

## **BAB II**

### **PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH**

#### **A. Audit Energi**

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 70 Tahun 2009 yang memuat tentang Konservasi Energi, Bab I (Ketentuan Umum), Pasal 1, butir 14, audit energi didefinisikan sebagai proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi.

Definisi berikut digunakan sebagai acuan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 6196:2011 mengenai Prosedur Audit energi pada Bangunan Gedung, yang terletak pada butir 3 (istilah dan definisi), subbutir 3.1 (Audit Energi), halaman 1. Dengan kata lain Audit energi merupakan suatu kegiatan dengan melakukan identifikasi pada suatu sistem tenaga dan jumlah energi yang digunakan serta memaksimalkan potensi penghematan yang mungkin diperoleh dalam upaya mengoptimalkan penggunaan energi pada fasilitas unit/sistem gedung.

Audit energi terdiri beberapa jenis atau tingkatan dalam pelaksanaannya di lapangan. Penggolongan tersebut memiliki berbagai macam versi dari para ahli. Audit energi terbagi 3 tingkatan berdasarkan versi Albert Thumann dan William J. Younger. Pertama adalah *Walk-Through Audit*. Didalam sebuah bangunan atau pabrik, Auditor melakukan investigasi dengan tujuan untuk mengamati dan mencatat fasilitas dan

peralatan yang menggunakan energi ataupun pengubah energi yang berada pada bangunan ataupun pabrik itu sendiri. Setelah dilaksanakan investigasi, akan dilakukan analisis kuantitatif dan pola penggunaan energi.

Tingkatan kedua disebut *Standard Audit*. Pada hal ini, kegiatan audit akan lebih rinci dibandingkan tingkatan pertama. Kegiatan pada tingkatan kedua meliputi pengukuran – pengukuran parameter operasi peralatan. Setelah itu, analisis penghematan energi dan biaya berdasarkan peningkatan kinerja atau penggantian sistem atau peralatan dilakukan berdasarkan hasil audit tingkat kedua. Tekno-ekonomi termasuk kedalam analisis ini.

Yang terakhir adalah *Computer Simulation*. Dalam pelaksanaannya kegiatannya analisis dilakukan dengan menggunakan piranti lunak (*software*) simulasi yang ada pada komputer. Tentunya hal ini sebagai tindak lanjut dari tingkat 2 sehingga analisis yang dilakukan lebih rinci dan detil jika dibandingkan pada tingkat 2. Pada Tingkat 3 ini merupakan tingkatan audit energi dengan pembiayaan termahal.

Audit energi terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 6196:2011 mengenai Prosedur Audit Energi pada Gedung. Jenis – jenis dari audit nergi itu sendiri adalah:

1. Audit Energi Singkat (Walk-Through Energy Audit)
2. Audit Energi Awal (Preliminary Energy Audit)
3. Audit Energi Rinci/ Lengkap (*Detail Energy Audit*).

Penggunaan listrik di sebagian besar fasilitas komersial dapat mencapai 50 hingga 75% dari total biaya utilitas. Maka dari itu diperlukan

perhatian khusus untuk mengevaluasi peralatan dan sistem penggunaan listrik. Energi listrik dan biaya disimpan dengan mengelola beban permintaan, mengurangi jam operasional, meningkatkan efisiensi peralatan, dan perawatan sistem distribusi.

Audit sistem kelistrikan biasanya mencakup pengumpulan hal-hal berikut:

- Profil penggunaan dan kualitas daya
- Indeks Konsumsi Energi
- Penggunaan peralatan utilitas

## **B. Kualitas Daya Listrik**

Permasalahan kualitas daya listrik berupa penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang terjadi sehingga memberikan dampak kesalahan ataupun kegagalan operasi pada peralatan-peralatan yang mengkonsumsi energi listrik. Kualitas daya listrik sendiri sangat penting untuk diperhatikan ketika keadaan suatu peralatan semakin sensitif baik di industri maupun di rumah tangga. Suplai daya listrik yang berasal dari generator pembangkit hingga ke beban pada parameter kelistrikannya seperti tegangan, arus, frekuensi, dan bentuk gelombang dioperasikan dalam batas toleransi. Perubahan nilai deviasi diluar batas toleransi parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas daya yang menyebabkan operasi tidak efisien dan dapat merusak perangkat. Untuk itu PLN mengizinkan suplai tegangan berada pada toleransi +5% dan -10% serta untuk ketidaksetimbangan beban pada toleransi 2%. Untuk frekuensi menurut

permen ESDM No. 37 tahun 2008 mengizinkan frekuensi untuk tidak lebih rendah dari 49,5 Hz atau lebih tinggi dari 50,5 Hz. Untuk Harmonisa Arus dan Tegangan sendiri menurut standar yang ditetapkan oleh IEEE tertera pada tabel berikut :

Tabel 1. Standar Harmonisa menurut IEEE

<b>Batas Tegangan Distorsi</b>		
<i>Tegangan Bus V pada PCC</i>	<i>Individual harmonic (%)</i>	<i>Total Harmonic Distortion THD (%)</i>
V ≤ 1,0 kV	5,0	8,0
1 kV ≤ V ≤ 69 kV	3,0	5,0
69 kV < V ≤ 161 kV	1,5	2,5
161 kV < V	1,0	1,5
<b>Batas Arus Distorsi (120 V – 69 kV)</b>		
$I_{hs} / IL$	T H D	
< 20*	5,0	
20 - 50	8,0	
50 - 100	12,0	
100 - 1000	15,0	
> 1000	20,0	
*Seluruh perlengkapan pembangkitan daya dibatasi pada nilai arus distorsi ini, tanpa melihat nilai sebenarnya dari $I_{hs} / IL$		
$I_{hs}$ = arus hubung singkat maksimum; IL = arus beban maksimum		

Daya adalah sejumlah energi yang dikeluarkan dan dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP) untuk melakukan suatu usaha. Dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbf/second. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki kesetaraan dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).

a. Daya Aktif (P)

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang masuk dalam sebuah beban selama satu periode. Dengan kata lain, daya aktif adalah daya yang digunakan untuk menggerakkan suatu beban. Satuan daya aktif adalah Watt.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

b. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan daya yang berfungsi untuk membentuk medan magnet pada beban yang mengandung inductor, kapasitor atau keduanya. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan benda-benda induktif lain. Satuan dari daya reaktif adalah volt ampere reaktif (VAR).

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

c. Daya Semu (S)

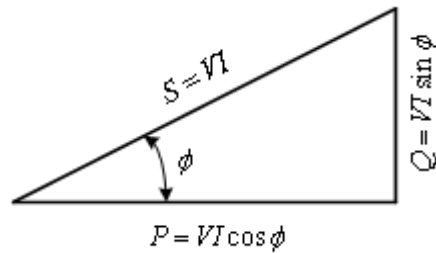
Daya semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang terbentuk dari kuantitas vektor daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah volt ampere (VA).

$$S = V \cdot I$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

d. Segitiga daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan secara trigonometri antara tipe - tipe daya yang berbeda (Apparent Power, Active Power dan Reactive Power) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2. Segitiga daya

Dimana berlaku hubungan :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ atau } S = V \cdot I$$

$$P = S / \cos \varphi$$

$$Q = S / \sin \varphi$$

keterangan:

P = Daya nyata (Watt)

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

$\varphi$  = Beda sudut fasa (Rad/Deg)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

#### e. Faktor Daya

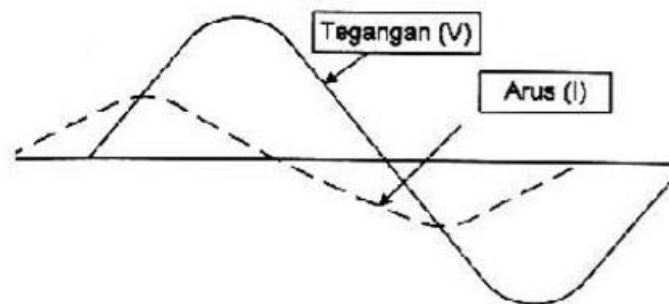
Faktor daya ( $\cos \varphi$ ) merupakan suatu konstanta pengali dengan nilai 0 sampai 1, yang menunjukkan seberapa besar daya nyata yang diserap oleh beban resistif dari daya semu yang ada pada suatu beban

total. Atau dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam  $\cos \phi$ . Faktor daya yang di izinkan untuk menghindari denda pembayaran listrik PLN adalah  $\geq 0,85$  Lead.

Faktor daya memiliki dua sifat yang berbeda yaitu faktor daya “leading” dan faktor daya “lagging”. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut:

- Faktor Daya “leading”

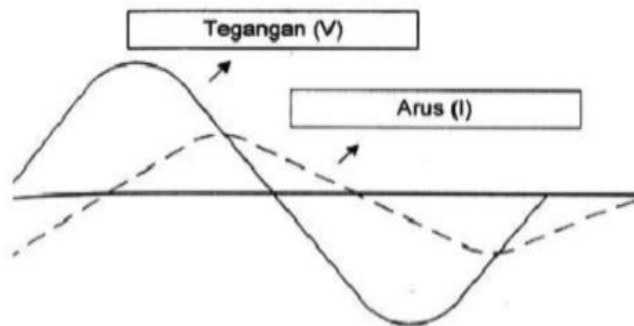
Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “leading”. Faktor daya leading ini terjadi apabila bebannya bersifat kapasitif.



Gambar 3. Faktor daya *leading*

- Faktor Daya “lagging”

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “lagging”. Faktor daya lagging ini terjadi apabila bebannya induktif.



Gambar 4. Faktor daya *lagging*

### C. Indeks Konsumsi Energi

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

Untuk standar dan pengelompokan dari kedua golongan tersebut, tertera pada kedua tabel dibawah ini :



Tabel 2. IKE Bangunan Tidak ber-AC

Kriteria	Keterangan
Efisien (10 – 20) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	<p>a) Pengelolaan gedung dan peralatan energi dilakukan dengan prinsip konservasi energi listrik</p> <p>b) Pemeliharaan peralatan energi dilakukan sesuai dengan prosedur</p> <p>c) Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi</p>
Efisien (20 – 30) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	<p>a) Penggunaan energi cukup efisien namun masih memiliki peluang konservasi energi</p> <p>b) Perbaikan efisiensi melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi masih dimungkinkan</p>
Efisien (30 – 40) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	<p>a) Audit energi perlu dilakukan untuk menentukan langkah-langkah perbaikan sehingga pemborosan energi dapat dihindari</p> <p>b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi</p>
Efisien (40 – 50) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	<p>a) Instalasi peralatan, desain pengoperasian dan pemeliharaan tidak mengacu pada penghematan energi</p> <p>b) Agar dilakukan peninjauan ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan bangunan</p> <p>c) Audit energi adalah langkah awal yang perlu dilakukan</p>

Tabel 3. IKE Bangunan ber-AC

Kriteria	Keterangan
Efisien (50 – 95) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Desain gedung sesuai standar tatacara perencanaan teknis konservasi energi b) Pengoperasian peralatan energi dilakukan dengan prinsip - prinsip manajemen energi
Efisien (95 – 145) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Penggunaan energi cukup efisien melalui pemeliharaan bangunan dan peralatan energi masih memungkinkan b) Pengoperasian dan pemeliharaan gedung belum mempertimbangkan prinsip konservasi energi
Efisien (145 – 175) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Audit energi perlu dipertimbangkan untuk menentukan perbaikan efisiensi yang mungkin dilakukan b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi
Efisien (175 – 285) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Audit energi perlu dipertimbangkan untuk menentukan langkah-langkah perbaikan sehingga pemborosan energi dapat dihindari b) Instalasi peralatan dan desain pengoperasian dan pemeliharaan tidak mengacu pada penghematan energi
Efisien (285 – 450) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Agar ditinjau ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan bangunan b) Audit energi adalah langkah awal yang perlu dilakukan

## **D. Peralatan Utilitas**

### 1. Beban Pencahayaan

#### a. Audit Pencahayaan

Pencahayaan merupakan energi listrik yang dikonsumsi dalam jumlah besar pada sebuah gedung. Penghematan energi yang dapat dilakukan dalam sistem pencahayaan adalah dengan mengurangi tingkat pencahayaan, meningkatkan efisiensi sistem pencahayaan, membatasi jam operasi, dan memanfaatkan pencahayaan alami yang tersedia.

Berikut merupakan langkah-langkah yang diperlukan dalam melakukan audit pencahayaan:

#### 1. Mengobservasi apa yang dibutuhkan:

- Klasifikasi Ruang — kantor, gudang, penyimpanan, dll.
- Karakteristik Ruangan — tinggi, lebar, panjang, warna dan kondisi permukaan.
- Karakteristik Fixture — jenis lampu, jumlah perlengkapan, kondisi luminer, metode kontrol, tinggi pemasangan fixture, ballast dan watt lampu.

#### 2. Mengevaluasi Tingkat Pencahayaan dan Kualitas Pencahayaan

- Mengukur besaran lux menggunakan luxmeter.
- Sketsa jenis armatur dan tata letak di ruangan atau area.
- Periksa kesilauan dan kontras yang berlebihan.
- Berbicara dengan pengguna/teknisi tentang level pencahayaan, kontrol, dan kualitas.

- Bandingkan pengukuran lux dengan rekomendasi IES.

### 3. Memperkirakan Konsumsi Listrik

- Hitung Total Watt ( $\text{watt} / \text{perlengkapan} \times \text{Jumlah perlengkapan} / 1000 = \text{KW yang ada}$ )
- Hitung Kepadatan Daya ( $\text{kW} \times 1000 / \text{m}^2 = \text{watt} / \text{m}^2$ )
- Bandingkan Kepadatan Daya yang Ada dengan Pedoman Pedoman Perancangan
- Perkiraan Jam Kerja Tahunan
- Perkirakan Biaya Energi Penerangan Tahunan ( $\text{kW} \times \text{jam tahunan} \times \text{Rp} / \text{kWh} = \text{Rp} / \text{tahun}$ )

### 4. Menghitung Penghematan Energi

- Tentukan total kW baru setelah retrofit.
- Tentukan perubahan dalam jam operasi tahunan jika kontrol pencahayaan diubah.
- Hitung penghematan energi ( $\text{kW sebelum} - \text{kW sesudah} \times \text{jam operasi} = \text{kWh}$ )
- Hitung penghematan biaya energi ( $\text{kWh} \times \text{Rp} / \text{kWh} = \text{penghematan biaya tahunan}$ )

Pengurangan sistem pencahayaan dapat meningkatkan penggunaan sistem pemanas pada bangunan dan mengurangi konsumsi sistem pendingin, karena peningkatan panas secara internal berkurang. Panas cahaya merupakan metode pemanasan yang relatif mahal untuk sebuah bangunan dan akan lebih efisien jika dilakukan dengan sistem pemanas.

Perhitungan pencahayaan bisa diprediksi jika penyesuaian untuk beban sistem pemanas dan pendingin telah dilakukan. Perkiraan penyesuaian untuk perubahan beban pemanas dan pendingin dapat dilakukan sebagai berikut:

- Hanya gedung yang dipanaskan — Turunkan penghematan energi sebesar 20%
- Bangunan yang dipanaskan dan ber-AC — Tingkatkan penghematan hingga 20%

Jika bangunan cooling plant atau sistem HVAC akan dilaksanakan penggantian, maka pelaksanaan perbaikan pencahayaan yang dilakukan bersamaan dengan penggantian dapat mengurangi ukuran sumber yang dibutuhkan.

#### b. Efisiensi Pencahayaan

Dengan memahami dasar-dasar desain pencahayaan, beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi sistem pencahayaan akan menjadi jelas. Ada dua metode pencahayaan umum yang digunakan. Salah satunya disebut metode "Lumen", sementara yang lain adalah metode "Point by Point". Metode Lumen mengasumsikan tingkat foot-candle yang sama di seluruh area. Metode ini sering digunakan oleh desainer pencahayaan karena paling sederhana; Namun, itu membuang-buang energi, karena itu adalah cahaya "at the task" yang harus dipertahankan dan bukan

cahaya di daerah sekitarnya. Metode “Point by Point” menghitung kebutuhan pencahayaan untuk tugas yang dimaksud.

Metode “Point by Point” menggunakan hukum inverse-square, yang menyatakan bahwa iluminasi pada suatu titik di permukaan tegak lurus terhadap sinar cahaya sama dengan intensitas cahaya dari sumber pada titik tersebut dibagi dengan kuadrat dari jarak antara sumber dan titik perhitungan, seperti yang diilustrasikan dalam Rumus

$$E = \frac{F}{A}$$

Dimana :

E = Iluminasi (lux)

F = Fluks Cahaya (lumen)

A = Luas Ruangan (m<sup>2</sup>)

Untuk Metode Lumen, merupakan metode dengan penghitungan rata – rata intensitas penerangan pada suatu bidang kerja. Hal ini di ilustasikan dalam rumus 1 – 2

$$N = \frac{E \times A}{\phi \times LLF \times CU \times n}$$

Dimana :

N = Jumlah titik lampu

E = Iluminasi (lux)

LLF = Faktor rugi cahaya (0,7 – 0,8)

CU = Faktor Pemanfaatan (65%)

A = Luas Ruangan (m<sup>2</sup>)

c. Standar Pencahayaan Ruangan

Standar pencahayaan ruangan merupakan batasan minimum yang direkomendasikan oleh suatu pihak dalam hal ini SNI dalam menggunakan besaran cahaya dalam suatu ruangan. SNI menetapkan batas daya maksimum pencahayaan sebesar  $15 \text{ W/m}^2$ . Berdasarkan SNI standar pencahayaan pada Lembaga Pendidikan tertera pada tabel berikut :

Tabel 4. Tingkat Cahaya Minimum

Fungsi ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok renderasi warna	Keterangan
Ruang kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Lobby	100	1	
Ruang rapat	300	1	
Ruang komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor.
<i>Ballroom</i>	200	1	

Tingkat cahaya dipengaruhi oleh renderasi warna. Efek suatu pencahayaan tentu akan berbeda beda terhadap warna objek. Pengelompokan renderasi warna tertera pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Pengelompokan Renderasi Warna

Kelompok Renderasi warna	Rentang Indeks Renderasi Warna (Ra).	Tampak Warna
1	Ra > 85	dingin
		sedang
		hangat
2	70 < Ra < 85	dingin
		sedang
		hangat
3	40 < Ra < 70	
4	Ra < 40	

## 2. Beban AC (*Air Conditioning*)

Beban AC (*Air Conditioning*) menjadi salah satu hal yang diutamakan saat ini, baik pada bangunan rumah tinggal ataupun bangunan konvensional. Suhu udara yang cukup tinggi di Indonesia yang memiliki iklim tropis (panas) menyebabkan sistem pendingin udara atau sistem tata udara telah menjadi kebutuhan utama.

Fungsi dari sistem tata udara antara lain:

- Mengatur suhu udara
- Mengatur sirkulasi udara
- Mengatur kelembaban (humidity) udara
- Mengatur kebersihan udara

Secara umum sistem tata udara berfungsi mempertahankan dan menjaga kondisi udara baik suhu maupun kelembaban agar berada dalam batas



nyaman penghuni. Sehingga penghuni dapat melakukan pekerjaan didalam ruangan secara optimal.

a. Hal - Hal yang Harus di Perhatikan Dalam Perencanaan AC

Perlu pertimbangan sebelum merencanakan atau memasang AC akan beberapa hal berikut agar AC dapat berfungsi maksimal dan efisien.

- Fungsi ruang

Penggunaan ruang berpengaruh terhadap suhu ruangan karena manusia yang mengisi suatu ruangan mengeluarkan kalori yang cukup tinggi. Perbedaan fungsi ruangan dapat menentukan kapasitas suatu AC. Misal Kamar tidur yang hanya diisi dua orang akan berbeda dengan ruang keluarga, yang frekwensi keluar masuk penghuninya cukup tinggi. jadi semakin banyak pengguna maka kebutuhan daya AC yang dibutuhkan akan semakin besar pula.

- Ukuran Ruangan

Ukuran ruangan menentukan berapa banyak BTU (british thermal unit) atau kecepatan pendinginan. BTU adalah kecepatan pendinginan untuk ruangan satu meter persegi dengan tinggi standar (umumnya tiga meter). Semakin besar suatu ruangan akan semakin besar pula BTU yang dibutuhkan.

- Beban pendinginan

Beban pendinginan berasal dari dalam ruangan (internal heat gain) atau luar ruangan. Dari dalam ruangan misalnya dari jumlah penghuni / orang, dan penggunaan peralatan yang menimbulkan panas, seperti lampu penerangan atau kulkas. Selain dari dalam, beban pendinginan juga di pengaruhi dari faktor luar ruangan. Seperti cahaya matahari yang mengeluarkan energi panas melalui dinding, atap atau jendela.

- Banyaknya jendela kaca

Penggunaan jendela kaca atau penggunaan blok kaca (glass block) sangat mempengaruhi penggunaan kapasitas AC yang diperlukan. Untuk ruangan yang menggunakan kaca sebanyak 70% atau lebih, sebaiknya gunakan kaca film yang dapat menahan sinar ultraviolet untuk mengurangi beban pendinginan.

- Penempatan AC

Pemasangan unit indoor perlu memperhatikan arus angin (air flow) dari blower AC. Penentuan arus angin atau hembusan yang tepat membuat udara yang dikeluarkan lebih merata dan tidak hanya berkumpul di satu titik. Selain itu, agar arus angin tidak mengenai pengguna secara langsung. Terpaan angin dingin secara terus menerus dapat berakibat buruk bagi kesehatan. Usahakan mengarahkan swing ke bagian atas kepala karena udara yang dikeluarkan AC mempunyai berat jenis yang lebih berat dari udara.

Penempatan kompresor harus diletakkan di tempat dengan sirkulasi udara yang cukup, ada tempat untuk udara masuk dan udara keluar, dan terlindung dari hujan. Untuk AC ukuran 1 PK, jarak yang aman antara unit indoor dengan kompresor berkisar antara 5-7 meter. Jika memasang AC lebih dari satu, hindari peletakkan kompresor secara berhadapan dengan kompresor lain. Sebaiknya letakkan sejajar sehingga sirkulasi udara tidak terganggu.

#### b. Tingkat Kenyamanan Termal

Tingkat kenyamanan termal merupakan suatu kondisi dimana suatu ruangan atau tempat memberikan tingkat kenyamanan pada penghuni. Berikut merupakan variabel kenyamanan termal berdasarkan standar SNI 03-6572-2001:

##### 1. Temperatur Udara Kering.

a). Temperatur udara kering sangat besar pengaruhnya terhadap besar kecilnya kalor yang dilepas melalui penguapan (evaporasi) dan melalui konveksi.

b). Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi:

- 1) Sejuk nyaman, antara temperatur efektif  $20,5^{\circ}\text{C} \sim 22,8^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Nyaman optimal, antara temperatur efektif  $22,8^{\circ}\text{C} \sim 25,8^{\circ}\text{C}$ .

3) Hangat nyaman, antara temperatur efektif 25,8 °C ~ 27,1 °C.

## 2. Kelembaban Udara Relatif.

a) Kelembaban udara relatif dalam ruangan adalah perbandingan antara jumlah uap air yang dikandung oleh udara tersebut dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur udara ruangan tersebut.

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

### c. Jenis Sistem Pendingin

Dalam proses pendinginan udara, system pendingin udara dibagi menjadi 2 jenis, yaitu: menggunakan system direct cooling (system langsung), dan system tidak langsung (indirect cooling).

- Direct Cooling (Sistem Langsung). Dalam sistem ini udara didinginkan langsung oleh refrigerant dengan menggunakan mesin paket seperti window unit, atau tanpa ducting.

- Indirect cooling Sistem (system tidak langsung). Dalam sistem ini dipakai media air es / chilled water dengan temperatur sekitar 5 °C. Model ini banyak dipakai dalam bangunan tinggi, disamping

menghemat tempat juga biaya operasional lebih efisien. Dalam model ini diperlukan mesin pembuat air es / chilled yang dinamakan dengan Chiller. Dan air es didistribusikan melalui pipa menuju AHU (Air handling unit), sebagai pengolah sirkulasi udara.

d. AC Sistem Pendingin Udara (*Refrigerant Air Cooling System*)

Dalam sistem ini, refrigerant sebagai media utama pendingin ruangan. Sistem ini merupakan sistem yang dipakai pada skala ruangan yang lebih kecil, seperti rumah, perkantoran skala kecil, atau ruang-ruang kontrol yang memerlukan perlakuan khusus dalam hal temperatur / suhu. Dan jenis yang umum digunakan. Jenis ini kurang cocok untuk pendinginan ruangan yang besar, karena disamping ruangan yang dibutuhkan sangat besar, terutama outdoor, juga dalam pengoperasiannya lebih mahal.

Ada beberapa varian jenis AC yang menggunakan refrigerant sebagai media pendingin, yaitu:

- AC Split Wall, AC ini merupakan AC yang dipegunakan di rumah-rumah. Umumnya berkapasitas rendah. AC ini terdiri dari 1 outdoor dan 1 indoor.
- AC Cassete, AC jenis ini merupakan AC yang terpasang pada langit – langit suatu bangunan.
- AC Split Duct, merupakan jenis AC yang digunakan untuk mendinginkan suatu ruangan yang tidak memiliki pengatur suhu di

ruangan tersebut. dengan pengaturan pendingin udara akan tersentral pada 1 titik.

- AC VRV, merupakan suatu AC yang mempunyai outdoor 1 buah, tetapi mempunyai indoor yang banyak (lebih dari 1)
- AC Presisi, AC presisi pada prinsipnya sama dengan AC biasa, tetapi perbedaannya adalah AC presisi terdiri dari 2 buah AC yang dipasang berhadapan, dan bekerja secara *sequencing* (bergantian), sesuai dengan waktu setelan yang telah di tentukan. AC presisi ini biasanya digunakan di bank-bank, untuk pendinginan mesin sortir atau data center.