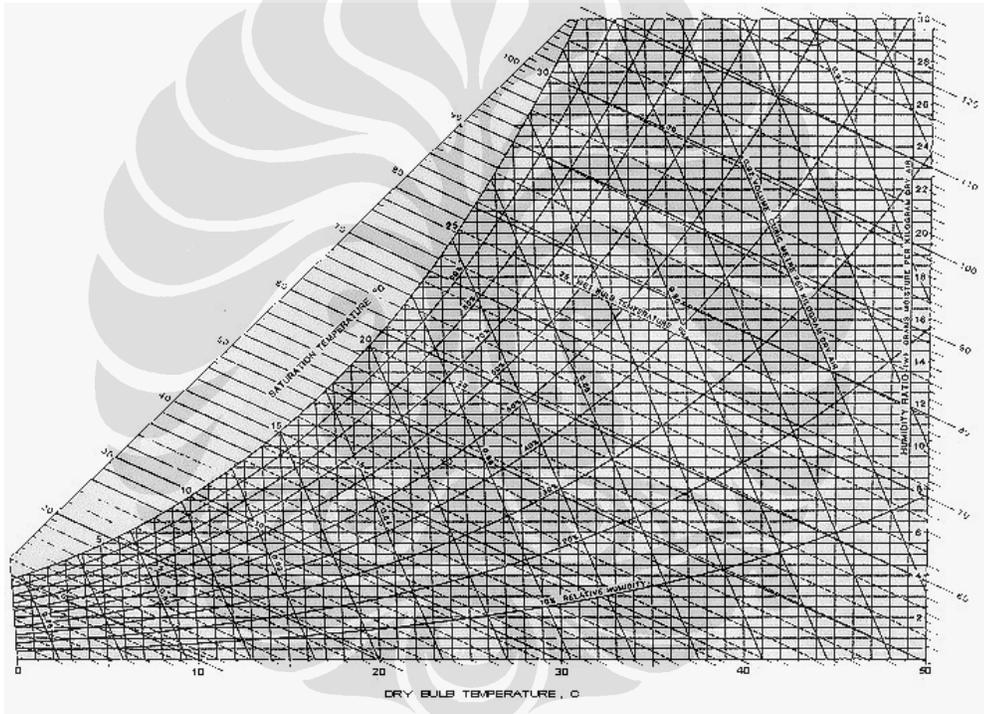


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 PSIKROMETRI

Psikrometri adalah ilmu yang mengkaji mengenai sifat-sifat campuran udara dan uap air yang memiliki peranan penting dalam menentukan sistem pengkondisian udara. Di bawah ini adalah Psychrometric Chart yang merupakan sebuah grafik yang menunjukkan suatu hubungan antara temperature, kelembaban, entalpi dan kandungan uap air.



Gambar 2.1 Psychrometric Chart [1]

Ada beberapa istilah yang dipakai dalam *Psychrometric Chart* ini, antara lain:

- *Dry Bulb Temperature (DB)*.

Dry Bulb Temperature atau temperatur bola kering adalah temperature yang terbaca pada termometer dalam kondisi udara terbuka. Temperatur bola kering menunjukkan kalor sensibel dimana perubahan yang terjadi pada temperature bola kering maka berakibat pula pada perubahan kalor sensible.

- *Wet Bulb Temperature (WB).*

Wet Bulb Temperature atau angin temperature bola basah adalah temperature yang terbaca pada termometer dengan sensor yang dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan radiasi panas.

- *Dew Point Temperature (DP).*

Temperatur *dew point* adalah temperatur udara saat saturasi atau temperatur dimana uap air mulai mengembun ketika campuran udara dan uap air didinginkan. Pada kondisi saturasi, temperatur *dew point* = temperatur bola basah = temperatur bola kering. Dan temperatur dew point menunjukkan kalor laten yang terjadi karena setiap perubahan pada temperatur *dew point* mengakibatkan perubahan kalor laten.

- *Specific Humidity (W).*

Specific Humidity atau perbandingan kelembaban dapat disebut juga sebagai Humidity Ratio dimana dapat didefinisikan massa uap air yang terkandung dalam 1 kg udara kering.

- *Relative Humidity (RH).*

*Relative Humidity* atau kelembaban temperatur adalah perbandingan antara tekanan temperature uap air yang ada dalam udara terhadap tekanan saturasi uapair pada temperature bola kering yang sama.

- *Specific Volume (SpV).*

*Volume spesifik* didefinisikan sebagai campuran udara dan uap air atau udara lembab setiap 1 kg udara kering.

## 2.2 PROSES PENGKONDISIAN UDARA

Dalam perencanaan untuk mengkondisikan udara, mesin penyegar udara berfungsi untuk mengkondisikan udara yang masuk ke dalam alat penyegar agar mencapai kondisi yang diinginkan. Dan dalam proses pengkondisian udara harus diperhitungkan pula adanya perpindahan kalor yang terjadi. Kalor yang terdapat dalam proses pengkondisian udara adalah :

- Kalor Sensibel yaitu kalor yang mengakibatkan adanya perubahan udara kering (*dry bulb temperature*) dan tidak mempengaruhi kandungan uap air dalam udara. Contoh sederhana kalor adalah pada saat

mendidihkan air. Air yang berwujud cair (fasa cair) dengan normal dipanaskan hingga 100<sup>0</sup> C dan belum berubah wujud.

- Kalor Laten yaitu kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung di dalam udara. Dengan kata lain dapat diartikan sebagai energi kalor yang tersembunyi dimana saat kalor tersebut diserap ataupun dilepaskan akan terjadi perubahan wujud. Contoh sederhana kalor laten adalah pada saat mendidihkan air. Air yang berwujud cair (fasa cair) dengan suhu 100 °C dan terus dipanaskan hingga berubah wujud (fasa gas) membentuk uap air .

Proses perubahan kondisi udara yang terjadi pada mesin penyegar udara disebut sebagai koil proses. Secara umum koil proses dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

- *Sensible Heat Change*, yang terdiri dari *Sensible Heating* dan *Sensible Cooling*. Hal ini merupakan proses dimana panas ditambahkan (*Sensible Heating*) atau dikeluarkan dari udara (*Sensible Cooling*). Sehingga temperatur udara yaitu *dry bulb temperature* akan berubah, akan tetapi tidak diikuti perubahan kandungan uap air. Nilai dari *sensible heating* dan *sensible cooling* dapat dihitung dengan persamaan (ASHRAE 2005)

$$q_s \text{ (btu / hr)} = m_a (h_2 - h_1)$$

$$= \frac{Q(\text{cfm}) \times 60(\text{min / hour})}{v(\text{ft}^3 / \text{lb})} c_p (\text{Btu / lb}^0 \text{ F}) \times (t_2 - t_1) \quad (2.1)$$

atau

$$q_s \text{ (Btu / hr)} \approx 1.08 \times Q(\text{cfm}) \times (t_2 - t_1)^0 \text{ F} \quad (2.2)$$

Dimana :  $q_s = \text{sensible heating and cooling}$

$Q = \text{Air Flow rate}$

$v = \text{Spesific volume}$

$t = \text{temperature}$

- *Latent Heat Change*, yang terdiri dari *Humidification* (pelembaban) dan *Dehumidification* (pengurangan kelembaban). Hal ini merupakan proses perubahan entalpi udara yang disebabkan karena perubahan entalpi uap air. Proses yang terjadi adalah proses penambahan uap air (*Humidification*) dan proses pengurangan uap air dari udara (*Dehumidification*).

### 2.2.1 *Apparatus Dew Point (ADP)*.

Udara yang dikondisikan di dalam ruang harus dapat mengatasi kalor dan kelembaban yang ada. Agar kalor dapat diatasi maka temperatur udara yang dikondisikan sebagai *supply air* harus lebih dingin dibandingkan  $t$  udara desain temperatur uangnya. Dan untuk mengatasi kelembaban ruangan maka *supply air* harus mencapai *dew point* yang lebih rendah dibandingkan *dew point* desain ruangan. *Apparatus Temperature* adalah temperature permukaan koil, sedangkan *Apparatus Dew Point* untuk koil pendingin itu sendiri dapat didefinisikan sebagai temperature rata-rata permukaan koil pendingin. Langkah-langkah untuk mendapatkan besarnya nilai ADPr melalui diagram Psikrometrik adalah

1. Mencari besarnya nilai SHF yang didapat dari *cooling load* ruangan yang dikondisikan.
2. Menarik garis lurus dari besarnya nilai SHF dengan titik referensi (24°C dan 50 % RH) pada diagram Psikrometrik.
3. Dari titik kondisi ruangan misalnya 25°C dan 40 % RH ditarik garis yang sejajar dengan garis SHF-titik referensi (garis referensi), hingga memotong garis temperatur bola basah (*Wet bulb*). Perpotongan titik tersebut merupakan besarnya nilai ADPr.

### 2.3 *Perhitungan Cooling Load*

Dalam perancangan untuk menghitung *cooling load* digunakan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) atau CLF (*Cooling Load Factor*) dari buku ASHRAE. Tahap awal harus mengetahui data-data seperti tata letak, posisi bangunan, jam kerja, dan kondisi ruangan yang akan dikondisikan. Secara garis besar dibagi menjadi dua sumber kalor, yaitu :

- Internal yaitu manusia, lampu, motor listrik, alat-alat rumah tangga, udara ventilasi dan infiltrasi.
- Eksternal yaitu dari atap, dinding, kaca, partisi, langit-langit dan lantai

Berikut ini merupakan beberapa persamaan untuk menghitung *internal cooling load*

- kalor akibat jumlah orang

$$Q_s = q_s / person(table 2.1) \times CLF \times N_{people} \quad (2.3)$$

- kalor akibat beban lampu

$$q_s (Btu / hr) = 3412 (Btu / W * h) \times CLF \times W_s (table 2.2) \quad (2.4)$$

Tabel 2.1 *Heat gain from people* [2]

All values in Btu/h per person		Sensible Heat Gain	Latent Heat Gain	Total Heat Gain
Activity	Level			
Seated	At rest	245	105	350
Seated	Light work	245	155	400
Office work	Moderate	250	200	450
Standing	Walking	250	250	500
Light	Bench work	275	475	750
Nightclub	Dancing	305	545	850
Heavy	Work	580	870	1450

Tabel 2.2 *Heat gain for equipments* [2]

	Continuous	Average	Idle
<b>Computer</b>			
—15 in. monitor	110	-	20
—17 in. monitor	125	-	25
—19 in. monitor	135	-	30
<b>Laser printer</b>			
—Desktop	130	100	10
—Small office	320	160	70
—Large office	550	275	125
<b>Fax machine</b>		30	
<b>Other office equipment</b>		25% nameplate (watts $\approx$ volts $\times$ amps)	
<b>Coffee maker</b>		1050 W + 1540 Btu/h latent	
—10 cup			
<b>Microwave oven</b>		400	
—1 ft <sup>3</sup>			
<b>Refrigerator</b>		300	
—15 ft <sup>3</sup>			
<b>Water cooler</b>		350	
—8 gal/hr			
1/4 hp motor	270		
3/4 hp motor	750		
1 hp motor	930		
10 hp motor	8500		
(W = 746 $\times$ hp/ $\eta$ Motor)			

## 2.4 PERPINDAHAN KALOR

Bila dalam suatu sistem terdapat gradien suhu, atau bila dua sistem yang temperaturnya berbeda disinggungkan, maka akan terjadi perpindahan energi. Proses dengan mana transport energi itu berlangsung disebut sebagai perpindahan kalor. Perpindahan energi sebagai kalor adalah selalu dari medium bertemperatur tinggi ke medium bertemperatur rendah, dan perpindahan kalor tersebut akan berhenti ketika kedua medium telah mencapai temperatur yang sama (setimbang). Kalor dapat dipindahkan dalam tiga jenis cara yang berbeda yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi.

### 2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Konduksi adalah proses dengan mana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur lebih tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran kalor konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, temperatur elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi temperatur maupun energi dalam elemen zat. Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul di suatu daerah yang berdekatan, maka molekul-molekul yang memiliki energi yang lebih besar akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bertemperatur lebih rendah. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastik (misalnya dalam fluida) atau dengan pembauran (difusi) elektron-elektron yang bergerak secara lebih cepat dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah (misalnya dalam logam). Jika beda temperatur dipertahankan dengan penambahan dan pembuangan kalor di berbagai titik, maka akan berlangsung aliran kalor yang terus-menerus dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin.

Laju perpindahan panas dinyatakan dengan hukum Fourier (Jansen, Ted J., 1993)

$$q = -k.A \frac{dT}{dx} \text{ W (Watt)} \quad (2.1)$$

Dengan :  $k$  = konduktivitas termal (W/m.K)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$dT/dx$  = gradien temperatur (K/m)

Nilai minus, (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah ke arah temperatur yang lebih rendah.

#### 2.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah ilmu tentang proses perpindahan kalor diakibatkan oleh aliran fluida. Perpindahan kalor konveksi, secara jelas, adalah suatu bidang pada antarmuka diantara dua bidang ilmu; perpindahan kalor dan mekanika fluida. Untuk alasan ini, ilmu tentang permasalahan perpindahan kalor konveksi harus berdasarkan pemahaman prinsip perpindahan kalor dasar dan mekanika fluida<sup>4</sup>.

Konveksi juga merupakan proses angkutan energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas.

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang temperaturnya di atas temperatur fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan temperatur dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. Energi sebenarnya disimpan di dalam partikel-partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut.

Perpindahan kalor konveksi dibagi dua yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan mencampur berlangsung sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien temperatur maka disebut konveksi bebas. Dan bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas maka prosesnya disebut dengan konveksi paksa. Keefektifan perpindahan kalor konveksi tergantung sebagian besarnya pada gerakan mencampur fluida.

Pada umumnya perpindahan panas konveksi dinyatakan dengan hukum pendinginan Newton : (Jansen, Ted J., 1993)

$$q = hA(T_d - T) \text{ W (Watt)} \quad (2.2)$$

Dengan :  $h$  = koefisien konveksi ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

$A$  = luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

$T_d$  = temperatur dinding (K)

$T$  = temperatur udara (K)

