

Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung.

1. Ruang lingkup.

1.1. Standar “Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung” ini dimaksudkan sebagai pedoman minimal bagi semua pihak yang terlibat dalam perencanaan, pembangunan dan pengelolaan gedung, dan bertujuan untuk memperoleh kenyamanan dan keamanan bagi tamu dan penghuni yang berada maupun yang menempati gedung tersebut.

1.2. Standar ini diberlakukan terhadap kinerja peralatan (*equipment*) dan komponen sesuai kriteria penggunaan energi yang efektif untuk instalasi baru dan penggantian peralatan dan komponen sistem ventilasi dan pengkondisian udara. Tidak termasuk dalam standar ini peralatan refrigerasi yang tidak dipakai untuk ventilasi atau pengkondisian udara dalam gedung.

2. Acuan.

ASHRAE Handbook : Fundamentals, 1997, ASHRAE, Inc.

3. Istilah dan Definisi

Untuk tujuan standar ini, pengertian sebagai berikut dipakai :

3.1 daya.

dalam hubungannya dengan mesin, daya adalah kecepatan kerja yang dilakukan. Dalam hubungannya dengan transmisi semua jenis energi, daya menjelaskan kecepatan energi yang dipindahkan.

Dalam unit SI dinyatakan dalam Joule per detik (J/detik) atau dalam Watt (W); unit umum dinyatakan dalam Watt (W).

3.2 efisiensi sistem pengkondisian udara.

perbandingan antara keluaran energi yang terpakai terhadap masukan energi dalam jangka waktu yang direncanakan, dinyatakan dalam persen (%).

3.3 energi

kapasitas untuk melakukan kerja; mengambil suatu bentuk energi yang selanjutnya ditransformasikan ke bentuk yang lain, seperti termal, mekanis (kerja), listrik dan kimia; dalam unit SI dinyatakan dalam Joule (J), dimana 1 Joule = 1 watt-detik; unit umum dinyatakan dalam kilo-watt-jam (kWj = kWh = kilo Watt hour).

3.4 kenyamanan.

Hasil dari proses mengolah udara secara serempak dengan mengendalikan; temperatur, kelembaban nisbi, kebersihan dan distribusinya untuk memperoleh kenyamanan penghuni dalam ruang yang dikondisikan.

3.5 paket peralatan pengkondisian udara.

kombinasi dari komponen pendingin yang dipilih oleh pabrik dalam bentuk terakit, yang dimaksudkan untuk melayani suatu ruangan atau zona. Definisi teknis yang lebih lengkap lihat *ARI standard 310.70*.

3.6 peralatan paket air sejuk jenis sentrifugal atau rotari.

direncanakan oleh pabrik dan dirakit awal di pabrik (tidak harus dikirim dalam satu paket) satu atau lebih kompresor sentrifugal atau rotari, kondenser dan evaporator, dengan sambungan-sambungannya dan asesori, dipakai untuk menghasilkan air sejuk.

3.7 peralatan pendingin unitari (*Unitary Cooling Equipment*).

satu atau lebih yang dirakit di pabrik yang umumnya meliputi kombinasi evaporator atau koil pendingin, kompresor dan kondenser. Dimana peralatan disediakan lebih dari satu rakitan, rakitan yang terpisah harus direncanakan untuk dipakai bersama.

3.8 psychrometric

pengetahuan termodinamika yang membahas sifat-sifat udara dan pengaruhnya terhadap bahan-bahan dan kenyamanan manusia.

3.9 sistem.

kombinasi peralatan dan/atau pengendali (*control*), asesori, sarana hubung antara, dan terminal dimana energi yang ditransformasikan menunjukkan fungsi spesifik, seperti VAC, pemanas air atau pencahayaan.

3.10 terminal.

sarana akhir dimana energi yang ditransformasikan dari suatu sistem dialirkan.

3.11 vac.

singkatan dari *Ventilating and Air Conditioning* = Ventilasi dan pengkondisian udara.

4. Ventilasi.

4.1. Tujuan.

4.1.1. Ventilasi bertujuan :

- a). menghilangkan gas-gas yang tidak menyenangkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya dan gas-gas pembakaran (CO_2) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran.
- b). menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya.
- c). menghilangkan kalor yang berlebihan.
- d). membantu mendapatkan kenyamanan termal.

4.1.2. Ventilasi merupakan proses untuk mencatu udara segar ke dalam bangunan gedung dalam jumlah yang sesuai kebutuhan.

4.2 Ventilasi Ruangan.

Suatu ruangan yang layak ditempati, misalkan kantor, pertokoan, pabrik, ruang kerja, kamar mandi, binatu dan ruangan lainnya untuk tujuan tertentu, harus dilengkapi dengan :

- a). ventilasi alami yang memenuhi butir 4.3 ; atau
- b). ventilasi mekanis atau sistem pengkondisian udara yang memenuhi butir 4.4 dan bab 5.

4.3. Ventilasi Alami.

4.3.1. Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi.

4.3.2 Ventilasi alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka, dengan :

- a). jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas lantai ruangan yang membutuhkan ventilasi; dan
- b). arah yang menghadap ke :
 - 1). halaman ber dinding dengan ukuran yang sesuai, atau daerah yang terbuka keatas.
 - 2). teras terbuka, pelataran parkir, atau sejenis; atau
 - 3). ruang yang bersebelahan seperti termaksud di butir 4.3.3.

4.3.3 Ventilasi yang Diambil dari Ruang yang Bersebelahan.

Ventilasi alami pada suatu ruangan dapat berasal dari jendela, bukaan, ventilasi di pintu atau sarana lain dari ruangan yang bersebelahan (termasuk teras tertutup), jika kedua ruangan tersebut berada dalam satuan hunian yang sama atau teras tertutup milik umum, dan

- a). dalam bangunan klas 2, dan hunian tunggal pada bangunan klas 3 atau sebagian bangunan klas 4, pada :

- 1). ruang yang diventilasi bukan kompartemen sanitasi.
 - 2). jendela, bukaan, pintu dan sarana lainnya dengan luas ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas lantai dari ruangan yang diventilasi.
 - 3). ruangan yang bersebelahan memiliki jendela, bukaan, pintu atau sarana lainnya dengan luas ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap kombinasi luas lantai dari kedua ruangan; dan
- b). dalam bangunan klas 5, 6, 7, 8 dan 9 :
- 1). jendela, bukaan, pintu atau sarana lainnya dengan luas ventilasi tidak kurang dari 10% terhadap luas lantai dari ruang yang akan diventilasi, diukur tidak lebih dari 3,6 meter diatas lantai; dan
 - 2). ruang yang bersebelahan mempunyai jendela, bukaan, pintu atau sarana lainnya dengan luas ventilasi tidak kurang dari 10% terhadap kombinasi luas lantai kedua ruangan, dan
- c). luas ventilasi yang dipersyaratkan dalam butir a) dan b) boleh dikurangi apabila tersedia ventilasi alami dari sumber lainnya.

4.3.4. Penghalang Posisi Kloset dan Peturasan.

Jika suatu ruangan terdapat kloset atau peturasan, tidak boleh terbuka langsung ke arah :

- a). dapur atau pantri.
- b). ruang makan umum atau restoran; atau
- c). asrama dalam bangunan klas 3, atau
- d). ruang pertemuan.
- e). ruang kerja lebih dari satu orang.

4.3.5. Ruang Antara.

- a). Jika suatu ruangan terdapat kloset atau peturasan, yang dilarang menurut butir 4.3.4. tersebut diatas, terbuka langsung terhadap ruang lain;
- b). Dalam hunian tunggal pada bangunan klas 2, 3 atau sebagian klas 4,
 - 1). jalan masuk harus melalui ruang antara, koridor atau ruang lainnya; atau
 - 2). ruang yang tidak berhubungan dengan udara luar, terdapat kloset atau peturasan harus dilengkapi dengan ventilasi pembuangan mekanis ; dan pintu ke ruangan tersebut harus terhalang dari penglihatan.

4.3.6 Gedung Parkir.

Setiap lantai gedung parkir, kecuali pelataran parkir terbuka, harus mempunyai sistem ventilasi :

- a). mengikuti ketentuan yang berlaku.
- b). alami permanen yang memadai.

4.3.7 Dapur dengan Ventilasi Pembuangan Setempat.

Pada dapur komersial harus dilengkapi dengan tudung (*hood*) pembuangan gas dapur yang memenuhi ketentuan yang berlaku, jika :

- a). setiap peralatan masak yang mempunyai :
 - 1). total daya masukan listrik maksimum tidak lebih dari 8 kW; atau
 - 2). total daya masukan gas lebih dari 29 MJ/jam (7000 kKal/jam); atau
- b). total daya masukan ke lebih dari satu alat masak, lebih dari :
 - 1). 0,5 kW daya listrik; atau
 - 2). 1,8 MJ (450 kKal) gas.

setiap m² luas lantai ruangan atau tertutup.

4.3.8. Perancangan Sistem Ventilasi Alami.

4.3.8.1 Perancangan sistem ventilasi alami dilakukan sebagai berikut :

- a). Tentukan kebutuhan ventilasi udara yang diperlukan sesuai fungsi ruangan.
- b). Tentukan ventilasi gaya angin atau ventilasi gaya termal yang akan digunakan.

4.3.8.2 Ventilasi Gaya Angin.

4.3.8.2.1. Faktor yang mempengaruhi laju ventilasi yang disebabkan gaya angin termasuk :

- a). Kecepatan rata-rata.
- b). Arah angin yang kuat.
- c). Variasi kecepatan dan arah angin musiman dan harian.
- d). hambatan setempat, seperti bangunan yang berdekatan, bukit, pohon dan semak belukar.

Liddamnet (1988) meninjau relevansi tekanan angin sebagai mekanisme penggerak. Model simulasi lintasan aliran jamak dikembangkan dan menggunakan ilustrasi pengaruh angin pada laju pertukaran udara.

Kecepatan angin biasanya terendah pada musim panas dari pada musim dingin. Pada beberapa tempat relatif kecepatannya di bawah setengah rata-rata untuk lebih dari beberapa jam per bulan. Karena itu, sistem ventilasi alami sering dirancang untuk kecepatan angin setengah rata-rata dari musiman.

Persamaan 4.3.8.2 di bawah ini menunjukkan kuantitas gaya udara melalui ventilasi bukaan inlet oleh angin atau menentukan ukuran yang tepat dari bukaan untuk menghasilkan laju aliran udara :

$$Q = C_v \cdot A \cdot V \dots\dots\dots (4.3.8.2).$$

dimana :

Q = laju aliran udara, m³ / detik.

A = luas bebas dari bukaan inlet, m².

V = kecepatan angin, m/detik.

C_v = *effectiveness* dari bukaan (C_v dianggap sama dengan 0,5 ~ 0,6 untuk angin yang tegak lurus dan 0,25 ~ 0,35 untuk angin yang diagonal).

Inlet sebaiknya langsung menghadap ke dalam angin yang kuat. Jika tidak ada tempat yang menguntungkan, aliran yang dihitung dengan persamaan 4.3.8.2 akan berkurang, jika penempatannya kurang lazim, akan berkurang lagi.

4.3.8.2.2 Penempatan outlet yang diinginkan :

- a). pada sisi arah tempat teduh dari bangunan yang berlawanan langsung dengan inlet.
- b). pada atap, dalam area tekanan rendah yang disebabkan oleh aliran angin yang tidak menerus.
- c). pada sisi yang berdekatan ke muka arah angin dimana area tekanan rendah terjadi.
- d). dalam pantauan pada sisi arah tempat teduh,
- e). dalam ventilator atap, atau
- f). pada cerobong.

Inlet sebaiknya ditempatkan dalam daerah bertekanan tinggi, outlet sebaiknya ditempatkan dalam daerah negatip atau bertekanan rendah.

4.3.8.3 Ventilasi Gaya Termal.

4.3.8.3.1 Jika tahanan di dalam bangunan tidak cukup berarti, aliran disebabkan efek cerobong dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Q = K \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta h_{NPL} \cdot (T_i - T_o)}{T_i}} \dots\dots\dots (4.3.8.3.1)$$

dimana :

Q = laju aliran, m³ / detik.

K = koefisien pelepasan untuk bukaan.

Δh_{NPL} = tinggi dari tengah-tengah bukaan terendah sampai NPL, m

T_i = Temperatur di dalam bangunan, K.

T_o = Temperatur luar, K.

Persamaan 4.3.8.3.1 digunakan jika $T_i > T_o$, jika $T_i < T_o$, ganti T_i dengan T_o , dan ganti $(T_i - T_o)$ dengan $(T_o - T_i)$.

Temperatur rata-rata untuk T_i sebaiknya dipakai jika panasnya bertingkat. Jika bangunan mempunyai lebih dari satu bukaan, luas outlet dan inlet dianggap sama.

4.3.8.3.2. Koefisien pelepasan K dihitung untuk semua pengaruh yang melekat, seperti hambatan permukaan, dan campuran batas.

Perkiraan Δh_{NPL} sulit. Jika satu jendela atau pintu menunjukkan bagian-bagian yang besar (mendekati 90%) dari luas bukaan total dalam selubung, NPL adalah tinggi tengah-tengah lubang, dan Δh_{NPL} sama dengan setengah tingginya.

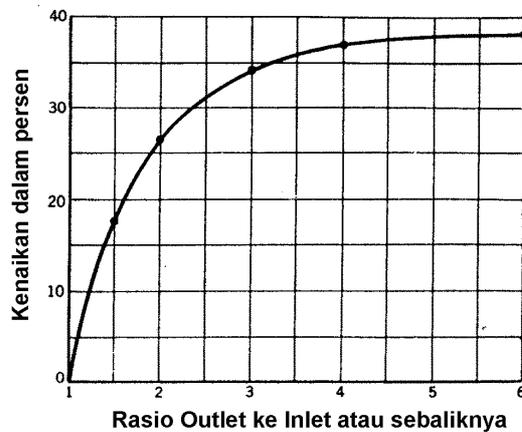
Untuk kondisi ini, aliran yang melalui bukaan dua arah, yaitu udara dari sisi hangat mengalir melalui bagian atas bukaan, dan udara dari sisi dingin mengalir melalui bagian bawah. Campuran batas terjadi di kedua sisi antar muka aliran yang berlawanan, dan koefisien orifis dapat dihitung sesuai dengan persamaan (Kiel dan Wilson, 1986) :

$$K' = 0,40 + 0,0045 \cdot (T_i - T_o) \dots\dots\dots (4.3.8.3.2).$$

Jika ada bukaan lain yang cukup, aliran udara yang melalui bukaan akan tidak terarah dan campuran batas tidak dapat terjadi.

4.3.8.3.3. Koefisien pelepasan $K = 0,65$ sebaiknya dipakai. Tambahan informasi pada cerobong yang disebabkan aliran udara untuk ventilasi alami bisa dipenuhi pada referensi Foster dan Down (1987). Aliran terbesar per unit luas dari bukaan diperoleh jika inlet dan outlet sama.

Persamaan 4.3.8.3.1 dan 4.3.8.3.2 didasarkan pada kesamaan ini. Kenaikan luas outlet di atas luas inlet atau sebaliknya, menaikkan aliran udara tetapi tidak proporsional terhadap penambahan luas. Jika bukaan tidak sama, gunakan luas yang terkecil dalam persamaan dan tambahkan kenaikannya, seperti ditunjukkan pada kurva 4.3.8.3.2.



Gambar 4.3.8.3.2 : Kenaikan aliran disebabkan kelebihan dari satu bukaan di atas lainnya

4.4. Ventilasi Mekanik.

4.4.1 Persyaratan Teknis.

- a) Sistem ventilasi mekanis harus diberikan jika ventilasi alami yang memenuhi syarat tidak memadai.
- b). Penempatan Fan harus memungkinkan pelepasan udara secara maksimal dan juga memungkinkan masuknya udara segar atau sebaliknya.
- c). Sistem ventilasi mekanis bekerja terus menerus selama ruang tersebut dihuni.
- d). Bangunan atau ruang parkir tertutup harus dilengkapi sistem ventilasi mekanis untuk membuang udara kotor dari dalam dan minimal 2/3 volume udara ruang harus terdapat pada ketinggian maksimal 0,6 meter dari lantai.
- e). Ruang parkir pada ruang bawah tanah (besmen) yang terdiri dari lebih satu lantai, gas buang mobil pada setiap lantai tidak boleh mengganggu udara bersih pada lantai lainnya.
- f). Besarnya pertukaran udara yang disarankan untuk berbagai fungsi ruangan harus sesuai ketentuan yang berlaku (lihat tabel 4.4.1).

Tabel 4.4.1 : Kebutuhan ventilasi mekanis.

Tipe	Catu udara segar minimum	
	Pertukaran udara/jam	m ³ /jam per orang
Kantor	6	18
Restoran/kantin	6	18
Toko, Pasar Swalayan.	6	18
Pabrik, bengkel.	6	18
Kelas, bioskop	8	
Lobi, koridor, tangga	4	
Kamar mandi, peturasan.	10	
Dapur	20	
Tempat parkir	6	

4.4.2 Perancangan Sistem Ventilasi Mekanis.

- a). Perancangan sistem ventilasi mekanis dilakukan sebagai berikut :
 - 1). tentukan kebutuhan udara ventilasi yang diperlukan sesuai fungsi ruangan.
 - 2). tentukan kapasitas fan.
 - 3). rancang sistem distribusi udara, baik menggunakan cerobong udara (ducting) atau fan yang dipasang pada dinding/atap.
- b). Jumlah laju aliran udara yang perlu disediakan oleh sistem ventilasi mengikuti persyaratan pada tabel 4.4.2.
- c). Untuk mengambil perolehan kalor yang terjadi di dalam ruangan, diperlukan laju aliran udara dengan jumlah tertentu untuk menjaga supaya temperatur udara di dalam ruangan tidak bertambah melewati harga yang diinginkan. Jumlah laju aliran udara V (m³/detik) tersebut, dapat dihitung dengan persamaan :

$$V = \frac{q}{f \cdot c \cdot (t_L - t_D)} \dots\dots\dots\{ 4.4.2.(1) \}.$$

dimana :

V = laju aliran udara (m³/detik).

q = perolehan kalor (Watt).

f = densitas udara (kg/m³).

c = panas jenis udara (joule/kg.°C).

(t_L - t_D) = kenaikan temperatur terhadap udara luar (°C).

Tabel 4.4.2. : Kebutuhan laju udara ventilasi

Fungsi gedung	Satuan	Kebutuhan udara luar	
		Merokok	Tidak merokok
1. Laundri.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,46
2. Restoran :			
a. Ruang makan	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
b. Dapur	(m ³ /min)/orang	-	0,30
c. Fast food	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
3. Service mobil			
a. Garasi (tertutup)	(m ³ /min)/orang	0,21	0,21
b. Bengkel.	(m ³ /min)/orang	0,21	0,21
4. Hotel, Motel, dsb :			
a. Kamar tidur	(m ³ /min)/orang	0,42	0,21
b. Ruang tamu/ruang duduk.	(m ³ /min)/orang	-	0,75
c. Kamar mandi/Toilet	(m ³ /min)/orang	-	-
d. Lobi	(m ³ /min)/orang	0,45	0,15
e. Ruang pertemuan (kecil).	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
f. Ruang rapat	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
5. Kantor.			
a. Ruang kerja	(m ³ /min)/orang	0,60	0,15
b. Ruang pertemuan	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
6. Ruang umum			
a. Koridor	(m ³ /min)/orang	-	-
b. WC umum	(m ³ /min)/kloset	2,25	2,25
c. Ruang locker/Ruang ganti baju	(m ³ /min)/orang	1,05	0,45
7. Pertokoan.			
a. Besemen & Lantai dasar	(m ³ /min)/orang	0,75	0,15
b. Lantai atas/Kamar tidur	(m ³ /min)/orang	0,75	0,15
c. Mal & Arkade.	(m ³ /min)/orang	0,30	0,15
d. Lif	(m ³ /min)/orang	-	0,45
e. Ruang merokok	(m ³ /min)/orang	1,50	-
8. Ruang kecantikan.			
a. Panti cukur & salon.	(m ³ /min)/orang	0,87	0,60
b. Ruang olahraga.	(m ³ /min)/orang	-	0,42
c. Toko kembang.	(m ³ /min)/m ²	-	0,15
d. Salon binatang peliharaan.	(m ³ /min)/orang	-	0,30

9. Ruang hiburan.			
a. Disco & bowling.	(m ³ /min)/orang	-	0,21
b. Lantai gerak, gymnasium.	(m ³ /min)/orang	-	0,60
c. Ruang penonton.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
d. Ruang bermain.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
e. Kolam renang.	(m ³ /min)/m ²	-	0,15
10. Teater.			
a. Loket	(m ³ /min)/orang	0,60	0,15
b. Lobi & Lounge.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
c. Panggung & studio.	(m ³ /min)/orang	-	0,30
11. Transportasi			
Ruang tunggu, peron, dsb.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
12. Ruang kerja.			
a. Proses makanan	(m ³ /min)/orang	-	0,15
b. Khazanah Bank	(m ³ /min)/orang	-	0,15
c. Farmasi	(m ³ /min)/orang	-	0,21
d. Studio Fotografi.	(m ³ /min)/orang	-	0,21
e. Ruang gelap.	(m ³ /min)/orang	-	0,60
f. Ruang duplikasi/cetak foto.	(m ³ /min)/orang	-	0,15
13. Sekolah.			
a. Ruang kelas.	(m ³ /min)/orang	0,75	0,15
b. Laboratorium.	(m ³ /min)/orang	-	0,30
c. Perpustakaan.	(m ³ /min)/orang	-	0,15
14. Rumah sakit.			
a. Ruang pasien	(m ³ /min)/bed	1,05	0,21
b. Ruang periksa	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21
c. Ruang bedah & bersalin	(m ³ /min)/orang	-	1,20
d. Ruang gawat darurat/ terapi	(m ³ /min)/orang	-	0,45
e. Ruang otopsi	(m ³ /min)/kloset	-	3,00
15. Rumah tinggal :			
a. Ruang duduk.	(m ³ /min)/kamar		0,30
b. Ruang tidur.	(m ³ /min)/kamar	0,75	0,30
c. Dapur	(m ³ /min)/kamar	0,75	3,00
d. Toilet.	(m ³ /min)/kamar	0,30	1,50
e. Garasi (Rumah)	(m ³ /min)/mobil	-	3,00
f. Garasi bersama	(m ³ /min)/m ²	1,50	0,45
16. Industri.			
a. Aktivitas tinggi.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,60
b. Aktivitas sedang.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,30
c. Aktivitas rendah.	(m ³ /min)/orang	1,05	0,21

Catatan 1 :

- 3, a & b : garasi dan bengkel;
distribusi udara disesuaikan dengan lokasi pekerja dan mesin.
- 4, c : kamar mandi & toilet;
memberi kapasitas terpasang, dimana sistem tidak bekerja secara terus , menerus.
- 9, e : kolam renang;
mungkin diperlukan ventilasi lebih tinggi untuk pengendalian kelembaban.
- 10, c : panggung;

- diperlukan ventilasi khusus bila ada efek panggung khusus (asap, dsb).
- 12, c & f : ruang cetak foto;
peralatan percetakan dan sebagainya harus mempunyai saluran pembuangan positif untuk -
pengendalian uap-uap bahan kimia yang toksik.
- 13, b : laboratorium;
perlu sistem pengendalian kontaminasi khusus bila terdapat proses kimia atau pemeliharaan hewan.
14. : rumah sakit :
- peraturan/ketentuan tentang tekanan udara dalam ruang akan menentukan ventilasi yang terjadi
- prosedur yang membangkitkan kontaminasi memerlukan ventilasi lebih tinggi.
- udara ruang mayat dan sebagainya tidak boleh disirkulasikan ke ruang lain.
15. rumah tinggal :
perlu dibantu oleh jendela bila terjadi penghunian lebih atau ada pekerjaan yang menimbulkan
kontaminasi ventilasi kamar mandi dan toilet terjadi bila digunakan.

Catatan 2 :

Laju udara ventilasi diberikan untuk kondisi rancangan 100% udara segar.

Bila udara balik dibersihkan dan dicampurkan dengan udara segar, laju udara balik untuk menjamin kelayakan ventilasi dihitung sebagai berikut :

$$V_R = \frac{V_0 - V_m}{E} \dots\dots\dots \{ 4.4.2.(2) \}.$$

dimana :

- V_0 = laju udara ventilasi menurut tabel 2.4 diperhitungkan per orang.
 V_m = laju udara ventilasi segar minimum sebesar 0,15 (m³/menit)/orang.
 E = efisiensi pembersihan dari sistem pembersih udara.
 V_R = laju udara balik (setelah pembersih) yang ditambahkan pada udara segar.

5. Kriteria Kenyamanan.

5.1. Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal Orang.

5.1.1. 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^oC ~ 22,8^oC.
 - 2) nyaman optimal, antara temperatur efektif 22,8^oC ~ 25,8^oC.
 - 3). hangat nyaman, antara temperatur efektif 25,8^oC ~ 27,1^oC.

5.1.2. 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%.

5.1.3. Pergerakan Udara (Kecepatan Udara).

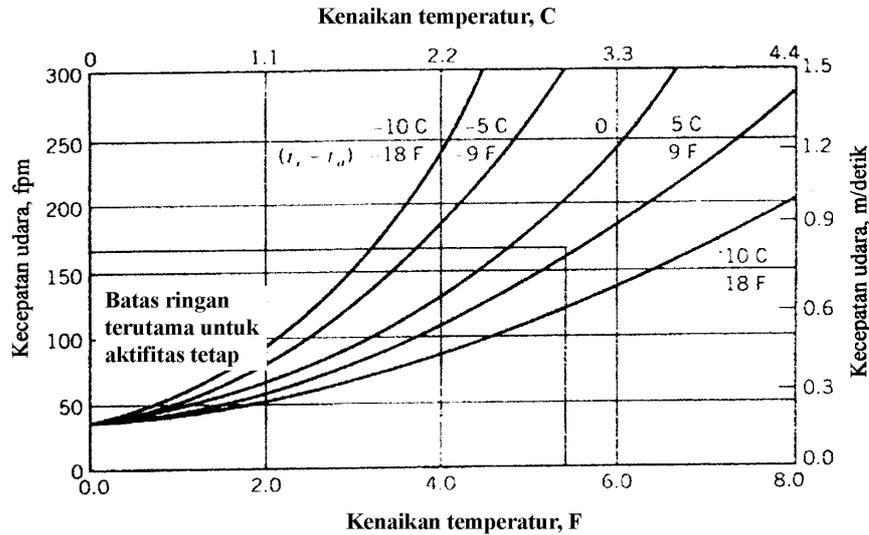
- a). Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik dan sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/detik.

- b). Kecepatan udara ini dapat lebih besar dari 0,25 m/detik tergantung dari temperatur udara kering rancangan (tabel 5.1.3).

Tabel 5.1.3.: Kecepatan udara dan kesejukan

Kecepatan udara, m/detik.	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35
Temperatur udara kering, °C	25	26,8	26,9	27,1	27,2

- c). Gambar 3.1.3. menunjukkan kebutuhan peningkatan kecepatan udara untuk mengkompensasi kenaikan temperatur udara kering agar tingkat kenyamanannya tetap terpelihara.



Gambar 5.1.3.: Kebutuhan peningkatan kecepatan udara untuk mengkompensasi kenaikan temperatur udara kering.

Penjelasan :

Misalnya temperatur udara kering dalam ruangan berubah dari 25°C menjadi 27,2°C atau naik 2,2°C untuk mengkompensasi kenaikan temperatur ini maka kecepatan udara yang mula-mula hanya 0,15 m/detik harus dinaikkan menjadi 0,625 m/detik.

5.1.4. Radiasi Permukaan yang Panas.

- Apabila di dalam suatu ruangan dinding - dinding sekitarnya panas, akan mempengaruhi kenyamanan seseorang di dalam ruangan tersebut, meskipun temperatur udara disekitarnya sesuai dengan tingkat kenyamanannya (misalnya di dekat oven atau dapur).
- Usahakan temperatur radiasi rata-rata sama dengan temperatur udara kering ruangan.
- Apabila temperatur radiasi rata-rata lebih tinggi dari temperatur udara kering ruangan, maka temperatur udara ruangan rancangan dibuat lebih rendah dari temperatur rancangan biasanya.

- d). Temperatur operatif didefinisikan sebagai temperatur rata-rata dari temperatur radiasi rata-rata dan temperatur udara kering ruangan.
- e). Untuk kecepatan udara yang rendah ($V = 0,1$ m/detik), besarnya temperatur operatif :

$$t_{OP} = \frac{t_{RAD} + t_{RUANGAN}}{2} \dots\dots\dots (5.1.4).$$

5.1.5. Aktivitas Orang.

- a). Untuk perhitungan sistem pengkondisian udara, orang lebih tertarik terhadap besarnya kalor yang dihasilkan dari seseorang pada suatu aktifitas tertentu.
- b). Tabel 5.1.5 menunjukkan besarnya kalor total yang dihasilkan untuk suatu aktivitas yang dilakukan oleh seorang pria dewasa. Untuk wanita dewasa dapat diambil 85% dari kalor yang dihasilkan pria dewasa dan anak-anak 75% dari kalor yang dihasilkan pria dewasa.

Tabel 5.1.5.: Laju Pertambahan Kalor dari Penghuni dalam Ruang yang Dikondisikan. ^a

Tingkat aktivitas	Tipe penggunaan	Kalor total Dewasa, pria		Kalor total yang disesuaikan untuk wanita. ^b		Kalor sensibel		Kalor laten	
		Btu/jam	W	Btu/jam	W	Btu/jam	W	Btu/jam	W
Duduk di gedung pertunjukan	siang hari	390	114	330	97	225	66	105	31
Duduk di gedung pertunjukan.	malam hari	390	114	350	103	245	72	105	31
Duduk, kerja amat ringan	Kantor, hotel, apartemen	450	132	400	117	245	72	155	45
Kerja kantor dengan keaktifan sedang	Kantor, hotel, apartemen.	475	139	450	132	250	73	200	59
Berdiri, kerja ringan, berjalan	Pusat belanja, pertokoan.	550	162	450	132	250	73	200	59
Berjalan; berdiri	Apotik, Bank	550	162	500	146	250	73	250	73
Pekerjaan terus menerus. ^c	Restoran	490	144	550	162	275	81	275	81
Pekerjaan bengkel ringan	Pabrik	800	235	750	220	275	81	475	139
Berdansa	Hal dansa	900	264	850	249	305	89	545	160
Berjalan 3 mph; pekerjaan mesin yang ringan	Pabrik	1000	293	1000	293	375	110	625	183
Bowling. ^d	Bowling alley.	1500	440	1450	425	580	170	870	255
Pekerjaan berat	Pabrik	1500	440	1450	425	580	170	870	255
Pekerjaan mesin yang berat, mengangkat	Pabrik	1600	469	1600	469	635	186	965	283
Atletik	Gimnasium	2000	586	1800	528	710	208	1090	320

Catatan :

- a). Nilai dalam tabel didasarkan pada temperatur udara kering 75°F. Untuk 80°F temperatur udara kering, total panas tetap sama, tetapi nilai kalor sensibel harus diturunkan mendekati 20%, dan nilai kalor laten menyesuaikan naik.

- b) Penambahan kalor yang diatur, didasarkan pada prosentase normal pria, wanita dan anak-anak sesuai daftar penggunaan, dengan rumus bahwa penambahan untuk wanita dewasa 85% dari pria dewasa, dan penambahan untuk anak-anak 75% dari pria dewasa.
- c). Penambahan total kalor yang diatur untuk pekerjaan yang menerus, restoran, termasuk 60 Btu/jam makanan per orang (30 Btu/jam sensibel dan 30 Btu/jam laten).
- d). Untuk Bowling, gambaran satu orang bermain bowling, dan lainnya duduk (400 Btu/jam) atau berdiri atau berjalan perlahan (550 Btu/jam).

5.1.6 Pakaian yang Dipakai .

- a). Besarnya kalor yang dilepas oleh tubuh dipengaruhi oleh jenis pakaian yang sedang dipakai pada saat itu, terutama mengenai besar kecilnya isolasi termal dari bahan pakaian dan tebalnya.
- b). Isolasi termal dari bahan pakaian yang dipakai dinyatakan dalam clo, dimana :
- $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{Watt}$.
- c). Besarnya isolasi termal dari bahan pakaian yang dipakai ditunjukkan pada tabel 5.1.6.

Tabel 5.1.6.: Isolasi termal untuk beberapa jenis baju

Pria	clo	Wanita	clo
Singlet tanpa lengan	0,06	Kutang dan celana dalam	0,05
Kaos berkerah	0,09	Rok dalam – setengah	0,13
Celana dalam	0,05	Rok dalam – penuh	0,19
Kemeja, ringan lengan pendek.	0,14	Blus – ringan	0,20 (a)
Kemeja, ringan lengan panjang.	0,22	Blus – berat	0,29 (a)
Waistcoat-ringan	0,15	Pakaian – ringan	0,22 (a,b)
Waistcoat-berat	0,29	Pakaian – berat	0,70 (a,b)
Celana – ringan	0,26	Rok - ringan	0,10 (b)
Celana – berat	0,32	Rok – berat	0,22 (b)
Sweater – ringan	0,20 (a)	Celana panjang wanita – ringan.	0,26
Sweater – berat	0,37 (a)	Celana panjang wanita – berat.	0,44
Jacket – ringan	0,22	Sweater – ringan	0,17 (a)
Jacket – berat	0,49	Sweater – berat	0,37 (a)
Kaos tumit	0,04	Jacket – ringan	0,17
Kaos dengkul	0,10	Jacket – berat	0,37
Sepatu	0,04	Kaos kaki panjang.	0,01
Sepatu bot	0,08	Sandal	0,02
		Sepatu	0,04
		Sepatu bot	0,08

Catatan :

- (a). Dikurangi 10% jika tanpa lengan atau lengan pendek.
- (b). Ditambah 5% jika panjangnya dibawah dengkul, dikurangi 5% jika diatas dengkul.

- d). Untuk menghitung seluruh clo dari pakaian yang dipakai, ditunjukkan dengan rumus :

Untuk pria :

$$\text{Nilai clo} = 0,727 \cdot \sum (\text{masing-masing clo}) + 0,113. \dots\dots\dots \{ 5.1.6.(1) \}.$$

Untuk wanita :

$$\text{Nilai clo} = 0,770 \cdot \sum (\text{masing-masing clo}) + 0,050 \dots\dots\dots \{ (5.1.6.(2)) \}.$$

Penjelasan :

Untuk pakaian kantor yang biasa dipakai oleh pria dewasa (celana panjang, sepatu kulit, kemeja lengan pendek/panjang), nilai clo-nya berkisar antara 0,5 ~ 0,65 , sedangkan apabila memakai tambahan jas, nilai clo total menjadi 1.

5.1.7. Pengaruh Aktivitas dan Pakaian yang Dipakai Orang terhadap Temperatur Operatif.

- a). Besarnya kalor yang dihasilkan dari aktivitas orang selain ditunjukkan dalam tabel 5.1.7, dapat pula dinyatakan dalam satuan met, dimana :

$$1 \text{ met} = 58,2 \text{ Watt/m}^2.$$

m^2 menunjukkan luas permukaan kulit tubuh, dan besarnya dinyatakan dengan rumus :

$$A_{\text{Kulit tubuh}} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725} \dots\dots\dots (5.1.7).$$

dimana :

m = massa tubuh, kg.

h = tinggi tubuh, m.

Penjelasan :

Untuk pria dewasa dengan berat badan 70 kg dan tinggi badan 1,8 m , luas kulit tubuhnya :

$$A_{\text{Kulit tubuh}} = 0,202 \cdot 70^{0,425} \cdot 1,8^{0,725} = 1,9 \text{ m}^2.$$

- b) Besarnya kalor yang dihasilkan dari aktifitas orang dinyatakan dalam met, ditunjukkan dalam tabel 5.1.7.

Tabel 5.1.7.: Macam Metabolik Pembangkit Panas untuk Beragam Aktivitas.

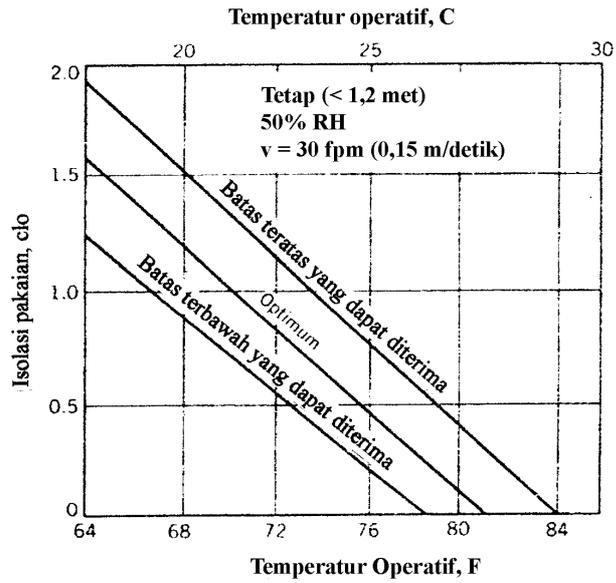
	Btu/(jam-ft ²)	met
Istirahat		
Tidur	13	0,7
Santai	15	0,8
duduk, tenang	18	1,0
berdiri, rileks.	22	1,2
Berjalan pada jalan datar :		
0,89 m/detik.	37	2,0
1,34 m/detik.	48	2,6
1,79 m/detik.	70	3,8
Aktivitas kantor :		
Membaca, duduk.	18	1,0
Menulis	18	1,0
Mengetik	20	1,1
Mengarsip, duduk.	22	1,2
Mengarsip, berdiri.	26	1,4
Berjalan	31	1,7
Mengangkat, membungkus.	39	2,1
Menyetir atau menerbangkan :		
Mobil	18~37	1,0~2,0
Pesawat terbang, rutin.	22	1,2
Pesawat terbang, instrumen mendarat.	33	1,8
Pesawat terbang, tempur.	44	2,4
Kendaraan berat.	59	3,2
Lain-lain aktivitas penghuni :		
Memasak	29~37	1,6~2,0
Membersihkan rumah	37~63	2,0~3,4
Duduk, gerakan berat anggota badan	41	2,2
Pekerjaan mesin :		
Menggergaji (meja gergaji).	33	1,8
Ringan (industri kelistrikan)	37~44	2,0~2,4
Berat	37 ~ 44	4,0
Mengangkat tas 50 kg.	74	4,0
Mengambil dan pekerjaan mencangkul.	74 ~ 88	4,0~4,8
Lain-lain, aktivitas waktu luang :		
Berdansa, sosial.	44~81	2,4~4,4
Senam	55~74	3,0~4,0
Tenis, tunggal.	66~74	3,6~4,0
Basket bal.	190~140	5,0~7,6
Gulat, pertandingan	130~160	7,0~8,7

Penjelasan :

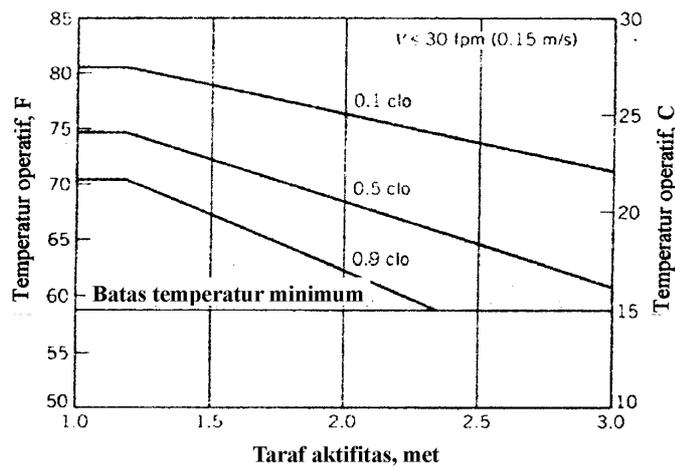
Orang dengan aktifitas berdansa menurut tabel 3.1.7, kalor yang dihasilkan sebesar 3 met, atau sebesar = 3 (met) x 58,2 (Watt/m².met) x 1,9 (m²) = 332 Watt.

Sedangkan menurut tabel 5.1.5 , nilainya sebesar 264 Watt untuk pria dan 249 Watt untuk wanita.

- c). Pengaruh pakaian yang dipakai yang dinyatakan dengan clo terhadap temperatur operatif ditunjukkan pada gambar 5.1.7.(1) untuk kelembaban udara relatif 50%, kecepatan udara 0,15 m/detik serta aktifitas kurang dari 1,2 met.



Gambar 5.1.7.(1). : Pengaruh clo pakaian yang dipakai terhadap temperatur operatif ruangan.



Gambar 5.1.7.(2) : Temperatur operatif optimal untuk orang yang aktif dalam lingkungan dengan kecepatan udara rendah ($V < 30$ fpm atau 0,15 m/detik)

- d). Makin besar clo pakaian, makin rendah temperatur operatif yang dibutuhkan untuk memperoleh tingkat kenyamanan yang optimal.

- e). Gambar 5.1.7.(2). menunjukkan temperatur operatif optimal untuk orang dengan aktifitas dari 1 ~ 3 met dan clo pakaianya dari 0,1 clo ~ 0,9 clo pada kecepatan udara tidak lebih dari 0,15 m/detik.

Penjelasan :

Apabila aktifitas dari orang yang berada di ruangan sebesar 1,2 met, dan pakaian yang dipakai 0,5 clo , maka temperatur ruangan harus 24,5°C.

Apabila aktifitasnya berubah menjadi 2 met, dengan pakaian yang sama, maka temperatur ruangan harus diubah menjadi 20,5°C agar kondisi kenyamanan tetap sama.

5.2 Zona kenyamanan ruangan.

5.2.1. Temperatur efektif didefinisikan sebagai indeks lingkungan yang menggabungkan temperatur dan kelembaban udara menjadi satu indeks yang mempunyai arti bahwa pada temperatur tersebut respon termal dari orang pada kondisi tersebut adalah sama, meskipun mempunyai temperatur dan kelembaban yang berbeda, tetapi keduanya harus mempunyai kecepatan udara yang sama.

5.2.2. Standar *ASHRAE* untuk temperatur efektif ini didefinisikan sebagai temperatur udara ekuivalen pada lingkungan isothermal dengan kelembaban udara relatif 50%, dimana orang memakai pakaian standar dan melakukan aktifitas tertentu serta menghasilkan temperatur kulit dan kebasahan kulit yang sama.

5.2.3. Untuk memperoleh daerah zona yang dapat diterima sebagai daerah temperatur operatif dan kelembaban udara relatif yang memenuhi kenyamanan untuk orang melakukan aktifitas ringan dengan met kurang dari 1,2 , serta memakai pakaian dengan clo = 0,5 untuk musim panas dan clo = 0,9 untuk musim dingin, *ASHRAE* mengeluarkan standar untuk zona kenyamanan (*comfort zone*) seperti ditunjukkan pada gambar 5.2.

5.2.4. Gambar ini mempunyai batasan ketidak puasn sebesar 10%, dengan batasan koordinat sebagai berikut :

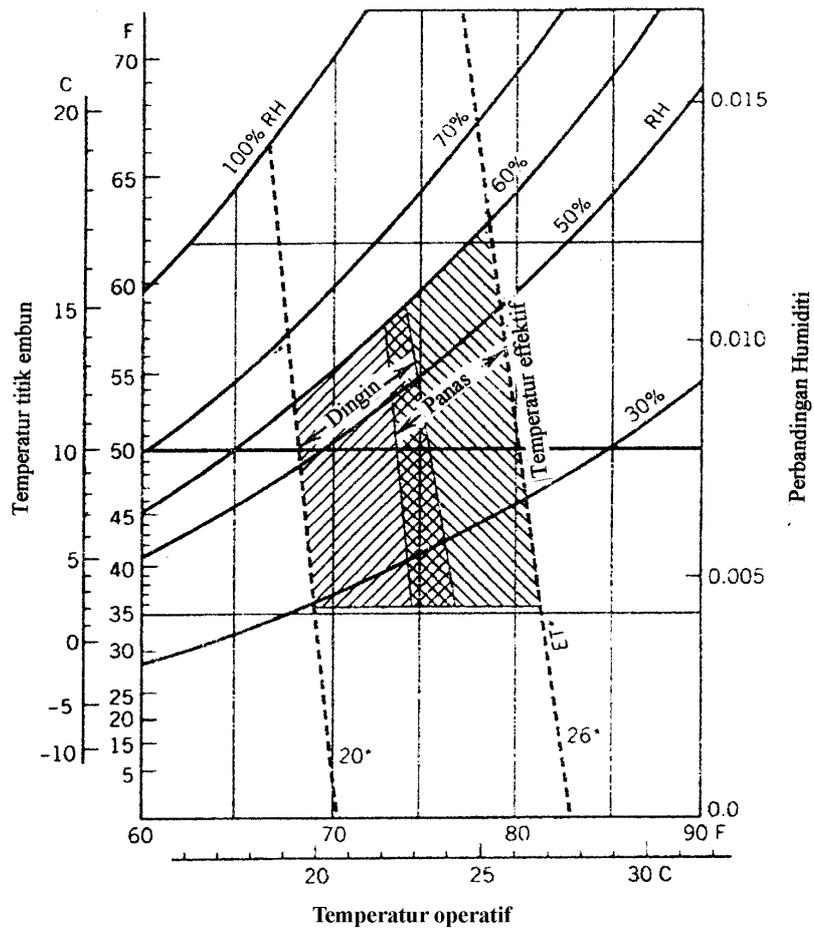
- a). Musim dingin.

Temperatur operatif t_{OP} berkisar antara 20⁰ C ~ 23,5⁰ C pada kelembaban udara relatif 60% dan berkisar antara 20,5⁰ C ~ 24,5⁰ C pada 20⁰ C dew point dan dibatasi oleh temperatur efektif 20⁰ C dan 23,5⁰ C.

- b). Musim panas.

Temperatur operatif t_{OP} berkisar antara 22,5⁰ C ~ 26⁰ C pada kelembaban udara relatif 60% dan berkisar antara 23,5⁰ C ~ 27⁰ C pada 20⁰ C dew point dan dibatasi oleh temperatur efektif 23⁰ C dan 26⁰ C.

5.2.5. Zona kenyamanan termal untuk orang Indonesia seperti disebutkan dalam butir 5.1.1, dan untuk perancangan umumnya diambil : 25⁰C ± 1⁰C dan kelembaban udara relatif 55 % ± 10 %.

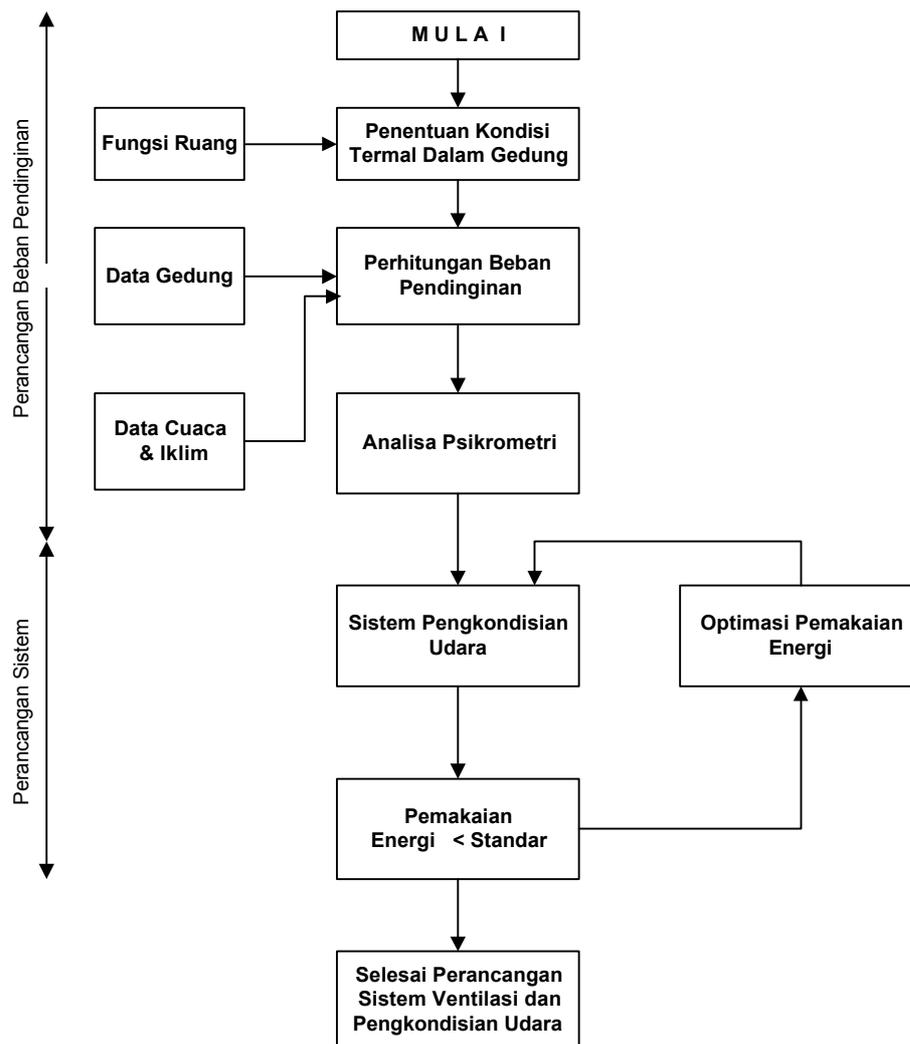


Gambar 5.2. : Daerah zona yang dapat diterima sebagai daerah temperatur operative, dan kelembaban relative yang memenuhi kenyamanan untuk orang-orang yang melakukan aktivitas ringan dengan met < 1,2.

6. Pengkondisian udara.

6.1. Prosedur.

Prosedur perancangan sistem pengkondisian udara pada bangunan gedung dilakukan mengikuti bagan seperti ditunjukkan pada gambar 6.1.



Gambar 6.1.: Perencanaan Teknis Sistem Pengkondisian Udara.

6.2. Fungsi ruang dalam gedung.

Terdiri dari :

- kegiatan utama yang berlangsung dalam ruang (aktifitas).
- waktu kegiatan puncak.
- pola pakaian penghuni.

6.3. Kondisi termal dalam gedung.

Terdiri dari :

- a) temperatur udara.
- b) kelembaban udara relatif.
- c) kuantitas udara yang diperlukan.
- d) tuntutan ketelitian untuk pengendalian besaran termal dalam ruangan.

6.4. Data gedung.

Terdiri dari :

- a). data fisik bangunan gedung.
- b). karakteristik termal selubung bangunan.
- c). data pemakaian gedung, seperti misalnya profil beban pendinginan.

6.5. Data cuaca dan iklim.

Terdiri dari :

- a). data cuaca tahunan.
- b). data temperatur udara luar di lokasi.
- c). data kelembaban udara relatif di lokasi.

6.6. Beban Pendinginan.**6.6.1. Jenis Kalor.****a). Kalor Sensibel.**

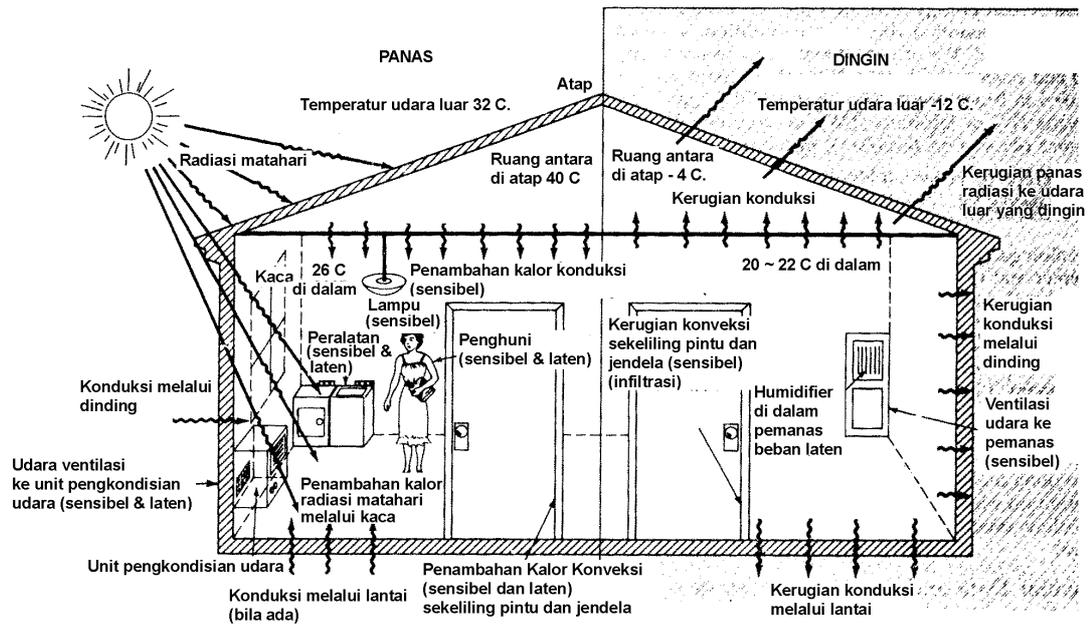
adalah suatu kalor yang berhubungan dengan perubahan temperatur dari udara. Penambahan kalor sensibel (*sensible heat gain*) adalah kalor sensibel yang secara langsung masuk dan ditambahkan ke dalam ruangan yang dikondisikan melalui konduksi, konveksi atau radiasi.

b). Kalor Laten.

adalah suatu kalor yang berhubungan dengan perubahan fasa dari air. Penambahan kalor laten (*latent heat gain*) terjadi apabila ada penambahan uap air pada ruangan yang dikondisikan, misalnya karena penghuni ruangan atau peralatan yang menghasilkan uap.

6.6.2. Beban Pendinginan Ruangan.

adalah laju aliran kalor yang harus diambil dari dalam ruangan untuk mempertahankan temperatur dan kelembaban udara relatif ruangan pada kondisi yang diinginkan.



Gambar 6.6.2.: Contoh beban pendinginan ruangan

Beban pendinginan ruangan dibagi dalam 2 bagian :

a). **Beban Pendinginan Luar (*external cooling load*).**

Beban pendinginan ini terjadi akibat penambahan panas di dalam ruangan yang dikondisikan karena sumber kalor dari luar yang masuk melalui selubung bangunan (*building envelope*), atau kerangka bangunan (*building shell*) dan dinding partisi.

Sumber kalor luar yang termasuk beban pendinginan ini adalah :

- 1). penambahan kalor radiasi matahari melalui benda transparan seperti kaca.
- 2). penambahan kalor konduksi matahari melalui dinding luar dan atap.
- 3). penambahan kalor konduksi matahari melalui benda transparan seperti kaca.
- 4). penambahan kalor melalui partisi, langit, langit dan lantai.
- 5). infiltrasi udara luar yang masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan.
- 6). ventilasi udara luar yang masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan.

b). Beban Pendinginan Dalam (*internal cooling load*).

Beban pendinginan ini terjadi karena dilepaskannya kalor sensibel maupun kalor laten dari sumber yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan.

Sumber kalor yang termasuk beban pendinginan ini adalah :

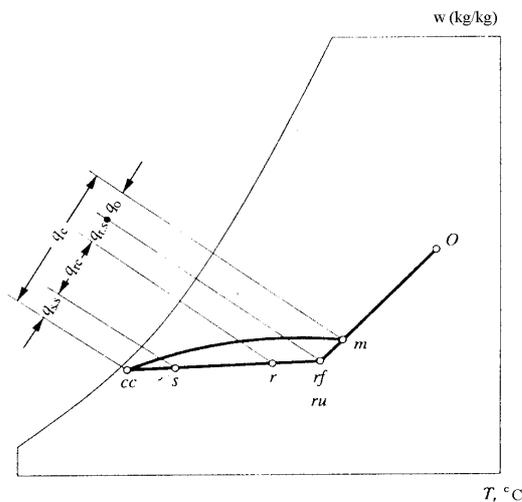
- 1). penambahan kalor karena orang yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan.
- 2). penambahan kalor karena adanya pencahayaan buatan di dalam ruangan yang dikondisikan.
- 3). penambahan kalor karena adanya motor-motor listrik yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan.
- 4). penambahan kalor karena adanya peralatan-peralatan listrik atau pemanas yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan.

Penjelasan :

Yang termasuk beban pendinginan ruangan seperti ditunjukkan dalam gambar 6.6.2.

6.6.3 Beban Koil Pendingin.

- a). Koil pendingin selain harus mampu melayani beban pendinginan ruangan, juga harus mampu melayani penambahan kalor dan kebocoran pada saluran udara (*ducting*).
- b). Koil pendingin juga harus mampu melayani beban pendingin dari motor listrik penggerak fan AHU bila motor listriknya berada di dalam AHU atau di ruangan yang dikondisikan.



Gambar 6.6.3.: Kurva psikrometri beban pendinginan ruangan dan beban koil pendingin.

Penjelasan :

AHU = *Air Handling Unit* = unit pendistribusian udara dingin.

6.6.4. Kurva Psikrometri Beban Pendinginan Ruangan dan Beban Koil Pendingin.

Gambar 6.6.3. merupakan kurva psikrometri yang menunjukkan besarnya beban pendinginan ruangan dan beban koil pendingin.

Penjelasan :

Penjelasan gambar 6.6.3

q_{rc} = beban pendinginan ruangan.

q_{ss} = penambahan kalor pada sistem pasokan udara (*supply air*).

q_{rs} = penambahan kalor pada sistem udara kembali (*return air*).

q_0 = beban pendinginan dari udara luar, baik kalor sensibel maupun kalor laten yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan penghuni dan lain sebagainya.

q_c = beban koil pendingin.

6.6.5. Beban Pendinginan Refrigerasi.

- a). Beban pendinginan refrigerasi merupakan laju pengambilan kalor oleh refrigeran di koil pendingin (*evaporator*) pada sistem ekspansi langsung (*DX = Direct expansion*).
- b). Pada sistem chiller (sistem dengan air sejuk), beban pendinginan refrigerasi merupakan penjumlahan dari beban koil pendingin (q_c) dengan penambahan kalor pada pipa air sejuk, pompa air sejuk dan tanki ekspansi air sejuk.

Penjelasan :

Penambahan kalor pada pipa air sejuk, pompa air sejuk dan tanki ekspansi air sejuk berkisar antara 5 sampai 10% dari beban koil pendingin.

6.6.6. Metoda Perhitungan Beban Pendinginan.**6.6.6.1. Umum.**

- a). Bagian ini menjelaskan tiga metoda perhitungan beban pendinginan untuk menentukan besarnya mesin pengkondisian udara. Keseimbangan kalor, merupakan konsep dasar dalam perhitungan beban pendinginan.
- b). Prosedur perhitungan beban pendinginan yang sangat dekat dengan konsep keseimbangan kalor adalah "Metoda Fungsi Transfer" (*TFM = Transfer Function Method*), yang diperkenalkan oleh *ASHRAE* pada tahun 1972. Prosedur perhitungannya menempuh dua langkah :

Langkah pertama : menetapkan penambahan kalor dari semua sumber.

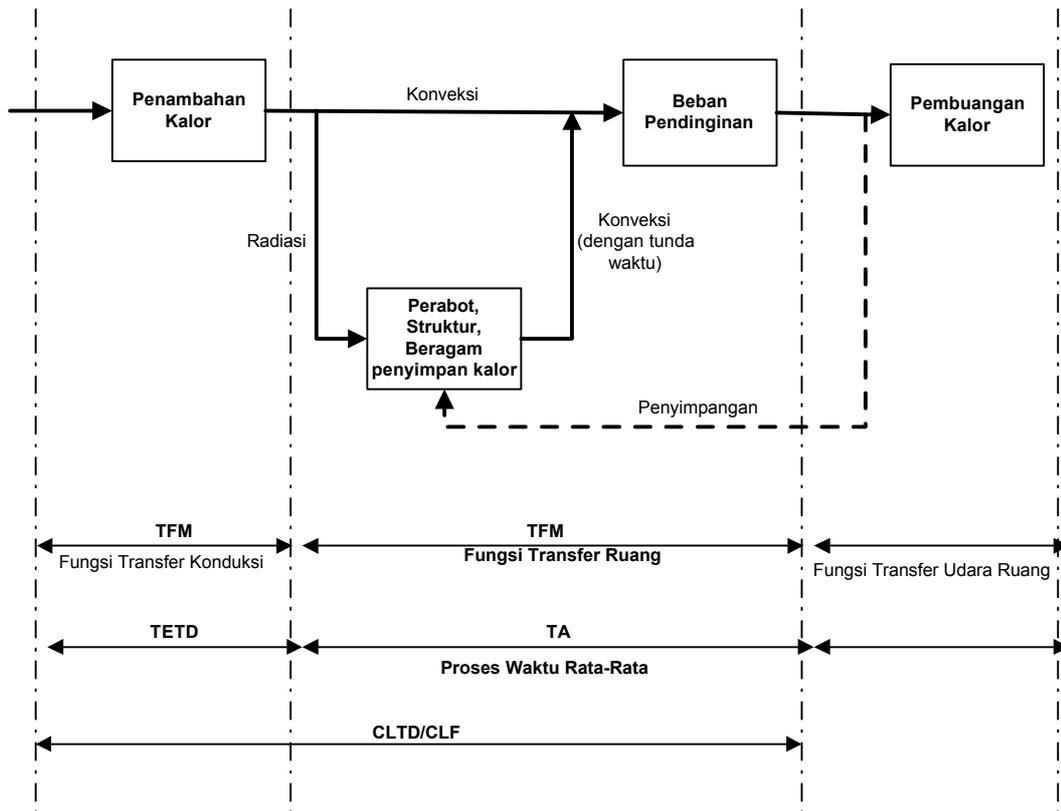
Langkah kedua : menentukan konversi dari penambahan kalor menjadi beban pendinginan.

- c). Versi yang lebih sederhana dari TFM selanjutnya dikembangkan oleh ASRAE pada tahun 1977. Prosedur perhitungannya menempuh hanya satu langkah, yaitu menggunakan Metoda Perbedaan Temperatur Beban Pendinginan (*CLTD = Cooling Load Temperature Difference*), faktor beban pendinginan karena matahari (*SCL = Solar Cooling Load Factor*), dan faktor beban pendinginan internal (*CLF = Internal Cooling Load Factor*).

d). Pilihan lain dari teknik keseimbangan kalor menggunakan Metoda Perbedaan Temperatur Ekuivalen Total (TETD = *Total Equivalent Temperature Diffrencece*) dan Waktu Rata-rata (TA = *Time Average*), dalam menghitung beban pendinginan, Prosedurnya juga menempuh dua langkah, yaitu :

- 1) Langkah pertama : Penambahan kalor.
- 2) Langkah kedua : Beban pendinginan.

Metoda ini diperkenalkan ASHRAE tahun 1967, dan oleh Carrier pada tahun 1965 dengan metoda ETD (tanpa TA).



Gambar 6.6.6 : Perbedaan besarnya penambahan kalor sesaat dan beban pendinginan sesaat.

6.6.6.2. Metoda Perbedaan Temperatur Ekuivalen Total (TETD/TA).

a). Penambahan kalor dari luar ruangan yang dikondisikan.

1). $t_e = t_o + \alpha.l_t/h_o - \epsilon. \delta.R/h_o . \dots\dots\dots\{ 6.6.6.2 - a.1.1 \}.$

$$t_{ea} = t_{oa} + \alpha/h_o.(I_{DT}/24) - \epsilon. \alpha.R/h_o \dots\dots\dots \{ 6.6.6.2 - a.1.2 \}.$$

dimana :

- t_e = temperatur udara matahari.
 t_o = temperatur udara kering pada jam tertentu.
 α = absorbtansi permukaan untuk radiasi matahari.
 α/h_o = faktor warna permukaan.
 = 0,15 untuk warna terang.
 = 0,30 untuk warna gelap.
 I_t = beban kejadian matahari total.
 = 1,15 (SHGF).
 $\epsilon. \delta.R/h_o$ = faktor radiasi gelombang panjang.
 = - 7°F untuk permukaan horisontal.
 = 0°F untuk vertikal.
 t_{ea} = temperatur udara matahari rata-rata 24 jam.
 t_{oa} = temperatur udara kering rata-rata 24 jam.
 I_{DT} = penambahan kalor matahari harian total.

2). Atap dan dinding luar.

$$q = U.A.(TETD). \dots\dots\dots\{ 6.6.6.2 - a.2.1 \}.$$

$$TETD = t_{ea} - t_i + \lambda.(t_{e\delta} - t_{ea}) \dots\dots\dots\{ 6.6.6.2 - a.2.2 \}.$$

dimana :

- U = koefisien perpindahan kalor rancangan untuk atap atau dinding luar.
 A = luas permukaan atap atau dinding luar, dihitung dari gambar bangunan.
 $TETD$ = perbedaan temperatur ekuivalen total, dari atap atau dinding luar.
 t_i = temperatur udara kering di dalam ruangan.
 λ = faktor pengurangan.
 $t_{e\delta}$ = temperatur udara matahari pada waktu tertinggal °jam.

3). Kaca.

$$\text{Konveksi : } q = U.A.(t_o - t_i) \dots\dots\dots (6.6.6.2 - a.3.1).$$

$$\text{Matahari : } q = A.(SC).(SHGF). \dots\dots\dots (4.6.6.2 - a.3.2).$$

dimana :

- U = koefisien perpindahan kalor rancangan untuk kaca.
 SC = koefisien peneduh.
 $SHGF$ = faktor penambahan kalor matahari, sesuai orientasi, asimut, jam dan bulan.
 t_o = temperatur bola kering udara luar pada jam tertentu.

4). Partisi, langit-langit dan lantai.

$$q = U.A.(t_b - t_i) \dots\dots\dots(6.6.6.2 - a.4).$$

dimana :

- t_b = temperatur di dalam ruangan yang bersebelahan.
 t_i = temperatur di dalam ruangan yang direncanakan.

b). Penambahan kalor dari dalam ruangan yang di kondisikan.

1). Orang.

$$q_{\text{Sensibel}} = N. (\text{penambahan kalor sensibel}). \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.1.1).$$

$$q_{\text{Laten}} = N. (\text{penambahan kalor laten}). \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.1.2).$$

dimana :

N = jumlah orang yang berada di dalam ruangan yang dikondisikan.

2). Pencahayaan.

$$q_{\text{el}} = W.F_{\text{ul}} \cdot F_{\text{sa}} \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.2).$$

dimana :

W = Watt dari listrik untuk pencahayaan atau armatur lampu.

F_{ul} = faktor penggunaan pencahayaan.

F_{sa} = faktor toleransi khusus.

3). Daya (tenaga).

$$q_{\text{p}} = P.EF \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.3).$$

dimana :

P = daya listrik.

EF = faktor efisiensi.

4). Peralatan lain.

$$q_{\text{ sensibel}} = q_{\text{is}} \cdot F_{\text{ua}} \cdot F_{\text{ra}} \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.4.1).$$

atau :

$$q_{\text{ sensibel}} = (q_{\text{is}} \cdot F_{\text{ua}} \cdot F_{\text{ra}}) / F_{\text{fl}} \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.4.2).$$

$$q_{\text{ laten}} = q_{\text{il}} \cdot F_{\text{ua}} \dots\dots\dots (6.6.6.2 - b.4.3).$$

dimana :

$q_{\text{is}}, q_{\text{il}}$ = penambahan kalor sensibel dan laten dari peralatan.

$F_{\text{ua}}, F_{\text{ra}}, F_{\text{fl}}$ = faktor pemakaian, faktor radiasi, faktor cerobong asap.

c). Udara ventilasi dan infiltrasi.

$$q_{\text{ sensibel}} = 1,23 \cdot Q \cdot (t_o - t_i) \dots\dots\dots (6.6.6.2 - c.1).$$

$$q_{\text{ laten}} = 3010 \cdot Q \cdot (W_o - W_i) \dots\dots\dots (6.6.6.2 - c.2).$$

dimana :

Q = aliran udara ventilasi atau infiltrasi, liter/detik.

t_o, t_i = temperatur udara di luar dan di dalam ruangan $^{\circ}\text{C}$.

W_o, W_i = kandungan uap air di luar dan di dalam ruangan (kg.uap air/kg.udara kering).

d). Beban pendinginan.

1). Sensibel :

$$Q_{\text{Sensibel}} = Q_{\text{cf}} + Q_{\text{arf}} + Q_{\text{c}} \dots\dots\dots (6.6.6.2 - d.1.1).$$

$$Q_{\text{cf}} = [q_{s,1} \cdot (1 - rf_1)] + [q_{s,2} \cdot (1 - rf_2)] + \dots\dots\dots rf_n \dots\dots\dots (6.6.6.2 - d.1.2).$$

$$Q_{\text{arf}} = \sum_{g=h_{\alpha+1}-\theta}^g [(q_{s,1} \cdot rf_1) + (q_{s,2} \cdot rf_2) + \dots\dots\dots rf_n] \dots\dots\dots (6.6.6.2 - d.1.3)$$

$$Q_{\text{c}} = (Q_{\text{sc},1} + Q_{\text{sc},2} + Q_{\text{sc},\beta}) \dots\dots\dots (6.6.6.2 - d.1.4).$$

dimana :

- Q_{Sensibel} = beban pendinginan sensibel, Watt.
- Q_{cf} = sebagian kecil konveksi penambahan kalor sensibel jam (jam tertentu) untuk elemen beban n, Watt.
- $Q_{\text{sc},1}$ = penambahan kalor sensibel jam untuk elemen beban 1,n.
- rf_1 = sebagian kecil radiasi penambahan kalor sensibel jam untuk elemen beban 1, n.
- Q_{arf} = sebagian kecil radiasi rata-rata penambahan kalor sensibel jam untuk n elemen beban, watt.
- θ = jumlah jam di atas sebagian kecil radiasi rata-rata penambahan panas sensibel.
- h_{α} = jam tertentu, 1 sampai 24, dimana beban pendinginan dihitung.
- γ = satu dari jam perhitungan, dari $h_{\alpha+1-\theta}$ sampai h_{α} , untuk sebagian kecil radiasi dari penambahan kalor sensibel yang akan dirata-ratakan untuk setiap n elemen beban.
- Q_{c} = penambahan kalor sensibel konveksi jam (jam tertentu) untuk unsur beban β yang tidak mempunyai komponen radiasi, Watt.

2). Laten.

$$Q_{\text{laten}} = (q_{l,1} + q_{l,2} + q_{l,\beta}) \dots\dots\dots (6.6.6.2 - d.2).$$

dimana :

- Q_{laten} = beban pendinginan laten, Watt.
- q_l = penambahan kalor laten jam (jam tertentu) untuk elemen beban β , watt.

6.6.6.3. Metoda Fungsi Transfer (TFM Method).

a). Penambahan kalor dari luar ruangan yang dikondisikan.

1). $t_e = t_o + \alpha \cdot I_t / h_o - \epsilon \cdot \delta \cdot R / h_o \dots\dots\dots (6.6.6.3 - a.1.1).$

$$t_{ea} = t_{oa} + \alpha / h_o \cdot (I_{DT} / 24) - \epsilon \cdot \delta \cdot R / h_o \dots\dots\dots (6.6.6.3 - a.1.2).$$

dimana :

- t_e = temperatur udara matahari.
- t_o = temperatur udara kering pada jam tertentu.
- α = absorbtansi permukaan untuk radiasi matahari.
- α / h_o = faktor warna permukaan.

- = 0,026 untuk warna terang.
- = 0,052 untuk warna gelap.
- I_t = beban kejadian matahari total.
- = 1,15 (SHGF).
- $\varepsilon \cdot \delta \cdot R/h_o$ = faktor radiasi gelombang panjang.
- = - 3,9 °C untuk permukaan horisontal.
- = 0° C untuk vertikal.
- t_{ea} = temperatur udara matahari rata-rata 24 jam.
- t_{oa} = temperatur udara kering rata-rata 24 jam.
- I_{DT} = penambahan kalor matahari harian total.

2). Atap dan dinding luar.

$$q_{eo} = A \cdot \left[\sum_{n=0} b_n \cdot (t_{e,q-n} - d) - \sum_{n=1} d_n \cdot [(q_{e,q-n} - d) / A] - t_{rc} \sum_{n=0} c_n \right] \dots\dots(6.6.6.3 - a.2)$$

dimana :

- b, c dan d = koefisien fungsi transfer konduksi atap atau dinding luar.
- U_{tabel} = koefisien perpindahan kalor konstruksi atap atau dinding luar.
- U_{aktual} = koefisien perpindahan kalor rancangan konstruksi atap atau dinding luar.

Penyesuaian b dan c dengan perbandingan U_{aktual} / U_{tabel} .

- θ = jam di mana perhitungan dibuat.
- δ = interval waktu (1 jam).
- n = jumlah jam dimana b dan d nilainya cukup berarti.
- e = elemen yang dianalisa, atap atau dinding.
- A = luas elemen yang dianalisis.

3). Kaca.

Konveksi : $q = U \cdot A \cdot (t_o - t_i)$ (6.6.6.3 - a.3.1).

Matahari : $q = A \cdot (SC) \cdot (SHGF)$ (6.6.6.3 - a.3.2).

dimana :

- U = koefisien perpindahan kalor rancangan untuk kaca.
- SC = koefisien peneduh.
- SHGF = faktor penambahan kalor matahari, sesuai orientasi, asimut, jam dan bulan.
- A = luas area kaca.

4). Partisi, langit-langit dan lantai.

$q = U \cdot A \cdot (t_b - t_i)$ (6.6.6.3 - a.4).

dimana :

- t_b = temperatur di dalam ruangan yang bersebelahan.
- t_i = temperatur di dalam ruangan yang direncanakan.

b). Penambahan kalor dari dalam ruangan yang di kondisikan.

1). Orang.

$$q_{\text{Sensibel}} = N. (\text{penambahan kalor sensibel}). \dots\dots(6.6.6.3 - b.1.1).$$

$$q_{\text{Laten}} = N. (\text{penambahan kalor laten}). \dots\dots\dots(6.6.6.3 - b.1.2).$$

dimana :

N = jumlah orang yang berada di dalam ruangan yang dikondisikan.

2). Pencahayaan.

$$q_{\text{el}} = W.F_{\text{Ul}} \cdot F_{\text{sa}} \dots\dots\dots(6.6.6.3 - b.2).$$

dimana :

W = Watt dari listrik untuk pencahayaan atau armatur lampu.

F_{Ul} = faktor penggunaan pencahayaan.

F_{sa} = faktor toleransi khusus.

3). Daya (tenaga).

$$q_{\text{p}} = P.E_{\text{F}} \dots\dots\dots(6.6.6.3 - b.3).$$

dimana :

P = daya listrik.

E_{F} = faktor efisiensi.

4). Peralatan lain.

$$q_{\text{sensibel}} = q_{\text{is}} \cdot F_{\text{ua}} \cdot F_{\text{ra}} \dots\dots\dots(6.6.6.3 - b.4.1).$$

atau :

$$q_{\text{sensibel}} = (q_{\text{is}} \cdot F_{\text{ua}} \cdot F_{\text{ra}}) / F_{\text{fl}} \dots\dots\dots(4.6.6.3 - b.4.2).$$

$$q_{\text{laten}} = q_{\text{il}} \cdot F_{\text{ua}} \dots\dots\dots(4.6.6.3 - b.4.3).$$

dimana :

$q_{\text{is}}, q_{\text{il}}$ = penambahan kalor sensibel dan laten dari peralatan.

$F_{\text{ua}}, F_{\text{ra}}, F_{\text{fl}}$ = faktor pemakaian, faktor radiasi, faktor cerobong asap.

c). Udara ventilasi dan infiltrasi.

$$q_{\text{sensibel}} = 1,23. Q. (t_o - t_i). \dots\dots\dots(6.6.6.3 - c.1)$$

$$q_{\text{laten}} = 3010. Q. (W_o - W_i) \dots\dots\dots(6.6.6.3 - c.2).$$

$$q_{\text{total}} = 1,20. Q. (H_o - H_i). \dots\dots\dots(6.6.6.3 - c.3).$$

dimana :

Q = aliran udara ventilasi atau infiltrasi , liter/detik.

t_o, t_i = temperatur udara di luar dan di dalam ruangan $^{\circ}\text{C}$.

W_o, W_i = kandungan uap air di luar dan di dalam ruangan (kg.uap air/kg.udara kering).

$H_o, H_i =$ entalpi udara di luar dan di dalam ruangan, kJ/kg(udara kering).

d). Beban Pendinginan.

1). Sensibel :

$$Q_{\theta} = Q_{tf} + Q_{sc} \dots\dots\dots(6.6.6.3 - d.1.1).$$

$$Q_{tf} = \sum_{i=1} (V_o \cdot q_{\theta,i} + v_1 \cdot q_{\theta,i-\delta} + v_2 \cdot q_{\theta,i-2\delta} + \dots) + (w_1 \cdot Q_{\theta-\delta} + w_2 \cdot Q_{\theta-2\delta} + \dots\dots\dots)$$

.....(6.6.6.3 - d.1.2)

$$Q_{sc} = \sum_{j=1} (q_{c,j}) \dots\dots\dots(6.6.6.3 - d.1.3).$$

dimana :

- Q_{tf} = beban pendinginan sensibel dari elemen penambah kalor yang mempunyai komponen konveksi dan radiasi.
- v, w = koefisien fungsi transfer ruangan.
- $q_{\theta,i}$ = setiap i elemen penambah kalor yang mempunyai komponen radiasi.
- δ = interval waktu (1 jam).
- Q_{sc} = beban pendinginan sensibel dari elemen penambah kalor yang hanya mempunyai komponen konveksi.
- q_c = setiap i elemen penambah kalor yang hanya mempunyai komponen konveksi.

2). Laten :

$$Q_l = \sum_{n=1} (q_{c,n}). \dots\dots\dots (6.6.6.3 - d.2).$$

dimana :

- q_c = setiap n elemen penambah kalor laten.

6.6.6.4. Metoda CLTD/SCL/CLF.

a). Penambahan kalor dari luar ruangan yang dikondisikan.

1). Beban radiasi matahari melalui kaca.

$$q = A \cdot (SC) \cdot (SCL). \dots\dots\dots(6.6.6.4 - a.1).$$

dimana :

- A = luas permukaan kaca luar.
- SC = koefisien peneduh.
- SCL = faktor beban pendinginan matahari dengan tanpa peneduh dalam, atau dengan peneduh dalam.

2). Konduksi matahari melalui kaca, atap dan dinding.

$$q = U.A.(CLTD) \dots\dots\dots(6.6.6.4 - a.2).$$

dimana :

U = koefisien perpindahan kalor rancangan untuk atap atau dinding, atau untuk kaca.

A = luas permukaan atap, dinding luar, atau kaca luar, dihitung dari gambar bangunan.

(CLTD) = perbedaan temperatur beban pendinginan. atap, dinding atau kaca.

3). Beban pendinginan dari partisi, langit-langit dan lantai.

$$q = U.A.(t_b - t_{rc}) \dots\dots\dots(6.6.6.4 - a.3).$$

dimana :

U = koefisien perpindahan kalor rancangan untuk partisi, langit-langit, atau lantai.

A = luas permukaan partisi, langit-langit atau lantai, dihitung dari gambar bangunan.

t_b = temperatur ruangan yang bersebelahan.

t_{rc} = temperatur ruangan yang direncanakan.

b). beban pendinginan dalam.

1). Orang.

$$q_{\text{Sensibel}} = N.(penambahan\ kalor\ sensibel).(CLF) \dots\dots (6.6.6.4 - b.1).$$

dimana :

N = jumlah orang di dalam ruangan. Penambahan kalor sensibel dan laten dari penghuni.

CLF = faktor beban pendinginan sesuai jam penghunian.

Catatan :

CLF = 1,0 dengan kepadatan tinggi atau 24 jam penghunian dan/atau jika pendinginan dimatikan pada malam hari atau selama libur.

2). Pencahayaan.

$$q = W.F_{ul}.F_{sa}.(CLF) \dots\dots\dots (6.6.6.4 - b.2),.$$

dimana :

W = watt dari listrik atau data armatur pencahayaan.

F_{ul} = faktor penggunaan pencahayaan.

F_{sa} = faktor toleransi khusus.

CLF = faktor beban pendinginan, sesuai jam penghunian.

Catatan :

CLF = 1,0 dengan 24 jam pemakaian pencahayaan dan/atau jika pendinginan dimatikan pada malam hari atau selama libur.

3). Daya listrik.

$$q = P \cdot E_F \cdot (CLF) \dots\dots\dots (6.6.6.4 - b.3).$$

dimana :

P = daya listrik yang digunakan.

 E_F = faktor efisiensi.

CLF = faktor beban pendinginan sesuai jam penghunian.

Catatan :

CLF = 1,0 dengan 24 jam beroperasinya daya listrik dan / atau jika pendinginan mati pada malam hari atau selama libur.

4). Peralatan lainnya.

$$q_{\text{Sensibel}} = q_{\text{is}} \cdot F_{\text{ua}} \cdot F_{\text{ra}} \cdot (CLF) \dots\dots\dots (6.6.6.4 - b.4.1).$$

atau :

$$q_{\text{Sensibel}} = [q_{\text{is}} \cdot F_{\text{ua}} \cdot F_{\text{ra}} \cdot (CLF)] / F_{\text{fl}} \dots\dots\dots (6.6.6.4 - b.4.2).$$

$$q_{\text{Laten}} = q_{\text{il}} \cdot F_{\text{ua}} \dots\dots\dots (6.6.6.4 - b.4.3).$$

dimana :

 q_{is} , q_{il} = penambahan kalor sensibel dan laten dari peralatan. F_{ua} , F_{ra} , F_{fl} = faktor penggunaan, faktor radiasi, faktor kerugian pembakaran.

CLF = faktor beban pendinginan, sesuai skedule jam.

Catatan 1 :

CLF = 1,0 dengan 24 jam peralatan beroperasi dan/atau jika pendinginan mati pada malam hari atau selama libur.

Catatan 2 :

Set beban laten = 0 jika peralatan menggunakan tudung pembuangan.

c). Udara ventilasi dan udara infiltrasi.

$$q_{\text{Sensibel}} = (1,23) \cdot Q \cdot (t_o - t_i) \dots\dots\dots (6.6.6.4 - c.1.1).$$

$$q_{\text{Laten}} = (3010) \cdot Q \cdot (W_o - W_i) \dots\dots\dots (6.6.6.4 - c.1.2).$$

$$q_{\text{Total}} = (1,20) \cdot Q \cdot (H_o - H_i) \dots\dots\dots (6.6.6.4 - c.1.3).$$

dimana :

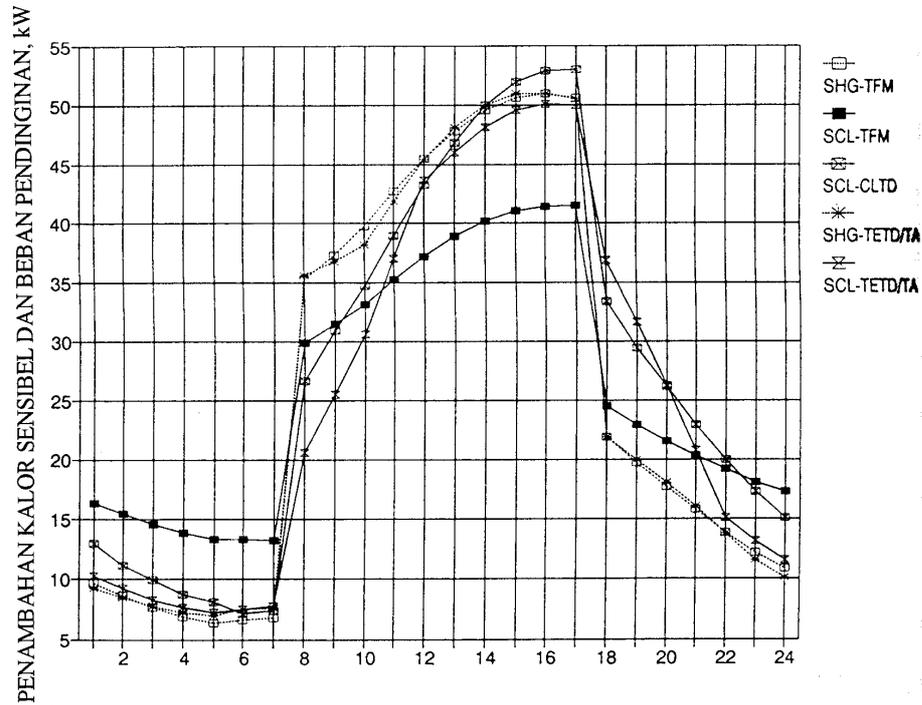
Q = ventilasi dalam liter per detik, dan infiltrasi.

 t_o , t_i = temperatur udara luar dan temperatur udara di dalam ruangan. W_o , W_i = kandungan uap air di luar dan di dalam ruangan, (kg.uap air/kg.udara kering). H_o , H_i = entalpi udara di luar dan di dalam ruangan, kJ/kg (udara kering).**Penjelasan :**

Untuk contoh cara menghitung dari ketiga metoda tersebut dapat digunakan buku referensi yang ada, dan petunjuk teknis ini tidak mencakup data informasi untuk perhitungan beban pendinginan.

6.6.6.5. Komparasi Metoda Perhitungan Beban Pendinginan.

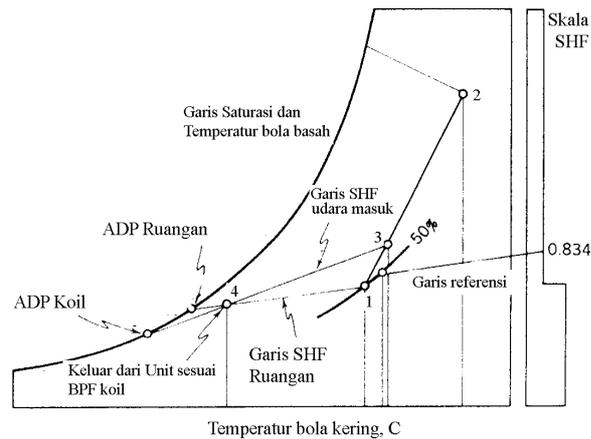
Hasil perhitungan dengan metoda TFM, CLTD/SCL/CLF dan TETD/TA untuk bangunan gedung yang sama ditunjukkan pada gambar 6.6.6.5.



Gambar 6.6.6.5 : Perhitungan Beban Pendinginan dengan Metoda TFM/ CLTD/CLF dan TETD/TA

6.7. Analisa Psychrometrik.

6.7.1 Dalam penggunaannya, kurva psychrometric harus diperluas termasuk cara pengendalian sifat-sifat panas dari udara tersebut.



Gambar 6.7.1.: Kurva Psychrometric untuk pengkondisian udara ruangan

6.7.2. Proses Pengkondisian Udara.

- Gambar 6.7.1, menunjukkan proses pengkondisian udara yang digambarkan pada kurva psychrometric.
- Udara luar (2) dicampur dengan udara balik dari ruang (1) dan masuk ke dalam koil pendingin (3) (apparatus).

Udara mengalir melalui koil pendingin (3-4) dan dipasok ke ruangan (4). Udara yang dipasok ke ruangan bergerak sepanjang garis (4-1) mengambil beban ruangan, dan siklus berulang.

- Secara normal udara yang dipasok ke ruangan oleh sistem pengkondisian udara, dikembalikan ke koil pendingin. Jadi dicampurnya dengan udara luar adalah untuk kebutuhan ventilasi.

Campuran kemudian mengalir melalui koil pendingin dimana kalor dan pengembunan ditambahkan atau dipindahkan, sesuai yang dipersyaratkan untuk memelihara kondisi yang diinginkan.

- Pemilihan peralatan yang tepat untuk melengkapi pengkondisian ini dan untuk mengendalikan sifat thermodinamis dari udara tergantung pada keragaman elemen-elemen. Jadi, hanya yang berpengaruh terhadap sifat-sifat psychrometric udara yang dibicarakan.
- Elemen-elemen ini adalah :
 - Faktor kalor sensibel ruangan (RSHF)
 - Faktor kalor sensibel total (GSHF)

- 3). Temperatur efektif permukaan (t_{es})
- 4). Faktor bypass (BF)
- 5). Faktor kalor sensibel efektif (ESHF)

7. Sistem Pengkondisian Udara.

Sistem pengkondisian udara, terdiri dari :

7.1. Sistem Ekspansi Langsung (DX).

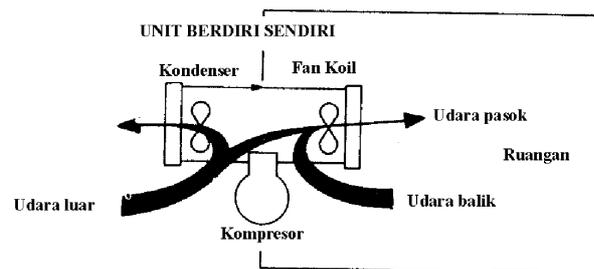
Pada sistem ini udara didinginkan secara langsung oleh koil pendingin dimana media di dalam koil pendingin adalah refrigeran.

7.1.1. Sistem ini terdiri dari kipas udara, koil pendingin dan mesin refrigerasi yang berada di dalam satu kotak.

7.1.2. Ada 4 jenis alat pengkondisian udara yang termasuk dalam kelompok ini :

- a). jenis paket.
- b). jenis jendela.
- c). jenis lantai.
- d). jenis atap.

7.1.3. Mesin refrigerasi yang ada didalamnya terdiri dari kondenser (jenis pendingin air atau udara) dan kompresor yang terpisah dari unit Fan Koil, tetapi dihubungkan dengan pipa refrigeran.

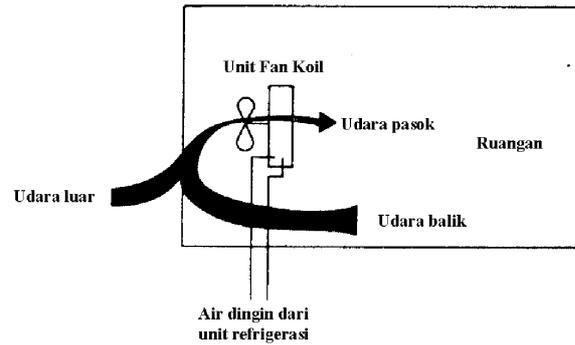


Gambar 7.1.3 : Sistem ekspansi langsung

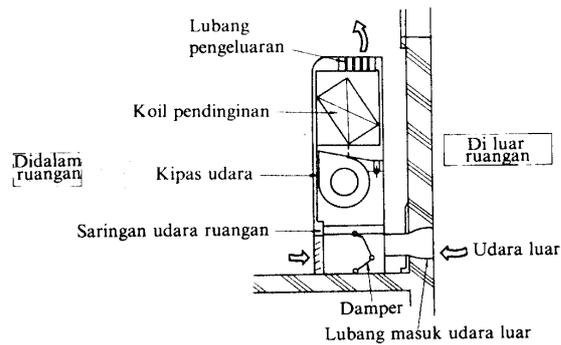
7.2. Sistem Air Penuh.

Pada sistem air penuh, air sejuk (*chilled water*) dialirkan melalui unit Fan koil untuk pengkondisian udara.

Udara yang diperlukan untuk ventilasi dimasukkan melalui celah celah pintu atau jendela, lubang masuk pada dinding dan dimasukkan ke dalam ruangan melalui saluran khusus.



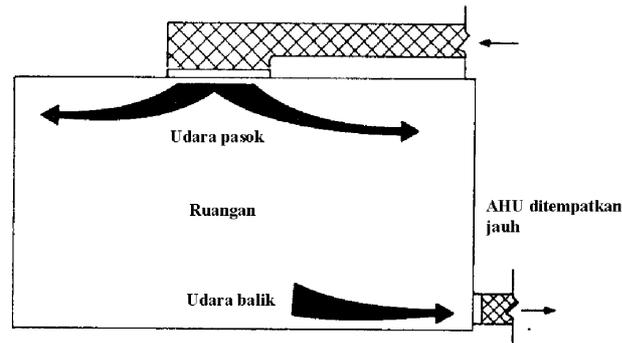
Gambar 7.2.1.a.: Sistem air penuh



Gambar 7.2.1.b.: Unit Fan koil dengan pemasukan udara luar secara langsung

7.3. Sistem Udara Penuh.

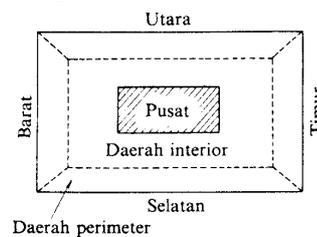
7.3.1. Campuran udara luar dan udara ruangan didinginkan dan dikurangi kadar uap airnya, kemudian dialirkan kembali ke dalam ruangan melalui saluran udara. Dalam keadaan di mana beban kalor dari beberapa ruangan yang akan dilayani berbeda, tidak mungkin mempertahankan udara ruangan pada suatu temperatur tertentu. Masalah tersebut dapat dipecahkan dengan melayani ruangan dengan kondisi yang sama oleh satu alat pengkondisian udara.



Gambar 7.3.1 :Sistem udara penuh

7.3.2 Pada gambar 7.3.2, ditunjukkan suatu alat pengkondisian udara dimana ruangan dibagi menjadi 2 daerah.

- Daerah luar, atau daerah pinggir atau daerah perimeter.
Daerah ini meliputi ruangan yang menghadap ke dinding luar gedung.
- Daerah interior, meliputi ruangan yang dikelilingi oleh daerah luar.
Masing-masing daerah dilayani oleh alat pengkondisian udara yang terpisah. Sistem pembagian daerah ini disebut Zoning.

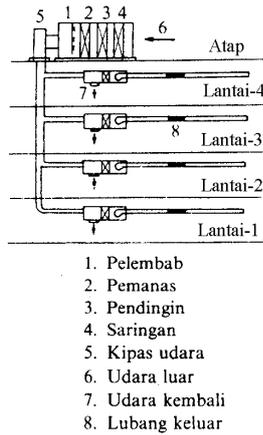


Gambar 7.3.2.: Pembagian daerah

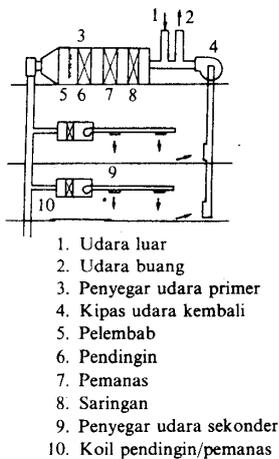
7.3.3. Pada gambar 7.3.3.a dan 7.3.3.b dapat dilihat jenis zoning lainnya berdasarkan tingkat lantai.

Dalam hal tersebut, gedung bertingkat diatur sedemikian rupa sehingga zoning dilakukan berdasarkan tingkat lantai yang berada pada tingkat kondisi dan beban kalor yang berbeda. Maka setiap lantai dilayani oleh alat pengkondisian udara yang terpisah satu sama lain.

Pada sistem unit tingkat lantai, udara luar masuk ke dalam alat pengkondisian udara sentral melalui saluran udara yang sama; tetapi udara ruangan dapat masuk kembali langsung ke dalam alat pengkondisian udara masing-masing lantai (gambar 7.3.3.a), atau diolah terlebih dahulu secara bersama-sama dan baru kemudian masuk ke dalam alat pengkondisian udara masing-masing (gambar 7.3.3.b).



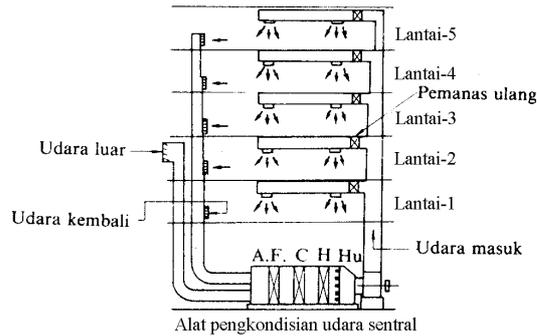
Gambar 7.3.3.a.: Sistem unit setiap tingkat



Gambar 7.3.3.b.: Sistem unit setiap tingkat

7.3.4. Pada gambar 73.4. dapat dilihat sistem yang menggunakan pemanas ulang. Udara segar yang mengalir di dalam saluran utama dipertahankan konstan pada temperatur rendah. Kemudian udara tersebut masuk ke dalam ruangan melalui alat pemanas yang dipasang pada saluran cabang masing-masing.

Pemanas tersebut memanaskan udara dan diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh temperatur udara yang sesuai dengan temperatur udara ruangan yang diinginkan.

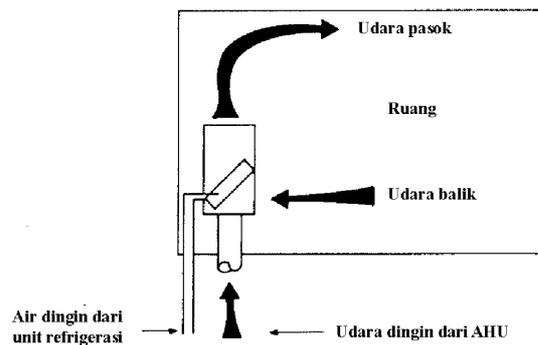


Gambar : 7.3.4.: Sistem pemanas terminal

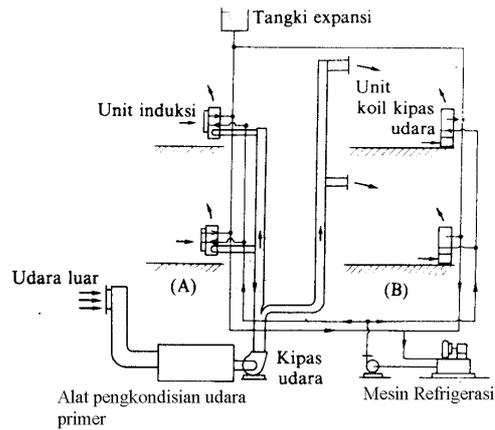
7.3.5. Sistem Air – Udara.

Dalam sistem air-udara, unit Fan coil dipasang di dalam ruangan yang akan dikondisikan. Air sejuk (untuk pendinginan) atau air panas (untuk pemanasan) dialirkan ke dalam unit tersebut sehingga menjadi dingin atau panas.

Selanjutnya udara tersebut bersirkulasi di dalam ruangan. Demikian pula untuk keperluan ventilasi, udara luar yang telah didinginkan dan dikeringkan atau udara luar yang telah dipanaskan dan dilembabkan dialirkan dari mesin pengkondisian udara sentral ke ruangan yang akan di kondisikan. Udara luar yang telah dikondisikan ini disebut udara primer. Pada umumnya, sebagian kalor sensibel dari ruangan diatasi oleh unit ruangan (unit sekunder); sedangkan kalor laten diatasi oleh udara primer.



Gambar : 7.3.5 : Sistem air – udara



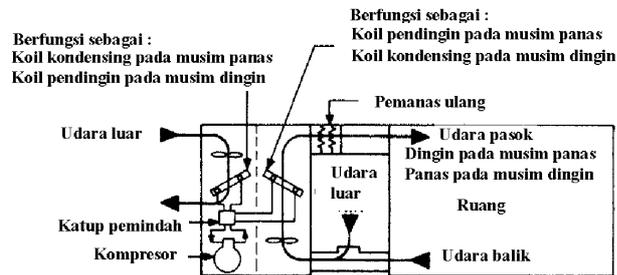
Gambar : 7.3.5. Sistem air – udara

7.3.6. Sistem Pompa Kalor.

Sistem pompa kalor adalah siklus refrigerasi yang direncanakan untuk mengendalikan kalor dalam dua arah (dingin atau panas).

Pompa kalor merupakan penyelesaian alami bila beban kalor pendinginan dan beban kalor pemanasan mendekati sama.

Setiap sistem pengkondisian udara dapat dirubah menjadi pompa kalor. Pompa kalor merupakan metoda operasional dari unit refrigerasi yang mengubah sistem pengkondisian udara pada dirinya sendiri tanpa menggunakan unit ketel uap yang terpisah.



Gambar 7.3.6.: Sistem pompa kalor.

7.4. Persyaratan Kinerja.

7.4.1. Peralatan Sistem Pengkondisian Udara.

Peralatan sistem pengkondisian udara menyediakan satu (paket tunggal) atau lebih (sistem terpisah/*split system*) paket yang dirakit di pabrik yang terdiri dari ; sarana sirkulasi udara, pembersih udara, pendingin udara dengan kontrol temperatur dan penurunan kelembaban

(*dehumidification*). Fungsi pendinginan dioperasikan antara lain oleh listrik atau kalor, dan kondenser refrigeran didinginkan oleh udara, air atau evaporasi.

Apabila peralatan disediakan lebih dari satu paket, paket yang dipisahkan harus oleh pabrik direncanakan untuk dapat dipakai bersama.

7.4.1.1. Peralatan Sistem Pengkondisian Udara, yang Dioperasikan dengan Listrik-untuk Pendinginan.

Peralatan sistem pengkondisian udara (tanpa batas) yang dipakai untuk unit (sentral) peralatan pendingin (yang didinginkan dengan udara, air dan evaporasi), paket *terminal air conditioner* dan *air conditioner* ruang, besar masukan energi listrik untuk pendinginannya disesuaikan dengan kondisi standar tertentu seperti ditunjukkan pada tabel 7.4.1.1. Kondisi standar tambahan yang dispesifikasikan dalam standar pemakaian untuk peralatan sistem pengkondisian udara - khusus, ditunjukkan dengan Koefisien performansi (COP) - pendinginan seperti didefinisikan pada butir 7.4.1.2, dan nilainya tidak kurang seperti ditunjukkan dalam tabel 7.4.1.2.

Tabel 7.4.1.1.: Standar temperatur² – pendinginan
Peralatan sistem pengkondisian udara yang digerakkan dengan listrik¹

Uraian	Pendinginan udara		Pendinginan air	
	Temperatur bola kering (DB)	Temperatur bola basah (WB)	masuk	keluar
Udara ruang yang masuk peralatan °C.	26,7	19,4		
Ambien Kondenser (pendinginan udara) °C	35,0	23,9		
Air pendingin kondenser °C			29,4	35

Catatan :

- 1). Data dalam tabel ini dipakai untuk jenis peralatan sebagai berikut :
 - a). Sentral Air Conditioner yang didinginkan dengan udara, evaporasi dan air, ARI std 210-78.
 - b). Peralatan unitari air conditioner untuk komersial/industri, ARI std 360-75.
 - c). Terminal paket air conditioner, ARI std 310-76.
 - d). Air Conditioner ruang, ANSI 2234.1 – 1972.
- 2). Standar juga didasarkan pada kondisi standar lain, seperti untuk listrik, jumlah aliran udara pada koil pendingin, jumlah aliran udara kondenser, kebutuhan untuk rakitan terpisah, minimum statik luar yang dikondisikan (external static), tahanan aliran udara seperti dijelaskan pada standar pemakaian.

7.4.1.2. Koefisien Performansi dari Peralatan (COP_p) - Pendinginan.

COP adalah perbandingan antara kalor bersih yang dilepaskan (*net heat removal*) dengan total masukan energi , dinyatakan dalam unit yang konsisten dan dibawah kondisi yang ditetapkan dalam perencanaan (lihat tabel 7.4.2.1 dan tabel 7.4.2.2).

Besarnya kalor bersih yang dilepaskan harus didefinisikan sebagai perubahan total kalor yang terkandung dari udara yang masuk dan yang meninggalkan peralatan (tanpa *reheat*).

Total masukan energi harus ditentukan oleh kombinasi masukan energi untuk semua elemen dari paket peralatan yang dipasok, termasuk (tanpa batas) ; kompresor, *sump heater*

kompresor, pompa-pompa, fan pemasok udara, fan udara balik, fan udara untuk kondenser, fan menara pendingin, pompa sirkulasi air, dan sirkit kontrol peralatan sistem pengkondisian udara.

Tabel 7.4.1.2.: Peralatan sistem pengkondisian udara yang digerakkan dengan listrik¹
COP minimum – (pendinginan)

Kapasitas standar			
Kurang dari 19 kW		19 kW ke atas	
Pendinginan udara	Pendinginan dengan evaporasi atau air	Pendinginan udara	Pendinginan dengan evaporasi atau air
2,3	2,6	2,4	2,7

Catatan :

1. Pemakaian peralatan seperti ditunjukkan pada tabel diatas. Semua performansi di dasarkan atas ketinggian di atas permukaan air laut, COP seperti didefinisikan pada butir 7.4.1.2.

7.4.2 Komponen Sistem Pengkondisian Udara.

Komponen sistem pengkondisian udara menyediakan, satu atau lebih paket rakitan pabrik, sarana untuk menyejukkan air (*chilling water*) dengan kontrol temperatur, mengalirkan air dingin ke unit terminal untuk melayani ruangan yang dikondisikan dalam gedung. Chiller jenis sentrifugal, rotari atau torak, digerakkan dengan listrik atau absorpsi (digerakkan dengan kalor).

Jenis kedua dari komponen sistem pengkondisian udara adalah unit kondensing torak, yang isapannya menerima uap refrigeran dari koil pendingin dan Fan (AHU) paket atau kombinasi yang dirakit di lapangan, dan mengalirkan refrigeran cair ke AHU.

7.4.2.1. Komponen Pengkondisian Udara yang Digerakkan dengan Listrik - Pendinginan.

Komponen sistem pengkondisian udara seperti ditunjukkan pada tabel 7.4.2.2.(1) dan 7.4.2.2.(2) masukan energinya diperoleh dari listrik , harus memenuhi kondisi standar tertentu yang dispesifikasikan pada tabel 7.4.2.1.(1) untuk peralatan penghasil air sejuk (*water chiller*) dan tabel 7.4.2.1.(2). untuk unit kondensing, standar tambahan tertentu yang dispesifikasikan dalam standar pemakaian untuk komponen sistem pengkondisian udara khusus, menunjukkan koefisien performansi-pendinginan (COP) seperti didefinisikan dalam butir 7.4.1.2, nilainya tidak kurang seperti ditunjukkan dalam tabel 7.4.2.2.(1) dan 7.4.2.2.(2).

Tabel 7.4.2.1 (1) : Komponen sistem pengkondisian udara, digerakkan dengan listrik¹ untuk Chiller.Kondisi standar – pendinginan²

Kondisi		Paket Chiller centrifugal atau paket chiller torak	Paket Chiller torak tanpa kondenser ⁴
Temperatur air sejuk (chilled water) yang keluar	°C	6,7	6,7
Temperatur air sejuk (chilled water) yang masuk	°C	12,2	12,2
Temperatur air pendingin kondenser yang keluar	°C	35,0	
Temperatur air pendingin kondenser yang masuk	°C	29,4	
Faktor kekotoran air untuk kondenser (fouling factor). ³			
Tabung non ferrous.	m ² .K/W	0,00009	0,00009
Tabung baja.	m ² .K/W	0,00018	0,00018
Faktor kekotoran refrigeran (fouling factor refrigeran). ³			
Temperatur udara luar kondenser.			
dinginkan dengan udara	°C	35.0 DB	
dinginkan dengan evaporasi.	°C	23,9 WB	
Temperatur saturasi yang dilepaskan kompresor.			
dinginkan dengan air atau evaporasi.	°C		40,6
dinginkan dengan udara	°C		48,9
Temperatur cair dari refrigeran :			
dinginkan dengan air atau evaporasi.	°C		35,0
dinginkan dengan udara.	°C		43,3

Keterangan :

- 1). Data dalam tabel dipakai untuk komponen jenis Sistem pengkondisian udara sebagai berikut :
 - Paket Chiller centrifugal atau rotary sesuai ARI standar 550-77.
 - Paket Chiller torak sesuai ARI standar 590-76.
- 2). Standar juga didasarkan pada kondisi standar lain, seperti standar listrik, jumlah aliran udara kondenser, tahanan aliran luar minimum, dan lain-lain, seperti dijelaskan dalam standar pemakaian.
- 3). Untuk informasi faktor fouling, lihat standar sebagai berikut :
 - ARI standar 450-74 untuk kondenser dengan pendinginan air.
 - ARI standar 480-74 untuk kondenser dengan pendinginan air, jenis remote.
 - ARI standar 550-77 dan 590-76 juga berisi prosedur untuk mengatur standar faktor fouling.
- 4). Kondenser bukan didalam unit paket

Tabel 7.4.2.1.(2).: Komponen sistem pengkondisian udara, digerakkan dengan listrik¹ untuk unit kondensing

Kondisi standar – pendinginan

Group	Temperatur					
	Evaporator ²		Kondenser ³			
			Pendinginan udara ⁴	Pendinginan air		Pendinginan evaporasi
	Saturasi °C	Gas kembali °C	Udara masuk	Air		Udara masuk
		Bola kering °C	Masuk °C	Keluar °C	Bola basah °C	
1	7,2	18,3	35			
2	4,4	18,3		29,4	35	23,9

Keterangan :

- 1). Data dalam tabel ini dipakai untuk unit kondensing sistem pengkondisian udara. Lihat ARI standar 520-78 untuk Kompresor refrigerant langkah positif, Unit kompresor dan unit kondensing. Data dari tabel 3 ARI 520-78. Group 1 dan 2.
- 2). Bukan bagian unit kondensing;; kondisi dipelihara dengan perlengkapan kondenser yang terpisah.
- 3). Refrigeran cair sub dingin, dalam °C, harus dinyatakan oleh pabrik seperti diperoleh pada kondisi yang ditunjukkan pada garis cair refrigeran meninggalkan unit kondensing.
- 4). Dengan 35°C DB udara ambien sekeliling unit.

7.4.2.2. Koefisien Performansi dari Komponen (COP_K).

- a). Koefisien performansi komponen (COP_K) adalah perbandingan laju kalor bersih yang dilepaskan terhadap laju masukan energi total, dinyatakan dalam satuan yang konsisten dan dibawah kondisi standar tertentu yang direncanakan (lihat tabel 7.4.2.1.(1) dan 7.4.2.1.(2).
- b). Laju pelepasan kalor bersih dari komponen-komponen didefinisikan sebagai perbedaan total kandungan kalor dari air atau refrigeran yang masuk dan yang keluar dari komponen.
- c). Masukan energi total ke komponen-komponen harus ditentukan oleh kombinasi masukan energi ke semua elemen dan asesori dalam komponen, termasuk (tanpa batas) ke kompresor, pompa sirkulasi, fan kondenser pendinginan udara, pompa air menara pendingin, alat-alat pembilas, dan komponen kontrol sirkit dari sistem pengkondisian udara.
- d). Pada paket dengan pendinginan udara, energi untuk fan motor termasuk dalam penentuan COP_K dari paket.
- e). Pada pendinginan dengan air atau evaporasi, jika menara pendingin atau kondenser evaporasi masuk dalam paket, motor pompa sirkulasi juga harus diperhitungkan dalam menentukan COP_K.
- f). COP dari unit kondensing torak didasarkan pada masukan energi ke unit kondensing, dan perubahan enthalpy dari refrigeran yang masuk dan meninggalkan unit kondensing.

- g). Energi yang dikonsumsi oleh alat pelepas kalor (menara pendingin atau penukar kalor) tidak termasuk dalam perhitungan COP_K untuk unit kondensing, kecuali alat (seperti kondenser pendinginan udara) yang menyatu dalam paket dari pabrik pembuatnya.
- h). Pompa air dingin mensirkulasikan air dingin melalui sistem pemipaan luar ke paket, dan pompa menara pendingin dan fan mensirkulasikan air atau udara melalui kondenser dan menara air tidak termasuk perhitungan COP_K untuk komponen.

Tabel 7.4.2.2.(1) : Komponen sistem pengkondisian udara, digerakkan dengan listrik¹
COP minimum – pendinginan²

Jenis ³	Paket pendingin air			
	Lengkap		Tanpa kondenser	
	Udara	Air	Udara	Air
Sarana pendinginan kondenser				
C	2,3	4,0		
R	2,5	3,5	2,9	3,5

Keterangan :

- 1). Pemakaian peralatan seperti ditunjukkan pada tabel diatas, semua kinerjanya didasarkan atas ketinggian di atas permukaan laut.
- 2). Kinerja dari paket pendingin air tidak termasuk energi untuk mengalirkan air dingin dan pompa air kondenser atau fan menara pendingin.
C = jenis sentrifugal atau rotary (ARI standar 550-77).
R = jenis torak (ARI standar 590-76).

Tabel 7.4.2.2.(2) : Komponen sistem pengkondisian udara, digerakkan dengan listrik untuk unit kondensing 19 kW dan lebih¹ : COP minimum – pendinginan²

Langkah positip		
Sarana kondensing		
Udara	Evaporasi	Air
2,8	3,7	3,7

Keterangan :

- 1). Sesuai ARI-standar 520-78 untuk kompresor refrigerasi langkah positip, unit kompresor dan unit kondensing.
- 2). Didasarkan kapasitas standar pada ketinggian permukaan laut.

7.4.2.3. Peralatan/ Komponen Sistem Pengkondisian Udara yang Dioperasikan dengan Kalor.

- a). Koefisien performansi (COP) - pendinginan.
- 1). Koefisien performansi adalah perbandingan laju kalor bersih yang dilepaskan terhadap laju masukan energi total, termasuk masukan perlengkapan listrik, dinyatakan dalam unit yang konsisten dan dibawah kondisi tertentu yang direncanakan.

- 2). Laju kalor yang masuk ke peralatan/komponen didefinisikan sebagai perbedaan kandungan kalor total dari air atau udara yang masuk dan yang meninggalkan peralatan/komponen tersebut.
- 3). Pada peralatan/komponen sistem absorpsi (yang digerakkan dengan kalor), pompa yang masuk dalam paket untuk sirkulasi refrigeran dan cairan absorber dalam siklus refrigerasi, termasuk diperhitungkan dalam menentukan COP dari peralatan/ komponen.
- 4). Kalor yang diperlukan untuk mengoperasikan peralatan/komponen pendingin yang menunjukkan COP - pendinginan, nilai minimumnya seperti ditunjukkan pada tabel 7.4.2.3.(2) bila diuji pada kondisi standar tertentu seperti ditunjukkan pada tabel 7.4.2.3.(1).
- 5). Untuk kalor yang diperlukan mengoperasikan peralatan/komponen pendingin, masukan energi kalornya harus dibatasi untuk :
 - (a). energi matahari.
 - (b). energi yang diperoleh kembali dari proses lain,

Tabel 7.4.2.3.(1) : Peralatan/Komponen pendingin sistem pengkondisian udara, dioperasikan dengan kalor. Kondisi standar – pendinginan

Kondisi standar		Sumber panas	
		Pembakaran langsung. (Gas, minyak)	Pembakaran tak langsung. (Uap, air panas)
	Unit	Temperatur	Temperatur
Peralatan pengkondisian udara ¹ :			
Udara yang dikondisikan masuk.	⁰ C	26,7 DB; 19,4 WB	-
Udara masuk kondenser	⁰ C	35,0 DB; 23,9 WB	-
Peralatan penghasil air sejuk ² (Water chiller) :			
Air sejuk ke luar dari evaporator	⁰ C	7,2	6,7
Faktor kekotoran (Fouling factor) untuk evaporator.	m ² .K/W		0,00009
Air sejuk masuk ke eaporator.	⁰ C	Per spesifikasi pabrik	12,2
Air pendingin masuk ke kondenser	⁰ C	23,9	29,4
Faktor kekotoran (Fouling factor) untuk kondenser.	m ² .K/W		0,00018
Air pendingin ke luar dari kondenser.	⁰ C	35,0	
Laju aliran air pendingin di kondenser	L/W.min.		per spesifikasi pabrik

Keterangan :

- 1). Sesuai Standar ANSI Z21,40.1-1973 dan adendum untuk Absorpsi pembakaran gas dari peralatan air conditioning.
- 2). Sesuai standar ARI 560-75 untuk paket pendingin air absorpsi.

Tabel 7.4.2.3.(2).: Peralatan/komponen pendingin sistem pengkondisian udara, yang dioperasikan dengan kalor¹ COP² minimum – pendinginan.

Sumber panas	
Pembakaran langsung (Gas, minyak)	Pembakaran tak langsung (Uap, air panas)
0,48	0,68

Keterangan :

- 1). Sesuai untuk ketinggian diatas permukaan laut.
- 2).
$$\text{COP minimum} = \frac{\text{Keluaran bersih pendinginan}}{\text{Total masukan kalor (termasuk perlenkapan listriknya)}}$$

7.4.3. Sistem Fan.

Rancangan sistem fan harus memenuhi ketentuan :

- a). Untuk sistem fan dengan volume tetap, daya yang dibutuhkan motor pada sistem fan gabungan tidak melebihi 1,36 W/(m³/jam);
- b). Untuk sistem fan dengan volume aliran berubah, daya yang dibutuhkan motor untuk sistem fan gabungan tidak melebihi 2,12 W/(m³/jam);
- c). Setiap fan pada sistem volume aliran berubah atau VAV (*Variable Air Volume*) dengan motor 60 kW atau lebih harus memiliki kontrol dan peralatan yang diperlukan agar fan tidak membutuhkan daya lebih dari 50 % daya rancangan pada 50 % volume rancangan berdasarkan data uji;
- d). Ketentuan butir a, b, dan c di atas tidak berlaku untuk fan dengan daya lebih kecil dari 7,5 kw pada aliran rancangan.

7.4.4. Sistem Pompa.

Sistem pompa dan pemipaan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a). Sistem pemipaan harus dirancang agar laju kehilangan tekanan akibat gesekan tidak lebih dari 4 meter air/100 meter panjang ekuivalen pipa;
- b). Sistem pompa yang melayani katup kontrol yang dirancang untuk membuka dan menutup kontinu atau berlangkah harus dirancang untuk memompakan aliran fluida yang variabel;
- c). Aliran fluida harus dapat diubah dengan penggerak pompa berkecepatan variabel, pompa ganda bertahap, atau pompa yang bekerja pada kurva karakteristik performansi;

- d). Ketentuan pada butir b) dan c) di atas tidak harus dipenuhi, jika sistem pompa hanya melayani satu katup kontrol, dan atau jika aliran minimum yang diperlukan lebih dari 50% aliran rancangan;
- e). Ketentuan butir a), b), c) dan d) di atas tidak berlaku untuk sistem pompa dengan daya motor kurang dari 7,5 kW.

7.4.5. Sistem Distribusi Udara Terpisah.

Sistem distribusi udara terpisah harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a). Beberapa zona dalam gedung yang beroperasi tidak serentak selama lebih dari 750 jam/tahun, harus dilayani oleh sistem distribusi udara terpisah, atau sistem yang dilengkapi dengan kontrol jam kosong;
- b). Zona yang memerlukan kondisi khusus harus dilayani sistem distribusi udara yang terpisah dari sistem yang melayani zone hunian, atau sistem harus dilengkapi dengan perlengkapan kontrol tambahan agar sistem primer dapat dikontrol khusus untuk kenyamanan biasa;
- c). Bila sistem catu udara primer dimaksudkan bukan untuk kenyamanan, zona gedung yang digunakan untuk penghunian harus dilayani secara terpisah; tetapi sistem distribusi udara terpisah tidak diperlukan bila udara untuk zone penghunian tidak lebih dari 25 % udara catu sistem primer atau bila luas zona penghunian tidak melebihi 100m²;
- d). Gedung yang mempunyai beberapa zone dengan karakteristik berbeda seperti zona perimeter dan zona dalam, harus dipertimbangkan adanya sistem distribusi udara terpisah untuk masing-masing zona.

7.4.6. Sistem Kontrol.

Sistem kontrol harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a). Tiap sistem tata udara harus dilengkapi dengan paling sedikit satu alat kontrol temperatur;
- b). Pencatu energi pendinginan untuk tiap zona harus dilengkapi kontrol termostatik yang memberikan respons pada temperatur di zona itu;
- c). Termostat sebagai pengontrol temperatur harus dapat diset di tempat atau dari jauh, pada suatu temperatur dalam batas 23⁰C hingga 27⁰C;
- d). Sistem tata udara harus dilengkapi dengan alat kontrol otomatis yang dapat memberikan penurunan pemakaian energi dengan mematikan peralatan, selama ruang tidak dipakai, waktu kosong atau penggunaan bergantian dari ruang-ruang yang dilayani oleh suatu sistem;
- e). Ketentuan pada butir d di atas tidak berlaku jika :
 - 1). Sistem melayani ruangan-ruangan yang dirancang untuk beroperasi secara terus menerus ;

- 2). Peralatan tata udara hanya melayani beban kurang dari 2 kW, dalam hal ini dapat diterapkan sakelar *on-off* setempat yang manual.
- f). Sistem catu udara luar dan pembuangan udara harus dilengkapi dengan damper bermotor atau penutup otomatis lainnya yang berfungsi selama waktu ruang tidak dipakai atau waktu jam kosong;
- g). Ketentuan pada butir f) di atas tidak berlaku jika :
 - 1). Sistem melayani ruangan-ruangan yang beroperasi secara menerus;
 - 2). Sistem mempunyai aliran udara rancangan 1800 m³/jam atau lebih kecil;
 - 3). Sistem ventilasi mempunyai damper gravitasi sistem tanpa listrik lainnya dan dapat dengan mudah dikontrol secara manual;
 - 4). Diperlukan ventilasi khusus untuk kebutuhan proses, seperti pada masukan udara untuk proses pembakaran;
- h). Sistem yang melayani zone yang diharapkan beroperasi tidak serentak lebih dari 750 jam dalam 1 tahun harus mempunyai peralatan pemisah atau kontrol yang dapat menutup catu aliran pendinginan ke tiap daerah secara terpisah; pemisahan ini tidak diperlukan untuk zona yang beroperasi secara terus-menerus;
- i). Untuk bangunan dengan pola penghunian yang belum diketahui pada saat rancangan, pemisahan daerah dapat dirancang dari awal;
- j). Zona-zona dapat dikelompokkan ke dalam sebuah daerah pemisahan dengan syarat luas lantai yang dikondisikan tidak melebihi 250 m² per daerah, atau tidak lebih dari satu lantai.

7.4.7. Isolasi Pemipaan.

Isolasi pemipaan air dingin harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- a). Semua pemipaan air dingin pada sistem tata udara diberi isolasi termal sesuai yang tercantum dalam Tabel 7.4.7.
- b). Isolasi pipa harus diberi pelindung untuk mencegah kerusakan;
- c). Untuk bahan dengan resistansi termal lebih besar dari 32 m² K/W per meter, tebal (t) isolasi minimum dihitung memakai rumus berikut :

$$t \text{ (dalam mm)} = \frac{32 \times \text{tebal pada tabel 7.2.7}}{\text{nilai R aktual (m}^2 \cdot \text{K/W per meter)}} \dots\dots\dots (7.4.7.c).$$

- d). Untuk bahan dengan resistansi termal lebih kecil dari 28 m² K/W per meter, tebal isolasi dihitung dengan :

$$t \text{ (dalam mm)} = \frac{28 \times \text{tebal pada tabel 7.2.7}}{\text{nilai R aktual (m}^2 \cdot \text{K/W per meter)}} \dots\dots\dots (7.2.7.d).$$

dimana :

- t = tebal isolasi, dalam mm;
- R = resistansi termal dalam m² K/W.

Tabel 7.4.7.: Tebal Isolasi Minimum untuk pipa air dingin ¹.

Sistem pemipaan	Temperatur Fluida °C	Tebal Isolasi minimum untuk ukuran pipa			
		Hingga 50 mm	Kurang dari 25 mm	Antara 31 ~ 50 mm	Diatas 200 mm
Jenis	Jelajah ²				
Air dingin (Chilled water)	4,5 ~ 13°C	12 mm	12 mm	20 mm	25 mm
Refrigeran	dibawah 4,5°C	25 mm	25 mm	38 mm	38 mm

Keterangan :

- 1).
 - a). Bila pipa berada di lingkungan ambien perlu ditambah isolasi 12 mm.
 - b). Tebal isolasi perlu ditambah bila ada kemungkinan terjadi kondensasi permukaan.
 - c). Tebal isolasi ini berlaku untuk bahan dengan resistansi termal 28 hingga 31 m².K/W per meter tebal isolasi pada temperatur rata-rata permukaan 24°C.
- 2). Berlaku untuk tarikan sambungan pipa ke unit-unit atau coil pendingin hingga panjang 4 meter.

7.4.8. Isolasi Sistem Distribusi Udara.

Isolasi bagi sistem distribusi udara atau cerobong-cerobong udara harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a). Semua cerobong dan plenum yang terpasang sebagai bagian dari sistem distribusi udara harus diberi isolasi termal;
- b). Besarnya resistansi termal bahan isolasi ditentukan oleh rumus berikut :

$$R = \frac{T}{47,3} \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}. \dots\dots\dots (7.4.8).$$

dimana :

T = beda temperatur rancangan antara udara dalam cerobong dengan udara sekeliling dalam K.

Resistansi R dihitung tidak mencakup resistansi film luar maupun dalam.

Apendiks A

Klasifikasi Bangunan

Klasifikasi bangunan atau bagian dari bangunan ditentukan berdasarkan fungsi yang dimaksudkan di dalam perencanaan, pelaksanaan, atau perubahan yang diperlukan pada bangunan.

A.1. Kelas 1 : Bangunan Hunian Biasa.

satu atau lebih bangunan yang merupakan :

a). Klas 1a : bangunan hunian tunggal, berupa :

- 1). satu rumah tunggal ; atau
- 2). satu atau lebih bangunan hunian gandeng, yang masing-masing bangunannya dipisahkan dengan suatu dinding tahan api, termasuk rumah deret, rumah taman, unit town house, villa, atau

b). Klas 1b : rumah asrama/kost, rumah tamu, hostel,

atau sejenisnya dengan luas total lantai kurang dari 300 m² dan tidak ditinggali lebih dari 12 orang secara tetap,

dan tidak terletak di atas atau di bawah bangunan hunian lain atau bangunan klas lain selain tempat garasi pribadi.

A.2. Kelas 2 : Bangunan Hunian yang terdiri atas 2 atau lebih Unit Hunian,

yang masing-masing merupakan tempat tinggal terpisah.

A.3. Kelas 3 : Bangunan Hunian di Luar Bangunan Klas 1 atau 2,

yang umum digunakan sebagai tempat tinggal lama atau sementara oleh sejumlah orang yang tidak berhubungan, termasuk :

- a). rumah asrama, rumah tamu, losmen ; atau
- b). bagian untuk tempat tinggal dari suatu hotel atau motel; atau
- c). bagian untuk tempat tinggal dari suatu sekolah; atau
- d). panti untuk orang berumur, cacat, atau anak-anak; atau
- e). bagian untuk tempat tinggal dari suatu bangunan perawatan kesehatan yang menampung karyawan-karyawannya.

A.4. Klas 4 : Bangunan Hunian Campuran.

tempat tinggal yang berada di dalam suatu bangunan klas 5, 6, 7, 8, atau 9 dan merupakan tempat tinggal yang ada dalam bangunan tersebut.

A.5. Klas 5 : Bangunan Kantor.

bangunan gedung yang dipergunakan untuk tujuan-tujuan usaha profesional, pengurusan administrasi, atau usaha komersial, di luar bangunan klas 6, 7, 8 atau 9.

A.6. Klas 6 : Bangunan Perdagangan.

bangunan toko atau bangunan lain yang dipergunakan untuk tempat penjualan barang-barang secara eceran atau pelayanan kebutuhan langsung kepada masyarakat, termasuk :

- a). ruang makan, kafe, restoran ; atau
- b). ruang makan malam, bar, toko atau kios sebagai bagian dari suatu hotel atau motel ; atau
- c). tempat gunting rambut/salon, tempat cuci umum; atau
- d). pasar, ruang penjualan, ruang pameran, atau bengkel.

A.7. Klas 7 : Bangunan Penyimpanan/Gudang.

bangunan gedung yang dipergunakan penyimpanan, termasuk :

- a). tempat parkir umum; atau
- b). gudang, atau tempat pameran barang-barang produksi untuk dijual atau cuci gudang.

A.8. Klas 8 : Bangunan Laboratorium/Industri/Pabrik.

bangunan gedung laboratorium dan bangunan yang dipergunakan untuk tempat pemrosesan suatu produksi, perakitan, perubahan, perbaikan, pengepakan, finishing, atau pembersihan barang-barang produksi dalam rangka perdagangan atau penjualan.

A.9. Klas 9 : Bangunan Umum.

bangunan gedung yang dipergunakan untuk melayani kebutuhan masyarakat umum, yaitu :

- a). **Klas 9a** : bangunan perawatan kesehatan, termasuk bagian-bagian dari bangunan tersebut yang berupa laboratorium.
- b). **Klas 9b** : bangunan pertemuan, termasuk bengkel kerja, laboratorium atau sejenisnya di sekolah dasar atau sekolah lanjutan, hal, bangunan peribadatan, bangunan budaya atau sejenis, tetapi tidak termasuk setiap bagian dari bangunan yang merupakan klas lain.

A.10. Klas 10 : Bangunan atau Struktur yang Bukan Hunian.

- a). **Klas 10a** : bangunan bukan hunian yang merupakan garasi pribadi, *carport*, atau sejenisnya.
- b). **Klas 10b** : Struktur yang berupa pagar, tonggak, antena, dinding penyangga atau dinding yang berdiri bebas, kolam renang, atau sejenisnya.

A.11. Bangunan-bangunan yang Tidak Diklasifikasikan Khusus.

Bangunan atau bagian dari bangunan yang tidak termasuk dalam klasifikasi bangunan 1 sampai dengan 10 tersebut, dalam standar ini dimaksudkan dengan klasifikasi yang mendekati sesuai peruntukannya.

A.12. Bangunan yang Penggunaannya Insidental.

Bagian bangunan yang penggunaannya insidental dan sepanjang tidak mengakibatkan gangguan pada bagian bangunan lainnya, dianggap memiliki klasifikasi yang sama dengan dengan bangunan utamanya.

A.13. Klasifikasi Jamak.

Bangunan dengan klasifikasi jamak adalah bila beberapa bagian dari bangunan harus diklasifikasikan secara terpisah, dan :

- a). bila bagian bangunan yang memiliki fungsi berbeda tidak melebihi 10% dari luas lantai dari suatu tingkat bangunan, dan bukan laboratorium, klasifikasinya disamakan dengan klasifikasi utamanya ;
- b). klas 1a, 1b, 9a, 9b, 10a, dan 10b adalah klasifikasi yang terpisah;
- c). Ruang-ruang pengolah, ruang mesin, ruang mesin lif, ruang ketel uap, atau sejenisnya diklasifikasikan sama dengan bagian bangunan dimana ruang tersebut terletak.

Bibliografi

- 1 Carrier : HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN, 1965, McGraw- Hill Company.
- 2 Herb Wendes, PE ; TESTING AND BALANCING HVAC SYSTEMS MANUAL, 1981, Wendes Engineering and Contracting Services.
- 3 Norman C. Harris : MODERN AIR CONDITIONING PRACTICE; Third Edition 1983, McGraw-Hill International Editions.
- 4 Stein, Reynolds, Mc Guinness ; MECHANICAL AND ELECTRICAL EQUIPMENT FOR BUILDINGS; 7th Edition 1986, John Wiley & Sons.
- 5 Wiranto Arismunandar, Heizo Saito : PENYEGARAN UDARA; Edisi ke IV 1991, Pradnya Paramita.
- 6 1997 ASHRAE HANDBOOK : FUNDAMENTALS, ASHRAE, Inc.
- 7 Shan K.Wang : HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION, ; 1994 : McGraw-Hill, Inc.
- 8 Faye C. McQuiston, Jerald D.Parker : HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING, Analysis and Design ; 1994 ; John Wiley & Sons, Inc.
- 9 1995 ASHRAE HANDBOOK : APPLICATION, ASHRAE, Inc.