

Audit Energi Menggunakan Intensitas Konsumsi Energi untuk Konservasi Energi di Gedung Kampus

Energy Audit Based on Energy Consumption Intensity for Energy Conservation in University Buildings

¹Virara Faniama, ¹Hanadi, ¹Hadi Christian, ¹Syafril Tomoyahu,
^{1,2}Justin Pradipta*), ^{1,2}Irsyad N Haq dan ^{1,2}Edi Leksono

¹Laboratorium Manajemen Energi, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Kelompok Keahlian Fisika Teknik, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Bandung, Indonesia

*) *corresponding email: justinpradipta@itb.ac.id*

Abstrak

Audit energi merupakan langkah penting dalam optimisasi penggunaan energi di bangunan komersial. Penelitian ini mengeksplorasi penerapan audit energi dengan metode Intensitas Konsumsi Energi (IKE) untuk meningkatkan efisiensi energi di gedung kampus. Pertimbangan perubahan dalam pola hunian dan aktivitas di lingkungan universitas dapat memberikan wawasan menyeluruh terhadap pola konsumsi energi yang terkait. Audit dilakukan dengan menganalisis konsumsi energi gedung dan mengidentifikasi potensi penghematan energi guna meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Data energi dikumpulkan dan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja energi gedung. Langkah konservasi energi yang direkomendasikan mencakup pembaruan sistem pencahayaan, optimasi sistem pendinginan, dan peningkatan efisiensi penggunaan peralatan. Penelitian ini memberikan rekomendasi bagi pengelola gedung kampus dalam mengadopsi praktik-praktik berkelanjutan dalam manajemen energi, yang dapat mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan yang lebih rendah. Dengan demikian, pendekatan audit energi dengan metode IKE menjadi strategi yang relevan dan efektif dalam mencapai tujuan konservasi energi di lingkungan universitas. Berdasarkan analisis yang dilakukan diperoleh IKE terbaru untuk Labtek V adalah 38,01 (2021), sedangkan IKE untuk Labtek VI adalah 16,75 (2021). Hal ini mengartikan bahwa penggunaan energi pada kedua gedung tersebut belum efisien. Potensi penghematan dalam mengurangi pemakaian energi gedung didapatkan sebesar 6,6964%.

Kata Kunci: Konsumsi Energi, Konservasi Energi, Audit Energi, IKE, Efisiensi Energi.

Abstract

Energy auditing is an essential step in optimizing energy use in commercial buildings. This research explores the application of energy auditing with the Energy Consumption Intensity method to improve energy efficiency in campus buildings. Considering the changes in occupancy and activity patterns in the university environment can provide a comprehensive insight into the associated energy consumption patterns. The audit analyzed the building's energy consumption and identified potential energy savings to improve energy efficiency. Energy data was collected and analyzed to evaluate the building's energy performance. Recommended energy conservation measures include updating the lighting system, optimizing the cooling system, and improving the efficiency of equipment use. This research recommends that campus building managers adopt sustainable practices in energy management, which can lead to reduced operational costs and lower environmental impacts. Thus, the energy audit approach with the IKE method is a relevant and effective strategy for achieving energy conservation goals in the university environment. Based on the analysis, the latest IKE for Labtek V is 38.01 (2021), while the IKE for Labtek VI is 16.75 (2021), showing inefficiency of energy use in both buildings inefficient.

Keywords: energy consumption, energy conservation, energy audit, IKE, energy efficiency.

Makalah diterima 15 Maret 2024 – makalah direvisi 27 April 2024 – disetujui 29 April 2024

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



Pendahuluan

Bangunan merupakan elemen penting dalam kehidupan manusia, karena menyediakan tempat tinggal, bekerja, dan berbagai kegiatan lainnya. Dengan bertambahnya populasi manusia, maka kebutuhan akan bangunan juga meningkat. Pertumbuhan ini berdampak pada kebutuhan energi yang terus meningkat secara signifikan mempengaruhi konsumsi energi dan emisi karbon. Masalah emisi karbon global yang diakibatkan

oleh penggunaan listrik pada gedung-gedung tersebut. Padahal jika dilihat secara ekonomi, penggunaan listrik yang tidak perlu hanya akan menambah pengeluaran dan menimbulkan kerugian. Data menunjukkan bahwa penggunaan energi per kapita telah meningkat sebesar 24% selama dekade terakhir, sementara total emisi karbon telah meningkat sebesar 5,2% sejak tahun 2017 [1]. Konsumsi energi di Indonesia akan terus meningkat seiring dengan bertumbuhnya ekonomi. Menurut OEI (*Outlook Energi Indonesia*) 2019, memberikan gambaran proyeksi permintaan dan penyediaan energi nasional dalam kurun waktu 2019–2050 berdasarkan asumsi sosial, ekonomi dan perkembangan teknologi ke depan dengan menggunakan baseline data tahun 2018 [2].

Pada kenyataannya pertumbuhan industri, khususnya alat elektronik menjadi penyebab utama peningkatan konsumsi energi, gedung-gedung universitas juga berkontribusi secara signifikan terhadap konsumsi energi secara keseluruhan. Namun, mengingat pola konsumsi energi yang kompleks dan tidak teratur, efisiensi penggunaan energi di universitas masih menjadi masalah utama. Universitas adalah lokasi yang ideal untuk menerapkan praktik efisiensi energi yang berkelanjutan karena merupakan infrastruktur penting untuk pendidikan dan penelitian. Akan tetapi pola konsumsi energi universitas seringkali unik, rumit dan tidak teratur, yang mengakibatkan peluang penghematan energi yang belum dieksplorasi sepenuhnya. Audit penting untuk dilakukan, salah satu penerapannya di gedung universitas. Gedung universitas memiliki pola penggunaan yang kompleks dan cenderung tidak teratur, sehingga banyak peluang penghematan energi yang dapat dilakukan di sela-sela pola tersebut. Oleh karena itu, untuk menjamin penghematan energi dan finansial, diperlukan audit terhadap penggunaan energi listrik di gedung tersebut.

Dalam konteks audit energi proses penilaian penggunaan energi, menemukan potensi penghematan energi, dan membuat rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi bagi konsumen energi dan pengguna sumber daya energi [3]. Audit energi adalah proses penilaian penggunaan energi dengan tujuan menemukan potensi penghematan dan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan [4]. Meskipun energi penting untuk berbagai aspek kehidupan, peningkatan konsumsi tidak sebanding dengan ketersediaan energi, yang mendorong pemerintah untuk membangun lebih banyak pembangkit Listrik [5]. Penggunaan energi listrik yang tidak efektif menyebabkan peningkatan konsumsi yang tidak diatur dan peningkatan biaya listrik. Strategi yang umum diadopsi untuk mencapai penggunaan energi yang efisien adalah melalui metode konservasi energi. Konservasi energi, yang juga disebut sebagai praktik hemat energi, melibatkan peningkatan efisiensi penggunaan energi [6].

Manajemen Energi adalah sarana untuk mengontrol dan mengurangi konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efisien dan efektif untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi pemanfaatan energi. Manajemen energi, yang meliputi penyediaan energi, ekstraksi energi, penggunaan energi, dan konservasi sumber daya energi, menggabungkan semua tahapan pelaksanaan konservasi energi [7]. Sebagai upaya sistematis dan berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi energi, konservasi dapat mengurangi biaya produksi, seperti biaya yang terkait dengan pembangkitan listrik [8].

Konservasi energi merupakan upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya [9]. Pendekatan konservasi energi ini berusaha menjamin penggunaan energi yang efektif untuk mengurangi pengeluaran energi secara tepat, yang pada akhirnya mengurangi biaya produksi. Konservasi energi sangat penting sehingga pemerintah mengeluarkan PP Nomor 70 Tahun 2009 yang berisi ketentuan atau sanksi bagi pengguna energi yang tidak melaksanakan konservasi energi [10]. Dalam metode konservasi energi, terdapat tahap audit energi. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan berbagai standar yang ada. Kemudian, jika tingkat konsumsi energi melebihi standar yang ada, maka akan dicari solusi untuk konservasi energi [11]. Audit energi adalah langkah penting untuk mengidentifikasi profil penggunaan energi dan potensi penghematan bangunan gedung dan mengenali cara penghematan energi agar penggunaan energi gedung menjadi lebih ekonomis dan efisien [12]. Audit energi harus dilakukan oleh lembaga atau auditor energi internal yang terakreditasi. Hal ini didasarkan pada pengukuran dan pengamatan yang tepat terhadap penggunaan, efisiensi, dan konsumsi energi. Prinsip-prinsip audit energi harus konsisten dengan ruang lingkup, batasan, dan tujuan audit energi yang telah disepakati seperti perhitungan standar IKE [13]. Berdasarkan SNI 03-6196-2000 tentang prosedur audit energi pada bangunan gedung, Intensitas Konsumsi Energi (IKE) merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya jumlah penggunaan energi tiap meter persegi luas kotor (gross) bangunan dalam suatu kurun waktu tertentu. Dilakukan dari pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung [14].

Selain melakukan audit energi, penelitian ini mengkaji cara lain untuk menghemat energi di gedung universitas. Lebih dari sekadar menyediakan prosedur audit dan hasilnya, penelitian ini bertujuan untuk menemukan hipotesis masalah unik yang mungkin ada di bangunan universitas. Sangat penting untuk memahami klasifikasi bangunan dan fasilitas universitas, terutama konsumsi energi di laboratorium yang

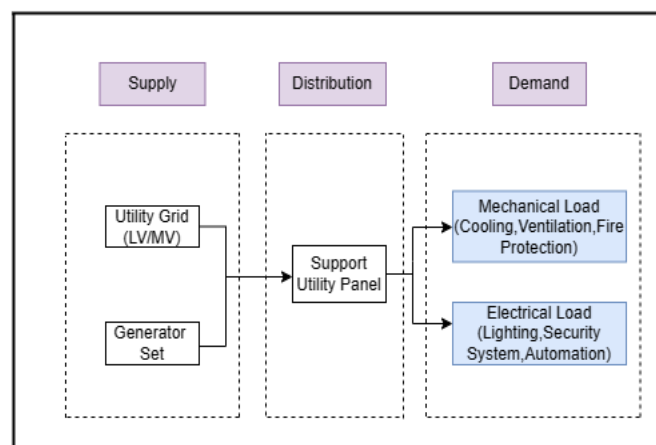
memiliki peralatan khusus sesuai bidang keahlian yang dilayani. Untuk menilai tingkat efisiensi energi dan menemukan potensi penghematan, standar IKE juga menjadi acuan penting dalam penelitian ini yang diharapkan akan membangun pondasi untuk penggunaan energi yang berkelanjutan di gedung-gedung universitas.

Metode

1 Profil Gedung

Observasi dilakukan dengan cara studi lapangan terhadap objek penelitian yang berada di kampus Institut Teknologi Bandung yaitu Gedung Laboratorium Teknik (Labtek) V dan VI Institut Teknologi Bandung. Lokasi geografis Kampus Ganesa, Jl. Ganesa No. 10 Kota Bandung. Gedung perkuliahan Labtek V dibangun pada tahun 1993 dan memiliki luas sekitar 8750 m². Tanggal 11 Maret 1995 menandai pembukaan resmi Labtek V setelah pembangunannya selesai. Terletak di sebelah selatan Labtek VI, gedung Labtek V terdapat pada koordinat 6°53'26" Lintang Selatan dan 107°36'35" Bujur Timur. Adapun Gedung Labtek VI terletak pada koordinat 6°53'24,5" Lintang Selatan, 107°36'35" Bujur Timur.

Dalam jaringan sistem tenaga listrik, sebuah sistem kelistrikan memiliki empat fungsi umum, yaitu: pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban. Adapun dalam Jaringan sistem kelistrikan kampus untuk jaringan transmisi dan distribusi beroperasi pada jaringan tegangan menengah (JTM, 20 kV). Jenis kontrak daya diklasifikasikan sebagai Tarif I-2/TR (14 kVA hingga 200 kVA). Untuk gedung ini juga digunakan genset untuk memasok beberapa ruang seperti beberapa laboratorium dan Ruang server. Adapun skematik distribusi daya gedung ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik distribusi daya Gedung Labtek V dan VI

2 Alur Audit Gedung

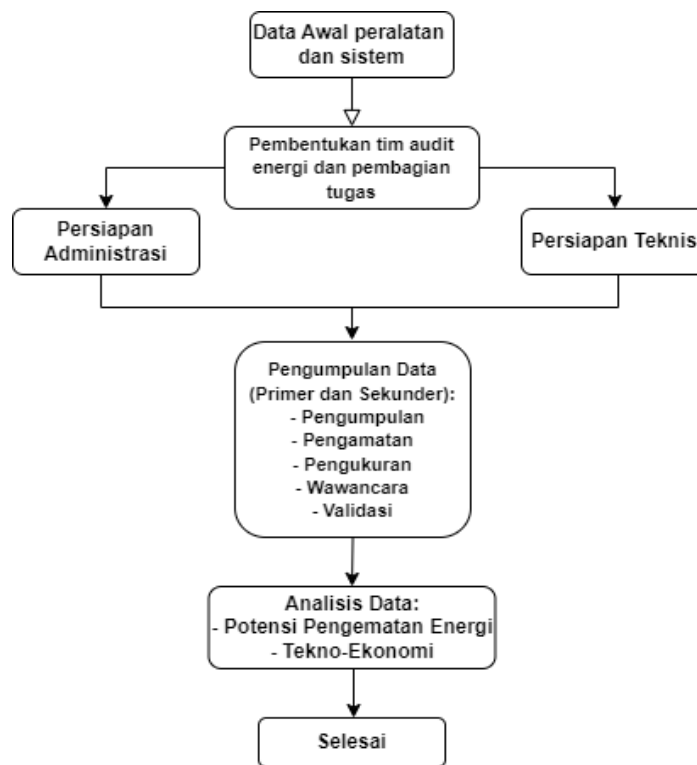
Karakterisasi bangunan universitas merupakan kompleks yang terdiri dari beragam fasilitas pendidikan, termasuk kelas, laboratorium, perpustakaan, dan kantor administrasi. Audit energi yang dilakukan menghasilkan beberapa karakteristik penting yang mempengaruhi konsumsi energi bangunan ini. Ditemukan bahwa sebagian besar kelas dan laboratorium memiliki tingkat konsumsi energi yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan peralatan elektronik yang intensif, kelas yang sering digunakan pada jam tertentu cenderung mengalami lonjakan konsumsi energi pada periode tersebut. Infrastruktur bangunan juga memainkan peran penting dalam pola konsumsi energi seperti ruang server yang menyebabkan pemborosan energi. Selain itu tingkat kesadaran dan pemahaman pengguna bangunan tentang praktik berkelanjutan untuk peluang penghematan energi juga berkontribusi pada pola konsumsi energi.

Dengan memahami karakteristik ini, langkah-langkah strategis dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan Universitas, Ini termasuk optimasi penggunaan peralatan, peningkatan infrastruktur bangunan, serta upaya kesadaran untuk mengubah perilaku pengguna bangunan menuju praktik yang lebih berkelanjutan dengan konsep sistem audit energi.

Langkah pengumpulan data profil energi dilakukan dengan mengidentifikasi potensi penghematan energi, mengumpulkan data bangunan untuk mendapatkan informasi rinci tentang bangunan universitas, termasuk luas bangunan, sistem pencahayaan, sistem kelistrikan dan sistem pompa. Kemudian dilakukan pengukuran energi untuk diperoleh data penggunaan energi dari selama periode tertentu. Dilakukan juga karakterisasi

bangunan universitas dengan meninjau temuan audit energi untuk memahami pola penggunaan energi, mengidentifikasi potensi penghematan energi, rekomendasi hasil simulasi Homer pro dan terakhir merancang upaya konservasi energi menyesuaikan karakteristik kebutuhan universitas.

Sistem audit energi yang dilakukan berbasis tiga survey yaitu, audit energi awal, audit energi singkat dan audit energi rinci. Selain itu, data yang didapatkan merupakan hasil tinjau langsung bersama operator serta perhitungan IKE dan rekomendasi berdasarkan hasil audit yang telah dilakukan akan dipaparkan pada bab hasil pembahasan dipaper ini. Metodologi penelitian yang dilakukan mengacu pada pelaksanaan audit energi di gedung, yang terdiri dari audit awal untuk mengetahui tingkat efisiensi gedung dengan menggunakan data kwh listrik di gedung Labtek V dan Labtek VI, pengamatan visual terhadap instalasi listrik yang terpasang di gedung, dan wawancara terkait penggunaan energi di gedung [15].



Gambar 2. Tahapan kegiatan audit energi Gedung Labtek V dan Labtek VI

Audit energi dilakukan untuk mengetahui bagaimana penggunaan energi dan kemungkinan adanya pemborosan atas penggunaan tersebut, mengidentifikasi jenis dan biaya konsumsi energi, serta mengidentifikasi dan menganalisis berbagai alternatif yang dapat dilakukan (terutama dengan cepat dan biaya rendah) secara substansial untuk membantu menurunkan biaya energi. Adapun berikut ini diagram alir proses audit yang dilakukan,

Salah satu tahapan terpenting dalam proses audit energi adalah pembentukan tim audit energi serta pembagian tugasnya. Jumlah tim, anggota, serta beban tugasnya disesuaikan dengan beban pekerjaan sesuai data awal informasi [16]. Pengumpulan data adalah bagian dari aktivitas audit energi, di mana berbagai jenis data dikumpulkan untuk membantu menganalisis penggunaan energi, baik dalam sistem manajemen energi maupun di lapangan. Pengumpulan data audit energi ini ditujukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi performa peralatan pengguna energi dan teknologi yang digunakan serta kondisi operasi proses pada masing-masing peralatan pengguna energi. Data yang terkumpul berupa data sekunder dan primer.

Pengumpulan data primer dilakukan melalui survei dan pengukuran lapangan guna untuk mendapatkan informasi data teknis dan operasi aktual serta spesifikasi peralatan yang berkaitan dengan operasional peralatan pengguna energi digedung serta menentukan titik pengukuran yang diperlukan. Pengukuran biasanya membandingkan data yang telah tersedia di kWh atau *smart meter* berupa konsumsi daya, tegangan dan arus.

Data sekunder juga diperlukan untuk mendapatkan informasi mengenai spesifikasi *design* peralatan pengguna energi dan kondisi operasi pada masing masing unit yang akan digunakan untuk mendukung analisis data primer dan evaluasi selanjutnya. Pengumpulan data sekunder diperoleh dengan meminta salinan

dokumen kepada pihak universitas, termasuk data profil konsumsi energi dan data historis penggunaan energi.

Pengidentifikasi profil energi yang dikonsumsi pada Gedung Labtek V dan Labtek VI dilakukan menggunakan data wawancara maupun pengukuran yang diperoleh selama kegiatan audit berlangsung. Untuk mempermudah pengerjaannya berdasarkan data pada gedung, audit energi dibagi ke dalam beberapa sub-tim utama, yaitu Manager energy, Sub-Tim Kelistrikan, dan Sub-Tim Pompa. Survey Gedung serta pengumpulan data telah dilakukan. Berikut merupakan rincian informasi umum dalam proses survey dan hasil pengambilan data yang telah dilakukan.

2.1 Data Luas Gedung

2.1.1 Gedung Labtek V

Labtek V merupakan gedung 4 lantai dengan luas total 9685,75 m², dan rincian luas lantai sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Luas lantai pada gedung

Jumlah Lantai	Luas
Lantai 1	2637 m ²
Lantai 2	2574 m ²
Lantai 3	2448 m ²
Lantai 4	2026.75 m ²

2.1.2 Gedung Labtek VI

Labtek VI merupakan bangunan 4 lantai dengan luas total 9712,75 m², dan rincian luas lantai sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Luas lantai pada gedung

Jumlah Lantai	Luas
Lantai 1	2664 m ²
Lantai 2	2574 m ²
Lantai 3	2448 m ²
Lantai 4	2026.75 m ²

2.2 Data Sistem Gedung Labtek V

2.2.1 Sistem Kelistrikan

Sistem tiga fasa dari PLN untuk Gedung Labtek V. Berikut ini adalah daftar jumlah dan kapasitas sistem distribusi listrik utama masing-masing gedung:

1. Kontrak daya yang terpasang PLN : 630 kVA.
2. Transformator (Trafo) : 1 unit terpasang 630 kVA (tidak ada Pembangkit Lokal).
3. Panel Distribusi Utama (MDP) : Kapasitas 1000 A dengan Tegangan 380 V, terdapat *as drawing* kelistrikan, terdapat CT dan *power meter* (layak dan berfungsi dengan baik).
4. Gardu listrik : 400 kVA dengan kondisi baik dan normal Listrik Pembangkitan Sendiri berupa Diesel Generator berjumlah 1 unit dengan kapasitas terpasang 600 kVA.

2.2.2 Peralatan Pendukung (SDP)

Tabel 3. Peralatan pendukung di gedung Labtek V

SDP (<i>Sub Distribution Panel</i>) Utilitas		
Jenis Panel Utilitas	Ketersediaan	Kapasitas Terpasang (kVA)
Pompa	Tidak ditemukan	-
Elevator (Lift)	Ada	45 A; 415 V
<i>Hydrant</i>	Tidak ditemukan	-
<i>Network Switch</i>	Ada namun tidak terpasang	-
<i>Air Conditioner</i>	Tidak ditemukan kabel	-

Tabel 4. Data SDP gedung Labtek V

SDP (<i>Sub Distribution Panel</i>) tiap lantai				
Jenis Panel Elektrik	Ketersediaan	Kapasitas Terpasang	<i>Monitoring Device</i> (<i>CT, Ampere, Volt, Power Meter</i>)	Kondisi
SDP Lantai 1	Ada	60/100A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	50 A; 380 V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 380 V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	-	-	-	-
Panel Lainnya	-	-	-	-
<i>Network Switch</i>	-	-	-	-
SDP Lantai 2	Ada	300/400A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	160 A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	Ada	160/400A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
Panel Lainnya	-	-	-	-
<i>Network Switch</i>	-	-	-	-
SDP Lantai 3	Ada	160 A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	70/100A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	63 A; 415 V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	-	-	-	-
Panel Lainnya	-	-	-	-
<i>Network Switch</i>	-	-	-	-
SDP Lantai 4	Ada	240/320A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	45 A; 415 V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 415 V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	Ada	70/100A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
Panel Lainnya	-	-	-	-
<i>Network Switch</i>	-	-	-	-
<i>Emergency</i>	Ada	300/400A; 380/220V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat
PP Piksi	Ada	300/400A; 380/220 V	Tidak ada CT	Baik dan Terawat

2.3 Data Sistem Gedung Labtek VI

2.3.1 Sistem Kelistrikan

Sistem tiga fasa dari PLN untuk Gedung Labtek V. Sistem distribusi listrik utama untuk gedung ini memiliki jumlah dan kapasitas sebagai berikut:

1. Kontrak daya yang dipasang oleh PLN: 400 kVA.
2. Trafo (Transformator): 30 kVA terpasang dalam satu unit (ada generator lokal, yaitu sistem PLTS di Lab ME yang terhubung dengan Si Elis dan beroperasi dengan baik).
3. Panel Distribusi Utama (MDP): Kapasitas 1000 A dengan Tegangan 380 V, terdapat *asdrawing* kelistrikan, terdapat CT dan *power meter* (Layak dan berfungsi dengan baik).
4. Gardu listrik: 400 kVA dengan kondisi baik dan normal.
5. Listrik Pembangkitan Sendiri berupa Diesel Generator berjumlah 1 unit dengan kapasitas terpasang 30 kVA (hanya digunakan pada ruang tertentu seperti server, multimedia, dan rapat).

2.3.2 Panel Distribusi Pembagi (SDP)

Tabel 5. Peralatan pendukung di gedung Labtek VI

SDP (<i>Sub Distribution Panel</i>) Utilitas		
Jenis Panel Utilitas	Ketersediaan	Kapasitas Terpasang (kVA)
Pompa	Ada	100 A; 380/220V
Elevator (Lift)	Ada	45 A; 415 V
Hydrant	Ada	100 A; 380/220V, 250 A (SLD)
Network Switch	Ada namun tidak terpasang	-
Air Conditioner	Tidak ditemukan kabel	-

Tabel 6. Data SDP pada gedung Labtek VI

SDP (<i>Sub Distribution Panel</i>) tiap Lantai				
Jenis Panel Elektrik	Ketersediaan	Kapasitas Terpasang	Monitoring Device (CT, Ampere, Volt, Power Meter)	Kondisi
SDP Lantai 1	Ada	125 A; 380/220 V	-	Berkarat dan kurang layak
PP (Panel Daya)	Ada	50 A; 380/220 V	-	Baru dan tertata rapi
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 380/220 V	-	Baru dan tertata rapi
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	-	-	-	-
Panel Lainnya	-	-	-	-
Network Switch	-	-	-	-
SDP Lantai 2	Ada	400 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	50 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	Ada	175-250A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
Panel Lainnya	-	-	-	-
Network Switch	-	-	-	-
SDP Lantai 3	Ada	100 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	125 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	-	-	-	-
Panel Lainnya	Ada Panel untuk komputer	-	-	-
Network Switch	-	-	-	-
SDP Lantai 4	Ada	400 A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
PP (Panel Daya)	Ada	125 A; 415 V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
LP (Panel Penerangan)	Ada	45 A; 415 V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
PAC (Panel <i>Air Conditioner</i>)	Ada	112-160A; 380/220V	Tidak ada CT & Power Meter	Baik dan Terawat
Panel Lainnya	-	-	-	-
Network Switch	-	-	-	-

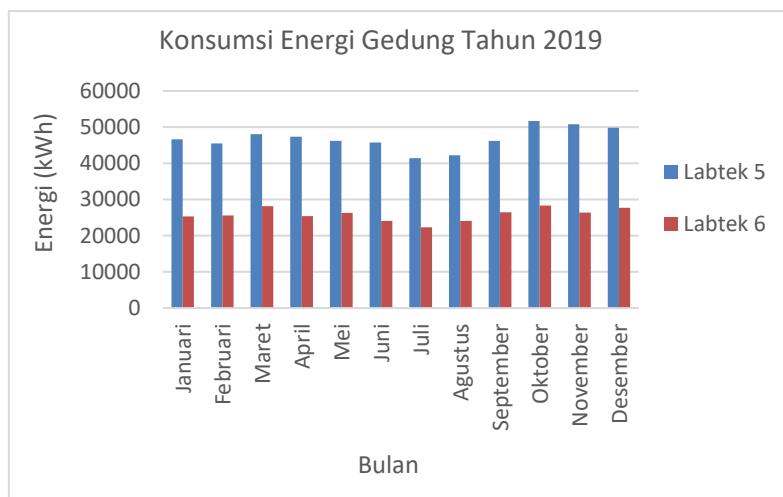
2.3.3 Sistem Pompa

Sistem pompa untuk Labtek V dan VI terdapat dalam satu sistem yang sama. Total pompa untuk Labtek V dan VI adalah 4 buah (2 normal dan 2 rusak). Spesifikasi pompa yang digunakan bermerek EBARA 50 × 40 FSHA dan motornya bermerek Bologna seri BLA-112M-2. Siemens 4 kw, 14,2 A, Eff 83,1%, Teco 4 kw, 14,5 A, 2870 Rpm, AEEBKBB 5,5 HP dan Meter air mekanik yaitu B&R, PN 80mm, 3 inches. Konfigurasi antara pompa dan motor memiliki penggunaan daya sebesar 4000 watt sehingga besaran daya yang digunakan untuk keseluruhannya sebesar 8000 watt. Waktu penggunaan pompa sekitar 1 jam per hari dengan catatan penggunaan air normal sehingga energi totalnya adalah sebesar 8 kWh per harinya. Waktu pengisian air berkisar antara 10 hingga 15 menit dan dilakukan sebanyak 4 kali sehari. Pompa sudah dilengkapi dengan kontrol panel yang akan menghidupkan pompa secara otomatis apabila kapasitas air pada toren mencapai 50%.

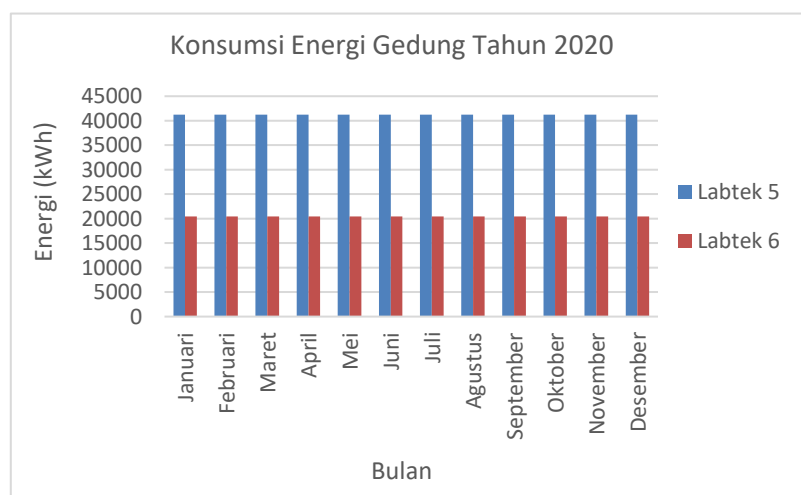
3 Data Konsumsi Energi

3.1 Labtek V

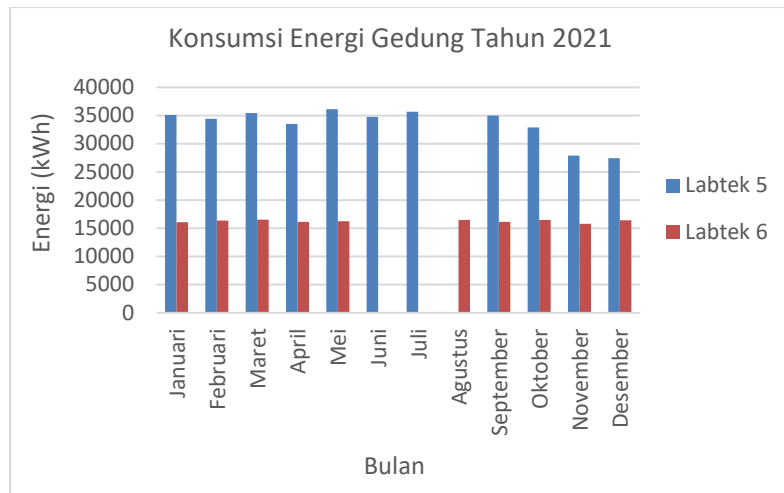
Sumber data konsumsi energi gedung merupakan data primer yang diperoleh dan dikonfirmasi oleh pihak sarana prasarana ITB. Gambar 3-5 merupakan grafik pemakaian energi listrik dalam tahun 2019, tahun 2020, dan tahun 2021.



Gambar 2. Konsumsi energi Labtek V dan VI tahun 2019



Gambar 3. Konsumsi energi Labtek V dan VI tahun 2020



Gambar 4. Konsumsi energi Labtek V dan VI tahun 2021

Gambar 3-5 menunjukkan pemakaian energi total pada gedung Labtek V dan VI dari bulan Januari sampai dengan Desember dalam tiga tahun terakhir. Tampak rerata pemakaian energi kWh berangsur turun tepatnya di tahun 2020 sampai 2021. Hal ini disebabkan oleh pandemi Covid yang menyebabkan tidak adanya aktivitas perkuliahan pada gedung. Pada gedung ini terdapat beberapa panel yang digunakan oleh Labtek V, dengan MDP yang terletak pada lantai 1. Kegunaan MDP adalah sebagai penerima dan penyalur suplai listrik dari LVMDP. MDP menyalurkan energi listrik pada SDP-1, SDP-2, SDP-3, SDP-4, dan SDP-Emergency. SDP-1 terhubung pada *lighting*, *receptacle* dan *exhaust fan*. SDP-2 terhubung pada *lighting*, *receptacle*, *exhaust fan*, dan AC. SDP-3 terhubung pada *receptacle*, *exhaust fan*, dan *lighting*. SDP-4 terhubung pada *receptacle*, *exhaust fan*, *lighting* dan AC. Sedangkan untuk SDP-Emergency terhubung pada lift. Pompa Labtek V dan VI hanya terhubung pada SDP saja, yaitu pada SDP-Emergency Labtek VI.

Pada Labtek VI terdapat juga MDP yang terletak pada lantai 1. MDP kemudian menyalurkan energi listrik pada SDP-Emergency, SDP-1, SDP-2, SDP-3, SDP-4. Dimana untuk SDP-1 terhubung pada *lighting*, *receptacle* dan *exhaust fan* pada lantai 1. SDP-2 terhubung pada *lighting*, *receptacle*, *exhaust fan*, dan AC. SDP-3 terhubung pada *receptacle*, *exhaust fan*, dan *lighting*. SDP-4 terhubung pada *receptacle*, *exhaust fan*, *lighting* dan AC. Sedangkan SDP-Emergency terhubung pada, Lift, pompa, *hydrant* dan komputer.

4 Data dan Perhitungan IKE

Istilah "intensitas konsumsi energi" (IKE) mengacu pada jumlah energi yang dikonsumsi per meter persegi luas bangunan kotor dalam kurun waktu tertentu. Beberapa negara telah menggunakan metode ini untuk menghitung nilai yang dinyatakan dalam kWh/m² per tahun. Dalam konteks ini, "target" ditentukan berdasarkan nilai IKE di Indonesia, dirangkum dalam Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Nilai standar IKE listrik di Indonesia (SNI 03-6196-2000)

No	Klasifikasi	IKE (kWh/m ² /thn)
1	Perkantoran	240
2	Pusat Perbelanjaan	330
3	Hotel/Apartment	300
4	Rumah Sakit	380

Tabel 8. Kriteria nilai standar IKE listrik per tahun

No	Kriteria	IKE (kWh/m ² /thn)
1	Sangat Efisien	<100
2	Efisien	101-150
3	Sedang	151-200
4	Boros	>200

Adapun perhitungan IKE untuk audit energi di gedung universitas, jika meninjau nilai target IKE yang digunakan untuk klasifikasi perkantoran (komersial), maka dari data yang telah dihitung satuan listrik total luas area gedung yang dikondisikan adalah sebesar 240 kWh/m² per tahun.

4.1 IKE yang Belum Efisien Labtek V dan VI

IKE, atau intensitas konsumsi energi listrik adalah hubungan antara satuan luas bangunan dan jumlah energi listrik yang digunakan dalam periode tertentu. Diketahui bahwa Labtek V memiliki luas bangunan 9685,75 m² dan konsumsi listrik tahunan yang berbeda sehingga diperoleh nilai IKE sebagai berikut.

$$IKE = \frac{\text{Konsumsi Energi per Tahun}}{\text{Luas Bangunan}} \quad (1)$$

IKE Tahun 2019	58.00717 kWh/m ²
IKE Tahun 2020	51.11716 kWh/m ²
IKE Tahun 2021	38.01296 kWh/m ²

Sementara itu, Labtek VI diketahui memiliki luas bangunan 9712,75 m² dan konsumsi listrik per tahun yang bervariasi, sehingga diperoleh nilai IKE sebagai berikut.

$$IKE = \frac{\text{Konsumsi Energi per Tahun}}{\text{Luas Bangunan}} \quad (2)$$

IKE Per Tahun 2019	31.9491 kWh/m ²
IKE Per Tahun 2020	25.2324 kWh/m ²
IKE Per Tahun 2021	16.75155 kWh/m ²

Secara keseluruhan, Labtek V dan Labtek VI tergolong belum efisien. Dari hasil perhitungan IKE per satuan luas total bangunan yang berada dalam kondisi perlu mendapat perhatian serius. Secara keseluruhan, mereka sudah masuk dalam kategori tersebut sehingga membuka kemungkinan jika pola penggunaan energi tidak diantisipasi dengan cepat, klasifikasi tersebut dapat diturunkan ke kategori yang lebih rendah.

5 Analisis Sebab Permasalahan Gedung

Terdapat tiga masalah yang ditemukan pada audit energi pada gedung Labtek V dan Labtek VI yaitu:

1. Daya Beban Tinggi
Daya beban tinggi pada kedua gedung tersebut, untuk Labtek V dimana pada gedung ini terdapat banyak laboratorium komputer yang terpakai, begitu juga dengan ruangan server dan AC yang tetap menyala selama 24 jam. Sedangkan pada Labtek VI terdapatnya alat alat praktikum yang membutuhkan konsumsi energi yang tinggi, seperti boiler, peralatan laboratorium material, komputer, dan AC.
2. Kurangnya Efisiensi (AC)
Adapun terdapat pemborosan besar pada peralatan pendingin, di mana AC yang terpasang merupakan peralatan yang mempunyai daya listrik paling besar. Selain itu, jika dilihat dari sisi pemilihan komponen, juga terdapat kurangnya efisiensi pada pemilihan lampu yang terpasang berjenis TL dan XL, serta pada pemilihan jenis AC yang terpasang tersebut ada yang tidak berlabel hemat energi.
3. IKE Belum Efisien
Dengan luas bangunan 9685,75 m² (Labtek V) dan 9712 m² (Labtek VI), IKE untuk kedua Labtek tersebut masih bisa dimaksimalkan dengan mengatur sistem tata ruang, sistem pencahayaan, dan sistem kelistrikan.

Hasil dan Diskusi

1 Analisis Peluang Penghematan

Dengan menggunakan PHE (Peluang Penghematan Energi) maka rekomendasi peluang peningkatan efisiensi energi adalah sebagai berikut.

a) Sistem Tata Udara atau Pendingin

Mematikan Penghematan dan konservasi energi sistem pendingin gedung dapat dilakukan dengan mematikan AC apabila ruangan tidak digunakan, merawat dan penempatan AC sesuai dengan standar pemasangan, karena dengan merawat dan menempatkan AC yang tidak standar dapat menyebabkan tidak maksimalnya kerja AC, sesuaikan daya AC dengan ukuran ruangan, karena semakin besar ruangan maka AC akan bekerja lebih keras untuk mendinginkan udara di dalam ruangan, pemeliharaan suhu ruangan standar ($\pm 24^{\circ}\text{C}$) dan peningkatan kondisi ruangan yang digunakan untuk memenuhi persyaratan ruangan ber-AC, Mengganti AC yang berdaya besar dengan AC berdaya kecil dan memilih label hemat energi dengan daya (PK) yang sesuai dengan besarnya ruangan, dan membersihkan filter AC secara teratur agar tidak boros.

b) Sistem Tata Penerangan atau Cahaya

Penghematan dan konservasi energi sistem penerangan gedung dapat dilakukan dengan menghidupkan lampu sesuai kebutuhan dan mematikan lampu apabila tidak terpakai. Merawat lampu dengan cara membersihkan permukaannya agar sinar dari lampu dapat keluar secara maksimal. Mengganti semua lampu TL 36 Watt yang belum terpasang pada gedung Labtek V & VI dengan LHE (Lampu Hemat Energi) yaitu LED 10 Watt serta membersihkan lampu secara berskala agar penerangan lebih maksimal.

c) Sistem Kelistrikan dan Sistem Pompa

Penghematan dan konservasi energi sistem kelistrikan gedung dapat dilakukan dengan sangat sederhana. Misalnya, mematikan lampu dan perangkat elektronik saat ruangan tidak lagi digunakan, mengatur suhu ruangan, dan mencabut steker perangkat elektronik saat tidak digunakan. Untuk sistem pompa seperti yang telah disebutkan sebelumnya, pompa pada gedung telah menunjukkan efisiensi energi yang cukup baik karena telah menerapkan aksi penghematan energi. Pompa telah dikontrol secara otomatis menggunakan kontrol panel. Pompa akan hidup secara otomatis apabila kapasitas air pada toren mencapai 50%. Selain itu, penghematan energi dapat dilakukan dengan penghematan air. Hal ini akan berpengaruh terhadap kapasitas toren yang akan berkurang lebih lama sehingga kerja pompa menjadi lebih sedikit. Hal ini dapat menghemat kerja pompa hingga 10% atau sebesar 1 kWh per harinya. Adapun pompa yang rusak perlu dilakukan penggantian komponen baru.

2 Analisis Tekno-Ekonomi

Dalam mewujudkan potensi penghematan energi tersebut. Di dalam analisis, setiap subtim audit energi harus mampu memecahkan tantangan mewujudkan potensi penghematan energi dan biaya. Adapun dalam mewujudkan potensi penghematan audit gedung perlu dianalisis lebih lanjut terkait peluang tekno-ekonominya. Dari beberapa data primer dan sekunder yang diperoleh, berdasarkan rekomendasi tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa rekomendasi hasil audit pada gedung setelah melakukan audit energi singkat, awal dan rinci maka jenis rekomendasi yang memungkinkan untuk dilakukan berdasarkan referensi yang dimiliki oleh tim audit energi untuk gedung Labtek V dan VI yaitu sebagai berikut.

1. Skenario *No Cost*

Salah satu tindakan yang bisa dilakukan untuk mewujudkan skenario ini adalah dengan memberikan himbauan, baik secara tertulis maupun lisan kepada seluruh mahasiswa, dosen, dan karyawan di seluruh gedung untuk melakukan penghematan energi dengan menerapkan prosedur operasional sederhana dalam penggunaan beban listrik seperti mematikan lampu dan AC ketika meninggalkan ruangan dan pengurangan operasional jam kerja lampu dan AC pada beberapa ruangan jika memungkinkan sehingga harapannya akan tercipta kesadaran pada setiap penghuni gedung untuk melakukan konservasi energi secara sederhana.

2. Skenario *Medium Payback*

Salah satu strategi yang dilakukan dalam langkah jangka menengah adalah mengganti lampu di Gedung Labtek V dan VI yang sebagian besar bertipe TL menjadi lampu hemat energi (LHE). Penggantian lampu yang belum keseluruhan terpasang pada gedung menggunakan lampu hemat energi seperti LED dan Pemasangan sensor gerak disetiap sudut lorong gedung. Selain itu perlu menggunakan panel surya sebagai sumber energi tambahan sama seperti pada gedung Labtek V untuk mensuplay beberapa laboratorium. Adapun berikut adalah Data perbandingan lampu TL dan LHE pada kualitas yang sama.

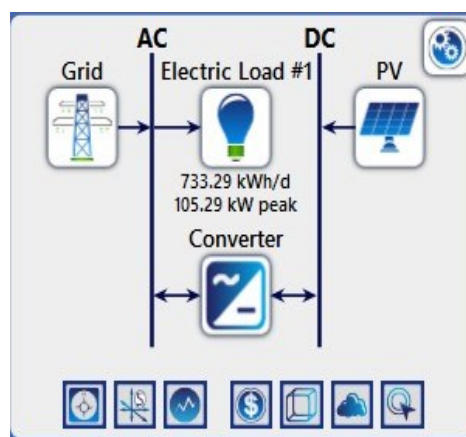
Tabel 9. Perbandingan lampu biasa dan lampu hemat energi

Lampu Hemat Energi			Lampu Biasa fTL		
Brightness (Watt)	Umur (jam)	Harga (Rp)	Brightness (Watt)	Umur (Jam)	Harga (Rp)
5	5.000	31.500	25	1000	3.500(*)
9	6.000	31.500	40	1000	21.000
11	6.000	31.500	55	1000	24.500
13	7.500	32.000	65	1000	
15	7.500	32.000	75	1000	4.500(*)
16	9.000	39.000	80	1000	4.500(*)
18	9.000	39.000	90	1000	
20	10 000	40.000	100	1000	7.500(*)
26	10 000	42.000	130	1000	

3. Skenario *Long Payback* (Biaya Tinggi)

Salah satu rekomendasi jangka panjang yang diusulkan dari kegiatan audit energi gedung baik untuk Labtek V dan Labtek VI agar dapat mengetahui penggunaan energi secara lebih spesifik dan detail. Oleh karena itu, perlu dipasang alat ukur *smart meter* yang lengkap untuk mengumpulkan data di setiap ruang panel lantai dan dilakukan Pengintegrasian Infrastruktur Energi Gedung dengan SiElisa. Kalibrasi *smart meter* juga penting dilakukan untuk menentukan deviasi dari nilai yang sebenarnya dengan nilai konvensional. Pertimbangan tekno-ekonomi perlu diperhitungkan saat menganalisis biaya pemasangan *smart meter*. Selain itu, penting untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang telah dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku.

Berdasarkan rekomendasi yang telah dilakukan, simulasi kelistrikan setelah pemasangan panel surya yang disimulasikan menggunakan aplikasi HOMER Pro. Lokasi Labtek V, terletak di ITB. Nilai *discount rate* yang digunakan adalah sebesar 8% dengan nilai *inflation rate* 5.71% yang merupakan persen nilai pada tahun ini 2022. Jenis PV yang digunakan pada simulasi merupakan 36 paket panel surya 16.2 Watt. Masing-masing paket seharga Rp118.800.000,00 terdiri atas Trina Solar panel surya dan 1-unit *micro inverter*. Diinginkan juga bahwa sistem dari PLTS ini adalah PLTS *hybrid* sehingga energi yang diperoleh dapat dijual kembali kepada PLN. Besar beban listrik total untuk 5 laboratorium, dimasukkan ke bagian *electric load* dengan asumsi beban listrik konstan di setiap jam sepanjang tahun. Diperhitungkan juga harga beli listrik dari PLN di tahun 2022 sebesar Rp 1.352,00 dan harga nilai jual sebesar Rp. 869,00. Berikut adalah gambar rangkaian *schematic* yang digunakan sebagai konfigurasi sistem PLTS *hybrid* pada gedung ini.



Gambar 5. Rangkaian *schematic* HOMER Pro

Rekomendasi aksi konservasi energi ditinjau berdasarkan kelompok biayanya dan dianalisa kelayakannya untuk diimplementasikan, terutama untuk rekomendasi aksi konservasi energi *low cost* dan *high cost*, karena dibutuhkan biaya investasi di awal. Analisis yang digunakan adalah dengan menghitung *Payback Period* (PBP) dari investasi yang dilakukan. Berdasarkan simulasi HOMER Pro, didapatkan bahwa pemodelan sistem terbaik akan menghasilkan listrik sebesar 25,19 MWh per tahunnya dan *simple payback period* sebesar 4.8 tahun seperti yang terlihat pada Gambar 7.

Economic Metrics	
IRR ⓘ	21%
ROI ⓘ	16%
Simple Payback ⓘ	4.8 yr

Gambar 6. Perhitungan *economic metric* HOMER Pro

2.1 Simple Payback Period

Berdasarkan rekomendasi yang dilakukan, terdapat dua rekomendasi yang menggunakan biaya, yaitu penggantian lampu pada panel SDP dan pemasangan panel surya. Berikut adalah perhitungan *simple payback period* dari kedua rekomendasi tersebut.

a) Penggantian lampu pada panel yang tidak menggunakan lampu LED

Lampu yang digunakan untuk mengganti jenis lampu TL *fluorescent* 40-Watt adalah lampu TL hemat energi LED 12 Watt. Pemilihan jenis lampu yang akan diganti sudah mempertimbangkan besar lumen yang dihasilkan kedua lampu agar tetap sama. Sehingga investasi pada rekomendasi ini adalah lampu TL Panasonic Philips 12 W sebanyak 2 × 153 buah dengan harga satuan Rp34.000,00 serta penghematan biaya per hari yang diperoleh sebesar Rp101.828,97. Dengan kedua nilai tersebut, dapat dihitung *simple payback period* pada rekomendasi ini sebagai berikut.

$$SPP = \frac{\text{Nilai Investasi}}{\text{Nilai Investasi}} \quad (3)$$

$$SPP = \frac{2 \times 153 \times \text{Rp}34.000,00}{\text{Rp}101.828,97/\text{hari}} = 102 \text{ Hari}$$

b) Pemasangan panel surya

Jenis PV yang digunakan pada rekomendasi ini adalah 36 paket panel surya 16,2 Watt. Masing-masing paket seharga Rp118.800.000,00 terdiri atas Trina Solar panel surya dan 1 unit micro inverter. Seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, berdasarkan simulasi HOMER Pro, didapatkan bahwa pemodelan sistem terbaik akan menghasilkan listrik sebesar 25,19 MWh per tahunnya dan *simple payback period* sebesar 4,8 tahun.



Gambar 7. Data iradiasi GHI HOMER Pro

Setelah melihat potensi yang dilakukan dari data iradiasi matahari melalui Simulasi HOMER salah satu rekomendasi jangka panjang yang diusulkan adalah melalui pemasangan PV sebagai alternatif energi bagi Gedung Labtek V dan VI. Hal ini dilakukan karena melihat potensial yang dimiliki oleh Gedung ini yang memiliki *rooftop* dan masih kosong sehingga cukup potensial untuk dipasang PLTS pada bagian atas.

2.2 Persen Penghematan

Berdasarkan poin-poin rekomendasi yang diterapkan pada Labtek V penghematan energi didapat dari total penghematan energi dari produksi listrik panel surya. Berdasarkan rekomendasi penghematan energi yang telah dijalankan dan diketahui bahwa biaya listrik PLN pada tahun 2022 adalah Rp1.447,00 sehingga didapatkan total penghematan sekitar Rp36.449.930,00 per tahun.

$$\text{Persen Penghematan} = \frac{\text{Penghematan Biaya}}{\text{Total Biaya Awal}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Persen Penghematan} = \frac{\text{Rp36.449.930}}{\text{Rp523.365.430}} \times 100\%$$

$$\text{Persen Penghematan} = 6,964\%$$

Catatan: Harga listrik untuk PLN 600 kVA pada tahun 2022 adalah Rp1.444,70/kWh.

Dengan menjalankan rekomendasi, didapatkan pengurangan konsumsi energi pada Labtek V. Segala aspek penggantian turut diperhitungkan pada kalkulasi ini sehingga menghasilkan selisih yang dapat dikatakan cukup besar.

Kesimpulan

Telah dilakukan audit energi dan analisis konservasi energi di gedung Laboratorium Teknik V dan VI Institut Teknologi Bandung. Kondisi intensitas konsumsi energi (IKE) kedua gedung laboratorium teknik tersebut berdasarkan standar SNI untuk rentang waktu 2019–2021 tergolong belum efisien. Karena itu penerapan strategi penghematan energi dalam konteks gedung universitas merupakan langkah yang esensial dan berpotensi memberikan dampak yang besar. Dengan pendekatan yang menyeluruh, meliputi peningkatan efisiensi dalam sistem tata udara atau pendingin, pencahayaan, dan kelistrikan serta pompa, serta rekomendasi pemanfaatan teknologi seperti panel surya, gedung berhasil mengurangi konsumsi energi secara efektif. Evaluasi kelayakan investasi menggunakan metrik seperti *Simple Payback Period* (SPP) juga sangat ditekankan untuk memastikan keputusan yang akurat dalam menerapkan strategi penghematan energi. Audit dan analisis awal tekno-ekonomi serta peluang penghematan yang diperoleh digunakan untuk menyesuaikan IKE kedua gedung tersebut agar tergolong efisien. Ketika dilakukan simulasi Homer, pergantian lampu ke LED dan pemasangan panel surya sangat direkomendasikan karena berpotensi menghemat konsumsi energi dengan SPP yang tergolong pendek, yaitu 102 hari dan 4,8 tahun. Persen penghematan yang diperoleh juga cukup berpengaruh signifikan, yakni 6,694% yang berdampak pada penghematan biaya operasional harian hingga pengembalian investasi jangka panjang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang bermanfaat bagi pengelola gedung dalam meningkatkan efisiensi energi dan menerapkan strategi analisis penghematan energi untuk menciptakan lingkungan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung atas dukungan dan kontribusinya dalam pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- [1] Z. Ma, J. Wang, S. Ye, R. Wang, F. Dong, and Y. Feng, "Real-time indoor thermal comfort prediction in campus buildings driven by deep learning algorithms," *J. Build. Eng.*, vol. 78, no. 619, p. 107603, 2023, doi: 10.1016/j.jobte.2023.107603.
- [2] B. Priyandono, "Analisis Konservasi Energi Listrik pada Rumah Tinggal Daya 2200V A dengan Beban Penerangan," *Isu Teknol. Stt Mandala*, vol. 6, no. 1, pp. 23–32, 2013.

- [3] N. U. R. R. Iskandar, *Editor : Nur R. Iskandar*, no. 8. Jakarta, 2015.
- [4] P. Arjuna Putra, "Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Energi Listrik," 2019.
- [5] B. Saputra AB, D. Maulidyawati, N. Aryanto, and A. Jaya, "Analisis Perhitungan Audit Energi Pada Sistem Kelistrikan Gedung Asrama Universitas Teknologi Sumbawa," *J. Altron; J. Electron. Sci. Energy Syst.*, vol. 2, no. 02, pp. 30–38, 2023, doi: 10.51401/altron.v2i02.3270.
- [6] Presiden RI, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia no 70/ 2009 Konservasi Energi*. 2009.
- [7] KESDM, *DATA & INFORMASI KONSERVASI ENERGI 2020*. 2020.
- [8] Q. Jiang et al., "Excavation of building energy conservation in university based on energy use behavior analysis," *Energy Build.*, vol. 280, p. 112726, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112726.
- [9] A. D. Ramadhon, "Audit Energi Dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Di Pt. Harmoni Putra Solusindo Semarang," *Jurnal Teknik Elektro Univ. Semarang*, pp. 5–31, 2021.
- [10] S. A. Kartika, "Analisis Konsumsi Energi Dan Program Konservasi Energi (Studi Kasus: Gedung Perkantoran Dan Kompleks Perumahan Ti)," *Sebatik*, vol. 22, no. 2, pp. 41–50, 2018, doi: 10.46984/sebatik.v22i2.306.
- [11] P. S. Derry Septian, Joko Prihartono, "Audit Energi Dan Analisa Peluang Hemat Energi," *Tek. Mesin Univ. Jaga Karsa Jakarta*, vol. 5, no. 2, pp. 137–142, 2013.
- [12] A. S. J. Wardhana and E. S. Damarwan, "Identification of Energy Saving Potential Through Energy Audit at PT. ABC," *J. Edukasi Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 63–74, 2023, doi: 10.21831/jee.v7i1.61657.
- [13] A. I. Nugrahanto, "PELATIHAN AUDITOR ENERGI SKKNI 053 2018," 2018.
- [14] J. Untoro, H. Gusmedi, and N. Purwasih, "Audit Energi dan Analisis Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Peralatan Listrik di Gedung Pelayanan Unila," *Electr. - J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 93–104, 2014, [Online]. Available: <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/127>
- [15] K. Larasati, Pangestuningtyas Diah, Fitrianti Friska Ayu, K Eriko Arvin, "Analisis Audit Energi di Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro," *J. perancangan, manufaktur, Mater. dan energi (jurnal permadi)*, vol. 5, no. 3, pp. 96–104, 2023.
- [16] A. Haqqi, "SEKILAS TAHAPAN AUDIT ENERGI," in *SEKILAS TAHAPAN AUDIT ENERGI*, 2015, pp. 1–7.