

IV. TEORI PENGERINGAN

1. KANDUNGAN AIR SUATU BAHAN

Biji buah kopi maupun produk-produk hasil bumi yang lain, pada umumnya setelah panen memiliki kadar kelembaban tertentu yang cukup tinggi. Kadar air dalam bahan pangan mentah tidak boleh terlalu tinggi karena pada kadar air yang cukup tinggi, bahan pangan ini mudah terserang cendawan sehingga bisa merusak bahan itu sendiri sebelum menjalani proses pengolahan lanjut. Oleh karena itu tiap bahan memiliki batasan kadar air tertentu di mana pada batasan itu bahan pangan dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi produk jadi.

1.1 Dasar Penentuan Kandungan Air Suatu Bahan

Kandungan kelembaban suatu bahan dapat dinyatakan dalam *wet basis* atau *dry basis*. Kandungan kelembaban dalam *wet basis* menyatakan perbandingan massa air dalam bahan dengan massa total bahan (yaitu massa air plus massa bahan kering). Pada *dry basis*, kandungan air dihitung dengan membagi massa air dalam bahan dengan massa bahan keringnya saja.

Keduanya, baik *wet basis* dan *dry basis* dinyatakan dalam persen kelembaban¹:

$$M_w = 100 \frac{m_w}{m_w + m_D} \quad (4-1)$$

$$M_D = 100 \frac{m_w}{m_D} \quad (4-2)$$

M_w dan M_D masing-masing menyatakan % kelembaban dalam *wet basis* dan *dry basis*. Massa air dan massa bahan kering dinyatakan oleh m_w dan m_D dalam satuan kilogram.

Persen kelembaban dalam *wet basis* dapat dikonversikan ke persen kelembaban dalam *dry basis* dan sebaliknya dengan rumus

$$M_D = 100 \frac{M_w}{(100 - M_w)} \quad (4-3)$$

$$M_w = 100 \frac{M_D}{(100 + M_D)} \quad (4-4)$$

Ukuran *wet basis* secara khusus digunakan oleh para petani dan dalam perdagangan hasil bumi. Dalam pembahasan ini, ukuran kandungan kelembaban suatu bahan dipakai *wet basis*.

1.2 Menghitung Massa Air Yang Diuapkan

Pengeringan suatu bahan basah pada dasarnya adalah menurunkan kadar air suatu bahan sampai pada batas kandungan air yang ditentukan.

¹ Physiological Factors In Drying And Storing Farm Crops, ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, 1989 hal 10.4

Dalam *wet basis*, jumlah (massa) air yang diuapkan dihitung berdasarkan selisih massa air bahan mula-mula, m_{w1} dan massa air akhir, m_{w2} .

Apabila K_o adalah kadar air mula-mula dalam *wet basis*, K adalah kadar air akhir setelah pengeringan, m adalah massa total bahan dan m_D menyatakan massa bahan kering, maka jumlah air yang diuapkan, Δm_w

$$\Delta m_w = m_{w1} - m_{w2}$$

sedangkan,

$$m_{w1} = K_o m$$

Kadar air akhir dinyatakan dalam m_{w2} adalah

$$K = 100 \frac{m_{w2}}{m_{w2} + m_D}$$

sehingga,

$$m_{w2} = \frac{K m_D}{100 - K}$$

selanjutnya,

$$\Delta m_w = K_o m - \frac{K m_D}{100 - K}$$

$$\Delta m_w = K_o m - \frac{K (m - m_{w1})}{100 - K}$$

$$\Delta m_w = \frac{K_o m (100 - K) - K (m - K_o m)}{100 - K}$$

$$\Delta m_w = \frac{100 K_o m - K_o m K - K m + K_o m K}{100 - K}$$

$$\Delta m_w = \frac{m(K_o - K)}{100 - K} \quad (4-5)$$

Persamaan 4-5 ini digunakan untuk menghitung jumlah massa air yang diuapkan dari kadar air awal K_o hingga kadar air akhir K dalam sejumlah massa bahan basah.

Satuan massa dalam kilogram, kandungan air dinyatakan dalam persen *wet basis*.

2. KELEMBABAN UDARA

2.1 Kelembaban Udara

Kelembaban udara mempengaruhi kemampuan udara untuk meminimalkan uap air. Secara umum, kelembaban udara adalah ukuran kandungan air di udara. Kelembaban udara dapat dinyatakan dalam dua pengertian yang berbeda yaitu kelembaban mutlak dan kelembaban relatif.

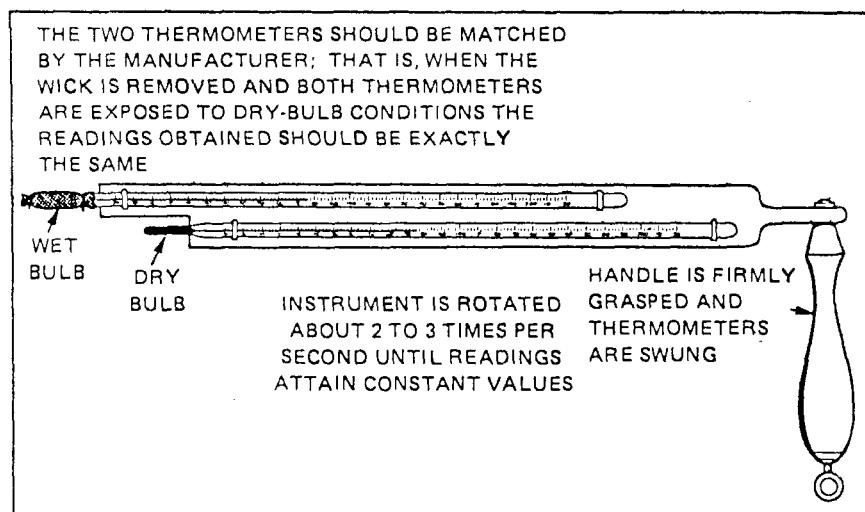
Kelembaban mutlak adalah massa uap air dalam tiap satuan massa udara kering, dinyatakan oleh satuan massa uap air per satuan massa udara kering. Tingkat penenuhan udara dinyatakan oleh *relative humidity*, RH. Jelasnya, RH adalah perbandingan kelembaban udara tertentu dengan kelembaban udara jenuh pada kondisi tekanan dan temperatur yang sama. Perbandingan ini dinyatakan dalam persentase kejenuhan dengan 100% RH untuk udara jenuh dan 0% RH untuk udara yang benar-benar kering. Kelembaban relatif dapat dirumuskan

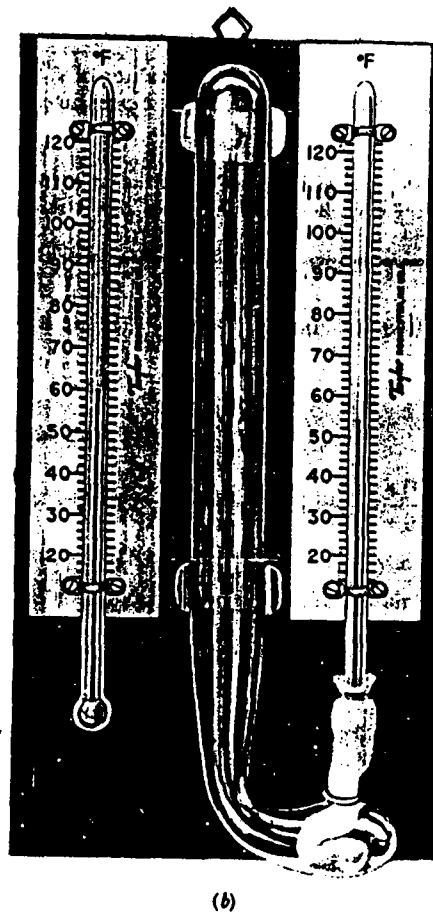
$$RH = \frac{W_{act}}{W_{sat}} \times 100\% \quad (4-6)$$

2.2 Psikrometrik, Suatu Pengukur Kelembaban

Suatu alat ukur yang paling sesuai untuk menentukan kelembaban adalah *sling psychrometer*, seperti diperlihatkan pada Gambar 4-1. Alat ukur ini terdiri atas dua termometer standar yang ditancapkan pada suatu kerangka yang dapat diputar. Termometer pertama, *wet bulb* (WB) yang ditutup dengan kain basah, yang lain adalah *dry bulb* (DB) yang sama seperti termometer pada umumnya. Instrumen diputar di sekeliling udara sehingga terjadi penguapan dari kain basah. Walaupun udara yang melalui DB sama dengan yang melalui WB, penunjukan temperatur kedua termometer tidaklah sama. Termometer *wet bulb* mencatat temperatur yang lebih rendah daripada *dry bulb*.

Pada wet bulb, terjadi penguapan yang merupakan proses pendinginan dimana panas dipindahkan dari permukaan. Jadi permukaan *wet bulb* menunjukkan pembacaan temperatur yang lebih rendah. Semakin rendah RH udara, semakin cepat terjadi penguapan dan menghasilkan depresi *wet bulb* yang lebih tinggi.



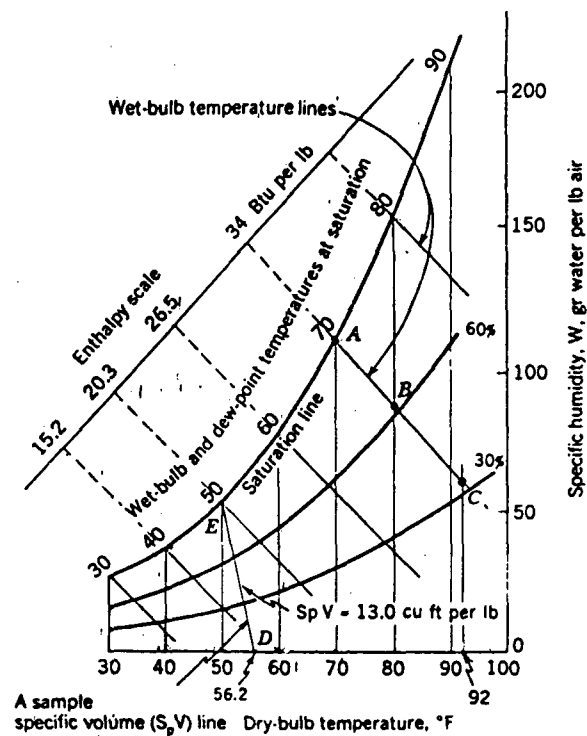


Gambar 4-1 Termometer bola basah dan termometer bola kering. (a) sling psychrometer.

(b) pengukur kelembaban posisi permanen, diletakkan pada jalur arus udara dari fan

Sebaliknya bila kelembaban udara tinggi, penguapan akan lambat dan selisih pembacaan kecil. Pada RH 100%, dimana udara tidak mampu lagi menarik air, temperatur menunjukkan nilai yang sama baik pada *wet bulb* maupun *dry bulb*.

Hubungan antara sifat-sifat udara ini, lalu ditabelkan dan diplot secara grafis yang kemudian disebut sebagai *psychrometric chart*, seperti ditampilkan pada Gambar 4-2.



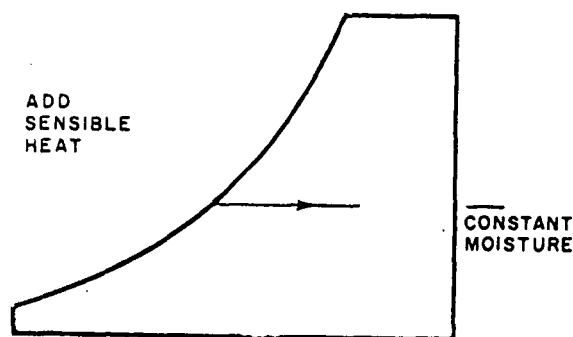
Gambar 4-2 Diagram psikrometrik.

3. PROSES PSIKROMETRIK PADA PENGERINGAN

Proses pengeringan pada umumnya terdiri dari dua tahap pengkondisian udara. Proses diawali dengan pemanasan udara pada kelembaban konstan yang dipakai untuk pengering dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan penguapan. Selanjutnya proses pengeringan itu sendiri yang dapat disamakan dengan proses pendinginan adiabatik udara pengering (*evaporative cooling*) pada diagram psikrometrik.

3.1 Pemanasan Udara Pada Kelembaban Konstan

Proses pengeringan dipengaruhi oleh kelembaban relatif udara pengering. Apabila pada kelembaban relatif udara pengering pada temperatur tertentu cukup tinggi maka proses penguapan terjadi sangat lamban. Salah satu cara untuk menurunkan kelembaban relatif yaitu dengan meningkatkan temperatur udara pengering pada kelembaban konstan melalui pemanasan udara. Udara dengan temperatur lebih tinggi mempunyai kelembaban relatif yang lebih rendah sehingga kemampuan serapnya terhadap air lebih tinggi.



Gambar 4-3 Proses pemanasan udara pada kelembaban konstan.

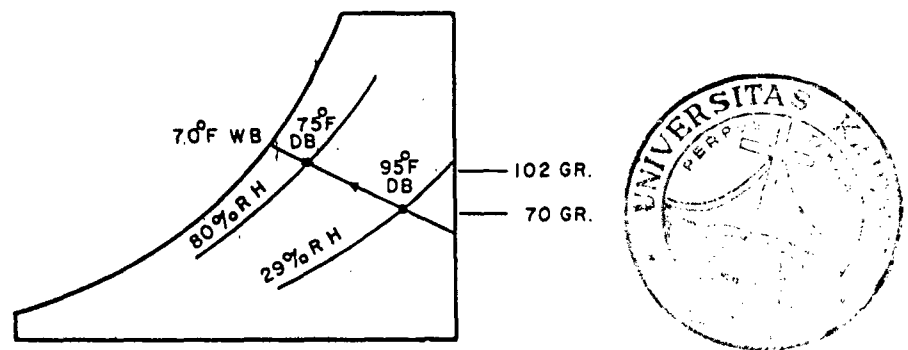
Proses pemanasan udara tanpa menambah kelembaban ditunjukkan dengan garis lurus mengikuti arah kenaikan dry bulb pada tingkat kelembaban konstan seperti terlihat pada grafik psikrometrik pada Gambar 4-3.

3.2 Penguapan Pada Entalpi Konstan

Proses pengeringan pada umumnya diasumsikan adiabatik yaitu terjadi pada energi panas konstan. Energi panas yang diperlukan untuk menguapkan air diambil dari panas sensibel udara kering. Karena energi panas total adalah

konstan maka terjadi pendinginan sensibel sedangkan panas laten meningkat. Hal ini berakibat temperatur *dry bulb* turun sampai nilai tertentu pada suatu RH udara tertentu.

Pada diagram psikrometrik, proses pendinginan adiabatik mengikuti garis entalpi konstan yang juga merupakan garis temperatur *wet bulb* konstan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4-4.



Gambar 4-4 Pendinginan adiabatik udara pada proses penguapan.

Hukum penjenjutan adiabatik menetapkan bahwa selama penjenjutan adiabatik, campuran udara-uap air terjadi dalam suatu ruang terisolasi, maka kehilangan panas sensibel setara dengan perolehan atau peningkatan panas laten. Secara matematis hukum ini dinyatakan dengan persamaan²

$$(c_a + c_w w)(t - t') = L_v (w_s - w) \quad (4-7)$$

di mana

c_a = kalor jenis udara kering

c_w = kalor jenis uap air

t = temperatur bola kering

² Norman C. Harris, Modern Air Conditioning Practice, Third Edition, McGraw-Hill, Inc Singapore, 1985, hal 412

t' = temperatur bola basah

L_v' = kalor laten penguapan air

w = kelembaban mutlak udara tak jenuh

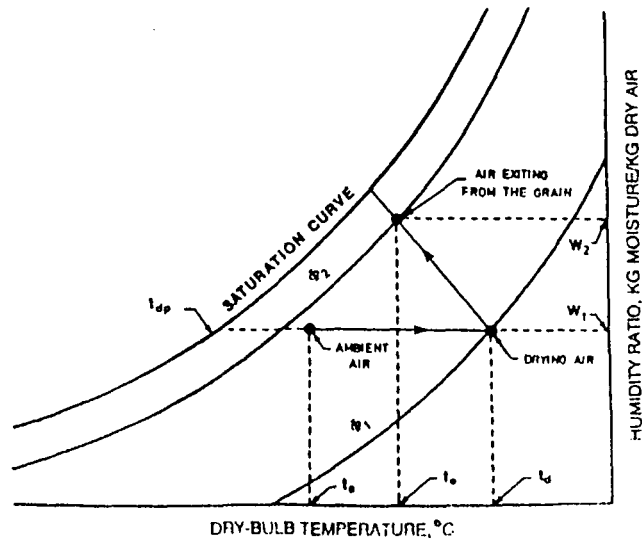
w_s = kelembaban mutlak setelah penjenjuran pada temperatur t'

3.3 Teori Pengeringan

Secara umum modus pengeringan memanfaatkan panas sensibel dari udara di mana udara pada temperatur ambien dipanaskan terlebih dahulu sampai temperatur tertentu. Proses pengeringan secara lengkap digambarkan pada diagram psikrometrik pada Gambar 4-5. Udara yang sudah dipanaskan lalu dialirkan melalui bahan yang dikeringkan. Proses pengeringan diasumsikan adiabatik yaitu semua kehilangan panas sensibel udara digunakan untuk penguapan kelembaban dan dikonversikan menjadi panas laten uap air dalam udara pengering³. Kandungan energi panas total udara adalah tetap. Oleh karena itu titik kondisi udara dianggap bergerak sepanjang garis penjenjuran adiabatik pada diagram psikrometrik.

Proses pengeringan pada diagram psikrometrik di atas dapat dijelaskan berikut, udara pada t_a dan kelembaban relatif tertentu Φ tertentu dipanaskan sampai pada temperatur udara pengering, t_d dan kelembaban relatif Φ_1 . Pada saat udara melalui bahan yang dikeringkan (biji), panas sensibel udara menyedikan panas laten untuk penguapan air. Begitu udara keluar dari biji, temperatur turun hingga t_e dan kelembaban relatif meningkat Φ_2 .

³ Physiological Factors In Drying And Storing Farm Crops, ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, 1989, hal 10-7.



Gambar 4-5 Proses pengeringan pada diagram psikrometrik.

Kalau dilihat pada garis kelembaban mutlak, maka tiap satuan massa udara kering akan memuat kelembaban sebesar $w_2 - w_1$.

Pada suatu proses pengeringan dengan laju konstan, laju pengeringan ditentukan oleh laju perpindahan panas pada permukaan penguapan. Temperatur permukaan adalah konstan. Mekanisme pemindahan kelembaban adalah sama halnya dengan yang terjadi pada penguapan air dan pada dasarnya tidak bergantung pada sifat bahan⁴.

Apabila panas dipindahkan dengan modus konveksi tanpa adanya pengaruh modus panas yang lain maka temperatur permukaan mencapai temperatur bola basah.

⁴

R.H.Perry, Don Green, Perry's Chemical Engineers Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill Inc., Malaysia, 1984, hal 20-10