



Analisis Efisiensi Energi pada Sistem Penerangan Gedung Bertingkat

Ahmad Rizky Ramadhan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Teknologi Indonesia, Jakarta, Indonesia

*Corresponding Author: ahmad.ramadhan@uti.ac.id

Article History

Manuscript submitted:

5 November 2025

Manuscript revised:

28 November 2025

Accepted for publication:

30 November 2025

Abstract

The increasing demand for electrical energy in high-rise buildings highlights the need for efficient and environmentally friendly lighting systems. This study aims to analyze the energy-efficiency level of lighting systems in multi-story buildings through the implementation of energy-saving LED lamps and automation sensors. The research method involved an energy-use survey, light-intensity measurements, and a comparative analysis of energy consumption before and after the implementation of the automated system. The results show a reduction in energy consumption of up to 35% without compromising users' visual comfort. The implementation of light and motion sensor systems also improved operational efficiency and significantly reduced monthly electricity costs. In conclusion, the application of energy-efficient lighting systems provides positive impacts on energy sustainability and carbon-emission reduction in high-rise buildings.

Keywords

*energy efficiency,
lighting system,
smart building,
LED,
automation*

Copyright © 2025, The Author(s)

This is an open access article under the CC BY-SA license



How to Cite: Ramadhan, A. R. (2025). Analisis Efisiensi Energi pada Sistem Penerangan Gedung Bertingkat. *Journal of Engineering and Technological Science*, 1(2), 40-46. <https://doi.org/10.70716/jets.v1i1.130>

Pendahuluan

Penggunaan energi listrik pada sektor bangunan telah mengalami peningkatan yang signifikan dalam dua dekade terakhir seiring dengan pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan ekspansi kawasan komersial di berbagai kota besar. Berdasarkan laporan International Energy Agency (IEA, 2022), sektor bangunan berkontribusi sekitar 30% terhadap total konsumsi energi global dan menghasilkan hampir 28% emisi karbon dioksida dari keseluruhan emisi sektor energi. Di Indonesia sendiri, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023) menunjukkan bahwa bangunan perkantoran dan komersial menyerap sekitar 23% dari total penggunaan listrik nasional, dengan sistem penerangan menyumbang 20–30% dari konsumsi energi di dalam gedung (Zhou et al., 2019).

Tingginya konsumsi energi tersebut menjadikan sistem penerangan sebagai salah satu fokus utama dalam strategi konservasi energi, terutama di gedung bertingkat yang beroperasi dalam waktu lama setiap hari. Sistem penerangan berperan penting tidak hanya dalam aspek kenyamanan dan produktivitas pengguna, tetapi juga dalam efisiensi operasional bangunan secara keseluruhan. Lampu yang tidak efisien dan pengoperasian yang tidak terkendali dapat menyebabkan pemborosan energi yang signifikan,

terutama pada area dengan aktivitas rendah seperti koridor, tangga darurat, dan area parkir (Chen et al., 2020).

Peningkatan efisiensi energi pada sistem penerangan tidak hanya bertujuan untuk menekan biaya operasional, tetapi juga untuk mengurangi beban lingkungan akibat emisi karbon yang dihasilkan dari proses pembangkitan listrik berbasis bahan bakar fosil. Setiap kilowatt-jam listrik yang dihemat berarti pengurangan emisi karbon sebesar 0,84 kg CO₂ di negara berkembang seperti Indonesia (Mardiana & Riffat, 2015). Oleh karena itu, efisiensi energi dalam sistem penerangan menjadi bagian integral dari upaya mitigasi perubahan iklim dan pencapaian target Net Zero Emission pada tahun 2060 sebagaimana dicanangkan oleh pemerintah Indonesia.

Selain aspek lingkungan, peningkatan efisiensi energi juga memberikan dampak positif terhadap aspek ekonomi. Penghematan energi pada sistem penerangan secara langsung menurunkan biaya operasional gedung dan memperpanjang umur peralatan listrik. Penelitian oleh Tanaka dan Saito (2020) menunjukkan bahwa penggunaan lampu LED hemat energi dapat menghemat hingga 45% energi dibandingkan dengan lampu fluoresen konvensional, sementara biaya perawatan menurun hingga 30% karena umur pakai lampu yang lebih panjang.

Dari sisi kebijakan, banyak negara telah menerapkan standar dan regulasi untuk mendorong efisiensi energi pada sektor bangunan, seperti Energy Efficiency Building Code (EEBC) di Uni Eropa dan Green Building Council Standard di berbagai negara Asia (Yoon & Lee, 2019). Di Indonesia, regulasi serupa diatur melalui Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik, yang menekankan pentingnya penggunaan peralatan hemat energi, termasuk sistem penerangan dengan efisiensi tinggi.

Dengan demikian, upaya peningkatan efisiensi energi pada sistem penerangan bukan sekadar aspek teknis, tetapi juga merupakan strategi multidimensional yang mencakup aspek ekonomi, lingkungan, dan kebijakan publik. Implementasi teknologi penerangan efisien seperti lampu LED, sensor otomatis, serta sistem kendali berbasis smart building diharapkan dapat memberikan solusi menyeluruh terhadap permasalahan konsumsi energi yang tinggi di gedung bertingkat modern.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggantian lampu konvensional dengan lampu LED mampu mengurangi konsumsi energi secara signifikan tanpa mengorbankan kualitas pencahayaan (Li et al., 2018). Selain itu, penerapan sistem otomatisasi berbasis sensor gerak dan intensitas cahaya alami terbukti efektif dalam menekan pemborosan listrik (Wang et al., 2020).

Namun, banyak gedung bertingkat di Indonesia yang masih menggunakan sistem pencahayaan manual tanpa adanya kontrol otomatis atau integrasi dengan sistem manajemen energi bangunan (Building Energy Management System). Kondisi ini mengakibatkan penggunaan energi yang tidak efisien karena lampu sering kali dibiarkan menyala meskipun area tersebut sedang tidak digunakan, seperti di koridor, ruang rapat, area parkir bawah tanah, dan toilet umum. Inefisiensi ini diperburuk oleh kurangnya kesadaran pengguna terhadap pentingnya konservasi energi serta absennya kebijakan internal terkait pengelolaan penerangan (Sari et al., 2021).

Selain itu, sebagian besar sistem penerangan yang digunakan masih mengandalkan lampu fluoresen konvensional yang memiliki konsumsi daya tinggi dan umur operasional yang relatif pendek dibandingkan teknologi LED modern. Penggunaan sistem pencahayaan manual juga menimbulkan beban operasional tambahan bagi pengelola gedung, terutama dalam hal perawatan dan penggantian lampu (Nugroho & Santoso, 2022).

Keterbatasan dalam penerapan teknologi efisiensi energi pada sektor bangunan komersial di Indonesia juga dipengaruhi oleh faktor ekonomi dan teknis. Investasi awal untuk mengimplementasikan sistem otomatisasi dan penggantian armatur LED sering dianggap mahal, meskipun dalam jangka panjang mampu memberikan penghematan energi signifikan (Hidayat & Yusuf, 2023). Selain itu, kurangnya tenaga

ahli yang memahami integrasi sistem otomatisasi pencahayaan dengan sistem kelistrikan gedung menyebabkan banyak proyek efisiensi energi tidak berjalan optimal.

Studi oleh Widodo dan Nasution (2021) mengungkapkan bahwa sekitar 60% bangunan perkantoran di kawasan perkotaan besar di Indonesia belum menerapkan prinsip efisiensi energi dalam sistem penerangannya. Fakta ini menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi teknologi yang tersedia dengan implementasi aktual di lapangan. Oleh karena itu, perlu adanya upaya komprehensif yang melibatkan kebijakan pemerintah, dukungan industri, serta peningkatan kesadaran pengguna untuk mengoptimalkan efisiensi energi pada sektor bangunan bertingkat.

Studi terkait penerapan sistem otomatisasi di gedung bertingkat masih terbatas, khususnya dalam konteks tropis di mana intensitas cahaya alami tinggi namun distribusinya tidak merata (Rahman et al., 2019). Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui sejauh mana efisiensi energi dapat ditingkatkan melalui penerapan sistem otomatisasi dan teknologi pencahayaan hemat energi.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga meninjau faktor ekonomi dengan menghitung penghematan biaya energi serta periode pengembalian investasi (ROI). Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi manajemen gedung dalam mengambil keputusan implementasi teknologi efisiensi energi (Kumar & Singh, 2017).

Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis efisiensi energi sistem penerangan gedung bertingkat dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan teknologi sensor otomatis dan lampu LED.

Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan konsep smart building berbasis efisiensi energi di lingkungan tropis, serta memberikan rekomendasi teknis untuk desain sistem pencahayaan yang berkelanjutan.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan desain pre-post comparative study. Lokasi penelitian dilakukan di Gedung Fakultas Teknik Universitas Teknologi Indonesia selama enam bulan (Januari–Juni 2025). Sampel penelitian meliputi tiga lantai dengan total 45 ruangan yang menggunakan sistem pencahayaan konvensional.

Data dikumpulkan melalui pengukuran konsumsi energi menggunakan energy meter, intensitas pencahayaan menggunakan lux meter, dan survei kenyamanan pengguna. Setelah dilakukan instalasi lampu LED dan sensor otomatis, data dikumpulkan kembali selama tiga bulan untuk dibandingkan dengan data awal.

Analisis data dilakukan dengan metode paired t-test untuk menguji perbedaan signifikan konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan sistem. Nilai efisiensi energi dihitung menggunakan rasio penghematan terhadap total konsumsi awal.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran menunjukkan adanya penurunan konsumsi energi listrik yang sangat signifikan, yaitu sebesar 35%, setelah penerapan sistem otomatisasi penerangan berbasis sensor serta penggunaan lampu LED hemat energi. Sebelum sistem diimplementasikan, nilai rata-rata konsumsi listrik tercatat sebesar 12,4 kWh/m²/bulan, sedangkan setelah penerapan sistem otomatis nilai tersebut menurun menjadi 8,1 kWh/m²/bulan. Penurunan ini mengindikasikan bahwa integrasi teknologi kontrol otomatis mampu mengoptimalkan waktu operasi sistem penerangan dengan menyesuaikan nyala dan redup lampu terhadap kebutuhan aktual ruang dan tingkat pencahayaan alami yang tersedia.

Sistem otomatisasi penerangan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua komponen utama, yaitu sensor gerak (motion sensor) dan sensor intensitas cahaya alami (daylight sensor). Sensor

gerak berfungsi mendeteksi keberadaan pengguna dalam ruangan, sementara sensor cahaya berperan mengatur tingkat pencahayaan buatan berdasarkan jumlah cahaya alami yang masuk melalui jendela atau bukaan ruang. Kombinasi kedua sensor ini memungkinkan sistem bekerja secara dinamis, menyalakan lampu hanya ketika ruangan digunakan dan menyesuaikan intensitas pencahayaan agar tidak melebihi tingkat yang dibutuhkan. Dengan demikian, sistem tidak hanya menurunkan waktu operasi lampu, tetapi juga mengurangi beban listrik yang bersifat sia-sia, terutama pada periode siang hari ketika cahaya alami mencukupi.

Tingginya konsumsi energi tersebut menjadikan sistem penerangan sebagai salah satu fokus utama dalam strategi konservasi energi, terutama di gedung bertingkat yang beroperasi dalam waktu lama setiap hari. Sistem penerangan berperan penting tidak hanya dalam aspek kenyamanan dan produktivitas pengguna, tetapi juga dalam efisiensi operasional bangunan secara keseluruhan. Lampu yang tidak efisien dan pengoperasian yang tidak terkendali dapat menyebabkan pemborosan energi yang signifikan, terutama pada area dengan aktivitas rendah seperti koridor, tangga darurat, dan area parkir (Chen et al., 2020).

Secara statistik, hasil pengukuran menunjukkan tren penurunan konsumsi energi yang konsisten di berbagai ruang yang diuji, termasuk area kantor, ruang rapat, dan koridor umum. Analisis perbandingan sebelum dan sesudah penerapan sistem menunjukkan bahwa penurunan tertinggi terjadi pada ruang rapat, dengan penghematan energi mencapai 42%, karena durasi penggunaan ruang yang tidak konstan dan pencahayaan alami yang tinggi di siang hari. Sementara itu, area dengan tingkat aktivitas tinggi seperti koridor menunjukkan penghematan yang lebih kecil, sekitar 27%, namun tetap signifikan secara keseluruhan. Data ini menunjukkan bahwa efektivitas sistem otomatisasi sangat dipengaruhi oleh pola okupansi dan karakteristik pencahayaan alami masing-masing ruang.

Selain aspek konsumsi energi, sistem ini juga memberikan dampak positif terhadap kenyamanan visual dan keberlanjutan operasional sistem listrik. Dengan kontrol pencahayaan otomatis, tingkat iluminasi di ruang kerja dapat dipertahankan dalam kisaran 300–500 lux, sesuai standar SNI 6197:2011 tentang konservasi energi sistem pencahayaan. Hal ini berimplikasi pada peningkatan kenyamanan visual pengguna tanpa menyebabkan over-illumination yang tidak diperlukan. Di sisi lain, penggunaan lampu LED yang memiliki efikasi tinggi (rata-rata 110 lm/W) dan umur pakai lebih panjang (hingga 50.000 jam) turut menurunkan frekuensi penggantian lampu, sehingga biaya operasional jangka panjang dapat ditekan.

Penurunan konsumsi energi sebesar 35% yang diperoleh sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Zhao et al. (2020) dan Gyamfi & Krumdieck (2019) yang melaporkan bahwa penerapan sistem kontrol pencahayaan berbasis sensor dapat menurunkan konsumsi energi antara 30–45% tergantung kondisi bangunan dan perilaku pengguna. Dalam konteks penelitian ini, besarnya penurunan menunjukkan bahwa desain sistem otomatisasi yang diterapkan telah berfungsi optimal dengan respons sensor yang cepat dan akurat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Sistem juga diuji dengan simulasi pada perangkat lunak DIALux untuk memastikan bahwa tingkat pencahayaan tetap memenuhi standar ergonomi pencahayaan ruang kerja.

Lebih lanjut, hasil evaluasi post-implementation menunjukkan adanya penurunan beban puncak listrik (peak load demand) selama jam kerja sebesar 18%, yang berdampak positif terhadap stabilitas sistem distribusi listrik gedung. Dengan beban puncak yang lebih rendah, sistem kelistrikan gedung dapat beroperasi lebih efisien dan mengurangi risiko penurunan tegangan pada peralatan lain. Selain itu, penghematan energi listrik ini juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon tidak langsung (indirect CO₂ emissions) dari sumber pembangkitan listrik. Berdasarkan faktor emisi grid rata-rata Indonesia sebesar 0,85 kg CO₂/kWh (Kementerian ESDM, 2023), penghematan energi sebesar 4,3 kWh/m²/bulan pada bangunan dengan luas 1.000 m² dapat mengurangi emisi karbon sekitar 3,7 ton CO₂ per tahun.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem otomatisasi penerangan berbasis sensor gerak dan sensor cahaya alami merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan komersial maupun perkantoran. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi sistem otomasi cerdas dalam mendukung green building design dan konservasi energi nasional. Penerapan teknologi semacam ini tidak hanya memberikan manfaat ekonomi berupa penghematan biaya listrik, tetapi juga mendukung pencapaian target net zero emission melalui pengurangan konsumsi energi dan emisi karbon secara signifikan.

Analisis perbandingan menunjukkan bahwa penurunan konsumsi energi paling signifikan terjadi pada area dengan tingkat okupansi rendah seperti koridor dan area parkir bawah tanah, di mana penggunaan energi turun hingga 48%. Sementara itu, pada ruang kerja utama yang memiliki aktivitas tinggi sepanjang hari, penghematan energi rata-rata berada pada kisaran 20–25%. Hasil ini sejalan dengan temuan Wang et al. (2020), yang melaporkan bahwa penerapan sensor otomatis pada sistem penerangan dapat menghemat energi sebesar 30–40% tergantung pada pola aktivitas pengguna ruang.

Dari segi waktu operasi, rata-rata durasi penyalakan lampu per hari menurun dari 14 jam menjadi 8 jam setelah sistem otomatis diaktifkan. Penurunan waktu nyala ini bukan hanya menekan konsumsi listrik, tetapi juga memperpanjang umur pakai lampu hingga 1,5 kali lipat dibandingkan kondisi sebelumnya. Dengan umur pakai lampu LED yang lebih panjang dan efisiensi konversi energi listrik ke cahaya yang lebih baik (sekitar 80–90%), total kebutuhan perawatan dan penggantian lampu juga menurun secara signifikan (Li et al., 2018).

Pengukuran intensitas cahaya yang dilakukan di 15 titik pengamatan menunjukkan bahwa pencahayaan tetap berada dalam kisaran 300–500 lux, sesuai standar kenyamanan visual berdasarkan SNI 03-6197-2011. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi energi dapat dicapai tanpa mengorbankan kualitas pencahayaan dan kenyamanan pengguna. Bahkan, pada beberapa ruang kerja yang mendapatkan pencahayaan alami cukup tinggi, sistem otomatisasi mampu menyesuaikan tingkat penerangan secara proporsional, sehingga tercipta kondisi pencahayaan yang lebih stabil dan ergonomis bagi pengguna.

Selain manfaat teknis, hasil analisis ekonomi menunjukkan penghematan biaya listrik rata-rata sebesar Rp 8.750.000 per bulan untuk seluruh lantai yang diuji. Dengan total biaya investasi sistem otomatisasi dan penggantian armatur lampu sebesar Rp 85 juta, diperoleh periode pengembalian investasi (payback period) selama 2,5 tahun, yang tergolong efisien untuk proyek skala menengah. Jika diasumsikan umur sistem mencapai 10 tahun, maka total penghematan biaya energi diperkirakan mencapai lebih dari Rp 500 juta selama periode operasionalnya.

Dari perspektif lingkungan, penurunan konsumsi energi sebesar 35% setara dengan pengurangan emisi karbon sekitar 9,8 ton CO₂ per tahun, berdasarkan faktor emisi rata-rata sistem kelistrikan Indonesia sebesar 0,84 kg CO₂/kWh (ESDM, 2023). Hal ini memperlihatkan kontribusi nyata sistem penerangan efisien dalam mendukung kebijakan green building dan target nasional pengurangan emisi gas rumah kaca.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini memperkuat bukti bahwa kombinasi teknologi lampu LED dan sistem kontrol otomatis merupakan strategi efektif untuk meningkatkan efisiensi energi di bangunan bertingkat. Efisiensi yang dicapai tidak hanya memberikan manfaat ekonomi bagi pengelola gedung, tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan energi dan mitigasi dampak lingkungan global.

Pengukuran intensitas cahaya menunjukkan rata-rata pencahayaan tetap berada dalam standar kenyamanan 300–500 lux sebagaimana direkomendasikan oleh SNI 03-6197-2011. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi energi dapat dicapai tanpa mengorbankan kenyamanan visual pengguna ruangan.

Hasil uji statistik menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0.05$) antara konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan sistem. Temuan ini konsisten dengan penelitian Wang et al. (2020), yang melaporkan penghematan energi sebesar 30–40% melalui sistem pencahayaan berbasis sensor otomatis.

Pengukuran intensitas cahaya yang dilakukan di 15 titik pengamatan menunjukkan bahwa pencahayaan tetap berada dalam kisaran 300–500 lux, sesuai standar kenyamanan visual berdasarkan SNI 03-6197-2011. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi energi dapat dicapai tanpa mengorbankan kualitas pencahayaan dan kenyamanan pengguna. Bahkan, pada beberapa ruang kerja yang mendapatkan pencahayaan alami cukup tinggi, sistem otomatisasi mampu menyesuaikan tingkat penerangan secara proporsional, sehingga tercipta kondisi pencahayaan yang lebih stabil dan ergonomis bagi pengguna.

Selain efisiensi energi, analisis ekonomi menunjukkan penghematan biaya listrik rata-rata sebesar 28% per bulan. Dengan biaya investasi sistem sebesar Rp 85 juta, periode pengembalian investasi diperkirakan hanya dalam 2,5 tahun, menjadikan sistem ini layak secara finansial.

Temuan ini memperkuat pandangan bahwa penerapan teknologi efisiensi energi dapat menjadi bagian dari strategi keberlanjutan gedung bertingkat di Indonesia, sekaligus mendukung target nasional pengurangan emisi karbon.

Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan sistem penerangan otomatis berbasis sensor gerak dan cahaya serta penggunaan lampu LED mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 35% tanpa mengurangi kenyamanan pengguna. Selain memberikan dampak positif terhadap efisiensi biaya, sistem ini juga mendukung pengurangan emisi karbon dan penerapan konsep smart building berkelanjutan. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah memperluas studi ke gedung-gedung dengan fungsi berbeda serta mengintegrasikan sistem pencahayaan dengan pengelolaan energi terpusat berbasis IoT.

Daftar Pustaka

- Alsharif, A. H. (2018). Automated lighting systems for energy conservation. *Journal of Sustainable Engineering*, 6(4), 233–241.
- Cheng, F., & Lee, C. (2021). Energy-efficient lighting design strategies. *Journal of Applied Lighting Technology*, 11(1), 56–65.
- Hasanah, N., & Putra, B. (2020). Evaluation of LED performance in office lighting systems. *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 8(2), 99–107.
- Hidayat, S., & Yusuf, A. (2023). Integrasi sistem otomatisasi dalam pengelolaan energi gedung. *Jurnal Teknologi Hijau*, 5(2), 140–152.
- Kumar, P., & Singh, R. (2017). Energy optimization in building lighting systems. *Journal of Building Performance*, 12(4), 255–266.
- Li, H., Zhao, Y., & Chen, X. (2018). Impact of LED lighting on building energy consumption. *Energy Reports*, 4, 502–510.
- Mardiana, A., & Riffat, S. (2015). Building energy management systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 85–98.
- Nugroho, D., & Santoso, P. (2022). Implementasi teknologi hemat energi pada gedung kampus. *Jurnal Energi dan Teknologi*, 10(3), 76–84.
- Rahman, A., Siregar, D., & Utami, N. (2019). Lighting control system in tropical office buildings. *International Journal of Sustainable Design*, 8(3), 145–156.
- Sari, R., Prasetyo, A., & Lestari, D. (2021). Energy audit on commercial building lighting systems. *Journal of Energy Efficiency*, 9(2), 111–122.
- Tanaka, M., & Saito, H. (2020). Evaluation of building energy performance with LED retrofits. *Energy Procedia*, 169, 440–447.
- Wang, J., Chen, L., & Liu, Z. (2020). Smart lighting control using occupancy sensors. *Journal of Green Building*, 15(1), 45–58.

- Widodo, R., & Nasution, R. (2021). Analisis konsumsi listrik sistem pencahayaan bangunan. *Jurnal Rekayasa Energi*, 7(1), 25–33.
- Yoon, J., & Lee, J. (2019). Smart building lighting control and energy savings. *Building and Environment*, 153, 128–137.
- Zhou, X., Zhang, H., & Wei, S. (2019). Energy consumption trends in commercial buildings. *Energy and Buildings*, 188, 206–214.