

SKRIPSI

ANALISIS AUDIT ENERGI UNTUK PENCAPAIAN ENERGI LISTRIK OPTIMAL DI GEDUNG UPT PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD HAIKAL JAUHARI
2007220081



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M Haikal Jauhari 2007220081

NPM : 2007220081

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : analisis audit energi untuk pencapaian energi listrik optimal di
gedung upt pt pln nusantara power updk belawan

**DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA PANITIA
UJIAN SKRIPSI**

Medan, 26 Agustus 2025 Dosen

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Benny Oktrialdi', with a stylized flourish at the end.

Benny Oktrialdi, ST., MT.,

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Haikal Jauhari
NPM : 2007220081
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Energi Listrik
Optimal Digatedung UPT PT PLN Nusantara Power UPDK
Belawan
Bidang ilmu : sistem kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,

Medan, September 2025

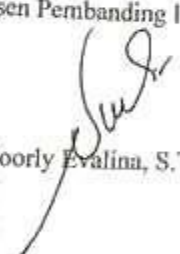
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Benny Oktialdi S.T., M.T.,

Dosen Pembanding I / Penguji



Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Penguji



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T



Studi Teknik Elektro



Elvy Ramli Nasution S.T., M.Pd.,

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Haikal Jauhari
Tempat /Tanggal Lahir : Medan 16 September 2002
NPM : 207220081
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Energi Listrik Optimal Di Gedung UPT PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2025



Saya yang menyatakan,

Muhammad Haikal Jauhari

ABSTRAK

Perkembangan penggunaan peralatan listrik dan elektronik pada gedung perkantoran semakin meningkat seiring dengan kebutuhan operasional yang tinggi. Peningkatan konsumsi energi listrik tersebut seringkali tidak sebanding dengan pasokan energi yang tersedia sehingga diperlukan upaya konservasi energi. Salah satu metode yang digunakan untuk mencapai efisiensi energi adalah audit energi, yang bertujuan mengetahui profil pemakaian listrik, mengevaluasi beban terpasang, serta mengidentifikasi potensi penghematan energi. Penelitian ini dilakukan pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan dengan metode eksplorasi, studi literatur, serta audit energi awal dan audit energi rinci. Audit energi awal dilakukan melalui pengumpulan data historis pemakaian energi, sedangkan audit rinci dilaksanakan dengan pengukuran langsung pada beban listrik yang digunakan di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas daya semu gedung adalah 75 kVA dengan total daya terpasang 73,536 kW dan biaya listrik rata-rata Rp 30.000.000 per bulan. Konsumsi energi tahunan tercatat sebesar 214.765,25 kWh dengan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) 198,856 kWh/m²/tahun. Nilai ini termasuk kategori efisien berdasarkan Permen ESDM No. 13/2012 serta standar ASEAN USAID (1987). Namun, kualitas daya listrik masih rendah dengan faktor daya 0,76. Diperlukan penambahan kapasitor bank sebesar 8,614 kVAR untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0,95. Dengan demikian, audit energi ini memberikan dasar rekomendasi bagi manajemen gedung dalam mengoptimalkan efisiensi energi listrik, mengurangi biaya operasional, serta mendukung penerapan konservasi energi yang berkelanjutan.

Kata kunci: Audit energi, efisiensi energi, IKE, faktor daya, kapasitor.

ABSTRACT

The increasing use of electrical and electronic equipment in office buildings significantly raises electricity consumption, which is often not proportional to the available energy supply. Therefore, energy conservation efforts are necessary to ensure efficient and sustainable use of electricity. One of the most effective methods to achieve this is through energy auditing, which aims to analyze energy usage profiles, evaluate installed loads, and identify potential savings opportunities. This study was conducted at the office building of PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan using an exploratory approach, literature review, and both preliminary and detailed energy audits. The preliminary audit was carried out by collecting historical energy consumption data, while the detailed audit was conducted through direct measurement of electrical loads operating within the building. The results show that the building's apparent power capacity is 75 kVA with a total installed load of 73.536 kW and an average monthly electricity cost of IDR 30,000,000. Annual electricity consumption reached 214,765.25 kWh, with an Energy Consumption Intensity (IKE) of 198.856 kWh/m²/year. This value is considered efficient based on the Ministry of Energy and Mineral Resources Regulation No. 13/2012 and ASEAN USAID (1987) standards. However, the building's power quality remains low with a power factor of 0.76, requiring an additional 8.614 kVAR capacitor bank to increase the power factor to 0.95. Thus, the findings of this energy audit can serve as a recommendation for building management to optimize electricity efficiency, reduce operational costs, and support sustainable energy conservation practices.

Keywords: Energy audit, energy efficiency, IKE, power factor, capacitor.

KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS AUDIT ENERGI UNTUK PENCAPAIAN ENERGI LISTRIK OPTIMAL DI GEDUNG UPT PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendo'akan dan memberikan kasih sayangnnya yang tidak ternilai kepada kami semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi S.T., M.T., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Benny Oktrialdi, ST., MT., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Satu Angkatan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT , kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Agustus 2025

M Haikal Jauhari
2007220081

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan.....	5
2.1.1 Jenis – Jenis Mikrokontroller.....	5
2.1.2 Managemen Energi.....	7
2.1.3 Konsep Managemen Energi.....	10
2.1.4 Energi.....	12
2.1.5 Prosedur Energi.....	14
2.1.6 Kebijakan Konservasi Energi dan Managemen Energi...	15
2.1.7 Pengembangan Kebijakan Energi.....	16
2.1.8 Energi Listrik.....	16
2.1.9 Audit Energi.....	20
2.1.10 Beban Listrik.....	36
2.1.11 Daya Listrik.....	40
2.1.12 Tarif Listrik.....	42
2.1.13 Kapasitor Bank.....	46
2.1.14 Rugi – Rugi Daya.....	49
2.1.15 Penyebab dan Akibat Rendahnya Faktor Daya.....	51
2.1.16 Metode Perbaikan Faktor Daya.....	54

BAB 3	METODE PENELITIAN.....	57
	3.1 Waktu dan Tempat.....	57
	3.2 Jenis Penelitian.....	57
	3.3 Variabel Penelitian.....	58
	3.4 Alat dan Bahan.....	58
	3.5 Proses Penelitian.....	60
	3.5 Alur Penelitian.....	61
BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	62
	4.1 Penggunaan Energi Listrik.....	62
	4.1.1 Daya Terpasang.....	62
	4.1.2 Daya Terpasang.....	65
	4.2 Intensitas Konsumsi Energi.....	67
	4.3 Analisis Kualitas Energi Listrik.....	68
BAB 5	PENUTUP.....	73
	5.1 Kesimpulan.....	73
	5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA		

BAB 1

PENDAHULUAN

10.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di dunia telah menghasilkan berbagai penemuan baru, antara lain peralatan-peralatan elektronik. Penggunaan alat-alat listrik dalam kehidupan sehari-hari sangat praktis dan efektif. Namun semakin banyak peralatan elektronik digunakan di masyarakat juga menyebabkan konsumsi energi listrik juga meningkat. Peningkatan konsumsi energi listrik ini tidak sebanding dengan jumlah pasokan listrik dari pusat pembangkit. Untuk menghindari terjadinya pemborosan energi listrik, Direktorat Pengembangan Energi, Departemen Pertambangan dan Energi, telah membuat petunjuk konservasi energi pada bangunan gedung yang mengkonsumsi energi cukup besar, seperti perkantoran, rumah sakit, swalayan, dan lain – lain. Audit energi pada bangunan gedung dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi dan peluang penghematan energi pada bangunan gedung untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada bangunan gedung yang bersangkutan. Sehingga penggunaan energi pada bangunan gedung tersebut bisa lebih efisien dan menghemat biaya

Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaat energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada suatu perusahaan. Audit energi merupakan langkah awal untuk memulai manajemen energi yang baik. Pelaksanaan audit energi akan memperoleh data yang konkrit mengenai kondisi eksisting peralatan yang ada pada bangunan atau gedung, biaya operasional kebutuhan energi, manajemen energi yang dipakai pada bangunan atau gedung. Hasil data eksisting dapat dianalisa dan diidentifikasi peluang untuk penghematan energi dan langkah - langkah yang harus ditempuh dalam penghematan energi. Peluang penghematan energi diimplementasikan lewat simulasi untuk mengetahui

sejauh mana penghematan energi akan dicapai dan nilai uang yang dapat dihemat. Dari audit energi ini adalah berupa rekomendasi-rekomendasi yang harus dilakukan untuk manajemen energi yang baik agar dapat meningkatkan efisiensi dan akhirnya akan menekan biaya operasional energi listrik.

Penggunaan energi pada suatu industri sangatlah penting, terutama penggunaan energi listrik, porsi pemakaian serta alokasi dana untuk penyediaannya adalah sangat besar. Hal ini dapat dilihat bahwa peralatan seperti lampu, peralatan elektronik, sampai mesin produksi adalah beberapa alat yang dominan dalam operasional pabrik produksi. Untuk menanggulangi pemborosan pemakaian energi yang akan mengakibatkan pembekakan pada pembayaran listrik maka harus dilakukan efisiensi energi. Salah satu metode yang sekarang dipakai untuk mengefisienkan pemakaian energi listrik adalah konversi energi. Konversi energi adalah peningkatan efisiensi energi yang digunakan atau proses penghematan energi. Dalam proses ini meliputi adanya audit energi yaitu suatu metode untuk menghitung tingkat konsumsi energi suatu gedung atau bangunan, yang mana hasilnya nanti akan dibandingkan dengan standar yang ada untuk kemudian dicari solusi penghematan konsumsi energi jika tingkat konsumsi energinya melebihi standar baku yang ada.

Untuk merancang sistem tenaga listrik untuk pabrik produksi juga memerlukan perencanaan khusus, tenaga listrik dalam pabrik produksi dikatakan aman jika sudah memenuhi standar yang ditetapkan dalam skala internasional. PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan merupakan perusahaan yang menyediakan layanan melalui pembangkit yang dimiliki sendiri. Namun pada lokasi penelitian ini juga terdapat ruang kantor yang besar sebagai fasilitas kerja bagi karyawan yang ada pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan. Selaku PT yang menyediakan layanan energi listrik sudah menjadi keharusan dapat menggunakan energi listrik secara efisien sesuai dengan standart yang telah berlaku. Pada gedung perkantoran lokasi penelitian ini belum pernah dilakukan uji kelayakan efisiensi penggunaan energi listrik melalui audit energi, sehingga tidak

diketahui apakah penggunaan energi pada kantor tersebut termasuk boros atau efisien.

Berdasarkan hal yang dikemukakan diatas, penulis akan mencoba untuk mempelajari dan menyimpulkan hasil audit energi listrik terhadap gedung perkantoran yang ada pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan.

10.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai beban secara keseluruhan yang terpasang pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan?
2. Bagaimana proses audit energi terhadap beban terpakai yang ada pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan?
3. Apakah penggunaan energi listrik ada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan sesuai dengan standart?

10.3. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini dapat terfokus pada masalah yang telah dipaparkan maka penulis perlu membatasi pembahasan pada penelitian ini. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai beban secara keseluruhan yang terpasang pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan?
2. Melakukan proses audit energi terhadap beban terpakai yang ada pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan?
3. Mengetahui penggunaan energi listrik ada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan sesuai dengan standart?

10.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai beban secara keseluruhan yang terpasang pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan.

2. Menganalisis audit energi terhadap beban terpakai yang ada pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan.
3. Menganalisis penggunaan energi listrik ada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan sesuai dengan standart.

10.5. Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan untuk menambah pengetahuan mengenai audit energi listrik pada gedung perkantoran
2. Memberikan masukan dalam meningkatkan pengetahuan dan pemahaman tentang audit energi listrik pada suatu industri.
3. Sebagai sumbangsih pemikiran dan wawasan tentang audit energi listrik pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Landasan Teori

Dalam rangka mendukung efisiensi energi, berbagai regulasi dan standarisasi dibuat oleh beberapa pihak berwenang. Harapannya, jika efisiensi tercapai, maka berbagai dampak lingkungan akibat penggunaan energi dan ketergantungan pada sumber energi terbarukan dapat berkurang. Terwujudnya pemerataan konsumsi energi masyarakat, dan bahkan mendukung penurunan biaya operasional atas penggunaan energi. Pada peraturan yang dibuat pemerintah mengenai kebijakan energi nasional merupakan kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian energi dan ketahanan energi nasional, hal ini tertuang pada Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2014.

2.1.1. Konservasi Energi

Konservasi energi atau penghematan energi sendiri merupakan tindakan untuk mengurangi jumlah penggunaan energi baru, terbarukan dan tak terbarukan demi keberlangsungan kehidupan manusia dan lingkungan sekitarnya. Menghemat energi berarti tidak menggunakan energi listrik untuk suatu hal yang tidak berguna. Penghematan energi dapat dicapai dengan penggunaan energi secara efisien dimana manfaat yang sama diperoleh dengan menggunakan energi lebih sedikit, ataupun dengan mengurangi konsumsi dan kegiatan yang menggunakan energi.

Dalam menentukan ruang lingkup manajemen energi pastinya masing-masing akan berbeda, hal ini tergantung pada jenis usaha yang dilakukan. Sistem manajemen energi bisa dilaksanakan dengan semua sistem organisasi dan sistem usaha baik besar maupun kecil. Akan tetapi sistem manajemen energi tersebut jangan sampai bertentangan dengan

sistem kepatuhan dan prosedur yang sudah ada, hal ini bisa mengakibatkan

permasalahan baru baik permasalahan hukum maupun permasalahan kontrak yang berkaitan dengan sistem kepatuhan yang sudah disepakati bersama dengan pengelola usaha. Selain itu agar terciptanya implementasi usaha dengan manajemen energi yang baik, pengelola juga harus melakukan kontrak dan pengadaan peralatan fasilitas sesuai kebutuhan dan juga sesuai dengan program penghematan energi yang sudah ada. Dalam menentukan program berkelanjutan baik jangka pendek maupun sampai jangka panjang beberapa pertimbangan diperlukan antara lain pertimbangan penggunaan energi listrik. Untuk mengetahui dalam mengambil keputusan yaitu pada aspek sumber dana, waktu dan juga alokasi waktu yang digunakan.

Penghematan energi dapat menyebabkan berkurangnya biaya, serta meningkatnya nilai lingkungan, keamanan negara, keamanan pribadi, serta kenyamanan. Organisasi-organisasi serta perseorangan dapat menghemat biaya dengan melakukan penghematan energi, sedangkan pengguna komersial dan industri dapat meningkatkan efisiensi dan keuntungan dengan melakukan penghematan energi. Penghematan energi adalah unsur yang penting dari sebuah kebijakan energi.

Penghematan energi menurunkan konsumsi energi dan permintaan energi per kapita, sehingga dapat menutup meningkatnya kebutuhan energi akibat pertumbuhan populasi. Hal ini mengurangi naiknya biaya energi, dan dapat mengurangi kebutuhan pembangkit energi atau impor energi. Berkurangnya permintaan energi dapat memberikan fleksibilitas dalam memilih metode produksi energi. Selain itu, dengan mengurangi emisi, penghematan energi merupakan bagian penting dari mencegah atau mengurangi perubahan iklim. Penghematan energi juga memudahkan digantinya sumber-sumber tak dapat diperbaharui dengan sumber-sumber yang dapat diperbaharui. Penghematan energi sering merupakan cara paling ekonomis dalam menghadapi kekurangan energi, dan merupakan cara yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan meningkatkan produksi energi.

Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Dalam kaitannya konservasi energi untuk mencapai tercapainya ketahanan energi nasional, pemerintah telah menerbitkan berbagai regulasi mulai dari yang tertinggi yaitu Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi, Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, Instruksi Presiden dan berbagai peraturan menteri sebagai petunjuk operasionalnya. Dalam Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi diamanatkan bahwa konservasi energi menjadi tanggung jawab pemerintah, pemerintah daerah, pengusaha dan masyarakat. Selain itu konservasi energi nasional meliputi seluruh tahap pengelolaan energi, yaitu kegiatan penyediaan, pengusahaan, dan pemanfaatan energi serta konservasi sumber daya energi.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, definisi konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Oleh karenanya, pengusaha dituntut untuk dapat melaksanakan konservasi energi dalam setiap tahap pelaksanaan usaha; dan menggunakan teknologi yang efisien energi dan atau menghasilkan produk dan/atau jasa yang hemat energi.

2.1.2. Managemen Energi

Manajemen energi adalah suatu program yang direncanakan dan dilaksanakan secara sistematis untuk memanfaatkan energi secara efektif dan efisien dengan melakukan perencanaan, pencatatan, pengawasan dan evaluasi secara kontinu tanpa mengurangi kualitas produksi dan pelayanan. Manajemen energi mencakup perencanaan dan pengoperasian unit konsumsi dan produksi yang berkaitan dengan energi untuk mengelola secara aktif usaha penghematan penggunaan energi dan penurunan biaya energi. Pada umumnya manager atau bagian yang berkaitan langsung dengan sistem energi akan membuat suatu perencanaan energi secara prioritas agar mampu

mengefisiensikan penggunaan energi dalam setiap produktivitas usahanya. Sebelum melakukan manajemen energi, manajer umum atau yang berkaitan dengan penggunaan energi harus melakukan beberapa hal menunjang terciptanya organisasi yang lebih baik yaitu :

1. Manajer energi harus mampu mengetahui kapan saja energi digunakan di suatu usaha yang sedang dijalankan. Kemudian manajer energi mampu mengidentifikasi kapan saja energi digunakan dengan kapasitas besar.
2. Manajer Energi harus mampu mengidentifikasi penghematan penggunaan energi dan mampu menganalisa apakah penghematan penggunaan energi hanya dilakukan pada penggunaan sistem pencahayaan atau penggunaan sistem energi lainnya.
2. Manajer Energi melakukan program temuan penghematan penggunaan energi yang paling baik
3. Manajer Energi melakukan perawatan melalui koordinasi dengan pihak pemeliharaan sarana bangunan gedung. Dan juga manajer energi harus membuat perencanaan investasi guna mendukung program yang dimaksud dan juga berapa lama investasi tersebut kembali.

Selain itu untuk mendukung program manajemen energi ada beberapa yang harus diperhatikan agar terwujudnya sistem manajemen energi (SME) di suatu usaha. Adapun yang harus diperhatikan antara lain :

1. Mengembangkan dan menerapkan kebijakan mengenai energi baik peraturan Undang-Undang Pemerintah Pusat dan juga peraturan pemerintah daerah mengenai penghematan energi tersebut.
2. Melakukan identifikasi penggunaan energi utama pada usaha yang sedang dijalankan. Hal ini berguna untuk mengetahui penggunaan energi dari sumber utama pendukung penggerak usaha.
3. Manajemen atau pengelola usaha harus memiliki tujuan utama dalam penghematan energi tersebut. Dan setelah penghematan energi berhasil

dilakukan pihak pengelola juga harus memiliki target terukur guna terciptanya manajemen energi secara terus menerus.

4. Dalam terwujudnya manajemen energi ataupun penghematan energi pihak pengelola harus berkomitmen menerapkan seluruh program manajemen energi guna tercapainya tujuan dan sasaran tersebut.

Tujuan manajemen energi yaitu penghematan sumber daya, perlindungan iklim, dan penghematan biaya. Bagi konsumen, manajemen energi mempermudah untuk mendapatkan akses terhadap energi sesuai dengan apa dan kapan yang mereka butuhkan. Manajemen energi berkaitan dengan manajemen lingkungan, manajemen produksi, logistik, dan fungsi yang berhubungan dengan bisnis lainnya. Manajemen energi yang merupakan kegiatan di suatu perusahaan yang terorganisir dengan menggunakan prinsip-prinsip manajemen, dengan tujuan agar dapat dilakukan konservasi energi, sehingga biaya energi sebagai salah satu komponen biaya produksi/operasi dapat ditekan serendah-rendahnya. Konservasi energi sendiri mengandung arti sebagai suatu usaha untuk tetap menggunakan energi secara rasional tapi tetap mempertahankan produktifitas dan terpenuhinya syarat-syarat kelola perusahaan.

Penggunaan energi rasional diantaranya dengan penghematan dan efisiensi energi. Jadi harus dibedakan antara penghematan energi dengan konservasi energi. Penghematan energi bisa saja dilakukan dengan hanya mengurangi penggunaan energinya tapi kenyamanan dan produktitas menjadi turun. Sementara konservasi energi adalah penerapan kaidah-kaidah dalam pengelolaan energi tidak hanya mengurangi pemakaian energinya tapi juga menerapkan pola operasi yang efisien, pemasangan alat tambahan yang meningkatkan performa sistem sehingga pemakaian energinya lebih rendah tapi tidak mengurangi kenyamanan dan produktifitas.

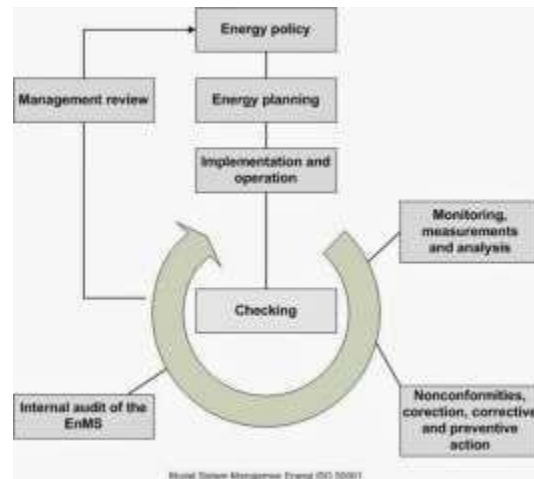
Pada intinya konservasi energi merupakan panduan bagaimana menghemat energi dengan benar dan berisi metode-metode dan alat-alat

yang bisa dipakai untuk penghematan energi tanpa mengurangi produktifitas dan kenyamanan. Sementara efisiensi energi artinya perbandingan antara penggunaan energi dengan hasil produksinya bisa kenyamanan, gerak dan lain-lain. Jadi efisiensi energi yang tinggi berarti pemakaian energinya rendah tapi produksi tinggi. Dengan demikian konsep konservasi energi lebih luas dibandingkan dengan efisiensi energi.

Secara internasional standar tentang manajemen energi adalah dengan ISO 50001 Energy Management System. ISO (International Standard Organization) adalah organisasi internasional untuk standar. System manajemen energi ini juga sesungguhnya tidak berdiri sendiri karena merupakan penggabungan dan harmonisasi dari sistem manajemen energi yang sudah diterapkan beberapa negara serta kawasan seperti Uni Eropa. Saat ini beberapa Negara seperti Denmark, Ireland, Sweden, US, Thailand, Korea telah memiliki national energy management standards sendiri. Sementara Uni Eropa bahkan sudah punya regional energy management standard yang sudah dipergunakan (Harahap, Benny, 2021)

2.1.3. Konsep Manajemen Energi

Konsep sistem manajemen energi yang membangun sistem dan proses secara manajerial dan teknis untuk mengelola penggunaan energi secara rasional. Konsep sistem manajemen energi baik secara manajerial maupun teknis terdiri dari 4 proses yang dikenal proses PDCA yaitu plan, do, check, dan act. Skema konsep sistem manajemen energi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Sistem Manajemen Energi

a. Perencanaan

Proses perencanaan energi mengkaji pemanfaatan energi dan konsumsinya, mengidentifikasi pemanfaat energi yang signifikan dan menentukan peluang untuk perbaikan. Perencanaan membahas berapa dan dimana energi yang digunakan, analisis pengguna energi yang signifikan, faktor yang mempengaruhinya, dan apakah perlu dilakukan pemeriksaan energi, optimasi sistem, pengembangan baseline dan indikator kinerja energi, menentukan tujuan dan target serta rencana aksi.

b. Implementasi dan Operasi

Tindakan dari perencanaan dilakukan dengan cara implementasi dan operasi melalui kompetensi, pelatihan dan kesadaran hemat energi, persyaratan dokumentasi, dokumen kontrol, kontrol operasi, komunikasi, desain, pembelian jasa energi, produk dan peralatan serta pembelian pasokan energi.

c. Pengecekan Kinerja

Check berarti proses pengecekan kinerja dari implementasi dan operasi yang dilakukan dengan cara pemantauan, pengukuran dan analisis, evaluasi dasar hukum, pemeriksaan internal sistem manajemen energi, ketidaksesuaian, koreksi, aksi korektif dan preventif, serta hasil penghematan. Checking yang dilakukan terdiri

dari pemeriksaan operasi melalui rekaman operator, pemeliharaan dan peralatan, pemeriksaan sistem melalui hasil kinerja obyek energi sesuai standar, pemeriksaan kinerja melalui indikator kinerja energi dan kecenderungan dan biaya konsumsi energi dan pemeriksaan kemajuan yang dicapai terhadap rencana

d. Review Manajemen

Act berarti aksi dimana proses ini mereview manajemen dan performa sistem melalui hasil analisis input dan output kinerja sistem manajemen energi. Manajemen energi sangat penting untuk diintegrasikan ke dalam struktur organisasi sebuah perusahaan yang konsumsi energinya sangat besar agar manajemen energi tersebut dapat diimplementasikan. Peran manajemen energi di dalam berbagai fungsi operasional adalah manajemen fasilitas, logistik, pembelian energi, produksi, perencanaan dan pengendalian produksi, dan pemelihara.

2.1.4. Energi

Kebijakan pemerintah mengenai penghematan energi yang dituangkan dalam Undang–Undang No. 30 Tahun 2007 tentang energi, dan Intruksi Presiden No. 2 Tahun 2008 tentang penghematan energi dan air, menginstruksikan Instansi Pemerintah, BUMN, BUMD, Pemerintah Daerah, masyarakat dan perusahaan swasta untuk melaksanakan program dan kegiatan penghematan energi dan air. UU. Energi Pasal 1 ayat 23 berbunyi konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Efisiensi energi adalah perbandingan antara pasokan energi (input) dengan manfaat hasil kerja dari energi (output).

Energi tak bisa lepas dari setiap kehidupan setiap makhluk hidup. Setiap aktivitas makhluk hidup di bumi membutuhkan energi untuk beraktivitas. Dalam fisika, energi adalah suatu objek yang dapat berpindah melalui interaksi fundamental, yang dapat diubah bentuknya namun tak

dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Energi memiliki bentuk dan semua bentuk energi berkaitan dengan gerak. Bentuk – bentuk energi tersebut antara lain ialah :

a. Energi Kinetik

Setiap materi yang berpindah atau bergerak memiliki bentuk energi yang disebut energi kinetik atau energi gerak. Energi kinetik adalah bentuk energi Ketika suatu materi berpindah atau bergerak. Contohnya, Ketika naik sepeda , kontraksi otot – otot kaki akan mendorong pedal sepeda.

b. Energi Potensial

Energi potensial ialah energi yang dimiliki oleh suatu materi karena lokasi atau tempatnya. Benda yang diletakkan diatas meja memiliki energi potensial gravitasi. Adanya energi potensial gravitasi, benda dapat bergerak dari meja ke tanah.

c. Energi Mekanik

Energi mekanik dapat diartikan sebagai penjumlahan antara energi potensial dan energi kinetik pada suatu benda Ketika melakukan usaha.

d. Energi Thermal

Energi thermal atau disebut sebagai energi panas adalah energi yang dihasilkan Ketika terjadi kenaikan suhu. Karena peningkatan suhu, molekul, dan atom akan bergerak lebih cepat. Energi thermal dapat diartikan sebagai bentuk energi yang dihasilkan Ketika suatu zat Dimana atom dan molekul yang bergerak dengan kecepatan yang lebih cepat akibat kenaikan suhu.

e. Energi Kimia

Energi kimia ialah energi yang terkandung dalam suatu zat. Misalnya bensin yang mengandung energi kimia. Melalui berbagai proses, energi kimia dalam bensin diubah menjadi bentuk energi lain sehingga dapat menggerakkan mesin mobil.

f. Energi Listrik

Energi Listrik ialah energi yang dimiliki muatan Listrik dan arus Listrik. Berdasarkan sumber nya, energi dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Energi Terbarukan

Energi terbarukan ialah sumber energi yang dimanfaatkan secara terus menerus yang tersedia di alam. Energi terbarukan juga merupakan sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Hal tersebut karena sumber energi terbarukan berasal dari proses alam yang berkelanjutan dan tersedia tanpa batas. Seperti energi air, energi angin, energi surya, energi panas bumi, dll.

b. Energi Tak Terbarukan

Energi tak terbarukan adalah sumber daya yang diambil dari alam Dimana proses pembentukannya membutuhkan waktu selama jutaan tahun lamanya. Energi tak terbarukan berasal dari sisa – sisa organisme purba dan terperangkap sangat lama. Oleh karenanya, energi tak terbarukan disebut energi fosil. Energi tak terbarukan jumlah nya terbatas di perut bumi. Jika digunakan terus menerus, sumber daya alam ini akan habis dan tidak bisa diperbarui lagi. Seperti contoh, batu bara, minyak bumi, gas bumi, dll. Energi dapat diibaratkan seperti uang, karena sangat vital bagi kebutuhan suatu perusahaan atau industri dan juga kini persediaan dari energi yang tidak dapat diperbaharui sudah mulai menipis. Pemakaian haruslah bijaksana, seproduktif dan seefisien mungkin. Karena harga dari energi tersebut tidaklah murah, maka sebagai suatu perusahaan atau industri haruslah melakukan upaya yang bertitik berat pada penghematan pemakaian energi.

2.1.5. Prosedur Energi

Prosedur energi merupakan bagan alir pelaksanaan pemeriksaan yang menggambarkan berbagai kegiatan awal calon pelaksana sampai ke kegiatan akhir energi. Tahap 1 dan Tahap 2 merupakan tahapan yang dilakukan oleh calon pemeriksaan sampai pada kesimpulan apakah

pemeriksaan dapat dilakukan secara keseluruhan atau hanya dilakukan pada beberapa bagian berdasarkan evaluasi awal yang dilakukan. Setelah mendapatkan kesimpulan bahwa pelaksanaan pemeriksaan akan dilakukan, maka perlu ditentukan berbagai langkah atau prosedur yang akan dilakukan. Prosedur yang dipakai akan bervariasi menurut ruang lingkup pemeriksaan yang diusulkan serta menurut ukuran dan jenis fasilitas. Prosedur berikut ini secara umum biasa digunakan untuk pelaksanaan/eksekusi pemeriksaan energi. Kegiatan Energi awal meliputi sebagai berikut :

- A. Dokumentasi bangunan yang dibutuhkan adalah gambar teknik bangunan sesuai pelaksanaan konstruksi (as built drawing), terdiri dari: Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai. Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai. Diagram satu garis listrik, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listriknya dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari Diesel Generating Set.
- B. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), dan air.
- C. Model Pengukuran energi : Seluruh analisis energi bertumpu pada hasil pengukuran. Hasil pengukuran harus dapat diandalkan dan mempunyai kesalahan (error) yang masih dapat diterima. Untuk itu penting menjamin bahwa alat ukur yang digunakan telah dikalibrasi oleh instansi yang berwenang. Alat ukur yang digunakan dapat berupa alat ukur yang dipasang permanen pada instalasi maupun yang dipasang sementara.

2.1.6. Kebijakan Konservasi Energi dan Manajemen Energi

Menurut kebijakan Energi Nasional pada tahun 2006, Pemerintah terus mengupayakan terciptanya target elastisitas konsumsi energi, guna mencapai target tersebut perlu adanya penerapan sistem manajemen dan teknologi energi secara keseluruhan. Untuk mendukung kebijakan

pemerintah tersebut, perlu dilakukan kajian-kajian mengenai penghematan energi baik di dalam bangunan gedung maupun dalam dunia industri.

Salah satu langkah yang dianggap penting dalam upaya terwujudnya penghematan energi adalah melakukan audit energi. Dalam hal ini pemerintah sudah mengatur regulasi mengenai permasalahan pemanfaatan energi di Indonesia, beberapa regulasi yang diberlakukan pemerintah antara lain :

1. Undang – undang Republik Indonesia No 30 Tahun 2007 Tentang Energi
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 70 Tahun 2009 Tentang Konservasi Energi
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional. Peraturan Menteri ESDM No.14 Tahun 2013 yang mengatur tentang Manajemen Energi.

2.1.7. Pengembangan Kebijakan Energi

Melakukan pengembangan dan menerapkan kebijakan energi menunjukan bahwa terjalannya komitmen antara pengelola usaha dan juga tim yang mengawasi sistem manajemen energi di usaha tersebut. Penerapan setiap kebijakan dapat menjelaskan maksud dan tujuan dari setiap program yang dimiliki organisasi manajemen energi tersebut. Hal ini harus tetap dilaksanakan terus menerus sesuai kesepakatan yang sudah disepakati pengelola dengan tim manajemen energi, apabila hasil penerapan kebijakan energi tersebut secara implementasi sudah bisa dilaksanakan maka pengelola harus menerapkan penghematan energi kepada seluruh area kerja baik dari level tertinggi sampai pada level terendah.

2.1.8. Energi Listrik

Energi listrik atau tenaga listrik adalah salah satu jenis energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan ampere (A) dan tegangan listrik dengan satuan

volt (V) dengan ketentuan kebutuhan konsumsi daya listrik dengan satuan Watt (W) untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan atau menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain. Energi listrik menjalankan peralatan rumah tangga, peralatan perkantoran, mesin industri, kereta api listrik, lampu umum, alat pemanasan, memasak, dan lain-lain. Energi yang dihasilkan dapat berasal dari berbagai sumber, seperti air, minyak, batu bara, angin, panas bumi, nuklir, matahari, dan lainnya. Satuan pokok energi listrik adalah Joule, satuan lain adalah KWh (Kilowattjam). Listrik untuk industri dan perumahan dihasilkan dari pembangkit listrik, misalnya: PLTA, PLTB, PLTD (diesel), PLTM, PLTS (surya), PLTU, dan lainnya. Terdapat banyak contoh dan macam sumber energi listrik sebagai berikut :

a. Energi Nuklir

Energi Nuklir merupakan sumber energi yang paling padat hingga saat ini. Bahan bakar nuklir merupakan uranium yang dimana jika sebanyak 100 kilogram uranium dapat berguna untuk menyalakan lampu dengan daya 100 Watt selama 180 tahun.



Gambar 2.2 PLTN

b. Energi Angin

Energi angin juga merupakan salah satu contoh sumber energi listrik. Salah satunya dengan kincir angin. Dengan memanfaatkan angin,

kita tidak lagi memerlukan bahan bakar sehingga bisa memanfaatkan angin sebagai salah satu sumber untuk listrik. Dengan kecepatan angin yang stabil dan kencang dapat menghasilkan energi yang besar dan stabil.



Gambar 2.3 PLTB

c. Energi Panas Bumi

Salah satu contoh sumber energi listrik lainnya adalah panas bumi. Namun, panas bumi cukup sulit untuk didapatkan di sembarang tempat. Meskipun demikian, panas bumi ini adalah salah satu hal yang merupakan sumber listrik tidak akan habis.



Gambar 2.4 PLTPB

d. Energi Matahari

Selain panas bumi, tenaga surya juga merupakan salah satu sumber listrik yang tidak akan pernah habis. Tenaga surya dimanfaatkan

sebagai salah satu sumber dengan mempertimbangkan beberapa kendala atau hambatan, misalnya cuaca dan biaya yang mahal untuk membuat reaktor.



Gambar 2.5 PLTS

e. Bendungan

Bendungan yang berada di pinggiran sungai dapat berguna untuk memutarakan turbin. Hal itu merupakan salah satu manfaat air sebagai energi yang dapat menghasilkan sumber listrik.



Gambar 2.6 PLTA

f. Energi Batubara

Batu bara dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan yang bisa menjadi sumber untuk membuat aliran listrik. Dibutuhkan sekitar

100 kilogram batu bara dapat membuat energi listrik yang mampu menyalakan sekitar 100 Watt listrik selama 4 hari. Namun, pemakaian batu bara untuk energi listrik memiliki beberapa kendala seperti membutuhkan area yang cukup luas hingga biaya yang sangat mahal. Tidak itu saja, kendala lainnya memakai batu bara sebagai sumber listrik bagi kehidupan juga dapat menambah polusi udara yang kurang baik.



Gambar 2.7 PLT Batu - Bara

2.1.9. Audit Energi

Energi merupakan salah satu faktor penting dalam operasional sebuah industri, perusahaan, maupun instansi lain, karena memiliki tingkat ketergantungan tinggi terhadap kebutuhan energi untuk operasional usahanya. Sehingga diperlukan upaya konservasi untuk mencapai tujuan efisiensi. Energi Listrik memiliki kontribusi besar terhadap biaya operasional yang harus dikeluarkan. Peranan listrik ini menjadi semakin penting mengingat adanya kenaikan tarif dasar listrik yang mau tak mau memaksa berbagai pihak berlomba-lomba untuk melakukan penghematan. Kenaikan harga listrik dunia rata-rata 7% setahun, sedangkan Indonesia sudah dicanangkan akan ada kenaikan 6% tiap 4 bulan. Salah satu alasan kenaikan harga ini adalah untuk membangun pembangkit baru guna mencukupi kebutuhan kenaikan konsumsi listrik. Jika setiap konsumen bisa menghemat

antara 5 – 10% saja, maka ada kemungkinan pada tahun ini tidak diperlukan pembangkit baru. (Hamdani et al., 2023)

Pemerintah bisa ikut berperan untuk mendukung program penghematan energi ini dengan memberikan insentif pada pelaksanaannya. Sesungguhnya program hemat energi ini memberikan keuntungan pada semua pihak, konsumen bisa mengurangi pembayaran rekening, perusahaan listrik tidak dikejar-kejar membuat pembangkit baru, pemerintah bisa mengurangi jumlah rencana hutang. Program penghematan listrik adalah bukan sekedar masalah teknis semata, melainkan merupakan pertimbangan dan keputusan manajemen, terutama ditinjau dari segi keuangan.

Dalam Audit energi merupakan kegiatan penelitian pemanfaatan energi untuk mengetahui keseimbangan dan mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi. Melalui audit energi, kita dapat mengetahui pola distribusi energi, sehingga bagian yang mengkonsumsi energi terbesar dapat diketahui. Dari hasil audit energi juga dapat diketahui besarnya peluang potensi penghematan apabila dilakukan peningkatan efisiensi. Apabila dalam sebuah rumah tangga, AC adalah perangkat penggerogot listrik terbesar maka bisa dibayangkan berapa banyak batubara harus dibakar untuk memenuhi listrik sebuah Mal, industri, pabrik-pabrik.

Audit energi dilakukan untuk mencapai hal sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai Intensitas Konsumsi Energi dan profil pemakaian energi eksisting operasional fasilitas suatu industri pada periode tertentu.
2. Untuk mengidentifikasi jenis alternatif konservasi energi, maupun penghematan energi sebagai bagian dari manajemen energi sebuah industri.
3. Memilih suatu keputusan alternatif jenis konservasi energi yang terbaik sebagai rekomendasi perencanaan manajemen energi industri.

Pelaksanaan audit energy pada dasarnya akan menguntungkan pihak itu sendiri. Kerena ada Aspek Pencapaian yang diharapkan dari proses Audit Energi, yaitu

1. *saving in money* : adanya manajemen energi, dapat mengurangi biaya operasional. Dengan demikian keuntungan yang diperoleh perusahaan akan meningkat.
2. *environmental protection* : adanya penggunaan energi yang efisien maka akan memberikan kontribusi bagi dunia dalam hal membantu pelestarian alam dengan menjaga dan mempertahankan cadangan minyak bumi dunia agar tidak segera habis.

sustainable development : adanya penggunaan energi yang efisien maka akan memberikan kontribusi bagi perusahaan di bidang pertumbuhan yang berkelanjutan baik di sisi finansial maupun penggunaan peralatan industri yang memiliki lifetime maksimum/optimum. Usaha-usaha untuk menghemat energi di segala bidang makin dirasakan perlu karena semakin terbatasnya sumber-sumber energi yang tersedia dan semakin mahalnya biaya pemakaian energi. Usaha-usaha penghematan energi pada suatu bangunan komersial seperti hotel atau suatu pabrik hanya dapat dilakukan jika telah diketahui untuk apa energi tersebut digunakan dan berapa besarnya pemakaian energi di tiap-tiap bangunan gedung hotel atau pabrik tersebut. Untuk mengetahui hal tersebut maka diperlukan pengetahuan tentang audit energi atau kesetimbangan energi. Berdasarkan kegiatan yang dilakukan pada akhirnya audit energi didefinisikan sebagai: kegiatan untuk mengidentifikasi jenis energi dan mengidentifikasikan besarnya energi yang digunakan pada bagian-bagian operasi suatu industri/pabrik atau bangunan serta mencoba mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi.

Audit energi dapat dilakukan setiap saat atau sesuai dengan jadwal yang sudah ditetapkan. Monitoring pemakaian energi secara teratur merupakan keharusan untuk mengetahui besarnya energi yang digunakan pada setiap bagian operasi selama selang waktu tertentu. Dengan demikian usaha-usaha penghematan dapat dilakukan. (Abdurarachim, 2002)

a. Konsep Audit Energi

Audit energi merupakan usaha atau kegiatan untuk mengidentifikasikan jenis dan besarnya energi yang digunakan pada bagian-bagian operasi

suatu industri/pabrik atau bangunan dan mencoba mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi. Sasaran dari audit energi adalah untuk mencari cara mengurangi konsumsi energi persatuan output dan mengurangi biaya operasi. Untuk mengukur besarnya efisiensi penghematan digunakan parameter Benefit Cost Ratio (BCR) yang didefinisikan sebagai : (Abdurarachim, 2002)

$$\text{BCR} = (E.a.b) / c \quad (2.1)$$

Keterangan :

E = Biaya energi tahunan, satuan uang

a = potensi energi tahunanm stuan uang, % dari E

b = realisasi biaya energi yang dapat dihemat, % dari a

c = biaya realisasi, satuan uang

b. Klasifikasi Audit Energi

1) Survery Energi

Survei energi merupakan jenis audit energi paling sederhana. Audit hanya dilakukan pada bagian-bagian utama atau pengguna energi terbesar. Tujuan dari survei energi adalah Untuk mengetahui pola penggunaan energi dan sistem yang mengkonsumsi energi serta untuk mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi (Energi Conservasi Oppurtunity = ECO), Untuk mendapatkan data yang berguna bagi audit energi awal. Pada survei energi, data-data dapat diperoleh melalui wawancara dengan orang-orang yang berhubungan dengan penggunaan energi pada beberapa tahun terakhir yang telah tersedia. Data-data tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui kecenderungan karakteristik pemakaian energi pada suatu industri, pabrik atau gedung. Hasil laporan hanya berupa rekomendasi atau usulan mengenai bagian-bagian yang perlu dilakukan audit rinci atau bagian-bagian yang telah optimal penggunaan energinya. (Jamal et al., 2019)

2) Audit Energi Awal

Tujuan dari audit energi awal (PEA) adalah untuk mengukur produktifitas dan efisiensi penggunaan energi dan mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi (ECO's).

Kegiatan audit energi awal meliputi :

1. Pengumpulan data-data pemakaian energi yang tersedia
2. Mengamati kondisi peralatan, penggunaan, penggunaan energi beserta alat-alat ukur yang berhubungan dengan monitoring energi
3. Mengamati prosedur operasi dan perawatan yang biasa dilakukan dalam industri/pabrik atau gedung tersebut.
4. Survei energi manajemen, yaitu untuk mengetahui kegiatan manajemen energi dan kriteria pengambilan keputusan dalam investasi penghematan energi

Hasil PEA biasanya berupa laporan mengenai sumber-sumber kebocoran / kehilangan energi seperti adanya isolasi yang tidak sempurna, kebocoran fluida atau alat ukur pengendali yang tidak bekerja, rekomendasi perbaikan ringan yang harus dilakukan

c. Audit Energi Rinci

Audit energi rinci (DEA) adalah audit energi yang dilakukan dengan menggunakan alat-alat ukur yang sengaja dipasang pada peralatan untuk mengetahui besarnya konsumsi energi. Kegiatan ini diikuti dengan analisis rinci penggunaan energi beberapa sistem. Tujuan dari audit energi ini untuk mengevaluasi kemungkinan penghematan energi (ECO's). Audit energi rinci biasanya dilakukan setelah PEA, meskipun sebenarnya audit energi ini dapat dilakukan sendiri, asalkan kegiatan yang tercangkup dalam PEA dilakukan pada awal kegiatan audit. Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran tekanan, temperatur, laju aliran fluida atau bahan bakar dan konsumsi energi listrik. Data-data pengukuran tersebut kemudian digunakan untuk menghitung besarnya konsumsi energi. Hal ini dilakukan dengan menerapkan balans energi pada komponen atau sistem. (Benang, n.d.)

Hasil DEA berupa rekomendasi perubahan-perubahan sistem atau komponen yang diperlukan dengan didasari oleh bukti-bukti perhitungan agar diperoleh penghematan energi dan penghematan biaya energi beserta cara-cara implementasinya.

Pelaksanaan audit energi harus dilaksanakan secara teliti dan menyeluruh mencakup aspek-aspek yang berhubungan dengan konsumsi energi.



Gambar 2.8 Alur Pelaksanaan Audit Energi

1. Mengamati dimana penggunaan energi terbesar

Cara untuk mengetahui penggunaan energi terbesar adalah dengan melakukan pengumpulan data berupa audit awal dan audit rinci. Pengumpulan data pada pelaksanaan audit energi ditujukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi performa peralatan

pengguna energi dan teknologi yang digunakan serta kondisi operasi proses pada masing-masing peralatan pengguna energi.

Kegiatan audit energi awal meliputi pengumpulan data energi bangunan gedung dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran. Data tersebut meliputi :

- a. Dokumentasi bangunan yang dibutuhkan adalah gambar teknik bangunan sesuai pelaksanaan konstruksi (as built drawing), terdiri dari:
 - 1) Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai
 - 2) Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
 - 3) Diagram satu garis listrik, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listriknya dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari Diesel Generating Set.
- b. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak (bbm), bahan bakar gas (bbg), dan air.
- c. Menghitung besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) gedung.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik adalah pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung. Sektor-sektor yang dapat dihitung

- a. Rincian luas bangunan gedung dan luas total bangunan gedung (m²).
- b. Konsumsi Energi bangunan gedung per tahun (kWh/tahun).
- c. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung per tahun (kWh/m².tahun).
- d. Biaya energi bangunan gedung (Rp/kWh).

Pengamatan penggunaan energi secara rinci perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada sebuah instansi, gedung, maupun industri sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaiannya cukup besar

Audit Energi Rinci. Audit energi rinci dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan. Jika dari hasil perhitungan IKE ternyata sama atau lebih kecil dari pada IKE yang ditargetkan, audit energi rinci masih dapat dilakukan untuk memperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Kegiatan yang dilakukan dalam audit energi rinci adalah

1. Penelitian Konsumsi Energi
2. Pengukuran energi
3. Identifikasi Peluang Hemat Energi
4. Analisis Peluang Hemat Energi

Dari hasil studi, statistik dan pengukuran pada sejumlah gedung bertingkat diperoleh fakta bahwa beban listrik untuk AC rata-rata mencapai sekitar 60% dari seluruh pemakaian listrik.

Menurut Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasannya di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional nilai IKE dari suatu bangunan gedung digolongkan dalam dua kriteria, yaitu untuk bangunan ber-AC dan bangunan tidak ber-AC.

Tabel 2.1 IKE Bangunan Gedung Tidak ber-AC

Kriteria	Keterangan
Efisien (0,84 – 1,67) kWh/m ² /bulan	a) Pengeloaan gedung dan peralatan energi dilakukan dengan prinsip konversi energi listrik b) Pemeliharaan peralatan energi dilakukan sesuai dengan prosedur c) Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan system manajemen energi terpadu
Cukup Efisien (1,67 – 2,5)	a) Penggunaan energi cukup efisien namun masih memiliki peluang konservasi nergi

kWh/m ² /bulan	b) Perbaikan efisiensi melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi masih dimungkinkan
Boros (2,5 – 3,34) kWh/m ² /bulan	a) Audit energi perlu dilakukan untuk menentukan langkah-langkah perbaikan sehingga pemborosan energi dapat dihindari b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi
Sangat Boros (3,34 – 4,17) kWh/m ² /bulan	a) Instalasi peralatan, desain pengoperasian dan pemeliharaan tidak mengacu pada penghematan energi b) Agar dilakukan peninjauan ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan bangunan c) Audit energi adalah langkah awal yang perlu dilakukan

Tabel 2.2 Kriteria IKE Bangunan Gedung ber-AC

Kriteria	Keterangan
Sangat Efisien (4,17 – 7,92) kWh/m ² /bulan	a) Desain gedung sesuai standar tatacara perencanaan teknis konservasi energi b) Pengoperasian peralatan energi dilakukan dengan prinsip-prinsip manajemen energi
Efisien (7,93 – 12,08) kWh/m ² /bulan	a) Pemeliharaan gedung dan peralatan energi dilakukan sesuai prosedur b) Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan system manajemen energi terpadu

Cukup Efisien (12,08 – 14,58) kWh/m ² /bulan	a) Penggunaan energi cukup efisien melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi masih memungkinkan b) Pengoperasian dan pemeliharaan gedung belum mempertimbangkan prinsip konservasi energi
Agak Boros (14,58 – 19,17) kWh/m ² /bulan	a) Audit energi perlu dipertimbangkan untuk menentukan perbaikan efisiensi yang mungkin dilakukan b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi

Audit energi rinci dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan. Penelitian dan pengukuran konsumsi energi

- a. audit energi rinci perlu dilakukan bila audit energi awal memberikan gambaran nilai IKE listrik lebih dari nilai target yang ditentukan
- b. audit energi rinci perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan gedung, sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaian energinya cukup besar;
- c. kegiatan yang dilakukan dalam penelitian energi adalah mengumpulkan dan meneliti sejumlah masukan yang dapat mempengaruhi besarnya kebutuhan energi bangunan gedung, dan dari hasil penelitian dan pengukuran energi dibuat profil penggunaan energi bangunan gedung.

Energi listrik di industri diperlukan untuk menggerakkan motor – motor listrik sebagai tenaga penggerak utama pada mesin proses, pemanas komponen tertentu pada alat, pendinginan,

penerangan, dll. Dari semua keperluan tersebut, konsumsi energi terbesar adalah untuk menggerakkan motor – motor listrik.

2. Mengukur Energi Terbuang

Untuk mengetahui jumlah energi yang terbuang dapat dilihat dari Seluruh analisa energi bertumpu pada hasil pengukuran. Hasil pengukuran harus dapat diandalkan dan mempunyai kesalahan (error) yang masih dapat diterima. Untuk itu penting menjamin bahwa alat ukur yang digunakan telah dikalibrasi oleh instansi yang berwenang. Alat ukur yang digunakan dapat berupa alat ukur yang dipasang tetap (permanent) pada instalasi atau alat ukur yang dipasang tidak tetap (portable)

3. Menganalisis data

Hasil pengumpulan data, selanjutnya dilakukan analisis data. Analisis energi ini dapat digunakan untuk memahami dan memperbaiki bagaimana, di mana dan bilamana energi digunakan secara efektif dan efisien. Dengan kata lain, audit energi merupakan kegiatan yang dilakukan dengan tujuan mengevaluasi potensi penghematan energi pada suatu proses produksianalisis tersebut dimaksudkan untuk mengetahui secara rinci besarnya potensi penghematan energi yang dapat dilakukan dan menyusun rekomendasi langkah-langkah penghematan energi berdasarkan kriteria tanpa biaya, biaya rendah, biaya sedang dan biaya tinggi yang dapat ditindaklanjuti oleh pihak industri.

Analisis lebih lanjut mengenai factor daya, factor kebutuhan, factor beban dan kualitas listrik akan memberi gambaran yang lebih jelas mengenai kelistrikan

Faktor daya adalah perbandingan antaradaya sebenarnya yang digunakan (dalam satuan watt atau kilowatt) dengan daya yang diambil ddari sumber (daya yang dari pln, yang satuannya voltamper atau kilovolt-amper). Angka factor daya yang tinggi mengindikasikan distribusi listrik yang baik. Nilai faktor daya harus

lebih dari 0,85 agar terhindar dari denda oleh pln. Umumnya, hotel besar memasang bank kapasitor untuk meningkatkan faktor daya. (Martin et al., 2022)

Faktor kebutuhan adalah perbandingan antara permintaan maksimum pada system pembangkit dan distribusi sistem listrik dengan total beban yang terpasang); biasanya dalam satuan persen. Faktor kebutuhan menunjukkan proporsi listrik yang digunakan dari total daya yangtersedia. Bila angka ini rendah, ada kemungkinan kontrak daya dengan pln terlalu tinggi dan bisa dikurangi mendekati kondisi ideal. Tindakan iniakan mengurangi biaya berlangganan bulanan. Faktor kebutuhan yang ideal adalah antara 60-80%.

Faktor beban adalah perbandingan antara rata-rata load listrik dengan load maksimal dalam satu periode tertentu. Angka ini menunjukkan fluktuasi beban listrikdalam satu periode tertentu. Semakin rendah nilai faktor beban, semakin besar fluktuasi penggunaan listrik anda. Karena pln menerapkan tarif yang berbeda untuk waktu off-peak dan peak, sebaiknya anda mengatur faktor beban agar menghindari beban yang tinggi pada jam-jam peak hours (18:00 – 22:00). Ini bisa dilakukan dengan mengalihkan penggunaan alat-alat listrik pada saat off-peak. Angka faktor beban yang ideal berkisar antara 80-90% kualitas listrik adalah frekuensi dan besarnya deviasi daya yang masuk ke peralatan listrik. Deviasi ini bisa mempengaruhi kinerja peralatan listrik seperti komputer, tv, dan peralatan sensitf lainnya. (Anagra, 2020)

Kualitas listrik yang buruk akan mempengaruhi kinerja komputer serta peralatan-peralatan yang berbasis komputer. Yang lebih merugikan dari pada rusaknya komputer adalah hilangnya produktivitas karena salah perhitungan dan komputer yang tidak bisa berfungsi. Kualitas listrik yang ideal dibawah 3%.

Analisa yang dilakukan auditor energi profesional mencakup:

1. Struktur beban

Kinerja dari penggunaan listrik dapat dilihat melalui kurva bebannya. Untuk pengguna komersil – mereka yang. Memiliki kontrak daya yang besar biaya listrik mereka dibedakan berdasarkan penggunaan selama dan di luar beban. Puncak (peak load). Biaya yang dikenakan semasa beban puncak akan lebih mahal.

2. Faktor daya

Analisa faktor daya penting untuk melihat penggunaan daya reaktif. Sistem yang berlaku di Indonesia adalah denda Dari PLN bagi pelanggan dengan faktor daya dibawah 0.85. Selain itu, analisa faktor daya digunakan untuk menilai Apakah kinerja dari bank kapasitor sudah optimal. Bank kapasitor adalah alat yang digunakan untuk menaikkan Faktor daya guna menghindari denda atas penggunaan yang melebihi kva

3. Model penilaian dari kinerja operasi beberapa sistem muatan, karakteristik beban dari tiap unit Analisa ini digunakan untuk melihat kegunaan peralatan berdasarkan jangka waktu operasional dari tiap peralatan. Hal ini dilaksanakan untuk melihat potensi efisiensi dan penjadwalan ulang operasi untuk menghindari biaya-biaya Terutama pada waktu beban puncak.
4. Mengkaji ulang sistem listrik; keseimbangan energi, kebutuhan kritis beban, keseimbangan fase, factor Kapasitas, skema beban, kapasitas kontrak. Analisa ini ditujukan untuk mencari bagian-bagian dari kegunaan listrik yang dapat berguna dalam mengurangi Penggunaan listrik. Ini dapat dilakukan dengan mengevaluasi beberapa parameter kesetimbangan energi, faktor beban, Keseimbangan fase, faktor kapasitas, skema muatan, dan kontrak daya dari PLN. (Lukman, 2018)

Analisis sumber energi dan konsumsi energi pada peralatan pengguna energi yaitu

- a. Mass and Heat Balance, untuk menghitung seberapa besar utilitas penggunaan energi dan losses energi pada suatu sistem proses dan masing-masing peralatan pengguna energi. Losses energi ini kemudian dianalisa untuk dipertimbangkan berapa biaya (khusus yang bersifat medium dan high cost implementasi) yang harus dikeluarkan untuk mengkonversi losses tersebut menjadi potensi hemat energi.
- b. Menganalisis/inventarisasi konsumsi energi terhadap produk yang dihasilkan atau intensitas energi terhadap alur proses maupun peralatan pengguna energi sebagai parameter untuk mengetahui tingkat efektifitas dan efisiensi penggunaan energi.
- c. Menganalisis performance dan efisiensi peralatan pengguna dan penghasil energi;
- d. Menentukan benchmark intensitas energi;
- e. Identifikasi potensi konservasi energi guna mengetahui tingkat efisiensi peralatan pengguna energi;
- f. Menganalisis secara teknik dan ekonomi untuk mengetahui kelayakan potensi konservasi energi;
- g. Rekomendasi langkah-langkah implementasi potensi / peluang konservasi energi disusun berdasarkan skala prioritas biaya implementasi (no cost / low cost, medium cost, dan high cost).

4. Menetapkan strategi untuk memperoleh peluang hemat energi

Apabila sudah mendapat data yang lengkap mengenai penggunaan listrik maka harus menyiapkan langkah-langkah penghematan.

Langkah-langkah Untuk Mengurangi Konsumsi

Energi Listrik Pada Sistem Penerangan

- a. Memanfaatkan cahaya alami pada siang hari sebaik-baiknya. Dalam pemanfaatan cahaya alami pada siang hari, masuknya radiasi matahari langsung kedalam bangunan

harus dibuat seminimal mungkin. Cahaya langit harus diutamakan daripada cahaya matahari langsung.

- b. Menyesuaikan disain bangunan (meningkatkan penggunaan energi alam seperti cahaya matahari untuk penerangan, sehingga penggunaan lampu bisa dikurangi)
- c. Matikan lampu-lampu listrik apabila sudah tidak digunakan.
- d. Menyalakan lampu halaman/taman apabila hari benar-benar telah mulai gelap. Jika malam sudah menjelang larut, hendaknya lampu-lampu tersebut dikurangi. Matikan segera jika hari telah mulai terang kembali.
- e. Peliharalah bola lampu atau tabung lampu beserta kapnya atau reflektornya agar tetap bersih. Lampu dan kap lampu yang kotor dapat mengurangi cahaya sehingga mungkin menyebabkan timbulnya keinginan untuk menambah lampu lagi, atau ingin menggantinya dengan lampu lain yang lebih besar Wattnya.
- f. Dalam jangka panjang, upaya untuk menggeser penggunaan energi yang bersumber dari *unrenewable resources* kepada penggunaan energi yang bersifat *renewable resources*, seperti pemanfaatan energi air, angin, bahan bakar nabati (biomas, biodiesel, biogas dan lainnya), dan sumber-sumber energi berkelanjutan lainnya. Sejumlah jenis energi alternatif tersebut telah mulai dikembangkan, namun pemanfaatannya belum optimal karena biaya produksi yang masih tinggi sehingga harganya lebih mahal dari harga energi fosil.
- g. Menghitung penghematan

5. Mengnalisis peluang hemat energi

Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisis peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat

energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan. (Prastyawan et al., 2020)

Analisis peluang hemat energi dapat juga dilakukan dengan penggunaan program komputer yang telah direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi. Penghematan energi pada bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni. Analisis peluang hemat energi dilakukan dengan usaha antara lain:

- a. Menekan penggunaan energi hingga sekecil mungkin
(mengurangi daya terpasang/terpakai dan jam operasi)
 - b. Memperbaiki kinerja peralatan
 - c. Menggunakan sumber energi yang murah
6. Rekomendasi untuk menerapkan strategi dari hasil audit

Untuk menerapkan strategi dari hasil audit sebenarnya tergantung dari kebijakan industri atau perusahaan yang bersangkutan. Penerapan strategi tersebut merupakan langkah nyata untuk melakukan penghematan energi. Tapi sekali lagi, penghematan energi memang penting, tetapi jangan sampai mengurangi kenyamanan sehingga mempengaruhi kinerja suatu perusahaan atau industri. Harus sesuai standar yang telah ditetapkan dan jangan sampai mengurangi tingkat keselamatan

Salah satu langkah untuk penghematan listrik adalah pada sector pencahayaan. Bila anda ingin membeli lampu, sebagian orang lebih memilih lampu berdasarkan watt-nya. Perlu diketahui, watt adalah satuan daya lampu yang dikonsumsi. Saat membeli lampu, harus memperhatikan efisiensinya – dinyatakan dalam satuan lumen per watt, lpw. Lumen per watt adalah lumen yang dihasilkan per watt listrik yang digunakan sebuah lampu. Aturan dalam pembelian lampu adalah: semakin tinggi tingkat efisiensinya maka lebih baik. Lampu pijar memiliki 10-20 lpw sementara cfl memiliki 50-60 lpw.

Perbedaan efisiensi antara lampu bohlam dengan cfl membuat cfl lebih efisien dalam hal konsumsi listrik. Sebagai contoh, untuk menghasilkan 500 lumen cahaya, lampu bohlam membutuhkan 40 watt konsumsi listrik sementara cfl membutuhkan hanya 11 watt. Meskipun lebih efisien, orang lebih memilih untuk membeli lampu pijar daripada cfl. Harga awal lampu pijar memang 20% lebih murah. Namun, cfl tetap lebih hemat. Berikut ini adalah tabel perbandingan antara lampu pijar dan lampu cfl. Pada lampu fluorescent atau tl, daya listrik yang dikonsumsi digunakan untuk menghasilkan cahaya (lumens) dan menghidupkan ballast. Ballast adalah alat elektronik yang digunakan sebagai pengatur voltase. Ada dua jenis ballast: ballast konvensional yang arus menggunakan elektromagnetik, serta ballast elektronik. Lampu yang menggunakan ballast konvensional bisa berkedip-kedip bahkan menghasilkan suara mendengung. Ketika suara dengungan mulai terdengar, tandanya anda harus membeli lampu yang baru. Jika hotel anda saat ini menggunakan banyak lampu fluorescent, dan anda ingin mengurangi tagihan listrik, inilah saatnya untuk mengganti ballast konvensional dengan ballast elektronik. Lampu fluorescent modern dilengkapi dengan ballast elektronik, yang ringan, tanpa suara dan tidak berkedip-kedip. Jenis lampu ini mampu mengurangi konsumsi listrik hingga 30%. Tidak seperti ballast konvensional, lampu fluorescent dilengkapi dengan penyeimbang elektronik dan dapat dimodifikasi dengan memasang dimmer untuk penghematan yang lebih tinggi lagi. (Palaloi, 2005)

2.1.10. Beban Listrik

Beban sistem tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari para pelanggan listrik. Oleh karenanya, besar kecilnya beban beserta perubahannya tergantung pada kebutuhan para pelanggan akan tenaga listrik. Tidak ada perhitungan eksak mengenai besarnya beban sistem pada suatu

saat, yang bisa dilakukan hanyalah membuat perkiraan beban. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus selalu diusahakan agar daya yang dibangkitkan sama dengan beban sistem. Maka masalah perkiraan beban merupakan masalah yang sangat menentukan bagi kelembagaan listrik baik segi-segi manajerial maupun bagi segi operasional, oleh karena itu perlu mendapat perhatian khusus. Untuk dapat membuat perkiraan beban yang sebaik mungkin perlu beban sistem tenaga listrik yang sudah terjadi di masa lalu dianalisa (Ahmad Wahin, 2018)

Menurut Djiteng Marsudi (2006) pembagian kelompok perkiraan beban yaitu, Perkiraan beban jangka panjang Perkiraan beban jangka panjang adalah untuk jangka waktu di atas satu tahun. Dalam perkiraan beban jangka panjang masalah-masalah makro ekonomi yang merupakan masalah ekstern kelembagaan listrik merupakan faktor utama yang menentukan arah perkiraan beban. Perkiraan beban jangka menengah Perkiraan beban jangka menengah adalah untuk jangka waktu dari satu bulan sampai dengan satu tahun. Poros untuk perkiraan beban jangka menengah adalah perkiraan beban jangka panjang. Perkiraan beban jangka pendek Perkiraan beban jangka pendek adalah untuk jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu (168 jam). Dalam perkiraan beban jangka pendek batas atas untuk beban maksimum dan batas bawah untuk beban minimum yang ditentukan dalam perkiraan beban jangka menengah.

Beban rata-rata (Br) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada periode. Atau dituliskan menurut persamaan 1 periode tahunan : (Ahmad Wahin, 2018)

$$r = \frac{\text{Energi terpakai dalam 1 a}}{365 \times 24} \quad (2.2)$$

Faktor beban didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur untuk suatu periode waktu tertentu. Beban puncak (Lf) yang dimaksud adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu, pada umumnya dipakai beban puncak pada waktu 15 menit atau 30 menit. Untuk prakiraan besarnya faktor beban pada

masa yang akan datang dapat didekati dengan data statistik yang ada. Dari definisi faktor beban dapat dituliskan : (Ahmad Wahin, 2018)

$$f = \frac{p(ea\ aa-aa)}{c(ea\ cak)} \quad (2.3)$$

Persamaan tersebut mengandung arti bahwa beban rata-rata akan selalu bernilai lebih kecil dari kebutuhan maksimum atau beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu kecil dari satu (Ahmad Wahin, 2018)

Peramalan adalah proses estimasi atau prediksi keadaan yang akan terjadi di masa yang akan datang dengan jangka waktu yang cukup panjang. Untuk melakukan peramalan dengan baik, data akurat dari masa lampau menjadi sangat penting, karena hal ini memungkinkan untuk melihat potensi situasi atau kondisi yang akan terjadi di masa mendatang. Secara umum, peramalan berperan sebagai alat bantu efektif dan efisien dalam perencanaan, membantu dalam menentukan kebutuhan sumber daya di masa depan, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat [5]. Peramalan dalam tenaga listrik umumnya mencakup prediksi beban, termasuk puncak beban dan energi listrik. Peramalan beban listrik menerapkan ilmu peramalan untuk memproyeksikan perubahan dalam kebutuhan beban listrik oleh pelanggan. Hasil peramalan ini digunakan untuk merencanakan pemenuhan kebutuhan konsumen dan memastikan pasokan energi listrik yang andal dan memadai setiap saat. Peramalan beban listrik bertujuan untuk mengestimasi kebutuhan listrik pada waktu tertentu. Prediksi yang akurat dalam beban listrik memiliki keuntungan untuk mengurangi biaya operasional bagi produsen dan memastikan pemenuhan kebutuhan listrik bagi konsumen.

Berdasarkan rentang waktu, metode peramalan beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan durasi waktu yang terlibat yaitu :

1. Peramalan beban listrik jangka pendek Ini merujuk pada peramalan beban dalam kurun waktu per jam dengan batas satu minggu, yang setara dengan sekitar 168 jam. Dalam peramalan ini, terdapat batasan

atas yang mempertimbangkan beban maksimal dan batasan bawah yang mempertimbangkan beban minimal.

2. Peramalan beban listrik jangka menengah Ini merujuk merujuk pada estimasi beban listrik dalam periode bulanan hingga satu tahun ke depan. Peramalan beban jangka menengah digunakan untuk rencana perluasan jaringan distribusi dan transmisi, serta penambahan pada pembangkit listrik.
3. Peramalan beban listrik jangka panjang Ini mengacu pada estimasi pola beban untuk periode lebih dari satu tahun. Dalam peramalan beban ini, faktor yang dominan dalam menentukan hasil peramalan adalah aspek ekonomi. Hasil pada peramalan ini dimanfaatkan untuk dasar perencanaan produksi dan alokasi sumber daya.

Dalam melakukan peramalan, penting untuk memperhatikan beberapa karakteristik tertentu. Berikut adalah beberapa karakteristik peramalan yang perlu diperhatikan :

1. Peramalan tidak selalu akurat Metode peramalan yang efektif akan meminimalkan kesalahan antara hasil dan target, meskipun tidak menghilangkan kesalahan sepenuhnya.
2. Nilai error sebagai tolak ukur Sebab selalu terdapat selisih antara hasil peramalan dan target, maka ukuran kesalahan atau error menjadi indikator kinerja metode peramalan dimana semakin kecil selisih atau error maka metode semakin baik performanya.
3. Jumlah data Peramalan untuk kelompok data umumnya lebih akurat daripada peramalan individu data tunggal.
4. Jangka waktu peramalan Pemilihan jangka waktu peramalan memiliki dampak besar pada akurasi. Semakin pendek jangka waktu, maka peramalan akan semakin akurat. Hal ini disebabkan faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan cenderung berubah lambat, sehingga peramalan menjadi mudah dan akurat.
5. Perhitungan Karakteristik peramalan menekankan perhitungan berdasarkan permintaan daripada prediksi. Pendekatan ini

menghasilkan selisih antara hasil dan target yang lebih kecil dibandingkan dengan pendekatan prediksi.

Prakiraan atau forecasting energi listrik adalah memprediksi atau memperkirakan kebutuhan energi listrik yang akan datang agar kebutuhan energi bisa terpenuhi dalam penyediaan energi sesuai hasil perhitungan ramalan yang dilakukan. Ramalan meliputi kebutuhan energi dan beban listrik atau demand and load forecasting) hasilnya digunakan untuk membuat perencanaan, pembangunan dan pengembangan kebutuhan energi listrik. Peramalan sangat diperlukan dan penting salah satunya hampir setiap industri menggunakan, ketergantungan dengan energi listrik. Banyak industri memiliki beberapa persediaan untuk menyimpan cadangan produk dan layanan mereka, untuk tenaga listrik industri, listrik tidak dapat disimpan secara besar-besaran menggunakan teknologi saat ini. Akibatnya, listrik harus segera dihasilkan setelah dikonsumsi. Pada kata lain, harus menyeimbangkan penawaran dan permintaan setiap saat.

Dalam usaha membuat dan merencanakan prakiraan beban dan energi listrik selain diperlukan data-data perhitungan, juga diperlukan keadaan masa lampau dan keadaan masa kini, yaitu masa yang sedang berjalan. Prakiraan beban dibidang tenaga listrik dinyatakan dalam satuan Watt hour (Wh), Mega Watt hour (MWh), atau Giga Watt hour (GWh). Sedangkan prakiraan beban tenaga listrik/load atau power dinyatakan dalam satuan Watt (W), kilo Watt (kW), atau Giga Watt (GW). Dari kedua hal tersebut disebut juga demand and load forecasting. Kegiatan prakiraan dibidang tenaga listrik menghasilkan dua hasil utama yaitu:

1. Prakiraan kebutuhan energi listrik atau demand, yaitu permintaan energi yang dibutuhkan pelanggan.

Prakiraan beban tenaga listrik atau load, yaitu daya/load atau power yang disediakan PLN untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut.

2.1.11. Daya Listrik

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt. Di mana 1 Watt = 1 Joule/detik. (Nanang Setiaji, 2020)

$$= - \quad (2.4)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

E = Energi (Joule)

Pada dasarnya daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu : (Nanang Setiaji, 2020)

a. Daya nyata atau daya aktif (Watt)

Daya nyata merupakan daya Sebenarnya yang dibutuhkan beban dan biasanya daya aktif nilainya lebih rendah dibandingkan dengan daya semu. Daya Aktif dihasilkan dari hasil perkalian Daya Semu dengan Faktor Daya (Cosphi). Daya aktif akan mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif.

$$= o \phi \quad (2.5)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos ϕ = Faktor Daya

b. Daya Semu (VA)

Daya Semu merupakan daya yang dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan bebanbeban listrik. Satuan daya nyata adalah VA (Volt.ampere). beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R). Peralatan listrik atau beban

pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik memiliki nilai factor daya adalah 1

$$= \quad (2.6)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

c. Daya Reaktif (VAR)

Daya Reaktif merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya kerugiankerugian daya, sehingga daya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai factor daya (Cosphi). Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt. Amper Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif.

$$= \sqrt{2 \ 2} \quad (2.7)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

2.1.12. Tarif Listrik

Tarif Tenaga Listrik (TTL) adalah tarif yang dikenakan oleh pemegang Ijin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) kepada konsumen/pelanggan, yang mana besaran tarifnya ditetapkan oleh Pemerintah/Pemerintah Daerah. Berdasarkan UU Kelistrikan No. 30/2009, TTL ditentukan oleh pemerintah (c.q. Kementerian ESDM)/pemerintah daerah dengan persetujuan DPR/DPRD. Sebagian besar wilayah usaha PT PLN menggunakan TTL yang seragam (uniform) untuk setiap kelompok pelanggan, kecuali untuk Pulau Batam dan Tarakan dimana TTL ditentukan

oleh pemerintah daerah dan disetujui oleh DPRD. Adanya keterlibatan DPR dalam penetapan TTL dan subsidi menjadikan proses ini sarat dengan kepentingan politik, selain daripada teknis ekonomi. Sementara itu, untuk melaksanakan percepatan penyediaan tenaga listrik di desa tertinggal, terpencil, dan terluar (3T) pemerintah mengadakan program Listrik Desa (LisDes) yang mengutamakan penggunaan sumber energi setempat. Untuk daerah isolated yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN, pemerintah melalui direktorat jenderal EBTKE menyediakan lampu tenaga surya hemat energi (LTSHE) sebagai bagian dari program pra-elektrifikasi. (Pamela Simamora, 2019)

Ada dua jenis mekanisme tarif yang digunakan di program LisDes, dengan dan tanpa subsidi. Tarif bersubsidi akan dikenakan pada wilayah usaha yang ditetapkan oleh Menteri ESDM atas usulan gubernur (Permen ESDM No. 38/2016). Diluar itu, akan dikenakan tarif non-subsidi yang ditetapkan oleh gubernur. Dalam hal gubernur tidak dapat menetapkan tarif non-subsidi, pemerintah akan menetapkan tarif berdasarkan TTL PT. PLN. Besaran subsidi yang diberikan kepada badan usaha bergantung pada TTL rumah tangga daya 450 VA, Biaya Pokok Penyediaan (BPP), ditambah margin. Adapun mekanisme penyesuaian TTL (tari adjustment) PT. PLN bergantung pada BPP, nilai tukar mata uang Dollar Amerika terhadap Rupiah (kurs), Indonesian Crude Price (ICP), dan inflasi. Terdapat dua tipe pembayaran listrik di Indonesia, tarif pascabayar yang dibayar setelah pemakaian listrik oleh konsumen pada bulan berikutnya dan tarif Prabayar, dimana konsumen membayar kuota listriknya terlebih dulu. Listrik dianggap sebagai barang untuk kepentingan strategis sehingga tidak dikenakan pajak pertambahan nilai (PPN), kecuali untuk rumah dengan kapasitas daya lebih dari 6600 VA. (Pamela Simamora, 2019)

Seperti terlihat pada Gambar 2.12, biaya produksi listrik selalu lebih tinggi daripada harga jual listrik rata-rata. Selisih ini akan dibayarkan oleh pemerintah ke PLN melalui mekanisme subsidi. Jumlah subsidi listrik yang dibayarkan oleh pemerintah per tahun dapat dilihat pada Gambar 2.

Walaupun sejak 2015 jumlah subsidi listrik menurun drastis karena dicabutnya subsidi listrik untuk semua golongan kecuali golongan rumah tangga 450 VA dan 900 VA, tren tiga tahun terakhir menunjukkan adanya pembengkakan subsidi listrik (subsidi lebih besar daripada yang dianggarkan). Penurunan subsidi listrik dari Rp 60.4 triliun di 2016 menjadi Rp 45.7 triliun di 2017 terjadi bersamaan dengan dicabutnya subsidi listrik bagi golongan 900 VA yang dianggap mampu sejak Januari 2017, mengikuti terbitnya Permen ESDM No. 29/2016. (Pamela Simamora, 2019)

Meskipun Permen ESDM No. 18/2017 mengatur penyesuaian tarif (tari adjustment) untuk dilakukan setiap 3 bulan (setiap bulan dalam pada Permen ESDM No. 28/2016 sebelumnya), sejak Januari 2017 pemerintah belum menaikkan TTL ke pelanggan PLN, bahkan berjanji untuk tidak menaikkan TTL hingga 2019. Menurut pemerintah, hal ini dilakukan untuk menjaga daya beli masyarakat dan mendukung stabilitas ekonomi nasional. Sementara itu, sejumlah pengamat energi berpendapat keputusan untuk tidak menaikkan TTL ini berkaitan erat dengan tahun politik dan sudah sering dilakukan oleh pemerintahan sebelumnya untuk menjaga dukungan politik dari masyarakat dalam pemilihan umum (pemilu). Golongan tarif listrik di Indonesia dibagi menjadi 37 golongan, 13 diantaranya terikat dengan mekanisme penyesuaian tarif (tari adjustment). Golongan tarif listrik dibedakan berdasarkan penggunaannya (sosial, rumah tangga, bisnis, industri, kantor pemerintah dan penerangan umum, traksi, curah, dan layanan khusus) dan kapasitas daya listriknya (450 VA, 900 VA, 1300 VA, 2200 VA, 3500-5500 VA, >6600 VA). Penetapan TTL dan penyesuaian tarif diatur dalam peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 28/2016 (diubah oleh Permen ESDM No. 18/2017 dan Permen ESDM No. 41/2017) tentang Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT. PLN (Persero). (Pamela Simamora, 2019)

Banyaknya golongan tarif ini menjadi sorotan karena dinilai terlalu rumit. Praktik di negara-negara lain umumnya tidak menggunakan penggolongan tarif berdasarkan kapasitas daya, namun hanya berdasarkan

sektor penggunaannya. Pada umumnya di liberalized market perusahaan listrik mengenakan tarif yang tetap (fixed) untuk semua pelanggannya (e.g. Jerman). Adapun praktik lainnya, perusahaan listrik dapat mengenakan tarif progresif dimana semakin besar penggunaan listrik maka semakin besar pula tarif listrik per unitnya (e.g. Italia). Selain itu, ada juga negara yang menerapkan perubahan tarif listrik berdasarkan waktu penggunaan (Time of Use) dimana tarif ketika beban puncak akan lebih tinggi daripada tarif pada waktu lainnya (e.g. Australia dan Taiwan). (Pamela Simamora, 2019)

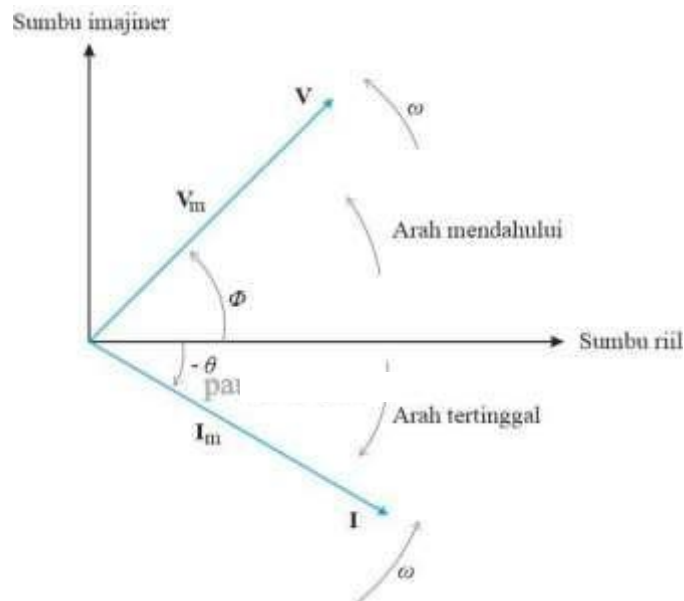
Beberapa negara menerapkan sistem subsidi untuk masyarakat miskin (yang tingkat konsumsi listriknya rendah). Sebagai contoh, sejak tahun 2008 hingga 2018, perusahaan listrik Malaysia memberikan rabat (rebate) sebesar RM20 (sekitar Rp 68,000) untuk semua pelanggan listrik. Jika konsumsi listriknya melebihi RM20, maka pelanggan harus membayar tarif penuh (bukan hanya kelebihannya). Sejak 1 Januari 2019, pemerintah Malaysia mengubah skema rabatnya menjadi RM40, namun rabat ini hanya diberikan kepada masyarakat miskin yang terda- ar. Jika konsumsi listriknya melebihi RM40, maka pelanggan hanya perlu membayar kelebihannya. Sementara itu, beberapa negara lain menetapkan tarif listrik yang lebih tinggi dibanding biaya produksinya. Di Jerman, selain biaya pembangkitan, komponen tarif listrik terdiri dari komponen tarif jaringan, pungutan (levies/surcharge) untuk pembiayaan Energi Terbarukan (ET), dan pajak lainnya. Di tahun 2018, lebih dari setengah (54%) tarif listrik untuk rumah tangga dan usaha kecil merupakan komponen pungutan dan pajak – 23% nya adalah pungutan (surcharge) untuk ET, 25% untuk biaya jaringan, dan hanya 21% untuk biaya pembangkitan (BDEW, 2018). Tingginya surcharge untuk ET sejalan dengan komitmen pemerintah Jerman dalam pengembangan ET untuk menggantikan energi nuklir dan juga batubara. Meskipun tarif listrik di Jerman merupakan tarif listrik termahal kedua di EU setelah Denmark, tagihan listrik per bulan untuk rumah tangga di negara tersebut tidak lebih mahal dari negara-negara OECD lainnya. Hal ini dimungkinkan oleh

program Efisiensi Energi yang berjalan dengan efektif di Jerman. (Pamela Simamora, 2019)

Belajar dari pengalaman di negara lain, kebijakan tarif listrik di Indonesia hendaknya memperhitungkan rencana jangka panjang untuk memastikan ketahanan energi. Salah satu komponen yang masih belum diakomodasi dalam skema tarif saat ini adalah komponen tarif untuk pengembangan ET. Penggunaan surcharge di Indonesia mungkin bisa diterapkan untuk golongan masyarakat mampu. Hal ini menjadi penting, mengingat perkembangan ET di Indonesia cukup lambat karena tidak adanya insentif untuk PLN untuk menggunakan ET. Sementara itu, untuk memastikan akses energi ke semua golongan masyarakat, pemerintah bisa mempertimbangkan untuk membebaskan golongan masyarakat tidak mampu dari tagihan listrik. (Pamela Simamora, 2019)

2.1.13. Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang terdiri dari beberapa kapasitor yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Beberapa kegunaan dari kapasitor bank yaitu untuk menyeimbangkan beban induktif, perbaikan faktor daya, penyuplai daya reaktif sehingga memaksimalkan penggunaan daya kompleks (kVA), untuk mengurangi jatuh tegangan, menghindari kelebihan beban transformer, memberikan tambahan daya, serta dapat menghemat daya. Diagram segaris dan diagram fasor sebuah saluran transmisi sebelum dilakukannya kompensasi menggunakan kapasitor bank dapat dilihat pada Persamaan 2.8. : (Evalina et al., 2025)



Persamaan 2.12. Diagram Segaris dan Diagram Fasor

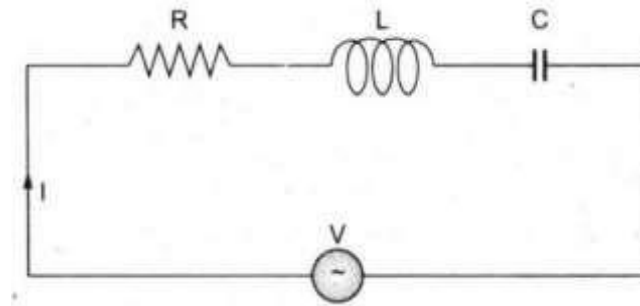
Besarnya jatuh tegangan pada saluran tanpa kompensasi dengan faktor daya tertinggal dapat dinyatakan dengan:

$$D = R + I_x X_L \dots \dots \dots (2.5)$$

Berdasarkan metodenya, kompensasi dibagi menjadi kompensasi seri dan kompensasi paralel. Adapun prinsip dari teknik kompensasi seri dan paralel adalah sebagai berikut:

a. Kompensasi Seri

Ketika saluran memiliki nilai perbandingan reaktansi dengan reistansi yang tinggi, reaktansi induktif saluran transmisi dapat dikurangi dengan cara pemasangan kapasitor secara seri dimana akan menghasilkan jatuh tegangan yang kecil. Diagram segaris dan diagram fasor sebuah saluran setelah dipasang kompensasi secara seri dapat dilihat pada Persamaan 2.9.



Persamaan 2.13. Kompensasi Seri

Persamaan 2.14 menunjukkan diagram fasor kompensasi kapasitor seri pada saat faktor daya tertinggal (beban induktif). Berdasarkan Persamaan diatas dapat dilihat bahwa setelah dikompensasi seri impedansi saluran menjadi:

$$Z = R + j(X_L - X_C) \dots\dots\dots (2.6)$$

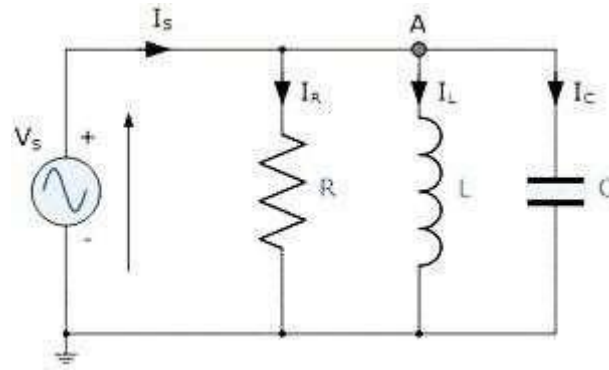
Jatuh tegangan pada saluran dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$V_D = I(R \cos \phi + (X_L - X_C) \sin \phi) \dots\dots\dots (2.7)$$

Terbukti secara matematis dengan pemasangan kapasitor secara seri maka besarnya jatuh tegangan yang diakibatkan oleh reaktansi induktif pada saluran dapat ditekan. (Evalina et al., 2025)

b. Kompensasi Paralel

Pada bus yang permintaan daya reaktifnya meningkat, tegangan bus dapat dikontrol dengan cara memasang kapasitor bank secara paralel pada beban tertinggal. Kapasitor bank akan mensuplai sebagian atau seluruh daya reaktif beban, jadi akan mengurangi besar arus sumber yang penting untuk mensuplai beban. Sehingga, jatuh tegangan antara ujung saluran dan beban akan menurun, faktor daya akan meningkat dan keluaran daya aktif yang meningkat (Kranti & Laxmi, 2011). Diagram segaris dan diagram fasor sebuah saluran setelah dipasang kompensasi secara paralel dapat dilihat pada Persamaan 2.10. adapun gambar kompensasi paralel dari sebuah diagram fasor dapat dilihat pada gambar berikut :



Persamaan 2.14. Kompensasi Pararel

Terbukti secara matematis dengan pemasangan kapasitor secara paralel maka besarnya jatuh tegangan yang diakibatkan oleh reaktansi induktif pada saluran dapat ditekan. (Evalina et al., 2025)

2.1.14. Rugi – Rugi Daya

Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban. Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban, Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya dan tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan. (Putri & Pasaribu, 2018)

rugi-rugi saluran Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya. Panjang dari suatu penghantar tergantung dari jarak distribusi ke pelanggan. Sehingga nilai tersebut tidak dapat diubah secara bebas. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Parameter ini dapat diubah-ubah tergantung dari pemilihan bahan penghantar yang digunakan. Selain itu parameter lain yang dapat diubah adalah luas penampang

penghantar yang digunakan, dimana semakin besar luas penampang penghantar yang digunakan akan mengurangi resistansi saluran. Akan tetapi dalam pengubahan luas penampang harus memperhatikan faktor efisiensinya.

Dalam unjuk kerjanya, trafo memiliki rugi-rugi yang harus diperhatikan. Rugi-rugi tersebut adalah sebagai berikut: (Oktrialdi et al., 2024)

- a. Rugi-rugi tembaga merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh adanya tahanan resistif yang dimiliki oleh tembaga yang digunakan pada bagian lilitan trafo, baik pada bagian primer maupun sekunder trafo
- b. Rugi-rugi arus eddy merupakan rugi-rugi panas yang terjadi pada bagian inti trafo. Perubahan fluks menyebabkan induksi tegangan pada bagian inti besi trafo dengan cara yang sama seperti kawat yang mengelilinginya. Tegangan tersebut menyebabkan arus berputar pada bagian inti trafo. Arus eddy akan mengalir pada bagian inti trafo yang bersifat resistif. Arus eddy akan mendisipasikan energi kedalam inti besi trafo yang kemudian akan menimbulkan panas.
- c. Rugi-rugi histerisis merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan pengaturan daerah magnetik pada bagian inti trafo. Dalam pengaturan daerah magnetik tersebut dibutuhkan energi. Akibatnya akan menimbulkan rugi-rugi terhadap daya yang melalui trafo. Rugi-rugi tersebut menimbulkan panas pada bagian inti trafo.
- d. Fluks bocor merupakan fluks yang terdapat pada bagian primer maupun sekunder trafo yang lepas dari bagian inti dan kemudian bergerak melalui salah satu lilitan trafo. Fluks lepas tersebut akan menimbulkan selfinductance pada lilitan primer dan sekunder trafo.

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding

terbalik dengan luas penampang penghantar. Jatuh tegangan juga didefinisikan sebagai selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan pada suatu jaringan (Asy'ari H., 2011). Jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus. Pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admintansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Berdasarkan pengertrian diatas, jatuh tegangan pada suatu saluran dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = V_s - V_r \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari persamaan diatas, maka dapat di ketahui nilai jatuh tegangan relatif atau biasa dikenal dengan Voltage Regulation (VR) dengan persamaan:

$$VR = \frac{V_s - V_r}{V_r} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

ΔV = Drop Tegangan (V)

V_s = Tegangan Kirim (V)

V_r = Tegangan Terima (V)

2.1.15. Penyebab dan Akibat Rendahnya Faktor Daya

Faktor daya yang rendah akan menyebabkan arus yang mengalir pada suatu beban listrik menjadi besar. Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

I = Arus Listrik (Amper)

P = Daya Aktif (Watt)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

Dengan ketentuan daya dan tegangannya konstan. Faktor-faktor daya yang rendah dihasilkan oleh peralatan seperti motor induksi, transformator, terutama pada beban-beban rendah dan unit- unit ballast dari lampu pelepas (discharge lighting) yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk geraknya. Alat-alat las busur listrik juga mempunyai faktor

daya yang rendah. Medan magnet dari peralatan-peralatan seperti ini memerlukan arus yang tidak melakukan kerja yang bermanfaat dan tidak mengakibatkan panas atau daya mekanis, tetapi yang diperlukan

hanyalah untuk membangkitkan medan. Walaupun arus dikembalikan ke sumber jika medan turun mendadak, perlu penambahan kabel dan instalasi untuk membawa arus ini. Hanya komponen arus aktif dan bermanfaat yang mempertanggungjawabkan kerja bermanfaat yang dilakukan oleh peralatan tersebut. Cara lain untuk melihat masalah ini adalah menyadari bahwa suatu faktor daya yang buruk menyebabkan tegangan dan arus berlawanan fasa sehingga perkaliannya tidak menghasilkan daya dalam watt, tetapi dalam Volt-Ampere

Apabila dari PLN menghasilkan faktor daya yang jelek, maka akan berakibat:

- a. Pemakaian jaringan transmisi akan menjadi buruk, sebab arus yang besar, mengakibatkan hilangnya daya yang besar pada jaringan.
- b. Dapat berakibat buruk pada generator dan transformator, sebab arusnya maksimum dan pemakaian tidak seimbang dengan daya aktif maksimum yang diperlukan.
- c. Berakibat boros bagi penggerak mulanya, karena hanya bagian aktif saja yang bisa digunakan pada konsumen, sehingga biaya produksinya mahal.

Pengaruh terhadap konsumen bila faktor daya yang dihasilkan jelek, maka akan mengakibatkan :

- a. Pada instalasi yang baru Pada jaringan akan memerlukan penampang yang besar untuk penghantarnya, Transformator akan terbebani oleh VA yang lebih besar. Akan memerlukan daya yang lebih besar.
- b. Pada instalasi yang sudah tersambung : Rugi-rugi yang timbul akan lebih besar karena adanya pengaruh panas. Kerugian tegangan lebih besar, sedangkan efisiensi pada instalasi lebih kecil. Penurunan

tegangan pada beban, sehingga karakteristik pada beban tersebut berubah.

Membesarnya arus listrik pada suatu sistem akibat rendahnya faktor daya akan menimbulkan kerugian-kerugian sebagai berikut:

- a. Kapasitas daya dari transformator dan generator akan berkurang dengan arus penguatan yang bertambah. Akibatnya rugi-rugi tembaga bertambah dan efisiensi menurun.
- b. Luas penampang penghantar atau kabel jaringan harus diperbesar.
- c. Permukaan kontak-kontak dari peralatan pemutus dan luas penampang busbar harus diperbesar pula.
- d. Pada beban motor terjadi kenaikan temperature yang akan memperpendek umur isolasi belitannya.

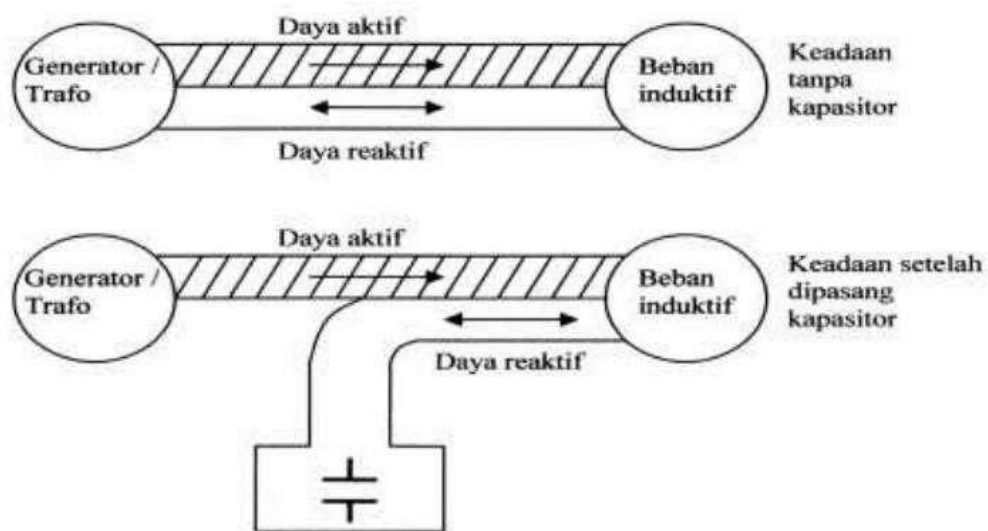
Bertambahnya salah satu atau kedua komponen daya aktif dan daya reaktif akan diikuti dengan membesarnya daya semu. Meningkatnya komponen daya aktif tidak menimbulkan masalah sejauh tidak melampaui batas kemampuan nominal (rating) peralatan, lain halnya dengan komponen daya reaktif yang walaupun tidak sampai melampaui batas kemampuan nominal, namun merugikan ditinjau dari segi efisiensi penyaluran energi. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut: Sistem pembangkit tenaga listrik mempunyai batas daya nyata bagi penggerak mulanya dan batas daya semu bagi generator. Umumnya generator mempunyai kapasitas daya nyata bagi penggerak mula untuk faktor daya maksimum. Dengan demikian kebutuhan sistem akan daya reaktif akan mereduksi daya nyata yang akan disalurkan ke beban. Makin besar daya reaktif yang disalurkan untuk besar daya semu yang sama, makin buruk faktor daya ($\cos \phi$) sistem.

Permintaan daya reaktif yang kian membesar mengakibatkan usaha untuk memperbaiki faktor daya semakin mendesak mengingat faedahnya antara lain:

1. Mengurangi rugi-rugi I^2R pada sistem pada pengurangan arus.

2. Mengurangi rugi-rugi I^2R pada sistem pada pengurangan arus.
3. Mengurangi beban KVA generator sehingga kondisi beban dapat teratasi atau tersedia kapasitas untuk melayani kebutuhan beban.
4. Memperbaiki tegangan disisi beban.
5. Memperpanjang umur sistem.

Nampak dengan membaiknya faktor daya ($\cos \phi$) tidak saja menguntungkan PLN sebagai produsen energi listrik, namun dirasakan juga oleh konsumen. Hal ini disebabkan manfaatnya meliputi seluruh sistem mulai dari distribusi sampai ke beban



Persamaan 2.15 Perbandingan Pemakaian Daya

2.1.16. Metode Perbaikan Faktor Daya

Adapun metode yang umum digunakan untuk memperbaiki faktor daya adalah menggunakan motor dan generator sinkron, serta menggunakan kapasitor.

- a. Penggunaan motor dan generator sinkron

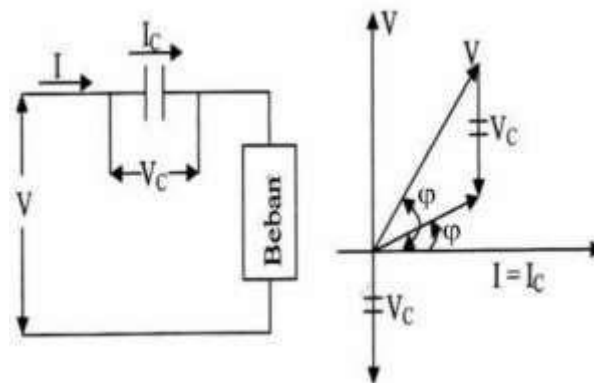
Motor sinkron dapat berfungsi sebagai KVAR generator, seperti halnya dengan generator sebenarnya. Kemampuan generator sinkron untuk membangkitkan KVAR adalah sebagai fungsi dari arus

penguatan (exciter) dengan beban. Pada saat penguatan rendah (under exciter), maka motor sinkron akan menarik arus reaktif untuk memenuhi kebutuhan medan magnetnya. Akan tetapi bila diberi penguatan lebih, maka akan mengirim kelebihan arus reaktifnya ke jala-jala sehingga motor berfungsi sebagai KVAR beban.

b. Penggunaan Kapasitor

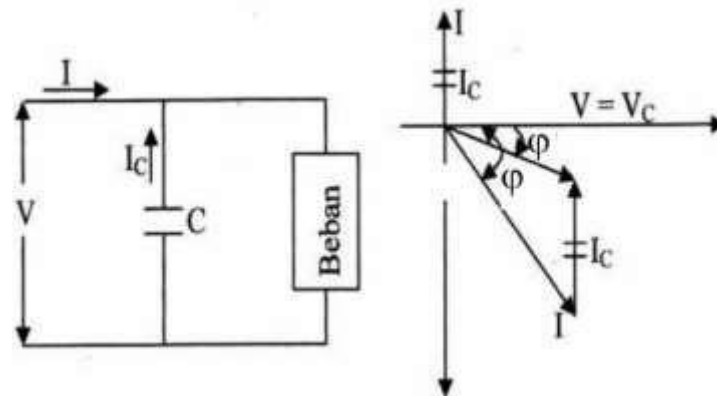
Untuk pemasangan kapasitor dikenal dua macam cara yaitu :

Penggunaan kapasitor seri, Disebut kapasitor seri, bila sistem kapasitor dirangkai seri dengan beban. Kapasitansi total dapat diubah dengan cara menghubungkan beberapa kapasitor secara seri atau paralel. Kapasitansi total dapat dikurangi, bila kapasitor dihungkan secara seri seperti pada Persamaan 2.14. Besar kapasitansi CT dapat dikalkulasi sebagai berikut:



Persamaan 2.16 Rangkaian dan Diagram Vektor Kapasitor Seri

Penggunaan kapasitor shunt Disebut kapasitor shunt, bila sistem kapasitor dirangkai paralel dengan beban. Untuk hubungan paralel, kapasitansi total dapat dinaikkan bila ϕ kapasitor dihubungkan secara paralel seperti pada Persamaan 2.15, Besar kapasitansi CT dapat dihitung dengan cara:



Persamaan 2.17 Rangkaian dan Diagram Vektor kapasitor shunt

Kapasitor seri dan paralel pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya menambah kapasitas sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedang kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang tidak menyenangkan pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan bahwa biaya untuk memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor paralel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri sering lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain

Untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor paralel untuk mengatasi pengembangan beban nantinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan antara kapasitor seri dan paralel disajikan dalam tabel. Karena banyaknya keterbatasan untuk menggunakan kapasitor seri, banyak dipakai kapasitor paralel dalam sistem distribusi

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu selama 6 bulan terhitung dari tanggal 10 April 2025 sampai 10 Agustus 2025. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesainya penelitian. Penelitian ini dimulai dengan kajian awal (tinjauan pustaka), Pengambilan data, lalu analisa data, kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.1. Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1.	Kajian literatur						
2.	Penyusunan proposal penelitian						
3.	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3						
4.	Seminar Proposal						
5.	Pengambilan Data dan Analisis Data						
6.	Seminar hasil penelitian						
7.	Sidang akhir						

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil lokasi penelitian pada Gedung Perkantoran UPT PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan Kota Medan Sumatera Utara

3.2. Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah explorasi dan studi literatur dan dilakukan konservasi energi. Konservasi energi adalah peningkatan efisiensi energi yang digunakan atau proses

penghematan energi. Dalam proses ini meliputi adanya audit energi yaitu suatu metode untuk

mengitung tingkat konsumsi energi suatu gedung atau bangunan, yang mana hasilnya nanti akan dibandingkan dengan standar yang ada untuk kemudian dicari solusi penghematan konsumsi energi jika tingkat konsumsi energinya melebihi standar baku yang ada.

3.3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian meliputi jumlah pemakaian energi berdasarkan audit energi awal dan audit energi rinci serta peluang penghematan berdasarkan kondisi di lapangan. Pada audit energi awal akan dihitung besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) tiap satuan luas yang dikondisikan (net area) sesuai pemakaian berdasarkan data historis gedung. Pada audit energi rinci akan dihitung IKE berdasarkan observasi penggunaan energi listrik secara detail dengan berbagai peralatan yang mengkonsumsi energi listrik dan waktu penggunaannya.

3.4. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk menghitung pemakaian energi pada gedung di UPT PT. PLN Nusantara Power UPPK Belawan adalah :

- a. digital clamp meter

Tang ampere atau digital clamp meter adalah hand tool yang umum digunakan dalam bidang kelistrikan. Meski disebut tang, bentuk tang ampere sedikit berbeda. Jika tang biasa memiliki bentuk seperti huruf X, maka bentuk tang ampere lebih rumit.



Gambar 3.1 Tang Ampere

b. kWH meter

KWH Meter adalah alat yang digunakan untuk menghitung daya listrik pengguna setiap bulan dan akan menentukan besar pembayaran listrik setiap bulannya. Alat ini akan dengan mudah di temui di setiap rumah.



Gambar 3.2 KWH Meter

c. multimeter.

Multimeter adalah suatu alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur tiga jenis besaran listrik yaitu arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan listrik. Sebutan lain untuk multimeter adalah AVO-meter yang merupakan singkatan dari satuan Ampere, Volt, dan Ohm



Gambar 3.3 Multimeter

Sedangkan untuk mengetahui kondisi sistem kelistrikan, biaya penggunaan beban diambil melalui data slip pembyaran bulanan penggunaan daya listrik pada lokasi

3.5. Proses Penelitian

Sebagaimana yang disarankan Departemen Pertambangan dan Energi, audit energi pada bangunan gedung pada intinya terdiri dari dua bagian, yaitu : audit energi awal dan audit energi rinci. Pelaksanaan audit awal dan audit rinci adalah sebagai berikut :

A. Audit Energi Awal

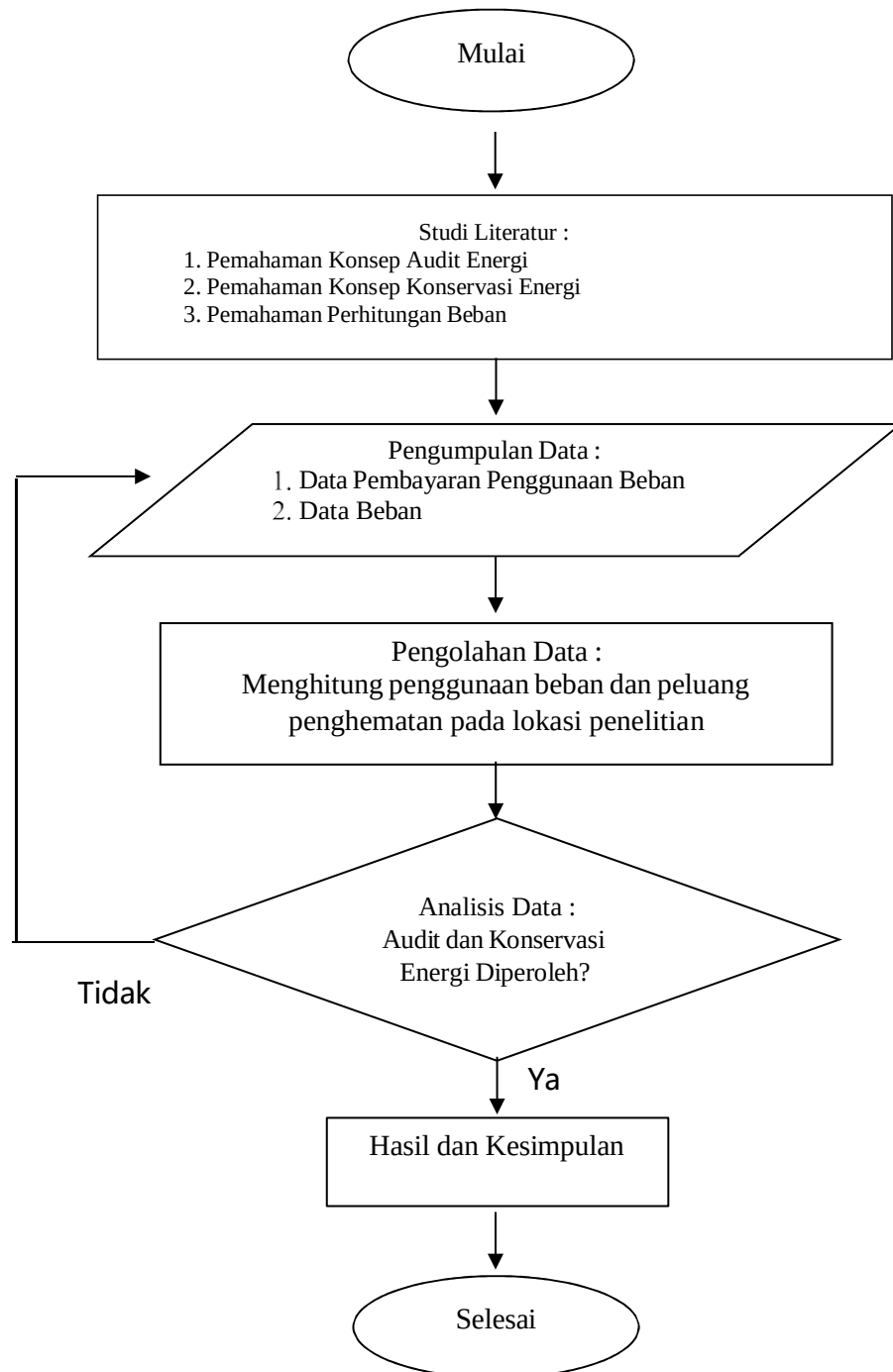
Kegiatan audit energi awal meliputi : Pengumpulan data energi bangunan dengan data-data historis yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran.

B. Audit Energi Rinci

Audit energi rinci dilakukan apabila nilai IKE bangunan lebih besar dari target nilai IKE standar. Rekomendasi yang disampaikan oleh Tim Hemat Energi (THE) yang dibentuk oleh pemilik/pengengola bangunan gedung dilaksanakan sampai diperolehnya nilai IKE sama atau lebih kecil dari target nilai IKE standar untuk perhotelan di Indonesia dan selalu diupayakan untuk dipertahankan atau diusahakan lebih rendah di masa mendatang.

3.6. Alur Penelitian

Adapun bagan alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

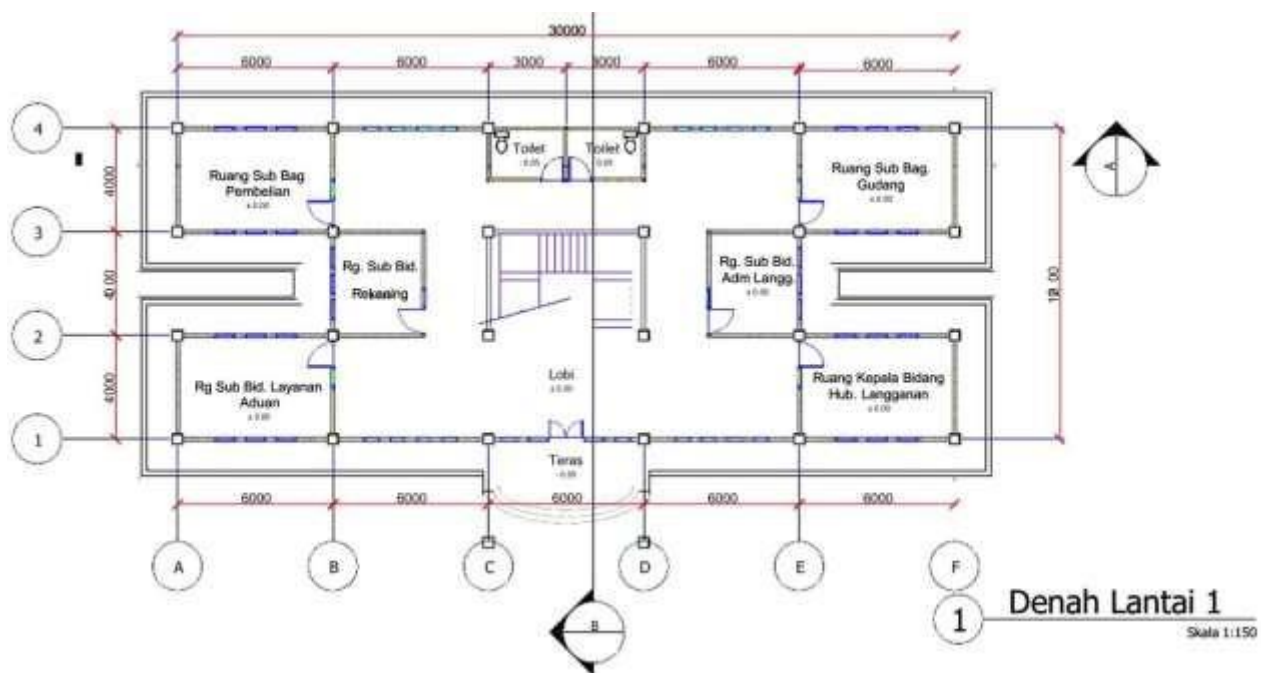
4.1. Penggunaan Energi Listrik

Adapun penggunaan energi listrik yang terdapat pada gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan menjadi acuan untuk dilakukan nya audit energi listrik.

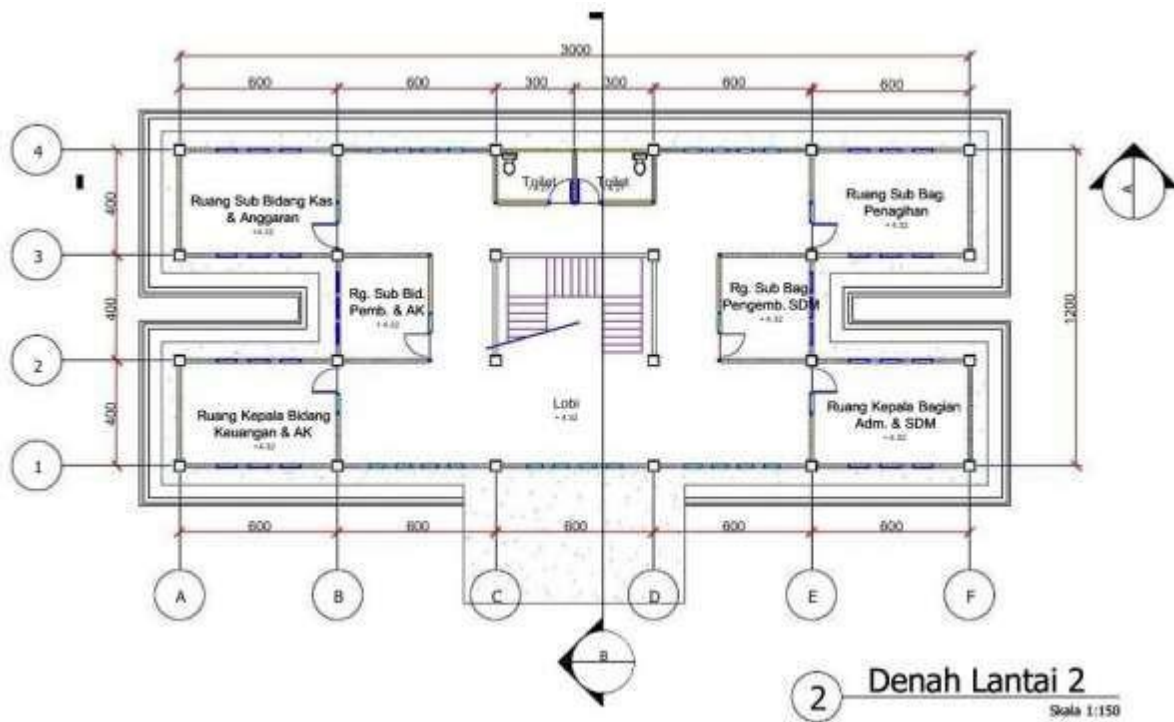
4.1.1. Daya Terpasang

Pada penelitian ini, data yang digunakan untuk melakukan audit energi listrik adalah menggunakan data dari daya yang terpasang pada gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan. Daya terpasang pada gedung serta data luas gedung menjadi parameter untuk melakukan proses audit energi guna mendapatkan nilai IKE (Indeks Konsumsi Energi) pada gedung pertahunnya.

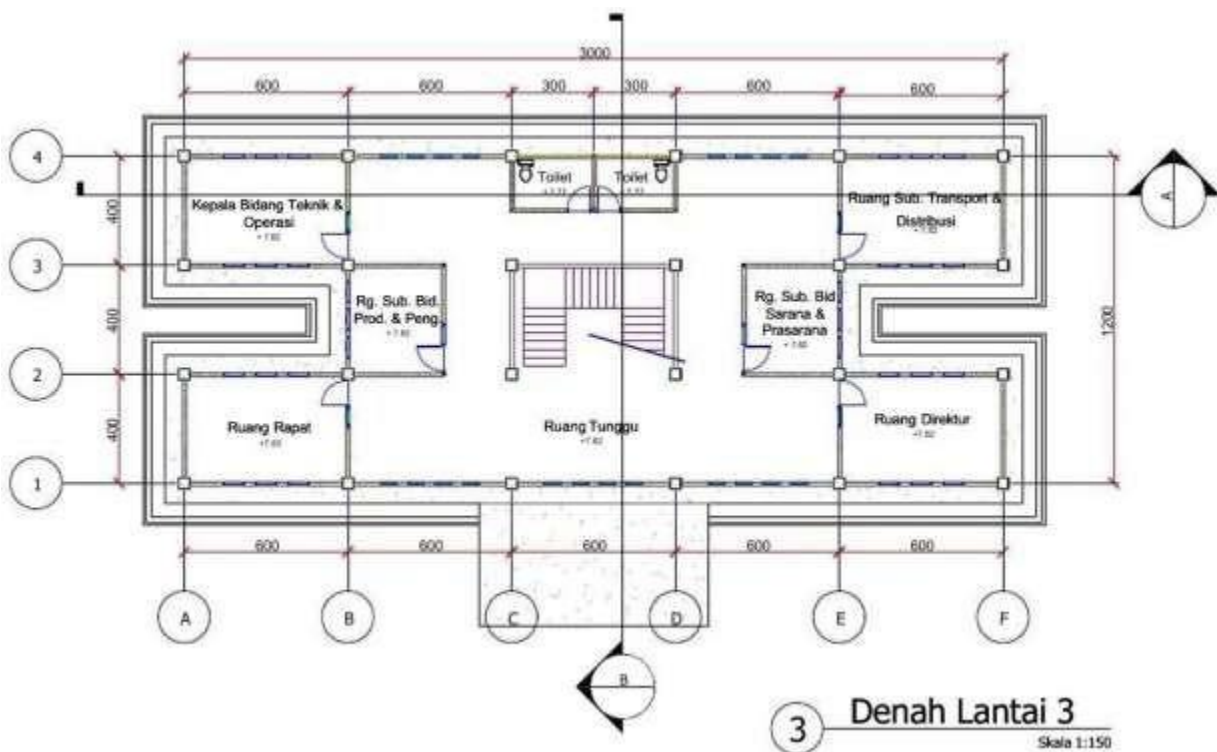
Adapun denah bangunan pada lokasi penelitian terdapat 3 lantai, adapun spesifikasi bangunan pada setiap lantai adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Lantai 1 gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan



Gambar 4.2 Lantai 2 gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan



Gambar 4.3 Lantai 3 gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan

Diketahui pada Gambar 4.2 Lantai 2 gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan 3 Lantai, dimana masing – masing lantai memiliki luas sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= p \times l \\ &= 30 \times 12 \\ &= 360^2\end{aligned}$$

Maka total keseluruhan luas bangunan adalah :

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= 360 \times 3 \\ &= 1080^2\end{aligned}$$

Pada penelitian ini, data yang digunakan untuk melakukan audit energi listrik adalah menggunakan data dari daya yang terpasang pada Gambar 4.2 Lantai 2 gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan setiap lantainya. Sistem pencahayaan dan sistem pendingin udara menjadi parameter melakukan audit energi.

Tabel 4.1 Jumlah Penggunaan Beban Listrik

No	Ruangan	Jumlah Beban
1	- Rg. Sub Bag Pembelian - Rg. Sub. Bid Layanan - Rg. Sub. Bid Rekening - Rg. Sub. Bid Adm Langg - Rg. Sub Bag. Gudang - Rg. Kpl Bid Hub Langg - Toilet 1 - Toilet 2 - Teras - Lobi	25 kVA
2	- Rg. Sub. Bid Kas - Rg. Kpl. Bid. Keu & AK	25 kVA

No	Ruangan	Jumlah Beban
	- Rg. Sub. Bid Pemb. AK - Rg. Sub. Bag Pengg SDM - Rg. Sub Bag. Penagihan - Rg. Kpl. Bag. Adm & SDM - Toilet 1 - Toilet 2 - Lobi	
3	- Rg. Kpl. Bid Teknik & OP - Rg. Rapat - Rg. Sub. Bid. Prod & Peng - Rg. Sub. Transport & Distribusi - Rg. Sub Bid Saran & Prasarana - Rg. Direktur - Toilet 1 - Toilet 2 - Rg Tunggu	25 kVA
Jumlah Daya Terpasang		75 kVA

4.1.2. Daya Terpakai

Tabel 4.2 Jumlah Penggunaan Daya

Ruangan	Jumlah Beban (Watt)
Lantai 1	
- Rg. Sub Bag Pembelian	3442
- Rg. Sub. Bid Layanan	3442
- Rg. Sub. Bid Rekening	3442
- Rg. Sub. Bid Adm Langg	3442

Ruangan	Jumlah Beban (Watt)
- Rg. Sub Bag. Gudang	3442
- Rg. Kpl Bid Hub Langg	3442
- Toilet 1	15
- Toilet 2	15
- Teras	180
- Lobi	3770
Total	24632
Lantai 2	
- Rg. Sub. Bid Kas	3442
- Rg. Kpl. Bid. Keu & AK	3442
- Rg. Sub. Bid Pemb. AK	3442
- Rg. Sub. Bag Pengg SDM	3442
- Rg. Sub Bag. Penagihan	3442
- Rg. Kpl. Bag. Adm & SDM	3442
- Toilet 1	15
- Toilet 2	15
- Lobi	3770
Total	24452
Lantai 3	
- Rg. Kpl. Bid Teknik & OP	3442
- Rg. Rapat	3442
- Rg. Sub. Bid. Prod & Peng	3442
- Rg. Sub. Transport & Distribusi	3442
- Rg. Sub Bid Saran & Prasarana	3442
- Rg. Direktur	3442
- Toilet 1	15
- Toilet 2	15
- Rg Tunggu	3770
Total	24452

Ruangan	Jumlah Beban (Watt)
Keseluruhan 3 Lantai	73536

Pada tabel 4.2 dapat dilihat daya terpasang yang digunakan pada gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan dimasing – masing lantai. Pada lantai 1 daya terpasang sebesar 24632 Watt, pada lantai 2 sebesar 24452 Watt dan pada lantai 3 sebesar 24452 Watt. Dengan total keseluruhan daya terpasang pada keseluruhan gedung adalah sebesar 73536 Watt atay 73,536 kW.

4.2. Intensitas Konsumsi Energi

Untuk mencari nilai IKE pertahun pada gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan indikator yang dibutuhkan adalah luas bangunan dan daya terpakai yang digunakan pada gedung. Menurut hasil wawancara penulis kepada pihak perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan rata – rata biaya yang dikeluarkan gedung selama sebulan untuk penggunaan energi listrik adalah sebesar Rp. 30.000.000,-. Dari informasi yang didapat adapun estimasi penggunaan beban per-hari dalam seminggu pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Estimasi Penggunaan Beban Perhari

Hari	Pemakaian (kWh)	Biaya (Rp)	Kwh / 9 jam
Senin	800	1340999	88,89
Selasa	820	1374524	91,11
Rabu	840	1408049	92,22
Kamis	830	1391287	93,33
Jumat	780	1307474	86,67
Sabtu	120	201150	13,33
Minggu	110	184387	12,22
Total	4300	7207870	477,78

Tabel 4.3 menunjukkan data pemakaian listrik harian dalam satu minggu beserta perkiraan biayanya. Pemakaian listrik tertinggi terjadi pada hari Rabu sebesar 840 kWh dengan biaya Rp1.408.049, diikuti hari Kamis sebesar 830 kWh dengan biaya Rp1.391.287, sedangkan pemakaian terendah terjadi pada hari Minggu yaitu 110 kWh dengan biaya Rp184.387. Secara umum, penggunaan listrik lebih tinggi pada hari kerja (Senin–Jumat) dengan kisaran 780–840 kWh per hari, dibandingkan akhir pekan (Sabtu–Minggu) yang hanya 110–120 kWh per hari. Total pemakaian listrik selama seminggu mencapai 4.300 kWh dengan total perkiraan biaya sebesar Rp7.207.870.

Diketahui gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan masuk kedalam golongan P-1/TR daya 6.600 – 200 kVA dengan biaya yang dikenakan per kWh nya adalah sebesar Rp. 1.699,53,-. Maka penggunaan energi listrik rata – rata selama 1 bulan adalah

$$\begin{aligned}
 \text{kWh/Bulan} &= \frac{\text{Biaya Penggunaan Listrik}}{\text{Tarif Dasar Listrik per kWh}} \\
 &= \frac{30.000.000}{1.699,53} \\
 &= 17.651,93 \text{ kWh/Bulan} \\
 \text{Atau} &= 588,39 \text{ kWh/Hari} \\
 \text{Atau} &= 214.765,25 \text{ kWh/Tahun}
 \end{aligned}$$

Jika dalam satu tahun biaya pemakaian energi listrik sebesar 214,765,25 kWh/Tahun, Maka nilai IKE pada pertahun pada bangunan tersebut :

$$\begin{aligned}
 (\text{IKE}) &= \frac{\text{energi (kWh)}/a}{\text{luas (m}^2\text{)}} \\
 &= \frac{214.765,25}{1080} \\
 &= 198,856 \text{ kWh/m}^2\text{/Tahun}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah nilai standar IKE untuk jenis bangunan perkantoran pemerintah berdasarkan Permen ESDM No. 13/2012.

Tabel 4.4 standar IKE Permen ESDM No. 13/2012

No	Jenis Bangunan	IKE (kWh/m ² /tahun)
1	Komersial (Perusahaan)	240
2	Mall/Supermarket	330
3	Perhotelan	330
4	Rumah Sakit	380

Dari Tabel 4.3 maka dapat dibandingkan antara nilai aktual IKE di lapangan dengan referensi nilai standar Permen ESDM No. 13/2012 dan ASEAN USAID tahun 1987. Berdasarkan nilai standar Permen ESDM No. 13/2012 mengenai pemakaian energi pada bangunan ber AC dan Intensitas Konsumsi Energi Standart di Bangunan berdasarkan rujukan ASEAN USAID th 1987, maka nilai IKE Bangunan Gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan termasuk effisien yaitu dengan nilai 198,856 kWh/m²/Tahun.

4.3. Analisis Kualitas Energi Listrik

Untuk mengetahui kualitas daya listrik dilakukan pengukuran tegangan dan arus selama jam kerja yaitu mulai dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 17.00 (9 jam kerja). Adapun hasil pengukuran yang dilakukan pada panel utama pada gedung adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Pengukuran Kualitas Energi Listrik

Waktu	Arus (I)			Tegangan (V)			Cos Phi			Daya Aktif (kW)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T

Waktu	Arus (I)			Tegangan (V)			Cos Phi			Daya Aktif (kW)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
09.00	18,249	18,4	18,316	383,89	389,02	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,58	5,30
10.00	18,249	18,412	18,316	383,89	389,11	386,11	0,74	0,78	0,75	5,18	5,59	5,30
11.00	18,248	18,411	18,316	383,89	389,02	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,59	5,30
12.00	18,247	18,4	18,312	383,85	389,02	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,58	5,30
13.00	18,248	18,413	18,312	383,84	389,05	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,59	5,30
14.00	18,249	18,412	18,315	383,89	389,02	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,59	5,30
15.00	18,248	18,412	18,316	383,89	389,07	386,08	0,74	0,78	0,75	5,18	5,59	5,30
16.00	18,249	18,413	18,316	383,81	389,02	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,59	5,30
17.00	18,249	18,4	18,315	383,89	389,02	386,05	0,74	0,78	0,75	5,18	5,58	5,30

Berdasarkan tabel 4.4 hasil pengukuran arus, tegangan, faktor daya (cos phi), dan daya aktif pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan, diperoleh data bahwa nilai arus pada ketiga fasa relatif stabil sepanjang waktu pengukuran dari pukul 09.00 hingga 17.00 dengan rata-rata sekitar 18,2 A. Tegangan pada masing-masing fasa juga menunjukkan kestabilan dengan nilai berkisar 383–389 V. Faktor daya (cos phi) pada ketiga fasa cenderung konstan di kisaran 0,74–0,78, yang menunjukkan bahwa kualitas daya masih berada di bawah standar ideal ($\geq 0,95$). Nilai daya aktif yang terukur pada tiap fasa juga relatif konstan, yaitu sekitar 5,18–5,20 kW untuk fasa R, 5,58–5,59 kW untuk fasa S, serta 5,30 kW untuk fasa T. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa meskipun beban listrik pada gedung relatif stabil dan seimbang antar fasa, faktor daya yang masih rendah menunjukkan perlunya penambahan kapasitor bank agar efisiensi penggunaan energi listrik dapat ditingkatkan dan biaya operasional dapat ditekan.

Tabel 4.6 Hasil Penjumlahan Daya Listrik masing – masing phase

Waktu	Arus (I)				Daya Aktif 3 Phase (kW)	Daya Semu 3 Phase (kVA)	Cos Phi
	R	S					
09.00	18,249	18,4	18,316	386,32	16,07	21,23	0,76
10.00	18,249	18,412			16,08	21,24	0,76
11.00	18,248	18,411			16,07	21,24	0,76
12.00	18,247	18,4			16,07	21,23	0,76
13.00	18,248	18,413			16,07	21,24	0,76
14.00	18,249	18,412	18,315	386,32	16,07	21,24	0,76
15.00	18,248	18,412			16,08	21,24	0,76
16.00	18,249	18,413			16,07	21,24	0,76
17.00	18,249	18,4	18,315	386,32	16,07	21,23	0,76

Dari tabel 4.5 pengukuran daya tiga fasa terlihat bahwa nilai arus pada fasa R, S, dan T berada pada kisaran yang hampir sama yaitu sekitar 18,2 A, sehingga beban antar fasa dapat dikatakan seimbang. Tegangan rata-rata tercatat stabil pada kisaran 386 V, sedangkan daya aktif tiga fasa bernilai konstan di sekitar 16,07–16,08 kW dengan daya semu sebesar 21,23–21,24 kVA. Faktor daya (cos phi) yang diperoleh sepanjang waktu pengukuran tetap pada nilai 0,76, menunjukkan bahwa meskipun kondisi beban dan tegangan cukup stabil, kualitas daya masih rendah karena faktor daya jauh di bawah standar ideal $\geq 0,95$. Hal ini menandakan perlunya perbaikan sistem melalui pemasangan kapasitor bank agar efisiensi energi meningkat, rugi-rugi daya berkurang, dan biaya operasional listrik dapat ditekan.

Maka dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada tegangan dan arus serta penjumlahan nilai daya yang digunakan pada setiap phase dapat direkapitulasi pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Rekapitulasi data

Tegangan (V)	Arus Rata – Rata Per Phase (A)	Total Rerata Daya Aktif (kWatt)	Total Rerata Daya Semu (kVA)	Cos Phi Rata - Rata
386,32	18,32	16,07	21,24	0,76

Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan titik pangung antara daya aktif dan daya semu. Mempertimbangkan bahwa sebagian besar beban bersifat induktif, pemuaian beban akan menyebabkan kenaikan pada bagian arus yang menuju berlawanan arah dengan tegangan. Hal ini akan menyebabkan perubahan daya kompleks dan faktor daya. Sehingga faktor daya menjadi lebih kecil sesuai dengan beban induktif.

Maka dari data sebelumnya diketahui faktor daya hasil pengukuran pada gedung adalah 0,76, dimana nilai ini relatif kecil dibandingkan faktor daya standar yang baik adalah 0,85. Maka untuk menaikkan nilai faktor daya menjadi 0,95 dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

Daya Aktif (P) = 16,07 kW

Daya Semu (S) = 21,24 kVA

Tegangan (V) = 386,32 Volt

Cos Phi = 0,76

Menghitung nilai sudut faktor daya :

$$\text{Cos Phi} = \frac{D_{aa \text{ kif}}}{D_{aa \text{ e}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{16,07}{21,24} \\
 &= 0,756 \\
 \varphi_1 &= \cos^{-1}(0,756) \\
 &= 40,9^\circ
 \end{aligned}$$

Menghitung Daya Reaktif :

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \sqrt{S^2 - P^2} \\
 &= \sqrt{16,07^2 - 21,24^2} \\
 &= \sqrt{258,24 - 451,14} \\
 &= \sqrt{192,89} \\
 &= 13,88 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

Maka untuk mencapai Cos Phi yang diinginkan yaitu 0,95 Dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 S_2 &= \frac{Daa kif}{o i arge} \\
 &= \frac{16,07}{0,95} \\
 &= 16,91 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= \sqrt{S^2 - P^2} \\
 &= \sqrt{16,91^2 - 16,07^2} \\
 &= \sqrt{285,96 - 258,24} \\
 &= \sqrt{27,72} \\
 &= 5,266 \text{ Kvar}
 \end{aligned}$$

Maka kapasitas kapasitor bank yang dibutuhkan untuk mencapai faktor daya 0,95 adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_c &= Q_1 - Q_2 \\
 &= 13,88 - 5,266 \\
 &= 8,614 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan peningkatan kapasitor bank untuk mencapai nilai faktor daya 0,95 agar kualitas daya listrik pada lokasi penelitian lebih baik

dari faktor daya 0,76 dibutuhkan kapasitor bank dengan kapasitas 8,614 kVAR.

$$C(\mu F) = \frac{Q \times 10^9}{2\pi f V^2}$$

keterangan:

C = kapasitansi kapasitor (μF)

Q = daya reaktif yang harus dikompensasi (VAR atau kVAR $\times 1000$)

f = frekuensi sistem (Hz), biasanya 50 Hz

V = tegangan sistem (Volt)

Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan kapasitor bank sebesar :

Qc = 8,614 kVAR.

Untuk menentukan besarnya kapasitansi (C) yang harus dipasang dapat digunakan persamaan:

$$C(\mu F) = \frac{8,614 \times 10^3 \times 10^9}{2\pi \times 50 \times (386,32^2)}$$

$$C \approx 151.000 \mu F$$

Sehingga, kapasitor bank yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0,95 setara dengan **151.000 μF** pada sistem 3 fasa 386 V 50 Hz.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Kapasitas daya semu pada gedung adalah 75 kVA dengan pembagian 3 lantai. Dimana pada masing – masing lantai terpasang daya semu 25 kVA. Daya terpasang yang digunakan pada gedung perkantoran Upt Pt Pln Nusantara Power Updk Belawan dimasing – masing lantai adalah pada lantai 1 daya terpasang sebesar 24632 Watt, pada lantai 2 sebesar 24452 Watt dan pada lantai 3 sebesar 24452 Watt. Dengan total keseluruhan daya terpasang pada keseluruhan gedung adalah sebesar 73536 Watt atay 73,536 kW. Menurut hasil wawancara penulis kepada pihak perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan rata – rata biaya yang dikeluarkan gedung selama sebulan untuk penggunaan energi listrik adalah sebesar Rp. 30.000.000,-. Diketahui gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan masuk kedalam golongan P-1/TR daya 6.600 – 200 kVA dengan biaya yang dikenakan per kWh nya adalah sebesar Rp. 1.699,53,-. Maka penggunaan energi listrik rata – rata selama 1 bulan adalah 214.765,25 kWh/Tahun dengan nilai IKE 198,856 kWh/m2/Tahun.
2. Berdasarkan nilai standar Permen ESDM No. 13/2012 mengenai pemakaian energi pada bangunan ber AC dan Intensitas Konsumsi Energi Standart di Bangunan berdasarkan rujukan ASEAN USAID th 1987, maka nilai IKE Bangunan Gedung perkantoran upt pt pln nusantara power updk belawan termasuk effisien. Pada pengukuran kualitas daya listrik diketahui faktor daya pada gedung adalah 0,76.

5.2. Saran

1. Perencanaan selanjutnya dapat melakukan studi penerapan PLTS atap atau hybrid system untuk mendukung efisiensi energi dan menurunkan beban siang hari.
2. Riset selanjutnya bisa menambahkan sistem monitoring energi berbasis IoT dan smart meter untuk memantau konsumsi energi secara real-time.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis peluang penghematan energi pada lokasi penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Evalina, N., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Rimbawati, & Sary, N. (2025). Analysis of Energy Consumption in Residential Homes Using Solar Power Plants. *Journal of Physics: Conference Series*, 2989(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2989/1/012003>
- Oktrialdi, B., Rizky, F., Elektro, T., Muhammadiyah, U., Utara, S., Mesinuniversitas, T., & Sumatera, M. (2024). Energi Alternatif Menggunakan Radiator Mobil Menghasilkan Power Supply Ac 12 Volt Dan 220 Volt. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 6(2), 100–105. <https://doi.org/10.30596/rele.v6i2.17685>
- Putri, M., & Pasaribu, I. (2018). Analisis Kualitas Daya Akibat Beban Reaktansi Induktif (XL) di Industri. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 82.
- Anagra, F. (2020). Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik di Unit 1 PLTU Banten 3 Lontar. *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(1), 32. <https://doi.org/10.22441/jte.2020.v11i1.005>
- Benang, D. I. I. (n.d.). *Audit Energi Sistem Kelistrikan*. 8, 9–15.
- Efisiensi, M., Listrik, E., Pt, D. I., Tbk, P. E., Milenio, R., & Yudha, F. (2022). *ANALISIS PERBAIKAN POWER FACTOR UNTUK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEMARANG SEMARANG MENCAPI EFISIENSI ENERGI LISTRIK DI PT . TEXMACO PERKASA ENGINEERING Tbk .*
- Hamdani, C. N., Dewi, A. K., Wardhana, A. S., Utama, P. A., Yudanto, R. C., & Swandaru, C. F. P. (2023). Audit Energi Pada Bangunan Gedung – Studi Kasus Pada Gedung Perkantoran. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.31884/jtt.v9i1.391>
- Jamal, J., Marlina, M., & Dwi, F. (2019). Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Energi Listrik Pada Bagian Produksi di PT. EPFM Makassar. *Jurnal Sinergi Jurusan Teknik Mesin*, 17(1), 42.

<https://doi.org/10.31963/sinergi.v17i1.1591>

- Lukman, A. (2018). Audit Energi Pemakaian Air Conditioning (AC) Di Gedung Dinas Pekerjaan. *Jurnal ELKHA*, 10, 1–5.
- Martin, A., Agusta, D. R., & Simangunsong, N. (2022). Audit energi sistem tata cahaya dan tata udara lantai 2 & 3 pada bangunan gedung toko buku di Pekanbaru. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 11(2).
<https://doi.org/10.24127/trb.v11i2.2133>
- Palaloi, S. (2005). Audit energi sistem kelistrikan di pabrik gula. *Ilmiah Teknologi Energ*, 1(1), 19–33.
- Prastyawan, A., Agung, A. I., Haryudo, S. I., & Hermawan, A. C. (2020). Analisis Audit Energi Listrik pada Gedung Jurusan Listrik Elektro Universitas Negeri Surabaya. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 237–243.
- Ahmad Wahin, Ir Junaidi, M Iqbal Arsyad (2018) “Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura” Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura Pontianak
- Nanang Setiaji, Ir Sumpena, Agus Sugiharto (2020) “Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik” 3Jurusan Teknik Elektro, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
- Pamela Simamora (2019) “ Kebijakan Tarif Listrik Indonesia” Koordinator Tim Riset Di Institute For Essential Services Reform (IESR) Energi Terbarukan Dan Sistem Tenaga Listrik.