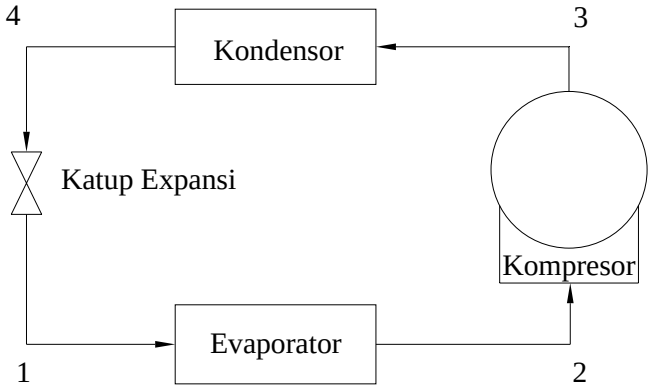
2. TEORI DASAR

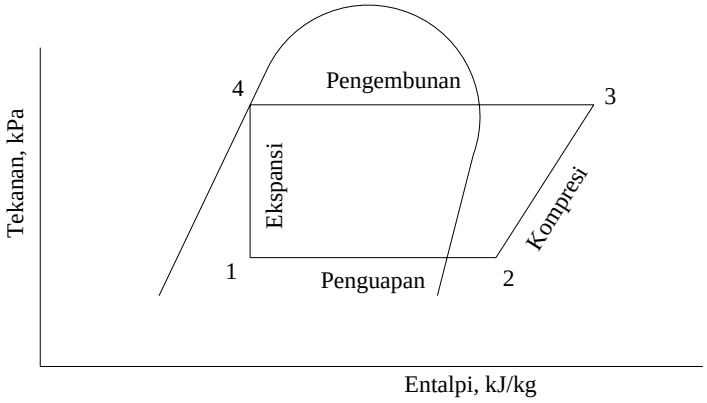
2. 1. Prinsip Dasar Pengkondisian Udara

Sistem Pengkondisian udara dan sistem pendinginan (*refrigeration*) memiliki prinsip dasar yang sama, yaitu mengkondisikan udara agar lebih dingin dan pengurangan kelembaban udara. Pengkondisian udara meliputi proses penghangatan, pendinginan udara, pengaturan kelembaban udara, kebersihan dan pendistribusian udara guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh orang/penghuni yang berada di dalamnya. Sedangkan refrigerasi meliputi proses pendinginan, dan pengaturan kelembaban, dimana proses ini lebih cenderung untuk proses peng*awet*an makanan, kimia dan proses industri lainnya.

Komponen utama dari sistem pengkondisian udara adalah evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Evaporator berfungsi untuk menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan sehingga temperatur refrigerant dari evaporator ke kompresor akan meningkat. Fase refrigerant sebelum masuk ke evaporator berupa cair dan keluar dari evaporator berfase uap. Kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan refrigerant sehingga dengan meningkatnya tekanan tersebut, maka temperatur refrigerant tersebut akan naik pula dan berfase uap. Kenaikan temperatur tersebut dimaksudkan agar temperatur refrigerant jauh lebih tinggi dari temperatur udara lingkungan, sehingga panas refrigerant tersebut dapat dibuang ke lingkungan sekitar melalui kondensor. Selain itu kompresor juga berfungsi untuk mengalirkan refrigerant. Kondensor berfungsi untuk membuang panas refrigerant yang keluar dari kompresor ke udara lingkungan sehingga temperatur refrigerant yang keluar kondensor akan sama dengan temperatur udara lingkungan tetapi tekanan tetap tinggi dan berfase cair. Katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigerant sehingga dari katup ekspansi refrigerant memilki temperatur yang rendah dan tekanan yang rendah pula dan berfase cair.



Gambar 2. 1. Siklus dasar refrigerasi



Gambar 2. 2. Grafik p-h (tekanan-entalpi) siklus refrigerasi

Untuk menganalisa proses yang terjadi pada siklus refrigerasi diatas maka dapat dilakukan melalui beberapa tahap berikut:

- Pada evaporator refrigerant mendapat panas dari lingkungan yang dikondisikan sehingga terjadi penguapan pada refrigerant tersebut. Jumlah perpindahan panas per unit massa refrigerant yang mengalir adalah

$$\frac{\dot{q}_{in}}{\dot{m}} = h_2 - h_1 \qquad (2.\ 1)$$

- Refrigeran yang keluar dari evaporator akan dilewatkan melalui kompresor sehingga tekanan dan temperatur refrigeran akan meningkat. Persamaan untuk menentukan kerja kompresi per unit massa refrigeran dari kompresor adalah:

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = h_3 - h_2 \qquad (2.\ 2)$$

- Refrigerant yang keluar dari kompresor akan dilewatkan melalui kondensor, dimana pada kondensor panas dari refrigerant akan dibuang ke lingkungan sekitar. Jumlah panas refrigerant per unit refrigeran yang dibuang di kondensor adalah

$$\frac{\dot{q}_{out}}{\dot{m}} = h_3 - h_4 \qquad (2.\ 3)$$

- Setelah keluar dari kondensor refrigerant melewati katup ekspansi dimana pada katup ekspansi tekanan refrigerant akan diturunkan.

$$h_1 = h_4 \qquad (2.\ 4)$$

Coefisien of performance adalah perbandingan dari panas yang dihisap dengan jumlah kerja bersih yang diperlukan sistem pengkondisian udara.

$$COP = \frac{\dot{q}_{in} / \dot{m}}{\dot{W}_c / \dot{m}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2} \qquad (2.\ 5)$$

2. 2. Sifat-Sifat (Properties) Udara

Kenyamanan suatu bangunan menjadi faktor yang sangat penting untuk kenyamanan penghuni yang menempati bangunan tersebut. Maka sebelum suatu bangunan dikondisikan, diperlukan pengkondisian udara terlebih dahulu karena udara merupakan media yang dapat dipanaskan atau didinginkan dan menjadi faktor penting dalam menentukan kenyamanan suatu bangunan.

Properti udara yang mempunyai pengaruh besar dalam pengkondisian udara adalah temperatur dan kelembaban (*humidity*). Uap air selalu ada dalam udara atmosfer baik dalam jumlah sedikit atau banyak dan menjadi faktor penting dalam kenyamanan. Studi tentang campuran udara dan uap air dinamakan *psychrometry*.

2.2. 1. Komposisi udara

Udara atmosfer dapat dianggap terdiri dari

a. Udara kering (*dry air*).
b. Uap air.
c. *Impurities* seperti asap, debu dan gas beracun.

Udara kering terdiri dari campuran beberapa gas. Berikut komposisi udara kering yang didapat menurut Norman C. Harris (Modern Air Conditioning Practice) berdasar persentase massa

Tabel 1. 1. Komposisi udara menurut Norman C. Harris

Gas	Mass Fraction
Nitrogen (N2)	77
Oksigen (O2)	22
Karbondioksida (CO2)	0,04 (bervariasi)
Gas lain	0,96

Menurut Moran Shapiro (*Fundamental of Engineering Thermodynamics*), komposisi udara berdasar persentase mole

Tabel 1. 2. Komposisi udara menurut Moran Saphiro

Gas	Mole Fraction
Nitrogen (N2)	78.08
Oksigen (O2)	20.95
Argon (Ar)	0.93
Karbondioksida (CO2)	0.03
Neon, Helium, Methane and others	0.01

Komposisi (persentase) masing-masing gas dalam udara kering relatif konstan, sehingga udara kering dapat dianggap sebagai gas tunggal dengan BM = 28,97.

Udara yang terkandung dalam uap air bervariasi jumlahnya. Daerah padang pasir memiliki udara yang sangat kering sedangkan pada hutan tropis udara lebih

lembab. Pada kondisi tekanan dan temperatur rendah, udara kering dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kesalahan akurasi perhitungan yang sangat kecil.

2.2. 2. Hukum Gas Ideal

- Hukum Boyle menyatakan bahwa suatu gas dengan temperatur konstan maka volume dari gas adalah berbanding terbalik dengan tekanan absolut.

$$P_1V_1 = P_2V_2 \qquad (2.\ 6)$$

- Hukum Charles menyatakan bahwa suatu gas dengan tekanan konstan, maka volume dari gas tersebut berbanding lurus dengan temperatur absolut.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (2.\ 7)$$

- Hukum gas umum merupakan kombinasi dari hukum Boyle dan hukum Charles.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad (2.\ 8)$$

atau

$$PV = mRT \qquad (2.\ 9)$$

dimana :

P = tekanan absolut didalam gas, lb/ft^2

V = volume gas, ft^3

m = massa dari gas, lb

T = temperatur absolut, ^{0}R

R = *universal gas constant* = 1545,3 ft.lbf/(lbmol.R) = 8,314 kJ/(kmol.K) = 1,986 Btu/(lbmol.R).

- Hukum Dalton tekanan parsial

  Beberapa hal yang penting dalam hukum Dalton adalah :

a. Massa total dari campuran udara-uap air adalah sama dengan jumlah dari masing-masing massa gas, $m_t = m_a + m_w$.
b. Masing-masing gas menempati volume total yang sama dengan volume campuran, $V_t = V_a = V_w$.
c. Temperatur absolut masing-masing gas sama dengan temperatur absolut campuran, $T_t = T_a = T_w$.
d. Tekanan campuran gas sama dengan jumlah tekanan masing-masing gas (tekanan parsial) yang dihasilkan jika gas-gas tersebut menempati volume campuran sendirian, $P = P_a + P_w$.
e. Entalpi total campuran gas = jumlah entalpi masing – masing gas, $H_T = H_a + H_w$.

Ket : *subcript* a = udara kering (*dry* air), subcript w = uap air.

Hukum Dalton dan Hukum gas ideal menjadi dasar dari grafik psycrometrik properties/sifat campuran udara-uap air. Beberapa definisi yang perlu diketahui, yaitu:

1. Tekanan barometer terdiri dari sebagian tekanan dari udara kering dan uap air, $P_b = P_a + P_w$.
2. Tekanan atmosfer, tekanan udara lingkungan sekitar.
3. *Dry bulb* (db), yaitu temperatur yang ditunjukkan thermometer. Data db temperatur saja tidak lengkap, karena db temperatur hanya menyatakan derajat kandungan panas sensibel dari suatu substansi, tidak memberi informasi tentang kandungan panas laten didalam udara.
4. Kelembaban spesifik (*specific humidity*), W didefinisikan sebagai berat (lbm) dari uap air per udara kering dalam campuran pada temperatur *dry bulb* tertentu. *Specific humidity* menyatakan kandungan uap air sebenarnya dalam udara.

$$\frac{m_w}{m_a} = 0{,}622\frac{P_w}{P_a} \qquad (2.\ 10)$$

$$W = 0{,}622\frac{P_w}{P_a} = 0{,}622\frac{P_w}{P - P_w}$$

Dimana:

M_w = berat uap air

M_a = berat udara kering

P_w = tekanan uap air

P_a = tekanan udara kering

Kelembaban mutlak (*absolute humidity*) didefinisikan sebagai berat uap air (lbm) per ft^3 udara kering.

5. *Relative Humidity* (RH)

   Udara selalu mengandung uap air dimana pada temperatur yang rendah, sedikit air dapat membuat udara menjadi jenuh sedangkan pada temperatur yang tinggi diperlukan banyak uap air agar udara menjadi jenuh. Dengan demikian jika tiba-tiba temperatur udara turun maka sebagian uap air tersebut akan mengembun.

   RH merupakan ukuran yang dapat menyatakan derajat saturasi atau kejenuhan udara pada temperatur *dry bulb*. Bila RH sama dengan 100% berarti udara dalam keadaan jenuh dan RH = 0% berarti udara kering.

   RH didefinisikan juga sebagai rasio antara tekanan parsial aktual uap air dengan tekanan parsial saturasi uap air pada temperatur *dry bulb* (db).

$$RH = \frac{P_w}{P_{sat}} x100\%$$

atau (2. 11)

$$RH = \frac{W_{act}}{W_{sat}} x100\%$$

6. Temperatur *dew point*

   Jika udara (campuran udara kering dan uap air) didinginkan, maka kemampuan udara mempertahankan uap air akan turun. Penurunan temperatur lebih lanjut akan menyebabkan kondensasi atau terbentuknya *dew*.

   Dew point temperatur didefinisikan sebagai temperatur dimana uap air mulai mengembun. Hal ini berarti udara (yang merupakan campuran udara kering dan uap air) harus didinginkan mencapai *dew point* untuk mengurangi

kandungan uap air didalamnya. Tekanan parsial uap air dalam suatu campuran adalah tekanan uap air yang diukur pada temperatur *dew point*. Pada persamaan untuk kelembaban spesifik dapat dinyatakan bahwa untuk tekanan barometric, tekanan parsial dari uap air adalah kandungan dari campuran di udara. Karena temperatur *dew point* menentukan tekanan uap, *dew point* temperatur adalah indikator spesifik dari kandungan campuran di udara.

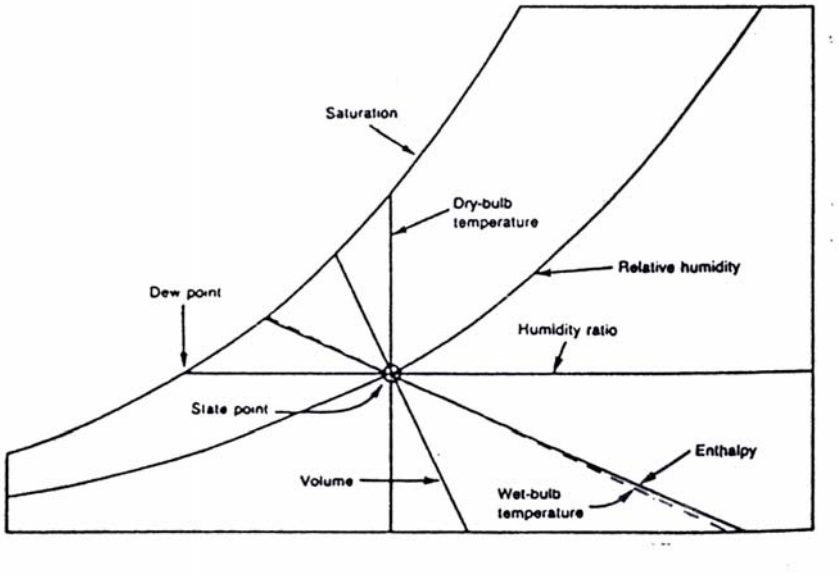
7. *Wet bulb* temperatur (WB)

   Wet bulb temperatur (temperatur bola basah) adalah temperatur terendah yang ditunjukkan termometer yang *bulb*nya dibungkus kain basah dan ada aliran udara yang melaluinya. Panas laten penguapan ditentukan pada wb temperatur, bukan pada db temperatur karena penguapan aktual terjadi pada pembacaan wb temperatur.

2. 3. Diagram Psikrometrik

Diagram psykrometrik merupakan diagram untuk mengetahui properties/sifat udara yang meliputi temperatur, *humidity*, entalpi dan properti lainnya. Melalui tabel campuran udara dan saturasi uap air serta psikrometrik tabel (lampiran 3 dan 4), bisa ditentukan properti udara baik itu entalpi, kelembaban, spesifik *humidity*, spesifik volume, sensibel *heat* dan laten *heat*.

Tetapi melalui kedua tabel tersebut kita harus melakukan interpolasi untuk properti udara tertentu yang tidak tertulis pada tabel, sehingga akan memakan waktu dalam melakukan perhitungan. Maka dari itu dibuatlah diagram yang dapat mempermudah perhitungan yaitu diagram psikrometrik.



Gambar 2. 3. Grafik Psychrometric

Sumber: Ashrae Fundamental Handbook, 1989.

Untuk proses pemanasan, pendinginan, melembabkan (*humidifying*), dan pengeringan (*dehumidifying*) dalam pengkondisian udara pada dasarnya kondisi udara diambil dari kondisi awal ke kondisi desain yang diharapkan. Berikut 4 perbedaan kemungkinan suatu proses dalam pengkondisian udara:

1. Proses panas sensibel yang konstan diindikasikan dengan konstan db temperatur.
2. Proses panas laten yang konstan diindikasikan dengan konstan komposisi campuran (*moisture content*) dan konstan temperatur *dew point*.
3. Proses konstan entalpi atau panas total (*heat* total) atau adiabatik proses diindikasikan dengan konstan temperatur *wet bulb*.
4. Proses konstan kelembaban relatif (relatif *humidity*) diikuti dengan perubahan semua faktor.

Perubahan suatu kombinasi di atas, tidak mengalami kesalahan sepanjang bentuk proses tetap. Campuran dari dua kondisi udara yang berbeda terletak pada kondisi yang berbeda.

Selain itu juga perlu diketahui bahwa:

1. Garis *dry bulb* adalah garis konstan panas sensibel.
2. Garis *dew point* adalah garis konstan panas laten.
3. Garis *wet bulb* adalah garis konstan panas total (entalpi).

2. 4. Beban Pendinginan

Data yang harus diketahui sebelum menghitung *cooling load*:

- Letak atau lokasi bangunan.
- Posisi atau orientasi bangunan.
- Konstruksi bangunan.
- Fungsi bangunan.
- Jam kerja masing-masing ruangan yang dikondisikan.

Macam-macam cara untuk mengklasifikasikan beban pendinginan, yaitu:

- Arah perpindahan kalor:
  a. Perolehan kalor (*heat gain*).
  b. Kehilangan kalor (*heat loss*).
- Sumber kalor:
  a. Internal.
  b. Eksternal.
- Jenis kalor:
  a. Laten.
  b. Sensibel.

Untuk ruangan yang memperoleh panas (*heat gain*) baik panas laten maupun sensibel maka ruangan tersebut memerlukan pendinginan, sedangkan ruangan yang mengalami kehilangan panas karena temperatur udara luar lebih dingin (*heat loss*) maka ruangan tersebut memerlukan pemanasan. Secara garis besar *heat gain* meliputi:

a. Eksternal

- *Roof* (atap) : Sensibel
- *Wall* (dinding) : Sensibel
- *Glass* (kaca) : Sensibel

- *Partition* (partisi) : Sensibel
- *Ceilings* (langit-langit) : Sensibel
- *Floors* (lantai) : Sensibel

b. Internal

- *People* (orang) : Sensibel
- *Ligths* (lampu) : Sensibel
- *Power* (motor listrik) : Sensibel
- *Appliances* (alat-alat rumah tangga) : Sensibel dan laten
- *Ventilation* dan *infiltration air* : Sensibel dan laten

2.4. 1. *Heat gain* melalui atap (*roof*)

Perolehan kalor pada atap karena panas matahari dapat dihitung melalui persamaan

$$q = U.A.CLTDcorr \qquad (2.\ 12)$$

Dimana

q = perolehan kalor dari atap (Watt)

U = koefisien perpindahan panas total ($W/m^2.{}^0C$)

A = luas atap (m^2)

CLTDcorr = *Cooling Load Temperatur Difference Correction* (^0C)

Harga CLTD dikoreksi terhadap lintang dan bulan, warna permukaan, design temperatur ruangan, temperatur luar, adanya *attic fan/return duct*, sehingga mempunyai persamaan:

$$CLTDcorr = [(CLTD + LM).\ K + (25{,}5 - T_r) + (T_o - 29{,}4)]f \qquad (2.\ 13)$$

Keterangan

LM = *Latitude month*

K = faktor penyesuaian warna

T_o = temperatur *outdoor* (^0C)

T_r = temperatur ruangan (^0C)

2.4. 2. *Heat gain* melalui *wall* (dinding)

Perolehan kalor pada atap karena panas matahari dapat dihitung melalui persamaan

$$q = U.A.CLTDcorr \qquad (2.\ 14)$$

Dimana

q = perolehan panas dari dinding (Watt)

U = koefisien perpindahan panas total ($W/m^2.{}^0C$)

A = luas atap (m^2)

CLTDcorr = *Cooling Load Temperatur Difference Correction* untuk dinding (^0C)

Harga CLTD pada dinding juga perlu dikoreksi untuk hal yang sama seperti pada atap.

$$CLTDcorr = [(CLTD + LM).\ K + (25{,}5 - T_r) + (T_o - 29{,}4)] \qquad (2.\ 15)$$

2.4. 3. *Heat gain* melalui kaca (*glass*)

Pelorehan kalor melalui kaca dibagi atas panas yang diserap dan panas yang ditransmisi

- Panas yang diserap akan diinduksikan menjadi beban.

$$q = U.A.CLTDcorr \qquad (2.\ 16)$$

Dimana q = perolehan panas yang diserap dari kaca (Watt)

U = koefisien perpindahan panas kaca. ($W/m^2.{}^0C$)

A = luas kaca (m^2)

CLTDcorr = *Cooling Load Temperatur Difference Correction* untuk kaca (^0C)

- Panas yang ditransmisi/diteruskan dapat diperkirakan :

$$q = A.SC.SHGF.CLF \qquad (2.\ 17)$$

Dimana

q = perolehan panas yang ditransmisi dari kaca (Watt)

SC = koefisien peneduhan (*Shading koefisien).*

A = luas kaca (m^2)

SHGF = *Solar Heat Gain Factor* (W/m^2)

CLF = *Cooling Load Faktor*

2.4. 4. *Heat gain* melalui partisi, langit-langit dan lantai

Perolehan kalor ini disebabkan karena ada perbedaan temperatur antara ruangan yang dikondisikan dengan ruangan yang tidak dikondisikan.. Perolehan kalor ini dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$q = U.A.\Delta T \qquad (2.\ 18)$$

Dimana:

q = kalor dari partisi, langit-langit dan lantai (Watt)

U = koefisien perpindahan panas total ($W/m^2.{}^0C$)

A = luas atap (m^2)

ΔT = beda temperatur antara ruang yang dikondisikan dengan daerah yang tidak dikondisikan (^0C)

2.4. 5. Perolehan kalor melalui manusia.

Perolehan kalor dari manusia terdiri dari dua jenis yaitu kalor sensible dan kalor laten. Total panas sensibel dari manusia tidak langsung menjadi beban pendinginan. Panas sensibel ini pertama-tama diserap oleh sekelilingnya kemudian beberapa saat dikonveksi keruangan bergantung pada karakteristik termal ruangan. Beban panas sensibel dan laten dari manusia dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

- Kalor sensibel

$$q_s = n.SHG.CLF \qquad (2.\ 19)$$

Dimana:

q_s = panas sensibel dari manusia (Watt)

n = jumlah orang

SHG = *Sensible heat gain* (Watt)

CLF = *Cooling Load factor*

- Kalor Laten

$$q_L = n.LHG \qquad (2.\ 20)$$

Dimana:

q_L = panas laten dari manusia (Watt)

n = jumlah orang.

LHG = *Laten Heat Gain* (Watt)

2.4. 6. *Heat gain* dari lampu

Jumlah perolehan panas dari dalam ruangan yang disebabkan oleh penerangan tergantung dari jumlah daya yang digunakan serta jenis penerangan yang digunakan. Bila digunakan lampu pelepasan elektron (*fluorescent*), energi yang dipancarkan oleh ballast harus dihitung juga. Penerangan merupakan satu-satunya bagian beban internal yang terbesar maka dari itu diperlukan kewaspadaan dalam memperhitungkannya. Panas yang dipancarkan dari penerangan dalam ruangan merupakan bentuk radiasi bukan merupakan beban yang diperoleh secara langsung karena terjadi perlambatan waktu antara penyalaan dan sampai timbulnya beban. Untuk penyesuaian terhadap hal-hal ini telah dikembangkan persamaan rumus dari system penerangan, yaitu:

$$q = input.CLF \qquad (2.\ 21)$$

Dimana

q = kalor dari lampu (Watt)

Input = daya lampu (Watt)

CLF = *Cooling Load Factor*.

= 1 jika lampu menyala 24 jam atau unit AC dimatikan malam hari.

2.4. 7. *Heat gain* dari motor listrik

Perhitungan panas yang disebabkan karena motor listrik dapat dihitung melalui persamaan:

$$q = HG.CLF \quad (2.\ 22)$$

Dimana

q = kalor dari motor listrik (Watt)

HG = *Heat Gain* dari motor (Watt)

CLF = *Cooling Load Factor* dari motor listrik

2.4. 8. *Heat gain* dari peralatan (*appliance*)

Jika didalam ruangan terdapat peralatan yang mampu menimbulkan panas seperti komputer, TV, kulkas dan peralatan lainnya, maka peralatan tersebut perlu dimasukkan dalam perhitungan beban pendinginan dan dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini.

$$q = HG.CLF \quad (2.\ 23)$$

Dimana

q = Kalor dari peralatan (Watt)

HG = *Heat Gain* dari peralatan (laten dan sensibel) (Watt)

CLF = *Cooling Load Factor*.

= 1 jika bekerja 24 jam atau jika AC mati dimalam hari.

2.4. 9. *Heat gain* dari udara ventilasi dan infiltrasi

Masuknya udara luar kedalam ruangan mempengaruhi suhu udara dan tingkat kelembaban ruangan tersebut. Biasanya dibedakan antara pengaruh yang menyangkut dampak temperatur atau beban sensibel dan dampak kelembaban atau beban laten. Perembesan atau infiltrasi didefinisikan sebagai masuknya udara luar

tanpa kendali yang disebabkan oleh gaya-gaya alamiah atau udara luar yang menerobos masuk melalui celah yang ada sedangkan udara ventilasi adalah udara luar yang sengaja dimasukkan agar udara supply tetap segar. Keduanya menjadi *cooling load.*

- Kalor sensibel

$$q_s = 1{,}23.Q.\ \Delta t \qquad (2.\ 24)$$

Dimana

q_s = kalor sensibel dari udara infiltrasi atau ventilasi (Watt)

Q = kapasitas udara ventilasi/infiltrasi (lt/s)

Δt = Beda temperatur antara outdoor dan indoor (^{0}C)

- Kalor laten

$$q_L = 3010.Q.\ \Delta W \qquad (2.\ 25)$$

Dimana:

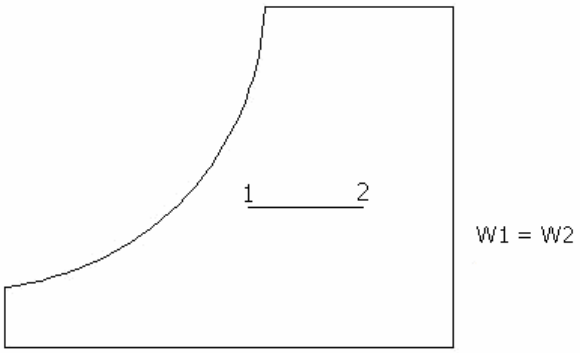
q_L = kalor laten dari udara infiltrasi atau ventilasi (Watt)

ΔW = Beda spesifik *humidity* outdoor dan indoor (kg uap air/kg udara kering)

2. 5. Macam-macam Proses Dalam Sistem Pengkondisian Udara

2.5. 1. Pemanasan dan pendinginan sederhana

Dalam proses ini udara hanya mengalami perubahan temperatur saja tanpa adanya perubahan jumlah air yang terkandung di dalam udara.

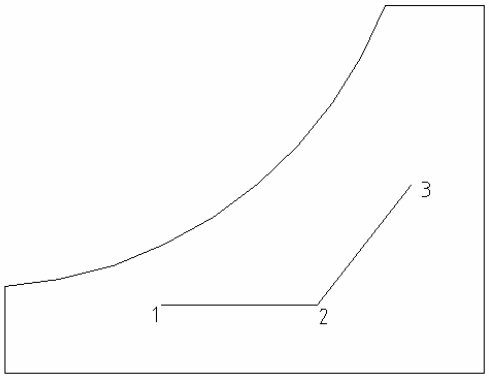


Gambar 2. 4. Proses pemanasan dan pendinginan sederhana

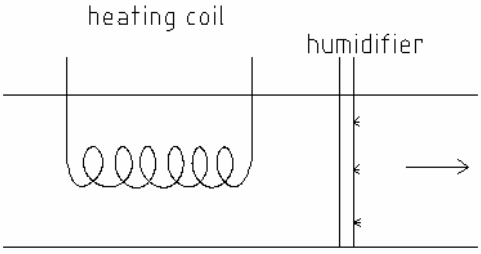
Massa udara kering dari kondisi sebelum dan sesudah masuk sistem tidak ada perubahan. $m_{a,1} = m_{a,2} = m_a$, sedangkan untuk kekekalan uap air akan seimbang $m_{w,1} = m_{w,2}$, proses ini memerlukan energi sebesar $Q = m_s(h_2 - h_1)$.

2.5. 2. Pemanasan dengan humidifikasi

Proses ini dilakukan untuk mengatasi rendahnya kelembaban setelah udara mengalami proses pemanasan sederhana. Caranya adalah dengan menyemprotkan air ke udara panas tersebut, seperti terlihat pada gambar di bawah.



(a)



(a)

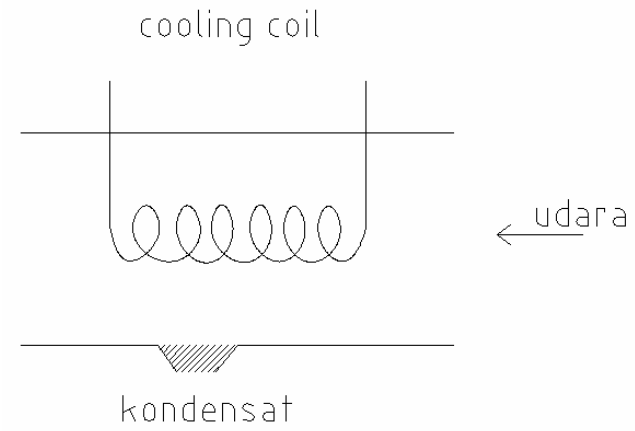
Gambar 2. 5. Pemanasan dengan humidifikasi. (a) proses pemanasan dengan humidifikasi pada grafik psychrometric. (b) skema komponen dan aliran udara

Massa udara kering dari kondisi sebelum dan sesudah masuk sistem tidak ada perubahan. $m_{a,1} = m_{a,2} = m_{a,3} = m_a$, sedangkan untuk kekekalan uap air

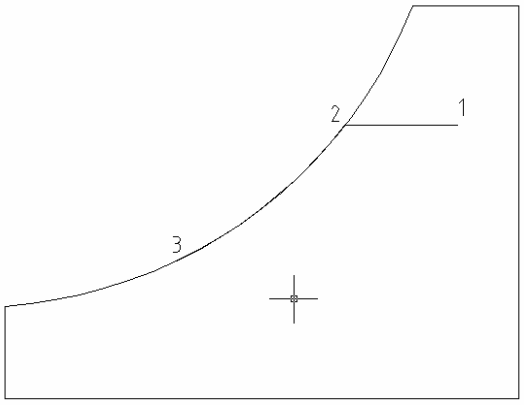
berbeda $m_{a,1}.w_1 = m_{a,2}.w_2 + m_w$, proses ini memerlukan energi sebesar $Q = m_a(h_2 - h_1)$.

2.5. 3. Pendinginan dengan penurunan kelembaban.

Pada pendinginan sederhana, kelembaban spesifiknya (w) tetap sementara kelembabannya (RH) meningkat. Jika RH tersebut terlalu tinggi maka perlu membuang sebagian uap air dari udara. Untuk melakukannya, dilakukan pendinginan hingga udara mencapai temperatur titik embun (*dew point*).



(a)



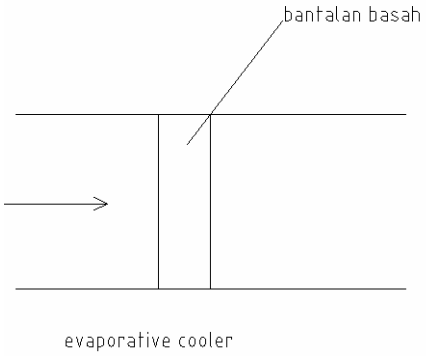
(b)

Gambar 2. 6. Pendinginan dengan penurunan kelembaban. (a) skema komponen dan aliran udara proses pendinginan dengan penurunan kelembaban. (b) gambar diagram psychrometric proses pendinginan dengan penurunan kelembaban

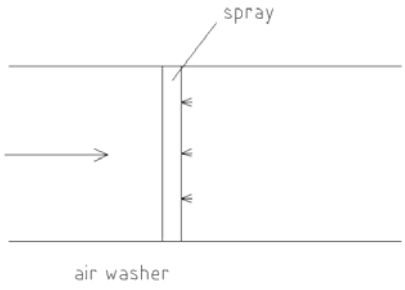
Massa udara kering dari kondisi sebelum dan sesudah masuk sistem tidak ada perubahan. $m_{a,1} = m_{a,2} = m_{a,3} = m_a$, sedangkan untuk kekekalan uap air berbeda $m_{a,1}.w_1 = m_{a,3}.w_3 + m_w$, proses ini memerlukan energi sebesar $Q = m_a(h_1 - h_2) + m_w.h_w$.

2.5. 4. Evaporative Cooling

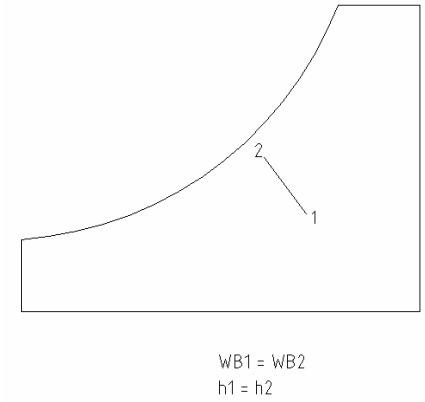
Prinsip kerjanya adalah udara yang masuk memiliki kelembaban yang rendah, maka sebagian dari air yang disemprotkan akan menguap. Energi untuk penguapan ini didapat dari aliran udara. Hal ini akan menurunkan temperatur udara sekaligus menurunkan temperatur air. Alat yang menggunakan prinsip ini contohnya adalah *air washer* dan *evaporative cooler*. Perbedaannya adalah pada *evaporative cooler* udara dilewatkan pada bantalan basah, sedangkan pada *air washer* airnya disemprotkan ke aliran udara.



(a)



(b)



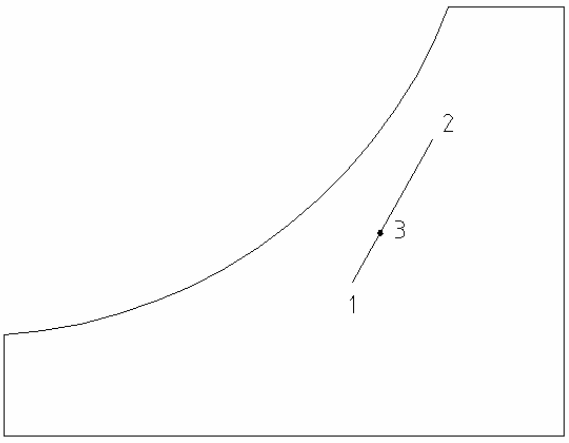
(c)

Gambar 2. 7. Proses evaporative cooling (a) komponen evaporative cooling dengan bantalan basah. (b) komponen evaporative cooling dengan sprayer. (c) proses evaporative cooling pada grafik psychromtric

2.5. 5. Pencampuran udara

Proses lain yang sering dilakukan dalam sistem pengkondisian udara adalah pencampuran udara. Prinsip ini biasanya digunakan untuk mencampurkan udara return dengan udara bersih. Pencampuran ini berlangsung dalam kondisi adiabatik dan dapat dianalisa dengan:

$$\frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1} = \frac{w_2 - w_1}{w_3 - w_1} = \frac{m_{a,1}}{m_{a,2}} \qquad (2.\ 26)$$



Gambar 2. 8. Proses pencampuran udara pada grafik psychrometric

2. 6. Sensibel *Heat* Factor (SHF)

Merupakan perbandingan antara kalor laten dan kalor sensibel.

$$SHF = \frac{\text{Sensible heat}}{\text{Total heat}} = \frac{SH}{SH + LH} \qquad (2.\ 27)$$

Keterangan:

SH = *sensible heat* (Watt)

LH = *latent heat* (Watt)

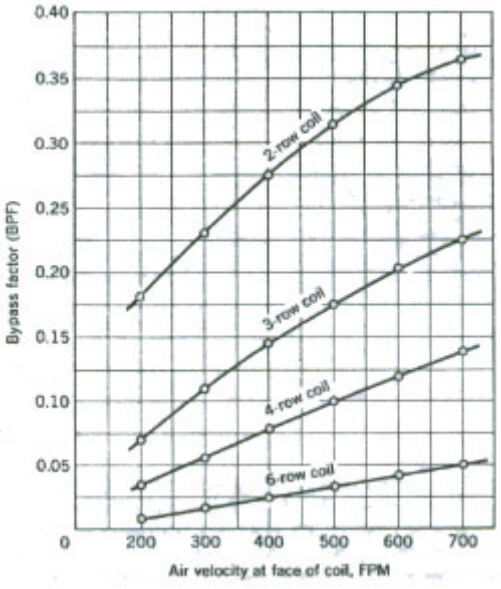
2. 7. By Pass Factor (BPF)

Udara yang dihembuskan melewati coil pendingin di evaporator dalam kenyataannya tidak sepenuhnya menyentuh coil pendingin, sehingga ada yang terlewati atau ter-by pass. Hal ini disebabkan karena faktor jumlah baris coil pendingin tersebut. Kemungkinan yang dapat terjadi dengan adanya bypass faktor yaitu:

- Temperatur udara yang meninggalkan coil pendingin lebih tinggi dari temperatur coilnya.
- Temperatur udara yang meninggalkan koil pemanas lebih rendah dari temperatur coilnya.

Jumlah udara yang lolos (by pass) dinyatakan dengan by pass faktor (BPF) dan tergantung dari:

- Konstruksi coil, semakin rapat coil maka BPF akan semakin kecil.
- Kecepatan aliran udara, semakin tinggi kecepatan udara maka semakin besar pula nilai BPF.



Gambar 2. 9. *By pass factor* koil pengkondisian udara dengan jarak fin 10-12 inch. Sumber: Norman C. Harris, Modern Air Conditoning Practice, McGraw-Hill International Book Company, 1983, p.171

Persamaan untuk penghitungan nilai BPF suatu coil

BPF untuk coil pendingin: $BPF = \frac{t_{la} - t_{coil}}{t_{ea} - t_{coil}}$ (2. 28)

BPF untuk coil pemanas: $BPF = \frac{t_{coil} - t_{la}}{t_{coil} - t_{ea}}$ (2. 29)

Efisiensi coil pemanas atau pendingin = 1-BPF (2. 30)

Ket:

t_{la} = Temperatur *leaving air* (temperatur udara yang melewati koil)

t_{ea} = Temperatu *entering air* (temperatur udara yang masuk koil)

t_{coil} = temperatur koil

2. 8. Apparatus *Dew Point*

Apparatus temperatur adalah temperatur permukaan coil. Apparatus *dew point* untuk coil pendingin dapat didefinisikan sebagai temperatur rata-rata permukaan coil.

2. 9. Sistem Kontrol Pengkondisian Udara

Fungsi dari sistem pengkondisian udara adalah mempertahankan udara dalam ruangan pada temperatur, kelembaban dan tekanan tertentu, hembusan udara yang mengalir dengan kecepatan tertentu serta jumlah udara luar (fresh air) untuk keperluan ventilasi. Pengkondisian udara memerlukan control agar kondisi yang diharapkan untuk kebutuhan tertentu dapat dipenuhi.

Peralatan dalam sistem pengkondisian udara dipilih untuk menghandle design load. Namun sebagian besar peralatan tersebut bekerja pada kondisi part load yang memerlukan energi lebih rendah dari kondisi design. Kondisi yang mempengaruhi variasi load untuk suatu gedung, yaitu:

- Orientasi gedung
- Kondisi interior dan eksterior gedung
- Tingkat hunian yang berbeda, kontinu atau intermittent.
- Internal loads
- Konstruksi gedung

2. 10. SCADA (*SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION*)

SCADA adalah suatu program yang mampu melakukan proses kontrol dan pengolahan data serta dapat diawasi dan diperhatikan sehingga apabila terjadi kemacetan ataupun terjadi kesalahan pada proses yang sedang berlangsung, maka dapat segera diketahui dengan cepat.

Untuk menjalankan program SCADA itu sendiri harus berhubungan dengan suatu program yang dinamakan INTELLUTION FIX, yang memang disediakan khusus untuk keperluan daripada program SCADA itu sendiri. Secara umum pada program SCADA, dilakukan 3 proses yaitu:

1. Input

   Pada proses ini, kita harus membuat sebuah program yang berupa gambar-gambar daripada mesin-mesin atau suatu bentuk tombol-tombol baik tombol manual, otomatis, dan tombol *on-off*. Selain itu kita juga dapat menampilkan layout tentang temperatur kenyataan dan setting temperatur yang kita inginkan. Pada pembentukan bentuk gambar tersebut kita akan banyak

berhubungan dengan program “INTELLUTION FIX”, dimana didalam program tersebut terdapat suatu fasilitas yang dapat digunakan untuk penggambaran dari gambar-gambar yang akan kita buat. Sedangkan fasilitas tersebut dinamakan “INTELLUTION FIX DRAW”.

2. Proses

   Pada proses kedua ini, kita harus memberikan atau menuliskan suatu perintah tertentu yang digunakan untuk menjalankan gambar-gambar yang telah kita buat pada INTELLUTION FIX DRAW, agar apabila digabungkan atau dihubungkan dengan hardware yang dalam hal ini adalah PLC, maka proses yang terjadi atau yang sedang berjalan dapat diawasi atau dikontrol dengan baik melalui monitor yang ada pada PC. Sehingga kita dapat mengetahui apakah ada proses yang tidak dapat berjalan atau berlangsung dengan baik.

   Perintah-perintah yang ada pada INTELLUTION FIX DRAW dinamakan COMMAND LANGUAGE yang hanya akan dimengerti dan merupakan aplikasi dari oleh program SCADA.

3. Output

   Untuk proses ini, maka kita perlu mengaplikasikan program SCADA yang telah kita buat berupa gambar-gambar yang telah dilengkapi dengan beberapa perintah yang berupa COMMAND LANGUAGE tertentu yang dihubungkan ke PLC yang bertugas untuk menjalankan secara otomatis dari proses-proses yang ada.

Untuk menjalankan program SCADA yang telah dibuat, maka kita perlu menjalankan suatu perintah “QUICKVIEW” yang terdapat dalam program INTELLUTION itu sendiri, karena apabila tidak kita jalankan dalam perintah “QUICKVIEW” maka program yang ada tidak dapat menampilkan proses yang sedang berlangsung walaupun telah dihubungkan dengan PLC.