

**ANALISIS MANAJEMEN ENERGI PADA GEDUNG LABORATORIUM  
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG**

**Skripsi**

**Oleh**

**Fikri Milleniyanto**

**NPM.1815031064**



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDARLAMPUNG**

**2025**

**ANALISIS MANAJEMEN ENERGI PADA GEDUNG LABORATORIUM  
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG**

**Oleh**

**FIKRI MILLENIYANTO**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG**

**2025**

## **ABSTRAK**

### **ANALISIS MANAJEMEN ENERGI PADA GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG**

**Oleh**

**Fikri Milleniyanto**

Efisiensi energi pada gedung pendidikan merupakan faktor penting untuk mendukung keberlanjutan energi global. Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung memiliki luas 1.715,95 m<sup>2</sup> dengan konsumsi energi yang tinggi, terutama untuk pencahayaan, pendinginan, dan peralatan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis intensitas konsumsi energi (IKE), mengidentifikasi peluang penghematan energi (PPE), dan merekomendasikan strategi peningkatan efisiensi energi di gedung ini. Data dikumpulkan menggunakan Power Quality Analyzer (PQA) untuk memantau parameter kelistrikan, seperti daya aktif, daya reaktif, faktor daya, dan harmonik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas pencahayaan di sebagian besar ruangan berada di bawah standar SNI 6197:2011, dengan nilai tertinggi hanya 278 lux dari standar minimum 350–500 lux. Sistem pendingin udara juga tidak optimal, menghasilkan suhu ruangan di atas standar kenyamanan 25°C ± 1°C. Analisis kelistrikan mengungkapkan distribusi beban yang tidak merata dan faktor daya mendekati 0,95, yang masih memerlukan optimalisasi. Potensi penghematan energi teridentifikasi melalui penggantian lampu konvensional dengan LED, perbaikan sistem pendingin udara, dan pemasangan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya. Rekomendasi penelitian mencakup strategi manajemen energi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi tanpa mengurangi kenyamanan pengguna. Implementasi strategi ini diharapkan dapat mengurangi pemborosan energi, menurunkan biaya operasional, dan menjadi model pengelolaan energi berkelanjutan di institusi pendidikan.

**Kata Kunci:** Efisiensi Energi, Intensitas Konsumsi Energi, Audit Energi, Power Quality Analyzer.

## **ABSTRACT**

### **ENERGY MANAGEMENT ANALYSIS IN THE ELECTRICAL ENGINEERING LABORATORY BUILDING AT THE UNIVERSITY OF LAMPUNG**

**By**

**Fikri Milleniyanto**

*Energy efficiency in educational buildings is a crucial factor in supporting global energy sustainability. The Electrical Engineering Laboratory Building at the University of Lampung, with an area of 1,715.95 m<sup>2</sup>, has high energy consumption, particularly for lighting, cooling, and electrical equipment. This study aims to analyze energy consumption intensity (IKE), identify energy-saving opportunities (PPE), and recommend strategies to improve energy efficiency in this building. Data was collected using a Power Quality Analyzer (PQA) to monitor key electrical parameters such as active power, reactive power, power factor, and harmonics. The results show that lighting intensity in most rooms is below the SNI 6197:2011 standard, with the highest value reaching only 278 lux compared to the minimum standard of 350–500 lux. The air conditioning system is also suboptimal, resulting in room temperatures exceeding the comfort standard of 25°C ± 1°C. Electrical analysis reveals uneven load distribution and a power factor of approximately 0.95, which still requires optimization. Energy-saving potential was identified through replacing conventional lighting with LED, improving the air conditioning system, and installing capacitor banks to enhance the power factor. This study recommends a data-driven energy management strategy to improve efficiency without compromising user comfort. The implementation of these strategies is expected to reduce energy waste, lower operational costs, and serve as a model for sustainable energy management in educational institutions.*

*Keywords: Energy Efficiency, Energy Consumption Intensity, Energy Audit, Power Quality Analyzer.*

**Judul Skripsi : ANALISIS MANAJEMEN ENERGI PADA  
GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK  
ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG**

**Nama Mahasiswa : Fikri Milleniyanto**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1815031064**

**Program Studi : Teknik Elektro**

**Fakultas : Teknik**



**Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**

**NIP 19710813 199903 1 003**

**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**

**NIP 19740422 200012 2 001**

**2. Mengetahui**

**Ketua Jurusan  
Teknik Elektro**

**Herlinawati, S.T., M.T.**

**NIP 19710314 199903 2 001**

**Ketua Program Studi  
Teknik Elektro**

**Sumadi, S.T., M.T.**

**NIP 19731104 200003 1 001**


**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



**Sekretaris : Dr. Eng. Nining Purwaslh, S.T., M.T.**



**Penguji : Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP 19750928 200112 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Januari 2025**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi saya yang berjudul “ANALISIS MANAJEMEN ENERGI PADA GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS LAMPUNG” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya nyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 18 Februari 2025



**Fikri Milleniyanto**  
NPM 1815031064

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Tangerang, Banten pada tanggal 13 Januari 2000. Penulis merupakan anak ke-tiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Yudi (Alm) dan Ibu Ratnawati. Penulis memulai pendidikan di SDN Total Persada pada tahun 2006 hingga 2012, SMPN 15 Tangerang pada tahun 2012 hingga 2015, SMAN 15 Tangerang Pada tahun 2015 hingga 2018.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam organisasi internal di Jurusan Teknik Elektro yaitu (HIMATRO) sebagai Anggota Divisi Kerohanian pada tahun 2019 dan Anggota Divisi Minat dan Bakat pada tahun 2020. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi eksternal yaitu Himpunan Mahasiswa Banten-Lampung sebagai Anggota Divisi Sosial Masyarakat Periode 2019. Kemudian pada bulan September 2021, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PLN Nusantara Power, Unit Pembangkit Muara Karang, Jakarta Utara. Pada tahun 2024 penulis melaksanakan penelitian dengan judul “Analisis Manajemen Energi pada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung” di bawah bimbingan Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. Pada tanggal 24 Januari 2025 penulis melaksanakan ujian skripsi sebagai syarat untuk menyelesaikan masa studinya. Ujian tersebut dilaksanakan penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Demikian riwayat hidup penulis yang dapat dibuat per Februari 2025.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Alhamdulillah,  
Atas Izin Allah yang Maha Kuasa**

**KU PERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK**

*Ayah dan Ibu Tercinta*  
**Bapak Yudi dan Ibu Ratnawati**

*Kakak-Kakak Ku Tercinta*  
**Nofriyanto  
Rizki Yudhis Priyatna**

**Keluarga Besar, Dosen Jurusan Teknik Elektro,  
Teman-Teman, dan Almamater  
Universitas Lampung**

## MOTTO

" Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri"

**(QS. Ar-Ra'd : 11)**

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras dengan sungguh-sungguh (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan-Mu lah engkau berharap”

**(QS. Al-Insyirah : 6-8)**

" Kesuksesan itu bukan tentang seberapa tinggi engkau mendaki, tetapi bagaimana engkau bangkit setiap kali terjatuh."

**(Nelson Mandela)**

“Hidup ini bukan tentang menunggu badai berlalu, tetapi tentang belajar menari di tengah hujan.”

**(Vivian Greene)**

“Jangan berduka. Apa pun yang hilang darimu akan kembali dalam wujud lain.”

**(Jalaluddin Rumi)**

## SANWACANA

Puji dan syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, dan petunjuk-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik. Skripsi dengan judul “Analisis Manajemen Energi pada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung” dibuat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Selama masa pengerjaan skripsi ini, penulis tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak melalui bimbingan, dukungan, doa serta motivasi. Oleh karena itu izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala, Tuhan yang Maha Esa, atas segala karunia dan hidayah-Nya. Nabi Muhammad S.A.W, yang telah menyampaikan risalah Islam dan memberikan syafaat kepada ummat nya di hari akhir.
2. Teristimewa penulis persembahkan untuk Bapak Yudi (Alm) dan Ibu Ratnawati selaku orang tua penulis yang telah merawat, membesarkan, dan selalu mendoakan untuk kebaikan hidup penulis. Terima kasih telah berjuang dan bekerja keras untuk memfasilitasi berbagai macam aspek kebutuhan hidup penulis demi mengusahakan kehidupan yang lebih baik untuk penulis.
3. Untuk kakakku tercinta Nofriyanto dan Rizki Yudhis Priyatna (Alm), yang selalu memberikan motivasi, semangat dan bantuan baik secara moral maupun materi. Kalian adalah inspirasi dan teladan bagi saya dalam menempuh perjalanan ini. Dukungan serta kebersamaan yang kalian berikan menjadi energi tambahan yang sangat berarti bagi saya.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dalam menjalani masa pengerjaan skripsi.
9. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing serta memberi arahan dan semangat kepada penulis. Terima kasih untuk setiap ilmu, saran, nasihat serta kritik yang membangun selama proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung.
10. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang selalu memberikan semangat, arahan, nasihat, saran dan kritik yang membangun khususnya dalam hal penulisan laporan akhir selama proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa di Teknik Elektro Universitas Lampung.
11. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T. selaku penguji utama dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas saran, kritik, ilmu dan nasihat yang membangun proses penyusunan skripsi dan selama menjadi mahasiswa di Teknik Elektro Universitas Lampung.
12. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, pengajaran, serta bimbingan selama penulis menjalani perkuliahan di Teknik Elektro Universitas Lampung.
13. Seluruh staff Jurusan Teknik Elektro serta Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi.
14. Sarah As-sikah yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan yang dibutuhkan penulis. Terima kasih atas apresiasi dan perhatian yang diberikan untuk setiap pencapaian penulis selama proses mengerjakan skripsi.
15. Teman-teman seperjuangan Adutie: Aditya Eka, Edgar Raihan, Wahyu Rahman, Irdoaji, Wahyu Saputra, Rizky Aditya, Shandra Valencia dan Divya

- Anggrainingsih. Terima kasih sudah menemani baik susah maupun senang dari awal perkuliahan, dan selalu mendukung peneliti dalam penyusunan skripsi ini.
16. Keluarga Besar Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Pak Sugiarto, rekan-rekan Lab. TTT dan STL, serta beberapa dari Teknik Elektro 2020 dan 2021 yang telah memberikan semangat, bantuan, serta berpartisipasi demi kelancaran pengambilan data dan seminar yang dilakukan penulis.
  17. Teman-teman Teknik Elektro 2018 yang telah menjadi bagian dari fase kehidupan peneliti. Terima kasih atas berbagai kesempatan dan kebaikan yang tak bisa peneliti tulis satu persatu.
  18. Terakhir, terima kasih kepada Fikri Milleniyanto yang selalu berjuang dan bertahan sampai akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini. *Imagine a night where the whispers fade, where the ghost of doubt no longer call my name.*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sebagai penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 18 Februari 2025  
Penulis,

Fikri Milleniyanto

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR .....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Sistematika Penulisan .....</b>	<b>4</b>
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Konservasi Energi.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Audit Energi .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Intensitas Konsumsi Energi (IKE) .....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Efisiensi Penggunaan Beban Listrik .....	10
<b>2.4 Peluang Penghematan Energi .....</b>	<b>10</b>
<b>2.5 TerMus – PLUS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6 Sistem Tata Udara Pada Bangunan .....</b>	<b>12</b>
<b>2.7 Intensitas Pencahayaan .....</b>	<b>14</b>
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan.....</b>	<b>17</b>

3.3	<b>Prosedur Penelitian</b> .....	18
3.4	<b>Studi Literatur</b> .....	18
3.5	<b>Pengumpulan Data</b> .....	19
3.6	<b>Pemodelan Geometri dan Konstruksi Bangunan</b> .....	20
3.7	<b>Perhitungan Manajemen Energi</b> .....	21
3.8	<b>Mengidentifikasi Peluang Penghematan Energi</b> .....	22
3.9	<b>Merekomendasikan Peningkatan Efisiensi Energi</b> .....	23
3.10	<b>Penyusunan Laporan</b> .....	23
IV.	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	24
4.1	<b>Geometri dan Konstruksi Bangunan</b> .....	24
4.2	<b><i>Single Line Diagram (SLD)</i></b> .....	30
4.3	<b>Intensitas Pencahayaan</b> .....	31
4.4	<b>Temperatur Udara</b> .....	33
4.5	<b>Data Hasil Pengukuran Menggunakan PQA</b> .....	36
4.6	<b>Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Menggunakan PQA</b> .....	36
4.6.1	Diagram Pengukuran Hari Ke - 1 .....	37
4.6.2	Diagram Pengukuran Hari Ke - 2 .....	39
4.6.3	Diagram Pengukuran Hari Ke - 3 .....	41
4.6.4	Diagram Pengukuran Hari Ke - 4 .....	44
4.6.5	Diagram Pengukuran Hari Ke - 5 .....	46
4.6.6	Diagram Pengukuran Hari Ke - 6 .....	49
4.6.7	Pembahasan Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus.....	51
4.7	<b>Analisis Ketidakseimbangan Beban</b> .....	52
4.8	<b>Analisis Faktor Daya ( <math>\cos \varphi</math> )</b> .....	54
4.9	<b>Analisis Intensitas Konsumsi Energi (IKE)</b> .....	55

4.9.1	Data Konsumsi Energi .....	55
4.9.2	Perhitungan IKE.....	55
<b>4.10</b>	<b>Analisis Peluang Penghematan Energi .....</b>	<b>57</b>
4.10.1	Sistem Pencahayaan.....	57
4.10.2	Sistem Pendingin Udara (AC).....	58
4.10.3	Pemeliharaan Gedung .....	58
<b>4.11</b>	<b>Analisis hasil perhitungan IKE secara <i>real</i> dan simulasi.....</b>	<b>58</b>
<b>4.12</b>	<b>Rekomendasi Peningkatan Efisiensi Energi.....</b>	<b>60</b>
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1	Simpulan .....	62
	DAFTAR PUSTAKA .....	64
	LAMPIRAN.....	67



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	18
Gambar 4. 1 Tampak Belakang Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung .....	25
Gambar 4. 2 Tampak Depan Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung .....	26
Gambar 4. 3 Denah Lantai 1 Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung .....	27
Gambar 4. 4 Denah Lantai 2 Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung .....	28
Gambar 4. 5 Denah Lantai 3 Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung .....	29
Gambar 4. 6 Single Line Diagram (SLD) .....	30
Gambar 4. 7 Tegangan Line to Line 9 September 2024 .....	37
Gambar 4. 8 Pengukuran Arus 9 September 2024.....	38
Gambar 4. 9 Tegangan Line to Line 10 September 2024 .....	39
Gambar 4. 10 Pengukuran Arus 10 September 2024.....	40
Gambar 4. 11 Tegangan Line to Line 11 September 2024 .....	41
Gambar 4. 12 Pengukuran Arus 11 September 2024.....	42
Gambar 4. 13 Tegangan Line to Line 12 September 2024 .....	44
Gambar 4. 14 Pengukuran Arus 12 September 2024.....	45
Gambar 4. 15 Tegangan Line to Line 13 September 2024 .....	46
Gambar 4. 16 Pengukuran Arus 13 September 2024.....	47
Gambar 4. 17 Tegangan Line to Line 14 September 2024 .....	49
Gambar 4. 18 Pengukuran Arus 14 September 2024.....	50
Gambar 4. 19 Nilai IKE hasil simulasi .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria Penggunaan Energi .....	10
Tabel 2. 2 Standar Tingkat Pencahayaan Lembaga Pendidikan .....	16
Tabel 4.1 Intensitas Pencahayaan Lantai 1 .....	31
Tabel 4.2 Data Intensitas Cahaya Lantai 2.....	32
Tabel 4. 3 Data Intensitas Cahaya Lantai 3.....	32
Tabel 4. 4 Data Temperatur Udara Lantai 1 .....	33
Tabel 4. 5 Data Temperatur Udara Lantai 2 .....	34
Tabel 4. 6 Data Temperatur Udara Lantai 3 .....	35
Tabel 4. 7 Data Hasil Pengukuran.....	36
Tabel 4. 8 Analisis Ketidakseimbangan Tegangan.....	52
Tabel 4. 9 Analisis Ketidakseimbangan Arus.....	52
Tabel 4. 10 Nilai Rata-Rata Faktor Daya ( $\cos\phi$ ).....	54
Tabel 4. 11 Konsumsi Energi (kWh) .....	55

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Efisiensi energi pada bangunan gedung merupakan salah satu elemen penting dalam mendukung keberlanjutan sumber daya energi global. Bangunan pendidikan, seperti laboratorium, ruang kelas, dan kantor administrasi, memiliki konsumsi energi yang signifikan, terutama untuk kebutuhan pencahayaan, pendinginan, dan operasional peralatan elektronik. Kebutuhan energi ini terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah pengguna, sehingga strategi penghematan energi menjadi kebutuhan mendesak.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6196-2000, konservasi energi didefinisikan sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi guna menghindari pemborosan tanpa mengurangi kenyamanan pengguna gedung [1]. Salah satu pendekatan utama dalam konservasi energi adalah audit energi, yang mencakup evaluasi sistematis terhadap penggunaan energi dan identifikasi langkah-langkah penghematan yang dapat diterapkan secara efektif [2]. Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yang mengukur jumlah energi yang digunakan per satuan luas bangunan per tahun, merupakan salah satu indikator kunci dalam mengukur efisiensi energi pada bangunan.

Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung, dengan luas total 1.715,95 m<sup>2</sup> dan tinggi plafon yang signifikan, menghadapi tantangan dalam efisiensi energi. Masalah yang sering ditemui meliputi intensitas pencahayaan yang berada di bawah standar SNI 6197-2011, sistem pendingin udara yang tidak optimal, dan distribusi energi yang tidak merata. Kondisi ini tidak hanya memengaruhi kenyamanan pengguna gedung, tetapi juga meningkatkan konsumsi energi secara keseluruhan.

Regulasi nasional, seperti Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 13 Tahun 2012, memberikan panduan penting untuk pengelolaan

energi pada bangunan gedung. Implementasi audit energi berbasis data, menggunakan perangkat seperti Power Quality Analyzer (PQA), memungkinkan analisis mendalam terhadap konsumsi daya, faktor daya, harmonik, dan distribusi energi [3]. Dengan teknologi ini, potensi penghematan energi dapat diidentifikasi secara akurat dan rekomendasi efisiensi dapat dirumuskan berdasarkan data yang dapat diandalkan.

Penulis membahas tentang “Analisis Manajemen Energi pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung” bertujuan untuk mengevaluasi konsumsi energi dengan pendekatan berbasis data. Tujuan utama adalah untuk mengidentifikasi sumber pemborosan energi dan memberikan rekomendasi praktis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi energi di gedung tersebut tanpa mengurangi tingkat kenyamanan penghuni. Dengan hasil yang diharapkan, penelitian ini diharapkan dapat menjadi model bagi pengelolaan energi yang berkelanjutan di lingkungan pendidikan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis dan Mengidentifikasi Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung.
2. Mengidentifikasi Potensi Penghematan Energi (PPE) pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Merekomendasikan strategi Peningkatan Efisiensi Energi dari hasil analisis manajemen energi pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung.

### **1.3 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efektivitas dan efisiensi penggunaan energi dengan menggunakan parameter Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung dapat diidentifikasi untuk mendapatkan peluang penghematan energi?
2. Apa strategi peningkatan efisiensi energi yang dapat direkomendasikan berdasarkan hasil analisis manajemen energi pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung?

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) hanya dilakukan di *Main Distribution Panel* (MDP)
2. Pengukuran intensitas pencahayaan dilakukan hanya pada bagian tengah ruangan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Intensitas Konsumsi Energi (IKE) akan membantu dalam memahami pola penggunaan energi dominan di gedung tersebut.
2. Melalui rekomendasi strategi penghematan energi yang efektif, penelitian ini dapat membantu Universitas Lampung dalam mengurangi biaya operasional Gedung Laboratorium Teknik Elektro.
3. Melalui penekanan pada penghematan energi dan berkelanjutan, penelitian ini juga dapat membantu dalam meningkatkan kesadaran lingkungan di kalangan mahasiswa, staf, dan masyarakat umum yang terlibat dengan Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memaparkan beberapa teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan akhir ini.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menjelaskan serta menganalisa tentang hasil yang diperoleh pada saat pengujian.

### **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini menjelaskan simpulan dan saran dari hasil simulasi audit energi pada rancangan Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Konservasi Energi

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6196-2000 tentang prosedur audit energi pada bangunan gedung, konservasi energi didefinisikan sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi untuk memenuhi kebutuhan tertentu, dengan tujuan menghindari pemborosan energi. Keberhasilan dalam menggunakan energi secara efisien sangat dipengaruhi oleh perilaku, kebiasaan, kedisiplinan, dan kesadaran masyarakat akan pentingnya penghematan energi. [5].

Rasio konservasi energi merujuk pada total energi yang berhasil dihemat, yang diukur atau diperkirakan berdasarkan perbedaan konsumsi energi sebelum dan sesudah menerapkan satu atau beberapa langkah efisiensi energi [6]. Konservasi energi merupakan langkah kebijaksanaan yang paling mudah dilakukan dan paling ekonomis dibandingkan dengan langkah-langkah lainnya, dan dapat dilakukan oleh seluruh lapisan masyarakat. Penting untuk dicatat bahwa konservasi energi tidak boleh menghambat operasional atau pembangunan yang telah direncanakan sebelumnya [3].

Konservasi energi memiliki keterkaitan erat dengan Peluang Penghematan Energi (PPE) atau Energy Conservation Opportunities (ECO) sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 13 Tahun 2012. PPE dapat diidentifikasi melalui hasil perhitungan Indeks Kinerja Energi (IKE) standar yang telah ditetapkan. Proses penghematan energi dapat dilakukan dengan [7]:

1. Menggunakan sumber energi alternatif yang lebih efisien & murah.
2. Memperbaiki kinerja peralatan dan mengurangi penggunaan peralatan listrik (daya dan waktu operasi).
3. Menggunakan peralatan listrik yang hemat energi.

## 2.2 Audit Energi

Audit energi merupakan salah satu elemen kunci dari kebijakan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi energi pada fasilitas industri dan akomodasi [8]. Proses audit energi melibatkan survei, pemeriksaan, dan analisis aliran energi listrik pada bangunan yang sedang diperiksa, dengan tujuan untuk mengidentifikasi cara untuk menghemat energi yang dikonsumsi. Proses ini dirancang untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan oleh bangunan tanpa mengganggu kinerja peralatan atau kenyamanan penghuninya. Audit energi pada bangunan memberikan layanan bagi pemilik dan penghuni bangunan karena efisiensi penggunaan energi dievaluasi dan dapat dioptimalkan berdasarkan hasil audit tersebut [1].

Hal ini sejalan dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2012, yang mendefinisikan audit energi sebagai proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi [5]. Untuk memahami penggunaan energi pada gedung, audit energi menjadi alat penting. Dengan melakukan audit energi, kita dapat mengetahui pola pemakaian energi dan potensi pemborosan energi pada gedung tersebut. Langkah-langkah yang diperlukan dapat diambil untuk mengatasi masalah penggunaan energi dan meningkatkan pengelolaan energi secara efektif [9].

Audit energi bertujuan untuk mengidentifikasi sumber pemborosan energi dalam sebuah bangunan, sehingga dapat merumuskan Peluang Penghematan Energi (PPE) dan strategi terbaik untuk melakukan penghematan energi. Tujuan utamanya adalah mengurangi konsumsi energi guna mengendalikan tagihan listrik atau biaya operasional, yang kemudian dapat dialihkan ke sektor lain. Identifikasi sumber pemborosan energi dan PPE menjadi dasar dari rekomendasi untuk penghematan energi yang efektif [10]. Secara umum, audit energi adalah kegiatan untuk mengidentifikasi di mana dan seberapa banyak energi yang digunakan, serta menentukan langkah-langkah yang dapat diambil untuk melakukan konservasi energi dalam suatu fasilitas penggunaan energi [11].



Pada bangunan gedung, sistem pengguna energi dapat dikelompokkan menjadi empat pengguna energi terbesar, yaitu sistem pencahayaan, sistem AC, dan peralatan kantor lainnya. Audit energi bertujuan untuk memahami pola pemakaian energi dari peralatan pengguna energi yang ada di gedung, dengan tujuan untuk mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional gedung [9]. Tahapan audit energi yang dilakukan di dalam gedung dan bangunan untuk mendapatkan Peluang Penghematan Energi (PPE) dapat meliputi langkah-langkah berikut [12]:

1. Audit awal, dilakukan analisis potensi penghematan energi berdasarkan data sekunder seperti rekening listrik, luas bangunan, beban listrik, dan pola penggunaan energi. Selain itu, dilakukan pemeriksaan visual terhadap sistem dan peralatan, serta wawancara dengan pengguna gedung untuk memahami pola penggunaan energi. Hasil dari audit awal ini adalah untuk mengetahui Intensitas Konsumsi Energi (IKE) di gedung atau bangunan tersebut.
2. Audit rinci, melibatkan analisis yang lebih mendalam terhadap peluang penghematan energi dengan menggabungkan hasil audit awal dan hasil pengukuran yang dilakukan di dalam gedung atau bangunan tersebut. Hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk menilai tingkat kesesuaian dan efisiensi dari sistem yang ada di gedung atau bangunan tersebut. Pengukuran yang dilakukan mencakup berbagai aspek seperti intensitas pencahayaan, termografi, kualitas daya, dan kelembapan.
3. Identifikasi Peluang Penghematan Energi (PPE), dilakukan analisis terhadap hasil audit awal dan audit rinci yang telah dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi peluang penghematan energi yang dapat diimplementasikan. Peluang penghematan energi ini dapat berupa tindakan tanpa biaya tambahan, tindakan dengan biaya rendah, hingga tindakan dengan biaya sedang dan tinggi. Tujuan dari identifikasi ini adalah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan mengurangi biaya atau tagihan energi yang timbul akibat penggunaan energi di dalam gedung atau bangunan.

Audit energi tidak terbatas pada satu jenis saja, melainkan memiliki berbagai macam jenis yang masing-masing memiliki fungsi yang berbeda. [13]:

1. Audit berjalan (*Walking audit*)

Walking audit, atau sering disebut juga mini audit, adalah jenis audit energi yang dilakukan secara sederhana tanpa perhitungan yang terlalu rinci. Audit ini lebih menitikberatkan pada analisis yang sederhana dan umumnya fokus pada bidang perawatan dan penghematan yang tidak memerlukan biaya investasi besar

2. Audit pendahuluan (*Preliminary audit*)

Audit ini merupakan jenis audit yang terfokus pada bagian-bagian vital yang penting dalam sistem, dan dilakukan dengan melakukan perhitungan yang jelas. Audit ini mencakup identifikasi mesin, analisis kondisi aktual, perhitungan konsumsi energi, penentuan pemborosan energi, dan beberapa usulan perbaikan atau peningkatan.

3. Audit rinci (*Detailed audit*)

Audit energi yang dilakukan secara menyeluruh, atau sering disebut sebagai audit komprehensif, mencakup pemeriksaan terhadap seluruh aspek yang menggunakan energi listrik, serta semua potensi penghematan yang dapat dilakukan. Audit ini biasanya dilakukan oleh lembaga auditor yang profesional dalam jangka waktu tertentu.

4. Rencana pengelolaan energi dan tindakan implementasi (*Energy management plan and implementation action*)

Audit energi yang dilakukan merupakan suatu alat dalam manajemen energi. Meskipun pada dasarnya audit ini mirip dengan audit rinci, namun dilakukan secara berkesinambungan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Audit energi ini dimulai dengan pembentukan organisasi manajemen energi. Hasil dari audit menjadi masukan utama bagi sistem manajemen energi untuk melakukan pengaturan energi secara terpadu.

### 2.3 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi Listrik (IKE) adalah ukuran yang menunjukkan besarnya pemakaian energi listrik per satuan luas bangunan gedung. Besarannya telah ditetapkan sebagai standar baik oleh pemerintah Indonesia maupun negara-negara lain yang tergabung dalam ASEAN atau APEC [9]. Nilai IKE menjadi penting sebagai tolak ukur dalam menemukan dan merumuskan peluang penghematan energi yang dapat diterapkan di setiap ruang atau seluruh area bangunan [10].

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) penting untuk mengevaluasi tingkat efisiensi penggunaan energi di suatu gedung. IKE dihitung berdasarkan formula yang diatur dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2012. IKE merupakan jumlah energi yang digunakan oleh sebuah bangunan per satuan luas area yang dikondisikan, baik dalam periode satu bulan atau satu tahun. Area yang dikondisikan adalah area yang suhu ruangnya diatur sedemikian rupa sehingga memenuhi standar kenyamanan dengan suplai udara yang sejuk melalui sistem tata udara gedung [7].

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) merupakan hasil dari pembagian antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung. IKE mengukur besarnya penggunaan energi per luas area yang dikondisikan dalam periode waktu tertentu, baik itu dalam satu bulan atau satu tahun. Rumus untuk menghitung IKE adalah sebagai berikut [14]:

$$IKE = \frac{\text{Total Konsumsi Energi}}{\text{Luas Bangunan}} \quad (2.1)$$

Menurut Peraturan Menteri ESDM No.13 Tahun 2012 kriteria penggunaan energi di gedung perkantoran berdasarkan konsumsi energi listrik spesifik (kWh/m<sup>2</sup>/Bulan) dapat mengacu pada Tabel 2.1 berikut ini [3]:

Tabel 2. 1 Kriteria Penggunaan Energi

Bangunan dengan AC (kWh/m <sup>2</sup> /Bulan)		Bangunan tanpa AC (kWh/m <sup>2</sup> /Bulan)	
Sangat Efisien	< 8,5	Sangat Efisien	< 3,4
Efisien	8,5 sampai < 14	Efisien	3,4 sampai <5,6
Cukup Efisien	14 sampai < 18,5	Cukup Efisien	5,6 sampai < 7,4
Boros	≥ 18,5	Boros	≥ 7,4

Berdasarkan Tabel 2.1 Diatas, apabila hasil perhitungan IKE dalam batas kisaran yang ditetapkan maka penggunaan energi masih dalam tingkat kewajaran. Namun, apabila nilai IKE melebihi batas maka diperlukan tindakan penghematan energi [3].

### 2.3.1 Efisiensi Penggunaan Beban Listrik

Langkah-langkah yang dilakukan dalam mewujudkan efisiensi penggunaan beban listrik antara lain [15]:

1. Mengurangi beban dalam ruangan yang dapat dimatikan tanpa mengganggu fungsinya adalah peluang penghematan energi yang signifikan. Sebagai contoh, mematikan lampu di zona eksterior saat siang hari jika pencahayaan alami sudah mencukupi, serta mematikan perangkat elektronik jika tidak sedang digunakan, merupakan langkah-langkah praktis untuk menghemat energi.
2. Pada sistem pendingin, infiltrasi udara luar sebaiknya dicegah karena dapat menyulitkan pengendalian kondisi ruangan hingga mencapai batas maksimum zona kenyamanan. Selain itu, penggunaan sistem "on-off" pada umumnya tidak dianjurkan untuk konservasi energi karena kurang mampu mengatur kapasitas sistem pendingin agar mendekati perubahan beban pendingin yang terjadi.

### 2.4 Peluang Penghematan Energi

Menurut Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2012, setelah melakukan serangkaian langkah konservasi dan mengumpulkan data dari pengukuran, langkah selanjutnya adalah menganalisis data tersebut untuk merekomendasikan penghematan energi berdasarkan kemungkinan yang dapat dilakukan di suatu

bangunan. Salah satu aspek analisis yang penting adalah perhitungan kebutuhan beban *air conditioner*. Hal ini diperlukan untuk menentukan seberapa besar kalor yang ada di suatu ruangan, dan dengan demikian dapat ditentukan ukuran *air conditioner* yang dibutuhkan untuk menjaga agar ruangan tetap nyaman. [16].

Peluang dalam penghematan energi dapat dievaluasi berdasarkan perbedaan antara nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang diperoleh dengan target intensitas energi. Semakin besar perbedaan ini, semakin tinggi peluang untuk menghemat energi. Target intensitas energi yang diinginkan harus sesuai dengan standar yang berlaku. Potensi penghematan energi dapat dihitung dari analisis Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang kemudian dibandingkan dengan standar yang ada, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI). [9].

Setelah peluang hemat energi teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis peluang hemat energi dengan membandingkan potensi penghematan energi dengan biaya yang diperlukan untuk melaksanakan rencana atau program penghematan energi yang direkomendasikan. Penting untuk tetap memperhatikan kenyamanan penghuni dalam kegiatan penghematan energi di gedung atau bangunan. Analisis penghematan energi dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain [17]:

1. Efisiensi penggunaan/pemanfaatan energi sekecil mungkin;
2. Perbaikan kinerja dari peralatan listrik;
3. Pemanfaatan energi alternatif berbiaya murah;

## **2.5 TerMus – PLUS**

TerMus-PLUS adalah perangkat lunak untuk simulasi dan analisis energi dinamis yang dikembangkan oleh *ACCA Software*. TerMus-PLUS adalah satu-satunya perangkat lunak untuk simulasi energi dinamis bangunan yang mengintegrasikan kekuatan *solver EnergyPlus* berkinerja tinggi dan kemudahan metode pemodelan *BIM/3D*. TerMus-PLUS memiliki beberapa fitur utama:

1. Pemodelan 3D

TerMus-PLUS memungkinkan pengguna untuk membuat model energi bangunan 3D dari file CAD DXF/DWG atau dari model IFC. Pengguna dapat bekerja pada

proyek arsitektural yang dibuat dengan perangkat lunak BIM lainnya (seperti Edificius, Revit, Allplan, dll).

## 2. Pemodelan Energi Bangunan

TerMus-PLUS membuatnya semudah mungkin untuk membuat model energi bangunan yang siap untuk *solver EnergyPlus*. Tidak seperti perangkat lunak lain, TerMus-PLUS tidak memerlukan input data yang luas untuk mendapatkan model perhitungan.

## 3. Data Iklim METEONORM

TerMus-PLUS dapat mengakses data iklim lokasi METEONORM di seluruh dunia yang menawarkan info cuaca lebih dari 7.700 stasiun pengukuran dan nilai statistik untuk suhu, angin, kelembaban, rentang suhu, dan radiasi matahari.

## 4. Simulasi dan Analisis Energi Cepat

Dengan *EnergyPlus*, TerMus-PLUS menawarkan simulasi dan analisis energi yang cepat.

## 5. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan disajikan dalam laporan, tabel, grafik, tampilan berwarna, dan animasi 3D.

TerMus-PLUS lebih dikenal sebagai perangkat lunak analisis struktural yang fokus pada pemodelan struktur bangunan dan evaluasi respons strukturalnya. Untuk melakukan analisis struktural pada TerMus-PLUS, perlu memasukkan informasi tentang geometri dan sifat material elemen struktural. Ini mencakup memberikan data geometris seperti panjang, lebar, dan tinggi, serta menyediakan parameter material seperti kekuatan tekuk dan geser.

## 2.6 Sistem Tata Udara Pada Bangunan

Pengadaan sistem tata udara bertujuan untuk menjaga kondisi temperatur, kelembaban, kebersihan, dan distribusi udara dalam ruangan pada tingkat yang diinginkan. Di iklim tropis seperti Indonesia, pendinginan udara umumnya diperlukan untuk menciptakan kondisi nyaman bagi aktivitas manusia. Ruangan yang nyaman akan meningkatkan tingkat produktivitas di dalamnya [5].

Suhu dan kelembaban dalam ruangan berpengaruh besar terhadap kenyamanan penghuninya. Untuk mengatur suhu dan kelembaban relatif, penting untuk

mengikuti Standar Nasional Indonesia yang berlaku. Hal ini bertujuan agar sistem tata udara pada bangunan gedung dapat beroperasi secara efisien dalam aplikasi lapangan. Beberapa Standar Nasional Indonesia yang terkait dengan sistem tata udara pada bangunan gedung antara lain [18]:

1. Ruang kerja dengan suhu antara 24°C hingga 27°C dengan kelembaban relative antara 55% (lima puluh lima persen) sampai dengan 65%(enam puluh lima persen)
2. Ruang transit (lobby, koridor) dengan suhu berkisar antara 27°C hingga 30°C dengan kelembaban relatif antara 50%(lima puluh persen) sampai dengan 70%(tujuh puluh persen)

Sistem pendingin ruangan digunakan untuk menciptakan kenyamanan bagi penghuninya. Rentang kenyamanan termal untuk daerah khatulistiwa adalah sekitar 22,5°C hingga 29°C, dengan kelembaban udara berkisar antara 20% hingga 50%. Kecepatan udara juga memengaruhi kenyamanan termal, di mana kecepatan udara yang lebih tinggi dapat menyebabkan penurunan suhu kulit manusia. Menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, pertukaran udara harus mencapai 0,283 M<sup>3</sup>/menit/orang dengan kecepatan udara sekitar 0,15–0,25 m/detik. Kecepatan udara yang kurang dari 0,1 m/detik akan menyebabkan pergerakan udara yang sangat lambat, membuat ruangan terasa tidak nyaman. Di sisi lain, kecepatan udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan suhu yang tiba-tiba di dalam ruangan. [19]. Berikut beberapa komponen bangunan gedung yang mempengaruhi pembebanan pada AC, yaitu [7]:

1. Bahan bangunan, pemilihan bahan bangunan akan mempengaruhi nilai transmitansi termal bagi beban pendinginan.
2. Beban listrik, beban yang ditimbulkan dari penggunaan listrik untuk pencahayaan memberi sumbangan beban pendinginan sebesar 15%-20%.
3. Beban penghuni, tingkat hunian merupakan komponen yang memberikan pengaruh pada kondisi pembebanan pada pendingin ruangan, nilainya berkisar antara 10%-15%.

4. Beban udara luar sebagai ventilasi dan infiltrasi, udara luar yang dimasukkan sebagai ventilasi akan menimbulkan sensibel maupun laten pada beban pendinginan yang cukup tinggi, yang nilainya mencapai 12%-18%.
5. Beban selubung bangunan, beban pendingin yang berasal dari luar melalui selubung bangunan akan memberikan pengaruh pada waktu beban puncak.
6. Beban lainnya dan beban sistem, di samping beban yang menimbulkan beban positif bagi beban pendinginan, terdapat pula peralatan yang memberikan nilai negatif dalam beban pendinginan.

## **2.7 Intensitas Pencahayaan**

Intensitas pencahayaan sangat penting dalam sebuah bangunan karena berhubungan dengan tata cahaya yang mempengaruhi kenyamanan kerja. Sistem pencahayaan dapat dibagi menjadi dua, yaitu pencahayaan alami yang berasal dari sinar matahari dan pencahayaan buatan yang berasal dari sumber lainnya. Pemanfaatan cahaya alami harus dipertimbangkan dan direncanakan secara optimal karena dapat membantu menghemat energi listrik [19].

Dalam ruangan yang memiliki banyak pencahayaan, kebutuhan akan teknologi kontrol untuk penggunaan energi yang efisien semakin meningkat. Banyak penelitian telah mengusulkan penggunaan cahaya matahari sebagai cara untuk mengurangi konsumsi energi pencahayaan dengan mengatur jumlah dan pengaturan pencahayaan dalam ruangan serta mengontrol pencahayaan di zona siang hari yang berbeda. [20].

Pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 13 tahun 2012, pasal 4 ayat 1 huruf b, disebutkan bahwa pengurangan konsumsi listrik melalui sistem pencahayaan dapat dicapai dengan melakukan Audit Energi pada Sistem Pencahayaan di gedung [5]. penghematan energi listrik pada pasal 4 ayat 1 huruf b dilakukan dengan cara [18]:

- 1.menggunakan lampu hemat energy sesuai dengan peruntukannya.
- 2.mengurangi penggunaan lampu hias (accessoris).
- 3.menggunakan ballast elektronik pada lampu TL(neon).



4. mengatur daya listrik maksimum untuk pencahayaan (termasuk rugi rugi ballast) sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk :
- ruang resepsionis 13 watt/m<sup>2</sup> dengan tingkat pencahayaan paling rendah 300 lux.
  - ruang kerja 12 watt/m<sup>2</sup> dengan tingkat pencahayaan paling rendah 350 lux.
  - ruang rapat , ruang arsip aktif 12 watt/m<sup>2</sup> dengan tingkat pencahayaan paling rendah 300 lux.
  - gudang arsip 6 watt/m<sup>2</sup> dengan tingkat pencahayaan paling rendah 150 lux.
  - ruang tangga darurat 4 watt/m<sup>2</sup> dengan tingkat pencahayaan paling rendah 150 lux.
  - tempat parkir 4 watt/m<sup>2</sup> dengan tingkat pencahayaan paling rendah 100 lux.
5. menggunakan rumah lampu (armature) reflector yang memiliki pantulan cahaya tinggi.
6. mengatur saklar berdasarkan kelompok area, sehingga sesuai dengan pemanfaatan ruangan.
7. menggunakan saklar otomatis dengan menggunakan pengatur waktu (timer) dan atau sensor cahaya (photocell) untuk lampu taman, koridor, dan teras.
8. mematikan lampu ruangan di bangunan gedung jika tidak dipergunakan.
9. memanfaatkan cahaya alami (matahari) pada siang hari dengan membuka tirai jendela secukupnya sehingga tingkat cahaya memadai untuk melakukan kegiatan pekerjaan.
10. membersihkan lampu dan rumah lampu (armature) jika kotor dan berdebu agar tidak menghalangi cahaya lampu.

Setiap tindakan yang dilakukan membutuhkan tingkat pencahayaan tertentu. Tingkat pencahayaan dalam suatu ruangan didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Satuan untuk tingkat pencahayaan adalah lumen atau lux per meter persegi ( $lx/m^2$ ). Jika melihat dari asal sumbernya, sistem pencahayaan dapat dibagi menjadi dua sumber, yaitu [7]:

### 1. Pencahayaan alami

Sinar matahari merupakan sumber alam yang digunakan untuk memberikan cahaya pada ruangan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Kualitas pencahayaan alami dianggap baik jika memenuhi kriteria tertentu. Pada jam-jam siang hari, mulai dari pukul 08.00 hingga 16.00, ruangan mendapat pasokan cahaya yang cukup, dan distribusi cahaya di dalamnya merata tanpa menciptakan perbedaan kontras yang mengganggu.

### 2. Pencahayaan buatan

Pencahayaan buatan merujuk pada pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya buatan manusia, tidak berasal dari cahaya alami. Pencahayaan buatan menjadi penting ketika ruangan sulit dijangkau oleh cahaya alami atau ketika cahaya alami tidak mencukupi untuk menerangi ruangan. Penggunaan sistem pencahayaan buatan menjadi salah satu kontributor utama konsumsi energi listrik kedua terbesar dalam sebuah bangunan atau gedung. Standar tingkat pencahayaan ruangan telah diatur dalam SNI 6197-2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan.

Tingkat pencahayaan rata-rata minimum yang direkomendasikan tidak boleh kurang dari tingkat pencahayaan pada Tabel 2.2 [21]

Tabel 2. 2 Standar Tingkat Pencahayaan Lembaga Pendidikan

Fungsi Ruangan	Tingkat pencahayaan rata-rata ( $E_{rata-rata}$ ) minimum (Lux)
Ruang Kelas	350
Ruang baca perpustakaan	350
Laboratorium	500
Ruang dosen	350
Ruang olahraga	300
Lobby	100
Tangga	100
Kantin	200

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung pada bulan September 2024 sampai dengan selesai.

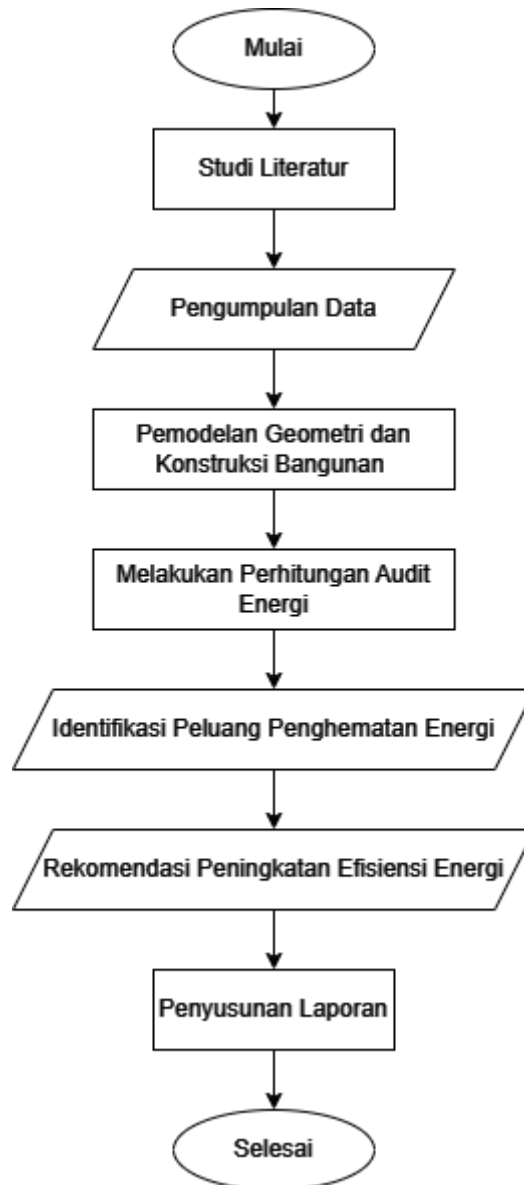
#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Laptop MSI Cyborg 15 A12V
2. Meteran AtuMan LS-P
3. *Power Quality Analyzer* tipe DW-6195
4. Tang Ampere (*Clamp Meter*)
5. Lux Meter
6. Perangkat lunak *TerMus-PLUS*
7. Perangkat lunak *Microsoft Office*

### 3.3 Prosedur Penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Studi Literatur

Setiap penelitian, studi literatur memiliki peranan penting karena dapat dimanfaatkan sebagai landasan logika berfikir bagi penulis dalam menyelesaikan masalah secara ilmiah. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori yang berkaitan untuk mencapai suatu tujuan.

### 3.5 Pengumpulan Data

Setelah studi literatur, penelitian ini memerlukan data-data sistem yang berhubungan langsung dengan penelitian penulis. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Data geometri dan konstruksi bangunan

Data geometri dan konstruksi bangunan diperlukan untuk memahami karakteristik fisik gedung yang berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik. Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung memiliki luas bangunan yang mencakup 1.715,95 m<sup>2</sup> dengan 3 lantai. Data geometri dan konstruksi bangunan ini diterapkan dengan merujuk pada data yang diperoleh dari pengukuran langsung dengan menggunakan meteran AtuMan LS-P.

#### 3.5.2 Data intensitas pencahayaan

Pengukuran intensitas pencahayaan dilakukan untuk mengevaluasi tingkat pencahayaan di setiap ruangan pada gedung laboratorium. Parameter ini penting karena pencahayaan yang tidak sesuai standar dapat mengakibatkan pemborosan energi listrik atau kondisi kerja yang tidak optimal. Pengukuran intensitas pencahayaan dilakukan menggunakan lux meter, dengan satuan lux. Standar acuan yang digunakan adalah SNI 03-6197-2000 tentang tata cara perencanaan sistem pencahayaan buatan di bangunan.

Data intensitas pencahayaan dikumpulkan di beberapa titik strategis pada tiap ruangan, seperti area kerja, koridor, dan ruang peralatan, untuk mengetahui distribusi cahaya dari sumber penerangan. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan nilai standar intensitas pencahayaan yang sesuai dengan fungsi ruangan. Jika ditemukan kelebihan atau kekurangan pencahayaan, maka dilakukan analisis untuk memberikan rekomendasi, seperti penggantian lampu dengan teknologi hemat energi (LED) atau pengaturan ulang posisi dan jumlah lampu agar lebih efisien. Analisis ini juga membantu mengidentifikasi potensi penghematan energi melalui optimasi sistem pencahayaan tanpa mengurangi kenyamanan dan produktivitas pengguna ruangan.

### 3.5.3 Data Penggunaan Energi

Pengukuran data energi dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi aktual konsumsi energi listrik di lokasi penelitian, yaitu Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung. Pengukuran ini menggunakan *Power Quality Analyzer (PQA)* yang berfungsi untuk memantau berbagai parameter kelistrikan seperti tegangan (V), arus (A), daya nyata (kW), daya reaktif (kVAR), energi listrik (kWh), dan harmonik. Pengukuran dilakukan di beberapa titik distribusi energi listrik, meliputi Main Distribution Panel (MDP) sebagai pusat distribusi utama, serta sub-panel pada masing-masing lantai gedung.

Data yang diperoleh akan mencakup profil penggunaan energi selama periode tertentu, seperti pengukuran harian, mingguan, hingga puncak beban pada jam-jam sibuk. Dengan ini, pola konsumsi energi dapat diidentifikasi secara rinci untuk mengetahui beban listrik yang dominan, ketidakseimbangan arus, dan potensi pemborosan energi. Selain itu, data harmonik juga diukur untuk mengevaluasi kualitas daya dan memastikan apakah terjadi gangguan yang dapat memengaruhi efisiensi penggunaan energi. Semua data hasil pengukuran ini menjadi dasar untuk melakukan analisis lebih lanjut terkait potensi penghematan energi dan penyusunan rekomendasi efisiensi energi listrik.

## 3.6 Pemodelan Geometri dan Konstruksi Bangunan

Pemodelan geometri dan konstruksi bangunan dilakukan untuk memahami bentuk fisik, struktur, serta tata letak bangunan laboratorium yang menjadi objek penelitian. Data ini mencakup Dimensi bangunan (panjang, lebar, tinggi ruangan), Struktur konstruksi seperti jenis material dinding, atap, dan lantai, Tata letak ruangan yang meliputi posisi panel listrik, jendela, pintu, serta peralatan listrik utama.

Data ini dikumpulkan melalui observasi langsung dan analisis dokumen terkait, seperti denah bangunan atau gambar teknis yang tersedia. Pemodelan geometri bangunan digunakan untuk:

- Menganalisis distribusi pencahayaan alami di dalam bangunan.
- Menilai dampak desain arsitektur terhadap sirkulasi udara dan penggunaan energi.
- Memahami tata letak instalasi listrik dan peralatan untuk memudahkan proses audit energi.

Hasil dari pemodelan ini akan menjadi dasar untuk analisis efisiensi energi terkait penggunaan pencahayaan buatan dan peralatan listrik, serta membantu dalam memberikan rekomendasi optimasi energi sesuai karakteristik fisik bangunan.

### 3.7 Perhitungan Manajemen Energi

Perhitungan Manajemen energi dilakukan dengan menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) sebagai alat utama untuk mengukur dan menganalisis kualitas energi listrik yang digunakan di gedung laboratorium. PQA memberikan data secara langsung mengenai parameter-parameter listrik yang menjadi dasar perhitungan audit energi. Adapun tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

#### 3.7.1 Pengukuran Parameter Listrik

PQA digunakan untuk mengukur parameter utama, seperti: Tegangan (V), Arus (A), Daya aktif (kW), Daya reaktif (kVAR), Daya semu (kVA), Faktor daya (PF), Energi listrik (kWh). Data ini diambil pada titik-titik distribusi listrik, seperti MDP (*Main Distribution Panel*) dan sub-panel di tiap lantai.

#### 3.7.2 Perhitungan Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi dihitung berdasarkan hasil pengukuran energi (kWh) dari PQA selama periode tertentu (harian, mingguan, atau bulanan) di setiap panel distribusi.

#### 3.7.3 Analisis Faktor Daya

Faktor daya dihitung langsung oleh PQA berdasarkan perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S):

$$PF = \frac{P}{S} \quad (3.1)$$

Faktor daya yang rendah menunjukkan adanya penggunaan daya reaktif yang berlebih sehingga sistem bekerja tidak efisien.

#### 3.7.4 Identifikasi Beban Harmonik

PQA juga mengukur distorsi harmonik total (THD) pada arus dan tegangan, yang dihasilkan oleh peralatan non-linear seperti inverter, komputer, atau lampu LED. Nilai THD dianalisis untuk mengetahui gangguan kualitas daya yang berpotensi meningkatkan kerugian energi.

#### 3.7.5 Analisis Kerugian Energi

Berdasarkan data arus listrik (I) dan resistansi jalur (R), kerugian daya dihitung menggunakan:

$$P_{loss} = I^2 \times R \quad (3.2)$$

Kerugian ini dapat diakibatkan oleh distribusi beban tidak merata atau kualitas kabel yang kurang baik.

#### 3.7.6 Evaluasi dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil perhitungan, dilakukan evaluasi terhadap:

- Konsumsi energi di setiap titik pengukuran.
- Faktor daya dan rekomendasi perbaikannya (misalnya, pemasangan kapasitor bank).
- Beban harmonik dan solusi pengurangannya.
- Kerugian daya serta potensi optimasi distribusi beban.

### 3.8 Mengidentifikasi Peluang Penghematan Energi

Identifikasi peluang penghematan energi dilakukan dengan menganalisis data hasil pengukuran menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) dan observasi langsung di lokasi penelitian. Langkah ini bertujuan untuk menemukan sumber inefisiensi energi listrik dan memberikan solusi perbaikan yang dapat meningkatkan efisiensi. Analisis diawali dengan mengevaluasi konsumsi energi aktual dalam satuan kWh serta membandingkannya dengan kondisi ideal atau standar efisiensi energi.



### **3.9 Merekomendasikan Peningkatan Efisiensi Energi**

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Power Quality Analyzer (PQA), rekomendasi peningkatan efisiensi energi meliputi perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor bank, penyeimbangan distribusi beban antar fasa, serta pengurangan gangguan harmonik melalui filter harmonik.

Untuk sistem pencahayaan, disarankan penggantian lampu konvensional dengan lampu LED hemat energi dan pemanfaatan pencahayaan alami untuk mengurangi penggunaan listrik. Selain itu, pemeliharaan rutin instalasi listrik, seperti pengecekan sambungan dan perbaikan panel distribusi, perlu dilakukan untuk menghindari kerugian daya.

Rekomendasi ini diharapkan dapat mengoptimalkan konsumsi energi, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan di gedung laboratorium.

### **3.10 Penyusunan Laporan**

Tahap penyusunan laporan dilakukan sebagai langkah akhir dalam penelitian ini. Laporan disusun berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA), analisis data, serta identifikasi peluang penghematan energi. Laporan ini mencakup gambaran kondisi sistem kelistrikan, konsumsi energi aktual, faktor inefisiensi yang ditemukan, serta rekomendasi peningkatan efisiensi energi. Struktur laporan terdiri dari pendahuluan, metode penelitian, hasil pengukuran, analisis data, perhitungan potensi penghematan energi, dan rekomendasi perbaikan. Penyusunan laporan bertujuan untuk memberikan gambaran yang sistematis dan menyeluruh mengenai kondisi energi di gedung laboratorium serta langkah-langkah yang dapat diterapkan untuk mencapai efisiensi energi secara optimal. Laporan ini juga menjadi dasar bagi pihak terkait dalam mengambil keputusan untuk menerapkan rekomendasi yang telah disusun.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari penelitian kali ini adalah:

1. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung sebesar 6 kWh/m<sup>2</sup> per bulan, tergolong sangat efisien berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa efisiensi ini belum sepenuhnya mendukung kenyamanan pengguna gedung, akibat pencahayaan yang kurang memadai dan sistem pendingin udara yang belum optimal. Oleh karena itu, peningkatan kualitas fasilitas diperlukan untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi energi dan kenyamanan pengguna.
2. Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis, diketahui bahwa beban energi terbesar dalam Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung berasal dari sistem penerangan dan penggunaan AC. Oleh karena itu, upaya penghematan energi paling efektif dapat difokuskan pada kedua jenis beban tersebut.
3. Rekomendasi strategi peningkatan efisiensi energi di Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung dapat dilakukan melalui audit energi berkala, penggantian lampu TL dengan LED hemat energi, penerapan sensor otomatis, optimalisasi sistem pendingin udara, serta peningkatan kesadaran pengguna. Penggantian lampu diestimasi meningkatkan intensitas pencahayaan menjadi 350 lux pada setiap ruangan dengan biaya penggantian Rp 17.204.500. Penyesuaian suhu AC dari 16°C ke 25°C berpotensi menghemat energi hingga 30-50%. Setelah dilakukan simulasi dengan penerapan strategi ini, intensitas konsumsi energi diperkirakan mencapai 6,093 kWh/m<sup>2</sup> per bulan, tanpa mengorbankan kenyamanan dan produktivitas pengguna.

## 5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini, untuk mempertimbangkan analisis lebih mendalam terhadap penggunaan energi pada berbagai sistem di gedung seperti pencahayaan, pendingin ruangan, peralatan elektronik. Dengan melakukan pemantauan selama periode yang lebih panjang, pola konsumsi energi dapat diidentifikasi lebih akurat sehingga rekomendasi yang diberikan lebih komprehensif. Selain itu, penerapan teknologi berbasis otomatisasi seperti sensor cahaya dan pengatur suhu otomatis dapat dipertimbangkan sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi secara berkelanjutan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. M. J. Mahdi, "Energy Audit a step to effective Energy Management," *International Journal of Trend in Research and Development*, vol. 5, no. 2, pp. 521-525, 2018.
- [2] J. Untoro, H. Gusmedi and N. Purwasih, "Audit Energi dan Analisis Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Peralatan Listrik di Gedung Pelayanan Unila," *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 8, no. 12, pp. 93-104, 2014.
- [3] D. Despa, G. F. Nama, T. Septiana and M. B. Saputra, "Audit Energi Listrik Berbasis Hasil Pengukuran Dan Monitoring Besaran Listrik Pada Gedung A Fakultas Teknik Unila," *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 1, pp. 33-38, 2021.
- [4] I. Manurung, T. U. H. S. G. Manik, D. M. Nasution and A. Pintoro, "AUDIT ENERGI PADA GELANGGANG MAHASISWA USU MENGGUNAKAN SIMULASI ENERGYPLUS," *Jurnal Dinamis*, vol. 7, no. 3, pp. 46-54, 2019.
- [5] B. Saputra, D. Maulidyawati, A. Jaya and N. Aryanto, "ANALISIS PERHITUNGAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG ASRAMA UNIVERSITAS TEKNOLOGI SUMBAWA," *Jurnal Elektronika, Sains dan Sistem Energi*, vol. 02, no. 02, pp. 30-38, 2023.
- [6] Z. Grodek-Szostak, M. Malinowski, M. Suder, K. Kwiecie, S. Bodziacki, M. D. Vaverkova, A. Maxianova, A. Krakowiak-Bal, U. Ziemianczyk, H. Uskij, K. Kotulewicz-Wisinska, R. Lisiakiewicz, A. Niemczyk, A. Szelag-Sikora and M. Niemiec, "Energy Conservation Behaviors and Awareness of Polish, Czech and Ukrainian Students: A Case Study," *Energies*, vol. 14, no. 18, pp. 1-21, 2021.
- [7] A. Martin, D. R. Agusta and N. Simangunsong, "Audit energi sistem tata cahaya dan tata udara lantai 2 & 3 pada bangunan gedung toko buku di

- pekanbaru," *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro, TURBO*, vol. 11, no. 2, pp. 234-247, 2022.
- [8] S. Bigiotti, C. Costantino and A. Marucci, "Agritourism Facilities in the Era of the Green Economy: A Combined Energy Audit and Life Cycle Assessment Approach for the Sustainable Regeneration of Rural Structures," *Energies*, vol. 17, no. 5, pp. 1-16, 2024.
- [9] F. S. Desky, S. Hardi, Rohana and M. Harahap, "Intensitas Konsumsi Energi Listrik Dan Analisa Peluang Hemat Energi Pada Gedung A, B Dan M Di kampus Universitas Pembangunan Panca Budi," *RELE: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 104-108, 2022.
- [10] M. K. Anam, S. Handoko and T. Andromeda, "PERANCANGAN DATABASE UNTUK PEMANTAUAN AUDIT ENERGI DI GEDUNG UTAMA INSPEKTORAT PROVINSI JAWA TENGAH," *TRANSIENT*, vol. 12, no. 4, pp. 141-148, 2023.
- [11] J. C. Teruna, "AUDIT ENERGI AWAL MELALUI PERHITUNGAN INTENSITAS KONSUMSI ENERGI (IKE) LISTRIK (STUUDI KASUS PADA GEDUNG POLITEKNIK MUARA TEWEH)," *Jurnal: Elekrika Borneo (JEB)*, vol. 5, no. 2, pp. 27-30, 2019.
- [12] P. D. Larasati, F. A. F. S, E. A. K and Karnoto, "Analisis Audit Energi di Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro," *JURNAL PERANCANGAN, MANUFAKTUR, MATERIAL, DAN ENERGI (JURNAL PERMADI)*, vol. 5, no. 3, pp. 96-104, 2023.
- [13] M. Jamal and D. Floransya, "Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Energi Listrik Pada Bagian Produksi di PT. EPFM Makasar," *Jurnal Sinergi*, vol. 17, no. 1, pp. 42-47, 2019.
- [14] W. Gunawan, A. D. Juniarti and D. Rosihan, "AUDIT ENERGI LISTRIK PADA BANGUNAN GEDUNG KAMPUS 1 UNIVERSITAS BATAN

- JAYA (STUDI KASUS GEDUNG 4 UNIVERSITAS BANTEN JAYA)," *Jurnal InTent*, vol. 5, no. 2, pp. 50-67, 2022.
- [15] S. Riadi and E. Trigunadi, "Audit Energi Untuk Mencapai Peluang Penghematan Energi," *Jurnal Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 1-14, 2017.
- [16] N. Aprilia, N. Busaeri and N. Busaeri, "Analisis Peluang Efisiensi Melalui Konservasi Energi Pada Sistem Tata Udara Di Gedung Rumah Sakit Umum Nurhayati Garut," *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)*, vol. 04, no. 1, pp. 41-50, 2023.
- [17] I. M. A. P. S, R. S. Hartati and I. N. S. Kumara, "Simulasi Penggunaan Komponen Smart Building untuk Meningkatkan IKE di Gedung Rektorat Universitas Udayana," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 2, pp. 137-244, 2022.
- [18] F. P. Djamaludin, V. C. Poekoel and M. Rumbayan, "Audit Energi Gedung Rektorat Universitas Sam Ratulangi Manado," *Jurnal Teknik dan Komputern*, vol. 7, no. 4, pp. 277-284, 2018.
- [19] M. F. Hakim, A. Hermawan, F. Kurniawan and K. M. Habsari, "Audit Energi dan Rekomendasi Penghematan Energi Listrik di Gedung Rumah Sakit," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 136-141, 2023.
- [20] S.-H. Lee, S.-T. Oh and J.-H. Lim, "Lighting control method based on RIIL to reduce building energy consumption," *Energy Reports*, vol. 11, pp. 2090-2098, 2024.
- [21] Badan Standardisasi Nasional, *Konservasi energi pada sistem pencahayaan*, Jakarta, 2020.