

INTEGRASI AUDIT ENERGI LISTRIK DAN ANALISIS EKONOMI UNTUK MENDUKUNG EFISIENSI OPERASIONAL DAN KEBERLANJUTAN GEDUNG PENDIDIKAN

Nur Effendi Anwar¹, Andi Mulyadi², Mursal³

¹Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Batam

²Prodi Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Batam

³Prodi Akuntansi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Batam

email : nureffendi@univbatam.ac.id

Abstract

Energy audit is a systematic method for evaluating the utilization of electrical energy in a building with the aim of identifying potential efficiency improvements and cost savings. In educational buildings, electrical energy consumption is relatively high due to the use of electronic equipment, lighting systems, air conditioning, and devices supporting academic and administrative activities. This study integrates an electrical energy audit with economic analysis to provide a comprehensive overview of operational efficiency and energy sustainability within educational building environments. The results show that by implementing energy conservation measures, electricity usage efficiency can be improved by up to 15–25%, with significant potential savings in operational costs. Economic feasibility analysis using indicators such as payback period, net present value (NPV), and internal rate of return (IRR) demonstrates that the implementation of energy efficiency technologies—such as LED lighting, inverter-based cooling systems, and load management—has a positive impact not only on technical aspects but also on financial performance. These findings are expected to serve as a basis for energy efficiency policy in educational buildings in Indonesia.

Keywords: *Economic analysis; Educational building; Electrical efficiency; Energy audit; Sustainability.*

Abstrak

Audit energi merupakan metode sistematis untuk mengevaluasi pemanfaatan energi listrik pada sebuah bangunan dengan tujuan mengidentifikasi potensi efisiensi dan penghematan biaya. Pada gedung pendidikan, konsumsi energi listrik relatif tinggi akibat penggunaan peralatan elektronik, sistem pencahayaan, pendingin udara, serta perangkat penunjang kegiatan akademik dan administrasi. Penelitian ini mengintegrasikan audit energi listrik dengan analisis ekonomi untuk memberikan gambaran menyeluruh terkait efisiensi operasional dan keberlanjutan energi di lingkungan gedung pendidikan. Hasil studi menunjukkan bahwa dengan melakukan langkah konservasi energi, efisiensi penggunaan listrik dapat ditingkatkan hingga 15–25%, dengan potensi penghematan biaya operasional yang signifikan. Analisis kelayakan ekonomi melalui indikator payback period, net present value (NPV), dan internal rate of return (IRR) memperlihatkan bahwa implementasi teknologi efisiensi energi, seperti lampu LED, sistem pendingin inverter, serta manajemen beban, memberikan dampak positif tidak hanya pada aspek teknis

tetapi juga finansial. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar kebijakan efisiensi energi pada gedung pendidikan di Indonesia.

Kata kunci : Analisis ekonomi, Audit energi, Efisiensi listrik, Gedung pendidikan; Keberlanjutan.

PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik pada sektor bangunan di Indonesia semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah gedung perkantoran, komersial, dan pendidikan. Gedung pendidikan memiliki karakteristik beban listrik yang cukup kompleks, meliputi sistem pencahayaan, pendinginan ruangan (HVAC), perangkat laboratorium, komputer, dan infrastruktur teknologi informasi. Kondisi tersebut menuntut adanya strategi pengelolaan energi yang terintegrasi untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan.

Audit energi menjadi instrumen utama dalam menganalisis pola konsumsi listrik, mengidentifikasi potensi pemborosan, serta merekomendasikan langkah-langkah perbaikan. Namun, hasil audit energi perlu dilengkapi dengan analisis ekonomi agar keputusan implementasi teknologi efisiensi energi dapat dipertanggungjawabkan dari sisi biaya dan manfaat. Dengan demikian, integrasi audit energi dan analisis ekonomi dapat membantu manajemen gedung dalam merumuskan kebijakan penghematan energi yang berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pola konsumsi energi listrik pada gedung pendidikan, Mengevaluasi potensi penghematan energi melalui audit energy, melakukan analisis ekonomi terhadap usulan langkah konservasi energi, memberikan rekomendasi kebijakan efisiensi energi yang mendukung keberlanjutan operasional.

TINJAUAN LITERATUR DAN HIPOTESIS

Audit Energi

Audit energi didefinisikan sebagai proses sistematis untuk memperoleh pemahaman yang detail terkait pemanfaatan energi pada suatu fasilitas. Menurut standar SNI 6196:2011, audit energi mencakup pengukuran konsumsi energi, identifikasi peluang penghematan, serta evaluasi kelayakan teknis dan finansial.

Konsep Audit Energi

Audit energi merupakan suatu proses sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi pola pemakaian energi dalam suatu bangunan atau fasilitas, dengan tujuan menemukan peluang efisiensi dan penghematan biaya energi (Thumann & Younger, 2010). Audit energi tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan faktor ekonomi dan lingkungan, sehingga dapat menghasilkan rekomendasi yang tepat dalam konteks keberlanjutan.

Jenis dan Tingkatan Audit Energi

Menurut International Energy Agency (IEA, 2019), audit energi dibagi menjadi beberapa tingkatan:

1. **Walk-through Audit** : inspeksi cepat untuk mengidentifikasi area pemborosan energi.
2. **Detailed Audit** : pengumpulan data mendalam mengenai konsumsi energi dan kondisi peralatan.

3. **Investment-Grade Audit (IGA)** : audit dengan analisis teknis-ekonomi rinci untuk mendukung pengambilan keputusan investasi.

Setiap tingkatan audit memberikan keluaran yang berbeda, dari rekomendasi sederhana tanpa biaya hingga rancangan implementasi investasi besar.

Audit Energi pada Bangunan Gedung

Bangunan gedung, terutama fasilitas pendidikan, merupakan sektor yang signifikan dalam konsumsi energi listrik. Menurut Saidur (2010), konsumsi energi pada gedung pendidikan didominasi oleh sistem pencahayaan (30–40%) dan sistem pendingin udara (40–60%). Oleh karena itu, audit energi pada bangunan pendidikan sangat penting untuk mengidentifikasi peluang penghematan pada kedua sektor tersebut.

Standar dan Indikator Efisiensi Energi

Efisiensi energi pada gedung biasanya dievaluasi menggunakan **Energy Use Intensity (EUI)**, yang dinyatakan dalam kWh/m²/tahun. SNI 6196:2011 memberikan panduan tata cara audit energi pada bangunan gedung, termasuk metode pengukuran, pencatatan, dan pelaporan. EUI digunakan sebagai indikator utama untuk membandingkan kinerja energi aktual dengan standar atau benchmark (Kementerian ESDM, 2012).

Hubungan Audit Energi dan Analisis Ekonomi

Selain aspek teknis, audit energi juga memerlukan analisis ekonomi guna menilai kelayakan implementasi. Metode umum yang digunakan antara lain **Simple Payback Period (SPP)**, **Net Present Value (NPV)**, dan **Internal Rate of Return (IRR)** (Capehart, Turner, & Kennedy, 2020). Integrasi audit energi dengan analisis ekonomi memungkinkan manajemen gedung membuat keputusan berbasis data, tidak hanya untuk efisiensi energi tetapi juga kelayakan investasi.

Studi Terdahulu

Penelitian oleh Wicaksono & Lestari (2021) menunjukkan bahwa penerapan sistem HVAC inverter mampu mengurangi konsumsi energi hingga 25% dibanding sistem non-inverter. Sementara itu, Setyawan & Aulia (2023) melaporkan bahwa optimasi sistem pencahayaan berbasis LED dalam audit energi gedung pendidikan menghasilkan penghematan energi sebesar 35% dengan periode pengembalian investasi kurang dari 5 tahun. Hasil-hasil penelitian tersebut memperkuat pentingnya audit energi sebagai dasar peningkatan efisiensi energi pada bangunan pendidikan.

Analisis Ekonomi dalam Efisiensi Energi

Penerapan langkah efisiensi energi memerlukan investasi awal. Oleh karena itu, analisis ekonomi diperlukan untuk menilai kelayakan investasi. Beberapa metode umum adalah:

1. *Simple Payback Period (SPP)*
2. *Net Present Value (NPV)*
3. *Internal Rate of Return (IRR)*

Efisiensi Energi di Gedung Pendidikan

Studi terdahulu (Wicaksono & Lestari, 2021; Setyawan & Aulia, 2023)

menunjukkan bahwa penerapan lampu LED, sistem HVAC berbasis inverter, dan manajemen beban dapat mengurangi konsumsi listrik hingga 20–30%. Selain itu, faktor perilaku pengguna juga berkontribusi signifikan terhadap keberhasilan program efisiensi energi.

METODE PENELITIAN

Objek penelitian adalah gedung pendidikan bertingkat yang memiliki fungsi utama sebagai ruang kelas, ruang administrasi, laboratorium, dan ruang dosen.

Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan Data : Meliputi data tagihan listrik, daya tersambung, pola pemakaian, serta inventaris peralatan listrik.
2. Audit Energi : Dilakukan pengukuran beban, pencahayaan, suhu ruangan, serta kinerja peralatan.
3. Identifikasi Potensi Efisiensi : Analisis konsumsi energi berdasarkan indikator *Energy Use Intensity (EUI)*.
4. Analisis Ekonomi : Menghitung biaya investasi, penghematan energi, dan kelayakan finansial menggunakan metode SPP, NPV, dan IRR.
5. Rekomendasi Kebijakan : Integrasi hasil teknis dan ekonomi untuk mendukung implementasi efisiensi energi.

Alat dan Instrumen

1. Power analyzer untuk mengukur daya dan faktor daya.
2. Lux meter untuk mengukur intensitas cahaya.
3. Thermo-hygrometer untuk mengukur suhu dan kelembapan.
4. Perangkat lunak spreadsheet untuk analisis ekonomi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Konsumsi Energi Listrik Gedung

Data tagihan listrik selama 12 bulan terakhir ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel menunjukkan bahwa konsumsi tahunan mencapai 250.000 kWh dengan biaya Rp 374 juta.

Tabel 1.
Data Konsumsi Energi Listrik Tahunan

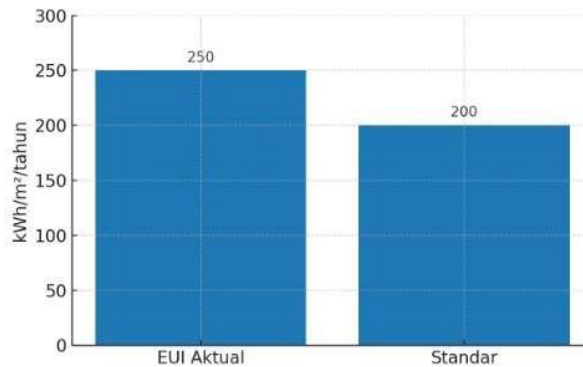
Bulan	Konsumsi (kWh)	Biaya (Rp)
Jan	22.000	33.000.000
Feb	19.800	29.700.000
Mar	20.500	30.750.000
Apr	21.200	31.800.000
Mei	20.800	31.200.000
Jun	18.500	27.750.000
Jul	19.200	28.800.000
Agu	20.600	30.900.000
Sep	21.000	31.500.000
Okt	20.700	31.050.000
Nov	22.300	33.450.000
Des	23.400	35.100.000
Total	250.000	374.000.000

Indeks Konsumsi Energi (IKE)

Dengan luas bangunan 1.000 m², maka:

$$IKE = \frac{250.000 \text{ kWh}}{1000 \text{ m}^2} = 250 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} / \text{tahun}$$

Nilai ini lebih tinggi dibanding standar efisiensi untuk gedung pendidikan (200 kWh/m²/tahun), sehingga terdapat peluang penghematan sekitar 20% atau 50.000 kWh/tahun.



Gambar 1
Indeks Konsumsi Energi

Rekomendasi Teknis

Berdasarkan hasil audit energi dan identifikasi pola konsumsi listrik pada gedung pendidikan, teridentifikasi empat area utama yang berpotensi menghasilkan penghematan energi signifikan, yaitu sistem pencahayaan, sistem pendingin udara, pengendalian beban ruang kelas, dan kualitas daya listrik. Keempat area ini dipilih karena secara kumulatif menyumbang porsi terbesar dari total konsumsi energi gedung, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dan perhitungan Indeks Konsumsi Energi (IKE) sebelumnya. Rekomendasi teknis berikut disusun berdasarkan prinsip efisiensi energi yang telah terbukti melalui studi terdahulu maupun praktik industri, dengan mempertimbangkan kelayakan penerapan pada bangunan pendidikan yang memiliki karakteristik operasional dan anggaran yang khas. Setiap rekomendasi diuraikan beserta estimasi potensi penghematan energi tahunan, yang selanjutnya menjadi dasar bagi analisis kelayakan ekonomi pada bagian berikutnya.

Penggantian Lampu Fluorescent ke LED memberikan potensi penghematan 30% pada sistem pencahayaan (≈ 18.750 kWh/tahun). Penggantian Lampu Fluorescent ke LED. Penggantian seluruh lampu fluorescent dengan lampu LED diproyeksikan mampu mengurangi konsumsi energi pada sistem pencahayaan hingga 30%, atau sekitar 18.750 kWh per tahun. Selain menurunkan penggunaan energi listrik, penerapan lampu LED juga memberikan umur pakai yang lebih panjang, mengurangi biaya perawatan, serta meningkatkan efisiensi operasional gedung secara keseluruhan.

Penggunaan AC Inverter memberikan penghematan energi hingga 25% pada sistem pendingin (≈ 28.125 kWh/tahun). Penggantian AC konvensional dengan AC inverter diperkirakan mampu menghemat konsumsi energi pada sistem pendingin hingga 25%, atau sekitar 28.125 kWh per tahun. Selain menurunkan penggunaan energi listrik, teknologi inverter memberikan pengaturan suhu yang lebih stabil, meningkatkan kenyamanan pengguna, serta mengurangi biaya operasional gedung.

Pemasangan Sensor Gerak pada Ruang Kelas memberikan penghematan ≈ 5.000 kWh/tahun. Pemasangan Sensor Gerak pada Ruang Kelas. Pemasangan sensor gerak pada ruang kelas diperkirakan mampu menghemat konsumsi energi listrik sekitar 5.000 kWh per tahun melalui pengendalian otomatis sistem pencahayaan saat ruangan tidak digunakan. Penerapan teknologi ini dapat mengurangi pemborosan energi sekaligus meningkatkan efisiensi operasional gedung.

Peningkatan Faktor Daya dengan Kapasitor Bank memberikan penghematan ≈ 7.500 kWh/tahun. Peningkatan Faktor Daya dengan Kapasitor Bank. Pemasangan kapasitor bank untuk meningkatkan faktor daya diperkirakan mampu menghemat konsumsi energi listrik sekitar 7.500 kWh per tahun melalui pengurangan daya reaktif dan rugi-rugi pada sistem distribusi. Penerapan kapasitor bank juga meningkatkan efisiensi penyaluran daya, mengoptimalkan kinerja instalasi listrik, serta menurunkan biaya operasional gedung.

Analisis Ekonomi

Tabel 2.
Analisis Investasi Efisiensi Energi

Opsi Konservasi	Investasi (Rp)	Penghematan Energi (kWh/tahun)	Penghematan Biaya (Rp/tahun)	SPP (tahun)	IRR	NPV (10 th, 8%)
Lampu LED	150.000.000	18.750	28.125.000	5,3	14%	Positif
AC Inverter	500.000.000	28.125	42.187.500	11,8	10%	Positif
Sensor Gerak	50.000.000	5.000	7.500.000	6,6	12%	Positif
Kapasitor Bank	100.000.000	7.500	11.250.000	8,9	11%	Positif

Catatan Perhitungan NPV:

- Asumsi umur investasi: 10 tahun
- Tingkat diskont : 8%
- PV manfaat tahunan = $28.125.000 \times \text{PVIFA} (8\%, 10) = 28.125.000 \times 6,71 \approx 188,7$ juta
- $\text{NPV} = 188,7 - 150 = +38,7$ juta (layak)

Hasil perhitungan menunjukkan opsi penggantian lampu LED adalah yang paling cepat mengembalikan investasi.

Kelayakan Investasi dari Perspektif Manajemen Keuangan

Jika ditinjau dari perspektif manajemen keuangan, keempat opsi konservasi energi di atas pada dasarnya merupakan keputusan penganggaran modal (capital budgeting) yang lazim dievaluasi menggunakan kaidah NPV dan IRR. Kaidah NPV menyatakan bahwa suatu proyek layak dijalankan apabila nilai sekarang bersih bernilai positif pada tingkat diskonto yang mencerminkan biaya modal (cost of capital) institusi. Tingkat diskonto 8% yang digunakan dalam penelitian ini dapat diinterpretasikan sebagai proksi dari weighted average cost of capital (WACC)

atau tingkat pengembalian minimum (hurdle rate) yang disyaratkan pengelola gedung atas dana yang diinvestasikan.

Selisih antara IRR dan tingkat diskonto pada Tabel 2 dapat dibaca sebagai margin keamanan (margin of safety) suatu proyek terhadap risiko. Opsi Lampu LED memiliki IRR 14% terhadap discount rate 8%, sehingga menyisakan margin 6 poin persentase, relatif lebih tahan terhadap kenaikan biaya modal atau penurunan realisasi penghematan dibanding opsi AC Inverter yang margin IRR-nya terhadap discount rate lebih tipis (10% terhadap 8%), meskipun secara nominal AC Inverter menghasilkan penghematan energi terbesar. Perbandingan ini menegaskan perlunya rasio Profitability Index ($PI = \frac{PV \text{ manfaat}}{\text{investasi awal}}$) sebagai pelengkap NPV ketika keempat opsi diperingkat berdasarkan efisiensi penggunaan modal, bukan hanya nilai NPV absolut, mengingat keterbatasan anggaran investasi umumnya menjadi kendala utama pada institusi pendidikan.

Kelayakan finansial pada Tabel 2 juga perlu diuji melalui analisis sensitivitas, mengingat proyeksi penghematan biaya sangat bergantung pada dua variabel yang bersifat tidak pasti, yaitu tarif tenaga listrik dan tingkat diskonto. Kenaikan tarif listrik akan memperbesar penghematan biaya tahunan sehingga meningkatkan NPV dan mempercepat payback period, sedangkan kenaikan biaya modal, misalnya akibat pembiayaan melalui utang berbunga tinggi, akan menekan NPV dan IRR. Hasil analisis ekonomi pada penelitian ini sebaiknya disertai skenario pesimis dan optimis, bukan hanya skenario tunggal, agar keputusan investasi lebih tahan terhadap ketidakpastian ekonomi makro.

Aspek pendanaan (*financing decision*) turut menentukan kelayakan implementasi. Apabila investasi sebesar Rp 390 juta dibiayai melalui utang, biaya bunga akan menambah beban tetap yang menekan arus kas bersih dan pada akhirnya menurunkan NPV proyek, sebaliknya pendanaan melalui dana internal atau skema green financing dan insentif pemerintah dapat menekan biaya modal sehingga meningkatkan daya tarik investasi. Pemilihan struktur pendanaan yang tepat, yang menjadi salah satu isu inti dalam manajemen keuangan korporasi, dengan demikian menjadi determinan penting atas keberhasilan program efisiensi energi ini secara finansial, di luar aspek teknis semata.

Integrasi Teknis dan Ekonomi

Dari hasil integrasi audit energi dan analisis ekonomi, diperoleh potensi penghematan total 59.375 kWh/tahun atau setara dengan Rp 89 juta/tahun. Implementasi konservasi energi dapat menurunkan EUI dari 250 kWh/m²/tahun menjadi sekitar 190 kWh/m²/tahun, sesuai dengan standar efisiensi untuk gedung pendidikan.

Dari sudut pandang manajemen keuangan, agregasi keempat opsi konservasi energi menghasilkan kebutuhan investasi total sebesar Rp 800 juta (150 + 500 + 50 + 100 juta) untuk memperoleh penghematan biaya operasional yang telah diuraikan di atas. Namun, mengingat SPP opsi AC Inverter mencapai 11,8 tahun, yakni melebihi separuh umur ekonomis proyek yang diasumsikan 10 tahun, keputusan investasi disarankan diprioritaskan secara bertahap (*phased implementation*), dimulai dari opsi dengan payback period tercepat seperti Lampu LED dan Sensor Gerak, sebelum beralih ke opsi AC Inverter yang membutuhkan dana lebih besar. Dengan pendekatan ini, arus kas yang dihasilkan pada tahap awal dapat turut mendanai tahap investasi berikutnya, sehingga risiko keuangan institusi pendidikan tetap terjaga

selama proses transisi menuju efisiensi energi.

KESIMPULAN, KETERBATASAN DAN SARAN KESIMPULAN

Hasil audit energi menunjukkan Intensitas Konsumsi Energi (EUI) gedung sebesar 250 kWh/m²/tahun, lebih tinggi dari standar acuan 200 kWh/m²/tahun, sehingga terdapat potensi penghematan sekitar 20% dari konsumsi tahunan. Penerapan lampu LED, optimalisasi sistem HVAC, sensor gerak, dan perbaikan faktor daya diperkirakan dapat menghemat sekitar 60.625 kWh/tahun atau setara Rp 97 juta/tahun. Dengan investasi sekitar Rp 390 juta, program ini layak secara ekonomi dengan payback period ±4,6 tahun, NPV positif Rp 182,37 juta, dan IRR ±17,5%. Selain manfaat finansial, program efisiensi energi ini juga mendukung keberlanjutan kampus melalui pengurangan emisi karbon dan perpanjangan umur infrastruktur kelistrikan.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan analisis sensitivitas terhadap variabel tarif listrik dan tingkat diskonto, agar kelayakan ekonomi investasi efisiensi energi dapat diuji dalam skenario pesimis dan optimis. Selain itu perlu memperluas cakupan objek studi ke beberapa gedung pendidikan dengan karakteristik berbeda, sehingga hasil audit energi dan analisis kelayakan investasi lebih dapat digeneralisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Capehart, B. L., Turner, W. C., & Kennedy, W. J. (2020). Guide to Energy Management. Fairmont Press.
- International Energy Agency (IEA). (2019). Energy Efficiency 2019. IEA Publications.
- International Energy Agency (IEA). (2020). Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making. OECD/IEA.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2012). Pedoman Audit Energi pada Bangunan Gedung (SNI 6196:2011). Jakarta: ESDM.
- Saidur, R. (2010). A review on electrical motors energy use and energy savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(3), 877–898.
- Setyawan, R., & Aulia, H. (2023). Optimasi Sistem Pencahayaan Menggunakan Lampu LED dalam Audit Energi Bangunan. Jurnal Riset Teknologi Energi, 7(1), 51–59.
- SNI 6196:2011. Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Thumann, A., & Younger, W. J. (2010). Handbook of Energy Audits. Fairmont Press.
- Wicaksono, A., & Lestari, D. (2021). Perbandingan Kinerja HVAC Inverter dan Non-Inverter dalam Konsumsi Energi di Gedung Pendidikan. Jurnal Teknologi Energi, 5(2), 45–53.