

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Umum

Air Conditioning (AC) atau alat pengkondisi udara merupakan modifikasi pengembangan dari teknologi mesin pendingin. Alat ini dipakai bertujuan untuk memberikan udara yang sejuk dan menyediakan uap air yang dibutuhkan bagi tubuh dengan memanfaatkan refrigeran sebagai media pendinginnya. Penggunaan AC ini sering ditemui di daerah tropis yang terkenal dengan musim panas. Suhu udara pada saat musim panas yang sedemikian tinggi dapat mengakibatkan dehidrasi cairan tubuh. Selain itu, AC dimanfaatkan sebagai pemberi kenyamanan. Di lingkungan tempat kerja, AC juga dimanfaatkan sebagai salah satu cara dalam upaya meningkatkan produktivitas kerja. Karena dalam beberapa hal manusia membutuhkan lingkungan udara yang nyaman untuk dapat bekerja secara optimal. Tingkat kenyamanan suatu ruang juga ditentukan oleh temperatur, kelembaban, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara.

Untuk dapat menghasilkan udara dengan kondisi yang diinginkan, maka peralatan yang dipasang harus mempunyai kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dimiliki ruangan tersebut. Untuk itu diperlukan survei dan menentukan besarnya beban pendinginan.

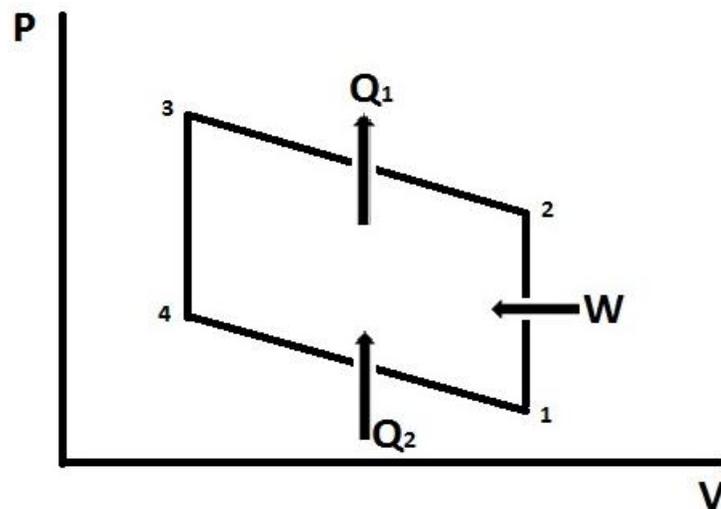
Secara garis besar beban pendinginan terbagi atas dua kelompok, yaitu beban pendinginan sensibel dan beban pendinginan laten. Beban pendinginan sensibel adalah beban panas yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu, seperti beban panas yang lewat konstruksi bangunan, peralatan elektronik, lampu, dll. Sedangkan beban pendinginan

laten adalah beban yang dipengaruhi oleh adanya perbedaan kelembaban udara, seperti manusia dan udara yang masuk ke dalam ruangan.¹

2.2 Termodinamika Sistem Refrigerasi

2.2.1. Siklus Refrigerasi Carnot

Siklus refrigerasi *carnot* merupakan kebalikan dari mesin *carnot*. Mesin *carnot* menerima energi kalor dari temperatur tinggi, energi kemudian diubah menjadi suatu kerja dan sisa energi tersebut dibuang ke sumber panas pada temperatur rendah. Sedangkan siklus refrigerasi *carnot* menerima energi pada temperatur rendah dan mengeluarkan energi pada temperatur tinggi. Oleh sebab itu pada siklus pendingin diperlukan penambahan kerja dari luar. Daur refrigerasi *carnot* di tunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Daur Refrigerasi *Carnot*²

Proses proses yang membentuk daur refrigerasi *carnot* :

Proses kompresi adiabatik (1-2)

¹ Laras Bachtiar, Perencanaan dan Pemasangan Air Conditioning, Semarang, Cetakan ke 1, 2015, hal 6

² Ibid, halaman 13

Proses pelepasan kalor (2-3)

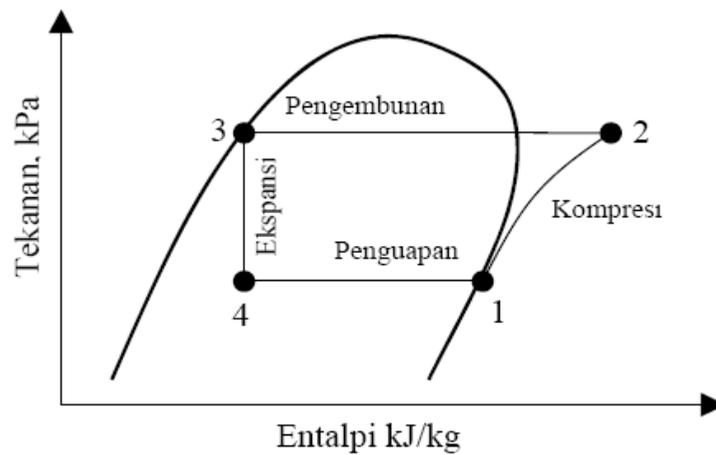
Proses ekspansi adiabatik (3-4)

Proses penyerapan kalor (4-1)

Siklus ini dijalankan oleh refrigeran yang bersirkulasi dengan stabil melalui serangkaian komponen. Semua proses berlangsung secara reversibel.

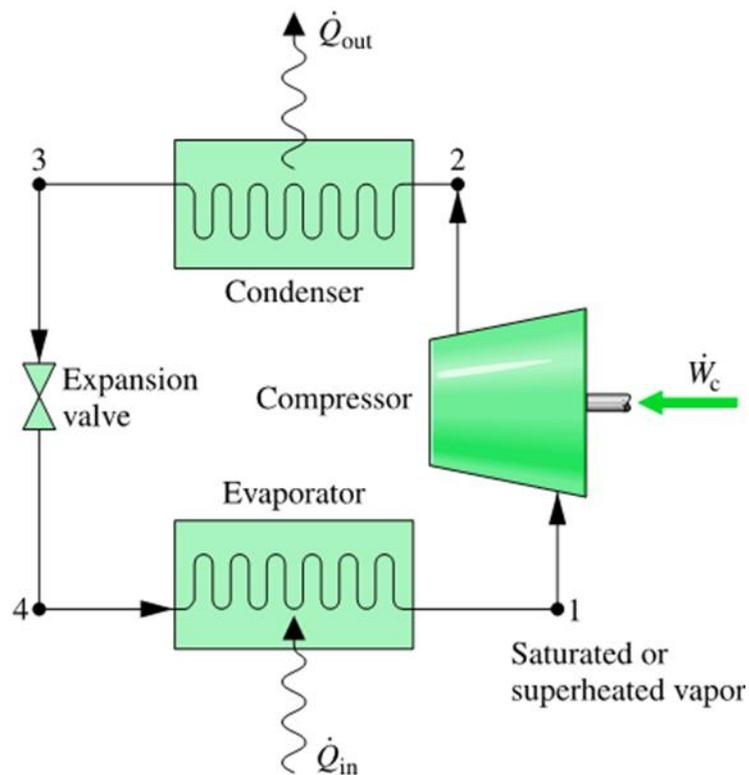
2.2.2. Siklus Kompresi Uap

Siklus kompresi uap merupakan siklus teoritis, dimana pada siklus tersebut menghasilkan beberapa proses sebagai berikut.



Gambar 2.2 Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap³

³ Laras Bachtiar, Perencanaan dan Pemasangan Air Conditioning, Semarang, Cetakan ke 1, 2015, hal 14



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan ⁴

1) Proses Kompresi

Proses kompresi berlangsung dari titik 1 ke titik 2. Refrigeran berfase gas dikompresikan sehingga suhu dan tekanannya naik dengan asumsi tidak ada transfer panas ke atau dari kompresor. Proses kompresi memerlukan kerja dari luar dan entalpi uap naik dari h_1 ke h_2 , besarnya kenaikan ini sama dengan besarnya kerja kompresi yang dilakukan pada uap refrigeran.⁵

$$W = h_2 - h_1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

2) Proses Kondensasi

Proses 2-3 merupakan proses kondensasi yang terjadi pada kondensor, kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor dibuang ke

⁴ Michael, Howard, Fundamentals of Engineering Thermodynamic, Jakarta, Cetakan ke 5, 2006, hal 457

⁵ Ibid, halaman 458

lingkungan luar, akibat dari pelepasan kalor sehingga refrigeran mengembun dan menjadi cair.⁶

$$q_{out} = h_2 - h_3 \quad \dots\dots\dots(2)$$

3) Proses Ekspansi

Proses ekspansi berlangsung dari titik 3 ke titik 4. Pada proses ini terjadi proses penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi (titik 3) menjadi tekanan evaporasi (titik 4). Pada saat cairan di ekspansi melalui katup ekspansi atau pipa kapiler ke evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur kondensasi ke temperatur evaporasi. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik dimana entalpi fluida tidak berubah sepanjang proses. Refrigeran pada titik 4 berada pada kondisi campuran-uap.⁷

$$h_4 = h_3 \quad \dots\dots\dots(3)$$

4) Proses Evaporasi

Proses 4-1 adalah proses penguapan yang terjadi pada evaporator dan berlangsung pada tekanan konstan. Pada titik 1 seluruh refrigeran berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses 4-1 entalpi refrigeran naik akibat penyerapan kalor dari ruang refrigerasi. Besarnya kalor yang dapat diserap adalah beda entalpi titik 1 dan titik 4 biasa disebut dengan efek pendinginan.⁸

$$q_{in} = h_1 - h_4 \quad \dots\dots\dots(4)$$

⁶ Michael, Howard, Fundamentals of Engineering Thermodynamic, Jakarta, Cetakan ke 5, 2006, hal 458

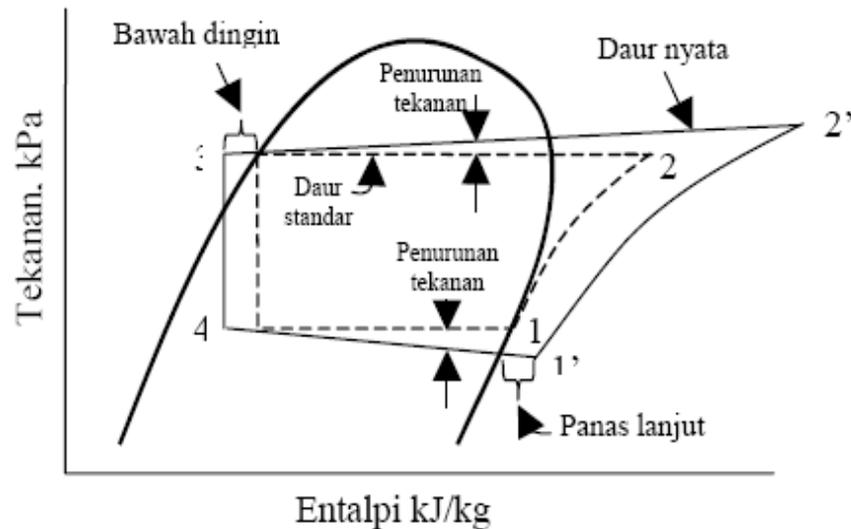
⁷ Ibid, halaman 458

⁸ Ibid, halaman 457

2.2.3. Siklus Kompresi Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar.

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan dalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresor pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar. Untuk siklus aktual dan siklus standar ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Perbandingan siklus aktual dan siklus standar⁹

Garis 4-1' diperlihatkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran pada saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1' diperlihatkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang

⁹ Laras Bachtiar, Perencanaan dan Pemasangan Air Conditioning, Semarang, Cetakan ke 1, 2015, hal 15

melewati garis uap jenuh. Proses 1'-2' adalah proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropik, yang berarti tidak ada perpindahan kalor diantara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropik maupun politropik. Garis 2'-3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor, sedangkan pada garis 3-3' menunjukkan tekanan yang terjadi dijalur cair.

2.2.4. Coefficient of Performance (COP)

Coefficient of Performance atau yang disebut koefisiensi prestasi dipergunakan untuk menyatakan efisiensi dari siklus refrigerasi. Pada umumnya, efisiensi mesin refrigerasi selalu lebih besar dari satu.

Coefficient of Performance dapat dirumuskan dalam persamaan berikut ¹⁰:

$$\text{COP} = \frac{Q_l}{W} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

Q_l = Efek refrigerasi, kW

W = Kerja yang diperlukan untuk kompresi, kW

2.3 Komponen Utama Sistem Pendingin

2.3.1 Kompresor

Kompresor berfungsi untuk memampatkan fluida gas sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Dengan adanya kompresor, refrigeran bisa mengalir ke seluruh sistem pendingin.

¹⁰ Michael, Howard, Fundamentals of Engineerings Thermodynamic, Jakarta, Cetakan ke 5, 2006 , hal 458

Kompresor dapat dibagi dalam dua jenis utama, yaitu kompresor positif, dimana gas diisap masuk ke dalam silinder dan dikompresikan dan jenis kompresor non positif, dimana gas yang diisap masuk dipercepat alirannya oleh sebuah impeler yang kemudian mengubah energi kinetik untuk menaikkan tekanan. (Wiranto A. & Heizo Saito, 1980 : 127)



Gambar 2.5 Kompresor

Sumber : <https://www.indotrading.com/product/kompresor-ac-lg-p328374.aspx>

2.3.2 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk melepas kalor yang di serap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, dengan cara didinginkan oleh media pendingin. Karena temperatur yang turun sehingga refrigeran mengembun dan menjadi cair.

Kondensor dibedakan menjadi dua jenis yakni *Air Cooled Condensor* dan *Water Cooled Condensor*.



Gambar 2.6 Kondensor

Sumber : <http://www.elevenia.co.id/prd-kr-sirip-halus-kondensor-ac-2-in-1-universal-suku-cadang-mob-23185633>

2.3.3 Katup Ekspansi

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini dipergunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat tekanan dan temperaturnya rendah, atau mengekspansikan refrigeran cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi, refrigeran cair di injeksikan keluar melalui *orifice*, refrigeran segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperaturnya rendah.

Selain itu, katup ekspansi juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi:

- 1) Mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
- 2) Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.



Gambar 2.7 Katup Ekspansi

Sumber : <https://legacy.gitbook.com/book/kingarthur3739/expansion-valve-pada-sistem-pendingin/details>

2.3.4 Evaporator

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta berfungsi untuk menguapkan refrigeran dalam sistem, sebelum diisap oleh kompresor. Panas udara dari ruangan diserap evaporator yang menyebabkan suhu udara turun. Udara dengan suhu yang rendah ini dialirkan ke ruangan dengan jalan di hembus oleh kipas, yang menyebabkan terjadinya aliran udara.



Gambar 2.8 Evaporator

Sumber : <https://www.bengkelpedia.com/komponen-ac/evaporator-ac/>

2.4 Jenis-jenis Pendingin Ruangan

Berdasarkan jenisnya ada 4 jenis AC yang sering dipergunakan pada rumah tangga yaitu *AC Split*, *AC Window*, *AC Central* dan *Standing AC*.

a. *AC Split*

Pada AC jenis split komponen AC dibagi menjadi dua unit yaitu unit *indoor* yang terdiri dari filter udara, evaporator dan evaporator blower, *ekspansion valve* dan *control unit*, serta unit *outdoor* yang terdiri dari kompresor, kondenser, kondenser blower dan refrigeran filter. Selanjutnya antara unit *indoor* dengan unit *outdoor* dihubungkan dengan 2 buah saluran refrigeran, satu buah untuk menghubungkan evaporator dengan kompresor dan satu buah untuk menghubungkan refrigeran filter dengan *ekspansion valve* serta kabel power untuk memasok arus listrik untuk kompresor dan kondenser blower. *AC Split* cocok untuk ruangan yang membutuhkan ketenangan, seperti ruang tidur, ruang kerja atau perpustakaan.

Kelebihan *AC Split* :

- Bisa dipasang pada ruangan yang tidak berhubungan dengan udara luar.
- Suara di dalam ruangan tidak berisik.

Kekurangan *AC Split* :

- Pemasangan pertama maupun pembongkaran apabila akan dipindahkan membutuhkan tenaga yang terlatih.
- Pemeliharaan atau perawatan membutuhkan peralatan khusus dan tenaga yang terlatih.
- Harganya lebih mahal.



Gambar 2.9 AC *Split*

Sumber:https://www.bhinneka.com/products/sku13316700/daikin_ac_split_2_pk_ft50mv14_.aspx

b. AC *Window*

Pada AC jenis *window*, semua komponen AC seperti filter udara, evaporator, blower, kompresor, kondenser, refrigeran filter, *ekspansion valve* dan *control unit* terpasang pada satu *base plate*, kemudian *base plate* beserta semua komponen AC tersebut dimasukkan kedalam kotak plat sehingga menjadi satu unit. Biasanya dipilih karena pertimbangan keterbatasan ruangan.

Kelebihan AC *window*:

- Pemasangannya pertama maupun pembongkaran kembali apabila akan dipindahkan mudah dilaksanakan.
- Pemeliharaan/perawatan mudah dilaksanakan.
- Harga murah.

Kekurangan AC *window*:

- Karena semua komponen AC terpasang pada *base plate* yang posisinya dekat dengan ruangan yang didinginkan, maka cenderung menimbulkan suara berisik (terutama akibat suara dari kompresor).

- Tidak semua ruangan dapat dipasang *AC window*, karena *AC window* harus dipasang dengan cara bagian kondenser menghadap ketempat terbuka supaya udara panas dapat dibuang ke alam bebas.



Gambar 2.10 AC Window

Sumber : <https://www.lg.com/in/window-ac>

c. AC Central

Pada AC jenis ini udara dari ruangan didinginkan pada *cooling plant* diluar ruangan tersebut, kemudian udara yang telah dingin dialirkan kembali ke dalam ruangan tersebut. Biasanya cocok untuk dipasang di sebuah gedung bertingkat (berlantai banyak), seperti di hotel atau mall.

Kelebihan *AC central* :

- Suara di dalam ruangan tidak berisik sama sekali.
- Estetika ruangan terjaga, karena tidak ada unit *indoor*.

Kekurangan *AC central* :

- Perencanaan, instalasi, operasi dan pemeliharaan membutuhkan tenaga

yang terlatih.

- Apabila terjadi kerusakan pada waktu beroperasi. maka dampaknya dirasakan pada seluruh ruangan.
- Pengaturan temperatur udara hanya dapat dilakukan pada *central cooling plant*.
- Biaya investasi awal serta biaya operasi dan pemeliharaan tinggi.



Gambar 2.11 AC *Central*

Sumber : <https://serviceacpondokcabe-pamulang.blogspot.com/2016/05/service-ac-central-bekasi.html>

d. *Standing AC*

Jenis AC ini cocok dipergunakan untuk kegiatan-kegiatan situasional karena fungsinya yang mudah dipindahkan. Sama seperti jenis AC *Window*, *Standing AC* memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

Kelebihan *Standing AC* :

- Pemasangan pertama maupun pembongkaran kembali apabila akan dipindahkan mudah dilaksanakan.
- Pemeliharaan/perawatan mudah dilaksanakan.

- Harga murah.

Kekurangan *Standing AC* :

- Karena semua komponen AC terpasang pada satu unit yang posisinya dekat dengan ruangan yang didinginkan, maka cenderung menimbulkan suara berisik (terutama akibat suara dari kompresor).
- Membutuhkan ruangan yang besar untuk penempatan



Gambar 2.12 Standing AC

Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/floor-standing-air-conditioner-14967383912.html>

2.5 Beban Pendinginan

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada waktu melakukan perhitungan beban pendinginan dan penentuan perlengkapan sistem tata udara serta sistem kontrol, antara lain penggunaan atau fungsi ruang, jenis konstruksi bangunan, pola beban pengkondisian dan kondisi dalam ruangan.

Pada tahap perencanaan, perhitungan beban pendinginan yang tepat harus dilakukan karena hasil perhitungan beban pendinginan yang tepat akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan.

Beban pendinginan ada 2 macam yaitu beban sensibel dan beban laten. Beban pendinginan sensibel adalah beban panas yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu, seperti beban panas yang lewat konstruksi bangunan, peralatan elektronik, lampu, dll. Sedangkan beban pendinginan laten adalah beban yang dipengaruhi oleh adanya perbedaan kelembaban udara, seperti manusia dan udara yang masuk ke dalam ruangan

2.5.1 Kondisi Dasar

2.5.1.1 Nama bulan perancangan

Dalam hal ini harus diberikan bulan terpanas. (Wiranto A. & Heizo Saito, 1980 : 30).

2.5.1.2 Kondisi udara dalam ruang

Data kondisi udara didalam ruangan haruslah dirancang untuk tingkat kenyamanan (Wiranto A. & Heizo Saito, 1980 : 30)

2.5.1.3 Temperatur Udara Luar dan Jumlah Radiasi Matahari

Temperatur udara pada suatu saat tertentu dapat diperkirakan dengan formula ¹¹:

$$t_o = t_o \text{ rancangan} - \frac{\Delta t}{2} + \frac{\Delta t}{2} \cos 15 (\tau - \gamma) \quad \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

t_o = temperatur udara luar sesaat, ($^{\circ}\text{C}$)

t_o rancangan = temperatur udara luar untuk perancangan, ($^{\circ}\text{C}$)

Δt = perubahan temperatur harian, ($^{\circ}\text{C}$)

15 = perubahan waktu sudut ($\frac{360^{\circ}}{24 \text{ jam}}$)

τ = waktu penyinaran matahari

γ = saat terjadinya temperatur maksimum (+2)

Untuk τ (waktu penyinaran matahari), pukul 12.00 siang adalah 0, pagi hari (A.M) adalah negatif (-) dan siang hari (P.M) adalah positif, dengan besarnya dinyatakan sampai satu angka desimal, misalnya pukul setengah sepuluh pagi dinyatakan dengan -2.5)

Radiasi matahari dapat dibagi dalam radiasi langsung dan radiasi tidak langsung. Jumlah kedua jenis radiasi tersebut dinamai “radiasi matahari total”. Apabila cuaca tidak banyak mengalami perubahan, radiasi tak langsung boleh dikatakan tidak berubah.

2.5.2 Beban kalor Sensibel Daerah Parimeter (tepi)

2.5.2.1 Tambahan kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui jendela

¹¹ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980, hal 34

Dapat dirumuskan ¹²:

$$Q_{\text{radiasi matahari jendela}} = A_{\text{jendela}} \times R_s \times U_{\text{jendela}} \times sd \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dimana : $Q_{\text{radiasi matahari jendela}}$ = kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui jendela
(kcal/h)

A_{jendela} = luas jendela (m^2)

U_{jendela} = faktor transmisi jendela

R_s = jumlah radiasi matahari (kcal/ m^2 jam)

sd = faktor bayangan

Jumlah radiasi matahari melalui jendela adalah sama dengan jumlah radiasi matahari total yang diperoleh dari (Wiranto A. & Heizo Saito tabel 3.4, 1980), temperatur udara dan jumlah radiasi matahari.

Faktor transmisi radiasi matahari melalui “*window pane*” dapat dicari dengan melihat (Wiranto A. & Heizo Saito, 1980 : 43) faktor transmisi dari jendela. Faktor bayangan (*shading factor*) dari jendela, apabila sebuah jendela dibayangi oleh suatu gedung sebelah atau tepi atapnya sendiri, maka tidak semua panas matahari masuk ke dalam ruangan, jadi jumlah radiasi matahari yang masuk ke dalam menjadi lebih kecil. Sebaliknya apabila jendela ruangan berhadapan dengan benda lain yang memantulkan cahaya (misalnya kaca jendela dari gedung sebelah atau lantai serambi rumah), maka

¹² Wiranto A. & Heizo Saito, Penyebaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

dipandang perlu menambahkan sebanyak 10% sampai 30% dari radiasi matahari langsung dalam perhitungan beban kalor pada siang hari yang panas.

2.5.2.2 Beban transmisi kalor melalui jendela

Dapat dirumuskan ¹³:

$$Q_{\text{jendela}} = A_{\text{jendela}} \times K \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dimana : Q_{jendela} = kalor melalui jendela (kcal/h)

A_{jendela} = luas jendela (m^2)

K_{jendela} = koefisien transmisi kalor melalui jendela ($kcal/m^2\text{jam}^0C$)

Δt = beda temperatur luar dan dalam (0C)

Untuk nilai K dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.6, 1980) koefisien transmisi kalor dari jendela.

2.5.2.3 Infiltrasi beban kalor sensibel

Dapat digunakan ¹⁴:

$$Q_{\text{infiltrasi sensibel}} = \{ (V_{\text{ruang}} \times N_n) - \text{jml udara yang diperlukan} \} \times \frac{0,24}{v} \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(9)$$

Dimana : $Q_{\text{infiltrasi sensibel}}$ = kalor sensibel oleh infiltrasi (kcal/h)

V_{ruang} = Volume ruangan (m^3)

¹³ Wiranto A. & Heizo Saito, *Penyegaran Udara*, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

¹⁴ Ibid, halaman 31

N_n = jumlah ventilasi alamiah

v = volume udara spesifik (m^3/kg)

Δt = beda temperatur luar dan dalam ($^{\circ}C$)

Jumlah udara luar dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.23, 1980)

Jumlah penggantian udara dalam ventilasi alamiah dapat ditentukan dengan tabel jumlah penggantian lihat (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.7, 1980)

2.5.2.4 Beban transmisi kalor melalui dinding dan atap

Dapat dirumuskan ¹⁵:

$$Q_{dinding} = A_{dinding} \times K_{dinding} \times (\Delta t_e + \Delta t_{atm}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

Dimana : $Q_{dinding}$ = transmisi kalor melalui dinding (kcal/h)

$A_{dinding}$ = luas dinding (m^2)

$K_{dinding}$ = koefisien transmisi kalor melalui dinding (kcal/ m^2 :jam $^{\circ}C$)

Δt_e = selisih temperatur ekuivalen dari radiasi matahari ($^{\circ}C$)

Δt_{atm} = selisih temperatur ekuivalen dari temperatur atmosfer ($^{\circ}C$)

Koefisien perpindahan kalor dari dinding, dapat ditunjukkan pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.8, 1980) .

Sedangkan koefisien perpindahan kalor dari atap dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.9, 1980)

¹⁵ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

Selisih temperatur ekuivalen dari radiasi matahari dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.13, 1980)

2.5.2.5 Beban kalor tersimpan dari ruangan dari penyegaran udara

Beban kalor tersimpan dari ruangan dari penyegaran udara dapat dirumuskan ¹⁶:

$$Q_{\text{tersimpan}} = (Q_{\text{radiasi matahari jendela}} + Q_{\text{jendela}} + Q_{\text{infiltrasi sensibel}} + Q_{\text{dinding}}) \times \text{faktor beban kalor tersimpan} \dots\dots\dots(11)$$

Faktor beban kalor tersimpan. Dalam perhitungan beban kalor dari suatu ruangan yang didinginkan, tetapi sebelumnya mengalami pemanasan oleh matahari, beban kalor sensibel dari ruangan bagian tepi gedung haruslah ditambah dengan 10%-20%.

2.5.3 Beban Kalor Laten Daerah Parimeter (tepi)

Beban kalor laten oleh infiltrasi dapat dirumuskan ¹⁷:

$$Q_{\text{laten infiltrasi}} = V_{\text{ruang}} \times N_n \times 597,3 \times \Delta w \dots\dots\dots(12)$$

Jumlah ventilasi alamiah dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.7, 1980)

Dimana : $Q_{\text{laten infiltrasi}}$ = kalor laten oleh infiltrasi (kcal/h)

$$V_{\text{ruang}} = \text{Volume ruangan (m}^3\text{)}$$

$$N_n = \text{jumlah ventilasi alamiah}$$

$$597,3 = \text{kalor laten penguapan (kcal/kg)}$$

¹⁶ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

¹⁷ Ibid, halaman 31

Δw = selisih kelembaban di dalam dan di luar ruangan (kg/kg')

2.5.4 Beban Kalor Sensibel Daerah Interior

2.5.4.1 Beban kalor dari partisi langit-langit

Dapat dirumuskan ¹⁸:

$$Q_{\text{langitlangit}} = A_{\text{langitlangit}} \times K \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(13)$$

Dimana : $Q_{\text{langitlangit}}$ = kalor melalui langit-langit (kcal/h)

$A_{\text{langitlangit}}$ = Luas kompartemen langit-langit (m²)

$K_{\text{langitlangit}}$ = koefisien transmisi kalor dari kompartemen langit-langit (kcal/m²jam⁰C)

Δt = beda temperatur luar dan dalam (°C)

Koefisien transmisi kalor dari kompartemen langit-langit atau lantai dapat dihitung¹⁹:

$$K = \frac{1}{R_r} \text{ (kcal/m}^2 \text{ jam } ^\circ\text{C)} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$R_r = R_{si} + R_1 + \dots\dots\dots + R_n + R_a + \dots\dots\dots R_{so} \text{ (m}^2\text{jam } ^\circ\text{C)}$$

di mana,

R_{si} = tahanan perpindahan kalor dari lapisan permukaan dalam dinding
(Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.10, 1980)

¹⁸ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyebaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

¹⁹ Ibid, halaman 46

R_{so} = tahanan perpindahan kalor dari lapisan permukaan luar dinding
(Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.10, 1980)

$R_1 \dots R_n$ = tahanan perpindahan kalor dari setiap lapisan dinding (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.12, 1980)

2.5.4.2 Beban kalor sensibel karena adanya sumber kalor interior

a) Beban Orang

Dapat dirumuskan ²⁰:

$$Q_{\text{sensibelorang}} = \text{Jumlah orang} \times Q_s \times \text{faktor kelompok} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana : $Q_{\text{sensibelorang}}$ = kalor sensibel orang (kcal/h)

$$Q_s = \text{Kalor sensibel manusia (kcal/ jam.orang)}$$

Kalor sensibel manusia dan faktor kelompok (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.19, 1980)

Untuk faktor kelompok wanita haruslah dipakai faktor kelompok laki-laki dewasa dikali 0,82. sedangkan untuk anak-anak dikali 0,75.

b) Beban peralatan

Dapat dirumuskan ²¹:

$$Q_{\text{peralatan}} = P \times 0,860 \times \text{faktor penggunaan peralatan} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana : $Q_{\text{peralatan}}$ = kalor sensibel peralatan (kcal/h)

$$P = \text{daya peralatan (kW)}$$

²⁰ Wiranto A. & Heizo Saito, *Penyegaran Udara*, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

²¹ Ibid, halaman 31

Peralatan dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.20, 1980)

2.5.5 Beban Kalor Laten Daerah Interior

2.5.5.1 Beban kalor laten oleh sumber penguapan (orang)

Dapat dirumuskan ²²:

$$Q_{\text{latenorang}} = \text{Jumlah orang} \times Q_1 \times \text{faktor kelompok} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana : $Q_{\text{latenorang}}$ = kalor laten orang (kcal/h)

$$Q_1 = \text{Kalor laten manusia (kcal/ jam.orang)}$$

Kalor laten dari orang dan faktor kelompok dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.19, 1980)

Untuk faktor kelompok wanita haruslah dipakai faktor kelompok laki-laki dewasa dikali 0,82. sedangkan untuk anak-anak dikali 0,75.

2.5.6 Beban Kalor Sensibel Mesin

2.5.6.1 Beban kalor sensibel udara oleh udara luar masuk

Dapat dirumuskan ²³:

$$Q_{\text{sensibeludara}} = \frac{\text{jumlah udara}}{v} \times 24 \times \Delta t \dots\dots\dots(18)$$

Dimana : $Q_{\text{sensibeludara}}$ = kalor sensibel udara masuk (kcal/h)

$$\Delta t = \text{beda temperatur luar dan dalam (}^{\circ}\text{C)}$$

²² Wiranto A. & Heizo Saito, Penyebaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

²³ Ibid, halaman 31

$v = \text{volume spesifik udara luar } (m^3/kg)$

Jumlah pemasukan udara luar yang diperlukan tergantung pada jenis kegiatan yang ada, dan ini dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.23, 1980).

Volume spesifik udara luar dapat dilihat pada diagram psikometrik.

2.5.6.2 Tambahan kalor sensibel udara oleh motor kipas udara

Dapat dirumuskan ²⁴:

$$Q_{\text{kipas}} = P_{\text{kipas}} \times 0,860 \times \eta_{\text{kipas}} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana : Q_{kipas} = kalor sensibel kipas udara (kcal/h)

P_{kipas} = daya kipas (kW)

η_{kipas} = efisiensi kipas

Efisiensi kipas dari penyegar udara biasanya adalah 0,8

2.5.6.3 Beban kalor sensibel ruangan total

Dapat dirumuskan ²⁵:

$$Q_{\text{sensibelruangan}} = (Q_{\text{radiasi matahari jendela}} + Q_{\text{jendela}} + Q_{\text{infiltrasi sensibel}} + Q_{\text{dinding}} + Q_{\text{tersimpan}}) + (Q_{\text{langitlangit}} + Q_{\text{sensibelorang}} + Q_{\text{peralatan}}) \dots\dots\dots(20)$$

Merupakan jumlah dari total kalor sensibel daerah parimeter dan total kalor sensibel daerah interior.

²⁴ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

²⁵ Ibid, halaman 31

2.5.6.4 Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara

Dapat dirumuskan ²⁶:

$$Q_{kebocoran} = Q_{sensibeludara} + Q_{kipas} + Q_{sensibelruangan} \times \text{faktor kebocoran saluran udara} \dots\dots\dots(21)$$

Faktor kebocoran saluran udara pada saluran lingkaran dapat dianggap 0, sedangkan faktor kebocoran saluran udara untuk saluran segi empat kira-kira 0,1 dan 0,2.

2.5.7 Beban Kalor Laten Mesin

2.5.7.1 Beban kalor laten oleh udara luar masuk

Dapat dirumuskan ²⁷:

$$Q_{latenudaramasuk} = \text{Jumlah udara luar masuk} \times \frac{597,3}{v} \times \Delta w \dots\dots\dots(22)$$

Dimana : v = volume spesifik (m³/kg)

Δw = selisih kelembaban di dalam dan di luar ruangan (kg/kg³)

Jumlah pemasukan udara luar dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 3.23, 1980)

Selisih perbandingan kelembaban rata-rata sepanjang hari (Δw) yang dapat dilihat pada (Wiranto A. & Heizo Saito, tabel 2.1, 1980).

2.5.7.2 Beban kalo laten ruangan total

²⁶ Ibid, halaman 31

²⁷ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

Dapat dirumuskan ²⁸:

$$Q_{\text{latenruangan}} = Q_{\text{laten infiltrasi}} + Q_{\text{latenorang}} \dots\dots\dots(23)$$

Merupakan jumlah dari total kalor laten daerah parimeter dan total kalor laten daerah interior.

2.5.7.3 Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara

Dapat dirumuskan ²⁹:

$$Q_{\text{kenaikankebocoran}} = (Q_{\text{latenudaramasuk}} + Q_{\text{latenruangan}}) \times \text{faktor kebocoran saluran udara} \dots\dots\dots(24)$$

Faktor kebocoran saluran udara untuk saluran segi empat kira-kira 0,1 dan 0,2

2.5.8 Beban Pendinginan Keseluruhan

Dapat dirumuskan ³⁰:

$$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{sensibeludara}} + Q_{\text{kipas}} + Q_{\text{sensibelruangan}} + Q_{\text{kebocoran}}) + (Q_{\text{latenudaramasuk}} + Q_{\text{latenruangan}} + Q_{\text{kenaikankebocoran}}) \dots\dots\dots(25)$$

2.6 Proses Psikometri

Psikometri merupakan kajian tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air, yang mempunyai arti penting di dalam bidang teknik pengkondisian udara karena udara atmosfer tidak kering betul tetapi merupakan campuran antara udara dan uap air.

²⁸ Ibid, halaman 31

²⁹ Ibid, halaman 31

³⁰ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 31

Pada beberapa proses pengkondisian udara, kandungan air sengaja disingkirkan dari udara, tetapi pada proses yang lain, air ditambahkan.

Pada beberapa alat terdapat proses perpindahan kalor dan massa antara udara dan permukaan bagian yang masih basah. Sebagai contohnya adalah beberapa jenis alat pelembab udara (*humidifier*), penurunan kelembaban (*dehumidifying*) serta peralatan penyemprot air (*water spray*), seperti menara pendingin dan kondensor penguapan. Pertama-tama akan dibahas tentang bagan-bagan psikometrik, pengkajian sifat demi sifat, yang kemudian diikuti dengan pembahasan tentang proses pengkondisian udara secara umum. Untuk dapat menghitung jumlah udara yang diperlukan dan temperatur udara pada setiap sisi dan menggambarkan proses pengkondisian udara secara umum.

Untuk dapat menghitung jumlah udara yang diperlukan dan temperatur udara pada setiap sisi dan menggambarkan proses pengkondisian udara pada grafik psikometrik, setelah mengetahui besarnya beban pendingin diketahui adalah dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Faktor panas sensibel ruangan ³¹ :

$$RSHF = \frac{RSH}{RTH} \dots\dots\dots(26)$$

Faktor panas sensibel efektif ³² :

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} \dots\dots\dots(27)$$

³¹ Carrier Air Conditioning Company, 1965. Hand Book of Air Conditioning System Design, McGraw HILL, inc: USA. Halaman 150

³² Ibid halaman 150

Faktor panas sensibel total ³³:

$$GSHF = \frac{TSH}{GTH} \dots\dots\dots(28)$$

Jumlah udara yang dikondisikan di peralatan (cfmda) ³⁴:

$$cfmda = \frac{TSH}{1,08 \times (T_{edb} - T_{ldb})} \dots\dots\dots(29)$$

Jika diasumsikan cfmsa = cfmda maka temperatur udara supply, Tsa adalah ³⁵:

$$Tsa = T_{rm} - \frac{RSH}{1.08 \times cfmsa} \dots\dots\dots(30)$$

2.6.1 Diagram Psikometrik dan Sifat Udara Basah

Sifat termal udara basah pada umumnya ditunjukkan menggunakan diagram psikometrik (Wiranto A. & Heizo Saito, 1980 : 9). Dalam menggunakan diagram psikometrik menggunakan beberapa istilah dan simbol yaitu :

- a) Temperatur bola kering (DB)

Temperatur tersebut dapat dibaca pada termometer dengan sensor kering dan terbuka, namun penunjukkan tidaklah tepat karena adanya pengaruh radiasi panas, kecuali jika sensornya memperoleh ventilasi yang cukup baik.

- b) Temperatur bola basah (WB)

Dalam hal ini digunakan termometer dengan sensor yang dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas. Namun perlu diperhatikan bahwa

³³ Ibid halaman 150

³⁴ Ibid halaman 151

³⁵ Ibid halaman 150

melalui sensor harus terjadi aliran udara sekurang-kurangnya 5 m/s. Temperatur bola basah biasa dinamai temperatur jenuh adiabatik.

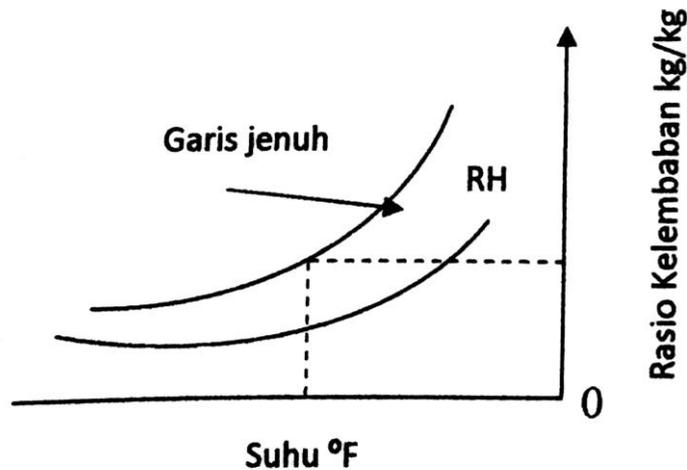
c) Perbandingan kelembaban, x (kg/kg udara kering, kg/kg³)

Perbandingan Kelembaban adalah perbandingan antara berat uap air dan berat udara kering yang ada di dalam udara (lembab). Hubungan antara tekanan uap f dan perbandingan kelembaban x adalah sebagai berikut ³⁶:

$$x = 0,6220 \frac{f}{P_{atm}-f} \text{ (kg/kg')} \quad \dots\dots\dots(31)$$

Atau

$$f = \frac{x}{0,6220+x} P_{atm, mmHg} \quad \dots\dots\dots(32)$$



Gambar 2.13 Rasio Kelembaban ³⁷

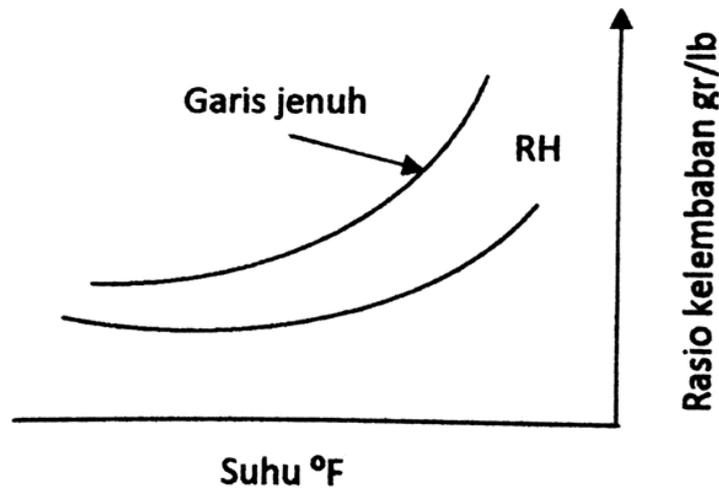
d) Kelembaban Relatif φ , (%)

³⁶ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyebaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 11

³⁷ Stoecker, Wilbert F. J W Jones, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Jakarta, Cetakan ke 2, 1996, hal. 39

Kelembaban relatif (RH), dinyatakan dalam persen (%), merupakan perbandingan antara tekanan parsial uap air dalam suatu volume udara tertentu (tekanan uap moist) dengan tekanan parsial yang diterima uap air pada kondisi jenuh (Psat). Dapat dirumuskan dengan persamaan³⁸:

$$RH = \frac{P_v}{P_{sat}} \dots\dots\dots(33)$$



Gambar 2.14 Kelembaban Relatif³⁹

e) Volume Spesifik (udara) lembab, v (m^3/kg)

Volume spesifik adalah volume udara campur dengan satuan meterkubik perkilogram udara kering (m^3/kg). Dapat juga dikatakan sebagai meterkubik campuran udara kering, karena volume yang diisi oleh masing-masing substansi sama, hal ini dinyatakan dengan persamaan⁴⁰:

$$v = (0,7734 + 1,224x) \frac{273,2+t}{273,2} \left(\frac{760}{P_{atm}} \right) (m^3/kg) \dots\dots\dots(34)$$

³⁸ Ibid, halaman 40

³⁹ Stoecker, Wilbert F. J W Jones, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Jakarta, Cetakan ke 2, 1996, hal. 39

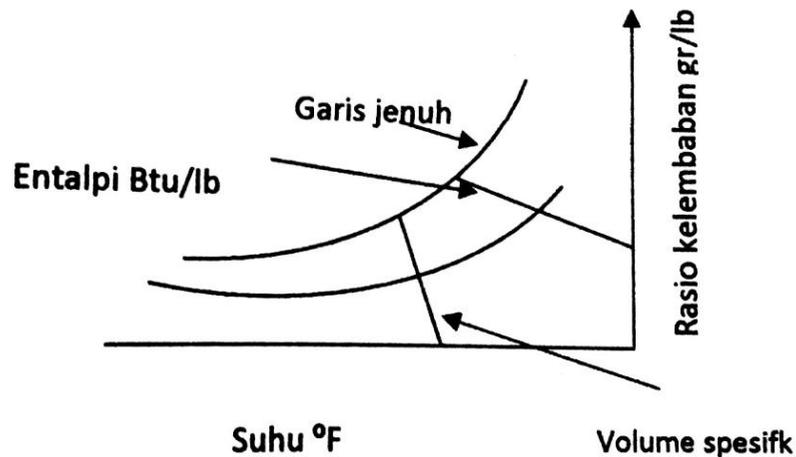
⁴⁰ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 11

Dimana,

0,7734 = volume spesifik udara kering pada 0°C dan pada tekanan 1 atmosfer.

1,244 = volume spesifik dari uap air pada 0°C dan pada tekanan 1 atmosfer.

273,2 = 0°C dinyatakan dalam °K.



Gambar 2.15 Garis Volume Spesifik Konstan ⁴¹

f) Titik Embun , t° (°C)

Titik embun adalah temperatur air pada keadaan di mana tekanan uapnya sama dengan uap dari udara (lembab). Jadi, pada temperatur tersebut udara uap air dalam udara mulai mengembun dan hal tersebut terjadi apabila (lembab) diinginkan.

g) Entalpi, i (kcal/kg)

Entalpi adalah energi kalor yang dimiliki suatu zat pada suatu temperatur tertentu. Maka entalpi udara lembab dengan perbandingan kelembaban x , pada temperatur t° C, didefinisikan sebagai sejumlah energi kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 kg udara kering dan x kg air (dalam fasa cair) dari 0°C sampai

⁴¹ Stoecker, Wilbert F. J W Jones, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Jakarta, Cetakan ke 2, 1996, hal. 39

mencapai $t^{\circ}\text{C}$ dan menguapkannya menjadi uap air (fasa gas). Hal tersebut di atas dapat dituliskan dalam persamaan ⁴²:

$$i = 0,240 t + (597,3 + 0,441 t)x \text{ (kcal/kg')} \quad \dots\dots\dots(35)$$

di mana,

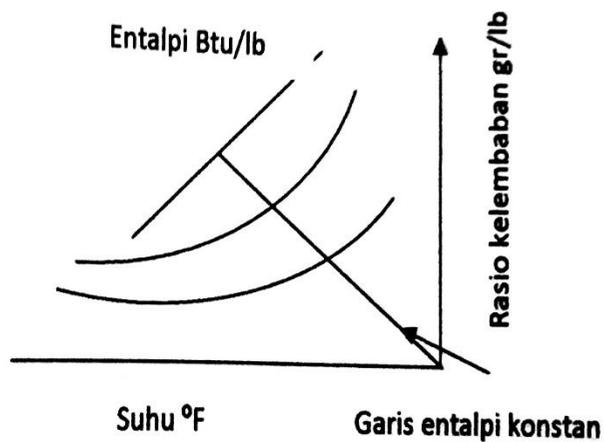
t = temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)

x = perbandingan kelembaban dari udara lembab (kg/kg')

0,240 = kalor spesifik dari udara kering (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)

0,441 = kalor spesifik rata-rata dari uap air (kg/kg $^{\circ}\text{C}$)

597,3 = kalor laten dari air pada 0°C (kcal/kg)



Gambar 2.16 Garis Entalpi Konstan ⁴³

h) Persentase kelembaban (perbandingan jenuh), ϕ (%)

⁴² Wiranto A. & Heizo Saito, Penyebaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 13

⁴³ Stoecker, Wilbert F. J W Jones, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Jakarta, Cetakan ke 2, 1996, hal. 39

Persentase kelembaban adalah perbandingan (%) antara perbandingan kelembaban dari udara lembab dan perbandingan kelembaban jenuh pada temperatur yang sama ⁴⁴:

$$\Psi = \frac{x}{x_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(36)$$

di mana,

x = perbandingan kelembaban (kg/kg')

x_s = perbandingan kelembaban jenuh pada temperatur yang sama (kg/kg')

Hubungan Ψ dan ϕ adalah sebagai berikut ⁴⁵:

$$\Psi = \phi \frac{(P_{atm} - f_s)}{(P_{atm} - f)} \quad \dots\dots\dots(37)$$

di mana,

f = tekanan parsial uap air (mmHg)

f_s = tekanan parsial uap air jenuh pada temperatur yang sama (mmHg)

i) Faktor kalor sensibel SHF

Faktor kalor sensibel adalah perbandingan perubahan besarnya kalor sensibel terhadap perubahan entalpi.

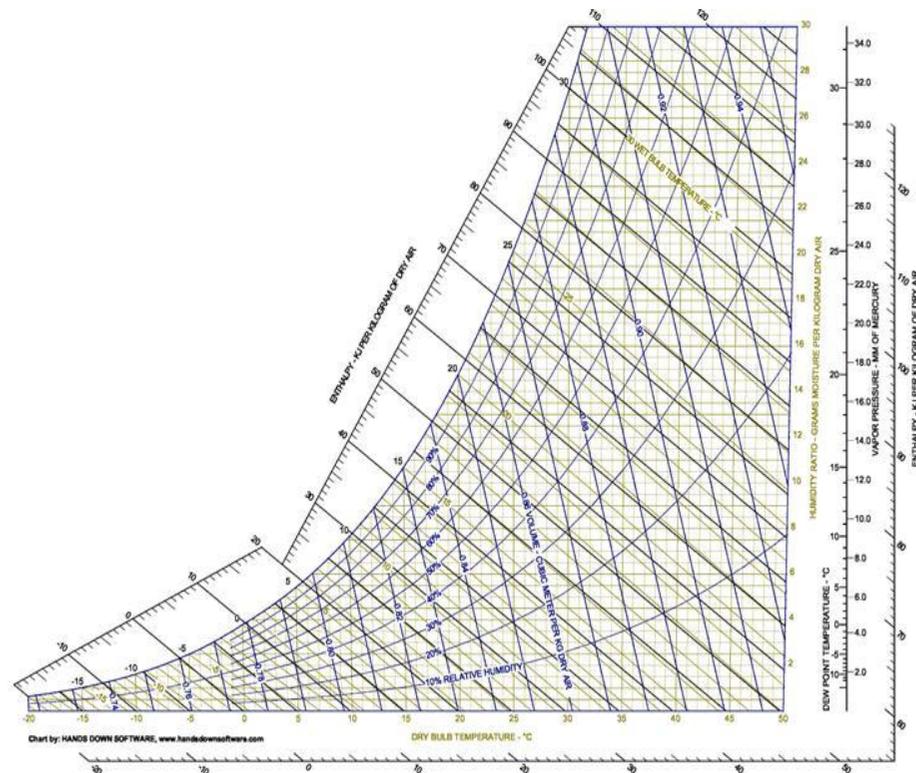
j) Tekanan (p)

Tekanan adalah gaya normal (tegak lurus) yang diberikan oleh suatu fluida persatuan luas benda yang terkena gaya tersebut. Tekanan absolut adalah tekanan diatas nol (tekanan yang sebenarnya yang berada diatas nol) tekanan pengukuran (*gauge pressure*) diukur atas tekanan atmosfer suatu tempat (nol tekanan pengukuran = tekanan atmosfer ditempat atmosfer tersebut). Satuan yang dipakai untuk tekanan

⁴⁴ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 13

⁴⁵ Wiranto A. & Heizo Saito, Penyegaran Udara, Jakarta, Cetakan ke 4, 1980 hal 13

adalah newton per meter kuadrat (N/m^2), juga disebut *pascal* (Pa). Newton adalah satuan gaya. Tekanan atmosfer standar adalah $1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Tekanan dapat diukur dengan instrumen seperti terukur tekanan (*pressure gauge*) atau manometer yang diperlihatkan secara skematik, dipasang pada suatu saluran udara. Oleh karena salah satu ujung manometer terbuka ke atmosfer maka, pergeseran muka air dalam manometer hanya menunjukkan tekanan pengukuran.



Gambar 2.17 Diagram Psikometrik

Sumber : <https://mtnugraha.wordpress.com/2009/07/05/158/7-diagram-psikometrik/>

