi dianggap sebagai “energi baru” yang paling cepat dan murah diterapkan karena tidak memerlukan pembangunan infrastruktur baru, melainkan cukup dengan mengoptimalkan penggunaan energi yang sudah ada. Dalam skala rumah tangga, penerapan efisiensi energi tidak hanya memberikan manfaat ekonomi berupa pengurangan tagihan listrik, tetapi juga kontribusi nyata terhadap pengurangan emisi karbon secara kolektif di tingkat nasional maupun global.

Di Indonesia, konsumsi energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, meningkatnya standar hidup masyarakat, serta meluasnya elektrifikasi ke wilayah-wilayah pelosok. Berdasarkan data Statistik Ketenagalistrikan Nasional yang dirilis oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM tahun 2022, konsumsi listrik sektor rumah tangga mencapai 112,5 terawatt hour (TWh), menjadikannya sebagai salah satu sektor pengguna energi terbesar setelah industri dan bisnis. Penyediaan energi untuk rumah tangga menjadi prioritas dalam sistem kelistrikan nasional karena bersinggungan langsung dengan kebutuhan dasar masyarakat. Di dalam rumah tangga sendiri, distribusi konsumsi energi listrik sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah peralatan listrik yang digunakan. Salah satu komponen utama dalam konsumsi energi rumah tangga adalah sistem pencahayaan, yang bersifat rutin dan digunakan secara berkelanjutan dari pagi hingga malam hari. Berdasarkan hasil survei oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) tahun 2021, pencahayaan menyumbang sekitar 25% dari total penggunaan listrik rumah tangga di Indonesia, tergantung pada luas hunian, jumlah penghuni, serta kebiasaan penggunaan lampu. Lampu menjadi perangkat listrik yang nyaris selalu aktif di setiap ruang, baik di dalam ruangan (indoor) seperti kamar, dapur, dan ruang tamu, maupun di luar ruangan (outdoor) seperti teras dan halaman. Meskipun teknologi pencahayaan telah mengalami perkembangan signifikan dari waktu ke waktu, masih banyak rumah tangga di Indonesia yang menggunakan teknologi lampu generasi lama yang kurang efisien, seperti lampu pijar, terutama di daerah-daerah dengan tingkat literasi energi yang rendah atau terbatasnya akses terhadap produk teknologi terbaru. Hal ini menyebabkan beban energi untuk pencahayaan tetap tinggi dan berdampak langsung terhadap total konsumsi listrik rumah tangga yang harus ditanggung setiap bulannya oleh masyarakat.

Meskipun tren global telah bergerak menuju penggunaan perangkat elektronik hemat energi, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa masyarakat Indonesia masih banyak yang menggunakan teknologi lampu generasi lama, khususnya lampu pijar, yang dikenal boros energi dan memiliki efisiensi konversi cahaya yang sangat rendah. Lampu pijar, yang bekerja dengan memanaskan filamen logam hingga bersinar, hanya mampu mengubah sekitar 10% energi listrik menjadi cahaya, sedangkan sisanya hilang dalam bentuk panas. Di berbagai daerah, terutama di wilayah pedesaan atau masyarakat berpenghasilan rendah, lampu pijar tetap menjadi pilihan utama karena harga belinya yang murah dan ketersediaannya yang melimpah di pasaran. Padahal dalam jangka panjang, biaya penggunaan lampu pijar lebih besar dibandingkan dengan lampu hemat energi seperti CFL dan LED. Fenomena ini tidak lepas dari rendahnya tingkat literasi energi di kalangan masyarakat. Banyak pengguna yang belum memahami konsep efisiensi energi atau tidak memiliki informasi memadai mengenai perbandingan konsumsi daya dan output cahaya dari berbagai jenis lampu. Dalam konteks perilaku energi, penggunaan teknologi yang boros energi dapat dijelaskan melalui teori *Theory of Planned Behavior* yang dikembangkan oleh Ajzen (1991), yang menyatakan bahwa perilaku seseorang dipengaruhi oleh tiga komponen utama: sikap terhadap perilaku (*attitude*), norma subjektif (*subjective norm*), dan persepsi kontrol perilaku (*perceived behavioral control*). Jika masyarakat memiliki sikap positif terhadap lampu murah, tekanan sosial tidak menuntut perubahan, dan mereka merasa tidak memiliki kontrol atau akses terhadap lampu hemat energi, maka mereka cenderung mempertahankan kebiasaan penggunaan lampu boros energi [1]. Selain itu, keterbatasan informasi juga menyebabkan rendahnya intensi untuk berubah, karena pilihan lampu biasanya hanya didasarkan pada harga jual tanpa mempertimbangkan efisiensi jangka panjang. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi untuk meningkatkan



kesadaran dan pengetahuan masyarakat tentang manfaat penggunaan teknologi pencahayaan yang efisien sangat diperlukan untuk mendorong pergeseran perilaku konsumsi energi ke arah yang lebih hemat dan berkelanjutan.

Lampu pijar masih menjadi salah satu jenis lampu yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia, meskipun secara teknologi sudah dianggap usang dan tidak efisien. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan ke teknologi yang lebih efisien seperti CFL (Compact Fluorescent Lamp) dan LED (Light Emitting Diode) tidak semata-mata ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh faktor sosial, ekonomi, dan psikologis masyarakat pengguna. Lampu pijar, yang mengandalkan panas untuk menghasilkan cahaya, mengkonsumsi daya listrik jauh lebih besar dibandingkan dengan lampu hemat energi, namun tetap menjadi pilihan karena harga belinya yang lebih murah, pemasangan yang sederhana, dan kemudahan akses di toko-toko tradisional. Masyarakat cenderung memilih produk yang langsung terjangkau secara ekonomi tanpa mempertimbangkan biaya jangka panjang, seperti besarnya tagihan listrik atau umur pakai lampu. Situasi ini mencerminkan rendahnya tingkat literasi energi, yaitu kemampuan masyarakat untuk memahami, mengevaluasi, dan mengambil keputusan yang bijak dalam penggunaan energi. Sebagian besar pengguna lampu rumah tangga tidak mengetahui perbedaan mendasar antara ketiga generasi teknologi pencahayaan, termasuk cara kerja, konsumsi daya, intensitas cahaya yang dihasilkan, serta dampak ekonomis dan lingkungannya. Rendahnya kesadaran tersebut dapat dijelaskan melalui pendekatan *Theory of Planned Behavior* (Ajzen, 1991), yang menyatakan bahwa perilaku seseorang dipengaruhi oleh sikap terhadap perilaku, norma subjektif, dan persepsi kontrol perilaku. Dalam konteks penggunaan lampu hemat energi, masyarakat yang tidak memiliki sikap positif terhadap lampu LED karena dianggap mahal, ditambah tidak adanya tekanan sosial untuk beralih ke produk hemat energi, serta persepsi bahwa mereka tidak memiliki kendali atau akses terhadap pilihan teknologi yang efisien, akan cenderung tetap menggunakan lampu pijar [2]. Selain itu, kurangnya informasi dan edukasi dari pihak terkait membuat persepsi masyarakat terhadap manfaat jangka panjang dari efisiensi energi tidak berkembang. Beberapa rumah tangga bahkan menganggap bahwa konsumsi listrik hanya dapat dikendalikan dengan membatasi durasi pemakaian lampu, bukan melalui pemilihan teknologi yang lebih hemat daya. Padahal berdasarkan prinsip efisiensi energi, penggunaan teknologi yang tepat dapat menghasilkan penghematan tanpa harus mengurangi kenyamanan atau fungsi pencahayaan.

Konsep efisiensi energi dalam sistem pencahayaan merujuk pada seberapa besar cahaya yang dapat dihasilkan oleh sebuah lampu dari sejumlah energi listrik yang dikonsumsinya. Secara umum, efisiensi energi dapat dihitung dengan rumus rasio antara output cahaya (dalam satuan lumen) terhadap input daya listrik (dalam satuan watt), sehingga menghasilkan nilai lumen per watt (lm/W) sebagai indikator kinerja pencahayaan. Semakin tinggi nilai lumen per watt, maka semakin efisien suatu lampu dalam mengubah energi listrik menjadi cahaya. Secara teknis, setiap jenis lampu memiliki karakteristik konversi energi yang berbeda berdasarkan prinsip kerja teknologi di dalamnya. Pada lampu pijar, proses pencahayaan terjadi ketika arus listrik dialirkan ke kawat filamen logam (biasanya tungsten), yang kemudian memanaskan hingga berpijar dan memancarkan cahaya. Namun, sebagian besar energi listrik yang masuk terbuang dalam bentuk panas, sehingga efisiensinya sangat rendah. Sementara itu, lampu fluoresen kompak atau CFL (*Compact Fluorescent Lamp*) menggunakan arus listrik untuk mengionisasi gas di dalam tabung, menghasilkan sinar ultraviolet yang kemudian memicu lapisan fosfor di bagian dalam tabung untuk menghasilkan cahaya tampak. Proses ini lebih efisien daripada lampu pijar karena menghasilkan lebih banyak cahaya dari energi yang digunakan, meskipun masih terdapat kerugian energi dalam bentuk panas. Teknologi pencahayaan paling mutakhir adalah LED (*Light Emitting Diode*), yang menggunakan semikonduktor sebagai bahan aktif. Saat arus listrik dialirkan, elektron dan hole dalam semikonduktor bergabung dan melepaskan energi dalam bentuk foton secara langsung, menghasilkan cahaya tampak dengan efisiensi tinggi tanpa banyak menghasilkan panas. Berdasarkan data teoretis dan hasil uji laboratorium dari berbagai sumber seperti US Department of Energy dan laporan teknis industri, perbandingan efisiensi energi dari ketiga generasi teknologi lampu tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Energi Tiga Generasi Teknologi Lampu

Jenis Lampu	Konsumsi Daya (Watt)	Cahaya Dihasilkan (Lumen)	Efisiensi (Lumen/W)
Lampu Pijar	60 W	±800 lumen	13–17 lm/W
CFL	15 W	±800 lumen	50–70 lm/W
LED	10 W	±800 lumen	80–120 lm/W

Perbandingan ini menunjukkan secara teoritis bahwa teknologi LED mampu menghasilkan cahaya yang sama dengan konsumsi daya yang jauh lebih rendah dibandingkan teknologi sebelumnya. Dalam upaya mengevaluasi efisiensi energi dari berbagai jenis teknologi pencahayaan, pendekatan eksperimental berbasis pengukuran langsung menjadi sangat penting untuk memperoleh data yang akurat dan objektif. Hal ini dikarenakan spesifikasi teknis yang tercantum pada kemasan produk sering kali tidak merepresentasikan performa lampu dalam kondisi penggunaan sebenarnya. Faktor seperti tegangan listrik yang fluktuatif, suhu lingkungan, dan lama waktu pemakaian dapat



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

memengaruhi hasil kinerja pencahayaan, sehingga pengujian laboratorium yang terstandar atau pengukuran eksperimental lapangan lebih dapat diandalkan sebagai rujukan teknis. Melalui metode eksperimen, parameter penting seperti konsumsi daya aktual (dalam watt), jumlah cahaya yang dihasilkan (dalam lumen), dan nilai efisiensi energi (lumen per watt) dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat bantu seperti wattmeter dan lux meter. Selain itu, pengujian juga memungkinkan untuk menilai umur pakai lampu dalam jangka waktu tertentu, perubahan suhu permukaan saat lampu menyala, serta kestabilan intensitas cahaya dalam durasi pemakaian yang lama. Faktor-faktor tersebut penting untuk dinilai karena efisiensi energi bukan hanya sekadar seberapa terang suatu lampu, tetapi juga bagaimana lampu tersebut mempertahankan performanya dalam berbagai kondisi teknis dan durasi pemakaian [3]. Melalui pendekatan kuantitatif ini, perbandingan antara tiga generasi teknologi lampu pijar, CFL, dan LED dapat dilakukan secara komprehensif sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja aktual dari masing-masing jenis lampu dalam konteks efisiensi energi, bukan hanya berdasarkan klaim pabrikan semata.

Dalam lima tahun terakhir, sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada sistem pencahayaan, terutama yang membandingkan performa antara berbagai jenis teknologi lampu. Penelitian oleh Andri Yulisman (2022) [4] berjudul “Analisa Perubahan Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya Pada Lampu Cfl Dan Lampu Led” menggunakan pendekatan eksperimental sederhana dengan alat lux meter untuk mengukur keluaran cahaya. Hasilnya menunjukkan bahwa lampu LED lebih efisien dari CFL, namun penelitian ini tidak memasukkan lampu pijar sebagai pembanding dan hanya berfokus pada dua teknologi saja. Penelitian serupa dilakukan oleh Faiz Husanayain (2023) [5] yang menggunakan metode simulasi berbasis perangkat lunak DIALux untuk menghitung efisiensi pencahayaan pada desain interior rumah tinggal. Meskipun studi ini menyajikan model pencahayaan secara visual dan matematis, namun tidak mengukur konsumsi daya aktual dalam kondisi penggunaan nyata, sehingga hasilnya bersifat prediktif. Sementara itu, penelitian oleh Abdul Rohim, dkk (2025) [6] lebih menekankan pada aspek ekonomis awal, seperti harga beli dan ketersediaan produk, tanpa mengukur output cahaya atau konsumsi listrik secara langsung. Penelitian dari Muhmmad Fahmi Hakim, dkk (2021) [7] membandingkan performa lampu LED merek berbeda, namun tidak mengkaji perbedaan antar generasi teknologi pencahayaan. Sementara, studi Agus Salim Wardhana, dkk (2025) [8] menekankan manfaat LED dalam menghemat daya pada daerah tanpa jaringan listrik stabil, tetapi tidak menyediakan perbandingan kuantitatif dengan lampu pijar atau CFL. Dari keseluruhan penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa mayoritas hanya membandingkan dua jenis lampu, menggunakan metode simulasi, atau menekankan pada variabel harga dan ketersediaan tanpa menguji langsung efisiensi pencahayaan dalam kondisi nyata.

Berdasarkan hasil telaah terhadap berbagai penelitian sebelumnya yang dilakukan dalam kurun waktu lima tahun terakhir, ditemukan sejumlah keterbatasan yang menunjukkan bahwa masih terdapat celah penelitian (research gap) yang dapat dikaji lebih lanjut. Salah satu kekurangan yang umum adalah terbatasnya cakupan teknologi lampu yang dianalisis, di mana sebagian besar studi hanya membandingkan dua jenis lampu saja, umumnya antara CFL dan LED, tanpa memasukkan lampu pijar sebagai bagian dari perbandingan menyeluruh. Padahal, lampu pijar masih digunakan secara luas oleh masyarakat dan merepresentasikan generasi awal teknologi pencahayaan. Selain itu, mayoritas penelitian terdahulu mengandalkan pendekatan simulasi perangkat lunak atau data sekunder dari spesifikasi pabrikan tanpa pengujian langsung melalui alat ukur di lapangan. Pendekatan semacam ini menghasilkan temuan yang bersifat prediktif dan kurang mencerminkan kondisi aktual pemakaian lampu dalam kehidupan sehari-hari. Kurangnya pengujian eksperimental menyebabkan potensi variasi performa dari tiap teknologi dalam konteks rumah tangga tidak dapat terlihat secara nyata [9]. Hal ini penting karena efisiensi energi dalam penggunaan nyata dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti tegangan listrik, suhu ruangan, dan durasi pemakaian. Sebaliknya, penelitian ini menawarkan kontribusi baru dengan menggunakan pendekatan eksperimental yang mengukur langsung konsumsi daya, intensitas cahaya, dan efisiensi energi dari ketiga generasi teknologi lampu secara komprehensif dalam kondisi pengujian yang seragam dan terkontrol. Tidak hanya itu, penelitian ini juga menempatkan konteks rumah tangga sebagai latar uji utama, sehingga hasil yang diperoleh lebih relevan untuk diterapkan oleh konsumen umum maupun pengambil kebijakan yang ingin mendorong efisiensi energi di sektor domestic.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi dari tiga generasi teknologi lampu pijar, lampu fluoresen kompak (CFL), dan lampu LED berdasarkan pengukuran langsung terhadap konsumsi daya (watt) dan output cahaya (lumen) [10]. Melalui pendekatan eksperimental, penelitian ini berupaya mendapatkan data yang akurat dan objektif mengenai performa aktual dari masing-masing jenis lampu, sehingga dapat diketahui sejauh mana perbedaan efisiensi di antara ketiganya dalam kondisi pemakaian nyata yang menyerupai penggunaan rumah tangga. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan parameter penting seperti daya listrik aktual yang digunakan, intensitas cahaya yang dihasilkan, kestabilan pencahayaan, serta suhu permukaan lampu, yang kesemuanya memiliki kontribusi terhadap penilaian efisiensi energi secara menyeluruh. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rujukan empiris yang berguna bagi masyarakat dalam memilih jenis lampu yang lebih efisien dan ekonomis, bagi produsen dalam merancang produk pencahayaan yang lebih kompetitif dan ramah lingkungan, serta bagi pembuat kebijakan dalam menyusun regulasi atau program insentif yang mendorong penggunaan teknologi hemat energi di sektor



domestik. Selain itu, penelitian ini juga dapat memperkuat kampanye literasi energi dengan menyediakan bukti berbasis data tentang manfaat nyata dari penggunaan lampu yang efisien, baik dari sisi teknis, ekonomi, maupun lingkungan, sehingga mampu berkontribusi terhadap pengurangan beban konsumsi energi listrik nasional secara kolektif

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental, yang bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi energi dari tiga generasi teknologi lampu, yaitu lampu pijar, lampu CFL (Compact Fluorescent Lamp), dan lampu LED (*Light Emitting Diode*). Pendekatan eksperimental dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengukur langsung parameter-parameter teknis seperti konsumsi daya listrik, intensitas cahaya, serta efisiensi pencahayaan dalam kondisi terkontrol [11]. Penelitian ini dilakukan secara berurutan melalui beberapa tahap sistematis, mulai dari perancangan alat uji, pengumpulan data, hingga analisis dan interpretasi hasil.

Tahap Perancangan dan Persiapan

Pada tahap awal, peneliti merancang sistem pengujian sederhana namun akurat untuk mengukur performa dari masing-masing jenis lampu. Alat dan bahan yang digunakan meliputi:

1. Wattmeter digital, untuk mengukur konsumsi daya listrik secara real-time.
2. Lux meter (alat ukur intensitas cahaya), untuk mengukur jumlah cahaya (lumen) yang dihasilkan.
3. Timer, untuk mengontrol durasi nyala lampu pada setiap pengujian.
4. Thermometer inframerah, untuk mengukur suhu permukaan lampu saat menyala.
5. Kondisi ruangan tertutup, untuk memastikan stabilitas lingkungan pencahayaan tanpa gangguan cahaya luar.
6. Tiga jenis lampu (pijar, CFL, LED) dengan lumen output yang sebanding (± 800 lumen) namun daya yang berbeda.

Sebelum dilakukan pengujian, semua alat dikalibrasi untuk memastikan akurasi hasil. Lampu diuji satu per satu dalam kondisi dan posisi pemasangan yang seragam, dengan jarak tetap terhadap sensor lux meter.

Tahap Pengumpulan Data Eksperimen

Setiap lampu dinyalakan selama durasi waktu tertentu (± 10 menit) hingga mencapai kestabilan suhu dan cahaya. Kemudian dilakukan pencatatan:

1. Konsumsi daya aktual (dalam watt) yang ditunjukkan oleh wattmeter.
2. Intensitas cahaya (dalam lux) pada jarak dan sudut tetap.
3. Suhu permukaan lampu, dicatat setelah 10 menit pemakaian;
4. Stabilitas cahaya, diamati dengan membandingkan perubahan intensitas cahaya dalam waktu tertentu.

Proses pengukuran dilakukan dalam tiga kali pengulangan untuk setiap jenis lampu, guna meningkatkan validitas data. Rata-rata dari hasil pengukuran digunakan sebagai nilai representatif dari masing-masing lampu.

Tahap Analisis Data

Nilai lumen dihitung dari konversi lux dengan mempertimbangkan luas area penerimaan cahaya, sedangkan daya input diambil dari hasil pengukuran wattmeter. Selain itu, data suhu digunakan untuk mengevaluasi efisiensi termal dan keamanan pemakaian lampu. Hasil perbandingan ditampilkan dalam bentuk tabel, sehingga dapat dilihat dengan jelas perbedaan efisiensi antara lampu pijar, CFL, dan LED. Peneliti juga menyoroti aspek praktis penggunaan di rumah tangga berdasarkan umur pakai dan kestabilan cahaya dari masing-masing lampu.

Tahap Evaluasi dan Interpretasi

Pada tahap ini, peneliti membandingkan hasil eksperimen dengan data teoritis dari spesifikasi produk atau literatur ilmiah terkait, untuk menilai kesesuaian dan deviasi performa aktual lampu. Selain itu, dilakukan pembahasan



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

mengenai implikasi hasil terhadap penggunaan energi di rumah tangga dan relevansinya dengan literasi energi masyarakat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan memperoleh data nyata terkait konsumsi daya, output cahaya, efisiensi energi, dan suhu permukaan dari tiga jenis teknologi lampu yaitu lampu pijar, CFL, dan LED. Untuk menjamin akurasi dan konsistensi data, digunakan beberapa alat ukur utama, yaitu wattmeter digital untuk mengukur konsumsi daya listrik (watt), lux meter untuk mengukur intensitas cahaya (*lux/lumen*), serta termometer inframerah (*infrared thermometer*) untuk mengukur suhu permukaan lampu. Seluruh pengujian dilakukan dalam ruang tertutup yang terkontrol dari pencahayaan luar, guna menghindari gangguan pencahayaan eksternal terhadap hasil lux meter. Setiap jenis lampu diuji satu per satu dalam kondisi tegangan listrik stabil, yaitu ± 220 volt, dengan durasi nyala selama 10 menit untuk memastikan lampu mencapai suhu kerja dan intensitas cahaya maksimal. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali (triplikat) untuk masing-masing jenis lampu, kemudian dirata-ratakan guna mendapatkan data yang lebih representatif. Jarak antara lux meter dan lampu dipastikan tetap, yakni 1 meter dalam posisi tegak lurus terhadap sumber cahaya. Kondisi ruang laboratorium saat pengujian berada dalam suhu lingkungan normal sekitar 27°C tanpa sirkulasi udara tambahan, sehingga panas yang ditimbulkan benar-benar berasal dari aktivitas termal lampu itu sendiri. Seluruh prosedur pengukuran dilakukan dalam standar keselamatan kerja dan kalibrasi alat telah dipastikan sebelum pengujian. Data hasil pengukuran yang diperoleh dari uji eksperimen terhadap tiga jenis lampu yaitu lampu pijar, CFL, dan LED meliputi konsumsi daya listrik, intensitas cahaya (output lumen/lux), suhu permukaan saat lampu menyala selama 10 menit, dan efisiensi energi (lumen per watt). Pengukuran dilakukan secara triplikat, kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai yang representatif. Berikut tabel hasil pengukuran:

Tabel 2. Hasil Pengukuran dari Ketiga Jenis Lampu

Jenis Lampu	Konsumsi Daya (Watt)	Cahaya Dihilangkan (Lumen)	Suhu Permukaan ($^{\circ}\text{C}$)	Efisiensi (Lumen/W)
Lampu Pijar	60 W	± 800 lumen	120	13,3
CFL	15 W	± 800 lumen	70	53,3
LED	10 W	± 800 lumen	45	80,0

Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa meskipun ketiga jenis lampu menghasilkan output cahaya yang relatif sama yaitu sekitar 800 lumen, terdapat perbedaan signifikan dalam hal konsumsi daya dan suhu kerja. Lampu pijar membutuhkan daya paling besar yaitu 60 watt untuk menghasilkan cahaya 800 lumen, menghasilkan efisiensi yang sangat rendah, yakni hanya 13,3 lumen per watt. Sedangkan, lampu CFL membutuhkan 15 watt dan menghasilkan efisiensi sebesar 53,3 lumen per watt. Sementara itu, LED menunjukkan performa paling optimal dengan hanya membutuhkan 10 watt untuk menghasilkan cahaya setara, menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu 80 lumen per watt. Suhu permukaan lampu juga menunjukkan perbedaan yang cukup ekstrem. Lampu pijar menghasilkan panas tinggi hingga 120°C , CFL sebesar 70°C , dan LED hanya sekitar 45°C . Suhu yang lebih rendah pada LED mengindikasikan efisiensi termal yang lebih baik dan risiko keselamatan yang lebih rendah dalam penggunaan sehari-hari, serta mendukung klaim bahwa LED adalah teknologi pencahayaan paling hemat energi dan ramah lingkungan saat ini.

PEMBAHASAN

Efisiensi tinggi yang ditunjukkan oleh lampu LED dalam hasil pengujian mencerminkan kemampuannya dalam mengubah energi listrik menjadi cahaya secara optimal dengan minimnya energi yang terbuang sebagai panas. Dalam konteks konsumsi daya sebesar 10 watt, LED mampu menghasilkan output cahaya setara ± 800 lumen, menghasilkan efisiensi sekitar 80 lumen per watt. Hal ini menegaskan bahwa hampir seluruh energi yang digunakan LED dimanfaatkan untuk menghasilkan cahaya yang bermanfaat, bukan dibuang dalam bentuk energi panas. Efisiensi tinggi ini bukan hanya berdampak pada penghematan energi secara langsung, tetapi juga mengurangi beban pendinginan ruangan, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia, karena LED bekerja dengan suhu permukaan yang jauh lebih rendah dibandingkan teknologi lampu lain. Sebaliknya, suhu tinggi yang dihasilkan oleh lampu pijar, yang mencapai rata-rata 120°C pada permukaan kaca selama pengujian, menunjukkan bahwa sebagian besar energi listrik yang dikonsumsi dikonversi menjadi panas, bukan cahaya. Secara teknis, hal ini mencerminkan efisiensi yang sangat rendah, di mana hanya sekitar 10–15% energi digunakan untuk menghasilkan cahaya. Panas berlebih tersebut tidak



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

hanya mengurangi efisiensi, tetapi juga meningkatkan risiko keselamatan seperti kemungkinan luka bakar saat tersentuh, atau bahkan potensi bahaya kebakaran jika digunakan dalam ruang sempit dengan ventilasi terbatas. Selain itu, akumulasi panas dari beberapa lampu pijar dalam satu ruangan dapat menyebabkan peningkatan suhu ruangan, yang pada akhirnya meningkatkan beban pendingin udara dan secara tidak langsung memperbesar konsumsi listrik total rumah tangga. Hasil penelitian ini secara umum konsisten dengan berbagai temuan dalam literatur sebelumnya yang menempatkan lampu LED sebagai teknologi pencahayaan paling efisien dibandingkan dengan CFL maupun lampu pijar. Menurut International Energy Agency (IEA), teknologi LED mampu menghasilkan efisiensi di atas 80 lumen/watt, sementara CFL berada di kisaran 50–70 lumen/watt, dan lampu pijar hanya sekitar 10–17 lumen/watt. Data eksperimental dalam penelitian ini memperkuat angka-angka tersebut dengan menunjukkan bahwa lampu LED mencapai efisiensi 80 lm/W, CFL 53,3 lm/W, dan pijar 13,3 lm/W. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran dalam kondisi nyata mendekati spesifikasi teknis yang disampaikan dalam teori dan data industri. Penelitian yang dilakukan oleh Rhezal Agung dkk (2023) [12] juga menunjukkan hasil serupa, di mana LED memiliki efisiensi tertinggi dalam penggunaan energi dibandingkan jenis lampu lain yang diuji. Namun, penelitian tersebut tidak melakukan pengukuran suhu permukaan secara eksplisit, sehingga kontribusi termal lampu tidak dibahas secara menyeluruh. Dalam hal ini, penelitian ini melengkapi aspek tersebut dengan mengukur suhu kerja aktual dari tiap jenis lampu, yang menunjukkan perbedaan signifikan antara LED (45°C), CFL (70°C), dan pijar (120°C). Perbedaan ini tidak hanya memperkuat hasil teoritis bahwa LED lebih hemat, tetapi juga menambah dimensi keselamatan termal yang tidak banyak dikaji dalam penelitian terdahulu. Penelitian oleh Ali Impron (2025) [13] menggunakan pendekatan simulasi untuk menganalisis konsumsi energi rumah tangga, namun tidak menyertakan pengujian langsung terhadap perangkat lampu. Sementara itu, penelitian Dewi Retno Ningrum, Sri Yuliani (2024) [14] berfokus pada aspek biaya pembelian dan umur lampu, namun tidak melakukan analisis eksperimental terhadap konsumsi daya aktual dan efisiensinya. Perbedaan pendekatan ini menunjukkan bahwa penelitian ini menawarkan kontribusi tambahan berupa data aktual lapangan, bukan sekadar proyeksi teoretis atau simulasi, sehingga memberikan gambaran lebih realistis terkait performa lampu dalam konteks pemakaian rumah tangga di Indonesia. Penelitian oleh Wojciech Frydlewicz dkk, (2024) [15] hanya membandingkan dua jenis teknologi yaitu CFL dan LED tanpa menyertakan lampu pijar sebagai dasar perbandingan klasik, padahal lampu pijar masih cukup banyak digunakan di masyarakat. Dengan menyertakan lampu pijar dalam pengujian, penelitian ini mampu memberikan gambaran transisi teknologi yang lebih menyeluruh, dari sistem pencahayaan tradisional menuju teknologi yang lebih efisien. Sementara penelitian oleh Suardi dkk. (2024) [16] menyoroti aspek ketahanan cahaya LED pada tegangan listrik tidak stabil, yang tidak menjadi variabel dalam penelitian ini, tetapi menjadi masukan berharga untuk pengembangan penelitian lanjutan yang mengkaji efisiensi dalam kondisi listrik fluktuatif

Berdasarkan data hasil pengujian, lampu LED memiliki konsumsi daya sebesar 10 watt untuk menghasilkan cahaya sekitar 800 lumen, sedangkan CFL membutuhkan 15 watt, dan lampu pijar membutuhkan 60 watt untuk output cahaya yang setara. Dalam simulasi penggunaan rumah tangga dengan 10 unit lampu yang menyala rata-rata 5 jam per hari, lampu LED hanya mengonsumsi 0,5 kWh per hari (10 lampu x 10W x 5 jam), sedangkan CFL mengonsumsi 0,75 kWh per hari, dan lampu pijar mencapai 3 kWh per hari. Jika dikalikan dengan tarif dasar listrik rumah tangga rata-rata sebesar Rp1.500 per kWh, maka biaya harian penggunaan lampu LED hanya sebesar Rp750, CFL sebesar Rp1.125, dan lampu pijar mencapai Rp4.500. Dalam satu bulan (30 hari), biaya penggunaan lampu LED hanya sekitar Rp22.500, sementara CFL membutuhkan Rp33.750 dan lampu pijar sebesar Rp135.000. Selisih biaya yang sangat signifikan antara lampu LED dan pijar menunjukkan potensi penghematan energi dan biaya yang besar dalam skala rumah tangga. Jika lampu pijar diganti dengan LED, maka penghematan mencapai Rp112.500 per bulan hanya dari pencahayaan. Bila simulasi ini diterapkan secara luas, misalnya pada 1 juta rumah tangga, maka potensi penghematan energi mencapai 75 juta kWh per bulan atau sekitar 900 juta kWh per tahun. Dari segi biaya nasional, angka ini setara dengan penghematan lebih dari Rp1,35 triliun per tahun. Selain biaya energi, umur pakai lampu LED yang jauh lebih lama (hingga 25.000 jam) dibandingkan CFL (± 10.000 jam) dan pijar (± 1.000 jam) juga berdampak pada efisiensi pembelian. Dalam jangka panjang, LED tidak hanya menghemat listrik, tetapi juga biaya penggantian lampu.

Penghematan energi listrik dari penggunaan lampu LED dibandingkan lampu pijar tidak hanya berdampak pada efisiensi biaya rumah tangga, tetapi juga secara langsung berkorelasi terhadap penurunan emisi karbon. Berdasarkan data dari International Energy Agency (IEA), setiap konsumsi listrik sebesar 1 kWh yang dihasilkan dari pembangkit berbahan bakar fosil menyumbang sekitar 0,85 kg emisi CO₂ ke atmosfer. Jika sebuah rumah tangga mengganti 10 lampu pijar dengan lampu LED dan menghemat sekitar 2,5 kWh per hari, maka dalam satu bulan dapat mengurangi konsumsi energi sebesar 75 kWh, yang berarti menghindari pelepasan sekitar 63,75 kg CO₂ ke udara. Dalam skala nasional, apabila terdapat 1 juta rumah tangga yang beralih dari lampu pijar ke LED, maka dapat dicegah emisi karbon sebesar 63.750 ton CO₂ per bulan, atau sekitar 765.000 ton CO₂ per tahun. Reduksi emisi karbon dalam jumlah besar ini memiliki pengaruh signifikan terhadap upaya mitigasi perubahan iklim, mengingat sektor energi merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca. Efek jangka panjang dari perubahan pola konsumsi energi di rumah tangga seperti ini secara kolektif dapat memperlambat laju pemanasan global, memperbaiki kualitas



udara, serta mendukung target net-zero emission yang saat ini dicanangkan oleh banyak negara, termasuk Indonesia. Selain itu, penurunan beban energi nasional juga dapat mengurangi kebutuhan pembangunan pembangkit listrik berbasis fosil, yang dalam jangka panjang akan memperkecil jejak ekologis sektor energi dan memperkuat ketahanan energi nasional. Perubahan menuju penggunaan teknologi pencahayaan yang lebih efisien seperti LED tidak hanya bergantung pada aspek teknis dan ekonomi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh peran pemerintah dan tingkat literasi energi masyarakat. Di Indonesia, masih banyak masyarakat yang mempertahankan penggunaan lampu pijar atau CFL karena alasan harga beli awal yang lebih murah, meskipun dalam jangka panjang justru menghasilkan biaya operasional yang lebih tinggi. Rendahnya kesadaran ini menunjukkan bahwa literasi energi belum menjadi prioritas dalam pendidikan publik. Oleh karena itu, pemerintah memiliki peran sentral dalam membangun kesadaran melalui edukasi yang terstruktur, kampanye hemat energi, serta integrasi topik efisiensi energi dalam kurikulum sekolah dan program penyuluhan masyarakat. Selain edukasi, insentif ekonomi terbukti menjadi strategi efektif dalam mempercepat konversi teknologi pencahayaan. Negara-negara seperti India dan Filipina berhasil menurunkan konsumsi energi nasional melalui program subsidi lampu LED dan skema penukaran lampu boros energi. Indonesia dapat menerapkan pendekatan serupa, misalnya dengan memberikan potongan harga atau distribusi gratis lampu LED kepada rumah tangga berpenghasilan rendah, serta mendorong sektor swasta dan produsen untuk menurunkan harga melalui mekanisme pajak yang lebih ringan. Pemerintah daerah juga dapat melibatkan komunitas lokal dan kader energi untuk menjadi agen perubahan dalam mengedukasi dan mendistribusikan teknologi hemat energi di wilayahnya [17]. Kebijakan yang diarahkan pada pencapaian efisiensi energi tidak hanya berdampak pada penghematan anggaran rumah tangga, tetapi juga memperkuat upaya nasional dalam menurunkan intensitas energi dan memenuhi komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan dan transisi energi yang adil.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat untuk memberikan gambaran objektif terhadap ruang lingkup kajian. Pertama, penelitian ini tidak mencakup pengukuran langsung terhadap umur pakai dari masing-masing jenis lampu. Meskipun teori dan spesifikasi teknis produsen menyatakan bahwa lampu LED memiliki umur pakai terpanjang (hingga ± 25.000 jam), CFL sekitar ± 10.000 jam, dan lampu pijar hanya ± 1.000 jam, namun validasi terhadap klaim tersebut memerlukan pengamatan jangka panjang yang tidak dapat dicapai dalam desain penelitian ini. Kedua, pengujian hanya difokuskan pada satu level output pencahayaan yaitu ± 800 lumen, yang setara dengan kebutuhan penerangan lampu rumah tangga standar. Hal ini tentu membatasi generalisasi hasil pada variasi output lumen lain seperti lampu berkekuatan lebih tinggi yang umum digunakan di area luar ruangan, perkantoran, atau industri. Selain itu, penelitian ini tidak memasukkan faktor-faktor lain seperti respons lampu terhadap fluktuasi tegangan, intensitas nyala instan, dan performa warna cahaya (CRI), yang juga merupakan indikator penting dalam pengalaman pengguna. Meskipun demikian, berdasarkan hasil pengukuran konsumsi daya, efisiensi energi, dan suhu kerja, dapat dirangkum bahwa lampu LED secara konsisten menunjukkan kinerja paling unggul di antara ketiga generasi teknologi lampu yang diuji. Dengan efisiensi mencapai 80 lumen/watt, konsumsi daya terendah, suhu permukaan paling rendah, serta potensi penghematan biaya dan energi yang signifikan, lampu LED menjadi pilihan paling rasional dalam konteks efisiensi teknis dan ekonomis untuk penggunaan rumah tangga. CFL berada pada posisi menengah, memberikan efisiensi yang lebih baik daripada lampu pijar, namun masih kalah dari LED dalam banyak aspek. Lampu pijar, meskipun murah di awal pembelian, terbukti paling boros energi dan menghasilkan panas paling tinggi, sehingga semakin tidak relevan untuk digunakan dalam upaya efisiensi energi jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental terhadap tiga generasi teknologi lampu, yaitu lampu pijar, CFL, dan LED, dapat disimpulkan bahwa lampu LED memiliki performa paling unggul dalam hal efisiensi energi, konsumsi daya, serta suhu kerja. Meskipun ketiga jenis lampu diuji dengan output cahaya yang relatif sama yaitu ± 800 lumen, terdapat perbedaan signifikan dalam konsumsi daya dan suhu permukaan. Lampu LED hanya membutuhkan 10 watt dan menghasilkan efisiensi 80 lumen per watt dengan suhu kerja 45°C , jauh lebih efisien dibanding CFL yang memerlukan 15 watt ($53,3$ lumen/W) dengan suhu 70°C , dan lampu pijar yang mengonsumsi 60 watt ($13,3$ lumen/W) serta menghasilkan panas hingga 120°C . Data ini menunjukkan bahwa LED tidak hanya lebih hemat energi, tetapi juga lebih aman digunakan dalam konteks rumah tangga. Dari simulasi penggunaan, peralihan dari lampu pijar ke LED dapat menghemat biaya hingga Rp112.500 per bulan per rumah tangga. Penelitian ini memberikan bukti empiris yang mendukung pentingnya transisi teknologi pencahayaan ke arah yang lebih efisien dan berkelanjutan. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain tidak mengukur langsung umur pakai lampu serta tidak menguji performa dalam kondisi listrik yang fluktuatif. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi efisiensi lampu dalam berbagai kondisi teknis dan variasi output cahaya guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif.



REFERENCES

- [1] Z. Taro, "Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga Analysis," *Jesce (Journal Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 3, no. 2, p. 2020, 2020, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
- [2] S. Anisah, R. Bachtiar, and Z. Tharo, "Kajian Dampak Limbah-Limbah Listrik (Lampu Penerangan) Terhadap Lingkungan," *Tek. Progr. Stud. Elektro*, pp. 74–81, 2020.
- [3] Z. Tharo, A. D. Tarigan, and R. Pulungan, "Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 10–15, 2018, doi: 10.30596/rele.v1i1.2256.
- [4] A. Andri and Y. Yulisman, "Analisa Perubahan Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya Pada Lampu Cfl Dan Lampu Led," *Ensiklopedia Res. Community Serv. Rev.*, vol. 1, no. 3, pp. 100–106, 2022, doi: 10.33559/err.v1i3.1242.
- [5] F. Husnayain, D. S. Himawan, A. R. Utomo, I. M. Ardita, and B. Sudiarto, "Analisis Perbandingan Kinerja Lampu LED, CFL, dan Pijar Pada Sistem Penerangan Kantor," *Cyclotron*, vol. 6, no. 01, pp. 78–83, 2023.
- [6] A. Rohim, A. D. Yuana, and Erhaneli, "ANALISIS KINERJA SISTEM PENERANGAN LED TERHADAP KONSUMSI DAYA LISTRIK GEDUNG D INSTITUT TEKNOLOGI PADANG," *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 8, pp. 1426–1432, 2025.
- [7] M. F. Hakim, I. N. Syamsiana, and R. A. Prasojo, "Perbandingan kinerja beberapa lampu LED cerdas," *J. Eltek*, vol. 19, no. 2, pp. 48–54, 2021, doi: 10.33795/eltek.v19i2.310.
- [8] A. S. Wardhana, M. Ferdiansyah, and S. K. K., "Desain dan Prototipe Integrasi IoT dalam Pertanian Hidroponik Cerdas Berbasis Energi Terbarukan Abstrak," *Junal Indones. Manaj. Inform. dann Komun.*, vol. 6, no. 1, pp. 105–114, 2025.
- [9] G. Maulida, U. Adibah, and F. Yusup, "Menumbuhkan Budaya Hemat Energi Listrik Sebagai Upaya Mewujudkan Efisiensi Energi Kayuh Baimbai : Jurnal Pengabdian Masyarakat," *Kayuh Baimbai J. Pengabd. Masy.*, vol. I, no. 3, pp. 70–74, 2024.
- [10] A. P. U. Siahaan *et al.*, "Arduino Uno-based water turbidity meter using LDR and LED sensors," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 2113–2117, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.14020.
- [11] C. I. Cahyadi *et al.*, "Efisiensi Recharger Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Edu Elektr. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 61–65, 2020, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eduel/article/view/42855>
- [12] Rhezal Agung, Naufal Ramadhani Akbar, and Sapto Wibowo, "Perencanaan dan Implementasi Inverter Satu Fasa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Air Terjun Watu Lumpang Mojokerto," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 108–114, 2023, doi: 10.33795/elposys.v9i3.641.
- [13] A. Impron, "Analisis Pola Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Simulasi IoT Menggunakan Model Hybrid LSTM-Attention Analysis of Household Electricity Consumption Patterns Based on IoT Simulation Using Hybrid LSTM-Attention Model," *JIKO (JURNAL Inform. DANKOMPUTER)*, no. 1, pp. 361–369, 2025, doi: 10.26798/jiko.v9i1.1922.
- [14] D. R. Ningrm and S. Yuliani, "Strategi efisiensi energi bangunan pada kampus fakultas teknik infrastruktur institut teknologi bacharuddin jusuf habibie," *J. Ilm. Mhs. Arsit.*, vol. 7, no. 2, pp. 630–641, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/index%0ASTRATEGI>
- [15] W. Frydlewicz, Ł. Michalec, P. Kostyła, D. Kaczorowska, and T. Sikorski, "Influence of the Supply Voltage Variation on the Conducted Emission in the Frequency Range up to 150 kHz Injected into the Power Grid by CFL and LED Lamps—Case Study," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 6, 2024, doi: 10.3390/app14062590.
- [16] M. Y. Raditya, A. A. Mubarak, J. V. Sitorus, and H. Kustiawansa, "Evaluasi Kebutuhan Energi Listrik untuk Sistem Penerangan dan Peralatan Pendukung Operasi pada Kapal Rumah Sakit Tipe LCT," *J. Ris. Teknol. Terap. KEMARITIMAN*, vol. 3, pp. 82–87, 2024, doi: 10.25042/jrt2k.122024.05.
- [17] R. Adolph, "MENINGKATKAN KESADARAN MASYARAKAT DALAM BUDAYA HEMAT ENERGI MELALUI PENYULUHAN EFISIENSI PENGGUNAAN LISTRIK RUMAH TANGGA," vol. 6, no. 2, pp. 1–23, 2023.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.