

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Konservasi Energi

Negara Indonesia kaya akan sumber energi tetapi pemanfaatannya selama ini belum seimbang karena terlalu banyak tergantung pada sumber energi minyak bumi. Padahal sumber minyak bumi ini merupakan pendapatan yang terpenting dan persediaannya terbatas. Ketergantungan pada satu sumber energi yaitu minyak bumi dan produk turunannya ini tidak dapat dibiarkan secara terus – menerus karena kebutuhan energi yang akan terus meningkat baik disebabkan meningkatnya industri maupun pertambahan jumlah penduduk serta adanya peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Energi mempunyai peranan yang sangat penting dan menjadi kebutuhan dasar dalam pembangunan ekonomi nasional yang berkelanjutan. Oleh karena itu, energi harus digunakan secara hemat, rasional, dan bijaksana agar kebutuhan energi pada masa sekarang dan masa yang akan datang dapat terpenuhi. Mengingat pentingnya penggunaan energi secara hemat, rasional, dan bijaksana. Pemerintah perlu menyusun Peraturan Pemerintah dalam rangka pengaturan pemanfaatan sumber daya energi, sumber energi dan energi, melalui penerapan teknologi yang efisien energi, pemanfaatan energi secara efisien dan rasional, dan penerapan budaya hemat energi guna menjamin ketersediaan energi nasional yang berwawasan lingkungan.

Untuk menghadapi masalah-masalah tersebut di atas di susunlah langkah-langkah kebijakan energi oleh pemerintah, langkah-langkah itu adalah :

1. Intensifikasi
2. Diversifikasi
3. Konservasi

Konservasi energi merupakan langkah kebijaksanaan yang pelaksanaannya paling mudah dan biayanya paling murah di antara langkah-langkah di atas, serta sekarang juga dapat dilaksanakan oleh seluruh lapisan masyarakat. Kebijakan energi ini di maksudkan untuk memanfaatkan sebaik-baiknya sumber energi yang ada, juga dalam rangka mengurangi ketergantungan akan minyak bumi, dengan pengertian bahwa konservasi energi tidak boleh menjadi penghambat kerja operasional maupun yang telah direncanakan (Badan koordinasi Energi Nasional 1983).

Oleh karena itu disamping harus secepatnya mengembangkan sumber-sumber energi dari bahan bakar non fosil seperti biomasa, biogas dan sebagainya, harus juga berusaha untuk mengoptimalkan penggunaan energi minyak bumi secara lebih cepat, cemat, hemat dan efisien dalam rangka pelaksanaan konservasi energi. [1]

2.2 Energi

Energi adalah suatu besaran yang secara konseptual dihubungkan dengan transformasi, proses atau perubahan yang terjadi. Besaran ini seringkali dikaitkan dengan perpindahan sebuah gaya atau perubahan temperature, sehingga memungkinkan penentuan satu joule (perpindahan gaya 1 Newton sejauh 1 meter), maupun kalor jenis (energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperature sebesar 1 derajat per satuan massa material). Dalam keperluan praktis, energi sering kali dikaitkan dengan jumlah bahan bakar atau konsumsi jumlah listrik.

Setiap zat sebenarnya mengandung sejumlah energi di dalamnya yang disebut energi dalam. Dalam suatu proses zat dapat melepaskan sebagian energi dalamnya (dalam proses pembakaran) atau menyimpan energi-energi yang berasal dari lingkungan.

Dalam melakukan analisis energi suatu sistem, harus dilakukan berbagai proses perhitungan yang melibatkan sejumlah material/zat dan energi. Oleh karena itu perlu dipahami berbagai satuan yang sering digunakan dalam menyatakan besaran atau jumlah dari suatu besaran.

Untuk menyatakan jumlah material, ada berapa besaran yang dapat digunakan yaitu :

1. Massa, dengan satuan kg, lb, ton dan sebagainya.
2. Volume, dengan satuan liter, m³, gallon dan sebagainya.
3. Untuk menyatakan jumlah energi, ada berapa satuan yang digunakan. Misalnya joule, ft, lb, kWh, BTU dan sebagainya. Satuan joule merupakan energi – energi listrik. Ft, lbf adalah satuan yang biasanya digunakan untuk menyatakan energi thermal.

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

Melalui transformator penaik tegangan (*step up transformer*) energi listrik ini dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir melalui saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan ini berarti mengurangi rugi-rugi panas yang terjadi (*heat loss*) yaitu sebesar I^2R . Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah dengan transformator penurunan tegangan (*step down transformer*).

Di pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran transmisi, energi listrik ini diubah kembali menjadi bentuk – bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis, penerangan, dan lain – lain. Elemen pokok tenaga. [1]

2.3 Audit Energi

Audit energi adalah kegiatan untuk mengetahui pola pemakaian energi dari peralatan pengguna energi yang ada di gedung. Pola pemakaian energi ini diamati pada peralatan-peralatan utama pengguna energi seperti *air conditioner*, *lift*, pencahayaan, boiler dan motor – motor. Dengan didapat untuk menghasilkan program efisiensi yang sukses, audit energi mutlak dilaksanakan. Proses energi audit juga merupakan langkah awal dalam mengidentifikasi potensi – potensi penghematan energi. Audit ini akan menghasilkan data – data penggunaan energi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam program efisiensi energi. Secara otomatis, hasil audit juga akan memberikan informasi mengenai langkah – langkah yang tepat untuk menjalankan program efisiensi energi. Proses ini juga dasar dari penentuan target efisiensi yang akan menjadi acuan dalam penyusunan rencana aksi yang berisi berbagai rekomendasi penghematan energi. [2]

2.4 Standar Audit Energi

Dalam audit energi listrik pasti akan terikat dengan yang namanya standarisasi. Standar yang digunakan merupakan standar yang sudah berstandarisasi Internasional. Standar audit energi yang digunakan di Negara Indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan nama lembaga Badan Standarisasi Nasional (BSN). Standar ini memiliki kegunaan selaku pembanding dan rujukan bagi para perancang, pelaksana, pemilik, pemakai dan pengelola.

Apabila untuk seorang auditor, standar digunakan untuk memberi potret dan pembanding terhadap hasil audit sebagai landasan untuk melakukan konservasi energi. Serta untuk menunjukkan prioritas penerapan konservasi

energi yang pantas untuk diaplikasikan berdasarkan rekomendasi dari hasil audit energi yang memerlukan biaya sedang/tinggi dan dikonsultasikan dengan manajemen perusahaan. [2]

Terdapat beberapa standar yang digunakan dalam audit energi, antara lain :

- a. SNI 03-6196-2000; prosedur audit pada bangunan gedung.
- b. ASHRAE, *Standard 90.1: energi efficiency*.
- c. BOMA, *Standard method for measuring floor area in office buildings*.
- d. BOCA, *International energi conservation code 2000*.

2.5 Macam – Macam Audit Energi

Menurut [2], jenis audit energi di bedakan berdasarkan singkat kedalaman yang di dihasilkan terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu :

- a. Audit Energi Singkat (*walk through audit*)
Audit singkat merupakan langkah audit yang paling mudah. Audit singkat dilakukan sebagai indentifikasi awal adanya peluang penghematan energi. Audit singkat ini dilakukan sekilas, paling tidak dalam satu hari kunjungan ke lokasi gedung.
- b. Audit energi awal (*Preliminary Audit*)
Audit energi awal hanya perlu dilakukan bila audit energi singkat atau audit awal merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung. Audit energi awal bisa juga secara langsung dilaksanakan tanpa melalui audit singkat.
- c. Audit energi rinci (*Detailed Audit*)
Audit energi rinci perlu dilakukan bila audit energi singkat atau audit awal merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung atau pada obyek khusus atau spesifik yang dianggap memiliki potensu penghematan energi secara besar dan menjanjikan tingkat kelayakan cukup menarik. Umumnya nilai IKE yang lebih besar dari nilai *benchmark* atau target yang ditentukan merupakan alasan untuk merekomendasikan kegiatan audit rinci. Tapi bisa juga audit rinci ini dilaksanakan langsung tanpa melewati tahapan audit singkat atau audit awal.

2. 6 Proses Audit Energi

2.6.1 Audit Energi Singkat

Audit singkat merupakan langkah audit yang paling mudah. Audit singkat dilakukan sebagai identifikasi awal adanya peluang penghematan energi. Audit singkat ini dilakukan sekilas, paling tidak dalam satu hari kunjungan ke lokasi gedung. Kegiatan yang dilakukan dalam audit singkat ini adalah :

A. Persiapan

Persiapan audit energi dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan, mencakup :

- a. Penyiapan Dokumentasi bangunan
- b. Penyiapan Sumber daya manusia yang berpengalaman
- c. Penetapan jadwal singkat perencanaan

B. Pengumpulan Data

Data historis, yaitu :

- a. Luas lantai dan jumlah lantai gedung.
- b. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak atau bahan bakar gas.
- c. Tingkat hunian bangunan (occupancy rate) selama satu tahun terakhir.
- d. Daya terpasang listrik.

C. Perhitungan dan Analisis data

Perhitungan dilakukan secara sederhana menggunakan data yang terkumpul :

- a. Hitung Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m²/bulan).
- b. Hitung presentase potensi penghematan energi yang bisa diperoleh.
- c. Hitung biaya bangunan (Rp/m²).
- d. Pilihan untuk audit lanjutan (preliminary atau detail).

D. Laporan Audit Energi

Berdasarkan pada keseluruhan kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi disusun. Laporan audit energi memuat :

- a. Potret penggunaan energy.
- b. Rekomendasi yang mencakup langkah konservasi energi yang bisa dilaksanakan serta pilihan untuk melanjutkan audit yang lebih lanjut (preliminary atau detail).

2.6.2 Audit Energi Awal

Audit energi awal merupakan pengumpulan data awal, tidak menggunakan instrumentasi yang canggih dan hanya menggunakan data yang tersedia. Dengan kata lain energi awal merupakan pengumpulan data dimana, bagaimana, berapa, dan jenis energi apa yang digunakan oleh suatu fasilitas. [2]

Audit energi awal perlu dilaksanakan bila audit energi singkat merekomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada seluruh bangunan gedung. Audit energi awal bisa juga secara langsung dilaksanakan tanpa audit singkat. Kegiatan yang dilakukan dalam audit energi awal, yaitu :

A. Persiapan

Persiapan audit energi dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan, mencakup :

- a. Penyiapan dokumentasi bangunan termasuk ceklist data.
- b. Penyiapan sumber daya manusia yang sesuai bidang elektrikal dan mekanikal (fisika bangunan).
- c. Penyiapan alat ukur untuk pengukuran sampling.
- d. Penetapan jadwal rinci perencanaan.

B. Pengumpulan Data

Data historis, yaitu dokumentasi bangunan yang sesuai dengan gambar pelaksanaan konstruksi (*as built drawing*), terdiri atas :

- a. Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
- b. Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
- c. Diagram garis tunggal lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyabungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari *Diesel generating set*.
- d. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak atau bahan bakar gas.
- e. Tingkat hunian bangunan (occupancy rate) selama satu tahun terakhir.
- f. Pengukuran singkat

Adapun alat ukur yang digunakan dalam audit awal adalah yang dipasangkan tidak tetap (*portable*) dimana dilakukan secara sampling disejumlah titik pengguna energi yang diperkirakan besar penggunaannya.

C. Perhitungan dan Analisis data

Perhitungan dilakukan secara sederhana menggunakan data yang terkumpul :

- a. Hitung Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m²/bulan).
- b. *Simple payback period* dan analisis finansial sederhana untuk potensi penghematan energi yang dapat Hitung presentase potensi penghematan energi yang bisa diperoleh.
- c. Hitung biaya energi bangunan (Rp/m²).
- d. Penyusunan neraca energi sederhana.
- e. Hitung presentase pekuang penghematan energy.
- f. Rekomendasikan pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.

D. Diskusi

Untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung maka diskusi harus dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir final ditetapkan.

E. Laporan Audit Energi

Berdasarkan pada keseluruhan kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi disusun. Laporan audit energi memuat :

- a. Potret penggunaan energy.
- b. Potensi penghematan energi dan biaya pelaksanaan.
- c. Rekomendasi spesifik dan saran tindak lanjut ke audit rinci.

2.6.3 Audit Energi Rinci

Audit energi rinci merupakan survey data yang dilakukan menggunakan alat instrumentasi untuk mendapatkan data pemakaian energi, yang selanjutnya diteruskan dengan analisa data secara rinci guna mengidentifikasi jumlah energi yang dikonsumsi oleh peralatan, komponen, bagian – bagian tertentudari bangunan, sehingga pada akhirnya dapat disusun aliran energi keseluruhan bangunan. [2]

Audit energi rinci perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan, sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaian energi cukup besar.

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian energi adalah mengumpulkan dan meneliti sejumlah masukan yang hasil penelitian dan pengukuran energi dibuat profil energi bangunan dapat mempengaruhi besarnya kebutuhan energi bangunan. Kegiatan yang dilakukan dalam audit rinci :

A. Persiapan

Persiapan audit energi dilakukan adalah untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan lingkup kegiatan yang ditetapkan, mencakup :

- a. Penyiapan dokumentasi bangunan termasuk ceklist data.
- b. Penyiapan sumber daya manusia yang sesuai bidang elektrikal dan mekanikal (fisika bangunan) serta arsitektur.
- c. Penyiapan alat ukur untuk pengukuran detail yang dilakukan secara periodik.
- d. Penetapan jadwal rinci perencanaan.

B. Pengumpulan Data

1. Data historis, yaitu :
 - a. Dokumentasi bangunan yang sesuai dengan gambar pelaksanaan konstruksi (*as built drawing*) terdiri atas :
 - b. Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
 - c. Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai
 - d. Diagram garis tunggal lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyabungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari *Diesel generating set*.
 - e. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan selama satu tahun terakhir dan rekening pembelian bahan bakar minyak atau bahan bakar gas.
 - f. Tingkat hunian bangunan (*occupancy rate*) selama satu tahun terakhir.

2. Pengukuran langsung :

Alat ukur yang digunakan dapat berupa alat ukur yang dipasang tetap (*permanent*) pada instalasi atau alat ukur yang dipasang tidak tetap (*portable*) dilakukan secara periodik. Pengukuran langsung mencakup :

- a. Peralatan utama
- b. Parameter operasi
- c. Profil (jam, harian)
- d. Performance alat

C. Perhitungan dan Analisis Data

Berdasarkan data seperti disebutkan diatas pembuatan profil penggunaan energi, perhitungan neraca energi, analisis data teknis maupun finansial secara mendalam dapat dilakukan. Analisis data energi dapat dilakukan dengan penggunaan program komputer yang

telah direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi, meliputi :

- a. Hitung rincian penggunaan energi pada obyek dan diteliti.
- b. Hitung Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m²/tahun).
- c. Hitung kinerja operasi aktual (rata-rata, maksimum dan minimum).
- d. Hitung biaya energi bangunan (Rp/m²).

Analisis Data :

- a. Gambarkan grafik kecenderungan konsumsi energi atau energi spesifik dengan parameter operasi, jam, harian, mingguan atau bulanan.
- b. Lihat korelasi antar intensitas energi atau konsumsi energi dengan parameter operasi.
- c. Tentukan parameter operasi yang dominan terhadap konsumsi energi maupun intensitas energi dari obyek yang diteliti.
- d. Lihat kemungkinan perbaikan kinerja dan efisiensi penggunaan energy.
- e. Hitung peluang penghematan energi jika perbaikan kinerja tersebut dilakukan.
- f. Hitung biaya yang diperlukan untuk implementasi perbaikan yang dimaksud.
- g. Lakukan analisis finansial untuk setiap peluang penghematan energi yang ada.
- h. Lakukan analisis sensitifitas penghematan energi yang menjanjikan penghematan besar dengan tingkat kelayakan yang cukup menarik.
- i. Rekomendasikan pilihan dengan urutan prioritas langkah penghematan energi.

D. Diskusi

Untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pemilik gedung makan diskusi harus dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir final ditetapkan.

E. Laporan Audit Energi

Berdasarkan pada seluruh kegiatan yang dilaksanakan, maka laporan audit energi rinci disusun. Laporan audit energi rinci harus memuat :

- a. Potret penggunaan energy.
- b. Kinerja operasi aktual penggunaan energi untuk berbagai kondisi dan beban.
- c. Factor-faktor yang mempengaruhi kinerja operasi.

- d. Potensi penghematan energi dan biaya pada obyek yang diteliti.
- e. Kajian teknis dan finansial penghematan energi.
- f. Rekomendasi spesifik dan saran tindak lanjut.

2.7 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan perbandingan antara jumlah total energi yang digunakan dengan luas bangunan gedung dalam periode waktu tertentu (kWh/m^2 atau $\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$). Nilai IKE ini dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui potensi penghematan yang dapat dilakukan pada setiap ruangan atau sebuah gedung secara keseluruhan dalam rangka konservasi energi. Nilai IKE ini juga dapat digunakan sebagai nilai perbandingan dengan batas standar yang ada sehingga akan diketahui seberapa efisien sebuah ruangan atau gedung tersebut. [2]

Penggunaan energi dapat dihitung jika diketahui :

- a. Rincian luas bangunan gedung dan luas total bangunan gedung (m^2).
- b. Konsumsi energi bangunan gedung per tahun (kWh/tahun)
- c. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung per tahun ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$)
- d. Biaya energi bangunnann gedung (Rp/kWh)

Untuk menilai tingkat hemat energi suatu gedung diperlukan suatu acuan yang bisa dipakai oleh pelaksana efisiensi energi di suatu gedung. Acuan ini bukan bersifat standar karena tingkat hemat suatu gedung akan berbeda untuk wilayah yang berbeda tergantung kondisi lingkungan dan aturan yang berlaku. Karena itu acuan yang dipegang bersifat dinamis yang bisa berubah sesuai dengan perubahan waktu dan perkembangan teknologi. Perubahan ini bisa terjadi sebagai contoh misalnya pada saat belum ditemukan lampu nhemat energi, acuan tingkat hemat untuk lampu lebih besar dibandingkan setelah ditemukannya lampu hemat energi. Oleh karena itu intensitas konsumsi energi yang disebut juga Indeks Konsumsi Energi (IKE) yang akan dipakai adalah yang berlaku untuk Indonesia untuk waktu saat ini. Standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik di Indonesia adalah sebagi berikut. :

- a. IKE untuk perkantoran (komersil) : $240 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$
- b. IKE untuk pusat belanja : $330 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$
- c. IKE untuk hotel / apartemen : $300 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$
- d. IKE untuk rumah sakit / industri : $380 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$

- e. Perkantoran Pemerintah (AC) : 165 kWh/m²/tahun
- f. Perkantoran Pemerintah (non AC) : 65 kWh/m²/tahun

Menurut Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi nilai IKE dari suatu bangunan gedung digolongkan dalam dua kriteria, yaitu gedung ber-AC dan gedung tidak ber-AC maka standart yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 standar IKE untuk gedung ber-AC dan gedung tidak ber-AC [3]

Gedung ber-AC		Gedung Tidak ber-AC	
IKE (kWh/m ² /Tahun)	Kriteria	IKE (kWh/m ² /Tahun)	Kriteria
20-10	Efisien	50 - 95	Sangat Efisien
20 - 30	Cukup Efisien	95 - 145	Efisien
30 - 40	Boros	145 - 175	Cukup Efisien
40 - 50	Sangat Boros	175 - 285	Boros
		285 - 450	Sangat Boros

2.8 Peluang Hemat Energi (PHE)

Peluang dalam penghematan energi dapat ditilik berdasarkan harga intensitas konsumsi energinya. Yang mana semakin jauh besar harga intensitas energi yang didapat terhadap target intensitas energinya maka peluang akan semakin tinggi. Target yang diinginkan haruslah sesuai standarisasi. Jadi, potensi hemat energi adalah hasil analisa Intensitas Konsumsi Energi yang setelah itu dilakukan perbandingan terhadap standar yang ada baik berupa SNI atau BSN.

Apabila didapatkan harga IKE melebihi dari IKE standar maka terdapat peluang untuk dilakukan penghematan.

$$\text{Potensi Penghematan} = \frac{\Delta \text{IKE (Intensitas Konsumsi Energi)} \times \text{Total area} \times \text{Tarif Listrik}}{12 \text{ Bulan}}$$

2.8.1 Analisis peluang hemat energi

- a. 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. [2]
- b. Analisis peluang hemat energi dapat juga dilakukan dengan penggunaan program computer yang telag direncanakan untuk kepentingan itu dan diakui oleh masyarakat profesi.
- c. Penghematan energi pada bangunan gedung harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni. Analisis peluang hemat energi dilakukan dengan usaha antara lain :
 1. Menekan penggunaan energi hingga sekecil mungkin (mengurangi daya terpasang atau terpakai dan jam operasi);
 2. Memperbaiki kinerja peralatan;
 3. Menggunakan sumber energi yang murah.

2.9 Peluang Hemat Biaya

Peluang hemat biaya ini adalah kelanjutan dari Peluang Hemat Energi, Peluang Hemat Biaya adalah perkiraan biaya yang akan berkurang jika kita dapat menurunkan nilai IKE menjadi nilai IKE target. Peluang Hemat Biaya dapat dilakukan setelah peluang penghematan energi diketahui sehingga kita dapat menghitung perkiraan penghematan biaya yang didapat. Peluang hemat biaya ini dihitung dengan mengalika peluang hemat energi dengan biaya per kWh. Berikut rumus untuk melakukan perhitungan Peluang Hemat Biaya :

$$PHB = \Delta \text{IKE} \times \text{Total Luas Ruang}$$

Dimana :

PHB : Peluang Hemat Biaya

ΔIKE : Nilai IKE Gedung – Nilai IKE Target

2.10 Sistem Penerangan

Sistem penerangan sangat dibutuhkan dalam melakukan aktivitas belajar mahasiswa. Maka dari itu sistem penerangan harus dirancang dengan baik agar aktivitas yang dilakukan bisa berjalan dengan baik. Kekuatan penerangan juga dirancang agar sesuai dengan kebutuhan, tetapi juga pentingnya efisiensi. Sistem penerangan yang dipilih berpengaruh terhadap desain bangunan, desain tenaga listrik yang dibutuhkan, dan nilai ekonomi investasi.

2.10.1 Definisi Cahaya

Menurut [4], cahaya adalah pancaran energi dari sebuah partikel yang dapat merangsang retina manusia dan menimbulkan sensasi visual. Menurut kamus besar bahasa Indonesia, cahaya merupakan sinar atau terang dari suatu benda yang bersinar seperti bulan, matahari, dan lampu yang menyebabkan mata dapat menangkap bayangan dari benda – benda di sekitarnya.

2.10.2 Definisi Pencahayaan

Pencahayaan didefinisikan sebagai jumlah cahaya yang jatuh pada sebuah bidang permukaan. Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata – rata pada bidang kerja, dengan bidang kerja yang dimaksud adalah sebuah bidang horizontal imajiner yang terletak setinggi 0,75 meter diatas lantai pada seluruh ruangan tersebut. [5]

Pencahayaan memiliki satuan *lux* (lm/m^2), dimana lm adalah lumen dan m^2 adalah satuan dari luas permukaan. Pencahayaan dapat mempengaruhi keadaan lingkungan sekitar. Pencahayaan yang baik dapat menyebabkan manusia dapat melihat objek – objek disekitarnya dengan jelas. [1]

2.10.3 Sumber Penerangan

a. *Natural Lighting* (Pencahayaan Alamiah)

Pencahayaan alami adalah sumber pencahayaan yang berasal dari sinar matahari. Pencahayaan alami bias juga menghemat energi listrik. Untuk mendapatkan pencahayaan alami pada suatu ruang diperlukan jendela – jendela yang besar ataupun dinding kaca sekurang – kurangnya $1/6$ dari luas pada luas lantai. Dalam usaha memanfaatkan cahaya alami, pada selang waktu antara pukul 08.00 s/d 16.00, perlu direncanakan baik sehingga hanya cahaya yang masuk ke dalam ruangan, sedangkan panas diusahakan tidak masuk ke dalam ruangan. Panas yang masuk ke dalam ruangan menyebabkan warna permukaan interior akan cepat pudar, juga akan menyebabkan bertambahnya beban pendinginan dari system tata udara, sehingga tujuan penghematan energi tidak tercapai. Sumber pencahayaan terkadang dirasa kurang efektif disbanding dengan menggunakan pencahayaan buatan, selain karena intensitas cahaya yang tidak tetap.

Pencahayaan alami memiliki beberapa keuntungan yaitu :

- a. Hemat energi listrik.
- b. Dapat membunuh kuman penyakit.
- c. Variasi intensitas cahaya matahari dapat membuat suasana ruangan memiliki efek yang berbeda – beda, seperti pada hari mendung, suasana di dalam ruangan akan memiliki efek sejuk, dan hari cerah menyebabkan suasana bersemangat.

Kelemahan dari pencahayaan alami yaitu :

- a. Tidak dapat mengatur intensitas terang cahaya matahari sehingga jika cuaca terik akan menimbulkan kesilauan.
- b. Sumber pencahayaan alami yaitu matahari dapat menghasilkan panas.
- c. Distribusi cahaya yang dihasilkan tidak merata.

b. *Unnatural Lighting* (Pencahayaan Buatan)

Lampu merupakan elemen yang penting dalam pencahayaan. Pemilihan jenis lampu yang sesuai karakteristik lampu dan tempat pencahayaan akan memberikan kualitas pencahayaan yang baik. Berikut merupakan jenis lampu yang banyak digunakan :

1. Lampu pijar

Lampu ini membutuhkan banyak energi dibandingkan lampu TL untuk mendapatkan tingkat terang yang sama. Lampu pijar atau bohlam biasa hanya bertahan 1000 jam atau untuk rata – rata pemakaian 10 jam sehari semalam, hanya bertahan kira – kira 3 – 4 bulan, dan setelah itu kita harus mengganti dengan bohlam baru. Banyak orang menyukai menggunakan lampu pijar karena warna yang dihasilkannya. Warna kuning lampu pijar terasa hangat. Namun yang membeli lampu pijar karena harganya yang relatif murah juga tidak sedikit. Sebaiknya kita memperhatikan bahwa lampu pijar memang murah, namun tidak bertahan lama dan juga boros energi. Warna cahaya lampu pijar adalah kuning. Derajat suhu mencapai 2800 – 3700 Kelvin.



Gambar 2.1 lampu pijar [7]

2. Lampu Flourescent (TL)

Jenis lampu ini juga dikenal dengan lampu neon, lampu neon ini bentuknya macam – macam, ada yang bentuknya memanjang biasa, bentuk spiral atau tornado, dan juga ada yang bentuk memanjang vertical dengan fitting (bentuk pemasangan ke kap Lmapu) yang mirip seperti lampu pijar biasa. Lampu TL lebih hemat energi dibandingkan lampu pijar, karena lebih terang. Untuk lampu TL yang baik bias bertahan 15.000 jam atau setara dengan 10 tahun pemakaian, sedangkan lampu TL berkualitas buruk mungkin hanya bias bertahan 4-6 bulan saja. Dengan jumlah watt yang lebih kecil, lampu TL memiliki nilai efisiensi yang lebih bagus daripada lampu pijar. Dan saat ini jenis lampu TL juga bervariasi bentuk, fitting pemasangan, serta warna cahaya yang beraneka ragam. Dengan keseimbangan antara harga dan lama pemakaian, lampu TL banyak digunakan untuk penerangan took, mall, serta tempat – tempat lain yang membutuhkan cahaya terang dan lebih hemat energi



Gambar 2.2 Lampu *Flourescent* [7]



Gambar 2.3 Compact *Flourescent* Lamp [7]

3. Lampu Halogen

Lampu jenis ini merupakan lampu spot yang baik. Lampu spot adalah lampu yang cahayanya mengarah ke satu area saja, misalnya lampu untuk menerangi benda seni secara terfokus. Lampu ini baik digunakan sebagai penerangan taman untuk membuat kesan dramatis dari pencahayaan terpusat seperti menerangi patung, tanaman, kolam atau area lainnya. Jenis lampu

ini sebenarnya merupakan lampu filament yang berhasil dikembangkan menjadi lebih terang, namun juga kebutuhan energi yang relatif sama.



Gambar 2.4 Lampu Halogen [7]

4. Lampu LED

Lampu LED merupakan lampu paling hemat energi diantara jenis lampu lainnya, meskipun harganya relatif mahal. Lampu LED disarankan bagi konsumen yang memperhatikan bahwa energi (watt) yang dipakai sangat kecil sehingga menggunakan lampu LED sama dengan menghemat listrik. Lampu LED juga bisa bertahan sangat lama. Bila dibandingkan dengan menggunakan lampu jenis yang lain. Warna cahaya lampu LED juga banyak meliputi semua warna.



Gambar 2.5 Lampu LED [7]

2.10.4 Jenis Penerangan

Dalam suatu ruangan sangat dibutuhkan sebuah penerangan untuk menunjang suatu aktivitas diruangan tersebut. Ada beberapa jenis atau teknik penerangan sesuai media apa yang akan diberi pencahayaan. [6]

a. *Direct Lighting* (Penerangan Langsung)

Penerangan ini ditempatkan pada tempat – tempat yang dimana pencahayaan tersebut dapat secara langsung menerangi ruangan melalui sumber cahaya yang dikeluarkannya tanpa ada media lain yang dibutuhkan. Cahaya yang dikeluarkan sangatlah terang karena fungsinya yang diumumkan atau tersamaratakan.

- b. *Indirect Lighting* (Penerangan Tidak Langsung)
Penerangan ini di tempatkan pada area dengan kriteria tidak terlihat langsung oleh mata pengguna ruangan. Cahaya yang dikeluarkan memiliki media lain untuk menyampaikannya karena tidak dapat menerangi ruangan secara langsung, seperti ceiling ataupun dinding. Efek yang tercipta ialah suasana yang lebih bersih dan sederhana.
- c. *Downlight*
Penerangan ini ditempatkan untuk menyinari ruangan dengan sumber cahaya diatas dan menerangi apa yang ada dibawahnya. Cahaya yang dikeluarkan bersifat merata dan menyeluruh. Bebebrapa jenis *Downlight* meemiliki intesitas cahaya yang tinggi sehingga sering digunakan sebagai pencahayaan umum suatu ruang, namun seringkali juga menggunakan jenis pencahayaan yang penyebaran cahayanya kecil sehingga dijadikan jenis *accent lighting*.
- d. *Uplight*
Penerangan ini ditempatkan dimana cahaya bersumber dari arah bawah dan diarahkan keatas. Biasanya digunakan dengan jenis penerangan *indirect* agar tidak mengganggu penglihatan pengguna ruang. Efek yang dihasilkan secara dominan ditujukan untuk kepentingan estetik, yang mencitrakan kemegahan dan eksklusifitas pada ruang interior.
- e. *Sidelight*
Penerangan ini digunakan dengan teknik menyamping, baik dari kiri ke kanan, kanan ke kiri, ataupun keduanya. Biasanya digunakan untuk menerangi suatu objek tertentu atau mengeksposnya sehingga tercipta titik fokus penerangan ataupun menonjolkan tesktur yang ada pada sisi yang diterangi.
- f. *Frontlight*
Merupakan penerangan dengan teknik yang hamper sama dengan *sidelight*, yaitu memiliki sumber cahaya dengan arah penerangan horizontal. Penerangan ini biasa digunakan untuk menerangi beberapa benda seni dua dimensional seperti lukisan untuk mendapatkan terang yang merata bagi benda tersebut saja.

g. *Backlight*

Berbeda dengan frontlight, backlight tidak menerangi sebuah benda untuk mendapatkan visualisasi yang ingin diekspos, tetapi justru memanfaatkan kegelapan dari objek untuk menitik beratkan bentuk bayangan atau siluet yang tercipta dari objek tersebut.

h. *Wall washer*

Teknik penerangan ini merupakan yang cukup unik, yaitu dengan menerangi suatu bidang dinding atau bidang vertical lainnya sehingga tercipta suatu bidang efek yang terang dan terkesan bersinar. Ada tiga cara untuk menciptakan *wall washer* ini. Pertama dengan spot downlight. Lampu sorot dari atas atau langit – langit diarahkan kesisi dinding sehingga menerangi sisi dinding tersebut/ biasanya di sisi atas dinding tercipta lengkungan – lengkungan bayangan lampu sorot yang cantik. Kedua, *wall washer* bias dibuat dengan spot *uplight*. Ketiga, *wall washer* yang dibuat dengan indirect lighting yang diarahkan ke dinding. Di sini dinding berfungsi sebagai reflector yang memantulkan bias sinar lampu ke arah ruang secara keseluruhan.

2.10.5 Kualitas Penerangan

Untuk mendapatkan kualitas pencahayaan yang baik perlu diperhatikan hal – hal sebagai berikut. [8] :

a. Jarak Pandang (*Visibility*)

Peran pencahayaan sangat penting dalam mengatur kemampuan untuk menangkap informasi sudut pandang visual dan juga jarak untuk melihat daerah di sekeliling.

b. Performa Aktivitas (*Task Performance*)

Salah satu peran utama pencahayaan adalah memfasilitasi aktivitas yang dilakukan manusia agar performa kerja mereka dapat optimal.

c. Perasaan dan Suasana (*Mood and Atmosphere*)

Pencahayaan dapat mempengaruhi mood manusia di dalam ruangan dan menghasilkan bermacam suasana seperti suasana ruangan yang santai pada cafe, suasana produktif pada perkantoran, ataupun suasana angker di suatu tempat.

- d. **Kenyamanan Visual (*Visual Comfort*)**
Aktivitas dan tipe tempat dapat mempengaruhi kenyamanan visual dari ruangan tersebut. Pegawai perkantoran akan merasa tidak nyaman dengan cahaya yang menyilaukan dari instalasi pencahayaan, namun cahaya yang berkilau di dalam diskotik justru dapat membuat orang di dalamnya semakin semangat.
- e. **Penilaian Estetika (*Aesthetic Judgement*)**
Pencahayaan dapat memiliki fungsi seperti mengkomunikasikan suatu pesan, memperkuat pola dan ritme dalam arsitektur, memaksimalkan warna, dan membentuk sosial hirarki dari suatu tempat. Pencahayaan dapat menjadi elemen yang membantu menciptakan estetika dari sebuah elemen lain dan juga dapat menjadi estetika itu sendiri.
- f. **Kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan (*Health, Safety, dan Well-Being*)**
Pencahayaan dapat mempengaruhi kesehatan manusia seperti pada pencahayaan berlebih pada kamar tidur dapat menyebabkan gangguan tidur. Aspek kesehatan sering diabaikan oleh para desainer pencahayaan.
- g. **Komunikasi Sosial (*Social Communication*)**
Kondisi pencahayaan dari suatu ruang dapat menyebabkan komunikasi antara sesama penghuni ruangan dengan mengatur pola pencahayaan dan jumlah bayangan.

2.11 Standar Kuat Penerangan

Secara umum sistem penerangan pada gedung Pendidikan unruk menciptakan situasi yang terang, nyaman, aman. Kadang ini merupakan hal yang sulit karena sistem penerangan terlalu boros dan tidak memenuhi standar.

Tabel dibawah ini menunjukkan rekomendasi standar kuat penerangan berdasarkan SNI 03-6197-2000 Konservasi Energi Pada Sistem Penerangan.

Tabel 2.2 Standar kuat penerangan [10]

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)
Rumah Sakit :	
Ruang Rawat Inap	250
Ruang Operasi, Ruang Bersalin	300
Laboratorium	500
Ruang Rekreasi dan Rehabilitasi	250
Pertokoan / Ruang Pamer :	
Ruang Pamer dengan objek	
Berukuran besar (misalnya mobil)	500
Toko Kue dan Makanan	250
Toko Bunga	250
Toko buku dan Alat Tulis	300
Toko Perhiasan, arloji	500
Toko Barang Kulit dan Sepatu	500
Toko Pakaian	500
Pasar Swalayan	500
Toko Mainan	500
Toko Alat Listrik	250
Toko Alat Musik dan Olahraga	250
Industri (Umum) :	
Gudang	100
Pekerjaan Kasar	100-200
Pekerjaan Menengah	200-500
Pekerjaan Halus	500-1000
Pekerjaan Amat Halus	1000-2000
Pemeriksaan Warna	750
Rumah Ibadah :	
Masjid	200
Gereja	200
Vihara	200

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)
Rumah Tinggal :	
Teras	60
Ruang Tamu	120-150
Ruang Makan	120-151
Ruang Kerja	120-152
Kamar Tidur	120-153
Kamar Mandi	250
Dapur	250
Garasi	60
Perkantoran :	
Ruang Direktur	350
Ruang Kerja	350
Ruang Komputer	350
Ruang Rapat	300
Ruang Gambar	750
Gudang Arsip	200
Ruang Arsip Aktif	
Lembaga Pendidikan :	
Ruang Kelas	250
Perpustakaan	300
Laboratorium	500
Ruang Gambar	750
Kantin	200
Hotel dan Restoran :	
Lobi, Koridor	100
Ruang Serbaguna	200
Ruang Makan	250
Kafetaria	200
Kamat Tidur	150
Dapur	300

Tabel 2.3 Daya maksimum untuk pencahayaan [2]

Fungsi Ruangan	Daya Pencahayaan Maksimum (W/m²)
Rumah Tinggal :	
Teras	3
Ruang tamu	5
Ruang makan	7
Ruang kerja	7
Kamar tidur	7
Kamar mandi	7
Dapur	7
Garasi	3
Perkantoran :	
Ruang resepsionis	13
Ruang direktur	13
Ruang kerja	12
Ruang computer	12
Ruang rapat	12
Ruang gambar	20
Gudang arsip tidak aktif	6
Ruang arsip aktif	12
Ruang tangga darurat	4
Ruang parker	4
Lembaga Pendidikan :	
Ruang kelas	15
Perpustakaan	11
Laboratorium	13
Ruang praktek komputer	12
Ruang laboratorium bahasa	13
Ruang guru	12
Ruang olahraga	12
Ruang gambar	20
Kantin	8

Fungsi Ruangan	Daya Pencahayaan Maksimum (W/m²)
Hotel dan Restoran :	
Ruang resepsionis dan kasir	12
Lobi	12
Ruang serba guna	8
Ruang rapat	10
Ruang makan	9
Kafetaria	8
Kamar tidur	7
Koridor	5
Dapur	10
Rumah Sakit :	
Ruang tunggu	12
Ruang rawat jalan	10
Ruang rawat inap	12
Ruang operasi	10
Laboratorium	15
Ruang gawat darurat	15
Ruang tindakan	15
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	10
Ruang pemulihan	8
Ruang koridor siang hari	9
Ruang koridor malam hari	3
Ruang kantor staf	10
Kamar mandi	7
Pertokoan :	
Ruang pameran dengan objek besar	13
objek besar	10
Area penjualan kecil	15
Area penjualan besar	15
Area kasar	9
Toko kue dan makanan	9
Toko bunga	9
Toko buku dan alat tulis	15

Fungsi Ruangan	Daya Pencahayaan Maksimum (W/m²)
Toko perhiasan	15
Toko barang kulit	15
Toko pakaian	15
pasar swalayan	15
Toko mainan	15
Toko alat listrik	9
Toko alat musik	9
Industri (umum) :	
Gudang	5
Pekerjaan kasar	7
Pekerjaan menengah	15
Pekerjaan halus	25
Pekerjaan amat halus	50
Pemeriksaan warna	20
Rumah Ibadah :	
Masjid	10
Gereja	13
Vihara dan sejenisnya	10

Tabel 2.4 Spesifikasi beberapa lampu TL yang di jual [2]

Tipe Lampu	Watt	Color Temp	Index Efek Warna	Output Awal (Lumen)	Efisiensi (Lumen/Watt)	Life Time (Jam)
A1	40	3000		3200	80	12000
A2	40	3500		3200	80	12000
A3	40	4300		3200	80	12000
B1	40	3000	53			12000
B2	40	3500	58			12000
B3	40	4000	67			12000
C1	36	3000		3000	83	12000
C2	36	3500		3000	83	12000
C3	36	4300		3000	83	12000
D1	32	3000	80	2925	91	2000
D2	32	3500	80	3000	94	2000
D3	32	4100	80	3000	94	2000
E1	40	3000	82	3000	88	2400
E2	40	3500	82	3000	88	2400
E3	40	4100	82	3000	88	2400

Tabel 2.5 Perbandingan Efikasi Luminous Dari Lampu Yang Umum Dipakai Di Indonesia [2]

Jenis Lampu	Lumen/Watt	Umur rata-rata (jam operasi)
Incandescent (pijar)	Des-15	1000
Halogen	15 - 25	2000 - 5000
Merkuri	30 - 50	24000
Fluoresen Kompak	40 - 80	8000 - 12000
Fluoresen tabung	50 - 100	10000 - 15000
Fluoresen tabung "T8"	90	12000
Fluoresen tabung "T5"	105	17000
Sodium tekanan tinggi	60 - 110	24000
Sodium tekanan rendah	70 - 180	18000
LED (<i>light emitting diode</i>)	70	40000

Tabel 2.6 Perbandingan Karakteristik Lampu [2]

	Incandent (pijar)	Fluorescent (TL)	Mercury	Metal Halide	Sodium Tekanan Tinggi	Sodium Tekanan Rendah
Lumen/Watt	Jun-23	25 - 84	30 -63	68 - 25	77 - 140	137 - 183
Total Luminous	44 - 33600	96 - 15000	1200 - 63000	1200 - 155000	5400 - 140000	4800 - 33000
Rate daya (watt)	6 – 1500	4 - 215	40 - 1000	175 - 1500	70 1000	35 - 180
Hidup (jam)	750 - 8000	9000 - 20000	16000 - 24000	6000 - 15000	20000 - 24000	18000
Suhu warna (watt)	2400 – 3100	2700 - 6500	3300 - 5900	3200 - 4700	2100	1750
Efek warna	Baik	Baik	Kurang	Baik	Kurang	Jelek
Harga awal	Rendah	Menengah	Menengah	Tinggi	Tinggi	Menengah
Biaya operasi	Tinggi	Menengah	Menengah	Rendah	Rendah	Rendah

2.12 Sistem Pengkondisian Udara

Pengadaan suatu sistem pengkondisian udara adalah agar tercapai kondisi temperatur, kelembaban, kebersihan, dan distribusi udara dalam ruangan dapat diperlakukan pada tingkat keadaan yang diharapkan. Suatu sistem pengkondisian udara bisaberupa sistem pemanasan, pendingin dan ventilasi. Untuk kondisi iklim Indonesia (tropis), untuk proses pengkondisian udara yang berupa pendinginan banyak sekali digunakan. Pendingin ini berfungsi untuk menciptakan kondisi nyaman bagi beberapa aktifitas manusia. Pada bangunan besar biasanya menggunakan sistem pengkondisian udara central. Sistem tersebut mungkin terdiri dari satu atau lebih mesin pendingin air (*water-chilling plants*) dan mesin pemanas air (secara tradisional berupa sebuah ketel) yang dilakukan di dalam suatu ruangan mesin. Ruangan yang dikondisikan menggunakan satu atau lebih atau dingin melalui pipa ke penukar kalor (*heat exchangers*) yang terdapat pada ruangan tersebut.

2.12.1 Faktor Pemilihan Sistem Pengkondisian Udara

Faktor kenyamanan dalam ruangan sangat tergantung pada beberapa parameter yang bisa diatur oleh sistem oleh sistem pengkondisian udara. Parameter itu antara lain meliputi temperature bola basah dan bola kering dari udara, alairan udara, kebersihan udara, bau kualitas ventilasi maupun tingkat kebisingan. Semua parameter di atas diatur sesuai dengan kondisi kerja yang terjadi pada ruangan yang dikondisikan. Dari sudut pandang kenyamanan, maka sistem pengkondisian udara yang baik adalah sistem yang mampu menciptakan kondisi nyaman yang merata pada semua komponen yang dikondisikan pada ruangan.

2.12.2 Faktor Ekonomi

Faktor ekonomi yang menjadi pertimbangan antara lain adalah biaya awal untuk pemasangan serta biaya operasi dan perawatan untuk sistem setelah difungsikan. Dari sudut pandang ekonomi, suatu sistem pengkondisian udara yang baik adalah dengan biaya total serendah-rendahnya.

2.12.3 Faktor Operasi dan Perawatan

Faktor yang secara umum menjadi pertimbangan adalah faktor konstruksi yang mudah dimengerti susunan dan cara menjalankannya. Secara lebih detail hal ini terkait dengan beberapa konstruksi yang sederhana, tingkat efisiensi yang tinggi, mudah dalam perawatan, mudah direparasi jika terjadi kerusakan, dapat melayani perubahan pengkondisian operasi.