

# PSIKROMETRI UDARA TAMBANG

Disampaikan pada Program Alih Teknologi Tambang Dalam 'Coal Mining Technology Enhancement Project at OMTc', Kerjasama Departemen Energi & Sumber Daya Mineral Republik Indonesia dengan JICA.

Tanggal : 25 Januari 2002

Oleh :

Drs. Bambang Heriyadi, MT

BANK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADJARAN	
DI TERIMA ISL :	18 Feb 2002
SUMBER / MARGA :	H 1
KOLEKSI :	K1
NO. INVENTARIS :	66/H/2002 - p
KLASIFIKASI :	622.4 1/5x - p



**OMBILIN MINES TRAINING COLLEGE**  
SAWAHLUNTO

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur pertama-tama penulis haturkan keharibaan Allah SWT. Karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya jualah penulis dapat menyelesaikan pembuatan makalah 'Psikrometri Udara Tambang' ini.

Makalah ini dibuat dengan maksud untuk menyebarluaskan informasi pada khalayak umum, khususnya mereka yang berkecimpung pada pekerjaan yang membutuhkan perhatian lebih pada masalah udara disekitar lingkungan pekerjaan. Terlebih lagi pada pekerjaan tambang bawah tanah dan penerowongan.

Makalah ini berisikan hal-hal yang berkaitan dengan sifat-sifat udara seperti volume, tekanan, kandungan energi panas, dan kandungan air pada udara.

Penulis menyadari bahwa makalah ini belumlah sempurna, oleh karena itu saran dan masukan sangat penulis harapkan untuk perbaikan selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga makalah ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Sawahlunto, 25 Januari 2002

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
A. PENDAHULUAN .....	1
B. DEFINISI .....	1
C. SUMBER-SUMBER PANAS .....	3
1. Kompresi Adiabatik .....	6
2. Peralatan Listrik Mekanik .....	7
3. Aliran Panas Dinding Batu .....	8
4. Panas Dari Peledakan .....	9
D. TABEL PSIKROMETRI .....	10
E. GRAFIK PSIKROMETRI .....	12
F. DASAR-DASAR PROSES PSIKROMETRI .....	18
G. CONTOH SOAL .....	20
DAFTAR PUSTAKA .....	24

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 : Temperatur Maksimum Batuan Induk .....	9
Tabel 2 : Potensi Panas Dari Berbagai Jenis Bahan Peledak .....	10
Tabel 3 : Koreksi untuk Grafik Psikrometri Kondisi Temperatur dan Tekanan Normal .....	15
Tabel 4 : Koreksi untuk Grafik Psikrometri Kondisi Barrometer yang Tidak Standar ..	17

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 : Hubungan antara Efisiensi Kerja dan Temperatur Efektif . . .	4
Gambar 2 : Reaksi Fisiologis Terhadap Panas. . . . .	5
Gambar 3 : Grafik Temperatur Efektif . . . . .	6
Gambar 4 : Konstruksi Grafik Psikrometri dan Lokasi Suatu State Point	13
Gambar 5 : Grafik Psikrometri Untuk Kondisi Temperatur dan Tekanan Normal . . . . .	14
Gambar 6 : Grafik Psikrometri Untuk Tekanan Tinggi. . . . .	16
Gambar 7 : Perubahan Sifat Termodinamik Pada kurva Psikrometri . . .	19
Gambar 8 : Proses Pengontrolan Udara Pada Kurva Psikrometri . . . . .	19

# PSIKROMETRI UDARA TAMBANG

Oleh : Drs. Bambang Heriyadi, MT.

## A. PENDAHULUAN

Udara segar yang dialirkan kedalam tambang bawah tanah akan mengalami beberapa proses seperti penekanan atau pengembangan, pemanasan atau pendinginan, pelembaban atau pengawalembaban. Oleh karena itu, maka; volume, tekanan, kandungan energi panas dan kandungan airnya juga akan mengalami perubahan. Ilmu yang mempelajari proses perubahan sifat-sifat udara seperti temperatur dan kelembaban disebut psikrometri.

## B. DEFINISI

Dalam upaya mendapatkan kesamaan pengertian berkenaan dengan Psikrometri, perlu kiranya diberikan beberapa definisi penting berikut ini.

Termodinamika : ilmu yang mempelajari transformasi energi

Hukum Termodinamika 1 : Hukum transformasi energi yang berhubungan dengan kuantitas udara

Hukum Termodinamika 2 : Hukum transformasi energi yang berhubungan dengan kualitas udara.

Udara standar : Adalah udara yang mempunyai bobot isi sebenarnya 0,075 lb/cuft pada temperatur 70 °C F dan tekanan 1 Atm atau 14,7 psi (1,293 kg/m<sup>3</sup>).

Udara bebas : adalah udara yang mempunyai bobot isi sebenarnya 1,0 kg/m<sup>3</sup>

Tekanan dan Temperatur Normal : Temperatur normal adalah 0° C dan tekanan normal adalah 14,7 psi (101,325 kPa sama dengan 1 Bar)

Tekanan Ukur (p) : Adalah tekanan yang dibaca pada alat ukur tekanan dan menunjukkan besarnya tekanan sebenarnya berbeda dari tekanan atmosfer pada suatu kondisi (kPa).

Tekanan absolut : Adalah tekanan ukur + tekanan atmosfer atau barometer (pb)

Tekanan Uap : Adalah tekanan yang dapat diberikan oleh uap air

Tekanan uap-jenuh : Adalah tekanan maksimum yang dapat diberikan oleh uap air di dalam suatu campuran udara dan uap air yang besarnya merupakan fungsi dari temperatur.

Temperatur Cembung kering (td): Temperatur udara yang ditunjukkan oleh termometer yang cembung air raksanya dilindungi oleh suatu tabung agar tidak menyerap radiasi berlebihan.

Temperatur Cembung basah(tw): Temperatur udara yang ditunjukkan oleh termometer yang cembung air raksanya diselimuti oleh kain tipis basah dan berada pada aliran udara dengan kecepatan paling tidak 10 ft/detik (3m/detik).

Temperatur Penjenuhan Adiabatik : Dalam proses penjenuhan adiabatik dimana penurunan panas sensibel dari udara adalah sama dengan panas latent dari penguapan air, dan temperatur akhir yang dicapai pada proses penjenuhan ini disebut temperatur penjenuhan adiabatik. Air yang diberikan untuk proses penjenuhan harus pada temperatur jenuh. Temperatur penjenuhan adiabatik kurang lebih sama dengan temperatur cembung basah.

Temperatur cembung basah termodinamik : Adalah temperatur yang selalu tetap selama proses adiabatik. Temperatur-temperatur cembung basah yang diplot pada grafik psikrometri sebenarnya adalah temperatur-cembung basah adiabatik.

Temperatur Titik Embun: Adalah temperatur dimana atmosfer tidak jenuh harus didinginkan pada tekanan tetap agar bisa menjadi jenuh atau agar kondensasi bisa mulai.

Entalpi (h) : Panas total udara segar yang merupakan penjumlahan panas udara kering dan uap air persatuan berat kering udara Btu/lb (kJ/kg).

Entropi (s) : Perbandingan antara jumlah panas yang ditambahkan ke udara segar terhadap temperatur absolut saat udara panas tersebut ditambahkan Btu/lb<sup>o</sup>F (kJ/kg<sup>o</sup>C).

Panas spesifik (c) : Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu udara 1 derajat persatuan massa. Biasanya diberikan dalam tekanan tetap (Cp) dengan satuan Btu/lb<sup>o</sup>F (kJ/kg<sup>o</sup>C).

Kelembaban spesifik apparent (w) : Massa uap air yang dikandung per satuan massa udara kering lb/lb (kg/kg).

Kelembaban spesifik sebenarnya (TSH) : Massa uap air per satuan massa udara segar lb/lb (kg/kg).

Kelembaban relatif (φ) : Perbandingan antara tekanan uap air terhadap tekanan uap air jenuh pada temperatur cembung kering (%).

Panas sensibel : Panas yang mengubah temperatur suatu zat bila ditambahkan atau dikurangi Btu/lb (kJ/kg).

Panas latent : Panas yang tidak mempengaruhi temperatur tetapi mengubah fasa suatu zat bila ditambahkan atau dikurangi Btu/lb (kJ/kg).

### C. SUMBER-SUMBER PANAS

Ventilasi digunakan untuk memenuhi persyaratan kenyamanan kerja di tambang bawah tanah yang kelanjutannya dapat meningkatkan efisiensi dan produksi. Panas dan kelembaban mempengaruhi manusia dalam beberapa hal antara lain :

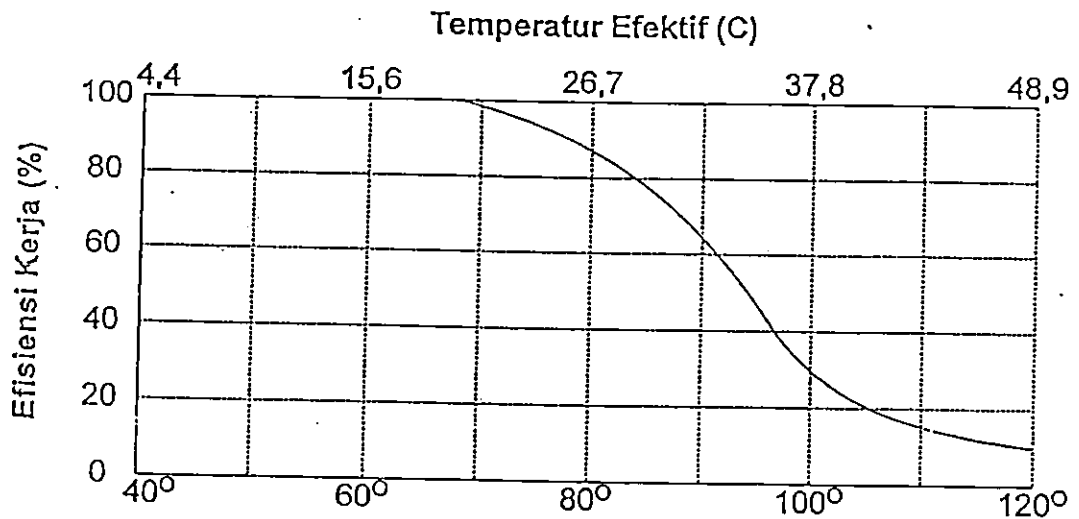
- Menurunkan efisiensi
- Mampu menimbulkan kecerobohan dan kecelakaan
- Menyebabkan sakit dan kematian.

Setelah temperatur mencapai tingkat tertentu, seseorang akan kehilangan efisiensinya, dan bila temperaturnya naik lagi maka dia akan mengalami gangguan fisiologi. Tubuh manusia memiliki keterbatasan dalam menerima panas sebelum sistem metabolismenya berhenti.

Efisiensi kerja seseorang bergantung langsung kepada temperatur ambient dan akan berkurang/menurun bila temperaturnya berada diluar rentang 68 - 72 °F. hubungan antara efisiensi kerja dengan temperatur efektif dapat dilihat seperti pada gambar 1 .

Dalam kondisi panas, tujuan ventilasi adalah mengeluarkan hawa panas dan uap air dengan laju yang sesuai, sehingga temperatur dan kelembaban udara yang dikondisikan memungkinkan pekerja juga melepaskan panas tubuhnya saat bekerja. Kedua faktor tersebut (panas dan kelembaban) harus dikondisikan secara bersamaan.



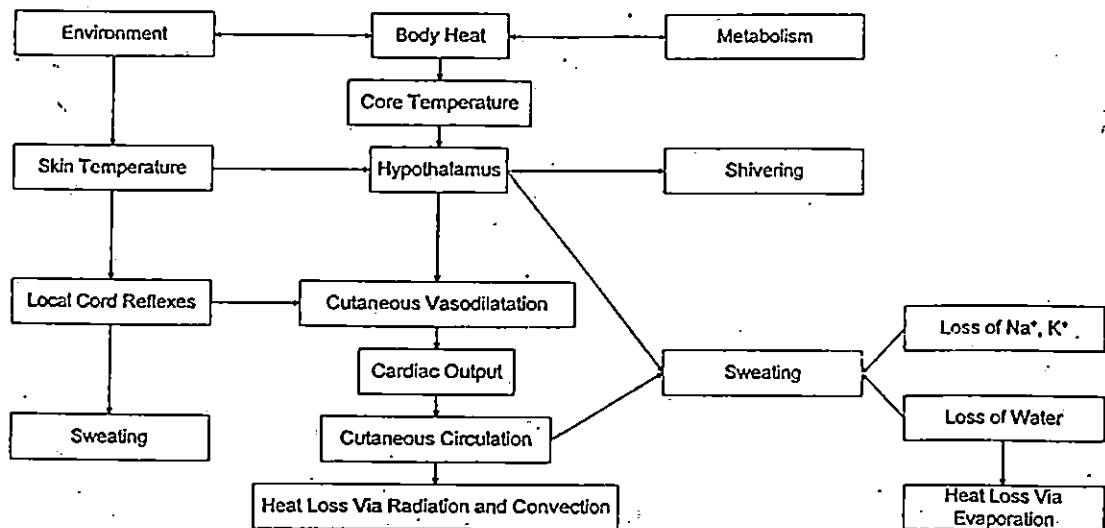


Gambar 1

Hubungan antara Efisiensi Kerja dan Temperatur Efektif

Tubuh manusia bereaksi terhadap panas dan selalau mencoba untuk mempertahankan suhunya sekitar 37 °C dengan cara mengeluarkan panas melalui cara konveksi, radiasi dan evaporasi. Namun demikian tubuh manusia akan menerima panas kembali begitu produksi metabolismenya naik, atau menyerap panas dari lingkungannya, dan bisa juga kombinasi kedua faktor tersebut. Sistem syaraf sentral akan selalu bereaksi untuk menjalankan mekanisme pendinginan secara alamiah.

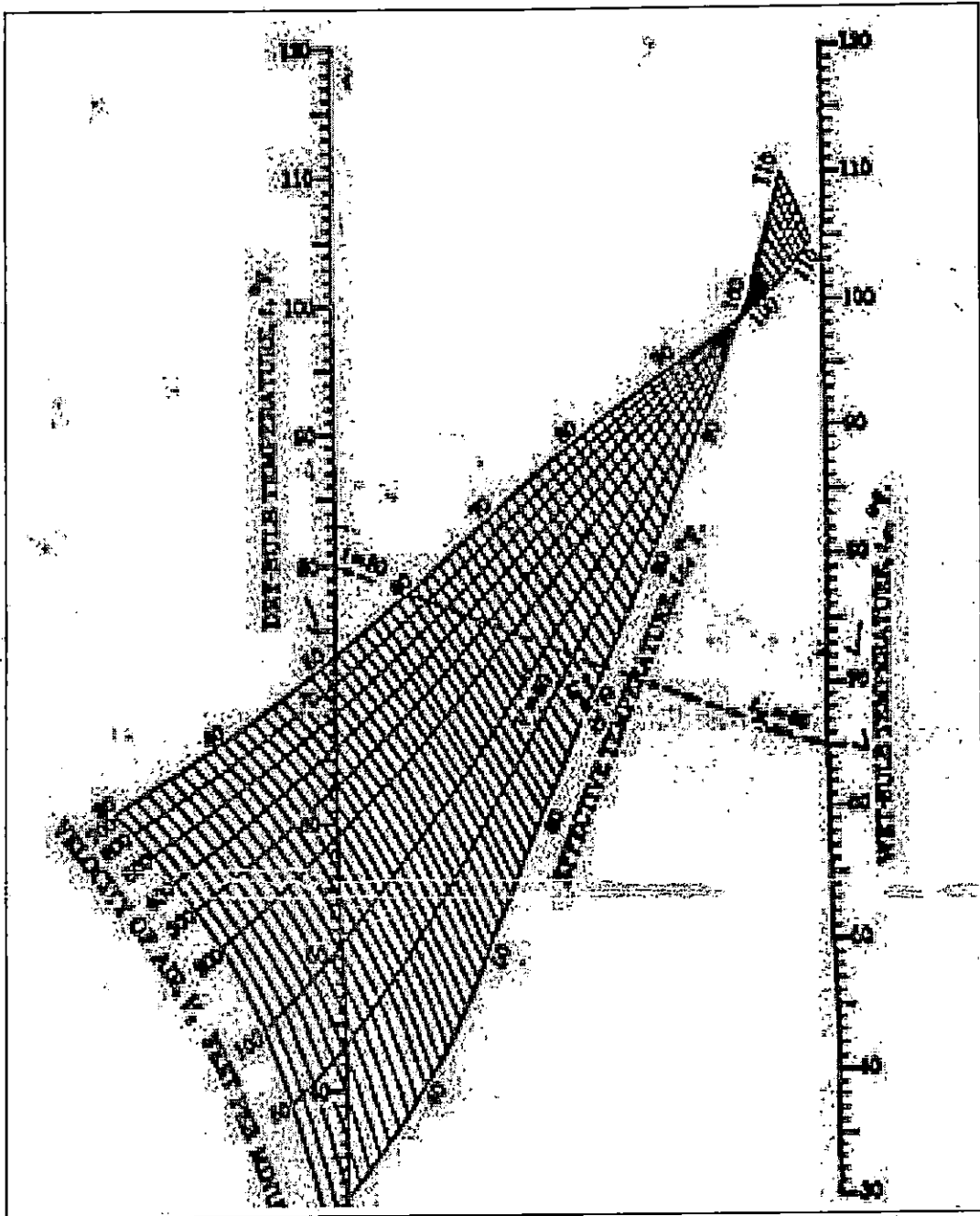
Akan tetapi, bila syaraf sentral tidak dapat bekerja karena satu sebab dan lainnya, maka hal ini akan dapat menyebabkan sakit dan kematian (gambar 2). Bila seseorang istirahat di dalam ruangan dengan kondisi udara jenuh, maka batas kemampuannya untuk beradaptasi hanya akan mencapai temperatur 90 °F (32 °C). namun bila ruangan tersebut dialiri udara dengan kecepatan 200 fpm maka batas temperaturnya dapat naik hingga 95 °F (35 °C). Sedangkan temperatur normal untuk seseorang dapat bekerja dengan nyaman adalah 26 – 27 °C.



Gambar 2  
Reaksi Fisiologis Terhadap Panas

Perbedaan antara temperatur cembung kering dan cembung basah menyatakan faktor kenyamanan di dalam udara lembab. Agar seseorang dapat bekerja dengan nyaman di lingkungan udara dengan kelembaban relatif 80 % diperlukan perbedaan  $t_d - t_w$  sebesar  $5^\circ\text{F}$  ( $2,8^\circ\text{C}$ ).

Kecepatan aliran udara merupakan faktor utama dalam mengatur kenyamanan lingkungan kerja. Kecepatan aliran udara sebesar 150 – 500 fpm ( 0,8 – 2,5 m/detik) dapat memperbaiki tingkat kenyamanan ruang kerja yang panas dan lembab. Dalam menduga temperatur efektif dari suatu kondisi  $t_d - t_w$  serta kecepatan aliran udara tertentu dapat menggunakan grafik yang ditunjukkan pada gambar 3 berikut:



Gambar 3  
Grafik Temperatur Efektif

### 1. Kompresi Adiabatik

Bila kolom udara menurun di dalam suatu vertikal shaft, tekanannya akan menaik sesuai dengan beratnya. Hal ini akan menyebabkan temperatur udara menaik dan prosesnya dianggap adiabatik bila kandungan uap air tetap, aliran udara tidak akan mengalami gesekan, dan tidak ada perpindahan panas antara udara dengan lingkungannya (batuan). Sudah barang tentu hal ini tidak pernah terjadi di

alam. Kenaikan panas akibat 'autocompression' sangat besar, sebagai contoh suatu tambang emas di Afrika Selatan yang bekerja pada kedalaman 8.000 ft (2438,8 m) menimbulkan autokompresi sebesar 1 juta Btu/menit (17.550 kw) atau memerlukan refrigerasi sebanyak 5.000 ton/hari. Secara teoritik, bila udara standard sebanyak 100.000 cfm (47,19 m<sup>3</sup>/det) dimasukkan kedalam tambang bawah tanah sedalam 1.000 feet (304,8 m), maka banyaknya refrigerasi yang dibutuhkan adalah:

$$100.000 \frac{\text{ft}^3}{\text{menit}} \times 0,075 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times 1.285 \frac{\text{Btu}}{\text{lb/1.000 ft}} \times 1.000 \text{ ft}$$

$$9.637 \text{ Btu/menit} = 48,2 \text{ ton refrigerasi/hari (169,5 kw)}$$

Begitu udara mengalir ke bawah vertikal shaft, tanpa ada perpindahan panas antara vertikalshaft dengan udara luar dan tidak ada penguapan, udara sebetulnya ditekan seperti bila kompresor menekan udara. Temperatur udara kering naik 5,4 °F (3,02 °C) setiap perubahan kolom udara 1.000 feet.

Setiap penurunan elevasi sebesar 778 feet, ekuivalen dengan penambahan panas sebesar 1 Btu (0,252 kcal). Dan untuk udara kering, perubahan temperatur cembung kering adalah :  $1/(0,24 \times 778) = 0,00535^\circ\text{F}/\text{ft}$  (0,00983 °C/m) atau sama dengan 1 °F/187 ft (1 °C/102 m).

Aliran udara kebawah shaft akan menaikkan temperatur dan bobot isinya sesuai dengan kedalaman. Maka kebutuhan ventilasi akan meningkat dengan semakin dalamnya aktivitas penambangan. Faktor lainnya dari kompresi adiabatik adalah kenaikan temperatur cembung kering udara begitu mengalir melalui fan. Besarnya kurang lebih 0,45 °F (0,25 °C) per 1 inchi air head statik. Fan yang biasa dipakai di tambang bawah tanah mampu menekan hingga 10 inchi air head statik.

## 2. Peralatan Listrik Mekanik

Jumlah panas total yang dikeluarkan oleh peralatan listrik mekanik ke udara tambang bawah tanah tergantung dari besarnya daya yang dipakai dan bentuk kerja yang dilakukan. Peralatan yang banyak dipakai di tambang bawah tanah adalah listrik, diesel, dan tekanan udara. Kesemua jenis peralatan tersebut banyak

menggunakan dayanya untuk mengatasi masalah beban gesek dan rugi-rugi listrik yang akhirnya dikonversikan menjadi bentuk panas.

Panas yang dihasilkan oleh peralatan diesel tambang bawah tanah ekuivalen dengan sekitar 90 % dari nilai kalor bahan bakar yang dikonsumsi. Angka ini relatif sama untuk berbagai kondisi kerja mesin, baik dalam keadaan tidak berbeban maupun berbeban. Nilai kalor bahan bakar solar adalah 140.200 Btu/gallon (9.334 kcal/liter). Untuk kepentingan praktis nilai kalor solar sebesar 125.000 Btu/gallon (8.322 kcal/liter) sering dipakai.

Peralatan listrik, seperti substation atau trafo merupakan sumber panas yang cukup berarti. Sekitar 4 % energinya keluar sebagai panas. Pompa non-submersibel bisa mengeluarkan panas sebanyak 15 % dari energi inputnya.

### 3. Aliran Panas Dinding Batu

Persamaan umum aliran panas melalui dinding dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = kA \cdot dt/dL$$

Dimana :

Q	= panas yang dialirkan, Btu/jam
A	= luas daerah dinding yang mengeluarkan panas ft <sup>2</sup>
K	= konduktivitas panas, biasanya relatif tetap untuk satu jenis batuan. Angkanya berbeda menurut kandungan air dan susunan perlapisan, Btu-in/ft <sup>2</sup> ·jam°F
dt	= perbedaan temperatur, °F
dL	= ketebalan batuan yang mengeluarkan panas, inchi

Karena aliran panas dari dinding merupakan satu-satunya sumber panas yang masuk ke tambang, maka penentuan laju pengeluaran panasnya secara vertikal & horizontal tidak dapat ditentukan secara teliti. Dalam penentuan temperatur batuan biasanya batas kedalaman minimum 50 feet dianggap sebagai awal perhitungannya.

Tabel 1 berikut memberikan gambaran temperatur maksimum batuan induk pada berbagai tambang dalam.

Tabel 1 . Temperatur Maksimum Batuan Induk

Tambang	Kedalaman		Temperatur	
	(ft)	(m)	(°F)	(°C)
Kolar Gold Field India	11000	3353	152	66.7
South Africa	10000	3048	125-130	51.7-54.4
Morro velho, Brazil	8000	2438	130	54.4
North Broken Hill, Australia	3530	1076	112	44.4
Great Britain	4000	1219	114	45.6
Bralorne, B.C. Canada	4100	1250	112.5	50.3
Kirkland Lake, Ont.	4000-6000	1219-1829	66-81	18.9-27.2
Falconbridge Mine, Ont	4000-6000	1219-1829	70-84	21.1-28.9
Lockerby Mine, Ont.	3000-4000	914-1219	67-96	19.4-35.6
Levark Borehole (Inco), Ont	7000-10000	2134-3048	99-128	37.2-53.3
Garson Mine, Ont.	2000-5000	610-1524	54-78	12.1-25.6
Lake Shore Mine, Ont.	6000	1829	73	22.8
Holinger Mine, Ont.	4000	1219	58	14.4
Creighton Mine, Ont.	2000-10000	610-3048	60-138	15.6-58.9
Superior, Arizona	4000	1219	140	60.0
San Manuel, Arizona	4500	1372	118	47.8
Butte, Montana	5200	1585	145-150	60.8-65.6
Ambrosia Lake, NM	4000	1219	140	60.0
Brunswick Ni. 12 New.	3700	1128	73	22.8
Brunswick, CA				
Belle Isle Salt Mine, LA	1400	427	88	31.1

#### 4. Panas Dari Peledakan

Panas peledakan merupakan panas singkat yang akibatnya bisa membuat lingkungan udara di front kerja menjadi relatif lebih panas dari pada tempat sekitarnya. Oleh karena itu aliran udara dapat berbalik kembali ke front kerja, tempat dimana peledakan baru saja terjadi. Konsekuensinya debu akibat bongkaran batuan tidak terbawa keluar.

Hal lain yang mungkin juga terjadi dari aktivitas peledakan adalah meningkatnya uap air di sekitar front kerja tersebut. Pada tabel 2 berikut ditunjukkan nilai-nilai kalor dari berbagai macam bahan peledak:

Tabael 2 Potensi Panas Dari Berbagai Jenis Bahan Peladak

Bahan Peledak	Btu/lb	Q (kJ/kg)	Q (kal/gram)
Nitroglycerin	2555	5943	1420
60 % Straight Dynamite	1781	4143	990
40 % Straight Dynamite	1673	3891	930
100 % Straight Gelatin	5219	5859	1400
75 % Straight Gelatin	2069	4812	1150
40 % Straight Gelatin	1475	3431	820
75 % Amonia Gelatin	1781	4142	990
40 % Amonia Gelatin	1439	3347	800
Semi Gelatin	1691	3933	940
AN-I-o 94.5/5.5	1601	3724	890
AN-FO 94.3/5.7	1668	3880	927
AN-AL-Water	1979-2159	4603-5022	1100-1200

#### D. TABEL PSIKROMETRI

Penentuan sifat-sifat psikrometri suatu udara pada kondisi tertentu disebut titik keadaan (state point) dan dapat ditentukan dari temperatur cembung kering dan temperatur cembung basah suatu kondisi tekanan atmosfer tertentu:

Perhitungan sifat-sifat psikrometri udara dapat dilakukan dengan menggunakan tabel 3. Tabel ini yang disebut juga tabel uap, yang menyediakan data sifat-sifat udara dalam kondisi kering dan jenuh. Sifat-sifat pada suatu titik keadaan, biasanya udara basah, tidak kering dan jenuh, dapat dihitung. Beberapa contoh persamaan yang digunakan pada perhitungan psikrometri diberikan berikut ini:

Contoh 1.:

Diberikan :  $t_d$ ,  $t_w$ , dan  $p_b$ .

Tentukan :

- Tekanan uap jenuh pada  $t_d$  dan  $p_s$
- Tekanan uap jenuh pada  $t_w$  dan  $p_s'$
- Kelembaban spesifik penjenuhan pada  $t_d$  dan  $W_s$ .

Bila tabel uap tidak tersedia, gunakan persamaan berikut untuk menghitung tekanan uap jenuh.

Tekanan uap jenuh pada  $t_d$ ,  $p_s$

$$P_s = 0,18079 \exp. ((17,27t_d - 552,64) / (t_d + 395,14)) \text{ in Hg.}$$

Tentukan semua parameter pada titik keadaan :

1. Tekanan Uap  
 $P_v = p_s' - ((p_b - p_s')(t_d - t_w)) / (2.800 - 1,3 t_w)$  in Hg.
2. Kelembababn relatif :  $\phi = (W/W_s) \times 100 \%$
3. Kelembaban spesifik :  $W = 0,622 (p_v / (p_b - p_v))$  lb/lb udara kering
4. Derajat Kejenuhan:  $\mu = (W/W_s) \times 100 \%$
5. Volume spesifik :  $v = (RT_d/p_a)$  ft<sup>3</sup>/lb.
6. Bobot isi udara (udara basah);  $w = (1/v (W + 1))$  lb/ft<sup>3</sup>.  
 Atau ;  $w = (1.325/T_d (p_b - 0,378p_s'))$  lb/ft<sup>3</sup>.
7. Entalpi :  $(h) = h_a + h_v = c_p t_d + W (h_{fg} + h_f)$

$$h = 0,24 t_d + w (1.060 + 0.45 t_d) \text{ Btu/lb udara kering.}$$

Contoh 2.:

Udara dengan  $t_d = 70$  °F (21,1 °C),  $t_w = 50$  °F (10,0 °C),  
 $p_b = 29,921$  in Hg (101,04 kPa)

Menurut tabel 1:

1. Pada  $t_w$  bas  $P_s' = 0.3624$  in Hg, dan  
 $P_s = 0.7392$  in Hg

2. Tekanan Uap :

$$P_v = 0,3624 - \frac{(29,921 - 0,3624)(70 - 50)}{2.800 - (1,3)(50)}$$

$$= 0,1463 \text{ in Hg.}$$

Atau :

$$P_v = 0,3624 - 0,00036 (29,921 - 0,3624)(70 - 50)$$

$$= 0,1496 \text{ in Hg.}$$

3. Kelembaban relatif

$$\phi = (p_v/p_s) \times 100 \% = (0.1463/0.7392) \times 100 \% = 19,8 \%$$



4. Kelembaban spesifik :

$$W = ((0,622)(0,1463)/(29,921 - 0,1463)) = 0,00306 \text{ lb/lb}$$

5. Derajat kejenuhan :

$$W_s \text{ pada } t_d = 70 \text{ }^\circ\text{F} (21,1 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,01582 \text{ kg/kg}$$

$$\mu = ((0,00306)/(0,01582)) \times 100 \% = 19,3 \%$$

6. Spesifik Volume :

$$P_a = P_b - P_v = 29,921 - 0,1463 = 29,775 \text{ in Hg.}$$

$$v = ((53,3)(460 + 70)) / ((29,775)(0,491)(144)) = 13,42 \text{ ft}^3/\text{lb.}$$

7. Bobot isi udara :

$$W_a = (1/13,42)(0,00306 + 1) = 0,0747 \text{ lb/ft}^3.$$

Atau :

$$W_a = ((1,325/\text{td})(P_b - 0,378 p_v'))$$

$$W_a = ((1,325/530)(29,921 - 0,378 \times 0,1463)) = 0,0747 \text{ lb/ft}^3$$

8. Entalpi

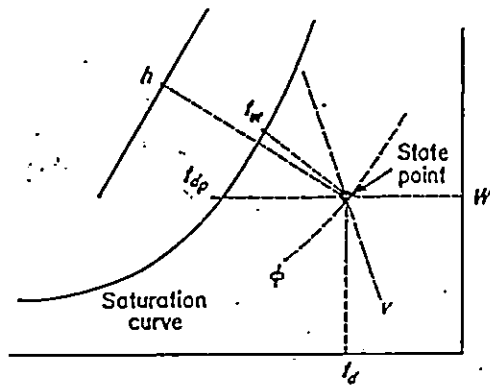
$$h = 0,24 \text{ td} + W (1,060 + 0,45 \text{ td})$$

$$h = (0,24)(70) + (0,00306)(1,060 + 0,45 \times 70) = 20,14 \text{ Btu/lb.}$$

## E. GRAFIK PSIKROMETRI

Penentuan beberapa sifat psikrometri udara yang dilakukan dengan persamaan, walaupun cukup tepat tetapi sangat menyita waktu. Dalam permasalahan pendinginan udara, toleransi perhitungan cukup besar sehingga perhitungan sifat-sifat udara dengan grafik psikrometri sering dilakukan.

Dalam grafik psikrometri suatu titik keadaan dapat diletakkan pada tekanan barometer tertentu sepanjang temperatur kering dan basah diketahui. Pembuatan grafik psikrometri ditunjukkan pada gambar 4, sedangkan contoh grafik psikrometri untuk kondisi temperatur dan tekanan normal ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4  
Konstruksi Grafik Psikrometri dan Lokasi Suatu State Point.

Perlu diketahui disini bahwa garis entalpi tidak harus berimpit dengan garis temperatur cembung basah (tw). Dan koreksi entalpi perlu ditambahkan pada hasil pembacaan dari grafik pada gambar 5. Pada kenyataannya kemiringan garis entalpi lebih landai dari pada garis tw.

$$t_{dp} = 27,7 \text{ oF}$$

$$f = 20,0 \%$$

$$W = 0,0031 \text{ lb/lb}$$

$$h_{kor} = -0,08 \text{ Btu/lb}$$

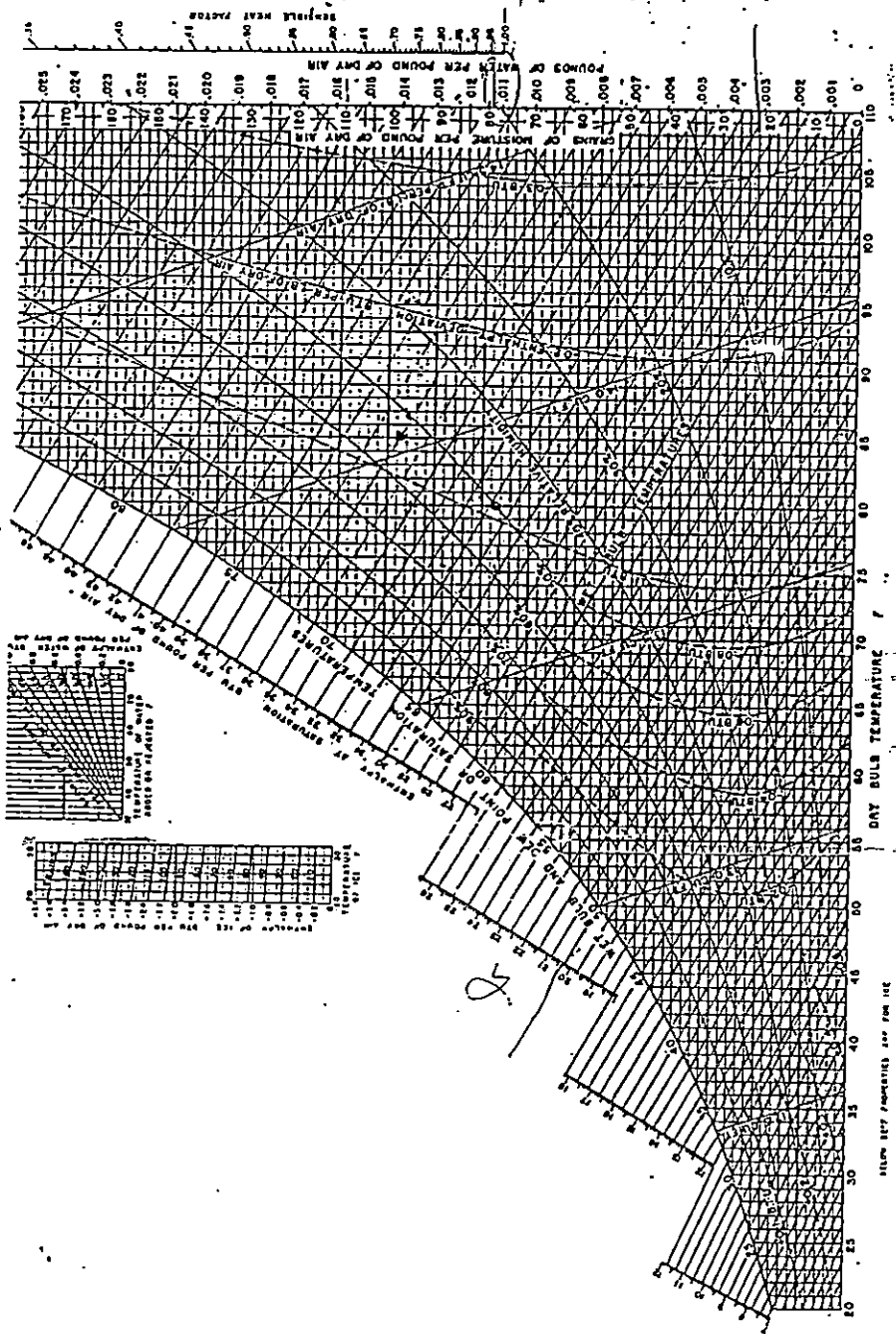
$$h = 20,31 - 0,08 = 21,23 \text{ Btu/lb}$$

$$v = 13,42 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$w = 0,0748 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_s = 0,0158 \text{ lb/lb}$$

$$\mu = (0,0031/0,0158) \times 100 \% = 19,6 \%$$



Gambar 5  
 Grafik Psikrometri Untuk Kondisi Temperatur dan Tekanan Normal

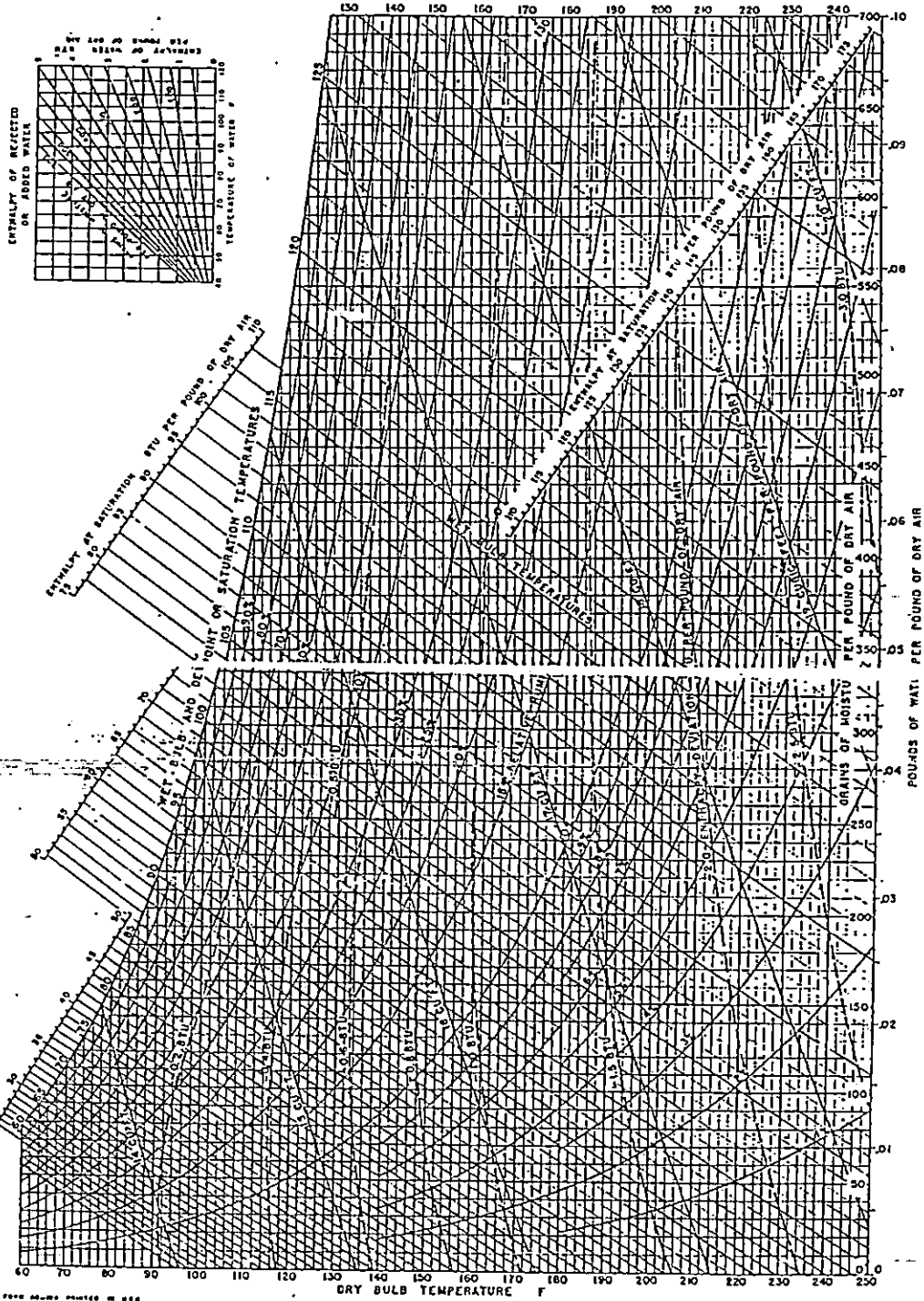
Tabel 3

Koreksi untuk Grafik Psikrometri Kondisi Temperatur dan Tekanan Normal

**PSYCHROMETRIC CHART—Normal Temperature**  
Barometric Pressure (29.92 In. Hg.)  
ADDITIVE CORRECTIONS FOR W, A, AND  $\Delta$  WHEN BAROMETRIC PRESSURE DIFFERS FROM STANDARD BAROMETER

Wet Bulb Temp. $t_w$	Sat. Vapor Press. $P_s$ , In. Hg.	APPROXIMATE ALTITUDE IN FEET															
		-900		900		1800		2700		3600		4500		5400			
		$\Delta P = +1$		$\Delta P = -1$		$\Delta P = -2$		$\Delta P = -3$		$\Delta P = -4$		$\Delta P = -5$		$\Delta P = -6$			
		$\Delta W_a$	$\Delta A$	$\Delta W_a$	$\Delta A$	$\Delta W_a$	$\Delta A$	$\Delta W_a$	$\Delta A$	$\Delta W_a$	$\Delta A$	$\Delta W_a$	$\Delta A$	$\Delta W_a$	$\Delta A$		
30	1.077	-0.5	-0.08	0.1	0.04	1.1	0.17	1.7	0.76	2.3	0.36	3.0	0.46	3.8	0.58		
31	1.078	-0.5	-0.08	0.1	0.04	1.1	0.17	1.7	0.76	2.3	0.36	3.0	0.46	3.8	0.58		
32	1.130	-0.5	-0.08	0.6	0.09	1.2	0.18	1.9	0.80	2.6	0.40	3.4	0.52	4.2	0.64		
33	1.185	-0.6	-0.09	0.6	0.09	1.3	0.19	2.0	0.83	2.7	0.41	3.6	0.53	4.4	0.67		
34	1.243	-0.6	-0.09	0.6	0.10	1.3	0.20	2.1	0.87	2.8	0.42	3.7	0.54	4.6	0.71		
35	1.303	-0.6	-0.10	0.7	0.10	1.4	0.21	2.2	0.91	3.0	0.43	3.9	0.55	4.8	0.75		
36	1.366	-0.7	-0.10	0.7	0.11	1.4	0.22	2.3	0.95	3.1	0.44	4.0	0.56	4.9	0.79		
37	1.431	-0.7	-0.11	0.7	0.11	1.5	0.23	2.4	0.97	3.2	0.45	4.1	0.57	5.0	0.83		
38	1.500	-0.7	-0.11	0.8	0.12	1.6	0.24	2.5	1.00	3.3	0.46	4.2	0.58	5.1	0.87		
39	1.571	-0.8	-0.12	0.8	0.12	1.7	0.26	2.6	1.04	3.4	0.47	4.3	0.59	5.2	0.91		
40	1.645	-0.8	-0.12	0.8	0.13	1.7	0.27	2.7	1.07	3.5	0.48	4.4	0.60	5.3	0.95		
41	1.723	-0.8	-0.13	0.9	0.13	1.8	0.28	2.8	1.11	3.6	0.49	4.5	0.61	5.4	0.99		
42	1.803	-0.9	-0.13	0.9	0.14	1.9	0.29	2.9	1.15	3.7	0.50	4.6	0.62	5.5	1.03		
43	1.878	-0.9	-0.14	1.0	0.15	2.0	0.30	3.0	1.19	3.8	0.51	4.7	0.63	5.6	1.07		
44	1.955	-0.9	-0.14	1.0	0.15	2.1	0.32	3.1	1.23	3.9	0.52	4.8	0.64	5.7	1.11		
45	2.034	-1.0	-0.15	1.0	0.16	2.1	0.33	3.2	1.27	4.0	0.53	4.9	0.65	5.8	1.15		
46	2.117	-1.0	-0.15	1.1	0.17	2.2	0.35	3.3	1.31	4.1	0.54	5.0	0.66	5.9	1.19		
47	2.202	-1.0	-0.16	1.1	0.17	2.3	0.36	3.4	1.35	4.2	0.55	5.1	0.67	6.0	1.23		
48	2.290	-1.1	-0.17	1.2	0.18	2.4	0.37	3.5	1.39	4.3	0.56	5.2	0.68	6.1	1.27		
49	2.381	-1.1	-0.18	1.2	0.19	2.5	0.39	3.6	1.43	4.4	0.57	5.3	0.69	6.2	1.31		
50	2.476	-1.1	-0.19	1.3	0.20	2.6	0.41	3.7	1.47	4.5	0.58	5.4	0.70	6.3	1.35		
51	2.575	-1.2	-0.19	1.3	0.20	2.7	0.42	3.8	1.51	4.6	0.59	5.5	0.71	6.4	1.39		
52	2.678	-1.2	-0.20	1.4	0.21	2.8	0.44	3.9	1.55	4.7	0.60	5.6	0.72	6.5	1.43		
53	2.781	-1.2	-0.21	1.4	0.22	2.9	0.45	4.0	1.59	4.8	0.61	5.7	0.73	6.6	1.47		
54	2.885	-1.2	-0.22	1.5	0.23	3.0	0.47	4.1	1.63	4.9	0.62	5.8	0.74	6.7	1.51		
55	2.992	-1.2	-0.23	1.5	0.24	3.1	0.49	4.2	1.67	5.0	0.63	5.9	0.75	6.8	1.55		
56	3.103	-1.3	-0.23	1.6	0.25	3.2	0.51	4.3	1.71	5.1	0.64	6.0	0.76	6.9	1.59		
57	3.219	-1.3	-0.24	1.7	0.26	3.3	0.53	4.4	1.75	5.2	0.65	6.1	0.77	7.0	1.63		
58	3.338	-1.3	-0.25	1.7	0.27	3.4	0.55	4.5	1.79	5.3	0.66	6.2	0.78	7.1	1.67		
59	3.461	-1.3	-0.26	1.8	0.28	3.5	0.57	4.6	1.83	5.4	0.67	6.3	0.79	7.2	1.71		
60	3.588	-1.3	-0.27	1.9	0.29	3.6	0.59	4.7	1.87	5.5	0.68	6.4	0.80	7.3	1.75		
61	3.721	-1.4	-0.28	2.0	0.30	3.7	0.61	4.8	1.91	5.6	0.69	6.5	0.81	7.4	1.79		
62	3.859	-1.4	-0.29	2.0	0.31	3.8	0.63	4.9	1.95	5.7	0.70	6.6	0.82	7.5	1.83		
63	4.003	-1.4	-0.30	2.1	0.32	3.9	0.65	5.0	1.99	5.8	0.71	6.7	0.83	7.6	1.87		
64	4.153	-1.4	-0.31	2.2	0.33	4.0	0.67	5.1	2.03	5.9	0.72	6.8	0.84	7.7	1.91		
65	4.309	-1.4	-0.32	2.3	0.34	4.1	0.69	5.2	2.07	6.0	0.73	6.9	0.85	7.8	1.95		
66	4.472	-1.4	-0.33	2.4	0.35	4.2	0.71	5.3	2.11	6.1	0.74	7.0	0.86	7.9	1.99		
67	4.641	-1.4	-0.34	2.5	0.36	4.3	0.73	5.4	2.15	6.2	0.75	7.1	0.87	8.0	2.03		
68	4.817	-1.4	-0.35	2.6	0.37	4.4	0.75	5.5	2.19	6.3	0.76	7.2	0.88	8.1	2.07		
69	5.000	-1.4	-0.36	2.7	0.38	4.5	0.77	5.6	2.23	6.4	0.77	7.3	0.89	8.2	2.11		
70	5.191	-1.4	-0.37	2.8	0.39	4.6	0.79	5.7	2.27	6.5	0.78	7.4	0.90	8.3	2.15		
71	5.390	-1.4	-0.38	2.9	0.40	4.7	0.81	5.8	2.31	6.6	0.79	7.5	0.91	8.4	2.19		
72	5.598	-1.4	-0.39	3.0	0.41	4.8	0.83	5.9	2.35	6.7	0.80	7.6	0.92	8.5	2.23		
73	5.815	-1.4	-0.40	3.1	0.42	4.9	0.85	6.0	2.39	6.8	0.81	7.7	0.93	8.6	2.27		
74	6.042	-1.4	-0.41	3.2	0.43	5.0	0.87	6.1	2.43	6.9	0.82	7.8	0.94	8.7	2.31		
75	6.279	-1.4	-0.42	3.3	0.44	5.1	0.89	6.2	2.47	7.0	0.83	7.9	0.95	8.8	2.35		
76	6.527	-1.4	-0.43	3.4	0.45	5.2	0.91	6.3	2.51	7.1	0.84	8.0	0.96	8.9	2.39		
77	6.786	-1.4	-0.44	3.5	0.46	5.3	0.93	6.4	2.55	7.2	0.85	8.1	0.97	9.0	2.43		
78	7.057	-1.4	-0.45	3.6	0.47	5.4	0.95	6.5	2.59	7.3	0.86	8.2	0.98	9.1	2.47		
79	7.340	-1.4	-0.46	3.7	0.48	5.5	0.97	6.6	2.63	7.4	0.87	8.3	0.99	9.2	2.51		
80	7.635	-1.4	-0.47	3.8	0.49	5.6	0.99	6.7	2.67	7.5	0.88	8.4	1.00	9.3	2.55		
81	7.943	-1.4	-0.48	3.9	0.50	5.7	1.01	6.8	2.71	7.6	0.89	8.5	1.01	9.4	2.59		
82	8.264	-1.4	-0.49	4.0	0.51	5.8	1.03	6.9	2.75	7.7	0.90	8.6	1.02	9.5	2.63		
83	8.598	-1.4	-0.50	4.1	0.52	5.9	1.05	7.0	2.79	7.8	0.91	8.7	1.03	9.6	2.67		
84	8.945	-1.4	-0.51	4.2	0.53	6.0	1.07	7.1	2.83	7.9	0.92	8.8	1.04	9.7	2.71		
85	9.306	-1.4	-0.52	4.3	0.54	6.1	1.09	7.2	2.87	8.0	0.93	8.9	1.05	9.8	2.75		
86	9.681	-1.4	-0.53	4.4	0.55	6.2	1.11	7.3	2.91	8.1	0.94	9.0	1.06	9.9	2.79		
87	10.071	-1.4	-0.54	4.5	0.56	6.3	1.13	7.4	2.95	8.2	0.95	9.1	1.07	10.0	2.83		
88	10.476	-1.4	-0.55	4.6	0.57	6.4	1.15	7.5	2.99	8.3	0.96	9.2	1.08	10.1	2.87		
89	10.897	-1.4	-0.56	4.7	0.58	6.5	1.17	7.6	3.03	8.4	0.97	9.3	1.09	10.2	2.91		
90	11.334	-1.4	-0.57	4.8	0.59	6.6	1.19	7.7	3.07	8.5	0.98	9.4	1.10	10.3	2.95		
91	11.787	-1.4	-0.58	4.9	0.60	6.7	1.21	7.8	3.11	8.6	0.99	9.5	1.11	10.4	2.99		
92	12.257	-1.4	-0.59	5.0	0.61	6.8	1.23	7.9	3.15	8.7	1.00	9.6	1.12	10.5	3.03		
93	12.744	-1.4	-0.60	5.1	0.62	6.9	1.25	8.0	3.19	8.8	1.01	9.7	1.13	10.6	3.07		
94	13.248	-1.4	-0.61	5.2	0.63	7.0	1.27	8.1	3.23	8.9	1.02	9.8	1.14	10.7	3.11		
95	13.769	-1.4	-0.62	5.3	0.64	7.1	1.29	8.2	3.27	9.0	1.03	9.9	1.15	10.8	3.15		
96	14.307	-1.4	-0.63	5.4	0.65	7.2	1.31	8.3	3.31	9.1	1.04	10.0	1.16	10.9	3.19		
97	14.862	-1.4	-0.64	5.5	0.66	7.3	1.33	8.4	3.35	9.2	1.05	10.1	1.17	11.0	3.23		
98	15.435	-1.4	-0.65	5.6	0.67	7.4	1.35	8.5	3.39	9.3	1.06	10.2	1.18	11.1	3.27		
99	16.026	-1.4	-0.66	5.7	0.68	7.5	1.37	8.6	3.43	9.4	1.07	10.3	1.19	11.2	3.31		
100	16.635	-1.4	-0.67	5.8	0.69	7.6	1.39	8.7	3.47	9.5	1.08	10.4	1.20	11.3	3.35		
101	17.263	-1.4	-0.68	5.9	0.70	7.7	1.41	8.8	3.51	9.6	1.09	10.5	1.21	11.4	3.39		
102	17.911	-1.4	-0.69	6.0	0.71	7.8	1.43	8.9	3.55	9.7	1.10	10.6	1.22	11.5	3.43		
103	18.579	-1.4	-0.70	6.1	0.72	7.9	1.45	9.0	3.59	9.8	1.11	10.7	1.23	11.6	3.47		
104	19.268	-1.4	-0.71	6.2	0.73	8.0	1.47	9.1	3.63	9.9	1.12	10.8	1.24	11.7	3.51		
105	19.978	-1.4	-0.72	6.3	0.74	8.1	1.49	9.2	3.67	10.0	1.13	10.9	1.25	11.8	3.55		
106	20.709	-1.4	-0.73	6.4	0.75	8.2	1.51	9.3	3.71	10.1	1.14	11.0	1.26	11.9	3.59		
107	21.462	-1.4	-0.74	6.5	0.76	8.3	1.53	9.4	3.75	10.2	1.15	11.1	1.27	12.0	3.63		
108	22.237	-1.4	-0.75	6.6	0.77	8.4	1.55	9.5	3.79	10.3	1.16	11.2	1.28	12.1	3.67		
109	23.035	-1.4	-0.76	6.7	0.78	8.5	1.57	9.6	3.83	10.4	1.17	11.3	1.29	12.2	3.71		
110	23.857	-1.4	-0.77	6.8	0.79	8.6	1.59	9.7	3.87	10.5	1.18	11.4	1.30	12.3	3.75		
111	24.703	-1.4	-0.78	6.9	0.80	8.7	1.61	9.8	3.91	10.6	1.19	11.5	1.31	12.4	3.79		
112	25.574	-1.4	-0.79														

**PSYCHROMETRIC CHART**  
**HIGH TEMPERATURE**  
 Freonville Pressure 15.122 lb. Hg



Gambar 6  
 Grafik Psikrometri Untuk Tekanan Tinggi

622.4  
HER.  
P②

Tabel 4  
Koreksi Grafik Psikrometri untuk Kondisi Barometer Yang Tidak Standar

Wet Bulb Temp. °F	Sat. Vapor Press. in. Hg	-900		900		1800		2700		3700		4800		5900	
		Δp = +1		Δp = -1		Δp = -2		Δp = -3		Δp = -4		Δp = -5		Δp = -6	
		ΔW <sub>s</sub>	ΔA	ΔW <sub>s</sub>	ΔA	ΔW <sub>s</sub>	ΔA	ΔW <sub>s</sub>	ΔA	ΔW <sub>s</sub>	ΔA	ΔW <sub>s</sub>	ΔA	ΔW <sub>s</sub>	ΔA
60	0.522	-2.5	-0.40	5.7	0.42	5.7	-0.83	8.8	1.37	12.2	1.90	15.9	2.47	19.9	3.09
61	0.540	-2.6	-0.41	5.8	0.44	5.9	0.91	9.2	1.43	12.7	1.98	16.5	2.57	20.7	3.22
62	0.560	-2.7	-0.43	5.9	0.46	6.1	0.85	9.5	1.48	13.2	2.05	17.1	2.66	21.4	3.33
63	0.580	-2.8	-0.44	6.0	0.48	6.3	0.98	9.9	1.54	13.7	2.13	17.7	2.76	22.3	3.47
64	0.601	-2.9	-0.46	6.2	0.49	6.5	1.02	10.2	1.59	14.2	2.21	18.4	2.87	23.1	3.60
65	0.622	-3.1	-0.48	6.3	0.51	6.8	1.06	10.6	1.65	14.7	2.29	19.1	2.98	23.9	3.73
66	0.644	-3.2	-0.50	6.4	0.53	7.1	1.10	11.0	1.72	15.3	2.38	19.8	3.09	24.8	3.87
67	0.667	-3.3	-0.51	6.5	0.55	7.3	1.14	11.4	1.78	15.8	2.47	20.5	3.20	25.7	4.01
68	0.690	-3.4	-0.53	6.7	0.57	7.6	1.18	11.8	1.84	16.4	2.56	21.3	3.32	26.7	4.16
69	0.714	-3.5	-0.55	6.8	0.59	7.9	1.23	12.2	1.90	17.0	2.65	22.1	3.45	27.7	4.32
70	0.739	-3.7	-0.57	6.9	0.61	8.1	1.27	12.7	1.98	17.6	2.75	22.9	3.58	28.7	4.48
71	0.765	-3.8	-0.59	7.1	0.64	8.4	1.32	13.1	2.05	18.2	2.84	23.7	3.70	29.7	4.64
72	0.791	-3.9	-0.61	7.2	0.66	8.7	1.36	13.6	2.13	18.8	2.94	24.6	3.84	30.9	4.82
73	0.818	-4.1	-0.63	7.4	0.69	9.0	1.41	14.1	2.20	19.5	3.05	25.5	3.99	31.9	4.99
74	0.846	-4.2	-0.66	7.7	0.71	9.4	1.46	14.6	2.28	20.2	3.16	26.4	4.14	33.1	5.18
75	0.876	-4.4	-0.68	7.7	0.74	9.7	1.52	15.1	2.36	20.9	3.27	27.4	4.28	34.3	5.37
76	0.906	-4.5	-0.71	7.9	0.77	10.0	1.57	15.7	2.46	21.7	3.39	28.3	4.42	35.6	5.56
77	0.936	-4.7	-0.73	8.1	0.79	10.4	1.63	16.3	2.55	22.5	3.52	29.4	4.61	36.9	5.77
78	0.967	-4.9	-0.76	8.2	0.82	10.8	1.69	16.9	2.65	23.3	3.65	30.6	4.77	38.2	5.98
79	0.999	-5.0	-0.79	8.4	0.85	11.2	1.75	17.5	2.74	24.2	3.79	31.6	4.95	39.6	6.20
80	1.032	-5.2	-0.82	8.6	0.88	11.6	1.82	18.1	2.84	25.1	3.93	32.7	5.13	41.0	6.43
81	1.067	-5.4	-0.85	8.8	0.91	12.0	1.88	18.8	2.95	26.0	4.08	33.9	5.32	42.5	6.66
82	1.102	-5.6	-0.88	9.0	0.94	12.5	1.96	19.5	3.05	27.0	4.24	35.1	5.51	44.0	6.90
83	1.138	-5.8	-0.91	9.2	0.97	12.9	2.02	20.2	3.17	28.0	4.39	36.4	5.71	45.6	7.15
84	1.175	-6.0	-0.94	9.4	1.00	13.3	2.10	20.9	3.28	28.9	4.54	37.7	5.92	47.2	7.41
85	1.214	-6.2	-0.97	9.7	1.05	13.8	2.17	21.6	3.39	29.9	4.69	39.0	6.12	48.9	7.67
86	1.253	-6.4	-1.00	9.9	1.08	14.3	2.24	22.3	3.50	30.9	4.85	40.4	6.34	50.6	7.94
87	1.294	-6.7	-1.04	7.1	1.11	14.8	2.32	23.1	3.63	32.0	5.02	41.8	6.56	52.3	8.21
88	1.335	-6.9	-1.08	7.4	1.16	15.3	2.40	23.9	3.75	33.1	5.20	43.2	6.79	54.2	8.49
89	1.378	-7.1	-1.12	7.7	1.21	15.9	2.50	24.8	3.90	34.3	5.39	44.8	7.04	56.2	8.83
90	1.422	-7.4	-1.16	7.9	1.24	16.5	2.59	25.7	4.04	35.6	5.60	46.4	7.29	58.3	9.15
91	1.467	-7.6	-1.20	8.2	1.29	17.0	2.67	26.6	4.18	36.9	5.80	48.1	7.56	60.3	9.48
92	1.514	-7.9	-1.24	8.5	1.34	17.6	2.77	27.5	4.33	38.2	6.01	49.8	7.83	62.5	9.83
93	1.561	-8.2	-1.29	8.8	1.39	18.3	2.88	28.5	4.49	39.6	6.23	51.5	8.11	64.7	10.18
94	1.610	-8.5	-1.34	9.1	1.43	18.9	2.98	29.5	4.64	41.0	6.46	53.4	8.41	67.0	10.65
95	1.661	-8.8	-1.39	9.4	1.48	19.6	3.09	30.5	4.80	42.4	6.68	55.3	8.69	69.3	10.99
96	1.712	-9.1	-1.43	9.8	1.54	20.2	3.18	31.5	4.96	43.8	6.90	57.2	9.01	71.7	11.30
97	1.766	-9.4	-1.48	10.1	1.58	20.9	3.29	32.6	5.14	45.3	7.14	59.2	9.33	74.2	11.70
98	1.820	-9.7	-1.53	10.4	1.64	21.7	3.42	33.8	5.33	47.0	7.41	61.3	9.67	76.8	12.11
99	1.876	-10.1	-1.59	10.8	1.70	22.4	3.53	35.0	5.52	48.6	7.67	63.5	10.02	79.6	12.56
100	1.933	-10.4	-1.64	11.2	1.77	23.2	3.66	36.3	5.73	50.4	7.95	65.7	10.37	82.5	13.02
101	1.992	-10.8	-1.71	11.6	1.83	24.0	3.79	37.6	5.94	52.2	8.24	68.0	10.73	85.5	13.50
102	2.053	-11.1	-1.78	12.0	1.90	24.9	3.92	39.0	6.16	54.2	8.54	70.4	11.09	88.6	14.00
103	2.117	-11.5	-1.86	12.5	1.97	25.9	4.06	40.5	6.39	56.3	8.85	72.9	11.46	91.8	14.52
104	2.184	-11.9	-1.94	13.0	2.05	27.0	4.21	42.1	6.63	58.5	9.17	75.5	11.84	95.1	15.06
105	2.254	-12.3	-2.02	13.6	2.13	28.2	4.37	43.8	6.88	60.8	9.50	78.2	12.23	98.5	15.62
106	2.327	-12.7	-2.10	14.2	2.22	29.5	4.54	45.6	7.14	63.2	9.84	81.0	12.63	102.0	16.20
107	2.403	-13.2	-2.19	14.9	2.31	30.9	4.72	47.5	7.41	65.7	10.19	83.5	13.04	105.6	16.80
108	2.482	-13.7	-2.27	15.7	2.41	32.4	4.91	49.5	7.69	68.3	10.55	86.1	13.46	109.3	17.42
109	2.563	-14.2	-2.35	16.5	2.52	34.0	5.11	51.6	7.98	71.0	10.92	88.8	13.89	113.1	18.06
110	2.647	-14.7	-2.43	17.4	2.63	35.7	5.32	53.8	8.28	73.8	11.30	91.6	14.33	117.0	18.72
111	2.733	-15.2	-2.51	18.4	2.75	37.6	5.54	56.1	8.59	76.7	11.70	94.4	14.78	121.0	19.40
112	2.821	-15.7	-2.59	19.5	2.88	39.6	5.77	58.5	8.91	79.7	12.11	97.3	15.24	125.1	20.10
113	2.911	-16.3	-2.68	20.7	3.01	41.8	6.01	61.0	9.24	82.8	12.53	100.3	15.71	129.3	20.82
114	3.003	-16.9	-2.78	22.0	3.15	44.2	6.26	63.6	9.58	86.0	13.00	103.5	16.19	133.6	21.56
115	3.097	-17.4	-2.88	23.4	3.30	46.8	6.52	66.3	9.93	89.3	13.49	106.8	16.68	138.0	22.32
116	3.194	-18.0	-2.98	24.9	3.46	49.5	6.79	69.7	10.29	92.7	13.99	110.2	17.18	142.5	23.10
117	3.293	-18.7	-3.07	26.5	3.63	52.4	7.07	73.2	10.60	96.2	14.49	113.7	17.68	147.1	23.90
118	3.395	-19.3	-3.17	28.2	3.81	55.5	7.36	76.8	10.92	99.8	15.00	117.2	18.18	151.8	24.72
119	3.500	-19.9	-3.27	30.0	4.00	58.8	7.66	80.5	11.25	103.5	15.51	120.8	18.69	156.6	25.56
120	3.607	-20.7	-3.39	31.9	4.20	62.3	7.97	84.3	11.58	107.3	16.03	124.5	19.20	161.5	26.42
121	3.717	-21.4	-3.50	34.0	4.41	66.3	8.29	88.2	11.92	111.2	16.56	128.3	19.72	166.5	27.30
122	3.829	-22.2	-3.63	36.2	4.63	70.5	8.62	92.2	12.27	115.2	17.10	132.2	20.24	171.6	28.20
123	3.943	-23.0	-3.76	38.6	4.86	75.0	8.96	96.3	12.63	119.3	17.68	136.2	20.77	176.8	29.12
124	4.060	-23.8	-3.89	41.1	5.11	79.8	9.31	100.5	13.00	123.5	18.26	140.3	21.30	182.1	30.06
125	4.179	-24.7	-4.04	43.7	5.37	84.8	9.67	104.8	13.38	127.0	18.85	144.5	21.84	187.5	31.02
126	4.300	-25.6	-4.20	46.5	5.64	90.0	10.04	109.2	13.77	130.6	19.44	148.8	22.38	193.0	32.00
127	4.423	-26.5	-4.37	49.5	5.92	95.4	10.42	113.7	14.17	134.4	20.03	153.2	22.93	198.6	33.00
128	4.548	-27.5	-4.55	52.7	6.21	101.0	10.81	118.0	14.61	138.3	20.64	157.9	23.49	204.3	34.02
129	4.675	-28.5	-4.74	56.1	6.51	106.5	11.21	122.5	15.06	142.4	21.26	162.7	24.06	210.1	35.06
130	4.804	-29.5	-4.94	59.7	6.82	112.2	11.62	127.0	15.52	146.6	21.89	167.2	24.64	216.0	36.12
131	4.935	-30.6	-5.15	63.5	7.14	118.1	12.04	131.7	16.00	151.0	22.53	171.8	25.23	222.0	37.20
132	5.068	-31.8	-5.38	67.5	7.47	124.2	12.47	136.0	16.49	155.5	23.18	176.5	25.83	228.0	38.30
133	5.203	-32.9	-5.62	71.7	7.82	130.5	12.91	140.2	16.99	160.2	23.84	181.3	26.44	234.0	39.42
134	5.340	-34.2	-5.87	76.1	8.18	137.2	13.36	144.6	17.50	165.0	24.51	186.2	27.06	240.0	40.56
135	5.479	-35.5	-6.14	80.7	8.55	144.0	13.83	149.1	18.02	170.0	25.18	191.2	27.69	246.0	41.72
136	5.620	-36.8	-6.42	85.5	8.93	151.0	14.32	154.2	18.55	175.0	25.86	196.3	28.33	252.0	42.90
137	5.763	-38.2	-6.71	90.5	9.32	158.1	14.82	159.5	19.09	180.0	26.55	201.5	28.98	258.0	44.10
138	5.908	-39.7	-7.01	95.7	9.72	165.4	15.33	165.0	19.64	185.0					

## F. DASAR-DASAR PROSES PSIKROMETRI

Proses psikrometri untuk pengontrolan kelembaban selalu dipengaruhi oleh besarnya aliran udara. Karena masalah pengontrolan kelembaban menyangkut perubahan temperatur, maka sudah tentu bobot isi udara juga selalu berubah. Jadi aliran udara harus dinyatakan dalam bentuk laju aliran berat udara atau dalam satuan berat/jam (G). Hubungan antara volume aliran udara (Q – cfm) dengan (G) adalah :

$$G = 60 Q / v$$

Dimana :  $Q = \text{cfm}$   
 $V = \text{ft}^3/\text{lb.}$

Panas total yang perlu diambil atau ditambahkan untuk proses pendinginan atau pemanasan dapat dihitung dengan cara :

$$Q = G (h_2 - h_1)$$

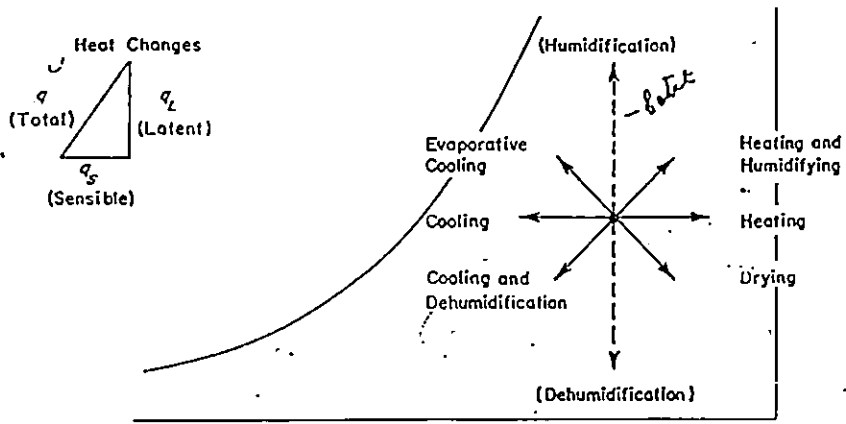
Berat laju aliran uap air (Gw) dapat ditentukan dengan cara :-

$$G_w = G (W_2 - W_1)$$

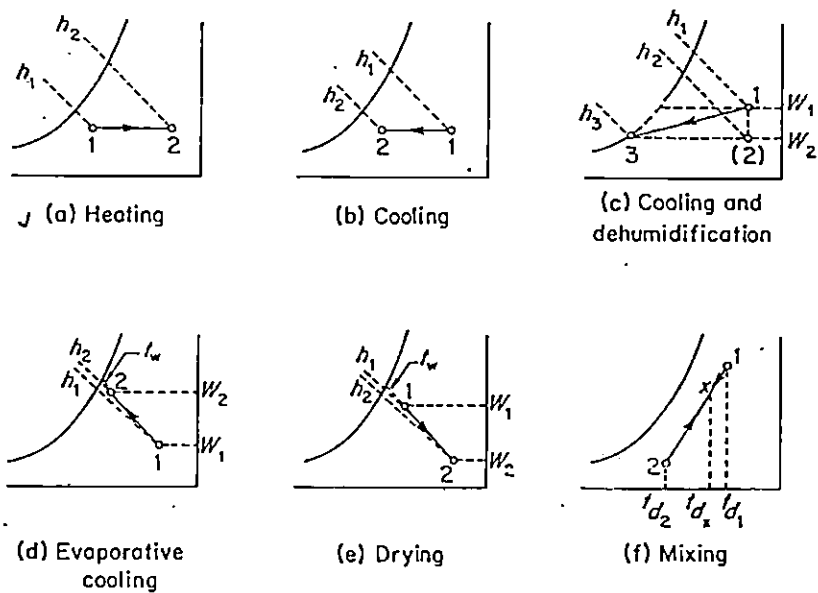
~~Titik-titik keadaan pada kurva psikrometri menunjukkan kondisi kelembaban~~  
temperatur udara tertentu. Garis yang menghubungkan dua titik keadaan, menggambarkan suatu proses perubahan kondisi udara.

Proses-prose tersebut bisa merupakan :

- pendinginan
- pemanasan
- pendinginan dan pengawalembaban
- pendinginan penguapan
- pengeringan dan
- campuran



Gambar 7  
Perubahan Sifat Termodinamik Pada Kurva Psikrometri



Gambar 8  
Proses Pengontrolan Udara Pada Kurva Psikrometri



## G. CONTOH SOAL

1. Udara sejumlah 10.000 cfm pada kondisi tekanan udara 1 atm akan dipanaskan dari temperatur cembung kering (td) 35 °F (1,7 °C) dan cembung basah (tw) 30 °F (-1,1°C) ke temperatur cembung kering 60 °F (15,6 °C).

Tentukan Panas Yang Dibutuhkan.

Jawaban :

- Gunakan grafik pada gambar 5, dan tentukan titik keadaan (1) td = 35 °F dan tw = 30 °F
- Tarik garis mendatar dari titik keadaan (1) ke kanan dan berpotongan dengan garis td = 60 °F menjadi titik keadaan (2)
- Tarik garis dari titik keadaan (2) ke arah garis tw dan di dapat tw = 44 °F
- Pada (1) didapat volume spesifik  $v = 12,5 \text{ ft}^3/\text{lb}$
- Gunakan :

$$\begin{aligned}G &= 60 (Q/v) \\ &= 60 \times (50.000/12,51) \text{ ((ft}^3/\text{menit)} / (\text{ft}^3/\text{lb})) \\ &= 239.800 \text{ ft}^3/\text{lb}.\end{aligned}$$

- $h_1 = (10,91 + 0,15) \text{ Btu/lb} = 11,06 \text{ Btu/lb}$   
 $h_2 = (17,16 - 0,04) \text{ Btu/lb} = 17,12 \text{ Btu/lb}.$

- Penambahan panas = q

$$q = G (h_2 - h_1) = 239.800 (17,12 - 1,06) = 1.453.000 \text{ Btu/lb}$$

2. Tentukan perubahan panas bila udara di atas muka air laut didinginkan dari td = 98 °F dan tw = 63 °F ke td = 50 °F

Jawaban :

- Gunakan gambar 5
- Tentukan titik keadaan 1
- Tentukan titik keadaan 2 dengan cara menarik garis mendatar ke arah kiri berpotongan dengan garis vertikal td = 50 °F dan diperoleh tw = 43 °F.

- $h_2 = (28,59 - 0,25) \text{ Btu/lb} = 28,34 \text{ Btu/lb}.$

$$h_1 = (16,65 - 0,02) \text{ Btu/lb} = 16,63 \text{ Btu/lb}$$

- Tentukan jumlah panas yang dibuang untuk  $G = 1 \text{ lb/jam}$

$$q = G (h_2 - h_1) = 1 (28,34 - 16,63) = 11,71 \text{ Btu/jam}.$$

Tabel 5  
Data Psikrometri Untuk Campuran Udara – Air dan Uap

Tem- pera- tur	Sifat air dan uap				Sifat udara kering pada tek. 29.921 in. Hg abs		Sifat campuran udara kering & uap jenuh pada tek. total 29.921 in. Hg abs		
	Tek. air & uap jenuh, in Hg	Entalpi		Vol. spesifik uap jenuh, ft <sup>3</sup> /lb	True vol. spesifik ft <sup>3</sup> /lb	Entalpi Btu/lb	Vol. uap air per lb udara kering, ft <sup>3</sup>	Entalpi uap air per lb udara kering, Btu	Kelemba- ban spes. Grain per lb udara kering
		Air jenuh Btu/lb	Uap jenuh, Btu/lb						
$t$	$P_s$	$h_f$	$h_g$	$v_g$	$v_a$	$h_a$	$v_s$	$h_s$	$W_s$
1	3.966E-2	-158.5	1061.5	14,080	11.604	0.24	11.62	1.12	5.777
2	4.178E-2	-158.0	1062.0	13,400	11.630	0.48	11.65	1.40	6.084
3	4.400E-2	-157.6	1062.4	12,750	11.655	0.72	11.56	1.68	6.348
4	4.633E-2	-157.1	1062.8	12,140	11.680	0.96	11.70	1.98	6.745
5	4.878E-2	-156.6	1063.3	11,550	11.706	1.20	11.72	2.28	7.106
6	5.134E-2	-156.1	1063.7	11,000	11.731	1.44	11.75	2.58	7.478
7	5.402E-2	-155.7	1064.2	10,480	11.756	1.68	11.78	2.88	7.867
8	5.683E-2	-155.2	1064.6	9979	11.782	1.92	11.80	3.18	8.280
9	5.977E-2	-155.7	1065.1	9507	11.807	2.16	11.83	3.49	8.711
10	6.286E-2	-154.2	1065.5	9060	11.832	2.40	11.86	3.80	9.161
11	6.608E-2	-153.7	1065.9	8636	11.857	2.64	11.88	4.11	9.633
12	6.946E-2	-153.3	1066.4	8234	11.883	2.88	11.91	4.43	10.13
13	7.300E-2	-152.8	1066.8	7851	11.918	3.12	11.94	4.75	10.64
14	7.699E-2	-152.3	1067.3	7489	11.933	3.36	11.96	5.07	11.18
15	8.056E-2	-151.8	1067.7	7144	11.959	3.60	11.99	5.40	11.73
16	8.461E-2	-151.3	1068.1	6817	11.984	3.84	12.02	5.73	12.34
17	8.884E-2	-150.8	1068.6	6505	12.009	4.08	12.05	6.06	12.96
18	9.326E-2	-150.3	1069.0	6210	12.035	4.32	12.07	6.40	13.51
19	9.789E-2	-149.8	1069.5	5929	12.060	4.56	12.10	6.75	14.28
20	0.1027	-149.4	1069.9	5662	12.085	4.80	12.13	7.10	14.99
21	0.1078	-148.9	1070.3	5408	12.110	5.05	12.15	7.45	15.73
22	0.1130	-148.4	1070.8	5166	12.136	5.29	12.18	7.81	16.51
23	0.1186	-147.9	1071.2	4936	12.161	5.53	12.21	8.18	17.32
24	0.1243	-147.4	1071.7	4717	12.186	5.77	12.24	8.55	18.16
25	0.1303	-146.9	1072.1	4509	12.211	6.01	12.27	8.92	19.04
26	0.1366	-146.4	1072.5	4311	12.237	6.25	12.29	9.31	19.96
27	0.1431	-145.9	1073.0	4122	12.262	6.49	12.32	9.70	20.92
28	0.1500	-145.4	1073.4	3943	12.287	6.73	12.35	10.09	21.92
29	0.1571	-144.9	1073.8	3771	12.313	6.97	12.38	10.49	22.98
30	0.1645	-144.4	1074.3	3608	12.338	7.21	12.41	10.90	24.07
31	0.1723	-143.9	1074.7	3453	12.363	7.45	12.43	11.32	25.21
32	0.1803	-143.40	1075.2	3305	12.389	7.69	12.46	11.75	26.40
33	0.1878	1.0	1075.6	3180	12.414	7.93	12.49	12.16	27.49
34	0.1955	2.0	1076.0	3062	12.439	8.17	12.52	12.57	28.63
35	0.2034	3.0	1076.5	2948	12.464	8.41	12.55	13.00	29.80
36	0.2117	4.0	1076.9	2839	12.490	8.65	12.58	13.42	31.02
37	0.2202	5.0	1077.4	2734	12.515	8.89	12.61	13.85	32.28
38	0.2290	6.0	1077.8	2634	12.540	9.13	12.64	14.30	33.58
39	0.2382	7.0	1078.2	2538	12.565	9.37	12.67	14.75	34.94
40	0.2477	8.0	1078.7	2445	12.591	9.61	12.70	15.21	36.34
41	0.2575	9.0	1079.1	2357	12.616	9.85	12.73	15.68	37.80
42	0.2676	10.1	1079.5	2272	12.641	10.09	12.76	16.16	39.30
43	0.2781	11.1	1080.0	2190	12.667	10.34	12.79	16.64	40.85
44	0.2890	12.1	1080.4	2112	12.692	10.58	12.82	17.13	42.47
45	0.3002	13.1	1080.9	2037	12.717	10.82	12.85	17.63	44.14
46	0.3119	14.1	1081.3	1965	12.742	11.06	12.88	18.13	45.86
47	0.3239	15.1	1081.7	1896	12.768	11.30	12.91	18.66	47.65
48	0.3363	16.1	1082.2	1829	12.793	11.54	12.94	19.19	49.51
49	0.3491	17.1	1082.6	1766	12.818	11.78	12.97	19.73	51.42
50	0.3624	18.1	1083.1	1704	12.844	12.02	13.00	20.28	53.40

Temperatur	Sifat air dan uap				Sifat udara kering pada tek. 29.921 in. Hg abs		Sifat campuran udara kering & uap jenuh pada tek. total 29.921 in. Hg abs		
	0°F	Tek. air & uap jenuh, in Hg	Entalpi		Vol. spesifik uap jenuh, ft <sup>3</sup> /lb	True vol. spesifik ft <sup>3</sup> /lb	Entalpi Btu/lb	Vol. uap air per lb udara kering, ft <sup>3</sup>	Entalpi uap air per lb udara kering, Btu
t	P <sub>s</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>g</sub>	v <sub>g</sub>	v <sub>a</sub>	h <sub>a</sub>	v <sub>s</sub>	h <sub>s</sub>	W <sub>s</sub>
51	0.3751	19.1	1083.5	1645	12.869	12.26	13.03	20.84	55.44
52	0.3903	20.1	1083.9	1589	12.894	12.50	13.06	21.41	57.56
53	0.4049	21.1	1084.4	1534	12.919	12.74	13.10	21.99	59.75
54	0.4200	22.1	1084.8	1482	12.945	12.98	13.13	22.59	62.01
55	0.4356	23.1	1085.2	1431	12.970	13.22	13.16	23.20	64.36
56	0.4518	24.1	1085.7	1383	12.995	13.46	13.19	23.82	66.78
57	0.4684	25.1	1086.1	1336	13.020	13.70	13.23	24.45	69.28
58	0.4856	26.1	1086.5	1292	13.046	13.94	13.26	25.10	71.86
59	0.5033	27.1	1087.0	1249	13.071	14.18	13.29	25.76	74.54
60	0.5216	28.1	1087.4	1207	13.096	14.42	13.33	26.43	77.29
61	0.5405	29.1	1087.9	1167	13.122	14.66	13.36	27.11	80.14
62	0.5599	30.1	1088.3	1129	13.147	14.90	13.40	27.82	83.09
63	0.5800	31.1	1088.7	1092	13.172	15.14	13.43	28.54	86.14
64	0.6007	32.1	1089.2	1022	13.197	15.38	13.47	29.27	89.27
65	0.6221	33.1	1089.6	1056	13.223	15.62	13.50	30.03	92.51
66	0.6441	34.1	1090.0	988.6	13.248	15.85	13.54	30.79	95.86
67	0.6668	35.1	1090.5	956.8	13.273	16.10	13.58	31.58	99.32
68	0.6902	36.1	1090.9	926.1	13.298	16.35	13.61	32.38	102.9
69	0.7143	37.1	1091.3	896.5	13.324	16.59	13.65	33.20	106.6
70	0.7392	38.1	1091.8	868.0	13.349	16.83	13.69	34.04	110.4
71	0.7648	39.1	1092.2	840.5	13.374	17.07	13.72	34.90	114.3
72	0.7911	40.1	1092.6	814.0	13.399	17.31	13.76	35.79	118.4
73	0.8183	41.1	1093.1	788.4	13.425	17.55	13.80	36.69	122.6
74	0.8463	42.1	1093.5	763.8	13.450	17.79	13.84	37.61	126.9
75	0.8751	43.1	1093.5	740.0	13.475	18.03	13.88	38.55	131.3
76	0.9047	44.1	1094.4	717.0	13.501	18.27	13.92	39.52	135.9
77	0.9352	45.1	1094.8	694.9	13.526	18.51	13.96	40.51	140.6
78	0.9667	46.1	1095.2	673.5	13.551	18.75	14.00	41.52	145.5
79	0.9990	47.1	1095.7	652.9	13.576	18.99	14.04	42.56	150.6
80	1.0323	48.1	1096.1	633.0	13.602	19.23	14.09	43.63	155.8
81	1.0665	49.1	1096.6	613.8	13.627	19.47	14.13	44.72	161.2
82	1.1017	50.1	1097.0	595.3	13.652	19.71	14.17	45.84	166.7
83	1.1380	51.1	1097.4	577.4	13.678	19.95	14.22	46.98	172.4
84	1.1752	52.1	1097.8	560.1	13.703	20.19	14.26	48.16	178.3
85	1.2136	53.1	1098.3	543.3	13.738	20.43	14.31	49.36	184.4
86	1.2530	54.0	1098.7	527.2	13.753	20.67	14.35	50.59	190.6
87	1.2935	55.0	1099.1	511.6	13.778	20.91	14.40	51.86	197.0
88	1.3351	56.0	1099.6	496.5	13.804	21.15	14.45	53.14	203.7
89	1.3779	57.0	1100.0	482.0	13.829	21.39	14.50	54.48	210.6
90	1.4219	58.0	1100.4	467.9	13.854	21.64	14.55	55.85	217.6
91	1.4671	59.0	1100.9	454.3	13.880	21.88	14.60	57.25	224.9
92	1.5136	60.0	1101.3	441.1	13.905	22.12	14.65	58.69	232.4
93	1.5613	61.0	1101.7	428.4	13.930	22.36	14.70	60.16	240.1
94	1.6103	62.0	1102.2	416.1	13.955	22.60	14.75	61.67	248.1
95	1.6607	63.0	1102.6	404.2	13.981	22.84	14.80	63.12	256.4
96	1.7124	64.0	1103.0	392.7	14.006	23.08	14.86	64.61	264.8
97	1.7655	65.0	1103.4	381.5	14.031	23.32	14.91	66.20	273.6
98	1.8200	66.0	1103.9	370.7	14.057	23.56	14.97	68.53	282.6
99	1.8759	67.0	1104.3	360.3	14.082	23.80	15.02	70.03	293.0
100	1.9334	68.0	1104.7	350.2	14.107	24.04	15.08	71.62	301.5

Tem- pera- tur	Sifat air dan uap				Sifat udara kering pada tek. 29.921 in. Hg abs		Sifat campuran udara kering & uap jenuh pada tek. total 29.921 in. Hg abs		
	Tek. air & uap jenuh, in Hg	Entalpi		Vol. spesifik uap jenuh, ft <sup>3</sup> /lb	True vol. spesifik ft <sup>3</sup> /lb	Entalpi Btu/lb	Vol. uap air per lb udara kering, ft <sup>3</sup>	Entalpi uap air per lb udara kering, Btu	Kelemba- ban spes. Grain per lb udara kering
		Air jenuh Btu/lb	Uap jenuh, Btu/lb						
$t$	$P_s$	$h_f$	$h_g$	$v_g$	$v_a$	$h_a$	$v_s$	$h_s$	$W_s$
101	1.9923	69.0	1105.2	340.4	14.132	24.28	15.14	73.44	311.3
102	2.0529	70.0	1105.6	331.0	14.157	24.52	15.20	75.31	321.5
103	2.1149	71.0	1106.0	321.8	14.183	24.76	15.26	77.22	332.0
104	2.1786	72.0	1106.4	313.0	14.208	25.00	15.32	79.19	342.8
105	2.2440	73.0	1106.9	303.4	14.233	25.24	15.39	81.21	353.9
106	2.3110	74.0	1107.3	296.0	14.259	25.48	15.45	83.29	365.4
107	2.3798	75.0	1107.7	288.0	14.284	25.72	15.52	85.42	377.2
108	2.4503	76.0	1108.2	280.2	14.309	25.96	15.59	87.62	389.4
109	2.5226	77.0	1108.6	272.6	14.334	26.20	15.65	89.87	402.0
110	2.5968	78.0	1109.0	265.3	14.360	26.45	15.72	92.19	414.9
111	2.6728	79.0	1109.4	258.2	14.385	26.69	15.80	94.58	428.3
112	2.7507	80.0	1109.9	251.3	14.410	26.93	15.87	97.03	442.1
113	2.8306	81.0	1110.3	244.6	14.435	27.17	15.94	99.55	456.3
114	2.9125	82.0	1110.7	238.1	14.461	27.41	16.02	102.16	471.0
115	2.9963	83.0	1111.1	231.8	14.486	27.65	16.10	104.81	486.1
116	3.0823	84.0	1111.6	225.8	14.511	27.89	16.18	107.55	501.6
117	3.1703	85.0	1112.0	219.9	14.537	28.13	16.26	110.38	517.7
118	3.2606	86.0	1112.4	214.1	14.562	28.37	16.34	113.29	534.3
119	3.3530	87.0	1112.8	208.6	14.587	28.61	16.43	116.28	551.4
120	3.4477	88.0	1113.3	203.2	14.612	28.85	16.51	119.36	569.0
121	3.5446	89.0	1113.7	197.9	14.637	29.09	16.60	122.52	587.2
122	3.6439	90.0	1114.1	192.9	14.663	29.33	16.70	125.79	606.0
123	3.7455	91.0	1114.5	189.0	14.688	29.57	16.79	129.15	625.3
124	3.8496	92.0	1114.9	183.2	14.713	29.82	16.89	132.61	645.3
125	3.9561	93.0	1115.4	178.5	14.739	30.06	16.98	136.17	665.9
126	4.0651	94.0	1115.8	174.0	14.764	30.30	17.08	139.88	687.2
127	4.1768	95.0	1116.2	169.6	14.789	30.54	17.19	143.64	709.2
128	4.2910	96.0	1116.6	165.4	14.814	30.78	17.29	147.54	731.9
129	4.4078	97.0	1117.0	161.3	14.839	31.02	17.40	151.57	755.4
130	4.5274	98.0	1117.5	157.3	14.865	31.26	17.52	155.72	779.6
131	4.6498	99.0	1117.9	153.4	14.890	31.50	17.63	160.00	804.6
132	4.7750	100.0	1118.3	149.6	14.915	31.74	17.75	165.43	830.5
133	4.9030	101.0	1118.7	145.9	14.941	31.98	17.87	168.98	857.2
134	5.0340	102.0	1119.2	142.4	14.966	32.22	17.99	173.69	884.8
135	5.1679	103.0	1119.6	138.9	14.991	32.46	18.12	178.54	913.3
136	5.3049	104.0	1120.0	135.5	15.016	32.70	18.25	183.57	942.8
137	5.4450	105.0	1120.4	132.2	15.043	32.94	18.39	188.75	973.4
138	5.5881	106.0	1120.8	129.1	15.067	33.18	18.53	194.04	1000.0
139	5.7345	107.0	1121.2	126.0	15.092	33.43	18.67	199.64	1038
140	5.8842	108.0	1121.7	123.0	15.117	33.67	18.82	205.34	1071
141	6.0371	109.0	1122.1	120.0	15.143	33.91	18.97	211.27	1106
142	6.1934	110.0	1122.5	117.2	15.168	34.15	19.13	217.39	1143
143	6.3532	111.0	1122.9	114.4	15.193	34.39	19.29	223.70	1180
144	6.5164	112.0	1123.3	111.7	15.218	34.63	19.45	230.28	1219
145	6.6832	113.0	1123.7	109.1	15.244	34.87	19.62	236.94	1259
146	6.8536	114.0	1124.1	106.6	15.269	35.11	19.81	244.06	1301
147	7.0277	115.0	1124.6	104.1	15.294	35.35	19.99	251.34	1344
148	7.2056	116.0	1125.0	101.7	15.319	35.59	20.18	258.88	1389
149	7.3872	117.0	1125.5	99.32	15.345	35.83	20.37	266.71	1436
150	7.5727	118.0	1125.8	97.04	15.370	36.07	20.58	274.34	1485

Source : Gof and Gratch, 1946, p. 95. By permission from American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers, New York.

\*For temperatures of 1 to 32oF, the data are for ice instead of water

## DAFTAR PUSTAKA

Ambyo Mangunwijaya, dkk. 1997. **DIKTAT PENGETAHUAN VENTILASI BAWAH TANAH.** Bandung : Institut Teknologi Bandung.

Howard L. Hartman, 1961. **MINE VENTILATION AND AIR CONDITIONING.**  
New York : The Ronald Press Company.

W. L. LE ROUX, 1979. **MINE VENTILATION NOTES FOR BEGINNERS.**  
South Africa : The Mine Ventilation Society.