BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut beberapa penelitian yang berkaitan dengan pembahasan audit sistem pencahayaan bangunan bertingkat:

Pada penelitian terkait penggunaan energi, rata-rata penggunaan energi listrik untuk penerangan ruang pada Gedung B Universitas Dian Nuswantoro Semarang belum memenuhi standar pencahayaan karena dengan pemakaian energi 25,54 KWh/m^2 tahun hanya dapat memberikan pencahayaan rata-rata tiap ruang sebesar 114,76 E (lux). Sedangkan standar penerangan minimal 200 lux. (Trimunandar, 2015).

Sedangkan dalam penelitian yang lainnya, besar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pertahun 2012 pada gedung RSUD Cilegon yaitu 101,62 kWh/m^2 per tahun, masih dibawah standar penelitian yang dilakukan oleh ASEAN_USAID yaitu sebesar 380 kWh/m^2 per tahun, sedangkan IKE perbulan rata-rata sebesar 8,13 kWh/m^2 perbulan, dimana standar dari TIM Nasional penghematan energi dan air, sehingga Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik yang ada di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon masih efisien (Suhendar dkk, 2013).

Penelitian Tugas Akhir mengenai intensitas penerangan pada ruang kelas SMUK St. Louis 1 gedung C belum memnuhi standar rekomendasi dari SNI 03-6575-2001, sedangkan pada ruang kelas SMUK St. Louis 1 gedung D sudah memenuhi standar tersebut (Budidharma, 2008)

Intensitas pencahayaan pada Laboratorium Elektronika dan Mikroprosessor adalah baik, hanya saja pemanfaatan cahaya matahari belum dipertimbangkan saat perancangan instalasi pencahayaan. Pemanfaatan cahaya matahari untuk pencahayaan ruangan memberikan efisiensi pemakaian energi listrik untuk lampu dan mengurangi biaya konsumsi listrik hingga 36 persennya. Pemilihan lampu dan peletakan luminer sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas cahaya yang diberikan pada bidang kerja. Peletakan luminer dianjurkan agar sejajar jendela sehingga efektifitas sebaran cahaya dari lampu lebih tinggi, dan bidang kerja yang dekat jendela dapat ditunjang oleh cahaya alam agar dapat menghemat biaya konsumsi listrik (Nurhani, 2011).

Nilai intensitas konsumsi energi gedung laboratorium dan bengkel setiap jurusan di lingkungan FT UNY menggambarkan biaya energi listrik yang digunakan oleh setiap mahasiswa dalam satu bulan. Hasil analisis nilai intensitas konsumsi energi yang diperoleh, gedung laboratorium dan bengkel di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin memiliki nilai IKE yang paling tinggi yaitu 100,27 kWh/orang/bulan sedangkan nilai IKE gedung laboratorium dan bengkel di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro memiliki nilai yang paling rendah yaitu 1,78/orang/bulan (Sukisno dkk, 2016).

2.2 Dasar Teori

Adapun teori penunjang yang digunakan penulis untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1.2.1 Cahaya

2.2.1.1 Pengertian Cahaya

Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elekromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak. Selain itu, cahaya adalah paket partikel yang disebut foton. Kedua definisi tersebut merupakan sifat yang ditunjukkan cahaya secara bersamaan sehingga disebut "dualisme gelombang-partikel". Paket cahaya yang disebut spektrum kemudian dipersepsikan secara visual oleh indera penglihatan sebagai warna. Bidang studi cahaya dikenal dengan sebutan optika, merupakan area riset yang penting pada fisika modern.

Studi mengenai cahaya dimulai dengan munculnya era optika klasik yang mempelajari besaran optik seperti: intensitas, frekuensi atau panjang gelombang, polarisasi dan fase cahaya. Sifat-sifat cahaya dan interaksinya terhadap sekitar dilakukan dengan pendekatan paraksial geometris seperti refleksi dan refraksi, dan pendekatan sifat optik fisisnya yaitu: interferensi, difraksi, dispersi, polarisasi. Masing-masing studi optika klasik ini disebut dengan optika geometris dan optika fisis.

Cahaya penting dalam kehidupan, sebab tanpa adanya cahaya tidak mungkin ada kehidupan. Jika bumi tidak mendapat cahaya dari Matahari, maka bumi akan gelap gulita dan dingin sehingga tidak mungkin ada kehidupan. Para ahli telah meneliti cahaya untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik cahaya. Ada dua pendapat mengenai cahaya, yaitu cahaya dianggap sebagai gelombang dan cahaya dianggap sebagai partikel. Setiap pendapat ini mempunyai alasan masing-masing dan keduanya telah dibuktikan secara eksperimen.

1.2.1.2 Sifat-sifat Cahaya

Sifat-sifat cahaya antara-lain:

1. Cahaya dapat merambat lurus. Contohnya adalah ketika kita memegang senter kemudian menyalakan ke arah depan maka yang terjadi cahaya merambat lurus sesuai arah yang kita inginkan.
2. Cahaya dapat dipantulkan. Contohnya adalah ketika kita bermain-main disiang hari dengan membawa sebuah cermin atau spion kita arahkan kedatangnya sinar matahari lalu kita coba mengarahkannya ke segala arah maka yang terjadi ada sebuah cahaya yang terpantul dari sinar matahari tersebut.
3. Cahaya dapat menembus benda yang bening. Contohnya adalah ketika kita melihat ke atas rumah yang memakai genteng dari kaca bening maka

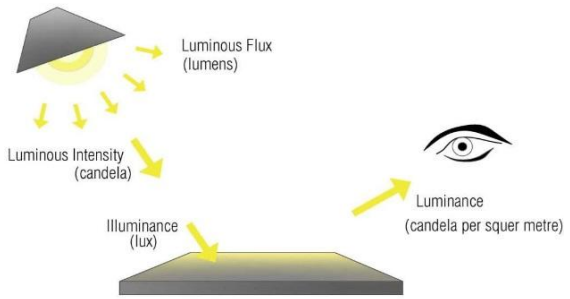
cahaya sinar matahari dapat masuk tanpa terhalang karena genteng terbuat dari kaca bening.

4. Cahaya dapat dibelokkan atau dibiaskan. Contohnya adalah jika kita berenang dan melatakkan sebilah tongkat ke dalam air yang terkena cahaya matahari dari atas maka tongkat tersebut terlihat lebih besar dari ukuran yang sebenarnya.

1.2.2 Pencahayaan

Dalam merencanakan atau melakukan penelitian terhadap kualitas pencahayaan suatu ruangan, harus diperhatikan beberapa kriteria dasar agar didapatkan tingkat pencahayaan yang baik dan mata dapat melihat dengan jelas dan nyaman. Dalam teknologi pencahayaan sejumlah istilah teknis yang digunakan untuk menggambarkan sifat sumber cahaya dan efek yang dihasilkan (*Rüdiger Ganslandt & Harald Hofmann. Handbook of Lighting design, 1992*) yaitu :

a. Fluks cahaya, lumen (*luminous flux)*
b. Perbandingan antara fluks cahaya dengan daya lampu *(luminous efficacy)*
c. Kuantitas pencahayaan *(quantity of light)*
d. Intensitas cahaya atau lilin *(luminous intensity)*
e. Kuat penerangan *(illuminance)*
f. Luminasi *(luminance)*
g. Eksposur *(exposure)*



Gambar 2.1 Perbedaan lumen, luminasi, iluminasi, intensitas cahaya

(Sumber:gharpedia.com)

2.2.2.1 Pencahayaan Alami

Sistem pencahayaan dalam ruang dapat dibagi menjadi dua bagian besar berdasarkan sumber energi yang digunakan, yaitu sistem pencahayaan alami dan sistem pencahayaan buatan. Kedua sistem ini memiliki karakteristik yang berbeda, dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Pencahayaan alami adalah sumber pencahayaan yang berasal dari sinar matahari. Sinar alami mempunyai banyak keuntungan, selain menghemat energi listrik juga dapat membunuh kuman. Untuk mendapatkan pencahayaan alami pada suatu ruang diperlukan jendela-jendela yang besar ataupun dinding kaca sekurang-kurangnya 1/6 daripada luas lantai.

Sumber pencahayaan alami kadang dirasa kurang efektif dibanding dengan penggunaan pencahayaan buatan, selain karena intensitas cahaya yang tidak tetap,

sumber alami menghasilkan panas terutama saat siang hari. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan agar penggunaan sinar alami mendapat keuntungan, yaitu:

1. Variasi intensitas cahaya matahari.
2. Distribusi dari terangnya cahaya.
3. Efek dari lokasi, pemantulan cahaya.
4. Letak geografis dan kegunaan bangunan gedung.

Pencahayaan alami dalam sebuah bangunan akan mengurangi penggunaan cahaya buatan, sehingga dapat menghemat konsumsi energi dan mengurangi tingkat polusi. Tujuan digunakannya pencahayaan alami yaitu untuk menghasilkan cahaya berkualitas yang efisien serta meminimalkan silau dan berlebihnya rasio tingkat terang. Selain itu cahaya alami dalam sebuah bangunan juga dapat memberikan suasana yang lebih menyenangkan dan membawa efek positif lainnya dalam psikologi manusia.

Agar dapat menggunakan cahaya alami secara efektif, perlu dikenali ke beberapa sumber cahaya utama yang dapat dimanfaatkan :

a. *Sunlight*, cahaya matahari langsung dan tingkat cahayanya tinggi.
b. *Daylight*, cahaya matahari yang sudah tersebar dilangit dan tingkat cahayanya rendah.
c. *Reflected light*, cahaya matahari yang sudah dipantulkan.

Berikut ini adalah lima strategi dalam merancang untuk pencahayaan matahari efektif (*Egan & Olgyay*, 1983):

a. Naungan (*shade*), naungi bukan pada bangunan untuk mencegah silau (*glare*) dan panas yang berlebihan karena terkena cahaya langsung.
b. Pengalihan (*redirect*), alihkan dan arahkan cahaya matahari ketempat-tempat yang diperlukan. Pembagian cahaya yang cukup dan sesuai dengan kebutuhan adalah inti dari pencahayaan yang baik.
c. Pengendalian (*control*), kendalikan jumlah cahaya yang masuk kedalam runag sesuai dengan kebutuhan dan pada waktu yang diinginkan. Jangan terlalu banyak memasukkan cahaya ke dalam ruang, terkecuali jika kondisi untuk visual tidaklah penting atau ruangan tersebut memang membutuhkan kelebihan suhu dan cahaya tersebut (contoh : rumah kaca).
d. Efisiensi, gunakan cahaya secara efisien, dengan membentuk ruang dalam sedemikian rupa sehingga terintegrasi dengan pencahayaan dan menggunakan material yang dapat disalurkan dengan lebih baik dan dapat mengurangi jumlah cahaya masuk yang diperlukan.
e. Intefrasi, integrasikan bentuk pencahayaan dengan arsitektur bangunan tersebut. Karena jika bukan untuk masuk cahaya matahari tidak mengisi sebuah peranan dalam arsitektur bangunan tersebut, nukan itu cenderung akan ditutupi dengan tirai atau penutup lainnya dan akan kehilangan fungsinya.

2.2.2.2 Pencahayaan Buatan

Sistem pencahayaan buatan yang sering dipergunakan secara umum dapat dibedakan atas 3 macam yakni :

1. **Sistem Pencahayaan Merata**

   Pada sistem ini iluminasi cahaya tersebar secara merata di seluruh ruangan. Sistem pencahayaan ini cocok untuk ruangan yang tidak dipergunakan untuk melakukan tugas visual khusus. Pada sistem ini sejumlah armatur ditempatkan secara teratur di seluruh langit langit.

2. **Sistem Pencahayaan Terarah**

   Pada sistem ini seluruh ruangan memperoleh pencahayaan dari salah satu arah tertentu. Sistem ini cocok untuk pameran atau penonjolan suatu objek karena akan tampak lebih jelas. Lebih dari itu, pencahayaan terarah yang menyoroti satu objek tersebut berperan sebagai sumber cahaya sekunder untuk ruangan sekitar, yakni melalui mekanisme pemantulan cahaya. Sistem ini dapat juga digabungkan dengan sistem pencahayaan merata karena bermanfaat mengurangi efek menjemukan yang mungkin ditimbulkan oleh pencahayaan merata.

3. Sistem Pencahayaan Setempat

Pada sistem ini cahaya dikonsentrasikan pada suatu objek tertentu misalnya tempat kerja yang memerlukan tugas visual.

2.2.2.3 Fluks Cahaya *(luminous flux)*

Fluks cahaya (φ) menggambarkan jumlah total cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Lambang fluks cahaya adalah F dan satuannya adalah lumen (lm). Satu lumen adalah fluks cahaya yang dipancarkan dalam 1 steradian dari sebuah sumber cahaya 1 cd pada permukaan bola dengan jari-jari r = 1 m.

Fluks cahaya dalam 1 *watt* dipancarkan pada puncak sensitivitas spektral (dalam kisaran photopic di 555nm) menghasilkan fluks 683 lumen. Artinya jika fluks cahaya dikaitkan dengan daya listrik, maka 1 watt cahaya dengan panjang gelombang 555nm sama nilainya dengan 683 lumen.

2.2.2.4 Efikasi Pencahayaan *(luminous efficacy)*

Efikasi (H) adalah efisiensi lampu, merupakan perbandingan antara fluks cahaya (φ) yang dihasilkan lampu dengan daya lampu (P), dengan nilai satuannya adalah lumen/watt. Makin tinggi efikasi lampu makin dengan besar daya listrik yang

sama, makin tinggi fluks cahaya dan intensitas cahayanya. Artinya lampu tersebut makin hemat energi.

Persamaan berikut cara untuk mengetahui nilai efikasi

$$\mathbf{H} = \frac{\varphi}{\mathbf{P}} = \frac{\boldsymbol{lumen}}{\boldsymbol{watt}} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Keterangan:

H = efikasi lampu

φ = fluks cahaya

P = daya lampu

2.2.2.5 Kuantitas Pencahayaan *(quantity of light)*

Kuantitas cahaya (Q) adalah energi yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Yang mana merupakan hasil dari fluks cahaya (φ) yang dipancarkan dikalikan waktu (t), dengan nilai satuan *lumen.second* (lm.s)

$$\mathbf{Q = \varphi \cdot t} \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Q = kuantitas cahaya

φ = fluks cahaya

t = waktu

2.2.2.6 Intensitas Cahaya *(luminous intensity)*

Intensitas cahaya (I) adalah arus cahaya yang dipancarkan per satuan sudut ruang (ω : omega). intensitas cahaya dalam suatu arah dari satu sumber, memancarkan radiasi monokromatik dengan frekuensi 540×10^{12} *Hertz* dan yang mempunyai intensitas radian di arah $\frac{1}{683}$ watt per steradian.

$$\mathbf{I} = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\boldsymbol{lumen}}{\boldsymbol{steradian}} = \boldsymbol{candela} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

Keterangan:

I = intensitas cahaya

Ω = sudut ruang (omega)

φ = fluks cahaya

2.2.2.7 Kuat Penerangan *(illuminance)*

Kuat penerangan (E) merupakan cara mengevaluasi kepadatan fluks cahaya. Hal ini menunjukkan jumlah fluks dari sumber cahaya jatuh pada daerah tertentu.Yang nantinya dapat diukur pada setiap titik dalam sebuah ruang.

Artinya, kuat penerangan (E) merupakan fluks (φ) cahaya yang diterima bidang permukaan seluas (A).

$$\mathbf{E} = \frac{\varphi}{A} = \frac{lumen}{m2} = lux \quad (2.4)$$

Keterangan:

E = kuat penerangan

φ = fluks cahaya

A = luas permukaan bidang

2.2.2.8 Luminasi *(luminance)*

Luminasi (L) adalah Intensitas cahaya yang dipancarkan, dipantulkan atau diteruskan oleh bidang permukaan seluas (A). Jika bidang seluas 1 m^2 memancarkan cahaya berintensitas 1 cd ke arah garis normal bidang, maka bidang tersebut memiliki luminasi sebesar 1 $\frac{cd}{m2}$

$$\mathbf{L} = \frac{I}{A} = \frac{cd}{m2} \quad (2.5)$$

Keterangan: L = luminasi

I = intensitas cahaya

A = luas permukaan bidang

2.2.2.9 Eksposur *(exposure)*

Eksposur digambarkan sebagai hasil dari penerangan dan waktu paparan. Eksposur merupakan masalah penting, misalnya mengenai perhitungan paparan cahaya pada pameran di museum.

2.2.3 Klasifikasi Lampu

Lampu sebagai sumber cahaya dapat diklasifikasikan berdasarkan cara kerja, arah, lingkup dan distribusi cahaya serta aplikasi pencahayaan.

2.2.3.1 Cara Kerja

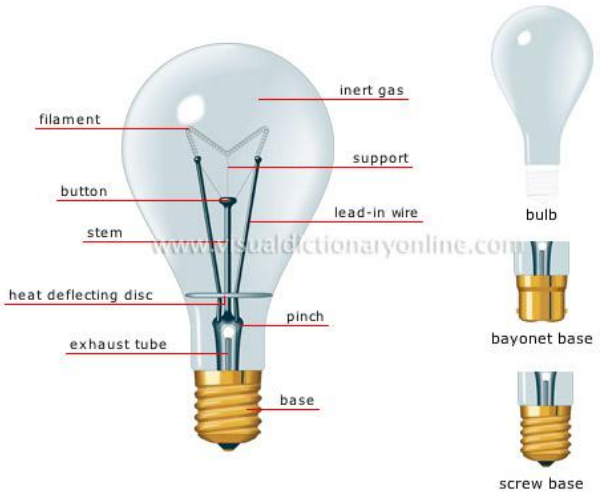
Berdasarkan cara kerjanya, lampu diklasifikasikan menjadi lima jenis, sebagai berikut:

a. Lampu Pijar *(incandescent)*

Cahaya lampu pijar berasal dari bahan wolfam *(tungsten)*. Bola lampu berisi gas bertekanan rendah *(inert gas)* seperti argon, nitrogen, krypton dan xenon.

Lampu *incandescent* memiliki masa kerja aktif antara 750 hingga 2000 jam dengan temperatur tabung umumnya 2700 Kelvin. Temperatur yang sedemikian tinggi ini umumnya mengakibatkan lampu tidak bisa disentuh bila

sudah menyala cukup lama. Standar cahaya yang dihasilkan lampu ini antara 5 hingga 20 lumen per Watt.



Gambar 2.2 Konstruksi lampu pijar

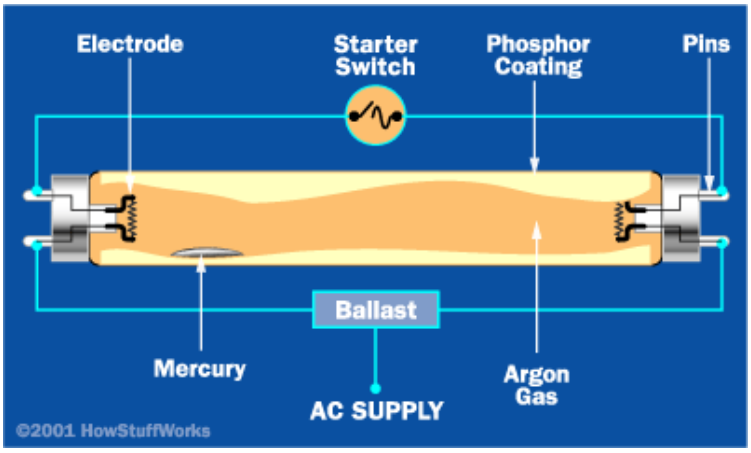
(sumber: visual.merriam-webster.com)

Efisiensi lampu pijar yang cenderung sangat rendah, karena membutuhkan energi listrik yang cukup besar untuk menghasilkan cahaya yang sama dengan lampu lain.

b. Lampu *Fluorescent*

Lampu *fluorescent* atau lampu TL adalah jenis lampu *gas discharge* atau lampu pelepasan gas, karena terjadi pelepasan elektron dari elektroda yang melalui uap merkuri, sehingga merkuro atom tersebut tereksitasi dan mengeluarkan cahaya ultraviolet.

Cahaya lampu *fluorescent* berasal dari lapisan tipis fosfor pada permukaan dalam tabung. Fosfor menghasilkan cahaya tampak karena tertumbuk gelombang elektromagnetik ultraviolet yang dihasilkan uap merkuri saat terjadi aliran elektron (katoda menuju anoda). Tabungnya berisi gas bertekanan rendah, seperti argon, neon, krypton dan xenon.



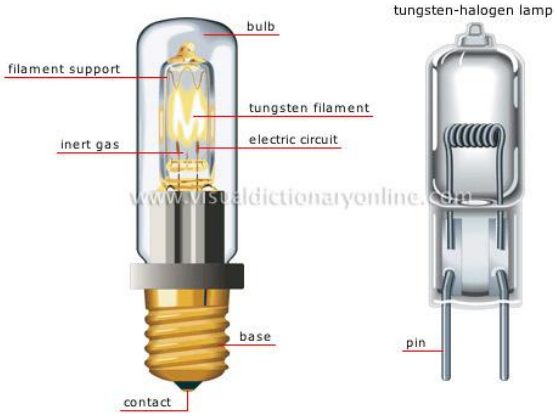
Gambar 2.3 konstruksi lampu *fluorescent*

(sumber: home.howstuffworks.com)

c. Lampu Halogen

Cahaya lampu halogen berasal dari pijar kumparan kawat yang terbuat dari bahan wolfram (*tungsten*). Dan bola lampu berisi *inert gas.* Gas halogen yang dipakai seperti iodin dan bromin. Perbedaanya dengan lampu pijar, lampu halogen digunakan untuk operasi pada suhu tinggi dan bentuk lampu yang lebih kecil.

Intensitas cahaya yang dihasilkan lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik yang signifikan.



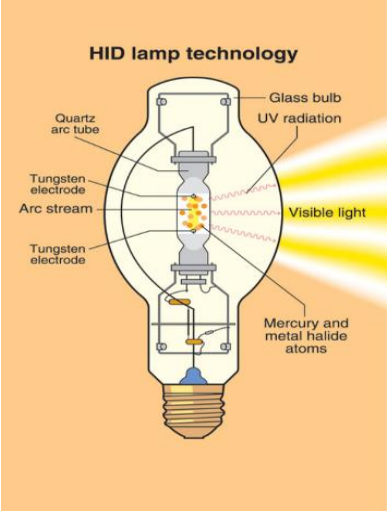
Gambar 2.4 Konstruksi lampu Halogen

(sumber: visual.merriam-webster.com)

d. Lampu HID *(high intensity discharge)*

Termasuk jenis *discharge lamp*, tetapi memiliki intensitas tinggi. Struktur bola lampu terdiri atas dua lapis. Lapisan paling dalam *quartz arc tube* yang terdapat gas dan garam metal, akibatnya terpancar cahaya tampak berintensitas tinggi. Sementara itu, cahaya ultraviolet dihasilkan saat elektron atom gas tereksitasi menimpa lapisan fosfor, sehingga berpendar menghasilkan cahaya tampak.

Lampu HID biasanya diaplikasikan pada kendaraan bermotor dikarenakan intensitas cahayanya lebih terang dan jarak pandang yang lebih jauh.



Gambar 2.5 Konstruksi lampu HID

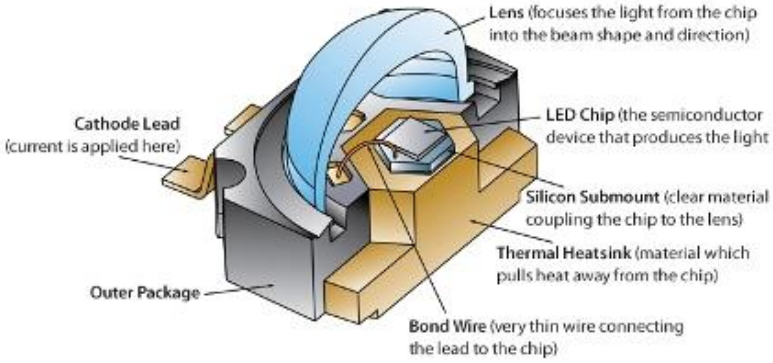
(sumber: sciencemadness.com)

e. Lampu LED *(light emitting diode)*

Lampu LED adalah lampu semikonduktor, yang jika dialiri listrik maka elektron atomnya akan tereksitasi, sehingga melepas cahaya. Dioda ini terpasang pada *emitter*, sumber cahaya pada lampu LED.

Cara kerjanya pun hampir sama dengan dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub Positif (P) dan Kutub Negatif (N). LED hanya akan

memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias *forward*) dari anoda menuju ke katoda.



Gambar 2.6 Konstruksi *emitter* pada lampu LED

(sumber: electronicsweekly.com)

2.2.3.2 Arah, Lingkup dan Distribusi Cahaya

Berdasarkan arah cahayanyalampu dibedakan menjadi *downlight*, *uplight* dan *sidelight*, serta *frontlight* dan *backlight.* Berdasarkan lingkup cahayanya, lampu dibedakan menjadi *spotlight* dan *floodlight.* Sedangkan berdasarkan distribusi cahayanya, lampu dibedakan menjadi *direct* dan *indirect.*

a. *Downlight* dan *Uplight*

Lampu *downlight* merupakan lampu yang menyorot ke arah bawah. Sementara lampu *uplight* sorotan sorotan cahayanya ke atas. Kedua jenis lampu ini jika dipasang pada lokasi tertentu memberi efek dramatis.

Lampu *downlight* sering dipakai di *hallways* (lorong) maupun di *lounge* (tempat duduk) sebuah bangunan.

Sedangkan *uplight* biasanya diaplikasikan ditanam di lantai pada *outdoor* disebuah dinding di bangunan seperti hotel.

Gambar 2.7 *chrome downlight*

(sumber: lighting.philips.com)

b. *Sidelight*

Lampu *sidelight* peletakkannya di dinding dan biasanya diaplikasikan pada anak tangga.

Gambar 2.8 *sidelight lamp*

(sumber: osta-ee.postimees.ee)

c. *Frontlight* dan *Backlight*

Lampu *frontlight* menyorotkan cahaya ke arah depan objek. Biasanya diperuntukkan untuk mempertegas objek yang ingin ditonjolkan pada suatu lokasi. Lampu *frontlight* biasanya diterapkan untuk benda-benda seni dan taman.

Sementara lampu *backlight* menyorotkan cahaya dari belakang objek dan biasanya diterpkan untuk *signage* dan *poster box*.

Gambar 2.9 *frontlight lamp* Gambar 2.10 *backlight lamp*

(sumber: aliexpress.com)

d. *Spotlight* dan *Floodlight*

Lampu *spotlight* menyorot hanya pada titik tertentu, terbatas pada satu arah. Penerapan lampu ini juga perlu memilih luminer atau amartur yang tepat agar sesuai dengan estetika yang diinginkan. Aplikasi lampu ini biasanya untuk *dsiplay* barang, di toko, galeri seni maupun museum.

Sedangkan lampu *floodlight* sorotannya lebih luas ketimbang lampu *spotlight*. Biasanya lampu ini untuk pencahayaan papan iklan *(billboard)*, arena olahraga *indoor* atau *outdoor* dan trotoar.

Gambar 2.11 *chrome halogen spotlight* Gambar 2.12 HID *floodlight*

(sumber: elight.com)

e. *Direct* dan *Indirect*

Lampu dengan distribusi cahaya *(direct)* langsung memancarkan cahaya dari tabungnya langsung ke objek. Lampu dengan distribusi cahaya *(indirect)* tak langsung menggunakan media reflektor sebagai sumber cahaya. *Reflector incandescent* dapat difungsikan untuk memantulkan cahaya ke plafon sebelum dipantulkan ke seluruh bagian ruangan.

2.2.4 Karakteristik Lampu

Beberapa karakteristik lampu diperlukan agar dapat dibedakan jenis lampu mana yang sesuai dengan pemasangan pada lokasi tertentu

2.2.4.1 Syarat Lampu

Beberapa syarat yang harus dipenuhi agar lampu memenuhi syarat dipasarkan ke konsumen: Intensitas cahaya, kualitas warna, usia pakai, biaya pengadaan, operasional dan maintenance serta materialnya tidak berbahaya. *(Nur Laela Latifah, Fisika Bangunan 2, 2015).*

1. **Intensitas Cahaya**

   Arus cahaya yang dipancarkan lampu menghasilkan intensitas cahaya yang cukup agar kuat penerangan yang diperoleh sesuai dengan aktifitas visual dan mendukung kenyamanan visual.

2. **Kualitas Warna**

   Kualitas warna *(colour temperature* dan *colourrendering)* sesuai dengan efek cahaya dan suasana yang diperlukan serta mendukung kenyamanan visual

a. *Colour Temperature*

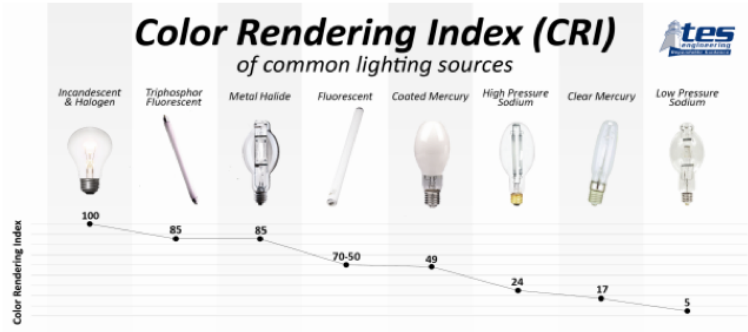
Secara garis besar, *colour temperature* dikelompokkan menjadi *warm white*, *cool white* dan *cool daylight.*

Tabel 2.1 *Colour Temperature* beberapa jenis lampu

Colour Temp.	Effects on Colours	Typical Applications
Daylight White 5000K +	– Strongly enhances blues – Flattens reds – Bluish tint to whites and greens	– Graphic Arts Studios – Winter goods shops e.g. furriers – Seasonal Affective Disorder
Cool White 4000-5000K	– Enhances blues – Flattens reds – Bluish tint to whites and greens	– Offices – Hospitals – Manufacturing
Mid Range 3500-4000K	– Neutral Appearance – Enhances most colours equally – Does not favour yellow or blue	– Retail stores – Supermarkets – Showrooms
Warm White 2700-3000K	– Enhances red & orange – Blues appear darker – Yellow tint to whites and green	– Residential lighting – Restaurants – Hotel Lobbies
Extra Warm 2000-2500K	– Strongly enhances red & orange – Blues appear almost black – Whites appear strongly orange	– Bread and meat displays – City Beautification – Not for general lighting

b. *Colour Rendering*

Colour Rendering cahaya yang dipancarkan lampu memiliki indeks tertentu berdasarkan kemampuan rederasi warna pada objek yang dikenai cahaya olehnya.



Gambar 2.13 *Colour Rendering Index* (CRI)

(sumber: tesengineering.com)

c. Warna Ruang

Warna yang dimaksudkan disini adalah warna bidang dan obyek yang terdapat pada seluruh ruangan baik itu warna dinding, lantai, maupun perabot dalam ruangan. Akibat perbedaan panjang gelombang warna yang masuk kemata maka kita bisa melihat berbagai macam warna mulai dari hitam, merah sampai putih.

Warna ruang berpengaruh pada reflektansi, dimana semakin mendekati spektrum putih maka faktor pemantulan atau angka reflektansinya juga besar, demikian juga sebaliknya. Oleh sebab itu dalam ruangan kelas dan ruangan belajar lainnya dipilih warna-warna yang terang

Tabel 2.4 Warna Ruang dan Angka Reflektansinya

Warna Ruang	Angka Reflektansi
Hijau tua	0,07
Biru tua	0,08
Abu gelap	0,14
Merah tua	0,21
Orange gelap	0,35
Kuning tua	0,54
Abu terang	0,65
Orange muda	0,68
Biru muda	0,68
Merah muda	0,7
Hijau muda	0,73

(Sumber : *Paschal John M PE, Step By Step Guide To Lighting, Overland Park :Primedia Inertec*, 1998)

3. Tingkat Pencahayaan Yang Merata *(Uniformity Of Illuminance)*

Oleh *Cayless & Marsden* (1983), dinyatakan bahwa tingkat pencahayaan yang merata adalah penting karena tiga hal, yaitu :

- Dapat mengurangi perbedaan variasi tingkat pencahayaan dalam ruang dengan aktivitas sejenis misalnya kegiatan belajar dalam ruang kelas.
- Kepadatan cahaya yang terlalu terkonsentrasi dapat mempengaruhi kinerja dan kenyamanan visual dalam ruangan.
- Pencahayaan yang tidak merata membuat ruangan kelihatan suram dan tidaknyaman membuat orang yang berada didalam ruangan tersebut tidak betah untuk tinggal.

Perencanaan teknik pencahayaan atau penerangan dalam praktik pada umumnya bertujuan untuk tercapainya tingkat pencahayaan yang merata pada seluruh bidang kerja. Pencahayaan yang sepenuhnya merata memang tidak mungkin dalam praktik, tetapi menurut *Pritchard* (1986) standar yang dapat diterima adalah tingkat pencahayaan minimum serendah-rendahnya 80% dari ratarata tingkat pencahayaan dalam ruang. Artinya, bila tingkat pencahayaan rataratanya 100 lux, maka tingkat pencahayaan dari semua titik di dalam ruangan harus 80 lux.

Besarnya tingkat pencahayaan dalam ruangan untuk siang dan malam hari adalah sama. Yang berbeda adalah jumlah lumen dari lampu yang dibutuhkan,

karena siang hari cahaya buatan dibantu oleh cahaya matahari sedang pada waktu malam tidak ada cahaya matahari.

Kuat Penerangan yang merata dapat dicapai jika memenuhi ketentuan pemasangan beberapa buah lampu, berupa penentuan spacing criteria (SC), yaitu perbandingan jarak antar dua buah pusat lampu yang berdekatan terhadap jarak lampu ke bidang kerja. Angka perbandingan untuk spacing criteria (SC) adalah

SC = hm x 1,5 ..... (2.6)

Keterangan: sc = jarak antar lampu yang terdekat

hm = tinggi bidang kerja ke lampu

4. Reflektansi *(Reflectance)*

Dalam IES *Lighting Handbook* (1984) dinyatakan bahwa setiap objek memantulkan sebagian dari cahaya yang mengenainya, tergantung pada susunan geometris obyek tersebut baik bahan penyusunnya maupun warna obyek yang dikenai cahaya. Reflektansi dalam ruangan sangat mempengaruhi kinerja dari ruangan tersebut. Semakin tinggi angka reflektansi ruang maka semakin terang pula ruangan yang ditempati, demikian pula sebaliknya. Skala reflektansi cahaya adalah antara 0 dan 100 %, dari hitam ke putih.

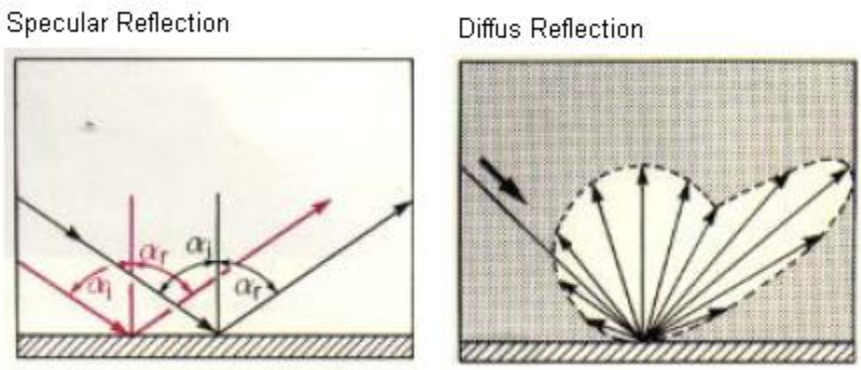
Reflektansi (*Reflectance, reflection factor, or reflectance coefficient*) adalah perbandingan rasio cahaya yang dipantulkan oleh suatu permukaan terhadap cahaya yang mengenainya atau cahaya yang datang pada bidang. Adapun rumus untuk menentukan angka reflektansi rata-rata bidang adalah :

$$\textbf{Angka Reflektansi } (\rho) = \frac{E\ rata-rata\ sinar\ pantul}{E\ rata-rata\ sinar\ langsung} \textbf{ x 100\%} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.7)$$

Nilai maksimum dari angka tersebut adalah 100% yaitu spektrum warna putih terang, dan minimum adalah 0% yaitu warna hitam pekat. Angka reflektansi ini termasuk dalam kategori *Coefficient of utilization*, yang berpengaruh terhadap tingkat pencahayaan/iluminasi.

Refleksi cahaya yang timbul bisa specular, diffus, ataupun kombinasi dari keduanya. Refleksi Specular *(Specular Reflection)* adalah jenis refleksi yang terjadi pada suatu cermin. Ditandai dengan sudut pantul sama dengan sudut datang. Refleksi Diffus *(Diffuse reflection)* adalah jenis refleksi dimana pantulan cahaya menyebar ke segala arah, sehingga permukaan pantulan terlihat sama terangnya dilihat dari segala sudut penglihatan.

Warna ruang berpengaruh pada reflektansi, dimana semakin mendekati spektrum putih maka faktor pemantulan atau angka reflektansinya juga besar, demikian juga sebaliknya.



Gambar 2.14 Refleksi Spekular dan Refleksi Diffus

(Sumber: lighting.philips.com, *Light and Radiation*)

Untuk ruangan kelas, faktor reflektansi harus diperhatikan supaya didapatkan pencahayaan yang cukup untuk proses belajar mengajar. Bila faktor reflektansi kurang maka ruang kelas akan terkesan muram. Adapun rekomendasi angka reflektansi untuk ruang kelas adalah :

- Angka reflektansi dinding : 50 – 70 %
- Angka reflektansi lantai : 20 – 40 %
- Angka reflektansi langit-langit : 70 – 90 %

2.2.4.2 *Power Input, Luminous Flux* dan Efikasi

Daya *(power input)* adalah besar konsumsi energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan arus cahaya dengan besaran tertentu sesuai spesifikasi lampu.

Arus cahaya adalah jumlah cahaya yang dipancarkan lampu per satuan waktu berdasarkan besar daya yang diterima. Dengan satuan pengukurannya lumen

Sedangkan efikasi adalah efisiensi lampu, yaitu perbandingan antara besar arus cahaya yang dipancarkan lampu per daya yang dibutuhkan lampu. Satuan efikasi adalah lumen per watt. Makin tinggi efikasi lampu dengan besar daya listrik yang sama, makin tinggi arus cahaya dan intensitas cahayanya. Artinya lampu tersebut makin hemat energi.

Tabel 2.2 Efikasi beberapa jenis lampu

Tipe Lampu	*Luminous Flux*	*Efficacy*	*Colour*	*Coulour Rendering*	*Power*
	(lm)	*(lm/W)*	*temperature (K)*	*index (Ra)*	*(W)*
incadescent/ halogen	60-48.400	5--27	2700-3200	100	5--2000
Low pressure sodium	1800-32.500	100--203	1700		18-180
High pressure sodium	1300-90.000	50-130	2000, 2200,2500	10--80	35--1000
High pressure mercury	1700-59.000	35--60	3400, 4000, 4200	40--60	50--1000
Fluorescent	200-8000	60-105	2700, 3000, 4000, 6500	60-95	5--80
Compact fluorescent	200-12000	50-85	2700, 3000, 4000, 6500	80	5--165
Metal halide	5300- 220.000	75-140	3000, 4000, 5600	65-95	70--2000
Ceramic metal helide	1500-23.000	68-95	3000-4200	80-95	20, 35, 70, 150, 250
LED	10-170	diatas 50	3000-8000	ditas 90	0,1--7W

(Sumber: *Nur Laela Latifah Fisika Bangunan 2.* 2015)

2.2.4.3 Usia Pakai

Usia pakai lampu adalah jangka waktu kemampuan lampu untuk menyala sejak awal pemakaian hingga lampu tersebut tidak dapat digunakan lagi, dengan asumsi durasi penyalaan per hari selama sekian jam tertentu per hari.

Usia pakai lampu terkait dengan biaya pengadaan dan biaya pemeliharaan. Lampu *incandescent* jenis *classictone standard* memiliki usia pakai lampu terpendek diantara jenis lampu lainnya, yaitu sekitar 1000 jam. Pada **tabel 2.3** disebutkan jenis lampu dan usia pakainya.

Tabel 2.3 Jenis lampu dan usia pakai

No	Jenis Lampu	Usia pakai *(hours)*
1	*incandescent classicstone standard*	1000
2	*halogen--LV dichroic reflector--masterline ES*	5000
3	*compact fluorescent integrated--essential--tornado ES*	6000
4	*compact fluorescent integrated--essential--genie ES*	8000
5	*fluorescent TL D super 80*	17000
6	HID-SON	28000
7	LED	50000-100000

(Sumber: *Nur Laela Latifah, Fisika Bangunan 2*. 2015)

2.2.5 Metode Ukur Kuat Penerangan

Ada beberapa metode yang dilakukan dalam pengukuran sistem pencahayaan sebagai berikut:

2.2.5.1 Pengukuran dengan *Luxmeter*

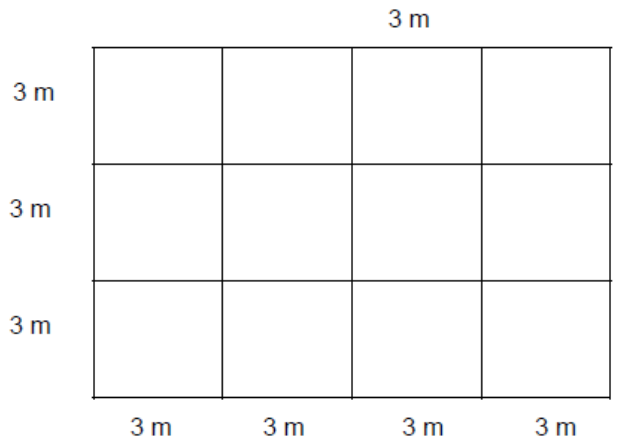
Luxmeter merupakan alat ukur kuat penerangan dalam suatu ruang, dengan satuan ukurannya *lux.* Alat ini dilengkapi sensor cahaya yang sangat peka terhadap perubahan jumlah cahaya yang dterima.

Gambar 2.15 *Luxmeter*

(sumber: conrad.com)

Alat ini terdiri dari sebuah sensor dengan sel foto, dan layar panel. *Luxmeter* mengubah energi dari foton menjadi elektron. Idealnya satu foton dapat membangkitkan satu elektron. Cahaya akan menyinari sel foto yang kemudian akan ditangkap oleh sensor sebagai energi yang diteruskan oleh sel foto menjadi arus listrik. Makin banyak cahaya yang diserap oleh sel, arus yang dihasilkan pun semakin besar.

Lux meter cukup diletakkan di atas meja, atau dipegang setinggi 75cm dari atas permukaan lantai. Maka layar penunjuk dari lux meter tersebut akan menunjukkan angka yang merupakan nilai dari intensitas pencahayaan ruangan bersangkutan. Untuk luas ruangan antara 10 m2 sampai 100 m2 dibuat titik potong garis horizontal panjang ruangan dan garis vertikal lebar ruangan pada jarak setiap 3 m. Pengukuran akan dilakukan pada titik – titik potong tersebut, seperti pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Denah titik pengukuran

Setelah melakukan pengukuran, hal yang selanjutnya dilakukan adalah menentukan apakah tingkat pencahayaan minimum pada titik-titik ukur ≥ 80% tingkat pencahayaan rata-rata. Dari pengukuran di titik-titik ukur, maka didapatkan tingkat pencahayaan rata-rata ruang. Bila ada titik ukur yang berada dibawah 80% tingkat pencahayaan rata-rata, berarti tidak memenuhi syarat sebagai penerangan merata, untuk itu perlu dilakukan pengukuran apakah tata letak lampu memenuhi *spacing criteria* (SC).

2.2.5.2 *Software Dialux*

Program *Dialux* adalah salah satu program yang dibuat oleh perusahaan Dial yang berpusat di Jerman, dimana program ini digunakan untuk mendesain bentuk dan kuat pencahayaan, baik itu dalam ruangan (*indoor*), diluar ruangan (*outdoor*), maupun penerangan pada jalan raya (road lighting). Desain yang dihasilkan oleh program ini

nantinya bisa dijadikan acuan dalam membuat suatu bentuk ruangan dengan standar penerangan yang sesuai keinginan.

Untuk *Dialux evo*, memprioritaskan desain pada ruangan kantor, lapangan olahraga dan ruangan untuk kebutuhan industri, namun bisa juga digunakan pada ruangan-ruangan yang lain seperti ruang belajar dan hasil desain dapat berupa 3D.

Program ini bisa juga digunakan untuk menghitung biaya penggunaan beban lampu yang efisien untuk suatu ruangan tertentu. Programnya bisa didownload gratis dari internet dengan alamat website https://www.dial.de/en/dialux/download/

1.2.6 Menghitung Luminer dan Sumber Cahaya

Data untuk menghitung jumlah luminer dan sumber cahaya, sebagai berikut:

1. Fungsi ruang atau aktifitas visual
2. Kuat penerangan
3. Dimensi ruang (panjang dan lebar)
4. Jenis dan tipe lampu

Dengan menggunakan acuan standar pencahayaan buatan SNI-03-6575-2001, dan buku pedoman *(Fisika Bangunan 2, Nur laela Latifah)* persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah lampu yang dibutuhkan adalah

$$\mathbf{N} = \frac{E\ rekomendasi\ x\ A}{kp\ x\ kd} \quad \text{.....(2.7)}$$

Keterangan: N = Jumlah lampu yang diperlukan

E = kuat penerangan yang direkomendasikan SNI 03-6575-2001 (lux)

A = Luas permukaan bidang (m^2)

F = fluks cahaya (lumen)

Kp = koefisien penggunaan, Kd = koefisien depresiasi

diketahui kp x kd = 0,5 *(Fisika Bangunan 2, Nur laela latifah)*

1.2.7 Audit Energi

Audit energi adalah aktifitas yang dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan energi sebuah sistem, baik itu berupa industri maupun bangunan, guna mengidentifikasi peluang-peluang penghematan yang dapat dilakukan.

Audit energi merupakan bagian dari manajemen energi yang memiliki sasaran sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran pola penggunaan energi, meliputi:
   - Intensitas konsumsi energi (IKE)
   - Efisiensi penggunaan energi
2. Mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi dan menyusun langkah-langkah pencegahannya.
3. Dasar untuk melakukan peningkatan efisiensi penggunaan energi.

2.2.7.1 Audit Awal

Audit awal menggunakan data-data sekunder dan kuisioner sebagai dasar untuk melakukan evaluasi penggunaan energi secara umum dan cepat. Pengikuran dibutuhkan untuk verifikasi beberapa angka yang dianggap kurang rasional.

Audit awal dilakukan untuk memperoleh gambaran umum pola penggunaan energi, dengan menghitung intensitas konsumsi energi (IKE) dan identifikasi kasar potensi penghematan serta menyusun rekomendasi awal yang sifatnya segera dapat dilakukan.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya pemakaian energi dalam bangunan gedung dan dinyatakan dalam satuan kWh/m^2 pertahun. Nilai Intensitas Konsumsi Energi dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\textbf{Intensitas Konsumsi Energi} = \frac{kWh\ total}{Luas\ Bangunan} \quad \text{.....(2.8)}$$

Tabel 2.4 Standar IKE listrik pada bangunan gedung

No	Jenis Gedung	IKE (kWh/m2 tahun)
1	Perkantoran (Komersial)	240
2	Pusat Perbelajaan	330
3	Hotel dan Apartemen	300
4	Rumah Sakit	380

(Sumber: *SNI-6196-2000*)

2.2.7.2 Audit Rinci

Menurut Dr Edi Hilmawan, audit rinci dilakukan untuk menginvestigasi lebih lanjut lokasi terjadinya pemborosan energi dan mengkuantifikasi besarnya peluang penghematan yang dapat dilakukan secara lebih spesifik.

Dalam audit rinci dilakukan pengukuran-pengukuran lebih detil sebagai dasar untuk melakukan evaluasi yang lengkap. Dalam audit rinci harus dapat keluar besar peluang penghematan serta rekomendasi tindak lanjut yang dapat dilakukan berdasarkan kriteria: *no*/*low cost*, *medium cost* dan *high cost*.