



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

*"Alam Takambang Jadi Guru"*

TUGAS AKHIR - MSNI.62.8004

AUDIT ENERGI PADA GEDUNG LABORATORIUM TERPADU  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG DENGAN MENGGUNAKAN  
SOFTWARE RETSCREEN EXPERT

Andika Saputra

NIM 20338023

Dosen Pembimbing

Andre Kurniawan, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Padang

2024

## HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Audit Energi pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas  
Negeri Padang dengan Menggunakan Software RETScreen Expert

Nama : Andika Saputra

NIM : 20338023

Tahun Masuk : 2020

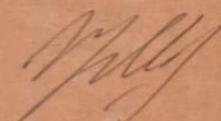
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

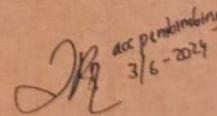
Padang, 3 Juni 2024

Disetujui Oleh,  
Koordinator Program Studi  
S1 Teknik Mesin



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19760706 200312 1 001

Dosen Pembimbing,



Andre Kurniawan, S.T., M.T.  
NIP. 19910525 201903 1 027

## HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan tugas akhir di depan tim penguji  
Program Studi SI Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas  
Teknik, Universitas Negeri Padang

Judul : Audit Energi pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas  
Negeri Padang dengan Menggunakan Software RETScreen Expert

Nama : Andika Saputra

NIM : 20338023

Tahun Masuk : 2020

Program Studi : SI Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Padang, 3 Juni 2024

### Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng

2. Anggota : Prof. Dr. Refdinal, M.T.

3. Anggota : Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.



Three handwritten signatures are present on the right side of the page, corresponding to the examiners listed on the left. The first signature is for Yolli Fernanda, the second for Prof. Dr. Refdinal, and the third for Dr. Ir. Arwizet K.

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andika Saputra  
NIM/BP : 20338023/2020  
Departemen : Teknik Mesin  
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya dengan judul :

**Audit Energi pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang dengan Menggunakan Software RETScreen Expert.** Merupakan karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain, apabila saya terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun sanksi hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku baik di instansi Universitas Negeri Padang maupun Negara.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 16 Mei 2024

Yang menandatangani

  
Andika Saputra

NIM. 20338023



## ABSTRAK

### **Andika Saputra : Audit Energi pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang dengan Menggunakan Software RETScreen Expert**

Efisiensi energi merupakan aspek krusial dalam upaya penghematan energi. Efisiensi energi menjadi faktor penting dalam upaya mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan. Salah satu langkah penting yang dapat dilakukan dalam mencapai efisiensi energi adalah dengan melakukan audit energi. Penelitian ini bertujuan untuk analisis komparasi antara perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan software *RETScreen Expert* terhadap efisiensi energi bangunan. Parameter yang digunakan untuk menganalisis efisiensi energi adalah sistem pendingin ruangan, sistem pencahayaan ruangan, dan penggunaan alat elektronik lainnya, selama periode satu tahun (*annual period*). Hasil analisis menunjukkan terdapat perbedaan perhitungan antara metode manual (816.010,8 kWh/tahun) dengan *RETScreen Expert* (1.113.453 kWh/tahun). Selisih Perbandingan perhitungan manual dengan *RETScreen Expert* adalah 297.442,2 kWh/tahun dengan presentase selisih perhitungan sebesar 15,42%. Dengan perbedaan tersebut diasumsikan bahwa perhitungan manual dan perhitungan menggunakan *RETScreen Expert* terdapat perbedaan yang cukup jauh. Namun demikian kedua metode dapat diandalkan untuk melakukan audit energi pada gedung. Berdasarkan nilai IKE yang didapatkan pada perhitungan manual sebesar 122,4 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, sedangkan nilai IKE pada perhitungan dengan *RETScreen Expert* sebesar 167,08 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan energi pada gedung tergolong efisien dengan nilai IKE pertahun  $102 \leq \text{IKE} < 168$  kWh/m<sup>2</sup>/tahun. **Hasil audit energi juga menunjukkan bahwa sistem pendingin ruangan (HVAC) merupakan kontributor utama dalam konsumsi energi gedung.**

**Kata Kunci:** Energi, Efisiensi, Audit, Komparasi, *RETScreen Expert*.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Audit Energi pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang dengan Menggunakan Software RETScreen Expert**”.

Shalawat beserta salam semoga selalu dilimpahkan oleh Allah *Subhanahu WaTa'ala* kepada junjungan umat islam, Nabi Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasallam*.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis banyak memperoleh bimbingan, saran, motivasi dan bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Andre Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan, saran-saran dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D. Eng, selaku Koordinator Prodi S1 Teknik Mesin, sekaligus sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T. Sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Prof. Dr. Refdinal, M.T. Sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.

5. Bapak Zainal Abadi, S.Pd., M.Eng. selaku dosen Pembimbing Akademik, yang selalu memberikan arahan dan nasihat kepada penulis.
6. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
7. Bapak dan ibu dosen beserta staf administrasi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
8. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan semangat serta dukungan kepada penulis, khususnya angkatan 2020 S1 Teknik Mesin UNP.
9. Teristimewa kepada orang tua dan saudara yang selalu mendukung penulis dalam berbagai hal.
10. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penulisan Tugas Akhir.

Semoga Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* memberikan balasan yang baik kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan Tugas Akhir ini kedepannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Padang, 16 Mei 2024



Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN TUGAS AKHIR ... Error! Bookmark not defined.	
SURAT PERNYATAAN .....	Error! Bookmark not defined.i
ABSTRAK .....	Error! Bookmark not defined.ii
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
A. Kajian Teori .....	6
1. Konservasi Energi .....	6
2. Audit Energi .....	7
3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) .....	11
4. <i>Green Building</i> .....	14
5. <i>RETScreen Expert</i> .....	16
B. Penelitian Relevan .....	17
C. Kerangka Konseptual .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
A. Jenis Penelitian .....	23
B. Tempat dan Waktu Penelitian .....	24
C. Prosedur Penelitian .....	24
D. Variabel Penelitian .....	26
E. Spesifikasi Gedung .....	28
F. Efisiensi Energi gedung dengan analisis standar lima langkah <i>RETScreen Expert</i> .....	37

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	41
A. Data Luas bangunan .....	41
B. Pengukuran Pendingin Ruang (AC) .....	42
C. Pengukuran Pencahayaan Ruang.....	47
D. Pengukuran Daya Alat Elektronik Lainnya .....	47
E. Penghitungan Intensitas Konsumsi Energi pada Gedung .....	52
F. Hasil Simulasi Menggunakan RETScreen Expert .....	54
G. Hasil Komparasi Perhitungan Konsumsi Energi dengan Metode Manual dan RETScreen Expert.....	54
H. Rekomendasi Peluang Penghematan Energi .....	59
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	61
A. Kesimpulan.....	61
B. Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
<b>LAMPIRAN</b> .....	65

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Konsep keberlanjutan ( <i>Sustainable</i> ) .....	16
2. Diagram alir model perangkat lunak <i>RETScreen Expert</i> : analisis standar lima langkah .....	17
3. Diagram alir proses penelitian .....	24
4. Denah gedung Lab. Terpadu UNP lantai 1 .....	29
5. Denah gedung Lab. Terpadu UNP lantai 2 .....	30
6. Denah gedung Lab. Terpadu UNP lantai 3 .....	31
7. Denah gedung Lab. Terpadu UNP lantai 4 .....	32
8. Peta Lokasi Gedung Laboratorium Terpadu UNP menggunakan <i>RETScreen Expert</i> .....	33
9. Grafik curah hujan dan suhu udara tahunan pada area penelitian.....	35
10. Grafik radiasi matahari dan laju angin tahunan pada area penelitian .....	36
11. Grafik suhu pendinginan harian dan kelembaban relatif tahunan pada area penelitian .....	36
12. Lembar kerja fasilitas dan data terkait bangunan.....	38
13. Lembar Kerja Fasilitas, Estimasi penghematan energi yang diinginkan ..	38
14. Lembar Kerja Modul Energi .....	38
15. Lembar Kerja Analisis Biaya .....	39
16. Lembar Kerja Emisi gas Rumah kaca .....	39
17. Lembar Kerja Ringkasan Keuangan .....	40
18. Lembar Kerja Sensitivitas dan Analisis Risiko.....	40
19. Grafik Konsumsi Daya Listrik pada Gedung pada hari kerja dan hari sabtu .....	52
20. Peta Area Lokasi Penelitian .....	53
21. <i>Forecast-Electricity</i> .....	54
22. <i>Measurement and verification (Electricity Consumption -occupancy)</i> ....	55
23. <i>Regression (Electricity Consumption -occupancy)</i> .....	55
24. Distribusi penggunaan energi gedung .....	56
25. Konsumsi Energi dalam periode tahunan ( <i>annual period</i> ) .....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Kriteria IKE Bangunan Gedung Tidak Ber-AC Menurut Permen ESDM No.13 Tahun 2012.....	13
2. Kriteria IKE Bangunan Gedung Ber-AC Menurut Permen ESDM No.13 Tahun 2012 .....	13
3. Nilai EUI <i>Benchmark</i> untuk Berbagai Jenis Bangunan .....	14
4. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 1 .....	29
5. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 2 .....	30
6. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 3 .....	31
7. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 4 .....	32
8. Suhu udara rata-rata tiap bulan di wilayah Padang Utara .....	34
9. Luas Bangunan Gedung .....	41
10. Pengukuran suhu dan kebutuhan AC masing-masing ruangan .....	43
11. Konsumsi Energi pada Sistem Pendingin (AC) pada weekday .....	44
12. Konsumsi Energi pada Sistem Pendingin (AC) pada hari Sabtu .....	45
13. Hasil Pengukuran lux pada masing-masing ruangan .....	47
14. Konsumsi Energi pada Sistem Pencahayaan weekday .....	48
15. Konsumsi Energi pada Sistem Pencahayaan pada hari sabtu .....	48
16. Hasil Pengukuran Daya Listrik pada masing-masing komponen Elektronik .....	50
17. Konsumsi dan penghematan energi pada gedung dengan RETScreen Expert .....	54
18. <i>Energy Saving Details</i> .....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Upaya efisiensi energi sudah menjadi perhatian global dan menjadi topik utama dalam diskusi kebijakan energi nasional dan internasional (Eirauda et al., 2023). Hal ini disebabkan oleh peningkatan konsumsi energi sebesar 34% dalam 20 tahun ke depan, dengan persentase perkiraan peningkatan konsumsi energi rata-rata sebesar 1,5% per tahun (Huang et al., 2022). Kondisi ini menuntut adanya langkah-langkah strategis dalam upaya penghematan energi dan mengurangi dampak lingkungan dari konsumsi energi yang terus meningkat.

Peningkatan konsumsi energi juga berpotensi menyumbang lebih banyak gas emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan energi fosil. Sektor bangunan menyumbang sekitar 30% dari total konsumsi energi global, yang berkontribusi signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> (Alawneh et al., 2018). Tanpa intervensi yang tepat, emisi ini akan terus meningkat, menyebabkan dampak negatif terhadap perubahan iklim dan kesehatan lingkungan (Liu et al., 2024). Oleh karena itu, peningkatan efisiensi energi tidak hanya penting untuk mengurangi biaya operasional, tetapi juga untuk mencapai target pengurangan emisi yang telah disepakati dalam perjanjian internasional seperti Paris Agreement (Daoudi, 2024).

Penelitian terkait efisiensi energi yang dilakukan, menjadikan Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang sebagai objek penelitian. Penggunaan energi pada gedung ini termasuk besar, dengan biaya operasional yang tinggi. Karena belum adanya laporan audit energi tahunan serta penggunaan energi yang tidak terjadwal, kemungkinan besar terjadi pemborosan energi pada gedung. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian audit energi pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang untuk mengetahui efisiensi energi pada gedung, sehingga gedung dapat menjadi lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

Salah satu langkah penting dalam efisiensi energi adalah implementasi audit energi secara rutin di berbagai sektor. Audit energi adalah proses evaluasi menyeluruh yang bertujuan untuk mengidentifikasi peluang penghematan energi dan meningkatkan efisiensi operasional (Eiraudó et al., 2023).

Selain itu, peningkatan efisiensi energi di sektor bangunan dapat dicapai melalui berbagai pendekatan, termasuk penerapan teknologi hemat energi, desain bangunan yang ramah lingkungan, dan penggunaan system bangunan yang lebih efisien. Misalnya, sistem pencahayaan LED, sistem HVAC yang lebih efisien, dan penggunaan material insulasi yang baik dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan (Long et al., 2021). Teknologi seperti perangkat lunak terkait audit energi dapat membantu dalam melakukan audit energi dengan lebih efektif, menawarkan analisis

yang mendalam tentang konsumsi energi dan potensi penghematan yang lebih baik (Spudys et al., 2023).

Salah satu perangkat lunak yang menawarkan untuk melakukan efisiensi dan audit energi adalah *RETScreen Expert*. *RETScreen Expert* adalah program perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Natural Resource Canada* dan tersedia untuk penggunaan umum untuk analisis kelayakan proyek energi bersih, termasuk teknologi hemat energi dan sistem energi terbarukan, seperti energi angin, pembangkit listrik tenaga air kecil, fotovoltaik, pemanas biomassa, tenaga surya pemanas ruangan, pemanas air tenaga surya, pemanas tenaga surya pasif, pompa panas sumber tanah, dan proyek gabungan panas dan listrik. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh program Microsoft Excel (Owolabi et al., 2020).

Dengan demikian, audit energi yang dilakukan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada gedung, dan menjadikan Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang sebagai gedung yang ramah lingkungan (*green building*).

## B. Identifikasi Masalah

*Beberapa permasalahan dapat ditemukan berdasarkan uraian latar belakang masalah yang telah diberikan sebelumnya, yaitu :*

- 1. Penggunaan energi yang tidak terjadwal, sehingga memungkinkan adanya pemborosan energi yang terjadi.*
- 2. Biaya untuk konsumsi energi yang tinggi.*

3. *Belum ada upaya untuk melakukan audit atau optimasi energi pada Gedung Laboratorium Terpadu UNP.*
4. *AC yang terus hidup saat tidak adanya penghuni ruangan*
5. *Lampu yang terus hidup tanpa penjadwalan jam operasional.*
6. *Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait efisiensi penggunaan energi pada gedung yang diteliti.*

### **C. Batasan Masalah**

*Berdasarkan masalah yang telah diidentifikasi, terdapat beberapa masalah yang harus diteliti. Untuk itu penulis membatasi masalah yang akan diteliti dengan berfokus pada audit energi gedung dengan menggunakan metode perhitungan manual dan RETScreen Expert. Dengan objek penelitian pada gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang. Efisiensi energi pada gedung dapat diketahui dari nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yang didapatkan dari hasil pengukuran pada luas bangunan, pengukuran sistem pendingin, sistem pencahayaan ruangan dan penggunaan alat elektronik lainnya.*

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka rumusan masalah yang peneliti angkat adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan efisiensi energi gedung dengan menggunakan metode perhitungan manual dan RETScreen Expert?
2. Bagaimanakah perbandingan hasil perhitungan efisiensi energi gedung dengan metode perhitungan manual dan RETScreen Expert?

3. Apa yang menyebabkan perbedaan atau persamaan hasil perhitungan efisiensi energi dengan metode perhitungan manual dan RETScreen Expert?
4. Bagaimana nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada gedung dengan menggunakan kedua metode?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun yang ingin dicapai peneliti dalam penelitian yang dilakukan adalah:

1. Mengetahui perbedaan hasil audit energi menggunakan metode perhitungan manual dan RETScreen Expert
2. *Mengetahui upaya yang dapat dilakukan dalam mencapai efisiensi energi pada bangunan.*
3. *Menjadikan Gedung Laboratorium Terpadu UNP menjadi gedung yang hemat energi dan ramah lingkungan (green building).*

#### **F. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti, penelitian ini dapat menjawab tujuan penelitian mengenai audit energi pada gedung Laboratorium Terpadu UNP dan upaya penghematan yang dilakukan.
2. Sebagai referensi atau bahan pertimbangan untuk peneliti selanjutnya.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Konservasi Energi**

Kehidupan manusia saat ini tidak terlepas dari penggunaan energi. Seiring dengan pertumbuhan populasi, kebutuhan akan energi juga terus meningkat (Surahman et al., 2022) Di Indonesia, peningkatan konsumsi energi rata-rata per tahun diperkirakan sebesar 7%, sedangkan peningkatan pasokan energi primer diperkirakan hanya sebesar 2% per tahun (Muzayanah et al., 2022) Oleh karena itu, selain minyak bumi dan bahan bakar fosil lainnya, perlu dikembangkan sumber energi lain, seperti energi baru dan terbarukan (*Renewable Energy*). Selain itu, tindakan penting yang dapat dilakukan antara lain adalah kebiasaan konservasi energi sehubungan dengan inisiatif penghematan energi.

*Tujuan dari konservasi energi adalah menggunakan sumber daya energi secara efektif dan efisien tanpa mengorbankan kenyamanan pengguna atau persyaratan penggunaan (Kramer, 2007). Konservasi energi merupakan strategi penting untuk memecahkan permasalahan terkait energi, karena hasilnya dapat dirasakan langsung dalam waktu singkat.*

*Langkah pertama dalam menerapkan program konservasi energi adalah melakukan audit energi. Gambaran umum mengenai penggunaan, distribusi, biaya, dan konversi energi dapat diperoleh melalui audit energi. Tinjauan ini kemudian dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber*

*pemborosan energi dan mendapatkan tindakan perbaikan dan penghematan yang layak untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi.*

Dalam melakukan konservasi energi, ada tiga aspek penting yang perlu diperhatikan. Aspek pertama adalah pengamatan sumber energi. Penyediaan energi yang dimanfaatkan pada bangunan gedung, seperti energi listrik yang diperoleh dari PLN atau penggunaan genset, merupakan contoh dari sumber energi ini. Aspek kedua melibatkan konversi dan distribusi sumber energi, yang mencakup teknologi yang digunakan, seperti sistem pendingin udara, lampu, dan peralatan listrik, serta penggunaan sumber energi tersebut secara efisien dan optimal. Aspek ketiga adalah konsumsi energi, yang fokusnya adalah pada bagaimana konsumen berperilaku dan memanfaatkan sumber energi sesuai dengan kebutuhannya.

## **2. *Audit Energi***

Audit energi adalah proses sistematis untuk mengevaluasi, menganalisis, dan mengidentifikasi penggunaan energi suatu bangunan, atau sistem (Ma et al., 2024). Tujuan dari audit energi adalah untuk memahami bagaimana energi digunakan di suatu tempat dan mencari cara untuk mengoptimalkan penggunaan energi, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi biaya energi (Abdallah et al., 2021). Audit energi juga digunakan untuk menemukan kebocoran atau pemborosan energi di sebuah bangunan yang dapat dilakukan penanggulangan dengan langkah-langkah perbaikan atau dikenal sebagai *retrofitting*.

Proses audit energi melibatkan pengumpulan data terkait penggunaan energi, evaluasi sistem dan peralatan yang menggunakan energi, identifikasi potensi penghematan energi, dan penyusunan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi energi (Hsien et al, 2021). Audit energi dapat dilakukan pada berbagai tingkatan, termasuk pada skala industri, komersial, atau rumah tangga.

Mempelajari pola penggunaan energi dengan mengumpulkan informasi tentang variasi penggunaan energi, merupakan tujuan dari audit energi. Data fluktuasi penggunaan energi dapat diperoleh dengan menelusuri jumlah energi listrik yang digunakan dari waktu ke waktu, untuk membuat grafik yang menunjukkan periode penggunaan listrik puncak dan terendah perusahaan. Selain itu penggunaan listrik akan menghasilkan keseimbangan energi ( $\text{input} = \text{output}$ ). Keseimbangan ini akan menunjukkan berapa banyak energi yang digunakan dan mengidentifikasi pemborosan sistem.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) menyediakan panduan rinci dan metodologi untuk melakukan audit energi dalam publikasinya, seperti "*Procedures for Commercial Building Energy Audits*". Dalam buku panduan ASHRAE untuk audit energi, ada beberapa persamaan penting yang digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan penggunaan energi dalam bangunan (Thumann et al, 2020).

a. *Energy Use Intensity* (EUI)

EUI atau IKE digunakan untuk mengukur efisiensi penggunaan energi dalam suatu bangunan dan dihitung dengan rumus.

$$EUI = \frac{\text{Total Konsumsi Energi Tahunan Luas}}{\text{Luas Bangunan yang dikondisikan}} \dots (2.1)$$

- Total Konsumsi Energi Tahunan biasanya dalam kBtu atau MJ.
- Luas Bangunan dalam ft<sup>2</sup> atau m<sup>2</sup>.

b. Efisiensi Energi Sistem Pemanas (*Heating Efficiency*)

Efisiensi sistem pemanas (boiler, furnace, dll.) dihitung dengan rumus.

$$\eta = \frac{\text{Output Energi (kWh atau Btu)}}{\text{Input Energi (kWh atau Btu)}} \times 100\% \dots (2.2)$$

c. Efisiensi Energi Sistem Pendingin (*Cooling Efficiency*)

Untuk sistem pendingin (*chiller*, AC, dll.), efisiensi biasanya dinyatakan dalam EER (*Energy Efficiency Ratio*) atau COP (*Coefficient of Performance*).

$$EER = \frac{\text{Output Pendinginan (Btu/h)}}{\text{Input Energi (Watt)}} \dots (2.3)$$

$$COP = \frac{\text{Output Pendinginan (kW)}}{\text{Input Energi (kW)}} \dots (2.4)$$

*Kapasitas AC*

$$= \frac{\text{Luas Ruang} \times \text{Koefisien Ruang}}{\text{Kapasitas AC 1 PK}} \dots (2.5)$$

d. *Cooling Degree Days* (CDD) dan *Heating Degree Days* (HDD)

CDD dan HDD digunakan untuk mengukur kebutuhan energi untuk pendinginan dan pemanasan.

$$CDD = \sum_{i=l}^n (T_i - T_{base}) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$HDD = \sum_{i=l}^n (T_{base} - T_i) \dots\dots\dots (2.7)$$

$T_i$  adalah suhu rata-rata harian.

$T_{base}$  adalah suhu dasar, biasanya 65°F (18°C).

e. *Konsumsi Energi Peralatan (Equipment Energy Consumption)*

Konsumsi energi dari peralatan listrik dapat dihitung dengan.

$$E = P \times t \dots\dots\dots (2.8)$$

E = energi (kWh).

P = daya peralatan (kW).

t = waktu operasi (jam).

f. *Heat Loss and Heat Gain (Panas Hilang dan Diperoleh)*

*Heat loss* melalui dinding, jendela, dll., dapat dihitung dengan.

$$Q = U \times A \times \Delta T \dots\dots\dots (2.9)$$

Q = aliran panas (Btu atau kWh).

U = koefisien perpindahan panas (Btu/hr·ft<sup>2</sup>·°F atau W/m<sup>2</sup>·°C).

A = area (ft<sup>2</sup> atau m<sup>2</sup>).

$\Delta T$  = perbedaan suhu (°F atau °C).

g. *Penggunaan Pencahayaan (Lighting Usage)*

Efisiensi pencahayaan dapat dihitung dengan Lumen per Watt (lm/W) atau dengan menghitung total konsumsi energi.

$$E_{lighting} = P_{lighting} \times t_{usage} \dots\dots\dots (2.10)$$

$E_{lighting}$  adalah energi pencahayaan (kWh).

$P_{lighting}$  adalah daya pencahayaan (kW).

$t_{usage}$  adalah waktu penggunaan (jam).

#### h. *Return on Investment (ROI) and Payback Period*

Untuk menentukan keuntungan investasi pada efisiensi energi.

$$ROI = \frac{Penghematan\ Tahunan}{Investasi\ Awal} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Payback\ Period = \frac{Investasi\ Awal}{Penghematan\ Tahunan} \dots\dots\dots (2.12)$$

#### i. *Net Present Value (NPV)*

NPV untuk proyek efisiensi energi.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots (2.13)$$

$R_t$  adalah penghematan bersih pada tahun  $t$ .

$r$  adalah tingkat diskonto.

$t$  adalah tahun.

Dengan menggunakan persamaan-persamaan ini, auditor energi dapat melakukan analisis menyeluruh terhadap konsumsi energi, mengidentifikasi peluang untuk perbaikan efisiensi, dan memberikan

rekomendasi yang sesuai untuk mengurangi pemborosan energi serta mengoptimalkan performa energi bangunan.

### 3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) atau dikenal juga sebagai *Energy use Intensity* (EUI) adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan seberapa efisien energi digunakan dalam suatu proses, seperti bangunan, industri, dan sebagainya. IKE dihitung dengan membandingkan jumlah energi yang dikonsumsi oleh bangunan dalam satu periode tahunan atau bulanan dibagi dengan luas area yang dikondisikan pada. Semakin rendah nilai IKE, semakin efisien penggunaan energi tersebut.

IKE penting dalam upaya efisiensi energi karena memberikan gambaran tentang kinerja energi dan potensi penghematan energi. Misalnya, dengan mengetahui IKE, kita dapat mengidentifikasi area yang membutuhkan peningkatan efisiensi energi dan menerapkan langkah-langkah untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan output atau kualitas.

Secara umum, IKE dihitung dengan membagi total konsumsi energi oleh jumlah output yang dihasilkan. Rumus umumnya adalah:

$$\text{IKE} = \frac{\text{Total Konsumsi Energi (kWh Total)}}{\text{Luas Bangunan yang dikondisikan}}$$

Semakin rendah nilai IKE, semakin efisien suatu sistem atau proses dalam menggunakan energi untuk mencapai tujuannya. Penurunan IKE seringkali dianggap sebagai indikator peningkatan efisiensi energi. IKE dapat diterapkan dalam berbagai konteks, seperti industri, transportasi, atau bangunan. Organisasi dan pemerintah sering menggunakan metrik ini untuk mengevaluasi kinerja energi dan mengidentifikasi area-area di mana perbaikan efisiensi energi dapat dilakukan. Penerapan praktik efisiensi energi dapat membantu mengurangi dampak lingkungan, menghemat biaya operasional, dan meningkatkan keberlanjutan secara keseluruhan.

Tabel 1. Kriteria IKE Bangunan Gedung Tidak Ber-AC Menurut Permen ESDM No.13 Tahun 2012

<b>Kriteria</b>	<b>Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m<sup>2</sup>/bulan)</b>
<b>Sangat Efisien</b>	$IKE < 40,8$
<b>Efisien</b>	$40,8 \leq IKE < 67,2$
<b>Cukup Efisien</b>	$67,2 \leq IKE < 88,8$
<b>Boros</b>	$IKE \geq 88,8$

Tabel 2. Kriteria IKE Bangunan Gedung Ber-AC Menurut Permen ESDM No.13 Tahun 2012

<b>Kriteria</b>	<b>Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m<sup>2</sup>/bulan)</b>
<b>Sangat Efisien</b>	$IKE < 102$
<b>Efisien</b>	$102 \leq IKE < 168$
<b>Cukup Efisien</b>	$168 \leq IKE < 222$
<b>Boros</b>	$IKE \geq 222$

Beberapa negara atau daerah memiliki standar *Energy use Intensity* (EUI) yang ditetapkan untuk berbagai jenis bangunan. Misalnya, standar dari ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) untuk bangunan di Amerika Serikat.

Tabel 3. Nilai EUI *Benchmark* untuk Berbagai Jenis Bangunan

Jenis Bangunan	Nilai EUI/ IKE (kWh/m <sup>2</sup> /yr)
Perkantoran	44,32 – 263,15
Sekolah	44,32 – 174,51
Rumah Sakit	174,51 – 349,02
Ritel	44,32 – 218,83

#### 4. Green Building

Konsep “bangunan hijau” muncul sebagai respons terhadap dampak buruk terhadap pemborosan energi pada gedung dan juga emisi yang ditimbulkan. Sebagai strategi untuk menurunkan emisi karbon dan efek gas rumah kaca, penerapan konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*) menjadi yang terdepan untuk mengatasi masalah tersebut (Rakha Aushaf et al., 2022).

Menurut definisi “bangunan hijau”, merupakan bangunan yang ramah lingkungan, hemat sumber daya, produktif dan memenuhi standar kenyamanan. Istilah bangunan hijau (*green building*) merujuk pada teknik menciptakan struktur dan prosedur yang memperhatikan sumber daya dan lingkungan pada setiap tahap siklus hidup bangunan, mulai dari

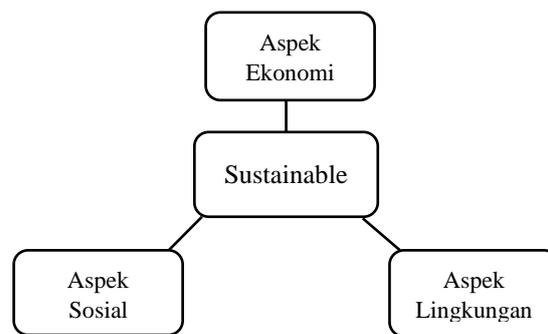
pemilihan lokasi hingga desain, konstruksi, dekonstruksi, dan rehabilitasi, yang menjadi pertimbangan dalam mendirikan sebuah bangunan (Alawneh et al., 2018).

Bangunan ramah lingkungan (*green building*) tersebut harus memenuhi kriteria kinerja yang ditentukan, sekaligus mencegah gangguan dan meningkatkan fungsi ekosistem lokal, regional, dan global selama dan setelah konstruksi serta masa pakai yang ditentukan, sesuai dengan *Standar American Society of Testing and Materials (ASTM) E2114-06a*. Hal ini menyimpulkan bahwa arsitektur hijau (*green building*) harus mampu memenuhi persyaratan konstruksi modern dalam hal kenyamanan dan ketahanan (Jaradat et al., 2023). Menciptakan hubungan yang lebih alami antara manusia dan lingkungan adalah salah satu tujuan utama program bangunan hijau (*green building*).

Dua permasalahan lingkungan utama yang sering dihadapi para konstruksi bangunan saat ini adalah bagaimana pengurangan emisi gas rumah kaca dan konservasi energi bangunan, kedua hal itu dapat diselesaikan dengan menggunakan solusi bangunan ramah lingkungan (*green building*). Penggunaan teknik konstruksi ramah lingkungan menghasilkan penghematan biaya yang signifikan jika dibandingkan dengan bangunan non-hijau (Shaikh et al., 2020).

Green building juga mengusung terkait dengan program keberlanjutan (*Sustainable*). Menurut beberapa interpretasi, keberlanjutan mengacu pada interaksi, kerjasama, dan integrasi tindakan

saat ini dengan pelestarian sumber daya alam untuk kebutuhan generasi mendatang. Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan (WCED) PBB pertama kali menyebutkan pencarian solusi berkelanjutan untuk mengurangi degradasi ekologi dan menghemat energi dalam (Berawi et al., 2019). Keberlanjutan dipandang dalam praktik konstruksi sebagai sarana bagi industri untuk melindungi lingkungan. Konsep keberlanjutan terus berubah, namun pada dasarnya didasarkan pada tiga pilar, aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial.



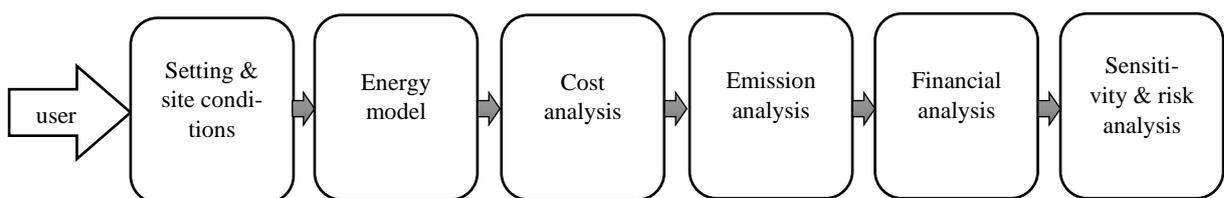
Gambar 1. Konsep Keberlanjutan (*Sustainable*) (Sumber:(Eirauda et al., 2023))

##### 5. *RETScreen Expert*

***RETScreen Expert*** adalah perangkat lunak analisis teknis yang dikembangkan oleh Pemerintah Kanada. Ini merupakan platform yang dirancang untuk membantu profesional di berbagai sektor, terutama dalam industri energi terbarukan dan efisiensi energi, dalam mengembangkan proyek-proyek yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. *RetScreen Expert* menyediakan berbagai

alat untuk menganalisis potensi proyek energi terbarukan, efisiensi energi, dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Ini dapat digunakan untuk melakukan analisis teknis, keuangan, dan lingkungan terhadap berbagai opsi proyek, membantu dalam pengambilan keputusan yang didasarkan pada data dan analisis yang kuat (Daoudi, 2024).

*RETScreen Expert* menyediakan berbagai modul analisis yang mencakup energi angin, energi matahari, biomassa, hidro, energi panas bumi, serta efisiensi energi untuk bangunan dan industry, seperti sistem HVAC, peningkatan isolasi bangunan, dan lainnya. Tujuan dari *RETScreen Expert* adalah untuk membantu pengguna dalam membuat keputusan yang lebih baik dalam pengembangan proyek-proyek yang berkelanjutan secara ekonomis dan lingkungan (Nur-E-Alam et al., 2024).



Gambar 2. Diagram alir model perangkat lunak *RETScreen Expert*: analisis standar lima langkah (Sumber: (Lee et al., 2012))

## B. Penelitian Relevan

Untuk mencegah manipulasi penelitian dan memastikan bahwa penelitian tersebut belum pernah dilakukan sebelumnya, maka perlu

dicantumkan penelitian yang relevan. Penelitian relevan diantaranya telah dilakukan oleh:

1. Kurniawan, et. al., (2021). Dengan judul penelitian “*The Optimization of Building Energy Consumption in Universitas Negeri Padang Using Building Energy Simulation Program.*” Hasil penelitian yang didapatkan yaitu, hasil simulasi dengan penambahan kontrol pencahayaan alami terlihat tidak hanya terjadi penurunan konsumsi energi pada pencahayaan namun juga pada pendinginan udara. Hal ini terjadi karena intensitas pencahayaan juga mempengaruhi peningkatan panas termal dalam ruangan (*internal gain*). Oleh karena itu, dapat direkomendasikan untuk menggunakan sistem pengkondisian udara yang paling efisien untuk gedung ini berupa sistem kesatuan atau jenis pengkondisian udara split yang umum digunakan dan dapat lebih dioptimalkan dengan menambahkan jenis pengatur pencahayaan siang hari tipe *Continuous Off* pada beberapa AC kamar.
2. Spudys, et. al., (2023). Conducting smart energy audits of buildings with the use of building information modelling. *Energy and Buildings*. Kajian ini membahas perlunya dan potensi perbaikan prosedur pelaksanaan audit energi pada bangunan gedung dengan penggunaan model informasi bangunan. Melalui analisis mutakhir, terungkap bahwa praktik audit energi saat ini tidak memanfaatkan pengetahuan yang diperoleh dalam digitalisasi penilaian lingkungan binaan. Terkait adaptasi dokumentasi BIM, penelitian ini memberikan analisis

komprehensif terhadap data bangunan dan hubungannya mengenai skema IFC yang dapat digunakan untuk penilaian selubung bangunan. Studi ini mengusulkan kerangka kerja baru berbasis BIM dan alat yang berfungsi sebagai titik awal untuk prosedur penilaian selubung bangunan dimasa depan dengan menerapkan praktik terbaik menggunakan dokumentasi BIM. Alur kerja yang diusulkan mendefinisikan prosedur ekstraksi data yang ditargetkan serta pemrosesannya tanpa mempengaruhi model BIM asli yang menghasilkan solusi berorientasi pengguna akhir yang mudah diterapkan dan dapat digunakan oleh penilai dan personel tanpa pengetahuan perangkat lunak pemodelan BIM yang spesifik.

3. Owolabi, et. al., (2020). Dengan judul penelitian "*Measurement and verification analysis on the energy performance of a retrofit residential building after energy efficiency measures using RETScreen Expert*". Studi ini menyajikan penggunaan data konsumsi gas selama 12 tahun untuk mengevaluasi kinerja energi bangunan tempat tinggal yang ada di Korea dengan melakukan analisis Pengukuran dan Verifikasi (M&V) menggunakan perangkat lunak *RETScreen Expert* setelah retrofit bangunan. Dari analisa tersebut, sebanyak 249 Giga Joule (GJ) *Liquefied Natural Gas (LNG)* dikonsumsi rata-rata sebesar 0,17 GJ/hari dari tahun 2011 hingga 2014 dengan konsumsi puncak pada tahun 2013 sebesar penghuninya sejumlah \$5.401. Selain itu, penghematan energi bersih mencapai 64GJ pada Juni 2019 setelah penerapan Tindakan

Konservasi Energi (ECM) dengan tingkat penghematan tertinggi antara tahun 2016 dan 2018. Perkiraan energi untuk tahun 2020 menunjukkan bahwa emisi GRK sebesar 2,71 (tCO<sub>2</sub>) akan berkurang akibat energi yang dihemat dari bahan bakar yang dikonsumsi sebesar 54 Giga Joule (GJ). Akhirnya, efisiensi energi tercapai dan hal ini mengurangi keraguan masyarakat terhadap manfaat tindakan efisiensi energi

4. Abdallah, et. al., (2021). Energy audit and evaluation of indoor environment condition inside Assiut International Airport terminal building, Egypt. Penelitian ini menyelidiki kondisi kenyamanan termal relatif terhadap total konsumsi energi di gedung terminal ATZ. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem HVAC mengonsumsi porsi terbesar (70%) dari keseluruhan kebutuhan listrik gedung, diikuti oleh sistem penerangan, yang menyumbang 20% dari keseluruhan konsumsi listrik gedung tahunan, diikuti oleh peralatan listrik dan sistem transportasi. Intensitas Penggunaan Energi (EUI) gedung terminal ATZ adalah 300 kWh/m<sup>2</sup> /tahun, dan konsumsi energi maksimum adalah 6.000.000 kWh pada tahun 2017. Selain itu, suhu dalam ruangan juga berada dalam kisaran kenyamanan yang dapat diterima dengan konsumsi energi yang tinggi. Pengurangan konsumsi energi bulanan yang signifikan dicapai berdasarkan peningkatan suhu HVAC yang disetel dari 25 C menjadi 27 C; setara dengan pengurangan 24,5% total konsumsi energi selama bulan-bulan panas. Disarankan untuk menggunakan kontrol sistem pencahayaan di dalam gedung terminal berdasarkan jadwal

penerbangan. Selain itu, direkomendasikan untuk menyediakan peralatan penstabil energi dan penggantian lampu light-emitting diode (LED) konvensional untuk meningkatkan pengurangan total konsumsi energi per tahun. Upaya lebih lanjut diperlukan untuk mencapai lebih banyak pengurangan energi untuk bandara dengan menggunakan strategi konservasi energi yang berbeda di dalam gedung terminal berdasarkan perangkat lunak simulasi energi yang berbeda.

### **C. Kerangka Konseptual**

Penelitian ini berfokus pada analisis perbandingan pengukuran efisiensi energi gedung dengan metode perhitungan manual dan *RETScreen Expert*. Yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah gedung Laboratorium Terpadu Universita Negeri Padang. *Efisiensi energi pada gedung dapat diketahui dari nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yang didapatkan dari hasil pengukuran pada luas bangunan, pengukuran sistem pendingin, sistem pencahayaan ruangan dan penggunaan alat elektronik lainnya.*

Langkah pertama yang dilakukan dalam audit energi gedung adalah dengan audit awal (*Preliminary Audit*). Audit awal sistem pendingin dan tata udara dilakukan untuk mengetahui peluang penghematan energi pada sistem tata udara, tanpa mengurangi kenyamanan penghuni ruangan. Kenyamanan penghuni suatu ruangan sangat dipengaruhi oleh suhu dan tingkat kelembapannya.

Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Nomor 13 Tahun 2012 Tentang Penghematan Pemakaian Tenaga

Listrik, suhu ruangan yang sesuai dengan standar SNI 03-6390-2000 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Pada Bangunan Gedung, yaitu antara 22°C dan 27°C dan kelembaban udara antara 50% dan 70%. Menentukan suhu dan tingkat kelembapan ruangan serta efektivitas penggunaan peralatan pengkondisian udara merupakan tujuan dari audit sistem pengkondisian udara (Prihartono et al., 2016).

Audit energi pada sistem pencahayaan ruangan untuk mengetahui tingkat pencahayaan dalam suatu ruangan, kuat atau lemahnya tingkat pencahayaan suatu ruangan harus disesuaikan dengan jenis aktivitas didalam ruangan tersebut. Jika aktivitasnya membutuhkan ketelitian yang tinggi, maka tingkat pencahayaan yang dibutuhkan juga semakin besar.

Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk tingkat pencahayaan dalam suatu ruangan dapat bervariasi tergantung pada jenis ruangan dan fungsinya. Namun, biasanya ada pedoman umum yang digunakan sebagai panduan untuk tingkat pencahayaan dalam berbagai jenis ruangan. Untuk keperluan umum, misalnya, seperti kantor, ruang kelas, atau ruang pertemuan, biasanya standar pencahayaan minimal adalah sekitar 300 lux hingga 500 lux. Sedangkan untuk ruang yang memerlukan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi, seperti laboratorium atau area kerja yang memerlukan presisi visual yang tinggi, dapat membutuhkan pencahayaan hingga 750 lux hingga 1000 lux atau lebih.

Namun demikian, penting untuk diingat bahwa standar ini dapat berbeda-beda tergantung pada regulasi lokal atau peraturan gedung di

Indonesia, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan khusus dari masing-masing ruangan. Pada Sistem Pencahayaan dan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Nomor: 13 Tahun 2012 Tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik, dengan standar rata-rata 325,5 lux/m.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode manual dan *RETScreen Expert*. Perhitungan menggunakan metode manual dengan menghitung secara langsung jumlah konsumsi energi gedung dalam periode satu tahun, serta menghitung nilai IKE untuk menentukan sejauh mana efisiensi penggunaan energi pada gedung.

*RETScreen Expert* memberikan pengolahan data dengan analisis standar lima langkah, dimulai dengan penentuan lokasi gedung yang ingin diaudit. Model energi terkait dengan komponen yang ingin dilakukan penghematan, analisis biaya dari beban listrik yang digunakan gedung selama setahun pada sistem pendingin dan sistem pencahayaan ruangan. Analisis Risiko yang berkaitan dengan investasi jangka panjang (Finansial), dan analysis data energi secara keseluruhan mencakup rangkuman eksekutif yang disajikan oleh *software RETScreen Expret*.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### A. Jenis Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan menghitung total penggunaan energi pada gedung dalam periode satu tahun secara manual dan menggunakan perangkat lunak RETScreen Expert. Pengukuran dilakukan dengan memantau konsumsi energi listrik, pemanasan, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC), serta sistem pencahayaan.

Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi melalui analisis perbedaan hasil antara metode manual dan RETScreen Expert, serta memberikan rekomendasi untuk peningkatan efisiensi energi di gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang.

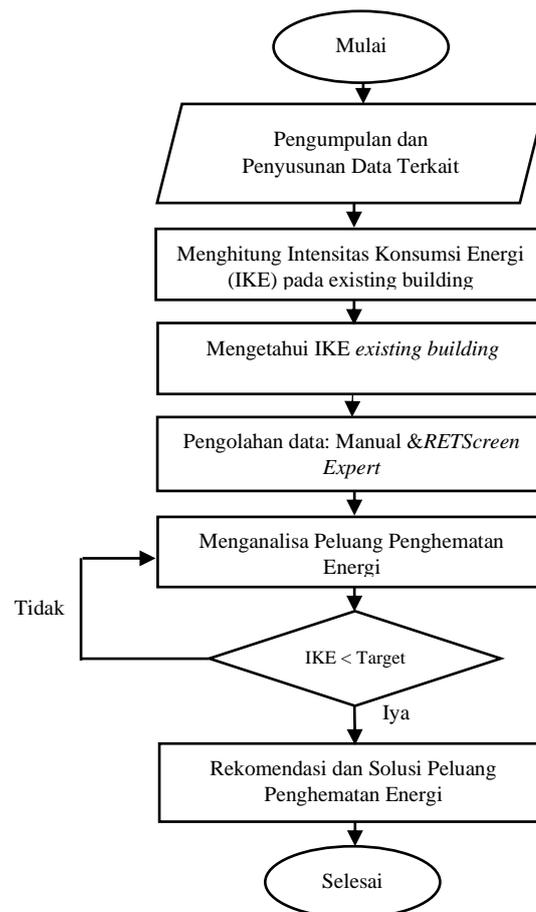
Data yang dikumpulkan secara berkala adalah apa yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini spesifikasi bangunan menjadi input variabel bebas dan daya listrik menjadi variabel output tak bebas. dan **yang menjadi variabel terikatnya adalah mencapai nilai IKE dibawah target, yang mana berfokus pada sistem pendingin ruangan, pencatatan jam operasional *Air Conditioning (chiller)* dan juga pencahayaan ruangan, pencatatan ukuran lux disetiap ruangan.**

## B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang, Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat. Waktu pelaksanaan penelitian selama satu bulan, selama bulan april 2024.

## C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dari study literatur, dilanjutkan dengan pengambilan data historis beban listrik, pengolahan data, analisis hasil, pembahasan, dan kesimpulan.



Gambar 3. Diagram Alir proses penelitian

Prosedur penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data bangunan yang ingin dilakukan efisiensi. Pengambilan data dalam penelitian ini memanfaatkan data historis penggunaan energi listrik pada gedung Laboratorium Terpadu UNP, data luas area bangunan, dokumentasi bangunan, pembayaran rekening listrik selama sebulan, jenis sistem pendingin yang digunakan setiap ruangan, dan jenis pencahayaan yang digunakan pada setiap ruangan di gedung Laboratorium Terpadu UNP.

Penghitungan besar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada gedung, untuk mengetahui sejauh mana efisiensi penggunaan energi listrik pada gedung. Ditahap ini dilakukan audit awal pada sistem pendingin ruangan dan sistem pencahayaan ruangan. Untuk mengetahui nilai IKE bisa didapatkan dari besarnya penggunaan energi listrik dalam satu bulan (kWh) dibagi dengan luas bangunan keseluruhan ( $m^2$ ).

Pengolahan data dilakukan dengan dua metode, pertama dengan metode perhitungan manual dan yang kedua dengan menggunakan *software RETScreen Expert*. *RETScreen Expert* memberikan analisis standar lima langkah, kita dapat mengetahui penghematan energi yang dilakukan, biaya terkait dengan penggunaan energi, pengurangan gas emisi, analisis risiko, serta data analisis energi gedung. *RETScreen Expert* mempermudah pengguna dalam menganalisis potensi proyek energi terbarukan, audit energi dan efisiensi energi.

Alisis peluang penghematan *energi pada gedung dipengaruhi oleh berbagai aspek, termasuk sistem pendingin ruangan, sistem*

*pencapaian, isolasi bangunan, dan penggunaan energi lainnya. Peluang penghematan energi pada penelitian ini berfokus pada sistem pendingin ruangan dan sistem pencahayaan ruangan. Setelah menyelesaikan audit energi, identifikasi area-area dimana penghematan energi dapat dicapai, identifikasi jenis AC yang digunakan pada setiap ruangan, pencatatan jam operasional AC, jenis pencahayaan yang digunakan, pencatatan waktu penggunaan lampu pada setiap ruangan.*

*Apabila nilai IKE setelah dilakukan audit energi masih di atas target atau belum mencapai optimasi energi yang diinginkan, maka diperlukan evaluasi kembali pada tahap analisis peluang penghematan energi. Tapi apabila nilai IKE berada dibawah target atau mencapai optimasi energi yang diinginkan, penelitian dilanjutkan dengan memberikan rekomendasi dan solusi peluang penghematan energi pada gedung.*

#### **D. Variabel Penelitian**

Variabel penelitian merujuk kepada faktor-faktor yang diamati, diukur, atau dimanipulasi dalam sebuah penelitian. **Dalam penelitian ilmiah, penting untuk secara jelas mengidentifikasi variabel penelitian agar analisis dan interpretasi data dapat dilakukan dengan tepat (Hromádka et al., 2023).**

Variabel penelitian dalam optimasi energi dapat meliputi berbagai aspek yang terkait dengan penggunaan, penghematan, dan

**efisiensi energi.** Dalam penelitian audit dan optimasi energi pada gedung laboratorium terpadu UNP terdapat beberapa variable yang dibahas, diantaranya, variabel tetap, variabel bebas dan variabel terikat, berikut adalah variabel-variabel penelitiannya:

1. Variabel Tetap

**Variabel tetap (variabel kontrol) adalah variabel yang diamati tetapi tidak dimanipulasi dalam suatu penelitian. Peran variabel kontrol adalah untuk memastikan bahwa perbedaan dalam variabel dependen dapat diatribusikan secara khusus kepada variabel independen yang dimanipulasi, dan bukan disebabkan oleh faktor lain yang tidak dipertimbangkan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah ukuran gedung yang diteliti.**

2. Variabel Bebas

**Variabel bebas, atau variabel independen adalah variabel yang diubah atau dimanipulasi dalam sebuah penelitian. Peneliti memiliki kontrol penuh atas variabel ini, yang berarti mereka dapat memanipulasinya untuk melihat dampaknya terhadap variabel dependen. Variabel bebas sering kali menjadi fokus utama dalam penelitian untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat atau untuk menentukan apakah terdapat perbedaan antara kelompok-kelompok tertentu. Variabel bebas pada penelitian ini adalah spesifikasi gedung**

3. Variabel Terikat

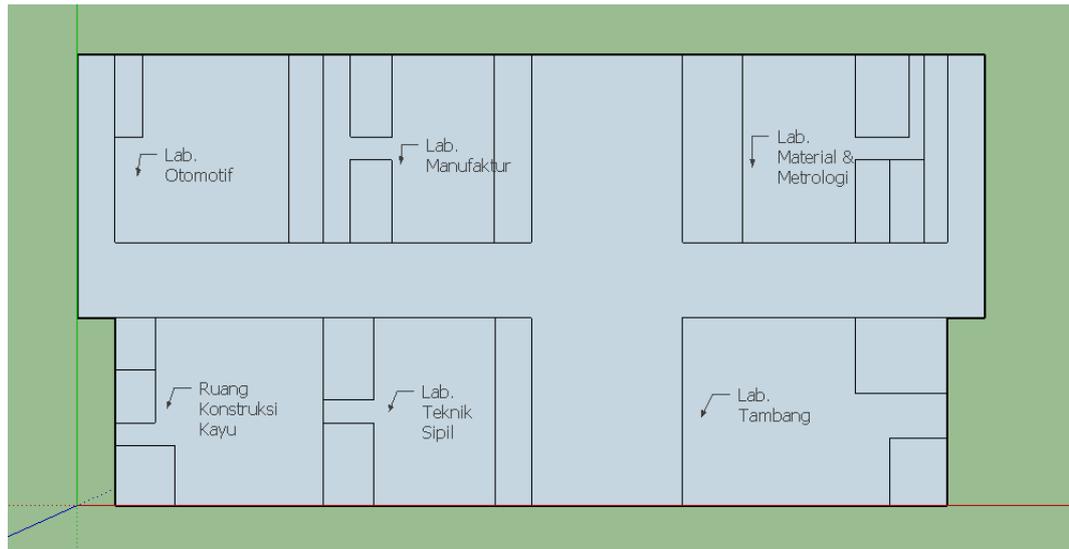
**Variabel terikat (variabel dependen) adalah variabel dalam sebuah penelitian yang nilainya dipengaruhi oleh variabel independen atau variabel yang dimanipulasi oleh peneliti. Variabel ini adalah variabel yang diukur, diamati, atau direkam untuk menilai dampak dari perubahan variabel independen. Dalam hubungan sebab-akibat, variabel terikat adalah "hasil" yang ingin dipahami bagaimana pengaruhnya oleh variabel independen. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah mencapai nilai IKE dibawah target, yang mana berfokus pada sistem pendingin ruangan, pencatatan jam operasional *Air Conditioning (chiller)* dan juga pencahayaan ruangan, pencatatan ukuran lux disetiap ruangan.**

#### **E. Spesifikasi Gedung**

Gedung laboratorium terpadu Universitas Negeri Padang merupakan laboratorium yang dirancang untuk memberikan dukungan kepada berbagai program studi yang membutuhkan fasilitas laboratorium yang lengkap dan terpadu. Fasilitas gedung ini dilengkapi dengan peralatan dan sarana yang memadai untuk berbagai kegiatan praktikum di berbagai bidang ilmu teknik, dan ilmu lainnya. Selain itu, gedung laboratorium terpadu juga dapat berperan sebagai pusat inovasi dan penelitian di mana berbagai proyek penelitian dan pengembangan dapat dilakukan.

Bangunan yang disimulasikan pada penelitian ini adalah bangunan yang sudah berdiri dan beroperasi (*eksisting building*). Gedung ini dibangun

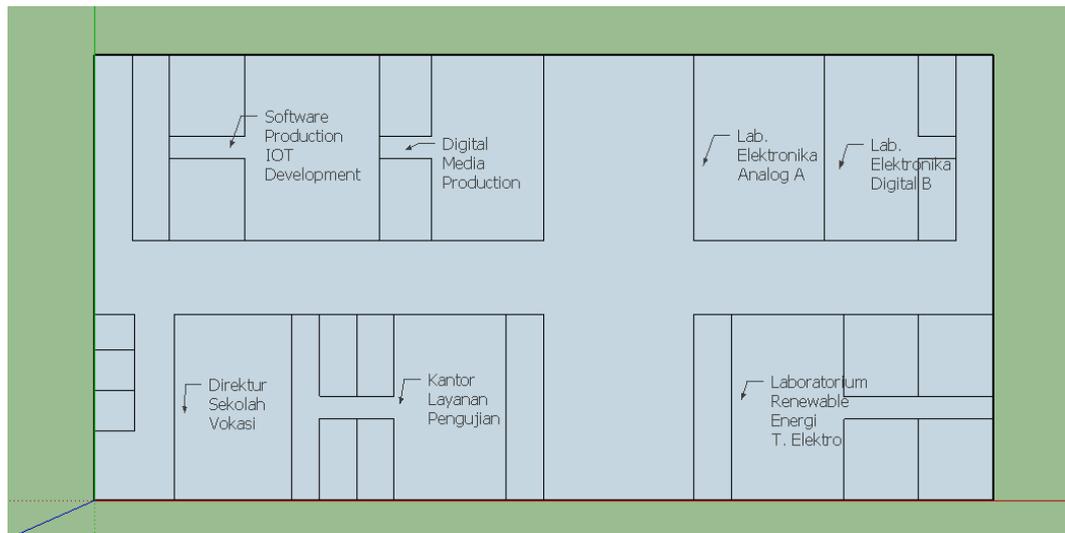
dengan tujuan sebagai ruang dosen, ruang staf dan laboratorium. Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang ini terdiri dari empat lantai, dengan luas bangunan keseluruhan adalah 9.173 m<sup>2</sup> (Kurniawan et al., 2021a).



Gambar 4. Denah gedung Lab. Terpadu UNP lantai 1

Tabel 4. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 1

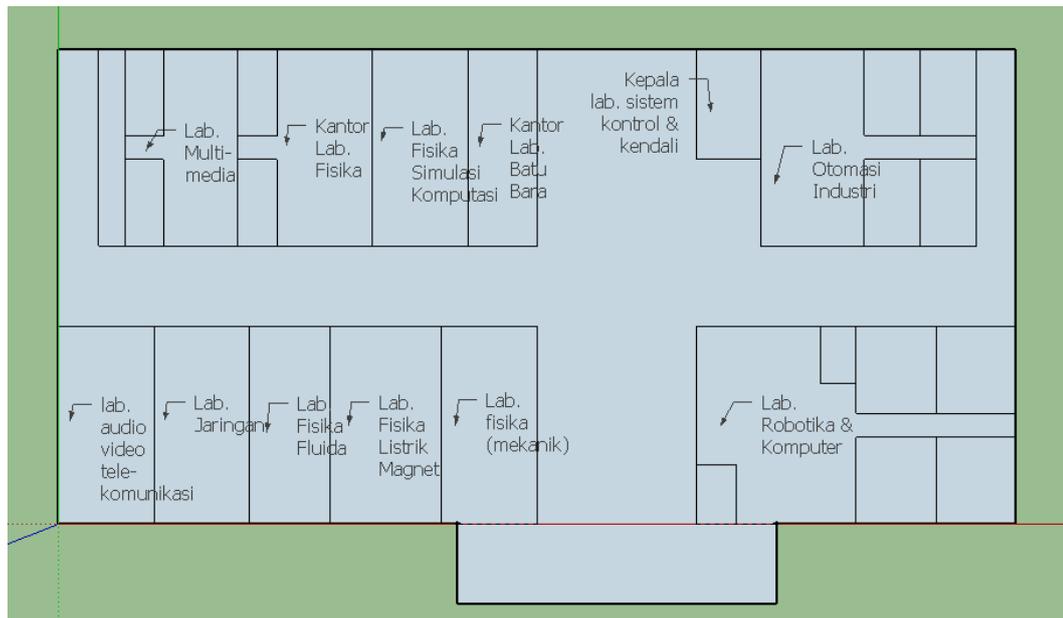
Nama Ruangan	Jumlah AC (unit)	Jumlah Lampu Panjang/Neon	Jumlah Lampu LED Biasa
Lab. Material & Metrologi	5	9	8
Lab. Manufaktur	3	9	5
Lab. Otomotif	2	12	2
Lab. Tambang	3	8	3
Lab. Teknik Sipil	4	9	2
Ruang Konstruksi Kayu	2	9	2
Lorong	-	-	12



Gambar 5. Denah gedung Lab.Terpadu UNP lantai 2

Tabel 5. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 2

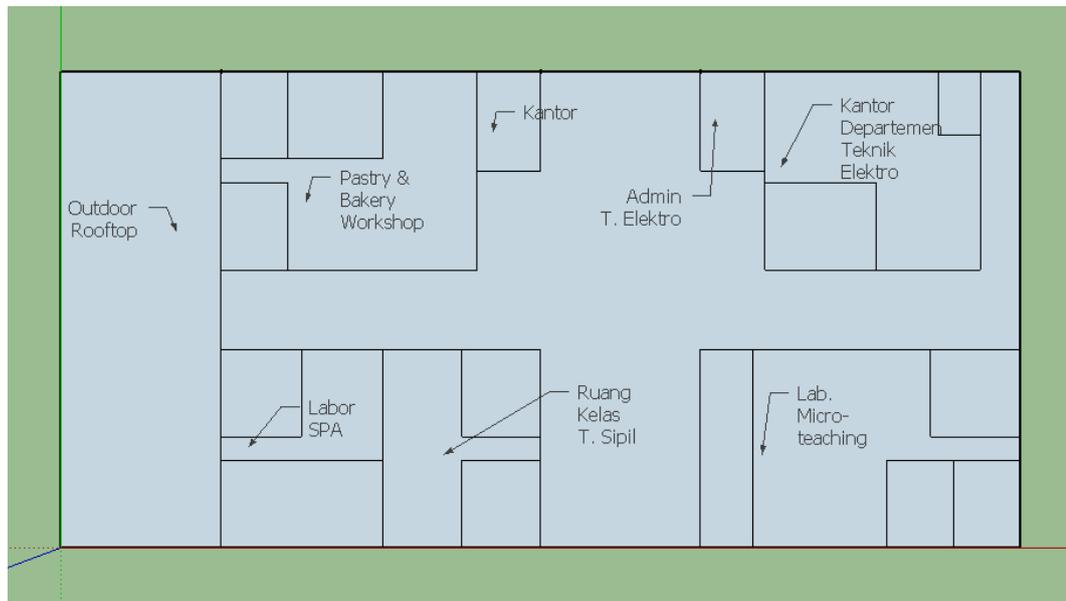
Nama Ruangan	Jumlah AC (unit)	Jumlah Lampu Panjang/Neon	Jumlah Lampu LED Biasa
Lab. Elektronika Digital B	4	9	4
Lab. Elektronika Analog A	4	6	4
Digital Media Production	6	9	2
Software production IOT Development	6	9	4
Lab. Renewable Energi Teknik Elektro	6	10	8
Kantor Layanan Pengujian	5	9	2
Direktur Sekolah Vokasi	3	6	4
Lorong	-	-	14



Gambar 6. Denah gedung Lab. Terpadu UNP lantai 3

Tabel 6. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 3

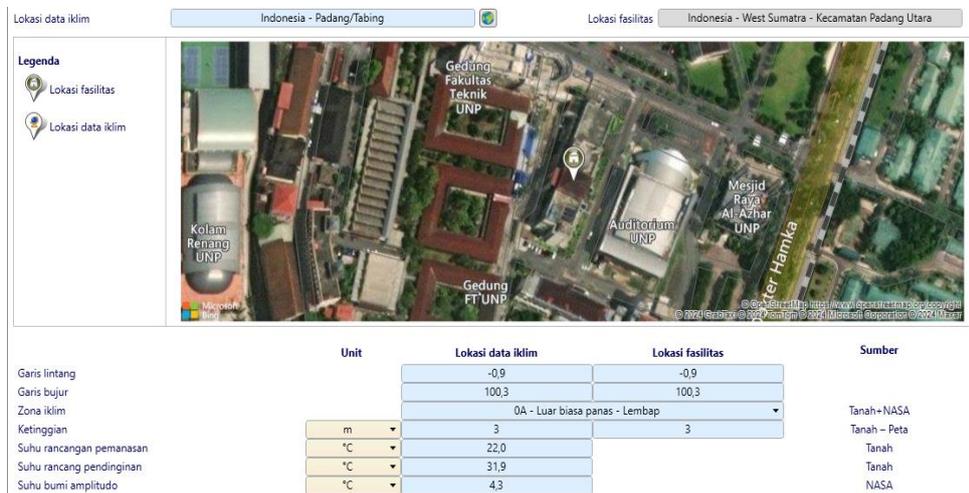
Nama Ruangan	Jumlah AC (unit)	Jumlah Lampu Panjang/Neon	Jumlah Lampu LED Biasa
Lab. Otomasi Industri	5	10	4
Kepala Lab. Sistem kontrol & kendali	1	2	1
Kantor Lab. Batu Bara	2	4	2
Lab. Fisika Simulasi Komputasi	2	6	2
Kantor Lab. Fisika	3	8	4
Lab. Multi Media	6	8	4
Lab. Robotika & Komputer	6	10	6
Lab. Fisika (Mekanik)	2	6	2
Lab. Fisika Listrik Magnet	2	6	2
Lab. Fisika Fluida	2	6	2
PLab. Jaringan	2	8	2
Lab. Audio Video Telekomunikasi	3	8	2
Lorong	-	-	14



Gambar 7. Denah gedung Lab.Terpadu UNP lantai 4

Tabel 7. Jumlah AC dan lampu masing-masing ruangan pada lantai 4

Nama Ruangan	Jumlah AC (unit)	Jumlah Lampu Panjang/Neon	Jumlah Lampu LED Biasa
Kantor Departemen Teknik Elektro	6	10	8
Admin T. Elektro	1	2	1
Kantor FPP	1	2	1
Pastry & Bakery Workshop	2	8	6
Lab. Micro Teaching	4	8	4
Ruang Kelas Teknik Sipil	2	8	4
Labor SPA	2	8	2
Lorong	-	-	12



Gambar 8. Peta Lokasi Gedung Laboratorium Terpadu UNP menggunakan

### *RETScreen Expert*

Data lokasi pada Gambar 3.6 menunjukkan gedung laboratorium terpadu UNP terletak pada 0,90 garis lintang dan 100,3 garis bujur. Berada pada ketinggian 3 meter di atas permukaan laut, dengan zona iklim yang luar biasa panas dan juga lembab. Suhu terendah berada pada 22°C dan suhu tertinggi mencapai 31,9°C.

Data iklim Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang juga termuat dalam software RETScreen Expert. Data iklim ini bertujuan untuk mengetahui kondisi iklim tiap bulan di wilayah tersebut. Berikut adalah data iklim tiap bulan di wilayah area penelitian.

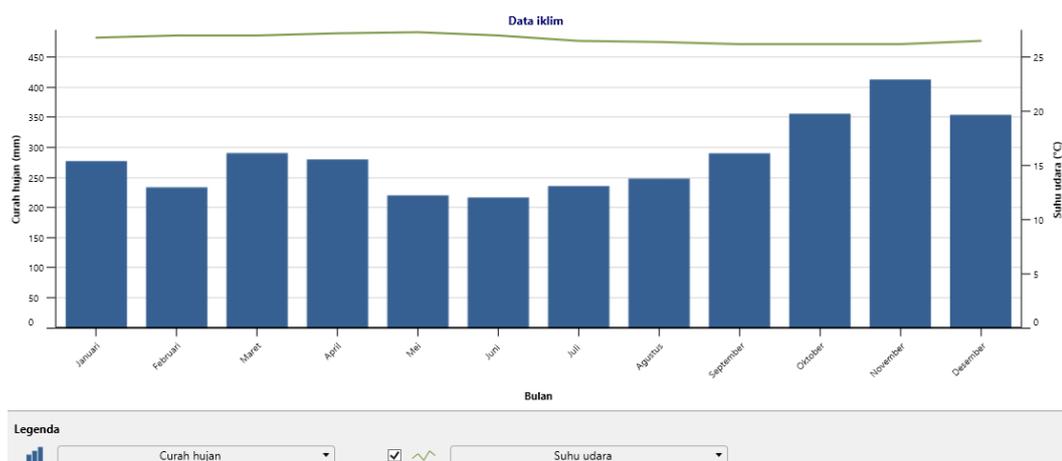
**Tabel 8. Data Iklim Area penelitian dengan RETScreen Expert tahun 2023**

<b>Bulan</b>	<b>Temperatur Udara (°C)</b>	<b>Kelembaban Udara (%)</b>	<b>Curah Hujan (mm)</b>	<b>Radiasi matahari harian (kWh/m<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Laju Angin (Km/h)</b>	<b>Derajat pendingin harian (°C-d)</b>
<b>Januari</b>	26,8	80,9	277,14	4,85	3,6	521
<b>Februari</b>	27,0	79,6	233,52	5,23	3,6	476
<b>Maret</b>	27,0	81,7	290,47	5,15	3,6	527
<b>April</b>	27,2	82,9	279,90	5,13	3,2	516
<b>Mei</b>	27,3	81,7	220,10	5,03	3,2	536
<b>Juni</b>	27,0	80,4	216,60	4,97	3,2	510
<b>Juli</b>	26,5	81,5	235,60	4,87	3,2	512
<b>Agustus</b>	26,4	80,9	248,00	4,85	3,6	508
<b>September</b>	26,2	83,7	290,10	4,87	3,2	486
<b>Oktober</b>	26,2	84,1	355,88	4,88	3,2	502
<b>November</b>	26,2	85,2	412,80	4,53	3,2	486
<b>Desember</b>	26,5	83,4	354,02	4,58	3,2	512

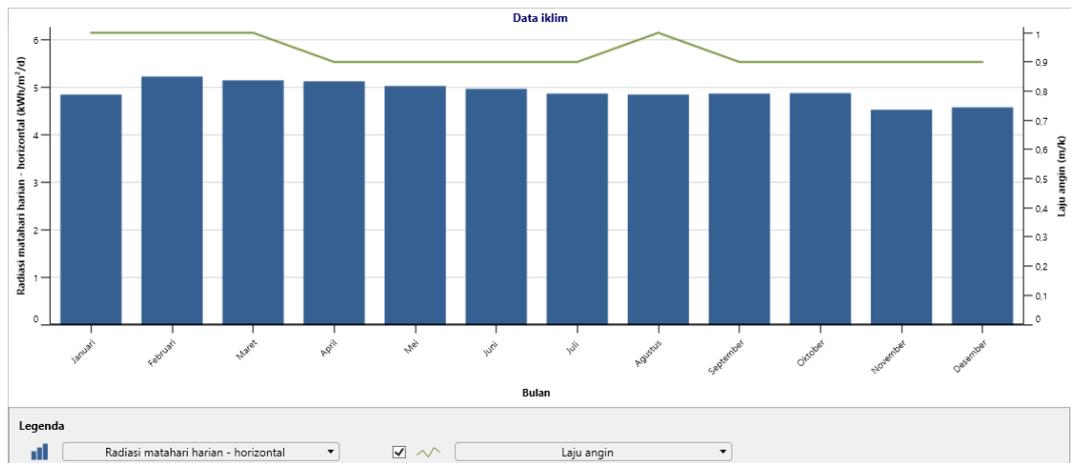
Data iklim yang diolah melalui software juga mempengaruhi penggunaan energi pada gedung. Software RETScreen Expert memanfaatkan data iklim untuk memberikan analisis yang lebih akurat mengenai konsumsi energi. Data iklim ini mencakup suhu udara, curah hujan, radiasi sinar matahari, laju angin, suhu pendinginan harian (*cooling degree days*), dan tekanan atmosfer.

Faktor-faktor ini sangat penting dalam menentukan kebutuhan energi untuk pemanasan, ventilasi, dan pendinginan udara (HVAC) dalam gedung. Misalnya, suhu udara yang lebih tinggi di wilayah penelitian akan meningkatkan penggunaan energi untuk sistem pendingin ruangan, karena AC harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan suhu yang nyaman. Sebaliknya, suhu yang lebih rendah dapat mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan namun mungkin meningkatkan kebutuhan energi untuk pemanasan.

Selain itu, radiasi sinar matahari yang tinggi dapat mengurangi kebutuhan pencahayaan buatan pada siang hari, sementara laju angin dapat mempengaruhi efisiensi sistem ventilasi. Dengan mempertimbangkan semua variabel ini, software seperti RETScreen Expert dapat membantu dalam merencanakan dan mengelola penggunaan energi secara lebih efisien, serta mengidentifikasi peluang penghematan energi yang signifikan.



Gambar 9. Grafik curah hujan dan suhu udara tahunan pada area penelitian



Gambar 10. Grafik radiasi matahari dan laju angin tahunan pada area penelitian



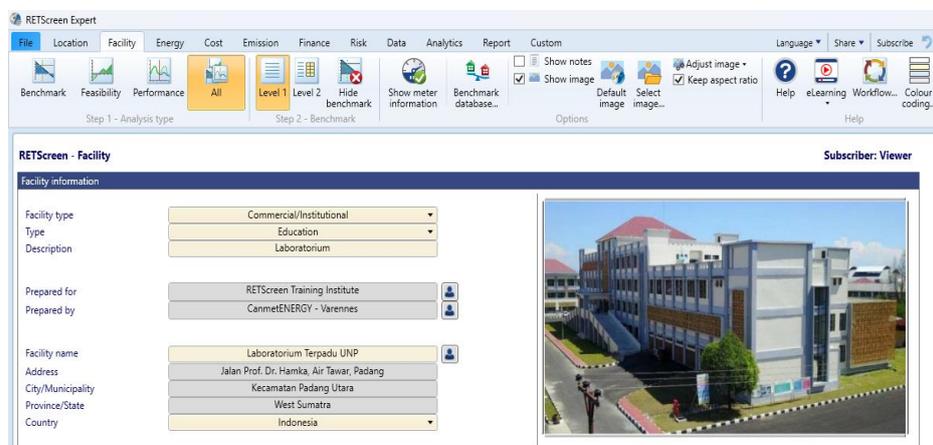
Gambar 11. Grafik suhu pendinginan harian dan kelembaban relatif tahunan pada area penelitian

## F. Efisiensi Energi gedung dengan analisis standar lima langkah *RETScreen Expert*

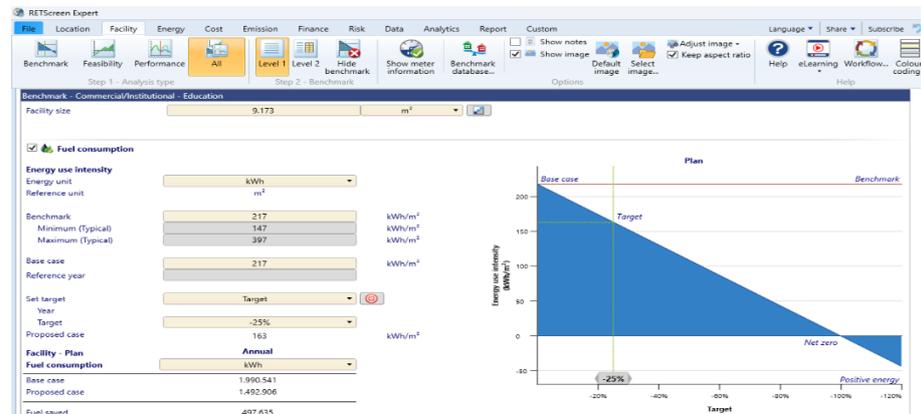
RETScreen Expert memberikan solusi penghematan energi dengan prosedur analisis standar lima langkah. Masing-masing dari prosedur lima langkah ini saling terkait satu sama lain dalam lembar kerja Excel. Proseur lima langkah ini memudahkan pengguna dalam menganalisis penggunaan energi bangunan, dimuali dengan lembar kerja Model Energi, analisi biaya, emisi gas rumah kaca, analisis sesitivitas dan risiko, finansial serta ringkasan eksekutif penghematan energi tahunan.

### a. Model Energi

Dalam lembar kerja Model Energi, pengguna memilih titik lokasi bangunan yang ingin di lakukan penelitian untuk menggambarkan lokasi proyek, pada modul energi juga memeberikan jenis kasus dasar dan kasus usulan, beban seperti beban pemanas, pendingin, dan listrik, serta sumber daya energi terbarukan. Produksi energi tahunan atau penghematan dihitung dalam lembar kerja yang sama.



Gambar 12. Lembar kerja fasilitas dan data terkait bangunan



Gambar 13. Lembar Kerja Fasilitas, Estimasi penghematan energi yang diinginkan

RETScreen - Energy Model

Component	Heating (kWh)	Cooling (kWh)	Electricity (kWh)	Incremental initial costs (\$)	Fuel cost savings (\$)	Incremental O&M savings (\$)	Simple payback (yr)	Include measure? (Y/N)
<b>Fuels &amp; schedules</b>								
Electricity and fuels								
Schedules								
<b>Equipment</b>								
Heating								
Space heating	0			0	0	0		Y
Domestic hot water	0			0	0	0		Y
Kitchen - Equipment	0			0	0	0		Y
Cooling								
Cooler - Walk-in		2,719		2,000	272	0	7.4	Y
Freezer - Walk-in		8,607		2,000	861	0	2.3	Y
<b>Building envelope</b>								
Classroom	0			100	0	0	None	Y
Gymnasium	0			100	0	0	None	Y
<b>Ventilation</b>								
Office	0			300	0	0	None	Y
Cafeteria	0			600	0	0	None	Y
Classroom	0			2,400	0	0	None	Y
Gymnasium	0			900	0	0	None	Y
Library	0			300	0	0	None	Y
Lobby	0			300	0	0	None	Y
Office	0			300	0	0	None	Y
Cafeteria	0			300	0	0	None	Y
Corridor	0			300	0	0	None	Y
Storage	0			300	0	0	None	Y
<b>Lights</b>								
Heating	0			300	0	0	None	Y

Gambar 14. Lembar Kerja Modul Energi

b. Analisis Biaya

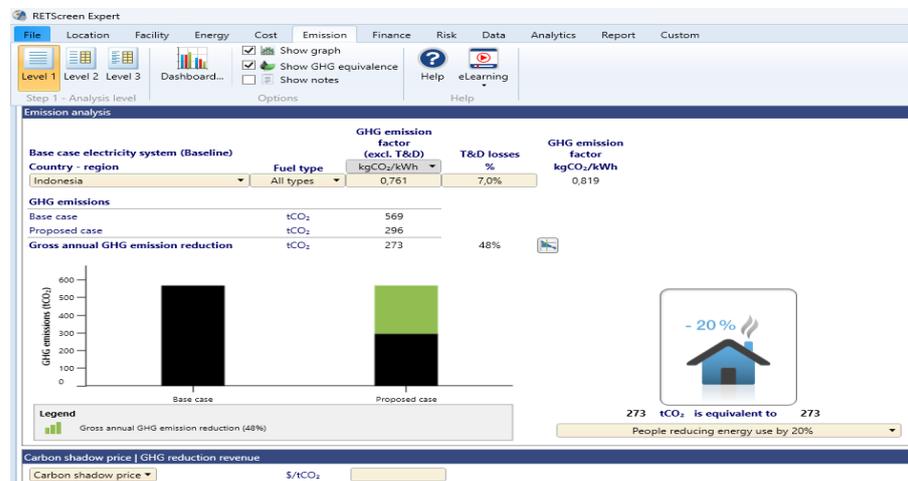
Dalam lembar kerja analisis biaya, pengguna memasukkan biaya awal, dan biaya pemeliharaan tahunan atau berkala untuk sistem kasus yang diusulkan.

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Incremental initial costs				\$ 199,277
Show data				
User-defined	cost			\$ -
<b>Total initial costs</b>				<b>\$ 199,277</b>
Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M costs (savings)	project			\$ (1,559)
Show data				
Fuel cost - proposed case				\$ 36,463
User-defined	cost			\$ -
<b>Total annual costs</b>				<b>\$ 34,903</b>
Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				\$ 69,853
User-defined	cost			\$ -
<b>Total annual savings</b>				<b>\$ 69,853</b>

Gambar 15. Lembar Kerja Analisis Biaya

c. Emisi Gas Rumah kaca

Pengurangan emisi gas rumah kaca tahunan dihitung dalam lembar kerja analisis GHG (*greenhouse gas emissions*) atau gas rumah kaca, bertujuan untuk menganalisis pengurangan emisi karbon (CO<sub>2</sub>)



Gambar 16. Lembar Kerja Emisi gas Rumah kaca

d. Ringkasan Keuangan (Finansial)

Dalam lembar kerja ringkasan keuangan, pengguna dapat menentukan parameter keuangan seperti tingkat inflasi, tingkat diskonto, insentif, dan sebagainya untuk menghitung berbagai indikator keuangan.

RETScreen Expert

File Location Facility Energy Cost Emission Finance Risk Data Analytics Report Custom

Level 1 Level 2 Dashboard... Show graph Show notes Export to file - Help eLearning

Step 1 - Analysis level Options

RETScreen - Financial Analysis Subscriber: Viewer

Financial parameters			Costs   Savings   Revenue		Yearly cash flows		
General			Initial costs	100%	\$	199,277	
Fuel cost escalation rate	%	2%	Incremental initial costs	100%	\$	199,277	0
Inflation rate	%	2%	<b>Total initial costs</b>	<b>100%</b>	<b>\$</b>	<b>199,277</b>	1
Discount rate	%	9%	<b>Yearly cash flows - Year 1</b>				2
Reinvestment rate	%	9%	<b>Annual costs and debt payments</b>				3
Project life	yr	20	O&M costs (savings)	\$	-1,559		4
Finance			Fuel cost - proposed case	\$	36,463		5
Incentives and grants	\$		Debt payments - 15 yrs	\$	15,316		6
Debt ratio	%	70%	<b>Total annual costs</b>	<b>\$</b>	<b>50,219</b>		7
Debt	\$	139,494	<b>Annual savings and revenue</b>				8
Equity	\$	59,783	Fuel cost - base case	\$	69,853		9
Debt interest rate	%	7%	GHG reduction savings	\$	0		10
Debt term	yr	15	<b>Total annual savings and revenue</b>	<b>\$</b>	<b>69,853</b>		11
Debt payments	\$/yr	15,316	<b>Net yearly cash flow - Year 1</b>	<b>\$</b>	<b>19,634</b>		12
Income tax analysis			Financial viability				13
Annual savings and revenue			Pre-tax IRR - equity	%	37.4%		14
GHG reduction savings			Pre-tax MIRR - equity	%	17.1%		15
Gross GHG reduction	ICO <sub>2</sub> /yr	273	Pre-tax IRR - assets	%	11.9%		16
			Pre-tax MIRR - assets	%	10.3%		17
							18
							19
							20

Gambar 17. Lembar Kerja Ringkasan Keuangan

## e. Sensitivitas dan Analisis Risiko

Lembar kerja sensitivitas dan analisis risiko membantu pengguna untuk menentukan ketidakpastian estimasi berbagai parameter utama yang digunakan dalam proyek.

RETScreen Expert

File Location Facility Energy Cost Emission Finance Risk Data Analytics Report Custom

Sensitivity analysis Risk analysis Dashboard... Show notes Help eLearning

Step 1 - Analysis type Options

RETScreen - Sensitivity & Risk Analysis Subscriber: Viewer

Sensitivity analysis

perform analysis on **Net Present Value (NPV)**

Sensitivity range **25%**

Threshold **0** \$

				Initial costs		
- Remove analysis						
Fuel cost - base case			149,458	174,367	199,277	224,187
\$			-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%
52,390	-25.0%		49,813	26,909	4,004	-18,901
61,121	-12.5%		143,311	120,406	97,502	74,597
69,853	0.0%		236,809	213,904	<b>190,999</b>	168,094
78,584	12.5%		330,306	307,402	284,497	261,592
87,316	25.0%		423,804	400,899	377,995	355,090
- Remove analysis						
Fuel cost - proposed case			149,458	174,367	199,277	224,187
\$			-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%
27,347	-25.0%		334,419	311,515	288,610	265,705
31,905	-12.5%		285,614	262,709	239,804	216,900
36,463	0.0%		236,809	213,904	<b>190,999</b>	168,094
41,021	12.5%		188,004	165,999	142,194	119,289
45,578	25.0%		139,198	116,293	93,389	70,484

Gambar 18. Lembar Kerja Sensitivitas dan Analisis Risiko

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Luas bangunan

Laporan ini menyajikan data penggunaan energi selama periode satu tahun (*annual period*) dan juga rincian data berdasarkan luas area total bangunan maupun luas area bangunan yang dikondisikan. Luas bangunan yang dikondisikan **merujuk pada total luas area atau ruang di dalam gedung yang secara aktif dikendalikan atau dikondisikan oleh sistem HVAC (Pemanas, Ventilasi, dan Pendingin). Ini mencakup ruang yang diberikan suhu, kelembapan, dan kualitas udara yang diatur sesuai dengan kebutuhan penghuninya.**

Tabel 9. Luas Bangunan Gedung (sumber data: (Kurniawan et al., 2021))

	Luas (m <sup>2</sup> )
Total Luas Bangunan	9.173
Luas Bangunan yang Dikondisikan	6.664
Luas Bangunan yang Tidak Dikondisikan	2.509

Penggunaan energi listrik pada Gedung didistribusiakan pada 3 jenis komponen, sistem pencahayaan, sitem pendingin ruangan, dan peralatan listrik lainnya.

## B. Pengukuran Pendingin Ruangan (AC)

Pengukuran efisiensi energi pada sistem pendingin ruangan (AC) merupakan salah satu faktor penting dalam audit energi gedung. Sistem AC seringkali menjadi penyumbang terbesar konsumsi energi pada bangunan, terutama di daerah beriklim tropis seperti Indonesia. Untuk itu, pengukuran yang akurat dan analisis yang mendalam diperlukan guna mengidentifikasi peluang penghematan energi.

Menghitung jumlah kebutuhan AC untuk menentukan kapasitas AC yang digunakan dengan menyesuaikan luas ruangan. Berikut merupakan perhitungan kapasitas AC pada ruangan:

$$\text{Data: Luas ruangan} = 141 \text{ m}^2$$

$$\text{Cooling coefficient} = 500 \text{ BTU/h}$$

$$\text{Kapasitas AC 1 PK} = 9000 \text{ BTU/h}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Pendingin} &= \frac{\text{Luas Ruangan} \times \text{Cooling coefficient}}{\text{Kapasitas AC 1 PK}} \\ &= \frac{141 \text{ m}^2 \times 500 \text{ BTU/h}}{9000 \text{ BTU/h}} \\ &= 7,8 \text{ PK} \end{aligned}$$

COP mengukur seberapa efektif sistem pemanas atau pendingin dalam mengubah energi input menjadi output panas atau dingin. Semakin tinggi nilai COP, semakin efisien sistem tersebut. COP dihitung sebagai rasio antara output energi (panas atau dingin yang dihasilkan) dan input energi (energi listrik atau bahan bakar yang digunakan).

Untuk mengetahui coefficient of performance pada gedung:

$$COP = \frac{Q_e}{W}$$

Keterangan: COP = *Coeffisien of Performance*

Q<sub>e</sub> = Kapasitas Pendingin (Kw)

W = Daya Input Kompresor

No	Panjang (m)	Lebar (m)	V angin (m/s)	Entalpi Supply (kj/kg)	Entalpi Ruangan (kj/kg)	Debit Supply (m <sup>3</sup> /s)	Kapasitas (kWh)	Daya Listrik (kWh)	COP
1	0,71	0,40	6,52	40,6	52,9	1,85	5,106	2,3	2,22
2	0,71	0,40	6,09	48,1	57,2	1,72	4,6304	2,3	2,01
3	0,71	0,40	5,82	44,7	55,4	1,58	4,032	2,3	1,75

Jika nilai COP > 4 maka efisiensi mesin pendingin dinyatakan sangat baik

Jika nilai COP antara 2-4 maka efisiensi mesin pendingin masih dikategorikan baik

Jika nilai COP kecil dari 2 maka efisiensi mesin pendingin dinyatakan tidak baik dan harus dilakukan perawatan.

Tabel.10. Pengukuran suhu dan kebutuhan AC masing-masing ruangan

Nama Ruangan	Luas Ruangan (m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Kelembaban Ruangan (%)	AC Terpasang (PK)	Kebutuhan AC (PK)	COP
<b>Lantai 1</b>						
Lab. Material & Metrologi	141	24,2	51	10	7,8	2,22
Lab. Manufaktur	141	26	45	6	7,8	2,57
Lab. Otomotif	129	28,5	38	4	7,1	1,75
Lab. Tambang	141	26,7	42	6	7,8	2,11
Lab. Teknik Sipil	141	26	50	8	7,8	2,32
Ruang Konstruksi Kayu	129	28	38	4	7,1	1,98
<b>Lantai 2</b>						
Lab. Elektronika Digital B	98	22,5	50	8	5,4	2,98
Lab. Elektronika Analog A	48	23,2	48	8	2,6	3,48
Digital Media Production	150	26	42	12	8,3	2,05
Software production IOT Development	198	26	42	12	11	2,12
Lab. Renewable Energi Teknik Elektro	166	24,8	45	12	9,2	2,46
Kantor Layanan Pengujian	114	23,2	48	10	8	3,02
Direktur Sekolah Vokasi	54	23,2	48	6	3	3,47
<b>Lantai 3</b>						
Lab. Otomasi Industri	121	22,5	50	10	6,7	3,1
Kepala Lab. Sistem kontrol & kendali	16	21,7	53	2	0,8	3,06
Kantor Lab. Batu Bara	56	21,7	53	4	3,1	3,2
Lab. Fisika Simulasi Komputasi	56	24	48	4	3,1	2,04
Kantor Lab. Fisika	59	22,5	50	6	3,2	2,48
Lab. Multi Media	153	24	48	12	8,5	2,17
Lab. Robotika & Komputer	121	24,6	45	12	6,7	2,06
Lab. Fisika (Mekanik)	56	24	48	4	3,1	2,08
Lab. Fisika Listrik Magnet	56	24	48	4	3,1	2,16
Lab. Fisika Fluida	59	24	48	4	3,2	2,21
Lab. Jaringan	64	22,6	50	4	3,5	1,98
Lab. Audio Video Telekomunikasi	88	23	49	6	4,8	1,96
<b>Lantai 4</b>						
Kantor Departemen Teknik Elektro	132	22,5	50	12	7,3	2,61
Admin T. Elektro	16	21,4	54	2	0,8	2,34
Kantor FPP	16	21,6	54	2	0,8	2,12
Pastry & Bakery Workshop	80	26	42	4	4,4	1,82
Lab. Micro Teaching	112	24,7	45	8	6,2	2,56
Ruang Kelas Teknik Sipil	56	23,2	48	4	3,1	2,19
Labor SPA	40	21,5	54	4	2,2	2,28

Pencatatan jam operasional AC dilakukan untuk pemantauan konsumsi energi pada sistem pendingin, juga digunakan untuk menghitung konsumsi daya dari AC pada sebuah ruangan. **Untuk menghitung konsumsi daya (kWh) dari sebuah AC), perlu memperhatikan beberapa faktor, seperti daya AC, waktu penggunaan, dan harga listrik. Untuk AC jenis Panasonic CS-PN18SKP memiliki konsumsi daya listrik sebesar 1660 Watt, dan menggunakan refrigerant tipe R-32.**

$$\text{Konsumsi Energi AC} = \text{Daya AC} \times \text{Total jam operasional} \times \text{Banyak AC}$$

$$\text{Konsumsi Energi AC} = 1,66 \text{ Kw} \times 10 \times 19$$

$$= 315,4 \text{ kWh}$$

**Tabel11. Konsumsi Energi pada Sistem Pendingin (AC) pada weekday**

Lantai gedung	Jam Operasional	Total jam Operasional (Jam)	Jenis AC	Banyak AC Hidup	Total kWh
Lantai 1	07.00-17.00	10	Panasonic CS-PN18SKP	19	315,4
Lantai 2	07.00-20.00	13	Panasonic CS-PN18SKP	34	733,72
Lantai 3	07.00-20.00	13	Panasonic CS-PN18SKP	36	776,88
Lantai 4	07.00-18.00	12	Panasonic CS-PN18SKP	18	358,56
<b>Jumlah</b>				107	2.184,56

**Tabel 12. Konsumsi Energi pada Sistem Pendingin (AC) pada hari Sabtu**

Lantai gedung	Jam Operasional	Total jam Operasional (Jam)	Jenis AC	Banyak AC Hidup	Total kWh
Lantai 1	08.00-12.00	4	Panasonic CS-PN18SKP	4	26,56
Lantai 2	08.00-16.00	8	Panasonic CS-PN18SKP	12	159,36
Lantai 3	08.00-16.00	8	Panasonic CS-PN18SKP	10	132,8
Lantai 4	08.00-16.00	8	Panasonic CS-PN18SKP	4	53,12
<b>Jumlah</b>				29	371,84

Pada tabel. 11 dan 12 Menunjukkan konsumsi energi pada AC selama weekday dan hari sabtu dalam satu hari kerja, dari pengambilan data diperoleh sistem pendingin menggunakan energi sebesar 2.184,56 kWh per hari nya, sedangkan pada hari sabtu energi yang dikonsumsi oleh gedung pada sistem pendingin hanya sebesar 371,84 kWh. Adapun perhitungan konsumsi energi pada sistem pendingin dalam satu bulan sebagai berikut.

$$\text{Konsumsi Energi AC Satu Bulan} = A(x) + B(y)$$

Keterangan: A = Kosumsi Energi AC pada weekday

B = Kosumsi Energi AC pada hari sabtu

$x$  = hari kerja dalam satu bulan (weekday) = 22 hari

$y$  = hari sabtu dalam satu bulan = 4 hari

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi Energi AC Satu Bulan} &= 2.184,56 (22) + 371,84 (4) \\
 &= 48.060,32 + 1.487,36 \\
 &= 49.547,68 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

### C. Pengukuran Pencahayaan Ruangan

Ukuran lux setiap ruangan berbeda-beda sesuai dengan jenis ruangan dan aktivitas yang berlangsung di dalamnya, SNI (Standar Nasional Indonesia) juga mengatur terkait pencahayaan dalam ruangan. Pencahayaan dalam ruangan pada bangunan gedung diatur dalam SNI 03-6572-2001, "Tata cara perancangan pencahayaan alami dan buatan pada bangunan gedung". Namun, ukuran lux yang disarankan untuk pencahayaan bervariasi berdasarkan penggunaan ruangan.

Misalnya untuk ruang kerja atau ruang kelas, SNI 03-6572-2001 merekomendasikan tingkat pencahayaan ruangan sekitar 150-500 lux sebagai tingkat pencahayaan, sedangkan pada laboratorium tingkat pencahayaan ruangan sekitar 300-750 lux. Rata-rata ruangan pada Gedung menggunakan lampu TL LED T8 Ecofit 18w Philips dengan daya 18Watt dengan jumlah lampu yang berbeda-beda pada setiap ruangan, tergantung dari ukuran ruangan dan juga tingkat kefokusan suatu ruangan, seperti laboratorium membutuhkan lebih banyak pencahayaan karena tingkat kefokusan yang lebih tinggi.

Tabel 13. Hasil Pengukuran lux pada masing-masing ruangan

Nama Ruangan	Luas Ruangan	Hasil Ukur (Lux)	Standar SNI (Lux)	Jumlah Lampu	Total Daya (Watt)
<b>Lantai 1</b>					
Lab. Material & Metrologi	141	186	350	17	306
Lab. Manufaktur	141	129	350	14	252
Lab. Otomotif	129	105	250	14	252
Lab. Tambang	124	166	250	11	198
Lab. Teknik Sipil	129	147	250	11	198
Ruang Konstruksi Kayu	124	163	150	11	198
Lorong		55	50	12	216
<b>Lantai 2</b>					
Lab. Elektronika Digital B	98	158	200	13	234
Lab. Elektronika Analog A	48	210	200	10	180
Digital Media Production	150	116	250	11	198
Software production IOT Development	198	132	250	13	234
Lab. Renewable Energi Teknik Elektro	166	218	300	18	324
Kantor Layanan Pengujian	114	182	150	11	198
Direktur Sekolah Vokasi	54	189	150	10	180
Lorong		126	50	14	252
<b>Lantai 3</b>					
Lab. Otomasi Industri	121	194	250	14	252
Kepala Lab. Sistem kontrol &kendali	16	116	100	3	54
Kantor Lab. Batu Bara	56	131	100	6	108
Lab. Fisika Simulasi Komputasi	56	162	300	8	144
Kantor Lab. Fisika	59	102	100	12	216
Lab. Multi Media	153	128	250	12	216
Lab. Robotika & Komputer	121	172	300	16	288
Lab. Fisika (Mekanik)	56	188	300	8	144
Lab. Fisika Listrik Magnet	56	167	300	8	144
Lab. Fisika Fluida	59	165	300	8	144
Lab. Jaringan	64	142	250	10	180
Lab. Audio Video Telekomunikasi	88	139	200	10	180
Lorong		78	50	14	252
<b>Lantai 4</b>					
Kantor Departemen Teknik Elektro	132	229	200	18	324
Admin T. Elektro	16	156	100	3	54
Kantor FPP	16	143	100	3	54

Pastry & Bakery Workshop	80	129	200	14	252
Lab. Micro Teaching	112	188	300	12	216
Ruang Kelas Teknik Sipil	56	185	200	12	216
Labor SPA	40	89	150	10	180
lorong		62	50	12	216

Pencatatan jam operasional lampu dilakukan untuk pemantauan konsumsi energi pada sistem pencahayaan ruangan, juga digunakan untuk menghitung konsumsi daya dari lampu pada sebuah ruangan. **Untuk menghitung konsumsi daya (kWh) dari pencahayaan ruangan, perlu memperhatikan beberapa faktor, seperti daya lampu, waktu penggunaan, dan harga listrik. Untuk lam jenis TL LED T8 18w Philips memiliki konsumsi daya listrik sebesar 18Watt atau sama dengan 0,018 kW.**

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi Energi Lampu} &= \text{Total Daya Lampu} \times \text{Total jam operasional} \\
 &= 1.620 \times 11 \\
 &= 17,82 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Tabel 14. **Konsumsi Energi pada Sistem Pencahayaan weekday**

Lantai gedung	Jam Operasional	Total jam Operasional (Jam)	Daya Lampu (Watt)	Banyak Lampu Hidup	Total kWh
Lantai 1	07.00-18.00	11	18	90	17,82
Lantai 2	07.00-21.00	12	18	100	21,6
Lantai 3	07.00-20.00	13	18	129	30,18
Lantai 4	07.00-18.00	11	18	84	16,63
<b>Jumlah</b>				403	86,23

Tabel 15. **Konsumsi Energi pada Sistem Pencahayaan pada hari sabtu**

Lantai gedung	Jam Operasional	Total jam Operasional (Jam)	Daya Lampu (Watt)	Banyak Lampu Hidup	Total kWh
Lantai 1	08.00-12.00	4	18	20	1,44
Lantai 2	08.00-18.00	8	18	40	5,76
Lantai 3	08.00-18.00	8	18	28	4,03
Lantai 4	08.00-18.00	8	18	32	4,60
<b>Jumlah</b>				120	15,83

Pada tabel. 14 dan 15 Menunjukkan konsumsi energi pada lampu selama weekday dan hari sabtu pada gedung, dari pengambilan data diperoleh pada weekday lampu menggunakan energi sebesar 86,23 kWh per hari nya, sedangkan pada hari sabtu energi yang dikonsumsi lampu pada gedung hanya sebesar 15,83 kWh. Adapun perhitungan konsumsi energi pada lampu dalam satu bulan sebagai berikut.

$$\text{Konsumsi Energi lampu Satu Bulan} = A(x) + B(y)$$

Keterangan: A = Kosumsi Energi Lampu pada weekday

B = Kosumsi Energi Lampu pada hari sabtu

$x$  = hari kerja dalam satu bulan (weekday) = 22 hari

$y$  = hari sabtu dalam satu bulan = 4 hari

$$\text{Konsumsi Energi lampu Satu Bulan} = 86,23(22) + 15,83(4)$$

$$= 1.897,06 + 63,32$$

$$= 1.960,38 \text{ kWh}$$

#### D. Pengukuran Daya Alat Elektronik Lainnya

Selain pengukuran pada sistem pendingin dan pencahayaan ruangan, pengukuran pada alat elektronik lainnya seperti komputer, mesin printer, LCD Projector, TV serta mesin dan alat-alat lainnya juga dihitung berapa daya yang digunakan. Karena banyaknya alat-alat elektronik yang mengonsumsi energi listrik maka penggunaan energi listrik pada alat-alat elektronik juga harus diperhitungkan, pengukuran daya pada alat elektronik diuraikan sebagai berikut.

Tabel 16. Hasil Pengukuran Daya Listrik pada masing-masing komponen Elektronik

<b>Nama Alat/ Mesin</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Total jam Operasional</b>	<b>Daya (Watt)</b>	<b>Total Daya (kWh)</b>
Komputer	148	8	300	355,2
Printer	32	5	100	16
Proyektor	15	3	300	13,5
TV	10	6	250	15
Mesin Las	3	3	1200	10,8
Mesin 3D Printing	3	4	300	2,7
Mesin Uji Tarik	2	4	800	6,4
Mesin Uji Kekerasan	2	4	200	1,6
Mesin Uji Impact	2	4	500	4
Mesin Uji Tekan	3	4	800	8
Mesin Hidrolik pengangkat Mobil	4	2	1200	9,6
Mesin pemotong kayu	4	3	1500	18
Mesin PLC Simulation	12	5	800	48
<b>Modul input/output (I/O)</b>	12	5	15	0,9
<b>Perangkat Jaringan</b>	12	6	50	3,6
<b>Mesin Simulasi Komputasi</b>	14	4	1300	72,8

Alat-alat Praktikum	28	4	45	5,04
Mesin pembuat roti	2	4	1000	8
oven	4	4	1200	19,2
Lift	2	8	1000	16
<b>Total Daya</b>				634,34

Penggunaan energi pada komponen alat elektronik terbilang cukup besar. Dalam satu hari kerja, konsumsi energi pada komponen elektronik sebesar 634,34 kWh/hari. Dan dalam satu bulan, konsumsi energi pada komponen elektronik bisa mencapai 16.492,84 kWh/bulan.

#### E. Penghitungan Intensitas Konsumsi Energi pada Gedung

Nilai IKE didapatkan dari penghitungan beban total daya dari sistem pendingin ruangan dan sistem pencahayaan ruangan pada gedung. Penjumlahan beban kWh dari masing-masing ruangan, yang kemudian akan dibagi dengan total luas bangunan yang dikondisikan untuk mendapatkan nilai IKE gedung tersebut. Berikut adalah perhitungan nilai IKE pada gedung.

$$\begin{aligned}
 \text{Total Konsumsi Energi perbulan} &= \text{Total Energi AC} + \text{Total Energi Lampu} \\
 &\quad + \text{Total Energi Elektronik Lainnya} \\
 &= 49.547,68 + 1.960,38 + 16.492,84 \\
 &= 68.000,9 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Konsumsi Energi pertahun} &= 68.000,9 \text{ kWh} \times 12 \\
 &= 816.010,8
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas Bangunan yang dikondisikan} = 6.664 \text{ m}^2$$

$$\text{IKE Perbulan} = \frac{\text{TotalKonsumsiEnergi(kWhTotal)perbulan}}{\text{Luas Bangunan yang dikondisikan}}$$

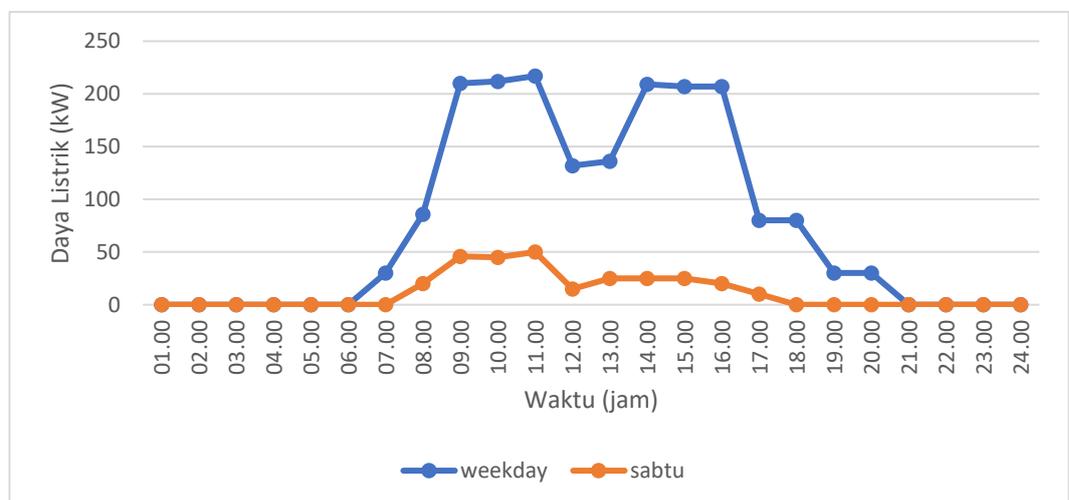
$$= \frac{68.000,9 \text{ kWh}}{6.664 \text{ m}^2}$$

$$= 10,2 \text{ kWh/m}^2/\text{bulan}$$

$$\text{IKE Pertahun} = 10,2 \text{ kWh/m}^2/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan}$$

$$= 122,4 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$$

Dari perhitungan IKE di atas didapatkan nilai IKE perbulan gedung sebesar 10,2 kWh/m<sup>2</sup>/bulan, dan nilai IKE dalam satu tahun sebesar 122,4 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, Menurut Permen ESDM No.13 Tahun 2012 tentang Kriteria IKE Bangunan Gedung Ber-AC, gedung tersebut tergolong gedung dengan penggunaan energi yang efisien dengan nilai IKE perbulan  $102 \leq \text{IKE} < 168$  kWh/m<sup>2</sup>/tahun.



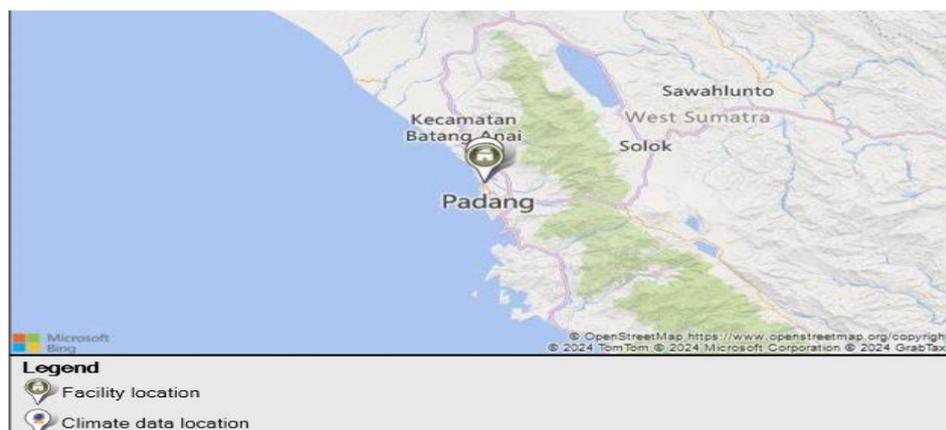
Gambar 19. Grafik Konsumsi Daya Listrik pada Gedung pada hari kerja dan hari sabtu

Pada grafik 1 dan 2 menunjukkan perbandingan konsumsi daya pada weekday (Senin-jum'at) dengan hari sabtu. Pengukuran konsumsi daya

dilakukan mulai dari pukul 07.00WIB hingga pukul 21.00WIB. Grafik konsumsi daya hari senin-jum'at (weekday) menunjukkan jam 10.00-11.00 adalah puncak penggunaan energi sebesar 217 kW, hal ini karena pada waktu ini merupakan waktu-waktu puncak melakukan aktivitas di gedung tersebut. Ketika jam istirahat terlihat jelas pada grafik terjadi penurunan pada pukul 12.00 dan mengalami kenaikan lagi setelah jam istirahat, mulai dari pukul 13.00 hingga pukul 16.00. Sedangkan pada hari sabtu tidak terlalu banyak menggunakan listrik, rata-rata penggunaan listrik hanya berkisar 28,1 kW pada hari sabtu.

#### F. Hasil Simulasi Menggunakan RETScreen Expert

Hasil simulasi menggunakan RETScreen Expert menampilkan ringkasan eksekutif, data lokasi dan cuaca, benchmark, energi yang dihemat, dan gas emisi rumah kaca.



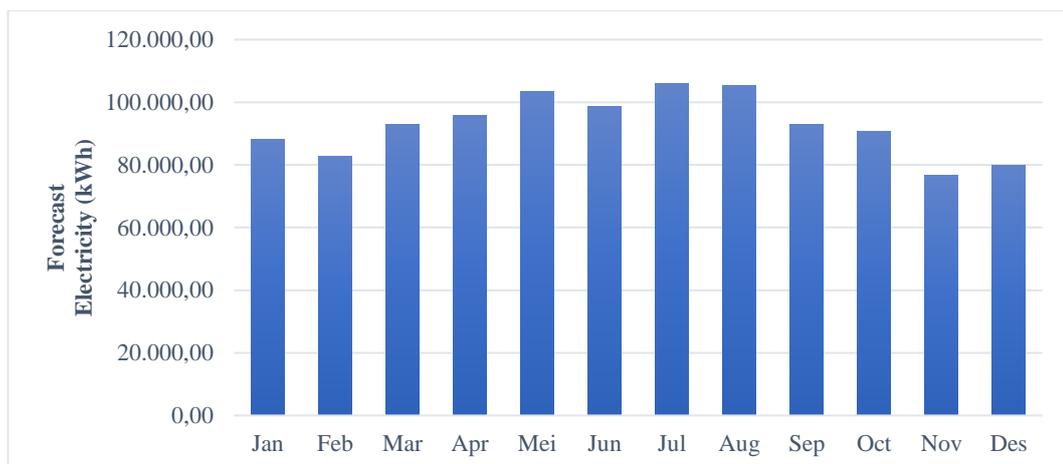
Gambar 20. Peta Area Lokasi Penelitian

Tabel 17. Konsumsi dan penghematan energi pada gedung dengan

*RETScreen Expert*

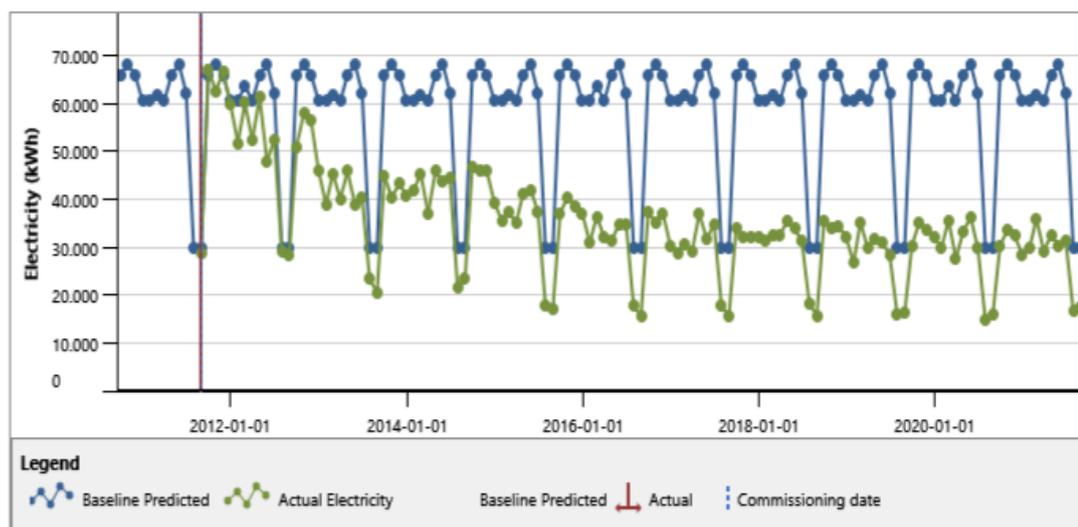
	<b>Fuel Consumption (kWh)</b>	<b>Fuel Cost (\$)</b>	<b>GHG Emissions (tCO<sub>2</sub>)</b>
<b>Base Case</b>	1.113.453	111.345	911
<b>Proposed Case</b>	933.894	93.389	764
<b>Saving</b>	179.559	17.956	147
<b>%</b>	16,1%	16,1%	16,1%

Hasil analisis menggunakan perangkat lunak RETScreen Expert menunjukkan bahwa konsumsi energi gedung dalam periode satu tahun sebesar 1.113.453 kWh/tahun. Selisih antara kasus acuan dan kasus yang diusulkan menunjukkan penghematan energi sebesar 179.559 kWh/tahun, dengan persentase penghematan sebesar 16,1% dari total energi. Emisi gas yang dihasilkan setelah dilakukan penghematan adalah sebesar 764 tCO<sub>2</sub>. Nilai IKE gedung menurut perangkat lunak RETScreen Expert adalah 167,08 kWh/m<sup>2</sup>/tahun.

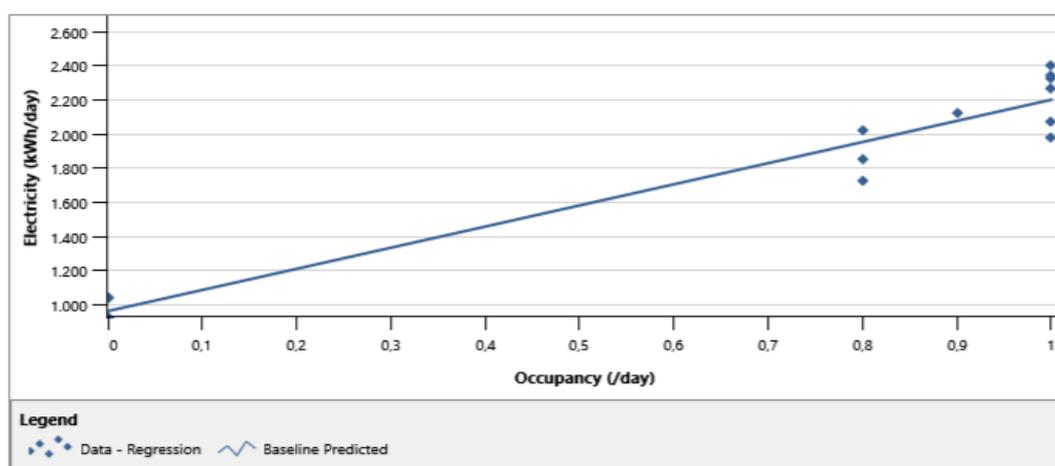


Gambar 21. Forecast-Electricity

Penggunaan energi gedung dalam periode tahunan dirincikan pada gambar 21. Konsumsi energi terbesar terjadi pada bulan Juli sebesar 108.463 kWh, dan konsumsi energi terendah terjadi pada bulan November sebesar 78.216 kWh. Hal ini terjadi karena software RETScreen Expert juga mempertimbangkan beberapa faktor seperti perubahan cuaca, efisiensi beban penuh, laju kebocoran energi dan faktor lainnya.

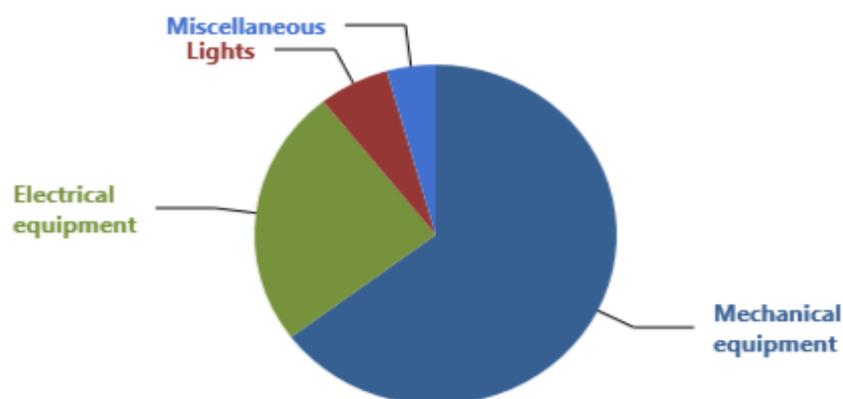


Gambar 22. *Measurement and verification (Electricity Consumption -occupancy)*



Gambar 23. *Regression (Electricity Consumption -occupancy)*

Tingkat hunian akan mempengaruhi penggunaan energi pada gedung. Semakin tinggi tingkat hunian pada gedung, maka energi yang digunakan juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh peningkatan penggunaan peralatan listrik, pencahayaan, serta sistem pendingin dan pemanas ruangan yang diperlukan untuk menjaga kenyamanan penghuni. Seperti yang terlihat pada Gambar 23, terdapat korelasi langsung antara tingkat hunian dan konsumsi energi. Pada saat gedung memiliki tingkat hunian penuh, konsumsi energi meningkat secara signifikan, sementara pada periode dengan tingkat hunian rendah, konsumsi energi cenderung menurun. Faktor-faktor ini perlu dipertimbangkan dalam analisis efisiensi energi untuk mendapatkan gambaran yang akurat mengenai konsumsi energi sebenarnya.



Gambar 24. Distribusi penggunaan energi gedung

Tabel 18. *Energy Savings Details*

Section	Energy Saved
---------	--------------

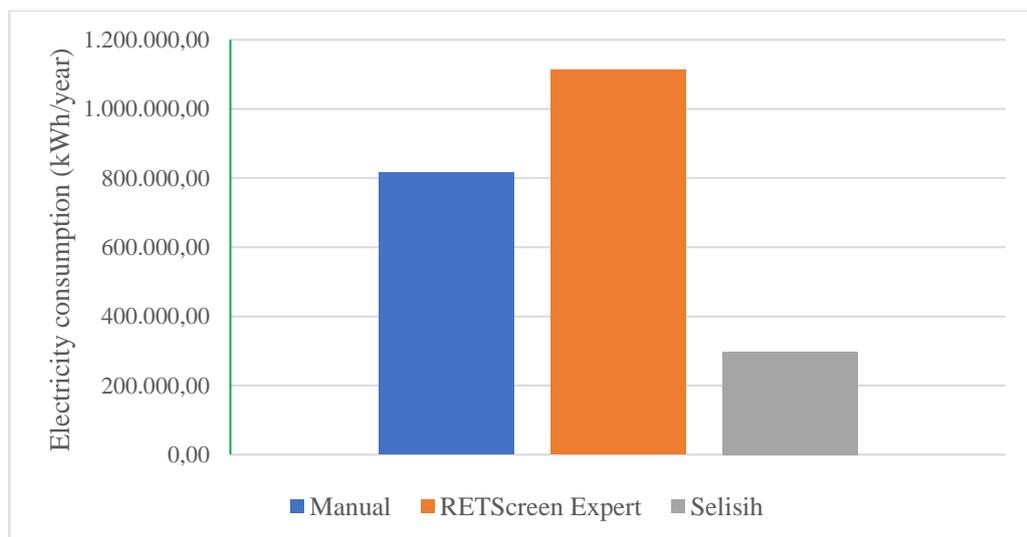
	kWh	%
<b>Mechanical Equipment</b>	116.214	64,7%
<b>Electrical Equipment</b>	44.208	24,6%
<b>Lights</b>	11.295	6,3%
<b>Miscellaneous</b>	7.842	4,4%

Dari upaya penghematan yang dilakukan, didapatkan data penghematan energi pada gedung sebesar 179.559 kWh selama periode satu tahun. Penghematan energi paling besar terjadi pada komponen mekanik seperti AC, menghemat energi sebesar 116.214 kWh/tahun, dengan persentase 64,7%. Komponen elektrik menghemat energi sebesar 44.208 kWh/tahun, dengan persentase 24,6%, dan lampu menghemat energi sebesar 11.295 kWh/tahun dengan persentase 6,3%.

Penghematan ini tidak hanya berdampak pada penurunan konsumsi energi, tetapi juga pada pengurangan emisi karbon yang dihasilkan oleh gedung. Selain itu, penghematan energi ini juga dapat mengurangi biaya operasional gedung secara keseluruhan, memberikan keuntungan ekonomi jangka panjang.

Implementasi langkah-langkah efisiensi energi, seperti optimalisasi sistem pendingin ruangan (AC), penggunaan peralatan listrik yang lebih efisien, dan penerapan teknologi pencahayaan hemat energi, terbukti efektif dalam mencapai penghematan energi yang substansial. Data penghematan ini menunjukkan pentingnya audit energi dan penggunaan perangkat lunak seperti RETScreen Expert untuk mengidentifikasi dan memaksimalkan peluang penghematan energi.

### G. Hasil Komparasi Perhitungan Konsumsi Energi dengan Metode Manual dan RETScreen Expert



Gambar 25. Konsumsi Energi dalam periode tahunan (*annual period*)

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan perhitungan antara penggunaan metode manual (816.010,8 kWh/tahun) dengan *RETScreen Expert* (1.113.453 kWh/tahun). Selisih Perbandingan perhitungan manual dengan *RETScreen Expert* adalah 297.442,2 kWh/tahun dengan presentase selisih perhitungan sebesar 15,42%. Dengan perbedaan tersebut diasumsikan bahwa perhitungan manual dan

perhitungan menggunakan *RETScreen Expert* tidak terdapat perbedaan yang terlalu jauh.

Perbedaan perhitungannya tersebut dapat terjadi karena cara kerja perhitungan antara *RETScreen Expert* dengan manual, dan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti efisiensi beban penuh, laju kebocoran energi, faktor cuaca, dan faktor lainnya yang ada pada software *RETScreen Expert*.

#### **H. Rekomendasi Peluang Penghematan Energi**

Peluang penghematan energi yang dapat dilakukan seperti menyesuaikan kapasitas AC (PK) di masing-masing ruangan, pengecekan dan pemeriksaan rutin AC masing-masing ruangan, karena banyak ruangan yang diatur suhunya yang tidak sesuai dengan suhu sebenarnya, dan dikendalikan *Coeffisien of Performan (COP)* sistem pendingin ruangan yang rendah terlihat pada tabel 10, penyesuaian suhu ruangan sesuai dengan ketentuan kenyamanan dengan mengatur suhu 25°C sampai 27°C.

Pada sistem pencahayaan ruangan, penghematan energi yang dilakukan sudah baik, namun tingkat pencahayaan pada masing-masing ruangan masih jauh dari standar yang diinginkan terlihat pada tabel 13. Penghematan energi yang dapat dilakukan pada sistem pencahayaan adalah dengan mengatur jam operasional lampu masing-masing ruangan, dan menyarankan untuk menggunakan cahaya alami dari jendela sebagai pencahayaan tambahan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian diatas, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis menunjukkan terdapat perbedaan perhitungan antara metode manual (816.010,8 kWh/tahun) dengan RETScreen Expert (1.113.453 kWh/tahun). Selisih Perbandingan perhitungan manual dengan RETScreen Expert adalah 297.442,2 kWh/tahun dengan presentase selisih perhitungan sebesar 15,42%.
2. Perbedaan hasil antara perhitungan manual dan menggunakan RETScreen Expert menunjukkan bahwa perbedaan tersebut cukup jauh, namun kedua metode dapat diandalkan dalam perhitungan efisiensi energi pada gedung. *Namun, RETScreen Expert memberikan hasil yang lebih komprehensif dan akurat dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi konsumsi energi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak RETScreen Expert sangat baik digunakan dalam audit energi bangunan untuk mencapai efisiensi energi yang baik.*
3. Perbedaan perhitunggan antara kedua metode tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor seperti, cara pencatatan jam operasional kerja yang berbeda antara perhitungan manual dengan RETScreen Expert, beberapa faktor lainnya seperti efisiensi beban penuh, laju kebocoran energi, faktor cuaca, dan faktor -faktor yang ada pada software RETScreen Expert.

4. Berdasarkan nilai IKE yang didapatkan pada perhitungan manual sebesar 122,4 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, sedangkan nilai IKE pada perhitungan dengan RETScreen Expert sebesar 167,08 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan energi pada gedung tergolong efisien dengan nilai IKE pertahun  $102 \leq \text{IKE} < 168 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$ .

## **B. Saran**

Untuk lebih memaksimalkan efisiensi pada bangunan yang diteliti maka sebaiknya bangunan diberlakukan sebagai berikut:

1. Pada sistem pendingin ruangan diperlukan upaya seperti menyesuaikan kapasitas AC dimasing-masing ruangan, pengecekan dan pemeriksaan rutin AC masing-masing ruangan, meningkatkan nilai *Coeffisien of Performan* (COP) dengan pemeriksaan rutin setidaknya sekali dalam tiga bulan. Penyesuaian suhu ruangan seseui dengan ketentuan kenyamanan dengan dengan mengatur suhu 25°C sampai 27°C
2. Lebih mengoptimalkan penggunaan pencahayaan alami pada gedung untuk meningkatkan pencahayaan pada masing-masing ruangan, dan mengurangi beban listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, A. S. H., Makram, A., & Abdel-Azim Nayel, M. (2021). Energy audit and evaluation of indoor environment condition inside Assiut International Airport terminal building, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 3241–3253. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.03.003>
- Alawneh, R., Mohamed Ghazali, F. E., Ali, H., & Asif, M. (2018). Assessing the contribution of water and energy efficiency in green buildings to achieve United Nations Sustainable Development Goals in Jordan. *Building and Environment*, 146, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.043>
- Berawi, M. A., Miraj, P., Windrayani, R., Rohim, A., Berawi, B., & Berawi, M. A. (2019). Stakeholders' perspectives on green building rating: A case study in Indonesia. *Heliyon*, e01328. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019>
- Daoudi, M. (2024). Education in renewable energies: A key factor of Morocco's 2030 energy transition project. Exploring the impact on SDGs and future perspectives. *Social Sciences and Humanities Open*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100833>
- Eiraudó, S., Schiera, D. S., Mascali, L., Barbierato, L., Giannantonio, R., Patti, E., Bottaccioli, L., & Lanzini, A. (2023). Neural network-based energy signatures for non-intrusive energy audit of buildings: Methodological approach and a real-world application. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101203>
- Hromádka, V., Korytářová, J., Federla, J., Veselý, A., & Skalický, M. (2023). Optimizing Energy-Saving Measures in New Residential Buildings Regarding Life-Cycle Costs. *Buildings*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/buildings13081907>
- Hsien-te, L., & Chia-ju, Y. (2021). Hotel energy rating system using dynamic zone EUI method in Taiwan. *Energy and Buildings*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111023>
- Huang, H., Wang, H., Hu, Y. J., Li, C., & Wang, X. (2022). The development trends of existing building energy conservation and emission reduction—A comprehensive review. In *Energy Reports* (Vol. 8, pp. 13170–13188). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.023>
- Jaradat, H., Alshboul, O. A. M., Obeidat, I. M., & Zoubi, M. K. (2023). Green building, carbon emission, and environmental sustainability of construction industry in Jordan: Awareness, actions and barriers. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102441>

- Kramer, R. A. (2007). Using energy audits to enhance experiential energy education. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 104(2), 46–57. <https://doi.org/10.1080/01998590709509492>
- Kurniawan, A., Qosim, N., Lapisa, R., Abadi, Z., & Jasman, J. (2021a). The Optimization of Building Energy Consumption in Universitas Negeri Padang Using Building Energy Simulation Program. *Teknomekanik*, 4(1), 30–35. <https://doi.org/10.24036/teknomekanik.v4i1.9672>
- Kurniawan, A., Qosim, N., Lapisa, R., Abadi, Z., & Jasman, J. (2021b). The Optimization of Building Energy Consumption in Universitas Negeri Padang Using Building Energy Simulation Program. *Teknomekanik*, 4(1), 30–35. <https://doi.org/10.24036/teknomekanik.v4i1.9672>
- Lee, K. H., Lee, D. W., Baik, N. C., Kwon, H. M., & Lee, C. J. (2012). Preliminary determination of optimal size for renewable energy resources in buildings using RETScreen. *Energy*, 47(1), 83–96. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.040>
- Liu, Y., Zhao, X., & Qin, S. J. (2024). Dynamically engineered multi-modal feature learning for predictions of office building cooling loads. *Applied Energy*, 355. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122183>
- Long, N., Fleming, K., CaraDonna, C., & Mosiman, C. (2021). BuildingSync: A schema for commercial building energy audit data exchange. *Developments in the Built Environment*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100054>
- Ma, W., Wang, X., Shou, W., & Wang, J. (2024). Energy-efficient façade design of residential buildings: A critical review. *Developments in the Built Environment*, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100393>
- Muzayanah, I. F. U., Lean, H. H., Hartono, D., Indraswari, K. D., & Partama, R. (2022). Population density and energy consumption: A study in Indonesian provinces. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10634>
- Nur-E-Alam, M., Zehad Mostofa, K., Kar Yap, B., Khairul Basher, M., Aminul Islam, M., Vasiliev, M., Soudagar, M. E. M., Das, N., & Sieh Kiong, T. (2024). Machine learning-enhanced all-photovoltaic blended systems for energy-efficient sustainable buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103636>
- Owolabi, A. B., Emmanuel Kigha Nsafon, B., Wook Roh, J., Suh, D., & Huh, J. S. (2020). Measurement and verification analysis on the energy performance of a retrofit residential building after energy efficiency measures using RETScreen Expert. *Alexandria Engineering Journal*, 59(6), 4643–4657. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.022>

- Prihartono, J., Mulyadi, & Subekti, P. (2016). *AUDIT ENERGI DAN ALALISIS PELUANG PENGHEMATAN ENERGI LISTRIK GEDUNG MAHKAMAH KONSTITUSI JAKARTA*. <https://doi.org/https://doi.org/10.30606/aptk.v8i1.566>
- Rakha Aushaf, M., Kridarso, E. R., Utomo, H., Program, ), Arsitektur, S., Sipil, T., & Perencanaan, D. (2022). *PENERAPAN KONSEP GREEN BUILDING DENGAN APPROPRIATE SITE DEVELOPMET DI PERPUSTAKAAN UI DEPOK*. <https://publikasi.kocenin.com/index.php/teksi>
- Shaikh, P. H., Shaikh, M. S., Kumar, M., Shaikh, F., Uqaili, M. A., & Bhatti, I. (2020). Environmental Assessment of Green Buildings. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials: Volume 1-5* (Vols. 1–5, pp. 92–97). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10402-3>
- Spudys, P., Jurelionis, A., & Fokaides, P. (2023). Conducting smart energy audits of buildings with the use of building information modelling. *Energy and Buildings*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112884>
- Surahman, U., Hartono, D., Setyowati, E., & Jurizat, A. (2022). Investigation on household energy consumption of urban residential buildings in major cities of Indonesia during COVID-19 pandemic. *Energy and Buildings*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111956>
- Thumann, A., & Mehta, D. P. (2020). *Handbook of energy engineering*. River Publishers.

## LAMPIRAN

### 1. Surat Izin Penelitian

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Alamat: Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang 25131 Telp. (0751) 7051260 Fax (0751) 7055628  
website: [www.ft.unp.ac.id](http://www.ft.unp.ac.id) e-mail: [info@ft.unp.ac.id](mailto:info@ft.unp.ac.id)

---

Nomor : 01/Prodi-TM/FT/UNP/2024 Padang, 4 april 2024  
Lampiran : -  
Perihal : Permohonan Pengambilan Data Penelitian

Yth.  
Kepala Laboratorium Terpadu UNP  
Jl. Prof. Hamka Air Tawar Barat  
di  
Padang

Dengan hormat,

Saya yang bertanda tangan di bawah ini merupakan pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa Departemen Teknik Mesin UNP, dengan ini mengajukan permohonan kepada Bapak/Ibu agar dapat menerima mahasiswa berikut ini:

Nama : Andika Saputra  
NIM : 20338023  
Program Studi : S1 Teknik Mesin

untuk melakukan pengambilan data penelitian Tugas Akhir di gedung Laboratorium Terpadu UNP yang Bapak/Ibu pimpin. Pelaksanaan pengambilan data yang dilakukan selama satu bulan, dimulai dari bulan April hingga Mei 2024.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerja samanya kami ucapkan terima kasih.

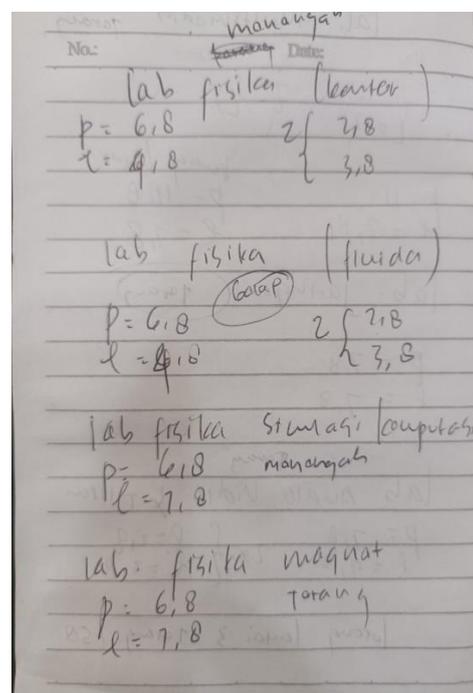
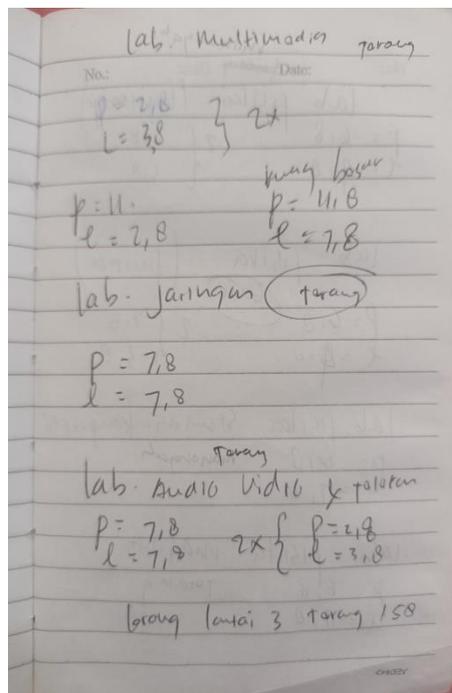
Hormat Kami,  
Dosen Pembimbing

  
Andre Kurniawan, S.T., M.T.  
NIP. 199105252019031027

## 2. Dokumentasi Pengambilan Data pada Gedung







No: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
 lab. fisika material  
 p = 6,8 taras  
 l = 7,8

lab. batu bara AC = 2 21,7  
 p = 6,8 taras 53%  
 l = 7,8

kapala lab sistem kontrol & otomasi  
 p = 3,8 taras  
 l = 3,8

lab. Otomasi industri taras  
 p = 11,8 } 3,22  
 l = 7,8 } 2,6

No: \_\_\_\_\_ Date: taras  
 lab. robotika & komputer  
 p = 11,8 } 3,22  
 l = 7,8 } 2,6

lanjut 4

lab. microteaching taras  
 p = 10,8 } 3,8  
 l = 7,8 } 2,8

faktor jumlah T. Elektro taras  
 p = 11,8 } 3,8  
 l = 7,8 } 2,8

No: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
 Admin Jumlah lab  
 p = 3,8 taras  
 l = 3,8

lab. Survei pariwisata T. sipil  
 p = 3,8 } 3,8  
 l = 7,8 } 2,8

pastry Bakery catering  
 11,8 } 3,8  
 3,8 } 3,8

lab. spa group  
 3,8 } 3,8 } 2  
 3,8 } 2,8 } 2

No: \_\_\_\_\_ Date: 16 April 2014  
 Hasil pengumpulan  
 data kejuruan

Kejuruan	Jumlah	Kalangan
lab. material	21,2	51
lab. mantek	26	45
lab. danatip	28,5	38
lab. fubang	26,7	42
lab. T. sipil	28	50
R. busnisi byu	28	38
lab. Elektronika B	22,5	50
lab. Elektronika A	23,2	48
Produksi	26	42
Software produk ICT Development	26	42

Survei RHT

No.: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Lab. Kimia (p)	24,8	45
Phary, T. Elektro		
Kantor Layanan	23,2	48
Perangin ser		
Direktur Sekolah	23,2	48
Lab. Atmosfer (dasar)	22,5	50
Kantor Lab. Sistem	21,7	53
Kontrol & kendali		
Kantor Lab. Bahan	21,7	53
Lab. Fisika Simulasi	21	48
komputasi		
Kantor Lab. Fisika	22,5	50
Lab. Multi media	21,24	48
Lab. Robotika & Bangun	21,6	45
Lab. Fisika (mekanika)	21	48
Lab. Fisika Listrik	21	48
<del>Lab. Fisika Magnet</del>		

No.: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Lab. Fisika Fluida	21	48
Lab. Jaringan	22,6	50
Lab. Audio Video	23	49
Teknologi Komunikasi		
Kantor Dap.	22,5	50
Robotik Elektro		
Admin Tek. Elektro	21,4	54
Kantor FPP	21,6	54
Pastry & Baterai	26	42
Workshop		
Ruang kelas	23,2	48
Fasilitas Sipil		
Labor SPA	21,5	54

No.: \_\_\_\_\_ Date: 20/10/2019

Pengukuran (alasan lampu (lumen))

Ruang	lux	Jumlah Lampu
lab. material	186	17
lab. manufaktur	129	14
lab. otomotif	105	14
lab. tambang	166	11
lab. Tok. Sipil	147	11
Ruang konstruksi kayu	163	11
lab. Elektronika	158	13
lab. Elektronika A	210	16
Digital Media produksi	116	14
Software produksi	132	13
lot Devokap me		
lab. penerangan	218	18
Kantor Yayasan	187	11

