

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

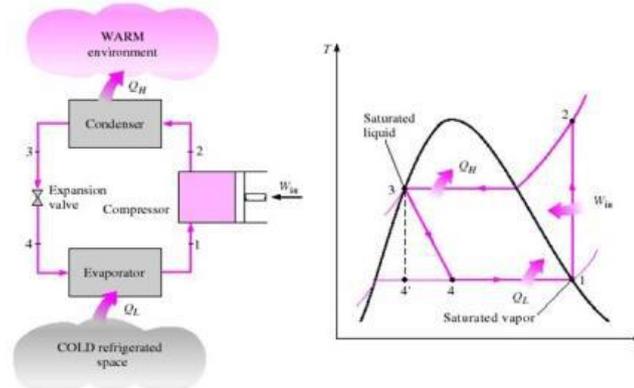
2.1 Pengertian Umum

Salah satu alat pengkondisian adalah *Air Conditioning* (AC). Alat ini dapat memberikan udara yang sejuk untuk tubuh. Dalam hal perkuliahan, AC merupakan salah satu faktor yang penting dalam meningkatkan kenyamanan saat belajar. Faktor yang mempengaruhi kenyamanan dalam suatu ruangan diantaranya adalah temperatur dan kelembaban dari udara dalam ruangan. Cuaca ekstrem di luar dapat mempengaruhi udara di dalam ruangan tersebut. Udara luar yang panas akan menjadi beban di didalam ruangan tersebut. Oleh karena itu, untuk mengeluarkan udara panas dari ruangan adalah AC. Udara sejuk dari AC dapat membuat suhu dari ruangan tersebut dapat turun. [4]

Untuk mendapatkan udara dalam ruangan sesuai yang diinginkan, maka kapasitas AC yang digunakan harus mempunyai kapasitas pendinginan yang sesuai dari beban pendinginan ruangan tersebut. Untuk itu diperlukan analisis perhitungan beban pendinginan agar dapat menentukan besar puncak beban pendinginan agar kerja dari AC tersebut efisien. Oleh karena itu, dengan mengetahui beban puncak pendinginan pada ruangan tersebut, maka dapat mengetahui kapasitas AC yang dapat digunakan pada ruangan tersebut pada saat kondisi puncaknya.

Menurut *ASHRAE*, Beban pendinginan terbagi menjadi dua yaitu beban pendinginan eksternal dan beban pendinginan internal. Beban pendinginan internal adalah beban pendinginan yang dipengaruhi oleh udara luar seperti beban transmisi dari kaca, atap dan dinding, beban radiasi, beban partisi, beban infiltrasi. Sedangkan beban eksternal adalah beban yang dipengaruhi oleh peralatan yang digunakan didalamnya seperti beban penghuni, beban penerangan, dan beban peralatan. Adapun pada beban beban infiltrasi dan penghuni terdapat beban sensibel dan beban laten. Beban sensibel terjadi karena dipengaruhi oleh perbedaan suhu sedangkan pada beban laten terjadi karena dipengaruhi oleh perbedaan kelembaban.[5]

2.2 Prinsip Kerja Pendingin Ruangan



Gambar 2. 1 Siklus Ideal Refrigerasi Kompresi Uap[6]

Dalam mendinginkan ruangan, diperlukan suatu fluida yang lebih dingin dari suhu di dalam ruangan yang diinginkan. Energi panas dari suatu ruangan dapat dipindahkan ke fluida yang dingin tersebut, dalam hal ini ruangan tersebut dapat mempertahankan suhu yang dingin. Sehingga terjadi perpindahan energi dimana panas akan keluar dari lingkungan melalui dinding ruang yang terisolasi[7]. Siklus daur kompresi uap ditunjukkan pada gambar 2.1. Berikut siklus dari ideal refrigerasi kompresi uap :

Proses 1-2.

Evaporator terdapat refrigerant didalamnya yang akan memanaskan *refrigerant* tersebut. Dimana *refrigerant* akan berubah dari fase cair ke gas, dimana gas tersebut akan mendapatkan perlakuan pemanas berlebih hingga menjadi *superheated gass*.

Proses 2-3.

Uap (*super heated gass*) kemudian menuju kompresor. Dimana diberikan tekanan yang tinggi sehingga suhu refrigerant akan meningkat.

Proses 3-4.

Gas yang bertekanan tinggi dari kompresor tadi akan menuju ke kondensor. Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Di dalam kondensor akan terjadi penurunan suhu lanjut hal ini akan mengakibatkan

perubahan fase dari gas ke cair, Sehingga refrigeran didinginkan ke tingkat yang lebih rendah.

Proses 4-1.

Cairan yang dari tekanan tinggi tadi akan melalui katup ekspansi menuju katup ekspansi. Dimana setelah melewati katup ekspansi tekanan akan turun hingga menuju evaporator.

Proses diatas dilakukan secara berulang-ulang hingga menjadi siklus yang disebut siklus pendinginan udara yang berfungsi mengambil kalor dari udara yang kemudian melepaskan kalor ini keluar ruangan.

2.3 Jenis-jenis Pendingin Ruangan

Berdasarkan jenisnya ada 3 jenis AC yang sering dipergunakan pada bangunan di kampus yaitu AC *Split*, AC *Window*, AC Sentral dan *Standing AC*. [4]

a. AC Split

Pada AC Split terdapat komponen penyusun diantaranya adalah evaporator, filter udara, motor blower, sensor suhu dan kondensor. Evaporator akan menyerap suhu panas dari udara ruangan. Udara tersebut akan disaring oleh filter udara, yang kemudian udara akan dialirkan ke kondensor menggunakan *motor blower*.

Kelebihan AC Split :

1. Cocok untuk ruangan yang membutuhkan ketenangan, seperti ruang tidur, ruang kerja atau perpustakaan.
2. Bisa dipasang pada ruangan yang tidak berhubungan dengan udara luar.
3. Suara didalam ruangan tidak berisik.

Kekurangan AC Split :

1. Membutuhkan teknisi dalam pemasangan atau pembongkaran.
2. Membutuhkan teknisi dalam pemeliharaan/perawatan.
3. Harganya relatif mahal.

b. AC Sentral

Pada AC Sentral memungkinkan mengeluarkan udara dingin secara menyeluruh kedalam ruangan. Komponen penyusun diantaranya adalah *chiller*, *AHU*, *Cooling Tower*, Pompa. Pada AC jenis ini udara dari ruangan didinginkan pada *cooling plant* diluar ruangan tersebut, kemudian udara yang telah dingin dialirkan kembali kedalam ruangan tersebut. Kelebihan AC Sentral : Biasanya cocok untuk dipasang di sebuah gedung bertingkat (berlantai banyak), seperti di hotel atau mall.

Kelebihan AC Sentral:

1. Suara didalam ruangan tidak berisik sama sekali.
2. Estetika ruangan terjaga, karena tidak ada unit indoor.

Kekurangan AC Sentral:

1. Memerlukan teknisi dalam perencanaan, pemasangan, operasi dan pemeliharaan.
2. Apabila terjadi kerusakan pada waktu beroperasi, maka dampaknya dirasakan pada seluruh ruangan.
3. Pengaturan suhu udara hanya dapat dilakukan pada sentral *cooling plant*.
4. Biaya investasi awal serta biaya operasi dan pemeliharaan tinggi

c. Standing AC

Jenis AC ini cocok dipergunakan untuk aktivitas situasional karena fungsinya yang mudah dipindahkan, seperti seminar, acara pengajian di dalam ruangan, dsb.

2.4 Teori Perpindahan Panas

Bila suatu sistem didalamnya terdapat perbedaan temperatur maka akan terjadi perpindahan energi. Proses perpindahan itu dinamakan perpindahan panas. Perpindahan panas selalu berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah dan akan berhenti apabila temperatur tersebut sama. Perpindahan panas dapat berpindah dalam konduksi, konveksi dan radiasi [8].

2.4.1 Perpindahan Panas Secara konduksi

Dasar dari perpindahan panas secara konduksi adalah hukum Fourier. Hukum ini menyatakan ide bahwa aliran panas (H) berbanding lurus dengan perbedaan suhu ($T_h - T_c$) dan luas penampang (A), dan berbanding terbalik dengan panjang batang.

Tabel 2. 1 Konduktivitas Termal pada Beberapa Material [6]

Material	$k, W/m \cdot ^\circ C^*$
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

2.4.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Proses konveksi adalah proses perpindahan panas dimana media/benda yang mengantarkan panas ikut berpindah. Proses perpindahan panas ini terjadi

dari benda padat ke fluida (baik cair maupun gas). Ada dua jenis perpindahan panas konveksi yaitu Konveksi Paksa dan konveksi alami (bebas).

Disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir melalui permukaan oleh usaha luar, misalnya kipas, pompa atau angin. Sedangkan sebaliknya, disebut konveksi alami jika gerakan fluida disebabkan oleh gaya bouyan yang terjadi karena perbedaan massa jenis akibat dari perbedaan temperatur fluida.[6]

Nilai koefisien konveksi bukan merupakan *property* dari fluida. Koefisien tersebut merupakan hasil dari percobaan – percobaan berdasarkan beberapa parameter yang nilainya bergantung pada *variable* yang mempengaruhi konveksi, misalnya area permukaan, gerakan alami fluida, *property* fluida, kecepatan alir fluida. Tabel berikut merupakan nilai tipikal dari koefisien konveksi.

Tabel 2. 2 Koefisien Konveksi Pada Beberapa Material[6]

Type of convection	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

*Multiply by 0.176 to convert to Btu/h - ft² - °F.

2.4.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan panas yang dihasilkan oleh suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnet (atau Photon) yang merupakan hasil dari perubahan konfigurasi elektromagnet dari molekul atau atom.[6] Perpindahan panas ini tidak diperlukan media perantara untuk memindahkan panas. Dalam sistem tata udara, perhitungan radiasi digunakan untuk untuk

menghitung Internal Gain Load, karena adanya perbedaan temperatur antara benda/penghuni dan ruang yang dikondisikan.

Tabel 2. 3 Emisitas Pada Beberapa Material[6]

Material	Emissivity
Aluminum foil	0.07
Anodized aluminum	0.82
Polished copper	0.03
Polished gold	0.03
Polished silver	0.02
Polished stainless steel	0.17
Black paint	0.98
White paint	0.90
White paper	0.92–0.97
Asphalt pavement	0.85–0.93
Red brick	0.93–0.96
Human skin	0.95
Wood	0.82–0.92
Soil	0.93–0.96
Water	0.96
Vegetation	0.92–0.96

2.5 Kenyamanan Termal

HVAC merupakan suatu sistem dimana tujuan utamanya untuk memberi suasana yang nyaman bagi penghuni dengan mengkondisikan temperatur, kelembaban dan udara yang bersih[9]. Menurut *ASHRAE (ASHRAE Fundamentals 1997)*, kenyamanan yaitu[10]:

a. Temperatur udara kering

Temperatur udara kering sangat berpengaruh terhadap kenyamanan tubuh manusia. Tubuh manusia selalu mengalami penguapan apabila temperatur dalam suatu ruangan terlalu tinggi. Besarnya temperatur udara yang direkomendasikan untuk kondisi nyaman adalah:

1. $21^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$ untuk musim dingin.
2. $24^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ untuk musim panas

b. Kelembaban relatif udara

Kelembaban relatif udara dalam ruangan adalah jumlah kandungan uap air oleh udara terhadap kandungan uap air pada temperatur udara ruangan

tersebut. Besarnya kelembaban relatif udara yang direkomendasikan dalam kondisi nyaman adalah 40-50%. Tetapi untuk kondisi ruangan yang jumlah penghuninya banyak didalamnya adalah 35-60%.

c. Kecepatan udara

Kecepatan udara yang direkomendasikan untuk kondisi yang nyaman apabila kecepatan udara tersebut diantara 0,15 m/s sampai 0,25 m/s. Kecepatan udara dapat lebih kecil 0,15 m/s atau lebih besar 0,25 m/s tergantung dari temperatur udara kering rancangan, Berikut tabel kecepatan udara dalam kondisi yang optimal berdasarkan udara kering ruangan.

Tabel 2. 4 Kecepatan udara dan temperatur nyaman[11]

Kecepatan udara (<i>m/s</i>)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Temperatur udara kering ($^{\circ}C$)	25	26,8	26,9	27,1	27,2

d. Radiasi Permukaan Dinding Terhadap Ruangan

Temperatur permukaan dinding sangat berpengaruh terhadap kenyamanan penghuni didalam ruangan tersebut, Apabila suhu permukaan dinding didalam ruangan panas maka suhu temperatur rancangan akan naik. Sehingga dalam hal ini apabila radiasi rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur udara kering ruangan, maka temperatur ruangan rancangan dibuat lebih rendah.

Selain keempat faktor di atas, ada 2 faktor yang berasal dari manusia yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal. Ketiga faktor tersebut adalah:

1. Aktivitas

Secara umum besarnya kalor akan dipengaruhi oleh aktivitas penghuni didalamnya. Berikut tabel perolehan kalor yang dihasilkan manusia berdasarkan aktivitasnya:

Tabel 2. 5 Perolehan Kalor dari Aktivitas Manusia[11]

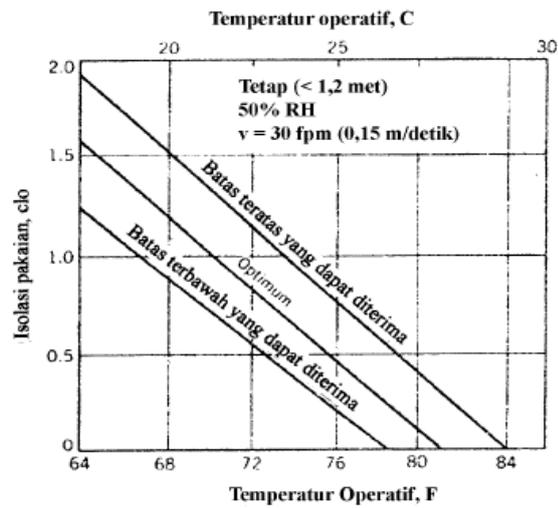
	Btu/(jam-ft ²)	met
Istirahat		
Tidur	13	0,7
Santai	15	0,8
duduk, tenang	18	1,0
berdiri, rileks.	22	1,2
Berjalan pada jalan datar :		
0,89 m/detik.	37	2,0
1,34 m/detik.	48	2,6
1,79 m/detik.	70	3,8
Aktivitas kantor :		
Membaca, duduk.	18	1,0
Menulis	18	1,0
Mengetik	20	1,1
Mengarsip, duduk.	22	1,2
Mengarsip, 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

2. Pakaian manusia

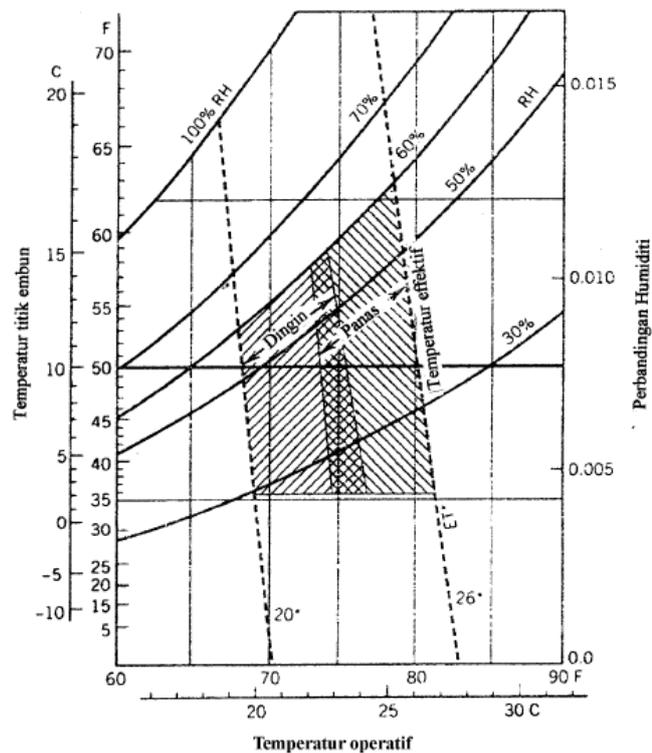
Jenis dan ketebalan pakaian yang digunakan oleh manusia akan mempengaruhi besarnya temperatur udara kering dalam ruangan rancangan yang akan digunakan. Berikut tabel isolasi termal dari beberapa jenis baju:

Tabel 2. 6 Isolasi Termal dari beberapa jenis baju[11]

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



Gambar 2. 2 Grafik pengaruh clo pakaian yang dipakai terhadap temeperatur operatif

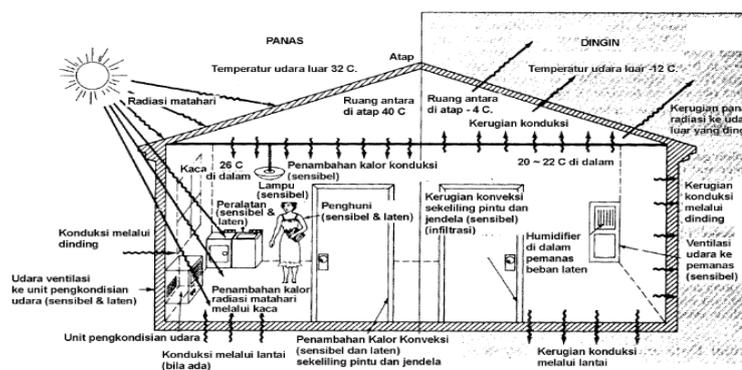


Gambar 2. 3 Zona yang dapat diterima sebagai temperature operatif dan kelembaban relatif pada aktifitas manusia yang kurang dari 1.2met[11]

2.6 Beban Pendinginan

Beban Pendinginan adalah sejumlah panas yang wajib dikeluarkan oleh ruangan tersebut untuk mencapai kondisi ruangan yang sesuai dengan perencanaan. Dalam hal kenyamanan termal, beban pendinginan dimaksudkan untuk mendapatkan besarnya kapasitas alat pengkondisian udara yang akan dipasang. Adapun beberapa istilah yang digunakan dalam beban pendinginan antara lain[12]:

- Cooling load* merupakan kalor yang harus dikeluarkan atau dipindahkan dari udara ruangan sehingga sesuai dengan kondisi ruangan yang dirancang. *Cooling load* berbeda dengan beban panas sesaat, karena terdapat kalor yang diserap oleh permukaan material yang diantaranya yaitu dinding, atap, kaca dan konstruksi yang terdapat di dalam ruangan tersebut. Sehingga pada beberapa saat kalor yang tersimpan pada permukaan material tersebut akan berpindah ke temperatur ruangan dalam hal ini diakibatkan oleh perbedaan temperatur.
- Heat extraction* merupakan kalor yang dihasilkan oleh peralatan dalam ruangan rancangan. Apabila kondisi peralatan dalam ruangan dipertahankan konstan maka beban tersebut akan sama setiap waktunya. Maka dalam hal ini *heat extraction* dapat dikatakan sebagai beban pendinginan.
- Beban perlengkapan merupakan kapasitas pendingin yang dibutuhkan untuk ruangan untuk mencapai temperatur yang direncanakan.



Gambar 2. 4 Beban Pendinginan Ruangan

2.7 Perhitungan Beban Pendinginan

Di dalam ruangan Gedung E ITERA beban pendinginan ada 2 macam, yaitu : Beban eksternal dan beban internal. Beban eksternal merupakan beban yang dipengaruhi oleh temperatur udara luar terhadap permukaan ruangan sedangkan beban internal adalah beban yang dipengaruhi perbedaan temperatur udara didalam ruangan terhadap kalor yang dihasilkan oleh peralatan atau penghuni didalamnya. Beban eksternal antara lain: Beban transmisi melalui dinding luar, atap dan kaca, Beban radiasi matahari melalui kaca, Beban partisi dan Beban Infiltrasi. Sedangkan Beban internal antara lain: Beban penerangan, Beban penghuni, dan Beban peralatan.[13]

2.7.1 Beban Transmisi

Beban transmisi adalah beban yang terjadi akibat perpindahan panas secara konduksi yang masuk dari luar ruangan ke dalam ruangan melalui permukaan dinding, atap dan kaca. Beban transmisi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = U \times A \times CLTDc \quad (2.1)$$

Dimana:

Q = Beban Transmisi melalui permukaan dinding, atap dan kaca (Btu/h)

U = Coefficient of transmission (Btu/ h. ft².°F)

A = Luas permukaan dinding, atap, dan kaca (ft²)

CLTDc = The Cooling Load Temperature Difference (°F)

Jika kondisi perancangan berbeda, nilai CLTDc dinding dihitung menggunakan koreksi pada persamaan berikut ini:

$$CLTDc = \{(CLTD + LM) \times K + (78 - tR) + (to - 85)\} \quad (2.2)$$

Untuk CLTDc pada atap dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$CLTDc = \{(CLTD + LM) \times K + (78 - tR) + (to - 85)\} \times f \quad (2.3)$$

Untuk CLTD_c pada kaca dihitung menggunakan persamaan:

$$CLTD_c = CLTD + (78 - tR) + (t_o - 85) \quad (2.4)$$

Dimana:

CLTD = Cooling Load Temperature Difference (°F)

Nilai CLTD diperoleh dari ASHRAE-HANDBOOK1997 Fundamental

CLTD Atap dapat menggunakan data dari tabel 3.8

CLTD Dinding dapat menggunakan data dari tabel 3.10

CLTD Kaca dapat menggunakan data dari tabel 3.23

LM = Faktor koreksi (Latitude Month)

Nilai LM diperoleh dari Tabel 3.12 ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental

K = faktor suaian dari warna dinding

K = 1 untuk warna gelap

K = 0,83 untuk warna atap cerah

K = 0,65 untuk warna dinding cerah

tR = Temperatur udara ruang yang direncanakan/diinginkan , (°F)

f = faktor koreksi untuk *ceiling*

f = 0,75 untuk *attic fan*

f = 1 untuk yang lainnya

t_o = Suhu udara luar yang dihitung berdasarkan persamaan :

$t_o = \{Temperatur\ udara\ luar - (Daily\ range/2)\}(\text{°F})$

$daily\ range = T_{max} - T_{min}$

2.7.2 Beban Radiasi Matahari Melalui Kaca

Beban radiasi merupakan beban yang dihasilkan karena penjararan energi matahari melalui komponen/konstruksi bangunan yang tembus pandang atau penyerapan oleh komponen/konstruksi bangunan yang tidak tembus cahaya (*opaque building*). Beban radiasi matahari yang melalui kaca dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \quad (2.5)$$

Dimana:

Q = Beban radiasi matahari melalui kaca (Btu/h)

$SHGF$ = *Solar Factor Heat Gain* (Btu/ ft²)

Nilai $SHGF$ diperoleh dari Tabel 3.25 ASHRAE-HANDBOOK-1997
Fundamental

A = Luas permukaan Kaca (ft²)

SC = *Shading Coefficient*

Nilai SC diperoleh dari Tabel 3.18 ASHRAE-HANDBOOK-1997
Fundamental

CLF = *Cooling Load Factor*

Nilai CLF diperoleh dari Tabel 3.27 dan Tabel 3.28 ASHRAE-
HANDBOOK1997 Fundamental

2.7.3 Beban Partisi

Beban partisi adalah beban kalor yang dihasilkan dari dinding yang bersebelahan dengan ruangan yang tidak dikondisikan. Apabila ruangan yang dikondisikan dengan ruangan yang tidak dikondisikan tidak terdapat perbedaan temperatur maka beban partisinya adalah nol. Beban partisi berasal dari dinding, *ceiling*, pintu, atau lantai. Beban partisi dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$Q = U \times A \times TD \quad (2.6)$$

Dimana:

Q = Beban Partisi melalui dinding, *ceiling*, pintu atau lantai (Btu/h)

U = *Overall heat transfer coefficient for partition wall, ceiling, door or floor*(Btu/h.ft².°F)

A = Luas area partisi (ft²)

TD = Perbedaan temperatur (°F)

2.7.4 Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi diperoleh akibat udara luar yang masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan melalui sela-sela jendela atau pintu. Masuknya udara luar ini akan mempengaruhi temperatur dan kelembaban udara ruangan rancangan. Dan akan berpengaruh terhadap beban sensibel dan beban laten dalam ruangan tersebut. Beban infiltrasi diperoleh dari penjumlahan beban sensibel dan laten yang diakibatkan oleh infiltrasi. Beban infiltrasi dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

Untuk beban sensibel infiltrasi:

$$Q_s = 1,1 \times CFM \times TC \quad (2.7)$$

Untuk beban laten infiltrasi:

$$Q_L = 0,68 \times CFM \times (W_o - W_i) \quad (2.8)$$

Dimana:

CFM = Air ventilation rate, ft³/min

TC = Selisih temperatur antara udara luar dan dalam, °F

(W_o-W_i) = *outdoor and inside humidity ratio* (gr.w/lb d.a)

2.7.5 Beban Penerangan

Beban penerangan diperoleh dari kalor yang dihasilkan oleh penerangan yang terdapat di ruangan tersebut. Besarnya kalor yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis dan daya dari penerangan. Dimana energi radiasi dari lampu awalnya akan diserap oleh lantai dan peralatan-peralatan di dalam ruangan yang nantinya suhunya akan naik yang akan mempengaruhi suhu ruangan rancangan karena kalor dikonveksikan. Beban penerangan dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$Q = 3,41 \times W \times BF \times CLF \quad (2.9)$$

Dimana :

Q = Beban Penerangan (Btu/h)

BF = *Ballast factor*

$BF = 1,2$ for fluorescent , $BF = 1,0$ for incandescent

$CLF =$ Cooling Load Factor for lighting

$CLF = 1$ (Dengan 24 jam operasi kerja)

2.7.6 Beban Penghuni

Beban penghuni adalah kalor yang dikeluarkan dari manusia sesuai dengan kegiatannya. Kalor yang keluar dari manusia tersebut akan mempengaruhi temperatur dan kelembaban dari ruangan rancangan. Dimana akan berpengaruh terhadap beban sensibel dan laten dari manusia tersebut. Beban penghuni diperoleh dari jumlah dari beban sensibel dan laten yang diakibatkan oleh penghuni.

$$Q_s = q_s \times n \times CLF \quad (2.10)$$

Untuk beban laten manusia:

$$Q_L = q_L \times n \quad (2.11)$$

Dimana:

$Q_s, Q_L =$ Panas sensibel dan laten dari penghuni (Btu/h)

$q_s, q_l =$ Panas sensibel dan laten per orang (Btu/h)

$n =$ Banyaknya penghuni

$CLF =$ Cooling Load Factor For People

$CLF = 1$ (Dengan 24 jam operasi kerja)

2.7.7 Beban Peralatan

Beban peralatan adalah beban yang diperoleh dari panas yang keluar dari peralatan yang ada di dalam ruangan. Jenis dan daya yang digunakan pada peralatan akan mempengaruhi besarnya beban pendinginan. Adapun beban peralatan yang digunakan di dalam ruangan kelas gedung E diantaranya adalah Laptop, Infocus dan *Handphone*. Beban kalor ini dapat dilihat pada tabel yang terlampir pada lampiran A. [14]

2.7.8 Beban Pendinginan Total

Total beban pendinginan ruangan dapat diperoleh dari penjumlahan beban pendinginan sensibel (*Room Sensibel Heat Gain/ RTHG*) dan beban pendinginan laten (*Room latent Heat Gain/ RLHG*).

- Total beban sensibel ruangan:

$$RSHG = Q_{transmisi} + Q_{radiasi} + Q_{infiltrasi} + Q_{penghuni} + Q_{peralatan} + Q_{duct} \quad (2.12)$$

- Total beban laten ruangan:

$$RLHG = Q_{infiltrasi} + Q_{penghuni} \quad (2.13)$$

- Total beban pendinginan ruangan:

$$RTHG = RSHG + RLHG \quad (2.14)$$

- Total beban sensibel udara luar:

$$OASH = Q_{ventilasi} + Q_{return duct} \quad (2.15)$$

- Total beban laten udara luar:

$$OALH = Q_{ventilasi} \quad (2.16)$$

- Total beban pendinginan udara luar:

$$OATH = OASH + OALH \quad (2.17)$$

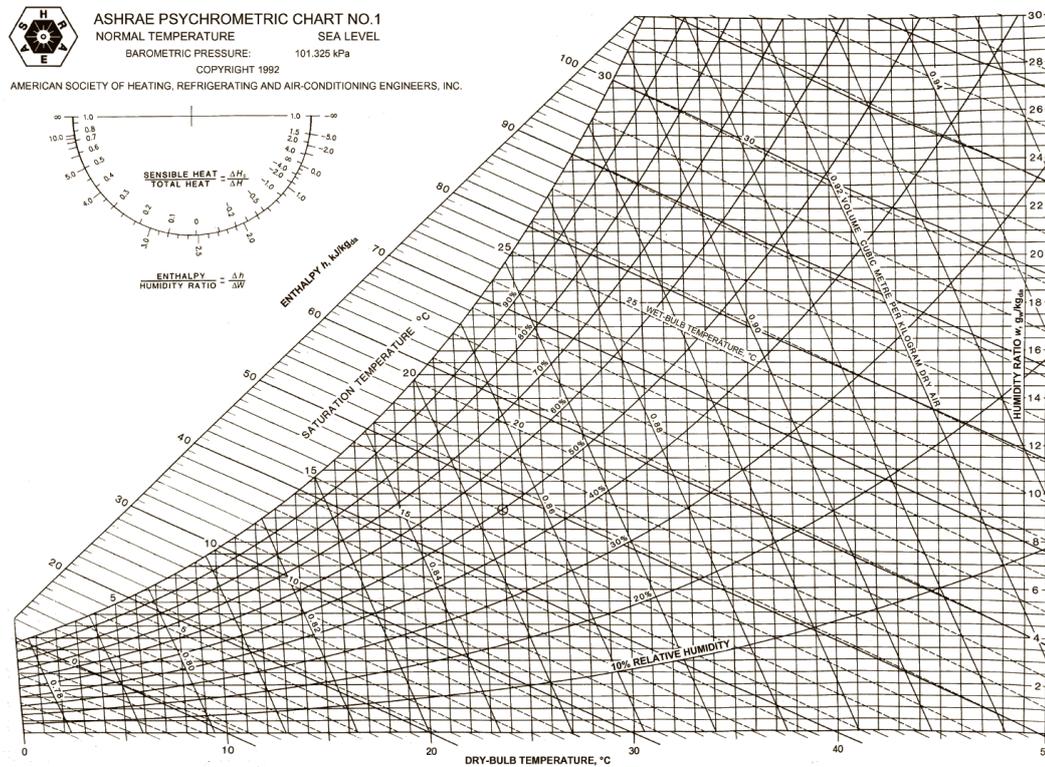
- Total beban pendinginan:

$$RTHG = (RSHG + OASH) + (RLHG + OALH) \quad (2.18)$$

2.8 Diagram Psikrometrik

Udara di atmosfer yang berada disekeliling kita merupakan campuran antara udara kering dan uap air yang dinamakan udara *moist*. Fungsi dari mempelajari *psychometric chart* ini adalah untuk dapat mengatur temperatur, kelembaban udara

ataupun jumlah udara dalam ruangan suatu ruangan sehingga keadaan di dalam ruangan tersebut seperti apa yang diinginkan.[13]



Gambar 2. 5 Psychrometric Chart

Dari gambar di atas kita dapat mengetahui sifat termodinamika dalam udara yang ada di atmosfer. Berikut sifat-sifat fisik dari udara di atmosfer:[11]

- Dry bulb temperature* (db) merupakan temperatur yang terbaca pada alat ukur pada saat melakukan pengukuran.
- Wet bulb temperature* (wb) merupakan temperatur yang terbaca pada alat ukur dengan dilapisi oleh sumbu basah.
- Dew point temperature* (dp) adalah temperatur uap air yang terdapat di dalam udara yang mulai terkondensasi apabila udara dikondensasikan pada temperatur konstan
- Humidity ratio* (w) adalah kandungan uap air pada udara kering dalam satuan lb/lb udara kering atau grain/lb udara kering.

- e. *Relative humidity* (RH) adalah perbandingan antara fraksi molekul uap air yang terdapat pada udara basah dibandingkan dengan fraksi molekul uap air jenuh, dalam satuan %
- f. *Specific Volume* (v) adalah volume udara terhadap unit berat udara kering, dalam satuan m^3/kg udara kering.
- g. Specific enthalpy (h) adalah kandungan kalor di udara terhadap unit berat udara kering, dalam satuan J/Kg udara kering.
- h. kandungan panas dari udara per unit berat udara kering dalam satuan J/Kg

2.9 Penelitian terdahulu

Penelitian yang sudah terlebih dahulu dilakukan merupakan acuan penulis dalam melakukan penelitian ini, sehingga penulis dapat mengetahui teori-teori yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Adapun penelitian terdahulu berupa jurnal dan skripsi terkait penelitian yang dilakukan penulis.

Ananda (2020) dalam jurnalnya berjudul “*Analisis Perhitungan Beban Pendinginan Ruang Dhammasala Vihara Padumuttara menggunakan Metode CLTD*” melakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan termal dalam ruang Dhammasala dengan sistem HVAC efisien. Beban pendinginan ruangan dianalisis menggunakan suhu beban pendinginan metode CLTD. Hasilnya dibandingkan dengan hasil dari beban pendinginan lainnya dengan software perhitungan. Sistem HVAC yang direkomendasikan untuk ruang Dhammasala di Candi Padumuttara adalah chiller berkapasitas 30-40 TR.[2]

Kurniawati (2013) dalam jurnalnya berjudul “*Analisa Perhitungan Beban Pendingin Di Tower Universitas Mercu Buana Lantai 5 Dan Lantai 6*” melakukan penelitian yang bertujuan untuk menghitung beban pendingin agar kebutuhan sistem udara dapat menghasilkan suhu udara yang sesuai dengan kapasitas ruangan tersebut, karena kebutuhan akan pendingin dalam suatu ruangan sangat dibutuhkan untuk menimbulkan rasa nyaman ketika sedang berada didalam ruangan tersebut.

Dari hasil perhitungan, maka diperoleh beban kalor yang ditanggung pada ruang lantai 5 adalah sebesar 1530,813 kW (pada kondisi maksimum) dengan luas lantai sebesar 1125 m², tetapi kapasitas mesin pendingin yang tersedia masih kurang karena kapasitas mesin pendingin hanya 4 unit AC sebesar 8 PK (21,10 kW), sedangkan pada pada lantai 6 pun kapasitas mesin pendingin masih kurang, karena beban yang ditanggung pada ruang lantai 6 adalah sebesar 1535,587 kW (pada kondisi maksimum) dengan luas lantai sebesar 1125 m² dan kapasitas mesin pendingin hanya 4 unit AC sebesar 8 PK (21,10 kW). Setelah melihat hasil perhitungan dan analisa tersebut maka disarankan untuk penambahan unit mesin pendingin agar ketika pada kondisi maksimum, pengunjung merasa nyaman ketika berada diruangan tersebut, tetapi jika pada kondisi minimum atau normal, dapat menggunakan mesin pendingin, peralatan, maupun penerangan dengan sebaik-baiknya.[15]

Syamsuar (2012) dalam jurnalnya yang berjudul “*Analisis Beban Pendinginan Sistem Tata Udara (STU) Ruang Auditorium Lantai Iii Gedung Utama Politeknik Negeri Lhokseumawe*” melakukan penelitian yang bertujuan untuk perhitungan kembali beban pendinginan pada ruang auditorium politeknik negeri Lhokseumawe yang pada akhirnya diharapkan untuk mendapatkan optimasi penggunaan energi pada sistem tata udara (STU). Penelitian ini dilakukan pada ruang auditorium Politeknik Negeri Lhokseumawe yang terletak pada lantai 3 (tiga) gedung utama. Perhitungan beban pendinginan menggunakan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) berdasarkan ASHRAE Handbook Fundamental 1993. Hasil akhir dari penelitian ini diperoleh beban pendinginan maksimum pada kondisi puncak sebesar 116937 Btu/hr (9,74 ton refrigeran), sedangkan kapasitas pendinginan terpasang adalah 61080 Btu/hr (5,09 ton refrigeran), terjadi kekurangan beban pendinginan sebesar 55857 Btu/hr (4,65 ton refrigeran). Jika beban terpasang sesuai dengan hasil perhitungan ulang, maka celah penghematan masih bisa diperoleh sebesar 14% dengan mengurangi faktor pencahayaan dari lampu; mengubah set point temperatur didalam ruangan; memperkecil SC (*Shading of Coefficien*); dan mengurangi infiltrasi udara luar.[16]