

**REDUKSI BIAYA PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK PADA
GEDUNG PENDIDIKAN BERIKLIM TROPIS**

*Reduction of Electricity Use Costs in Education Buildings with Tropical
Climates*

AULIA RAHMAH

D032191010



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

PENGAJUAN TESIS

REDUKSI BIAYA PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK PADA
GEDUNG PENDIDIKAN BERIKLIM TROPIS

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

AULIA RAHMAH

D032191010

Kepada

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

TESIS
REDUKSI BIAYA PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK
PADA GEDUNG PENDIDIKAN BERIKLIM TROPIS

AULIA RAHMAH

D032191010

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin
pada tanggal 7 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Ansar Suyuti, M.T.
NIP. 19671231 199202 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.
NIP. 19760914 200801 1 006

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng
NIP. 19720828 199903 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Aulia Rahmah
Nomor Mahasiswa : D032191010
Program Studi : S2 Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Reduksi Biaya Penggunaan Energi Listrik pada Gedung Pendidikan Beriklim Tropis” adalah karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Ansar Suyuti, M.T. dan Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Conference (2023 3rd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System) dengan judul “Prediction of Electrical Energy Consumption of Educational Building in the Tropics Using Support Vector Regression (SVR)”.

Dengan ini saya limpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin

Gowa, 3 Agustus 2023

Yang menyatakan


Aulia Rahmah



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur Senantiasa kita panjatkan kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah memberikan rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya dalam menyelesaikan penulisan tesis dengan judul “**Reduksi Biaya Pemakaian Energi Listrik pada Gedung Pendidikan Beriklim Tropis**” dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta Salam tidak lupa kita senantiasa kirimkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat manusia.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar **Magister Teknik (M.T)** pada program S2 Teknik Elektro, Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Makassar. Dengan mengucapkan syukur yang sedalam-dalamnya, gelar ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, ayahanda **Wahid** dan ibunda **Nasma Zainuddin** yang senantiasa memberikan dukungan baik dalam segi moral dan materil, motivasi dan doa yang tidak henti-hentinya dipanjatkan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Dalam penyusunan tesis ini, tentunya tidak lepas dari dukungan dari seluruh pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
2. Dewan pembimbing, Bapak Prof. Dr. Ir. Ansar Suyuti, M.T. dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T., yang dengan sabar dan penuh tanggung jawab memberikan bimbingan, masukan serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
3. Dewan Penguji, Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T., Ibu Dr. Fitriyanti Mayasari, S.T., M.T., dan Ibu Dr. Hasniati, S.T., M.T., yang senantiasa memberikan saran yang membangun selama penelitian ini dilakukan.

4. Dosen dan staf Universitas Hasanuddin Makassar, khususnya program studi magister teknik elektro yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk terus melanjutkan pendidikan.
5. Rekan-rekan mahasiswa S2 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin angkatan 2019, khususnya untuk Najmia, Azizah, Ajeng dan Fasrah yang sudah memotivasi dan berjuang bersama penulis dalam penyelesaian penelitian ini.
6. Suamiku, Sahrum Nurhabib Yusuf yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, baik materi maupun dukungan. Kepada adik-adikku Lala, Sara, Izza, Kia dan Sul yang selalu memberi dukungan kepada penulis.
7. Pihak kelistrikan Gedung Rektorat Unhas, khususnya Pak Arifuddin, Pak Aris, Pak Saldi dan Pak Rahmat yang memberikan wadah serta bantuan kepada penulis dalam mengumpulkan data analisis tesis ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih sangat jauh dari kata sempurna dan mempunyai banyak kekurangan. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk kedepannya sehingga dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembaca. Akhir kata, penulis menyampaikan permohonan yang sebesar-besarnya kepada pembaca sekiranya terdapat kesalahan-kesalahan dalam penyusunan tesis ini, wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Gowa, 3 Agustus 2023

Aulia Rahmah

ABSTRAK

AULIA RAHMAH. Reduksi Biaya Pemakaian Energi Listrik pada Gedung Beriklim Tropis. (dibimbing oleh **Ansar Suyuti, Ikhlas Kitta**).

Universitas Hasanuddin (Unhas) dengan luas bangunan 4225,48 m² terletak di wilayah tropis. Gedung Rektorat merupakan bangunan vital kampus Unhas, padatnya aktivitas di bangunan tersebut sejalan dengan tingginya penggunaan peralatan listrik sebagai penunjang pekerjaan. Jika hal ini dibiarkan terus-menerus, penggunaan energi listrik bisa sangat tinggi sehingga berpengaruh kepada kualitas energi serta tingginya pembayaran listrik yang harus dipenuhi. Penghematan energi adalah cara yang bijak dalam menghadapi situasi ini, salah satunya mencari peluang penghematan dengan melakukan audit. Hasil audit energi pada Gedung Rektorat Unhas adalah konsumsi energi listrik sebesar 59.149,521 kWh/bulan dengan pembagian penggunaan energi yaitu sistem pencahayaan dengan 201,760 kWh/hari, sistem pengkondisian udara 1344,176 kWh/hari dan penggunaan peralatan listrik sebesar 644,787 kWh/hari. Dari data yang ada diperoleh Intensitas Konsumsi Energi (IKE) per bulan sebesar 13,99 kWh/m². Nilai ini termasuk kategori cukup efisien dengan kriteria IKE Bangunan Gedung Ber-AC Menurut Permen ESDM No.13 Tahun 2012. Peluang penghematan yang dilakukan adalah mengganti lampu eksisting dengan lampu LED, sehingga diperoleh penghematan pembayaran tagihan listrik dalam periode satu bulan adalah Rp 162.471. Prediksi penggunaan energi listrik Gedung Rektorat Unhas di daerah Tropis Indonesia merupakan salah satu upaya penghematan, dengan mengetahui informasi penggunaan energi listrik gedung kedepannya. Metode *Support Vector Regression* (SVR) dengan data waktu (hari dan jam) serta daya penggunaan energi listrik terhitung dan terukur. Data sejumlah 168 diperoleh berdasarkan aktivitas kerja pada Gedung Rektorat Unhas. Pengujian dilakukan menggunakan tiga kernel yaitu Linier, RBF dan Polynomial yang dihitung akurasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasilnya menunjukkan bahwa kernel RBF paling baik dari kedua kernel yang lain dengan nilai MAPE 11,67 %.

Kata Kunci : Audit Energi, Bentuk Konsumsi Energi, Prediksi Konsumsi Energi Bangunan, Fungsi Kernel, *Support Vector Regression*.

ABSTRACT

AULIA RAHMAH. *Reducing the Cost of Using Electrical Energy in Buildings with a Tropical Climate. (Supervised by Ansar Suyuti, Ikhlas Kitta)*

Universitas Hasanuddin (Unhas), with a building area of 4225.48 m², is located in a tropical region. The Rectorate building is a vital structure on Unhas campus, and the high density of activities in the building correlates with a significant use of electrical equipment to support work. If this continues unchecked, the electricity consumption can become very high, impacting energy quality and leading to high electricity bills that must be covered. Energy conservation is a wise approach to address this situation, and one way is to explore opportunities for saving energy through an audit. The energy audit conducted on the Rectorate building at Unhas reveals an electricity consumption of 59,149.521 kWh per month, divided as follows: the lighting system consumes 201.760 kWh per day, the air conditioning system uses 1344.176 kWh per day, and electrical equipment utilization amounts to 644.787 kWh per day. The available data shows that the monthly Energy Consumption Intensity (ECI) is 13.99 kWh/m². This value falls under the category of reasonably efficient, according to the criteria for AC-equipped buildings by Ministerial Regulation No. 13 of 2012. One of the energy-saving opportunities pursued is replacing the existing lamps with LED lights, resulting in a reduction of electricity bills by Rp 162,471 per month. Predicting the future electricity consumption of the Rectorate building at Unhas in the tropical region of Indonesia is an effort towards conservation, achieved by analyzing information on the building's electricity usage. The Support Vector Regression (SVR) method is utilized, considering the time data (day and hour) and electrical power consumption, which is both measured and recorded. A dataset of 168 entries is obtained based on the building's work activities. Testing uses three kernels: Linear, RBF, and Polynomial, with accuracy assessed using Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results indicate that the RBF kernel performs the best among the three with a MAPE value of 11.67%.

Keywords : *Energy Audit, Energy Consumption Pattern, Building Energy Consumption Prediction, Kernel Function, Support Vector Regression.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 LATAR BELAKANG	1
I.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
I.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
I.4 MANFAAT PENELITIAN.....	4
I.5 BATASAN MASALAH	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 LANDASAN TEORI.....	6
II.1.1 Energi	6
II.1.2 Konservasi Energi	7
II.1.3 Audit Energi	8
II.1.4 Standar Audit Energi.....	13
II.1.5 Sistem Tata Udara	15
II.1.6 Sistem Pencahayaan	19

II.1.7	<i>Support Vector Regression (SVR)</i>	24
II.2	State Of Art Penelitian	26
BAB III	METODE PENELITIAN	31
III.1	TAHAPAN PENELITIAN	31
III.2	WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	31
III.3	INSTRUMEN PENELITIAN	32
III.4	TEKNIK PENGUMPULAN DATA.....	32
III.5	PENGUKURAN LANGSUNG	33
III.5.1	Alat Ukur <i>Power Quality Meter Fluke 453-II</i>	33
III.5.2	Spesifikasi Umum	34
III.5.3	Langkah Pengukuran.....	35
III.6	METODE AUDIT ENERGI.....	39
III.6.1	Audit Energi Singkat.....	39
III.6.2	Audit Energi Rinci	40
III.6.3	Perhitungan dan analisis data	41
III.7	DIAGRAM ALIR PENELITIAN	41
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	44
IV.1	Audit Awal	44
IV.1.1	Profil Gedung	44
IV.1.2	Pola konsumsi energi	45
IV.1.3	IKE per Bulan.....	48
IV.2	Audit Energi Rinci	49
IV.2.1	Penggunaan Energi Listrik pada Peralatan di Gedung Rektorat Unhas.....	50
IV.2.2	Intensitas Konsumsin Energi.....	52

IV.2.3	Karakteristik Kelistrikan Gedung Rektorat Unhas.....	53
IV.2.4	Peluang Penghematan Sistem Pencahayaan.....	63
IV.3	Upaya Penghematan.....	68
IV.3.1	Upaya Hemat Energi Sistem Pencahayaan Gedung Rektorat Unhas.....	68
IV.3.2	Peramalan Penggunaan Energi Listrik Gedung Rektorat Unhas dengan SVR.....	68
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	74
V.1	KESIMPULAN	74
V.2	SARAN	75
V.2.1	Saran untuk Pihak Rektorat Unhas.....	75
V.2.2	Saran untuk Peneliti Selanjutnya.....	75
	DAFTAR PUSTAKA	76
	LAMPIRAN.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Flow Chart</i> Audit Energi	10
Gambar 2 Lampu Fluoresen	23
Gambar 3 Lampu LED	24
Gambar 4 <i>Soft Margin Hyperplane SVR</i>	25
Gambar 5 <i>Power Quality Meter Fluke 453</i>	34
Gambar 6 Aksesoris <i>Power Quality Meter Fluke 453</i>	34
Gambar 7 Instalasi Jumper Tegangan Pada Busbar.....	35
Gambar 8 Instalasi <i>Clamp i430TF</i> Pada Bus Bar.....	36
Gambar 9 <i>Logger Fluke 453</i>	36
Gambar 10 Kategori Parameter yang Diukur.....	37
Gambar 11 <i>Software Power Log</i>	38
Gambar 12 <i>Toolbar software Power Log</i>	38
Gambar 13 Tampilan Data Pengukuran Pada <i>software Power Log</i>	39
Gambar 14 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 15 Tahapan Perancangan <i>Support Vector Regression (SVR)</i>	43
Gambar 16 Lokasi Gedung Rektorat UNHAS	44
Gambar 17 Gedung Rektorat UNHAS	45
Gambar 18 Grafik Perbandingan Konsumsi Daya	46
Gambar 19 Grafik Perbandingan Tegangan	47
Gambar 20 Grafik Perbandingan Arus	47
Gambar 21 Profil Tegangan Fasa Gedung Rektorat Unhas.....	53
Gambar 22 Profil Arus Fasa Gedung Rektorat Unhas.....	55
Gambar 23 Faktor Daya Gedung Rektorat Unhas.....	56
Gambar 24 Profil Arus Harmonisa Gedung Rektorat Unhas	58

Gambar 25 Profil Tegangan Harmonisa	59
Gambar 26 Profil Daya Aktif Gedung Rektorat Unhas	60
Gambar 27 Profil Daya Reaktif Gedung Rektorat Unhas	61
Gambar 28 Profil Daya Semua Gedung Rektorat Unhas	62
Gambar 29 Prediksi Konsumsi Energi Harian Gedung Rektorat Unhas dengan Kernel Linier (a), RBF (b), Polynomial (c)	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1 IKE Bangunan Gedung Dengan AC dan Tanpa AC sesuai Peraturan Menteri ESDM No.13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Listrik.....	14
Tabel 2 IKE pada Kantor dan <i>Workshop Concept Plus Organizer</i>	14
Tabel 3 Tingkat Pencahayaan Rata-rata yang Direkomendasikan	21
Tabel 4 Pencahayaan Maksimum	21
Tabel 5 <i>State Of The Art</i>	27
Tabel 6 IKE Rekening Listrik Gedung Rektorat	48
Tabel 7 Penggunaan Sistem Penerangan Gedung Rektorat Unhas	50
Tabel 8 Penggunaan Sistem Pengkondisian Udara Gedung Rektorat Unhas.....	51
Tabel 9 Penggunaan Peralatan Elektronik Gedung Rektorat Unhas	51
Tabel 10 Jumlah Penggunaan Energi Gedung Rektorat	52
Tabel 11 Karakteristik Tegangan Gedung	54
Tabel 12 Profil Arus Gedung Rektorat	56
Tabel 13 Profil Faktor Daya Gedung Rektorat.....	57
Tabel 14 Pengukuran Arus Harmonisa	58
Tabel 15 Pengukuran Tegangan Harmonisa	59
Tabel 16 Pengukuran Daya Aktif	60
Tabel 17 Pengukuran Daya Reaktif.....	61
Tabel 18 Pengukuran Daya Semu.....	63
Tabel 19 Penghematan pada Sistem Penerangan Gedung Rektorat Unhas.....	67
Tabel 20 Estimasi Pehitungan Biaya Penggantian Lampu Gedung Rektorat Unhas	67
Tabel 21 Sampel Data Latih Pemakaian Energi Listrik Gedung Rektorat Unhas	69
Tabel 22 Sampel Data Uji Pemakaian Energi Listrik Gedung Rektorat Unhas ...	69

Tabel 23 Hasil Evaluasi Model SVR Data Uji	71
Tabel 24 Nilai Aktual dan Hasil Prediksi Ketiga Kernel.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan peningkatan konsumsi energi listrik oleh masyarakat, maka pihak penyedia energi listrik, dalam hal ini Perusahaan Listrik Negara (PLN), harus meningkatkan pasokan energi listrik atau kapasitas pembangkitnya. Hal ini dimaksudkan agar jumlah daya listrik yang tersedia dapat memenuhi permintaan konsumen akan energi listrik. Namun, banyak permasalahan yang dihadapi dalam peningkatan kapasitas pembangkit antara lain besarnya biaya investasi dalam pembangunan pembangkit baru, sulitnya menyelesaikan masalah penerbitan izin lokasi dan penerbitan izin pinjam pakai kawasan hutan (IPPKH), serta masalah pembebasan lahan. Jika tidak diatasi dengan cepat dan tepat maka hal tersebut akan menjadi penyebab terjadinya krisis energi listrik, salah satunya di Indonesia. (Triyono et al., 2019)

Upaya yang dapat dilakukan dalam mengatasi masalah tersebut adalah dengan penambahan kapasitas energi listrik, pembangunan pembangkit listrik, pengadaan komponen listrik untuk kebutuhan penyaluran energi seperti jaringan transmisi, jaringan distribusi atau komponen yang lainnya, penggunaan energi alternatif seperti memaksimalkan energi baru terbarukan dan melakukan penghematan (mengefisiensikan) pemakaian energi listrik atau yang dikenal dengan istilah konservasi energi (Manjang & Syafaruddin, 2014)

Sebagian besar solusi yang ada memiliki kendala tersendiri dalam pelaksanaannya seperti yang dijelaskan pada paragraf sebelumnya, namun untuk solusi berupa penghematan pemakaian energi listrik atau konversi energi, tidaklah membutuhkan biaya investasi, apalagi masalah pembebasan lahan.

Pelaksanaan konservasi energi di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi. Dengan diberlakukannya peraturan ini, maka kegiatan konservasi energi di Indonesia bersifat wajib (*mandatory*), terutama bagi pengguna energi dalam jumlah besar (Haji-Sapar & Lee, 2005).

Konservasi energi merupakan proses penggunaan energi secara efisien dengan tidak menurunkan fungsi energi itu sendiri secara teknis namun memiliki tingkat ekonomi yang serendah-rendahnya, dapat diterima oleh masyarakat serta tidak pula mengganggu lingkungan. Sehingga dengan konservasi energi maka energi listrik semakin efisien melalui langkah-langkah penurunan berbagai kehilangan energi listrik pada semua taraf pengolahan, mulai dari pembangkitan, transmisi, sampai dengan pemanfaatannya. Dalam prosesnya konservasi energi tahap awalnya adalah audit energi, dengan melakukan aktivitas penilaian pola konsumsi energi dan mengenal pola penghematan energi, sehingga dapat ditentukan langkah audit yang akan dilakukan.

Oleh karena itu, upaya penggunaan energi listrik seefisien mungkin sangat perlu dilakukan di semua bidang, seperti penggunaan energi di bidang kesehatan, pertahanan negara, pendidikan, pusat perbelanjaan dan sebagainya. Maka melalui tesis ini diajukan sebuah judul tentang model upaya efisiensi pemakaian energi listrik bangunan gedung yang dikhususkan pada gedung pendidikan, dan bangunan gedung tersebut berada di daerah beriklim tropis. Iklim tropis tersebut merupakan representasi dari kondisi Indonesia. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik pemakaian energi listrik pada bangunan gedung pendidikan, dan selanjutnya akan memberikan solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada bangunan gedung pendidikan tersebut.

Universitas Hasanuddin adalah salah satu universitas terbesar dan termasuk sepuluh besar universitas terbaik di Indonesia menurut Kementerian Pendidikan dan Budaya dengan beberapa kriteria yaitu faktor *input* (seperti, rasio jumlah mahasiswa terhadap dosen), *output* (seperti, jumlah prodi yang

terakreditasi/bersertifikasi internasional), proses (seperti, kerjasama perguruan tinggi) dan *outcome* (seperti, kinerja inovasi). Hal ini pula yang menjadi salah satu faktor yang membuat Universitas Hasanuddin memiliki sarana prasarana pembelajaran yang lengkap.

Oleh karena itu, pemakaian energi listrik untuk penerangan, sistem pendingin serta alat-alat listrik untuk kebutuhan pembelajaran haruslah terpenuhi dengan baik. Namun, pemenuhan energi tersebut diiringi dengan biaya yang harus dibayar oleh Universitas Hasanuddin. Pembayaran listrik Gedung Rektorat Unhas, dalam setahun periode November 2021 – Desember 2021 sebesar Rp1.253.801.667,- dan Rp 1.260.304.704,-. Di Universitas Hasanuddin sendiri diberlakukan pemadaman lampu jika tidak digunakan untuk menghemat biaya pemakaian listrik kampus karena pemakaian listrik mencapai rata Rp 1,2 miliar per bulan hingga tahun 2021 tersebut.

Gedung Rektorat Unhas yang telah berdiri puluhan tahun dengan konsumsi energi yang besar butuh perhatian pengontrolan penggunaan energi listrik. Pemakaian energi listrik yang besar seiring dengan besarnya pula biaya yang harus dibayar oleh pihak gedung. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam mengatasi masalah tersebut adalah dengan melakukan penghematan (mengefisiensikan) pemakaian energi listrik dan memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai sumber listrik yang parallel dengan PLN. Fokus dari penelitian ini adalah bagaimana cara yang optimal untuk mengurangi biaya pemakaian energi listrik dengan tetap mengutamakan kualitasnya di bangunan gedung pendidikan di daerah beriklim tropis seperti di Indonesia dengan mengetahui pola pemakaian listrik terlebih dahulu. Maka dari itu penulis merumuskan judul penelitian yaitu Reduksi Biaya Pemakaian Energi Listrik pada Gedung Pendidikan Beriklim Tropis.

I.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pola pemakaian energi listrik dan bagaimana cara untuk mengurangi biaya pemakaian tanpa mengurangi kualitas energi

listrik di bangunan gedung pendidikan pada daerah beriklim tropis (Indonesia) dengan objek penelitian adalah Bangunan Gedung Universitas Hasanuddin, yang difokuskan pada Gedung Rektorat Universitas Hasanuddin.

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik pemakaian energi listrik pada Gedung Rektorat Unhas.
2. Mengevaluasi pemakaian energi listrik pada Gedung Rektorat Unhas sehingga dapat memberikan solusi peningkatan efisiensi penggunaan energi.

I.4 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini memberikan informasi tentang pola pemakaian energi listrik sehingga akan dianalisis dan diberi solusi untuk peningkatan efisiensi termasuk penghematan biaya listrik tanpa mengurangi kualitas dari ketersediaan energy listrik pada bangunan tersebut.
2. Penelitian ini sangat penting untuk mendukung renstra Unhas di sub penelitian “Energi dan Sumber Daya Alam” dan topic penelitian unggulan “Energi Listrik, Energi Baru dan Terbarukan”

I.5 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Melakukan pengukuran harian selama sembilan hari, dimulai tanggal 23 November sampai 1 Desember 2022 pada trafo *outgoing* Gedung Rektorat Unhas menggunakan alat ukur *Power Quality Meter*.

2. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hasil pengukuran yang terdiri dari data arus dan tegangan, faktor daya, harmonisa, daya aktif, daya reaktif dan daya semu serta data penggunaan sistem penerangan, sistem pengkondisian udara dan penggunaan perangkat elektronik pada gedung.
3. Dianggap bahwa beban harian setiap minggunya adalah sama.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 LANDASAN TEORI

II.1.1 Energi

Energi merupakan besaran yang secara konseptual dihubungkan dengan transformasi, proses atau perubahan yang terjadi. Besaran ini seringkali dikaitkan dengan perpindahan sebuah gaya atau perubahan temperatur, sehingga memungkinkan penentuan satuan joule (perpindahan gaya 1 Newton sejauh 1 satuan massa material). Dalam keperluan praktis, energi sering kali dikaitkan dengan jumlah bahan bakar atau konsumsi jumlah listrik (Faridah, 2018).

Setiap zat sebenarnya mengandung sejumlah energi di dalamnya yang disebut energi dalam. Dalam suatu proses zat dapat melepaskan sebagian energi dalamnya (dalam proses pembakaran) atau menyimpan suatu sistem, harus dilakukan berbagai proses perhitungan yang melibatkan jumlah material/zat dan energi. Oleh karena itu perlu dipahami berbagai satuan yang sering digunakan dalam menyatakan besar atau jumlah dari suatu besaran. Untuk menyatakan jumlah material, ada beberapa besaran yang dapat digunakan, yaitu :

1. Massa, dengan satuan kg, lbm, ton dan sebagainya.
2. Volume, dengan satuan liter, m³, gallon dan sebagainya.

Untuk menyatakan jumlah energi, ada beberapa satuan yang digunakan, misalnya joule, ft.lbh, kWH, BTU dan sebagainya. Satuan joule merupakan satuan Standar Internasional (SI) yang biasa digunakan untuk semua bentuk energi. Sedangkan kWH adalah satuan yang biasa digunakan untuk menyatakan energi-energi listrik, ft.lbf adalah satuan yang biasanya digunakan untuk menyatakan energi termal (Winduono & Kandi, 2012).

Salah satu cara yang paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam dan batubara), hidro, panas bumi dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan poros turbin menjadi energi listrik tiga fase (Zuhal, 2000).

Energi listrik ini dikirimkan ke pusat-pusat beban melalui transformator penaik tegangan, juga dikenal sebagai transformator *step up*, melalui saluran transmisi bertegangan tinggi (Riyadi, 2017).

Adanya penambahan besar tegangan adalah untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir melalui saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan ini berarti mengurangi rugi-rugi panas yang terjadi (*heat lost*). Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah dengan transformator penurun tegangan (*step down transformer*) (Handoyo, 2015).

Di pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah kembali menjadi bentuk-bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis, penerangan, pendingin, dan lain-lain.

II.1.2 Konservasi Energi

Tujuan konservasi energi adalah mengurangi konsumsi energi berlebih dengan meminimalisir penggunaan energi yang boros dan tidak dibutuhkan tanpa mengurangi kebutuhan dan kepuasan pengguna. Ada standar yang berlaku untuk mengurangi pemborosan energi sehingga tidak mengganggu kenyamanan pengguna. Aktivitas konservasi energi diawali dengan audit energi.

Ada tiga hal yang menjadi bagian penting dalam konservasi energi. Pertama, melakukan upaya penghematan pada sumber energi, yaitu berupa suplai energi yang digunakan pada bangunan seperti sumber dari PLN atau

pemakaian generator set. Kedua, pemilihan teknologi dan peralatan listrik yang digunakan pada gedung, termasuk pemilihan lampu, alat-alat listrik, penggunaan listrik untuk kebutuhan system pengkondisian udara serta pemilihan teknologi yang akan sangat berpengaruh pada efisiensi penggunaan sumber energi tersebut. Ketiga, perilaku pengguna terhadap penggunaan sumber energi listrik, konsumsi energi bertitik berat pada perilaku pemakaian sumber energi sesuai dengan kebutuhan atau tidak (Malik, 2013).

Dalam melakukan aktivitas konservasi energi dibutuhkan langkah-langkah berikut :

1. Komitmen : persetujuan konservasi energi dari pihak yang terkait.
2. Audit energi : proses identifikasi konsumsi energi pada penggunaan energi.
3. Program : menentukan target (prioritas) kemudian menyusun rencana secara terperinci.
4. Sistem informasi : memulai langkah audit sesuai dengan program dengan senantiasa melakukan peningkatan kesadaran terhadap konservasi energi.
5. Pemantauan : *monitoring* dan evaluasi audit energi.

II.1.3 Audit Energi

Ketersediaan sumber-sumber energi yang semakin lama semakin terbatas yang mengakibatkan biaya pemakaian energi semakin mahal sehingga diperlukan upaya penghematan energi di segala bidang. Upaya hemat energi pada suatu bangunan komersial seperti gedung olahraga atau pusat pendidikan hanya bisa dilakukan jika diketahui energi tersebut digunakan untuk apa dan besarnya konsumsi energi di setiap bangunan yang terkait.

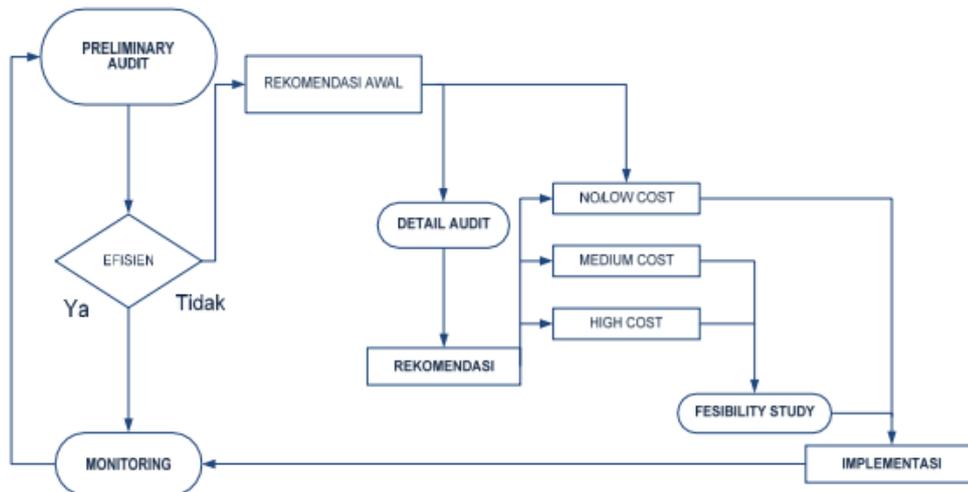
Untuk mengetahui hal tersebut harus ditunjang dengan pengetahuan yang memadai tentang audit energi atau keseimbangan energi. Berdasarkan kegiatan yang dilakukan pada akhirnya audit energi didefinisikan sebagai kegiatan untuk mengidentifikasi jenis serta besarnya energi yang digunakan pada devisi suatu gedung serta mencoba mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi (Anagra, 2020).

Tujuan dilakukannya audit energi adalah memperoleh pola penggunaan energi, yaitu mendapatkan data tentang fluktuasi penggunaan energi pada sebuah bangunan ataupun fasilitas. Data fluktuasi penggunaan energi dapat diperoleh dengan cara pengukuran langsung penggunaan energi listrik tiap waktu sehingga didapatkan pola yang menghasilkan informasi tentang waktu penggunaan listrik, contohnya kapan terjadi beban puncak dan kapan penggunaan listrik di bangunan itu dalam batas normal. Selain itu akan diperoleh neraca energi dari penggunaan listrik (*input = output*). Neraca ini akan menggambarkan seberapa besar penggunaan energi dan dapat mengidentifikasi pemborosan dari sistem tersebut (Putra, 2015).

Dalam audit energi Intensitas Konsumsi Energi (IKE) merupakan hal yang paling penting. IKE merupakan suatu patokan dalam proses identifikasi jenis penggunaan konsumsi energi pada gedung, apakah boros atau sudah sesuai dengan standar yang ada. Adapun nilai-nilai IKE pada bangunan gedung dapat diperoleh dari Standar Nasional Indonesia (SNI) (Biantoro & Permana, 2017).

Output lainnya dalam aktivitas audit energi adalah mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi, hal ini dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap penggunaan energi. Setelah itu maka didapat langkah-langkah penghematan. Penghematan yang struktural harus rasional dan optimal, yaitu dengan mengacu pada konsep konservasi energi berupa penghematan tanpa mengurangi kebutuhan penggunaan energi (Machmud, 2019).

Setelah adanya rencana penghematan, proses selanjutnya adalah upaya peningkatan efisiensi penggunaan energi dengan melakukan manajemen pemeliharaan dan operasi peralatan listrik sehingga dapat meminimalisir adanya kerusakan dan kerugian pada sistem. Peningkatan efisiensi juga dapat dilakukan dengan cara membuat/instalasi peralatan baru yang teknologinya hemat energi sehingga dapat mengurangi energi listrik.



Gambar 1 *Flow Chart* Audit Energi

Gambar 1 memaparkan *flow chart* audit energi yang dimulai dengan audit awal (*preliminary audit*), jika pada audit awal diperoleh hasil yang baik berupa efisiensi (kurang dari nilai IKE) maka tinggal dilakukan pengawasan atau *monitoring*. Namun jika hasil audit awal berupa nilai IKE gedung diatas standar maka harus diberikan rekomendasi awal yang kemudian akan menggambarkan status pemakaian energi listrik pada gedung, *low cost*, *medium* atau *high cost*. Kemudian dilakukan audit rinci (*detail audit*) untuk mendapatkan informasi detail penggunaan energi dan pada akhirnya akan diperoleh rekomendasi dan pengelompokan pemakaian energi listrik pada bangunan tersebut (Rianto, 2007). Setelah itu dilakukan uji kelayakan kemudian diimplementasikan sebagai upaya penghematan energi. Setelah dilakukan penghematan energi, sistem tersebut masih harus dimonitoring untuk mengantisipasi agar tidak terjadi lagi pemborosan.

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan dari proses audit energi (Budiman, 2019) :

A. Audit awal (*preliminary audit*)

Audit awal dilakukan untuk memperoleh gambaran umum tentang pola penggunaan energi, mengidentifikasi secara kasar potensi penghematan serta menyusun rekomendasi awal yang sifatnya segera dapat dilakukan. *Output* audit awal yaitu menentukan kebutuhan untuk melakukan audit rinci.

Pada audit awal dibutuhkan data-data sekunder dan *questioner* sebagai dasar dalam melakukan evaluasi penggunaan energi secara umum dan cepat. Adapun pengukuran dilakukan untuk memverifikasi beberapa data yang dianggap kurang rasional.

Metodologi audit awal berupa:

- a. Persiapan
 - Pembentukan dan koordinasi tim.
 - Penyusunan jadwal.
- b. Survei lapangan
 - Pengumpulan data lapangan (data energi, desain proses dan operasional peralatan).
 - Pengamatan lapangan (potensi pemborosan, peralatan ukur dan kondisi peralatan).
 - Interview dengan operator yang bersangkutan.
 - Presentasi singkat hasil *survey* lapangan (titik-titik pemborosan energi).
- c. Evaluasi data
 - Profil penggunaan energi (fluktuasi dan neraca).
 - *Benchmarking* (intensitas konsumsi energi).
 - Status manajemen energi
- d. Kesimpulan dan rekomendasi
 - Gambaran awal peluang penghematan energi.
 - Rekomendasi awal.

- Kebutuhan audit rinci (lokasi objek, parameter dan titik pengukuran).

B. Audit rinci (*detail audit*)

Tujuan dilakukannya audit energi rinci adalah untuk menginvestigasi lebih lanjut subjek audit dengan aktivitas pemborosan energi lalu mengkuantifikasi besarnya peluang penghematan yang dapat dilakukan secara lebih spesifik. Dalam audit rinci harus diperoleh kesimpulan tentang lokasi dan besar peluang penghematan serta rekomendasi tindak lanjut yang dapat dilakukan berdasarkan kriteria *no/low cost*, *medium cost* dan *high cost*. Dalam audit rinci dilakukan pengukuran-pengukuran dengan lebih rinci, sebagai acuan dalam melakukan evaluasi lengkap kedepannya.

Metodologi audit rinci berupa :

- a. Persiapan
 - Pembentukan tim dan koordinasi.
 - Evakuasi hasil *pre-audit*.
 - Identifikasi titik pengukuran, kebutuhan alat dan personal.
 - Penyusunan jadwal.
- b. Pengumpulan data
 - Pengukuran langsung.
- c. Evaluasi data
 - Efisiensi penggunaan energi.
 - Lokasi dan besar potensi penghematan energi.
 - Analisa teknoekonomi.
- d. Kesimpulan dan rekomendasi
 - Rekomendasi
 - *Low/No cost*
 - *Medium cost*
 - *High cost*

- Kebutuhan *Feasibility Study*.

II.1.4 Standar Audit Energi

1. SNI 03-6169-2011 Tentang Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung

Standar audit energi dari Standar Nasional Indonesia (SNI) berisi tentang prosedur untuk melakukan audit energi dengan proses yang struktural dan jelas. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam melakukan audit energi jika yang berdasarkan standar ini. Dimulai dengan tahap perencanaan, persiapan, audit energi awal, audit energi rinci hingga merekomendasikan peluang penghematan energi dan penulisan laporan akhir audit energi. Standar ini merupakan standar prosedur audit energi satu satunya yang digunakan pada bangunan gedung (Jenderal & Subroto, 2011).

2. ISO 50001 Tentang *Energy Management*

Standar yang digunakan oleh The International Standard (ISO) bertujuan untuk mengelolah energi, baik itu energi kinerja ataupun konsumsi energi. Adapun konsep yang digunakan pada standar ini adalah berupa pendekatan siklus *plan, do, check, action* II-9 untuk evaluasi yang berkelanjutan. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menyebabkan adanya suatu keharusan untuk melakukan manajemen penggunaan energi demi keberlangsungan dari energi itu sendiri secara nasional ataupun internasional (Jovanović & Filipović, 2016).

3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Dalam pembahasan oleh (Mangaku et al., 2021) yang menjelaskan bahwa IKE merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya jumlah penggunaan energi tiap meter persegi luas kotor (*gross*) bangunan dalam suatu kurun waktu tertentu.

Penggunaan energi dapat dihitung jika diketahui beberapa hal berikut:

- a. Rincian luas gedung dan luas total gedung.

- b. Konsumsi energi bangunan gedung pertahun (kWh/tahun)
- c. IKE bangunan gedung pertahun (kWh/m²/tahun)
- d. Biaya energi bangunan gedung (Rp/kWh)

Tabel 1 IKE Bangunan Gedung Dengan AC dan Tanpa AC sesuai Peraturan Menteri ESDM No.13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Listrik

Kriteria	Gedung Ber-AC kWh/m ² /bulan
Sangat Efisien	< 8,5
Efisien	8,5-14
Cukup Efisien	14-18,5
Boros	>18,5
Kriteria	Gedung Tanpa AC kWh/m ² /bulan
Sangat Efisien	< 3,4
Efisien	3,4-5,6
Cukup Efisien	5,6-7,4
Boros	>7,4

* Sumber: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI, 2012

Tabel 2 IKE pada Kantor dan *Workshop Concept Plus Organizer*

No	Bangunan	Konsumsi/ Bulan	Luas Ruangan (m ²)	IKE (kWh/m ² / bulan)	Ket.IKE (kWh/m ² /bulan)
1	Kantor	1789	90	19,88	Boros (>18,5)
2	Workshop	287	36	7,97	Boros (>7,4)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik untuk Indonesia dikualifikasikan menjadi beberapa standarisasi, yaitu (Direktorat Konservasi Energi, 2020) :

- a. IKE perkantoran : 240 kWh/ m² per tahun
- b. IKE pusat belanja : 330 kWh/ m² per tahun
- c. IKE hotel/apartemen : 300 kWh/ m² per tahun
- d. IKE rumah sakit : 380 kWh/ m² per tahun

II.1.5 Sistem Tata Udara

Sistem tata udara sangat berperan penting dalam menciptakan kondisi udara ruangan yang efisien serta kondusif bagi kesehatan dan kenyamanan pengguna (Taufiq, 2021). Pada dasarnya kenyamanan manusia dalam sebuah bangunan dapat dirasakan secara fisik maupun nonfisik. Kenyamanan fisik merupakan kebutuhan dasar seseorang, sedangkan non fisik terletak pada persepsinya. Pembahasan dititikberatkan pada kenyamanan termal. Untuk kondisi iklim Indonesia (tropis), proses pengkondisian udara yang berupa pendinginan banyak sekali digunakan bahkan bisa menjadi sebuah keharusan. Sistem tata udara berupa pendinginan ini berfungsi untuk menciptakan kenyamanan bagi beberapa aktivitas manusia. Semakin nyaman suatu ruangan tentu akan meningkatkan tingkat produktifitas di dalamnya. Persyaratan termal yang ditetapkan di Indonesia adalah Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran (PT. ERM INDONESIA, 2002).

Sesuai dengan SNI 03-6572-2001 kenyamanan termal ruangan ditentukan oleh 3 faktor yaitu :

1. Temperatur/suhu

Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi:

- a. sejuk nyaman, antara temperatur efektif 20,50C ~ 22,80C,
- b. nyaman optimal, antara temperatur efektif 22,80C ~ 25,80C,
- c. hangat nyaman, antara temperatur efektif 25,80C ~ 27,10C.

2. Kelembaban

Untuk daerah tropis, kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40% ~ 50%, tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif masih diperbolehkan berkisar antara 55% ~ 60%.

3. Aliran udara

Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik dan sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/detik.

1) Sistem Pengkondisian Udara Sentral

Menurut Dewantoro, 2020 dalam penelitiannya, sistem tata udara sentral berupa proses pendinginan udara yang terpusat pada satu lokasi, kemudian didistribusikan ke semua arah (lokasi). Adapaun untuk instalasi pengkondisian udara ruangan yang digunakan dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu unit pendingin atau *Chiller*, Unit penanganan udara atau *Air Handling Unit (AHU)* dan *Cooling Tower*.

Pada unit pendingin atau *chiller* terdapat kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator sebagai bagian penting yang menggunakan sistem kompresi uap dimana komponen ini terdiri dari kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Pada *chiller* biasanya *ripe* kondensornya adalah *water-cooled condensor*. Air yang digunakan untuk mendinginkan kondensor dialirkan melalui pipa, kemudian outputnya didinginkan kembali secara *evaporative cooling* pada *cooling tower*. Pada komponen evaporator, jika sistemnya *indirect cooling* maka fluida yang didinginkan tidak langsung, melainkan dialirkan sesuai sistem pemipaan yang ada. Air yang mengalami pendinginan pada evaporator dialirkan menuju sistem penanganan udara (AHU) menuju koil pendingin. Setelah itu udara yang telah mengalami penurunan temperatur didistribusikan secara merata ke setiap ruangan melewati saluran udara (*ducting*) yang telah dirancang terlebih dahulu sehingga lokasi yang jauh sekalipun bisa terjangkau (Syahputra et al., 2021).

Adapun beberapa kelemahan dari sistem ini adalah jika satu komponen mengalami kerusakan dan sistem AC sentral tidak berjalan dengan baik maka menimbulkan masalah yang serius terhadap kenyamanan yakni semua ruangan tidak akan merasakan udara sejuk.

2) *Chiller*

Pengkondisian udara ini didukung oleh sistem *Air Conditioning* (AC). Secara garis besar sistem AC dapat dibagi menjadi 2 kelompok besar jika ditinjau dari cara pendinginan dan cara penguapan udara yang dikondisikan (Syahrizal et al., 2013) :

a. *Direct Expansion/DX system*

Udara yang akan dikondisikan langsung didinginkan oleh *refrigerant* di dalam evaporator.

b. *Indirect System/Chiller Water System*

Udara yang akan dikondisikan didinginkan oleh air dingin yang diperoleh dari pendinginan di *cooler/evaporator chiller, cooling coil*-nya berisi air dingin bukan *refrigerant*.

Adanya beban pendinginan yang besar karena sebagian besar ruangan menggunakan udara terkondisikan maka mesin pendingin yang digunakan adalah *water chiller*. *Chiller* memanfaatkan efek pendinginan yang terjadi di evaporator untuk menurunkan suhu air. Air dingin tersebut selanjutnya didistribusikan secara merata ke seluruh unit pengolahan udara (AHU dan FCU) (Dewadi et al., 2023).

3) *Air Handling Unit*

Dalam pengkondisian udara yang terkondisikan ke seluruh ruangan, digunakan unit pengolahan udara yang dinamakan *Air Handling Unit* (AHU). Pengaplikasian AHU yaitu pada beban pendinginan yang besar, dalam sistem ini AHU digunakan untuk mengkondisikan udara segar dari udara luar yang akan didistribusikan sebagai tambahan udara segar (Irawan & Sumarna, 2019).

Komponen-komponen dari AHU tergolong cukup sederhana yang terdiri dari *casing*, koil, filter udara dan *motor blower*. Jika diperhatikan, komponen-komponen yang ada di dalamnya maka setiap AHU memiliki :

- *Filter* merupakan penyaring udara dari kotoran, debu atau partikel-partikel lainnya sehingga diharapkan udara yang dihasilkan lebih bersih. Filter ini dibedakan kelas-kelasnya.

- *Centrifugal fan* merupakan kipas/blower sentrifugal yang berfungsi untuk mendistribusikan udara melewati ducting menuju ruangan-ruangan.
- Koil pendingin, merupakan komponen yang berfungsi menurunkan temperatur udara. Prinsip kerja secara sederhana pada unit penanganan udara ini adalah menyedot udara dari ruangan (*return air*) yang kemudian dicampur dengan udara segar dari lingkungan (*fresh air*) dengan komposisi yang bisa diubah-ubah sesuai keinginan. Campuran udara tersebut masuk menuju AHU melewati *filter, fan sentrifugal* dan koil pendingin.

4) *Cooling Tower*

Cooling tower berfungsi sebagai pendingin unit *condenser* pada unit *Chiller* dengan menggunakan air sebagai media, sistem kerja *Cooling Tower* dapat dijelaskan sebagai berikut : *condenser* di unit *Chiller* akan memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi akibat tekanan kerja dari kompresor, sehingga diperlukan media pendingin untuk merubah *fase refrigerant* di *condenser* tersebut, oleh karena itu dibuat suatu sistem pendingin dengan menggunakan air yang disirkulasikan oleh pompa ke unit *Cooling Tower*, dimana air yang disirkulasikan tersebut akan membawa kalor dari kondenser yang kemudian dilepaskan kalornya ke udara di *Cooling Tower*, sehingga air akan mengalami penurunan dan kembali disirkulasikan kembali ke unit kondensor (Safytri et al., 2020).

Untuk melihat kinerja dari *cooling tower*, harus dilakukan pengukuran pada beberapa parameter di *cooling tower* berupa (Handoyo, 2015) :

- Temperatur *wet bulb*
- Temperatur *dry bulb*
- Temperatur *air inlet cooling tower*
- Temperatur *air outlet cooling tower*
- Temperatur *exhaust*
- Daya pompa

II.1.6 Sistem Pencahayaan

Pada suatu fasilitas bangunan komersial, penggunaan energi pencahayaan sangat bervariasi dengan kisaran 10-30% dari total penggunaan energi listrik. Meskipun demikian, penggunaannya bukan pengguna energi terbesar namun tetap dibutuhkan penghematan energi pada sistem pencahayaan karena memberikan sumbangsi yang cukup berarti dalam upaya penghematan energi. Sistem ini terbagi dua kelompok besar yaitu, cahaya buatan dan cahaya alami (Gunawan et al., 2012).

Dalam perancangan suatu gedung, dalam upaya penghematan energi pemanfaatan cahaya alami sangat berpengaruh sebagai upaya penghematan sumber cahaya buatan khususnya bangunan-bangunan yang beroperasi pada siang hari. Maka selain potensi cahaya alami tersebut yang harus dipertimbangkan, melakukan perancangan sistem pencahayaan buatan agar tetap berada pada standar hemat pun harus diperhatikan dan memenuhi hal-hal sebagai berikut (Putri, 2015) :

- i. Tingkat pencahayaan minimum yang direkomendasikan.
- ii. Daya pencahayaan maksimum yang diijinkan.

Pengertian sistem penerangan pada bangunan adalah suatu bentuk instalasi penerangan yang dirancang guna mendukung segala aktivitas kerja yang berlangsung normal pada bangunan tersebut. Menggunakan instalasi penerangan yang sesuai dan memenuhi kebutuhan aktivitas kerja dalam instalasi penerangan dapat ditetapkan setelah mengetahui bagaimana pola aktivitas kerja dan kondisi fisik dari ruangan bangunan tersebut (Ardiyanto, 2015).

1) Perhitungan Daya Listrik Untuk Penerangan

Pancane et al., 2022 dalam penelitiannya menyatakan bahwa perhitungan pemakaian daya listrik untuk penerangan dapat dilakukan dengan perhitungan langsung pada jumlah lampu yang terpasang, menurut jenis lampu yang dipergunakan, sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh produsen.

Untuk jenis lampu pijar, daya terpakai sesuai dengan daya yang tertulis sedangkan untuk jenis lampu *fluoresen* daya yang diperlukan lebih besar dari daya yang tertulis, disebabkan karena pemakaian *ballast*. Oleh karena pada jenis lampu *fluoresen*, perhitungan daya semuanya harus dibagi dengan faktor daya dari lampu tersebut, dan secara matematis perhitungan daya listrik pemakaian adalah sebagai berikut (Manurung & Manihuruk, 2013) :

$$P = CI \cos \varnothing \quad (1)$$

dimana :

P = daya pemakaian (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

Cos \varnothing = faktor daya

2) Tingkat Pencahayaan

Kuantitas cahaya yang dihasilkan dari sistem penerapan dapat dihitung dengan metode titik demi titik dan metode lumen. Dengan perhitungan metode lumen hasil yang diperoleh adalah perhitungan berdasarkan standar kuat penerangan untuk ruangan secara umum tanpa memperhatikan efektivitas dari pemakaian penerangan buatan pada bidang kerja tanpa mengurangi kenyamanan pemakaian penerangan buatan (Soewono & Suhaevi, 2019).

Pencahayaan yang baik adalah pencahayaan yang tingkat pencahayaannya sesuai dengan sifat pekerjaan yang harus dilakukan, panjang

waktu kerja, umur penghuni dan lain-lain (Fleta, 2021). Pengurangan tingkat pencahayaan pada tingkat minimum yang direkomendasikan merupakan salah satu peluang penghematan energi pada sistem pencahayaan (Irfan et al., 2014).

Berikut adalah nilai pencahayaan yang direkomendasikan yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Tingkat Pencahayaan Rata-rata yang Direkomendasikan

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (Lux)
Perkantoran	
Ruang Direktur	350
Ruang Kerja	350
Ruang Komputer	350
Ruang Rapat	300
Ruang Gambar	750
Ruang Arsip	150

3) Daya Pencahayaan

Daya maksimum yang diijinkan untuk pencahayaan di dalam ruangan gedung, parameter tidak boleh melebihi nilai maksimum untuk masing-masing jenis ruangan (Nurin Hamdani et al., 2023). Pada Tabel 4 berikut ini ditampilkan daya pencahayaan untuk beberapa macam ruangan.

Tabel 4 Pencahayaan Maksimum

Lokasi	Daya pencahayaan maksimum (W/m²) (termasuk rugi-rugi balast)
Ruang kantor	15
Auditorium	25
Pasar swalayan	20
Hotel	
Kamar Tamu	17
Daerah Umum	20
Rumah sakit :	
Ruangan pasien	15
Gedung	5
Kafetaria	10
Garasi	2

Lokasi	Daya pencahayaan maksimum (W/m ²) (termasuk rugi-rugi balast)
Restauran	25
Lobi	10
Tangga	10
Ruang parkir	5
Ruang perkumpulan	20
Industri	20
Pintu masuk dalam kanopi :	
Lalu lintas sibuk seperti hotel, bandara, teater	30
Lalu lintas sedang seperti rumah sakit, kantor dan sekolah	15
Jalan dan lapangan :	
Tempat penimbunan atau tempat kerja	2
Tempat untuk santai	1
Jalan untuk kendaraan dan pejalan kaki	1.5
Tempat parkir	2

Sumber : (SNI 03-6197-2000, 2000)

4) Pemilihan lampu

Salah satu yang perlu diperhatikan pada sebuah lampu adalah efikasinya yang dinyatakan dalam lumen/watt. Lumen merupakan jumlah fluks cahaya dari lampu, yang berkaitan dengan intensitas atau derajat keterangan (*brightness*) dari lampu tersebut. Dari konsep tersebut dapat diartikan bahwa efikasi adalah ukuran efektifitas lampu dalam mengubah energi listrik menjadi cahaya terpakai (Harto Saputro et al., 2013).

Pemilihan lampu yang akan digunakan pada sebuah bangunan atau fasilitas sangat berpengaruh terhadap kondisi vital seperti fungsi dari ruangan yang diberi penerangan dan besarnya energi yang digunakan. Pengaturan yang tepat pada pemenuhan fasilitas penerangan ruangan akan mengefisiensikan daya yang dipakai sehingga tercapai upaya penghematan energi listrik (Nur et al., 2011).

Berikut ini adalah definisi dari beberapa jenis lampu dan spesifikasinya masing-masing :

a. Lampu *fluoresen*

Konsep pencahayaan lampu *fluoresen* adalah dengan cara membuat bunga api listrik di antara dua buah elektroda dalam sebuah tabung gelas berisi uap air raksa dengan tekanan rendah yang dicampur dengan gas mulia. Cahaya dihasilkan oleh lapisan fosfor pada bagian dalam gelas yang diaktifkan oleh energi *ultra violet* yang dihasilkan oleh pelepasan muatan (*discharge*). Lampu ini biasanya berbentuk tabung panjang dengan kedua elektroda ditempelkan pada kedua ujungnya. Komposisi fosfornya menentukan kualitas dan warna cahaya yang dipancarkan (Saver, 2014).



Gambar 2 Lampu Fluoresen

[sumber : <https://www.tokopedia.com>]

b. Lampu LED

Lampu LED adalah lampu yang didalamnya terdapat bahan semikonduktor di mana pada kondisi tertentu dapat memancarkan gelombang elektromagnetik pada semua panjang gelombang (inframerah untuk telekomunikasi, *ultraviolet* untuk aplikasi medis, dll). Intensitas cahaya yang tinggi dan renderasi warna yang bagus menyebabkan lampu ini sangat baik jika digunakan di fasilitas olahraga. Lampu LED harganya lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis lampu yang lain. Namun hal tersebut sesuai dengan kualitas pencahayaannya dan umur pemakaiannya yang panjang (Suyatno et al., 2020).



Gambar 3 Lampu LED

[Sumber : <https://www.lighting.philips.com>]

II.1.7 *Support Vector Regression (SVR)*

SVM (*Support Vector Machine*) dirancang dan diimplementasikan oleh Vapnik, dianggap sebagai Teknik pembelajaran berdasarkan observasi. SVM merupakan model pembelajaran yang menganalisis data untuk klasifikasi atau analisis regresi (SVR) (Octaviani et al., 2014).

1) Kosep Dasar SVR

Prinsip pemodelan SVR adalah menemukan model (fungsi $f(x)$) dengan deviasi ε dari nilai target sebenarnya y_i dari data latih x_i . The SVR regression planning stage considers the data set $D = \{[x_i, y_i] \mid x_i \in \mathbb{R}^n, y_i \in \mathbb{R}, i = 1, \dots, n\}$. Secara matematis bentuk fungsi linier dapat ditulis :

$$f(x) = w \cdot x + b \quad (2)$$

Fungsi regresi optimal diperoleh dengan

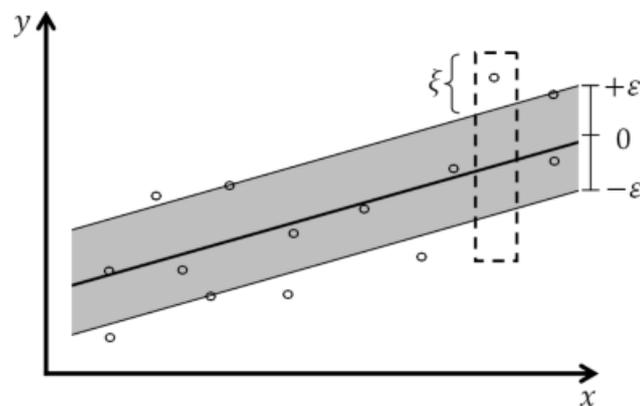
$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^k (\xi_i^+ + \xi_i^-) \quad (3)$$

bergantung pada

$$\begin{aligned} y_i - (w, x) - b &\leq \varepsilon + \xi_i^+, \\ (w, x) + b - y_i &\leq \varepsilon + \xi_i^-, \\ \xi_i^+, \xi_i^- &\leq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

dimana konstanta $C \geq 0$ menentukan *trade-off* antara kerataan f dan data deviasi, sedangkan ξ_i^+, ξ_i^- adalah *variable slack* untuk mengatasi jika ada kendala pada masalah optimasi dari rumus (3) yang tergantung pada rumus (4).

Gambar 1 menjelaskan bahwa garis $-\varepsilon$ dan $+\varepsilon$ merupakan garis yang dilalui titik-titik data atau dengan kata lain disebut juga *support vector*. Garis tengah yang memisahkan antara $-\varepsilon$ dan $+\varepsilon$ disebut *hyperplane*. Titik-titik yang berada diluar daerah berarsir disebut dengan *variable slack*.



Gambar 4 *Soft Margin Hyperplane SVR*

Dari kebanyakan kasus masalah optimasi, penyelesaiannya akan lebih mudah bila dilakukan dengan pendekatan formulasi dual (*dual formulation*). Formulasi ini membuka ruang untuk perluasan dari fungsi linier ke fungsi tak linier.

SVR menggunakan fungsi kernel untuk mentransformasikan input non linier ke dalam fitur dengan dimensi yang lebih tinggi yang kemudian diselesaikan secara linier, ditunjukkan oleh rumus (5-7). Fungsi kernel yang biasa digunakan dalam SVR adalah

- Kernel Linier

$$k(x_i, x_j) = x_i \cdot x_j \quad (5)$$

- Kernel Radial Basis Function (RBF)

$$k(x_i, x_j) = ((x_i \cdot x_j) + 1)^d \quad (6)$$

- Kernel Polynomial

$$k(x_i, x_j) = \exp(-\gamma |x_i - x_j|^2) \quad (7)$$

2) Parameter Performance

Kinerja sistem yang dikembangkan diukur dengan mengevaluasi hasil klasifikasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang ditunjukkan dengan rumus (8).

$$\text{MAPE} = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f(x) - y_i}{y_i} \right| \quad (8)$$

di mana n adalah jumlah data yang digunakan, $f(x)$ adalah output dari SVR, dan y menunjukkan nilai target yang sesuai. Nilai MAPE yang diperoleh dibandingkan untuk melihat efek preprocessing data, yang dapat membantu untuk menentukan data pelatihan terbaik.

Nilai MAPE dibagi dalam 4 kategori yaitu berdasarkan nilai persentase yang diperoleh:

- <10% = sangat akurat
- 10-20% = baik
- 20-50% = layak
- >50% = tidak akurat

Hasil suatu metode peramalan mempunyai kemampuan sangat baik jika nilai MAPE < 10% dan mempunyai kemampuan pendugaan baik jika nilai MAPE diantara 10% dan 20% (Bayu Saputro et al., 2022).

II.2 State Of Art Penelitian

State of The Art merupakan sebuah ringkasan tabel yang memuat penelitian-penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan seperti judul, penulis, penerbit, tahun, metode dan hasil yang dicapai. Berikut beberapa penelitian yang berhubungan dengan konservasi energi pada bangunan gedung pendidikan.

Tabel 5 State Of The Art

No	Penulis	Judul	Informasi Umum	Metode	Kesimpulan
1	(Soelami et al., 2021)	<i>Data Driven Building Electricity Consumption Model Using Support Vector Regression</i>	Fokus penelitian adalah membuat model konsumsi listrik gedung menggunakan metode SVR dengan menggunakan data konsumsi energi listrik gedung kampus ITB selama 5 tahun. Batas toleransi konsumsi energi rata-rata per jam ditentukan untuk mendapatkan data pelatihan yang berkualitas baik.	<i>Support Vector Regression (SVR)</i>	Model ini menghasilkan nilai Mape sebesar 14,79% dan nilai RMSE sebesar 7,48% saat memprediksi konsumsi listrik mingguan. Oleh karena itu model berbasis data dapat memperkirakan konsumsi listrik secara memuaskan.
2	(Muhammad, 2017)	<i>The Energy Audit Process for Universities Accommodation in Malaysia: A Preliminary Study</i>	Penelitian ini berfokus pada pembahasan proses evaluasi pemakaian energi yang dilakukan di universitas-universitas Malaysia dengan membandingkan hasil investigasi perilaku konsumsi energi dengan indikator Indeks Efisiensi Energi (IEE) dan dikombinasikan dengan perangkat HOMER.	<i>Sequential Mixed-Method Approaches Techniques</i>	Hasil penelitian berupa pola penggunaan energi sebagai pedoman bagi universitas lain yang mengkonsumsi energi yang besar, untuk membantu meningkatkan pelaksanaan energi di universitas mereka.
3	(Alajmi, 2012)	<i>Energy Audit of An</i>	Penelitian tentang pemakaian energi listrik pada bangunan	<i>Energy Audit Level 3</i>	Audit tingkat satu mengidentifikasi

No	Penulis	Judul	Informasi Umum	Metode	Kesimpulan
		<i>Educational Building in a Hot Summer Climate</i>	gedung Departemen Teknik Mesin (MED) Sekolah Tinggi Studi Teknologi (CTS), Kuwait dengan total area 7020 meter persegi dengan iklim musim panas yang tinggi. Dengan parameter data berupa sistem pencahayaan, penggunaan pendingin udara, sirkulasi air serta peralatan listrik lainnya.		banyak peluang penghematan energi, penilaian level2, 49,3% dari konsumsi energi gedung dapat dihemat dengan periode pembayaran kembali setengah tahun jika ada rekomendasi yang diterapkan.
4	(Roslizar et al., 2014)	<i>Annual Energy Usage Reduction and Cost Savings of a School: End-Use Energy Analysis</i>	Penelitian ini menganalisis penggunaan energi dari sekolah dasar dan mengidentifikasi potensi pengurangan energi dan penghematan biaya. Audit awal dilakukan, dan beberapa langkah konservasi energi diusulkan. Langkah- Langkah konservasi energi, dengan mengacu pada standar MS1525: 2007, dimodelkan untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi dan penghematan biaya.	<i>Energy Conservation</i>	Ditemukan bahwa ada pengurangan energi potensial dan penghematan biaya 20,7% ketika langkah-langkah konservasi energi benar-benar dilaksanakan.
5	(Lekshmanan & Maria, 2014)	<i>Energy Auditing –</i>	Penelitian tentang audit energi yang merupakan solusi terbaik untuk konservasi energi di mana sistem ini dianalisis dengan baik	<i>Energy Conversation</i>	Makalah ini berfokus pada pentingnya audit energi dengan

No	Penulis	Judul	Informasi Umum	Metode	Kesimpulan
		<i>A Walk-Through Survey</i>	dan laporan yang menyatakan kemungkinan perubahan dalam sistem tanpa output negatif dievaluasi, mempertimbangkan beban pencahayaan konvensional dari sebuah lembaga pendidikan dan menggantinya dengan lampu hemat energi serta membandingkan hasilnya.		mempertimbangkan beban pencahayaan konvensional dari lembaga pendidikan dan mengganti dengan lampu hemat energi dan membandingkan hasilnya.
6	(R K & CV, 2017)	<i>Energy Audit for an Educational Building Which Operates in Middle East Climatic Conditions</i>	Penelitian tentang evaluasi pemakaian energy, dimana dilakukan untuk bangunan pendidikan yang berfungsi selama 20 tahun terakhir di kawasan Timur Tengah. Wilayah ini memiliki kondisi iklim yang ekstrim baik untuk musim panas maupun musim dingin. Di musim panas suhunya mencapai hingga 48°C. Konsumsi energi paling tinggi pada musim panas . evaluasi dilakukan untuk energi yang dikonsumsi terutama untuk sistem pendinginan serta penggunaan lainnya seperti penerangan dan aksesoris mengajar.	<i>Energy Conversation</i>	Hasil-hasil penting didapatkan dengan meretrofit selubung bangunan dan perubahan penerangan ke LED. Payback period yang sederhana didapat sebagai 5.49 tahun. Penghematan yang cukup besar dalam emisi karbon juga dicatat sebagai hasil dari retrofit ini.

No	Penulis	Judul	Informasi Umum	Metode	Kesimpulan
7	(Li & Wang, 2020)	<i>Office building energy consumption prediction based on LSTM and SVR</i>	makalah ini mengusulkan metode prediksi konsumsi energi yang cocok untuk operasional gedung perkantoran agar dapat menghemat energi secara efisien. Untuk mencapai hasil peramalan yang lebih masuk akal dan akurat, metode ini memisahkan peramalan menjadi peramalan jangka pendek dan peramalan jangka panjang.	Metode LSTM dan SVR	Model jaringan saraf LSTM cocok untuk prediksi konsumsi energi jangka pendek dan model SVR lebih baik untuk prediksi konsumsi energi jangka panjang, memberikan pedoman pengambilan keputusan untuk membangun manajemen dan operasi efisiensi energi