

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Kadar Air Bahan.

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan. Dalam hal ini terdapat dua metode untuk menentukan kadar air bahan tersebut yaitu berdasarkan bobot kering (*dry basis*) dan berdasarkan bobot basah (*wet basis*).

Dalam penentuan kadar air bahan hasil pertanian biasanya dilakukan berdasarkan bobot basah (*wet basis*). Dalam perhitungan ini berlaku rumus sebagai berikut :

$$Mw = \frac{Mw}{Ww + Wd} \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan :

$Mw$  = Kadar air (w.b)

$Wd$  = Berat kering bahan

$Ww$  = Berat kadar air

Jika suatu bahan hasil pertanian dinyatakan mempunyai kadar air 20 persen berdasarkan bobot basah, maka ini berarti dalam 100 gram bahan tersebut terdapat air sebanyak 20 gram dan bahan kering (selain air) sebanyak 80 gram. Seandainya dinyatakan dalam sistem bobot kering maka kadar airnya adalah  $(20/80) \times 100$  persen atau sama dengan 25 persen.

Untuk menentukan bobot kering atau bahan, penimbangan dilakukan setelah bobot bahan tersebut tidak berubah lagi selama pengeringan berlangsung. Untuk ini biasanya dilakukan pengeringan dengan menggunakan suhu 105°C minimal selama dua jam.

Di dalam suatu analisis bahan, biasanya kadar air bahan ditentukan berdasarkan sistem bobot kering. Ini disebabkan karena perhitungan berdasarkan bobot basah mempunyai kelemahan yakni bobot basah bahan selalu berubah-ubah setiap saat. Kalau berdasarkan bobot kering hal ini tidak akan terjadi karena bobot kering bahan selalu tetap. Dalam perhitungan kadar air bahan berdasarkan bobot kering berlaku rumus sebagai berikut :

$$Md = \frac{Ww}{Wd} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan :

$Md$  = Kadar air (d.b)

$Ww$  = Berat kadar air

Berdasarkan kadar air (bobot basah dan bobot kering) dari bahan basah maupun bahan setelah dikeringkan, dapat ditentukan rasio pengeringan (*drying ratio*) dari bahan yang dikeringkan tersebut. besarnya "*drying ratio*" dapat dihitung sebagai bobot bahan pengeringan per bobot bahan setelah pengeringan.

$$\text{Drying ratio} = \frac{\text{bobot bahan sebelum pengeringan}}{\text{bobot bahan setelah pengeringan}} \dots\dots\dots [3]$$

$$= \frac{100 - M_1}{100 - M_0} = \frac{T_0 + 1}{T_1 + 1}$$

Keterangan :

$M_0$  = Persen air mula-mula

$M_f$  = Persen uap air setelah pengeringan

$$T_0 = \frac{\text{Persen uap air awal}}{\text{Persen bahan kering awal}}$$

$$T_f = \frac{\text{Persen uap air setelah pengeringan}}{\text{Persen bahan setelah pengeringan}}$$

Bila diketahui kadar air bahan berdasarkan bobot basah, maka dapat diketahui besarnya bobot kering khususnya untuk biji-bijian, seperti terlihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

**Tabel 2.1.** Konversi persentase kandungan air bobot basah ke bobot kering.

% kandungan air (bobot basah)	% kandungan air (bobot kering)
10	11,0
11	12,3
12	13,6
13	15,0
14	16,3
15	17,6
16	19,0
17	20,5
18	21,9
19	23,5
20	25,0
21	26,5
22	28,2
23	29,9
24	31,6
25	33,3
26	35,1
27	37,0
28	38,9
29	40,0
30	42,8

Sumber : Suryo Busono (1983)

## 2.2. Proses Pengeringan.

Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air. Cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban nisbi udara dengan mengalirkan udara panas di sekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan lebih besar dari pada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara.

Menurut Earle (1969). Faktor-faktor yang mempengaruhi penguapan adalah:

- a. Laju pemanasan waktu energi (panas) dipindahkan pada bahan
- b. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan tiap-tiap kg air
- c. Suhu maksimum pada bahan
- d. Tekanan pada saat terjadinya penguapan
- e. Perubahan lain yang mungkin terjadi di dalam bahan selama proses penguapan berlangsung.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses, yaitu :

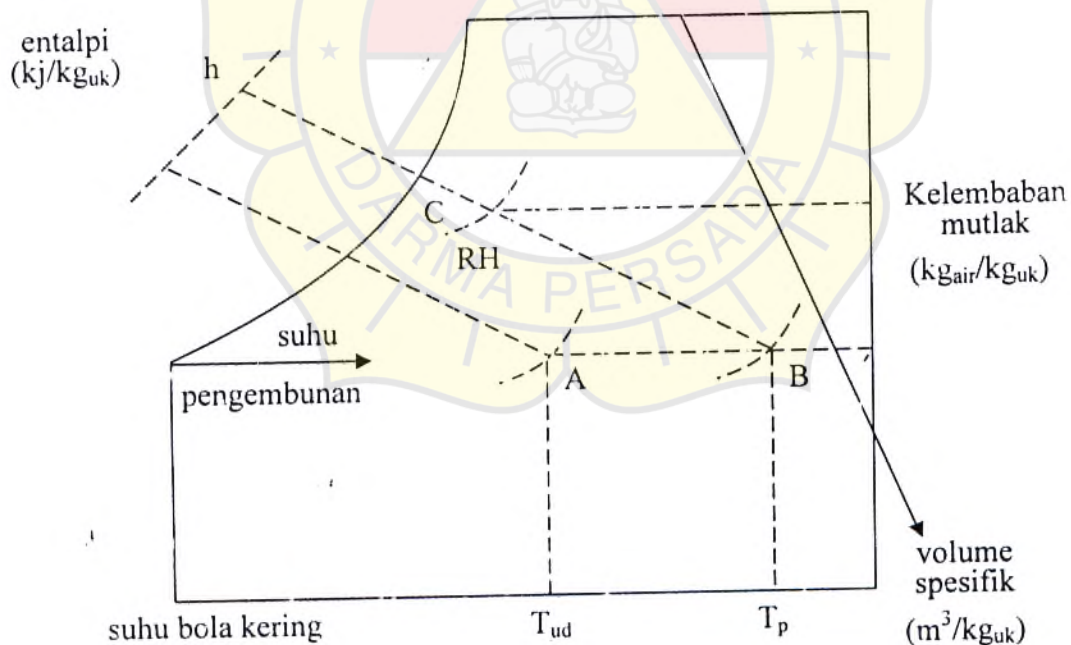
- a. Proses perpindahan *panas*, yaitu proses menguapkan air dari dalam bahan atau proses perubahan bentuk cair ke dalam gas.
- b. Proses perpindahan *massa*, yaitu proses perpindahan masa uap air dari permukaan bahan ke udara.

Proses pengeringan pada bahan dimana udara panas dialihkan dapat dianggap suatu proses adiabatik. Hal ini berarti bahwa panas yang dibutuhkan untuk penguapan air dari bahan hanya diberikan oleh udara pengering dengan

pindah panas secara konduksi atau radiasi tanpa penambahan energi dari luar. Ketika udara pengering menembus bahan basah, sebagai panas sensibel udara pengering diubah menjadi panas laten sambil menghasilkan uap air.

Selama proses pengeringan terjadi penurunan suhu bola kering udara, disertai dengan kenaikan kelembaban mutlak, kelembaban nisbi, tekanan uap dan suhu pengembunan udara pengering. Entalpi dan suhu bola basah udara pengering tidak menunjukkan perubahan.

Pada gambar 2.1 berikut ini dapat dilihat gambaran proses pengeringan udara menurut kurva psikometrik. Pada gambar tersebut dapat dilihat kelembaban mutlak, kelembaban nisbi, suhu bola basah, suhu bola kering, entalpi.



Gambar 2.1. Gambaran proses pengeringan pada kurva psikrometrik.

Keterangan :

- A – B : proses pemanasan udara
- B – C : proses pengeringan udara
- $T_{ud}$  : suhu udara
- $T_p$  : suhu udara pengering
- uk : udara kering

Proses pemindahan panas terdiri karena suhu bahan lebih rendah dari pada suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya. Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi dari pada tekanan uap air di udara, sehingga terjadi pemindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa.

Bila dianggap bahwa suhu yang terjadi dapat di pertahankan konstan selama proses pengeringan, dan proses pengeringan berlangsung sebagai proses pengeringan lapisan tipis maka persamaan keseimbangan energi adalah : (Henderson and Perry,1970).

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt) \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan :

- $M$  = Kadar air basis kering
- $M_e$  = Kadar air keseimbangan (%bk)
- $M_o$  = Kadar air awal bahan (%)
- $k$  = Konstanta pengeringan (1/menit)
- $t$  = Waktu pengeringan

Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan dalam bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaannya dan seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara di sekitarnya.

Berlangsungnya proses pengeringan tidak dapat terjadi dalam suatu waktu sekaligus. Jadi dalam pengeringan diperlukan adanya waktu istirahat (*tempering time*), dimana selama waktu tersebut seluruh air di dalam bahan akan mencapai keseimbangan.

Berdasarkan cara penggunaan udara dan panas, maka Earle (1969), membagi proses pengeringan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu :

#### 1. Pengeringan Udara

Panas dipindahkan menembus bahan, baik dari udara maupun dari permukaan bahan yang dikeringkan/dipanaskan. Uap air dipindahkan dengan penghembusan udara. Peranan udara sangat penting sebagai penghantar panas ke dalam bahan yang dikeringkan, mengambil uap di daerah penguapan dan tempat membuang uap yang telah diambil dari tempat pengeringan.

## 2. Pengeringan Hampa Udara

Keuntungan dalam pengeringan hampa udara didasarkan pada kenyataan bahwa penguapan air terjadi lebih cepat pada tekanan rendah dari pada tekanan tinggi. Panas yang dipindahkan dalam pengeringan hampa udara umumnya secara konduksi atau radiasi.

## 3. Pengeringan Beku

Uap air disublimasikan keluar dari bahan. Struktur bahan tetap dipertahankan dengan baik pada kondisi ini. Suhu dan tekanan yang sesuai harus dipersiapkan di dalam alat pengering untuk menjamin terjadinya proses sublimasi. Tekanan untuk sublimasi adalah 678 Kal/kg.

Selanjutnya Earle (1969) menjelaskan bahwa mekanisme perpindahan panas terjadi secara pemancaran (*radiasi*), konduksi dan konveksi. Secara konduksi, energi molekul langsung berubah dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin, molekul dengan energi yang lebih besar memindahkan sebagian energi ke molekul tetangganya yang mempunyai energi lebih sedikit, misalnya pindah panas pada benda padat.

Pemancaran (*radiasi*) adalah perpindahan energi panas dengan gelombang elektromagnet, yang memindahkan panas dari suatu benda ke benda lain dengan cara yang sama dengan perpindahan cahaya.

Perpindahan panas secara konveksi dilakukan dengan pergerakan sekelompok molekul di dalam bahan cair. Kumpulan molekul tersebut bergerak akibat perubahan kerapatan atau akibat pergerakan bahan cair, misalnya memasak pada kuahi yang tertutup tanpa pengadukan.



Kemampuan bahan untuk menguapkan air akan bertambah cepat dengan adanya kenaikan suhu sedangkan panas yang diperlukan untuk menguapkan air akan berkurang dengan naiknya suhu pengeringan. Laju pengeringan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang terdapat di luar bahan dan faktor yang berhubungan dengan jalannya pengeringan. Beberapa faktor yang sukar diawasi adalah luas permukaan bahan, distribusi aliran udara, struktur molekuler bahan serta distribusi suhu dalam tenunan bahan. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi laju pengeringan adalah :

- a) Tekanan uap air pada suhu pengeringan maksimum,
- b) Tekanan luar udara dan uap air,
- c) Kecepatan pindah panas ke permukaan bahan,
- d) Tekanan uap keseimbangan dari dalam bahan,
- e) Kadar air bahan dan lain-lain.

Proses pengeringan mempunyai 2 (dua) periode utama yaitu periode pengeringan dengan laju pengeringan tetap dan periode pengeringan dengan laju pengeringan menurun. Kedua periode utama ini dibatasi oleh kadar air kritis (*critical moisture content*) (Henderson dan Perry, 1955).

Kadar air kritis adalah kadar air terendah saat dimana laju air bebas dari dalam bahan ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air maksimum dari bahan. Pada biji-bijian umumnya kadar air ketika pengeringan dimulai lebih kecil dari kadar air kritis. Dengan demikian pengeringan yang terjadi adalah pengeringan dengan laju menurun, walaupun terjadi pengeringan. Perubahan dari laju pengeringan menurun terjadi pada berbagai tingkatan kadar air yang berbeda untuk setiap bahan (Simmonds et al., 1953).

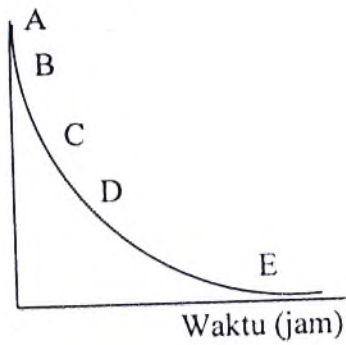
Pada periode ini laju pengeringan menurun permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Bila dikeringkan maka bahan akan mengalami laju pengeringan tetap yang relatif singkat pada awal pengeringan. Periode ini berarti bila dibandingkan terhadap pengeringan yang sempurna dan dalam perhitungan biasanya diabaikan.

Pengeringan dengan laju menurun sangat dipengaruhi oleh keadaan bahan yaitu, a) difusi air dari bahan ke permukaan, b) pengambilan uap air dari permukaan. Periode ini terdiri dari dua tahap yaitu, a) pengeringan pada saat permukaan bahan dalam keadaan basah dan b) pengeringan pada saat laju difusi air dalam bahan terjadi secara lambat dan merupakan faktor pembatas (Hall, 1957).

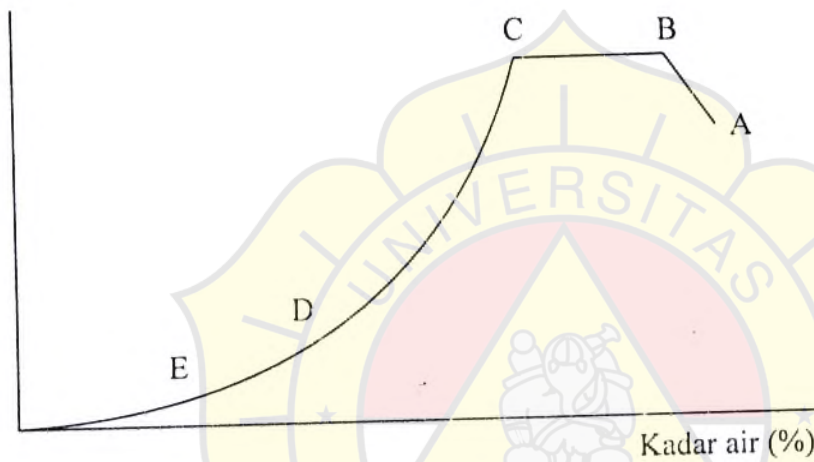
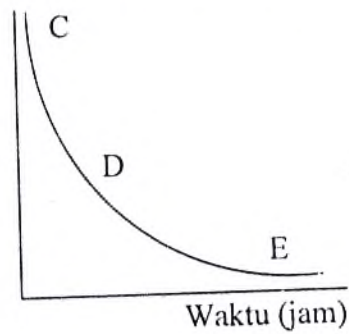
Selama periode laju pengeringan menurun, energi panas yang diperoleh bahan digunakan untuk menguapkan sisa air bebas yang sedikit sekali jumlahnya, disamping itu juga digunakan untuk menguapkan air dari dalam rongga sel, menarik air melalui pipa-pipa kapiler ke permukaan bahan serta melepaskan air dari ikatannya, baik yang terikat dengan dinding sel maupun dengan senyawa-senyawa kimia.

Laju pengeringan menurun terjadi setelah laju pengeringan konstan dimana kadar air bahan lebih kecil dan pada kadar ini kritis (Gambar 2.2). Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses, yaitu, a) perpindahan dari dalam ke permukaan bahan, dan b) perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya. Biasanya waktu pengeringan total merupakan penjumlahan waktu pengeringan dengan kecepatan tetap ditambah dengan waktu pengeringan dengan kecepatan menurun.

Kadar air (%)



Laju pengeringan (% bk/jam)



Gambar 2.2. Tahapan pengeringan (Hall, 1957).

Keterangan :

A - B = Periode pemanasan

B - C = Periode laju pengeringan konstan

C<sub>1</sub> = Kadar air kritis

C - D = Periode laju pengeringan menurun pertama

D - E = Periode laju pengeringan menurun kedua

Untuk bahan yang bersifat higroskopis pergerakan air dari dalam bahan berlangsung secara difusi. Bahan yang tidak higroskopis pergerakan air dari dalam

bahannya ke permukaan berlangsung dengan dua cara, yaitu bergerak secara aliran kapiler dan gravitasi.

Di dalam pengeringan hasil pertanian terjadi dua proses dasar yaitu :

- a) Perpindahan panas kepada cairan yang diuapkan dan
- b) Perpindahan massa baik yang berwujud air di dalam bahan maupun yang berwujud uap.

Massa yang dipindahkan di antara bahan yang dikeringkan wujudnya dapat berupa cairan dan atau uap. Sedangkan dari permukaan basah dipindahkan dalam wujud uap.

Kondisi-kondisi di luar dan mekanisme di dalam bahan kedua-duanya mempengaruhi proses pengeringan. Tetapi mekanisme pergerakan air di dalam bahan lebih penting, walaupun belum banyak digunakan karena pengaruhnya terhadap pengeringan hasil pertanian belum banyak diketahui.

Pergerakan air di dalam bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

- a) Difusi dalam bentuk cairan uap,
- b) Aksi kapilaritas,
- c) Penyusutan volume (*shrinkage*),
- d) Derajat kenaikan serta penurunan tekanan uap air,
- e) Gaya berat, dan
- f) Penguapan air (Hall, 1957).

Dalam pengeringan hasil pertanian secara mekanis, udara panas dialirkan dengan tekanan dari bawah sehingga tumpukan hasil pertanian akan mulai kering dari bagian dasar menuju ke atas. Dengan demikian terbentuklah zona

pengeringan, yang bergerak secara perlahan-lahan naik ke atas dengan berlanjutnya proses pengeringan (Moedjijarto Pratomo, 1979).

Selanjutnya dikemukakan bahwa laju pengeringan suatu hasil pertanian dengan menggunakan alat pengering buatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- a) Suhu dan kelembaban nisbi udara selama proses pengeringan,
- b) Kecepatan aliran udara yang melalui suatu bobot bahan, atau lamanya bahan melalui alat pengering,
- c) Kadar air awal bahan yang dikeringkan,
- d) Jenis bahan yang dikeringkan,
- e) Banyaknya bahan yang dikeringkan persatuan waktu, dan
- f) Suhu udara pengering pada waktu masuk dan keluar dari alat pengering.

Faktor-faktor luar (eksternal) seperti suhu, kelembaban, kecepatan aliran udara dan lain-lainnya dapat dioptimalkan sehingga dapat dirancang alat pengering yang sesuai. Selain dari faktor-faktor internal seperti luas permukaan bahan yang dikeringkan, konsentrasi larutan, ikatan dari air, struktur sel dan porositas bahan.

Misalnya bahan yang akan dikeringkan dipotong dan diiris halus-halus untuk mempercepat pengeringan. Permukaan bahan yang lebih luas mempermudah kontrak dengan udara panas dan mempermudah keluarnya air dari permukaan bahan. Disamping itu bahan yang ukurannya kecil dan tipis dapat mengurangi jarak yang harus ditempuh oleh panas untuk masuk ke bagian dalam bahan dan mengurangi jarak yang harus ditempuh air dari bagian dalam bahan untuk mencapai permukaan sehingga dapat diuapkan dengan cepat.

Bahan yang banyak mengandung zat terlarut pengeringannya berjalan lambat. Konsentrasi larutan pada bahan lebih besar sehingga pengeringan menjadi lebih lama. Hal ini yang menyebabkan laju pengeringan tetap menjadi menurun.

Air diuapkan dari permukaan bahan bila tekanan uapnya lebih besar dari pada tekanan uap udara yang berada di sekitarnya. Tetapi jika bahan dikeringkan dan air bebasnya dikeluarkan maka tekanan uap air persatuan luas menjadi turun sehingga laju pengeringan menjadi turun pula. Air yang terikat pada pati, pektin dan daun lebih sukar diuapkan dari pada air bebas.

Air berada di antara dan di dalam sel-sel. Ketika jaringan sel masih hidup, dinding dan membran sel mengikat air di dalamnya. Setelah jaringan tidak hidup lagi sel-sel tersebut menjadi lebih permeabel terhadap air sehingga mempercepat proses pengeringan. Semakin porus suatu bahan makin cepat air keluar ke permukaan bahan sehingga pengeringan bisa berlangsung lebih cepat.

### **2.2.1. Pengaruh Suhu Udara Pada Proses Pengeringan**

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang.

Pada proses pengeringan diperlukan adanya pergerakan udara. Dalam pengeringan secara mekanis pergerakan udara ini dapat dibantu dengan menggunakan kipas angin. Pada proses pengeringan, udara berfungsi untuk :

- a) Mengambil uap di sekitar tempat penguapan,
- b) Sebagai penghantar panas ke dalam bahan yang dikeringkan,
- c) Sebagai sumber zat pembakar, dan

d) Sebagai tempat membuang uap air yang telah diambil dari tempat pengeringan (Sri Setijahartini, 1980).

Pada proses pengeringan harus diperhatikan suhu udara pengering. Semakin besar perbedaan antara suhu media pemanas dengan bahan yang dikeringkan, semakin besar pula kecepatan pindah panas ke dalam bahan pangan, sehingga penguapan air dari bahan akan lebih banyak dan cepat.

Karena air dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap, maka harus secepatnya dipindahkan dan dijauhkan dari bahan. Jika tidak, air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga memperlambat pengeluaran air selanjutnya. Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Makin panas udara, makin banyak air yang bisa dikeluarkan sebelum kejenuhan terjadi. Volume udara yang lebih besar dapat membawa dan menampung air lebih banyak. Makin kering udara, makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi. Udara kering dapat menyerap dan menampung air lebih banyak terdiri dari pada udara lembab.

Kekeringan udara juga dapat menentukan kadar air akhir bahan yang dapat dicapai dengan pengeringan tersebut. Bahan kering bersifat higroskopis. Setiap bahan mempunyai kelembaban nisbi seimbang, saat mana tidak melepas atau menyerap air dari atau ke atmosfer. Di bawah tingkat kelembaban seimbang ini, bahan dapat dikeringkan sampai mencapai kadar air yang cukup rendah. Akan tetapi di atas kelembaban ini bahan akan menyerap air dari udara luar (atmosfer). Untuk beberapa komoditi dapat ditentukan kelembaban nisbi seimbang pada berbagai tingkatan suhu.

Proses pengeringan yang menggunakan suhu tinggi dalam waktu singkat lebih kecil kemungkinannya merusak bahan dari pada proses pengeringan dengan suhu rendah dalam waktu yang lama. Jadi bahan yang dikeringkan dalam oven selama empat jam mutunya akan lebih baik dari pada dikeringkan dengan sinar matahari selama dua hari.

Proses penguapan, uap air suatu bahan dapat terjadi karena adanya perbedaan tekanan uap air di dalam bahan dengan udara pengering. Perbedaan tekanan uap ini dapat dinyatakan sebagai beda kandungan air bahan dalam basis kering terhadap kandungan air seimbang dengan udara pengering (Huikill, 1947). Persamaan diferensial laju pengeringan digambarkan menurut persamaan berikut ini :

$$\frac{dM}{dt} = -k (M - Me) \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan :

$\frac{dM}{dt}$  = laju pengeringan

$k$  = konstanta pengeringan

$M$  = kadar air bahan dalam basis kering

$Me$  = kadar air keseimbangan bahan dengan udara pengering dalam basis kering.

$$E = \frac{100 (m_1 - m_2)}{(100 - m_1) (100 - m_2)} \times Wd \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan :

$E$  = uap air (kg)



$m_1$  = kadar air awal (basis basah) (%)

$m_2$  = kadar air akhir (basis basah) (%)

$W_d$  = bobot bahan kering (kg)

Dengan diketahuinya jumlah uap air yang dikeluarkan dari bahan maka laju perpindahan air dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut ini :

$$W = \frac{E}{T} \dots\dots\dots [7]$$

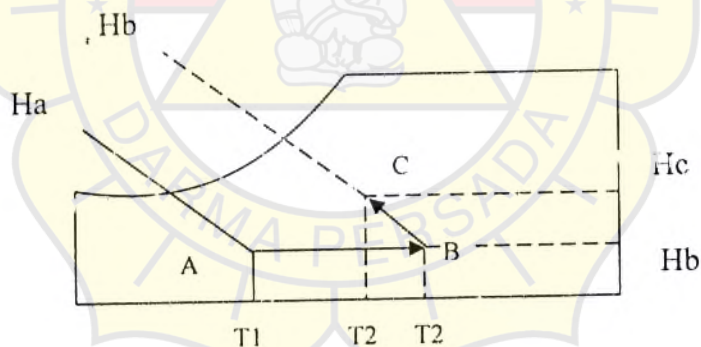
Keterangan :

$W$  = laju perpindahan air (kg/jam)

$E$  = uap air yang dikeluarkan dari bahan (kg)

$T$  = waktu pengeringan (jam)

Proses pengeringan udara pada pengeringan dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini



Gambar 2.3. Proses pengeringan udara pada pengeringan

Udara pada keadaan A dipanaskan sampai keadaan B dan dilewatkan melalui bahan yang dikeringkan, titik A menggerakkan garis bola basah keatas dan udara keluar pada keadaan C.

Kebutuhan aliran udara kering untuk membebaskan uap air dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$V = \frac{W}{(H_c - H_B)} \times v_s \dots\dots\dots[8]$$

$V$  = laju aliran udara ( $m^3/jam$ )

$W$  = laju perpindahan air ( $kg/jam$ )

$v_s$  = volume spesifik udara pada titik pengukuran ( $m^3/kg$  udara kering)

$H_c$  = kelembaban mutlak pada keadaan C ( $kg/kg_{uk}$ )

$H_B$  = kelembaban mutlak pada keadaan B ( $kg/kg_{uk}$ )

Dengan menggunakan grafik psikotrometrik, kebutuhan udara pengering dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$Q + V / v_s \times (h_B - h_A) \dots\dots\dots[9]$$

Keterangan :

$V$  = laju aliran udara ( $m^3/jam$ )

$v_s$  = volume spesifik udara pada titik pengukuran ( $m^3/kg_{uk}$ )

$h_B$  = entalpi udara pada keadaan B ( $Kj/kg_{uk}$ )

$h_A$  = entalpi udara pada keadaan A ( $Kj/kg_{uk}$ )

Penguapan terjadi mula-mula pada air permukaan, setelah air permukaan berkurang maka terjadi pengaliran air antar sel ke permukaan, karena proses keseimbangan kadar air di dalam bahan sendiri. Proses ini berjalan sampai keadaan kadar air antarsel dan kasar air permukaan tertentu, selanjutnya sel mengembang dan air dalam sel mengadakan keseimbangan, dengan kadar air dalam sel mengadakan keseimbangan dengan kadar air seluruhnya sehingga ada pengaliran air antar sel. Proses ini terjadi berulang kali sehingga terjadi perpindahan air dari dalam bahan ke udara (Moedjijarto Pratomo, 1979).

Pada proses pengeringan, suhu udara selain akan berpengaruh terhadap waktu pengeringan, juga akan berpengaruh terhadap kualitas bahan yang akan

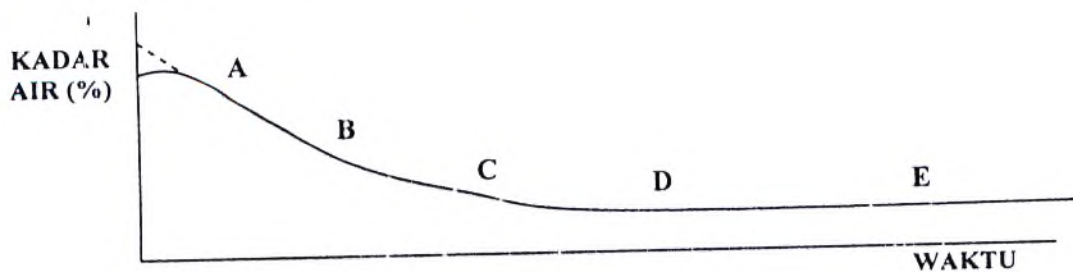
dikeringkan. Untuk menekan biaya pengeringan dengan biaya serendah mungkin dengan kapasitas pengeringan yang tinggi, maka dapat digunakan suhu yang tinggi, akan tetapi suhu yang digunakan tersebut tidak sampai merusak bahan yang dikeringkan. Suhu pada keadaan ini akan mencapai suhu kritis bahan.

Bila dikeringkan berupa buah-buahan, maka dalam suhu kritis ini buah sudah kering tapi belum ada perubahan bau maupun warna. Bila suhu kritis terlewati maka buah-buahan akan berubah bau dan warnanya.

Di dalam setiap pengeringan harus disahkan agar suhu pengeringan tidak melewati suhu kritis dari bahan yang dikeringkan. Akan tetapi suhu tinggi dapat saja digunakan apabila kadar air bahan yang dikeringkan sangat tinggi.

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat hubungan antara uap air sebagai fungsi dari waktu. Kurva ini diperlukan untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk pengeringan bahan dalam jumlah besar. Dengan mengambil koefisien arah dari kurva fraksi uap terhadap waktu pengeringan kemudian harga  $dx/dt$  ini dibuat kurva, maka akan terlihat bagian-bagian pengeringan sebagai berikut :

- AB = Penguapan awal
- BC = Pengeringan pada kecepatan tetap
- CD = Pengeringan pada permukaan tidak jenuh
- DE = Penguapan pada tenunan bahan



Gambar 2.4. Pengeringan dengan sistem "batch", dengan kondisi pengeringan tetap (Sri

Setijahartini, 1980)

Daerah CE disebut juga sebagai daerah dengan kecepatan pengeringan tidak tetap (*falling rate*). Titik C disebut sebagai titik kritis yaitu titik dimana kadar air dalam keadaan kritis, dengan perubahan waktu yang singkat kecepatan pengeringan akan berubah. Titik kritis ditentukan oleh konsentrasi uap air pada permukaan. Apabila pengeringan pada kecepatan tetap berjalan dengan cepat sekali dan bahan yang dikeringkan cukup tipis maka titik kritis ini akan dicapai pada kadar air yang tinggi. Pada umumnya kadar air kritis ini akan meningkat dengan naiknya kecepatan pengeringan dan ketebalan bahan yang dikeringkan.

### 2.2.2. Kelembaban

Selain dipengaruhi oleh suhu, pergerakan udara di dalam proses pengeringan juga ditentukan oleh kelembaban. Kelembaban merupakan ukuran kandungan air yang terdapat di udara. Air terdapat di udara sebagai campuran uap air dengan udara kering. Perbandingan antara massa uap air dengan massa udara tersebut "*mixing ratio*" dari uap air.

Volume udara lembab dapat dihitung sebagai jumlah volume udara kering dan uap air yang terkandungnya pada satu satuan massa yang tertentu. Biasanya satuan volume udara lembab ini dihitung berdasarkan volume dari satu kg udara lembab.

Kapasitas panas dari 1 mol udara kering dan uap air yang dikandungnya, dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$${}^c h = c_b + c_a \dots\dots\dots [10]$$

Keterangan :

${}^c h$  = Panas jenis udara lembab

$c_b$  = Kapasitas panas udara kering

$c_a$  = Kapasitas panas uap air

Untuk mengetahui entalpi udara lembab digunakan rumus sebagai berikut :

$$H = H_b + H_a \dots\dots\dots [11]$$

Keterangan :

$H$  = Entalpi 1 mol udara kering + uap air yang dikandungnya

$H_b$  = Entalpi udara kering

$H_a$  = Entalpi uap kering

Harga entalpi dihitung berdasarkan nilai entalpi udara kering pada suhu 0 °C dengan tekanan 1 atmosfer.

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Bila perbedaan tekanan uap antara cairan di dalam bahan dan uap di luar bahan kecil, pemindahan aliran cairan tersebut sedikit. Tekanan uap tergantung pada kelembaban udara.

Untuk menghitung tekanan udara air di udara harus diketahui dulu tekanan udara total pada saat itu. Tekanan udara total besarnya akan sama dengan jumlah tekanan uap air dan tekanan udara kering.

Kelembaban udara terdiri dari dua jenis yaitu kelembaban mutlak dan kelembaban nisbi. Kelembaban mutlak adalah kandungan massa uap air di dalam massa udara tertentu. Kelembaban dapat dipergunakan untuk menghitung massa air persatuan isi udara pada tekanan tertentu.

Udara dapat dikatakan jenuh dengan uap air bila kelembabannya sudah maksimum pada tekanan dan suhu tertentu. Bila masih dilakukan penambahan air untuk menjenuhkan udara maka harus ditambahkan tidak dalam bentuk cairan air akan tetapi berupa kabut (Earle, 1969).

Yang dimaksud dengan kelembaban nisbi adalah perbandingan udara tertentu dengan kelembaban udara jenuh pada suhu dan tekanan yang sama atau perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di udara dengan tekanan jenuh uap air pada suhu yang sama. Dalam hal ini dapat dipergunakan rumus berikut ini :

$$RH = \frac{P(t)}{P_s(t)} \dots\dots\dots[12]$$

Keterangan :

$RH$  = kelembaban nisbi (persen)

$P(t)$  = tekanan parsial uap air pada suhu  $t$  (atm)

$P_s(t)$  = tekanan uap air jenuh pada suhu  $t$  (atm)

Tekanan persiapan uap air dapat dilihat dari hubungannya dengan suhu bola basah pada persamaan empirik "*Sprung*" berikut ini :

$$f \leq f - 0.5 (t - t'0) \frac{\text{tekanan atmosfer, mm Hg}}{755} \dots\dots\dots[13]$$

Keterangan :

$t$  = suhu bola kering ( $^{\circ}C$ )

$t'$  = suhu bola basah ( $^{\circ}C$ )

$f$  = tekanan parsial uap air (mmHg)

$f$  = tekanan uap air jenuh pada  $t'$  (mmHg)

Kelembaban nisbi dinyatakan dalam persen. Kelembaban nisbi diperlukan untuk menentukan kapasitas udara guna penyerapan air pada dehidrasi, karena udara hanya menampung jumlah air tertentu yang akan menyebabkan udara menjadi jenuh.

Keseimbangan mutlak merupakan perbandingan antara berat uap air dengan berat udara kering yang ada dalam udara tertentu. Hubungan antara kelembaban mutlak dengan tekanan uap air dapat dilihat pada rumus berikut ini :

$$x = 0,6220 \frac{f}{\text{tekanan atmosfer} - f} \text{ (kg/kg)}$$

$$\text{atau : } f = \frac{X}{0,6220 + X} \times \text{tekanan atmosfer (mmHg)}$$

Keterangan :

$x$  = kelembaban mutlak (kg/kg)

$f$  = tekanan uap air (mmHg)

Tekanan uap jenuh ditentukan oleh suhu, jika suhu naik maka tekanan uap jenuh akan naik (jika tidak ada uap air yang ditambahkan), atau kelembaban nisbi akan turun dan sebaliknya. Jika suhu turun maka kelembaban nisbi akan naik sehingga terjadi pengembunan uap pada titik pengembunannya.

Tetapi setiap grafik sebenarnya hanya tepat pada tekanan tertentu. Namun pada pengeringan normal biasanya berlangsung pada selang perbedaan tekanan uap yang kecil, sehingga variasi tekanan dapat diabaikan dan grafik tersebut dapat dipakai dengan ketelitian yang cukup. Hal ini tidak berlaku pada pengeringan hampa udara.

Laju pengeringan tergantung pada besarnya kandungan uap air pada udara yang mengalir. Makin besar jumlah kandungan air pada udara yang mengalir, makin kecil kapasitas udara untuk menampung tambahan uap air pada bahan.

Laju penguapan air dapat ditentukan berdasarkan perbedaan antara tekanan uap air pada udara yang mengalir dengan tekanan uap air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Semakin kecil kelembaban bahan yang dikeringkan. Semakin

kecil kelembaban nisbi udara, maka semakin besar perbedaan antara tekanan uap air pada permukaan bahan yang akan dikeringkan dengan tekanan uap air udara, sehingga dapat mempercepat laju pengeringan. Pada hubungan antara kelembaban mutlak udara dengan berbagai variasi kandungan air dan berbagai variasi suhu dapat dilihat pada Lampiran 5. Kurva tersebut dalam bentuk persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$We = 0,622 \frac{P_w}{P - P_w} \dots\dots\dots[14]$$

Keterangan :

- We* = Keseimbangan kelembaban mutlak udara
- P* = Tekanan udara atmosfer
- P<sub>w</sub>* = Tekanan uap air

Peralatan yang digunakan untuk menentukan tingkat keadaan udara adalah Rh meter, yaitu alat yang dapat mengukur kelembaban nisbi udara.

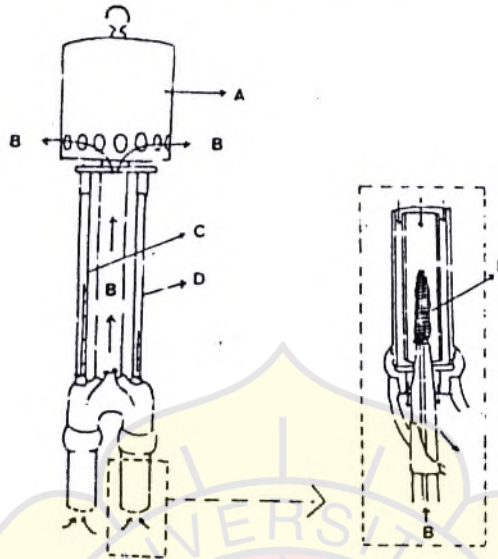
**2.2.3. Grafik Psikrometrik**

Dengan menggunakan grafik psikrometrik dapat diketahui sifat-sifat termal udara basah seperti suhu bola basah, suhu bola kering, tekanan persial uap air, kelembaban udara, volume spesifik udara, entalpi dan sebagainya.

Untuk menentukan suhu bola kering biasanya digunakan termometer dengan sensor kering dan terbuka. Biasanya termometer ini dipengaruhi oleh radiasi panas sehingga suhunya kurang tepat, untuk itu dapat digunakan ventilasi yang baik seperti pada Gambar 2.5. Suhu bola basah ditentukan dengan menggunakan termometer bola basah yang sensornya dibalut dengan kain basah. pengaruh radiasi panas dapat dihilangkan dengan adanya kain basah tersebut.



Udara harus dialirkan melalui sensor dengan kecepatan minimal 5m/detik. Suhu bola basah disebut juga sebagai suhu jenuh adiabatik (*adiabatic saturated temperature*).



**Gambar 2.5** Higrometer dengan ventilasi

Keterangan :

- A = kipas udara
- B = aliran udara
- C = termometer bola kering
- D = termometer bola basah
- E = bola basah

Pada grafik psikrometrik dicantumkan juga volume spesifik udara lembab yaitu perbandingan volume udara lembab di dalam 1 kg udara kering. Volume spesifik dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = (0,7734 + 1,224 x) \left( \frac{760}{\text{tekanan amtosfir}} \right) \frac{m^3}{kg} \dots\dots\dots[15]$$

Keterangan :

V = volume spesifik udara lembab (m<sup>3</sup>/kg)

$x$  = kelembaban mutlak (kg/kg)

$t$  = suhu bola kering ( $^{\circ}\text{C}$ )

0,7734 = volume spesifik udara kering pada  $0^{\circ}\text{C}$  (1 atm)

1,244 = volume spesifik uap air pada  $0^{\circ}\text{C}$  (1 atm)

273,2 =  $^{\circ}\text{C}$  dinyatakan dalam  $^{\circ}\text{K}$ .

Energi panas (kalor) yang dimiliki suatu zat pada suhu tertentu tersebut entalpi, untuk menghitungnya digunakan rumus berikut ini :

$$i = 0,240 t + (597,3 + 0,441 t) x \text{ (kkal/kg)} \dots\dots\dots [16]$$

Keterangan :

$i$  = entalpi (kkal/kg)

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

$x$  = kelembaban mutlak udara (kg/kg)

0,240 = panas spesifik udara kering (kkal/kg  $^{\circ}\text{C}$ )

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

597,3 = panas laten air pada  $0^{\circ}\text{C}$  (kkal/kg).

Pada grafik psikrometrik (*psychrometric chart*) digambarkan hubungan antara kelembaban udara dengan suhu dan entalpi. Kelembaban udara ditentukan oleh suhu dan jumlah uap air yang terdapat di udara. Perubahan suhu dan jumlah kadar air di udara dipengaruhi oleh proses pemanasan atau pendinginan (Earle, 1969).

Selanjutnya dikemukakan bahwa bila suhu udara ditingkatkan, maka kelembaban nisbi akan menurun. Dan bila suhu diturunkan, maka kelembaban nisbi akan meningkat. Dan bila suhu terus menerus diturunkan maka udara akan jenuh dan selanjutnya air akan mengembun. Suhu dimana air mulai mengembun pada tekanan dan kelembaban tertentu disebut titik pengembun.

Pada kelembaban udara yang rendah, laju penguapan dari bahan cukup tinggi, sebaliknya bila kelembaban udara tinggi maka laju penguapan air dari bahan akan rendah. Udara mulai mengembun bila kelembaban nisbinya mencapai 100 persen, dengan demikian penguapan air tidak akan terjadi pada saat tersebut.

Apabila ditentukan kelembaban nisbi udara masuk dan keluar dalam suatu pengeringan, kelembaban mutlak yang sesuai dapat dibaca dari grafik dan demikian juga jumlah air yang terbawa per pound udara dapat dihitung.

#### 2.2.4. Efisiensi Pengeringan

Yang dimaksud dengan efisiensi pengeringan adalah hasil perbandingan antara panas yang secara teoritis dibutuhkan dengan penggunaan panas yang sebenarnya dalam pengeringan.

Efisien penting untuk pendugaan bentuk pengeringan dan memilih alternatif pengeringan. Efisiensi secara keseluruhan juga mencakup panas dihitung dari panas pembakaran bahan bakar.

Jumlah kalor (panas) yang digunakan untuk pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$Q = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots [17]$$

Keterangan :

$Q$  = Jumlah panas yang digunakan untuk memanaskan dan menguapkan air bahan (Btu).

$Q_1$  = Jumlah panas yang digunakan untuk memanaskan bahan (Btu).

$Q_2$  = Jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan (lb).

$$Q_1 = m \times c \times \Delta t \dots\dots\dots [18]$$

Keterangan :

- $m$  = bobot bahan yang dikeringkan (lb)
- $c$  = panas jenis bahan yang dikeringkan (btu/lb °F)
- $\Delta t$  = kenaikan suhu bahan (°F)

$$O_2 = m_w \times I_h \dots\dots\dots [19]$$

Keterangan :

- $m_w$  = bobot air yang diuapkan (lb)
- $I_h$  = panas laten penguapan air (Btu/lb)

Untuk menentukan efisiensi pengeringan digunakan rumus berikut :

$$E = \frac{Q}{q} \times 100\% \dots\dots\dots [20]$$

Keterangan :

- $E$  = efisiensi pengeringan (persen)
- $Q$  = kalor yang digunakan (Btu)
- $q$  = kalor yang diterima dari udara pengering (Btu)

Untuk menentukan banyaknya kalor (panas) yang diberikan oleh udara panas pada bahan yang dikeringkan digunakan rumus berikut ini :

$$Q = p \times V \times C \times \Delta t \dots\dots\dots [21]$$

Keterangan :

- $p$  = kerapatan udara pada suhu pengeringan (lb/ft<sup>3</sup>)
- $V$  = volume udara yang dipanaskan (ft<sup>3</sup>)
- $C$  = panas jenis udara (Btu/lb °F)
- $\Delta t$  = perbedaan suhu pengeringan dengan suhu udara kering yang telah dipanaskan (°F).

Dengan mengetahui efisiensi alat pengering dapat dilakukan penyesuaian terhadap barang yang akan dikeringkan misalnya untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan agar tercapai kadar air yang diinginkan.

### 2.3. Efek Rumah Kaca

Pengering efek rumah kaca (ERK) adalah alat pengering berenergi surya yang memanfaatkan efek rumah kaca yang terjadi karena adanya penutup transparan pada dinding bangunan serta plat *absorber* sebagai pengumpul panas untuk menaikkan suhu udara ruang pengering (Kamaruddin, *et al.*, 1994). Bahan dinding yang digunakan adalah polikarbonat, plastik *UV stabilizer*, kaca serat dan lain-lain. Lapisan transparan ini memungkinkan radiasi gelombang pendek dari matahari masuk ke dalam dan mengenai elemen-elemen bangunan. Hal ini menyebabkan radiasi gelombang pendek yang terpantul berubah menjadi gelombang panjang dan terperangkap dalam bangunan karena tidak dapat menembus penutup transparan sehingga menyebabkan suhu menjadi tinggi. Proses inilah yang dinamakan efek rumah kaca.

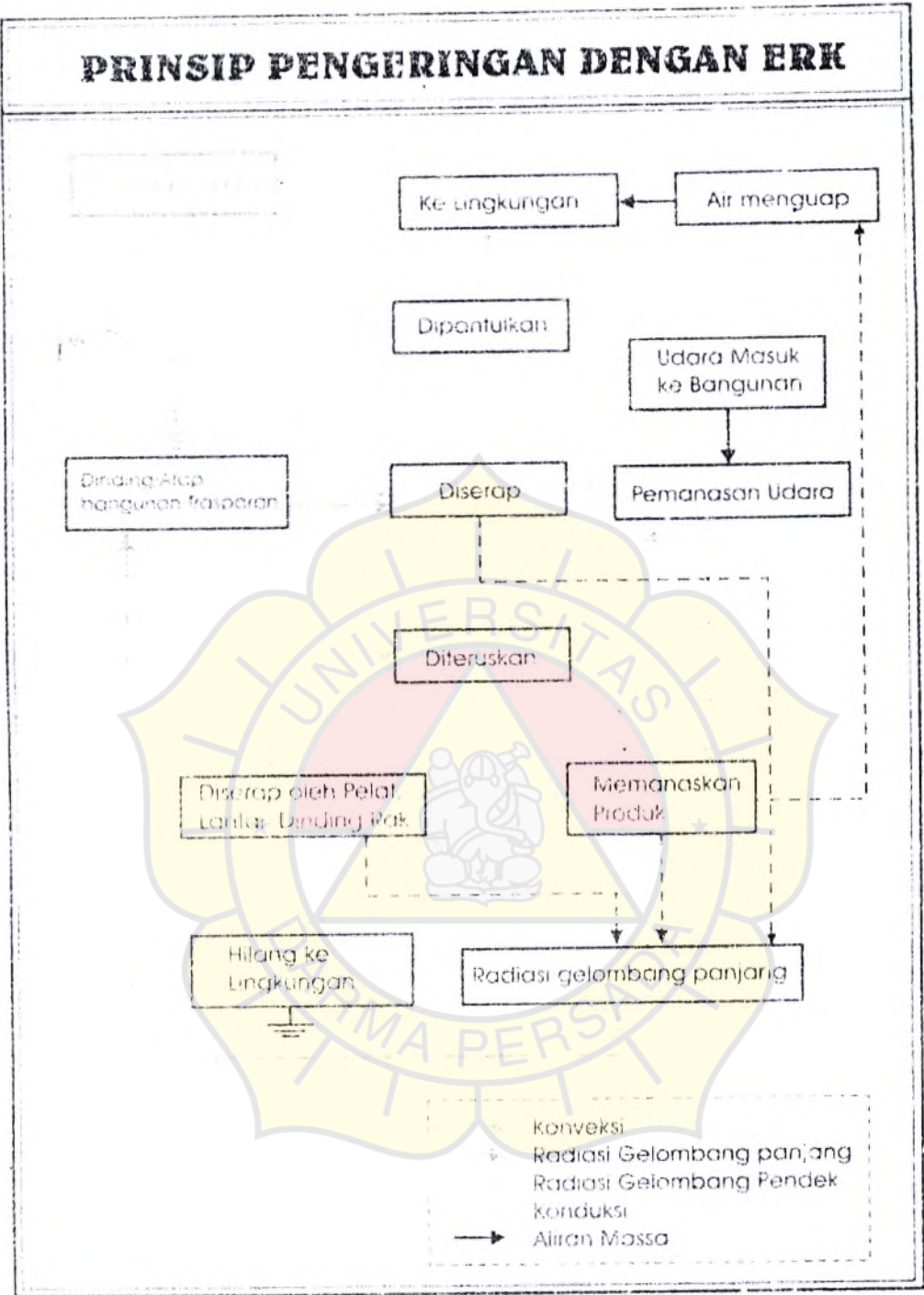
Jika matahari mengenai bahan tembus cahaya, maka sebagian sinar itu diteruskan selain diserap dan dipantulkan kembali (Huang, 1986). Oleh karena itu penutup transparan memerlukan bahan yang memiliki nilai transmisivitas yang tinggi dengan absorpsivitas dan reflektivitas yang rendah agar dapat menangkap gelombang pendek sebanyak mungkin (Kamaruddin, *et al.*, 1996).

**Tabel 2.2.** Transmisi cahaya dan panas beberapa bahan transparan

Jenis Bahan	Transmisi Cahaya (%)	Transmisi Panas (%)
Udara	100	100
Kaca ( <i>double strength</i> )	90	88
FRP ( <i>fiberglass reinforced plastic</i> )	85-95	-
<i>Polyethylene :</i>		
a. 1 lapisan	88	-
b. 2 lapisan	81	-
c. dengan (3/16)" ruang udara	85	-
<i>Fiberglass :</i>		
a. bening ( <i>clear</i> )	92-95	63-68
b. warna jade	81	61-68
c. kuning	64	37-43
d. putih salju	63	30-34
e. hijau	62	60-68
f. merah kekuningan	61	57-66
g. jernih ( <i>canary</i> )	25	20-23

Sumber : Nelson, 1987 dalam Darmawan 2003.

Pindah panas dalam pengering ERK berlangsung baik secara konveksi, konduksi dan radiasi dengan sumber energi panas berupa radiasi matahari, sedangkan pindah panas meliputi masuk dan keluarnya udara pengering serta perpindahan uapair dari bahan ke udara pengering (Nelwan, 1997). Proses pindah panas dan pindah massa dalam pengering ERK ini diringkas dalam diagram alir yang terdapat pada Gambar 2.6.



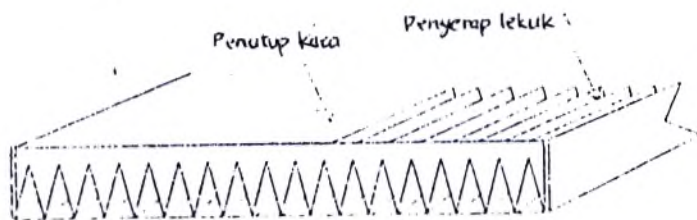
**Gambar 2.6.** Diagram Pindah Panas dan Massa dalam Pengerik ERK  
(Nelwan,1997)

Pada dasarnya sistem pengumpul surya udara terdiri dari pada plat yang dihitamkan yang terletak di dalam ruang tertutup (Gambar 2.7). Dibagian atasnya terdapat plastik tembus sinar dan bagian bawah serta sisinya dibuat bahan perekat.

Bagian yang paling penting dalam mengumpul surya ialah plat hitam yang berfungsi mengumpul suhu sebanyak mungkin dari sinar matahari. lebih luas permukaan plat, lebih banyak suhu yang dapat diserap dan dipancarkan ke udara. Untuk itu, penyelidik di Universiti Kebangsaan Malaysia telah menguji pengumpul surya jenis plat-V seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.7. Pengumpul surya model plat datar



Gambar 2.8. Pengumpul surya jenis plat - V (Mohd Yusof)



Ada beberapa faktor yang mempengaruhi prestasi plat pengumpul :

1. Jumlah sinar matahari: lebih tinggi jumlah sinar matahari lebih banyak panas yang dapat diserap. Inilah sebabnya kita perlu mengetahui lama penyinaran matahari di sesuatu lokasi sebelum sistem pengering dipasang.
2. Sudut antara sinar matahari yang menimpa plat pengumpul dengan permukaan yang menyerap sinaran suria. Secara ideal, plat penyerap harus tegak kepada arah sinaran suria, tetapi ini tidak mungkin berlaku kerana kedudukan matahari berubah-ubah sepanjang masa.
3. Kemampuan plat pengumpul menyerap sinar matahari. Lebih besar keterserapan permukaan penyerap, lebih banyak sinaran yang menimpa diserap.
4. Karakter bahan yang digunakan untuk menutup plat penyerap. Umumnya, beberapa bahan boleh digunakan sebagai bahan penutup pengumpul suria seperti yang dinyatakan tabel 2.3 (CSC 1986).

Jumlah panas yang dapat diserap oleh penyerap bergantung pada bagaimana udara mengalir di atas dan di bawah pengumpul. Pada aliran udara yang rendah, seperti dalam olakan bebas, aliran udara berbentuk laminar menyebabkan pemindahan panas berkurang di antara plat penyerap dengan udara. Apabila aliran udara ditingkatkan (dengan menggunakan kipas), alirannya bergolak dan pemindahan panas menjadi lebih baik. Oleh yang demikian, untuk kemampuan yang lebih tinggi, aliran udara dalam celah yang sempit adalah lebih baik.

1. Kadar aliran udara dalam pengumpul dibatasi oleh dua faktor, yaitu : Kadar aliran yang tinggi (kadar aliran isi padu udara yang tinggi) meningkatkan kemampuan mengumpul panas tetapi menghasilkan suhu yang rendah.
2. Kadar aliran udara yang tinggi dalam salur yang sempit (narrow ducts) akan menyebabkan kejatuhan tekanan yang tinggi. Pula kemampuan kolektor mengumpul panas ditunjukkan sebagai kadar panas yang diterima oleh udara yang melalui pengumpul kepada jumlah sinar matahari yang menimpa pengumpul. Secara matematik ini dapat ditulis sebagai :

$$n_c = \frac{V \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot C_p \times 100\%}{A_c I_c} \quad \text{(Rumus 7.1) ..... [22]}$$

$V$  = Volume udara yang melalui pengumpul ( $m^3 s^{-1}$ )

$\rho$  = Massa jenis udara ( $kg m^{-3}$ )

$\Delta T$  = Perubahan suhu udara ( $^{\circ}C$ )

$C_p$  = Panas jenis udara ( $J kg^{-1} ^{\circ}C$ )

$A_c$  = luas kolektor panas ( $m^2$ )

$I_c$  = Iradiasi matahari ( $W m^{-2}$ )

Rumus 2.2 ialah kemampuan pengumpul seketika, yaitu pada kondisi penyinaran tertentu. Jika kondisi penyinaran dan keadaan sekitar seperti tiupan angin keatas pengumpul, arah kemiringan pengumpul dan sebagainya berbeda maka pengumpul akan mempunyai kemampuan yang berbeda pula dengan

Kemampuan pengumpul juga ditentukan oleh bagaimana pengumpul dirancang dan bahan yang digunakan. Kebocoran udara yang melalui pengumpul, panas yang hilang melalui konduksi panas pada bahagian sisi dan dibawah pengumpul, kemampuan memantulkan sinar matahari, kesemuanya memberi gambaran kemampuan sistem pengumpul sinar matahari.

Kehilangan panas pada bagian permukaan di atas pengumpul dapat dikurangi dengan memilih plastik penutup yang dibuat dari bahan yang tidak melanjutkan sinar yang mempunyai panjang gelombang yang panjang (sinaran inframerah) keluar dari bahan yang mempunyai kepancaran yang rendah agar lebih banyak tenaga dari sinar diserap. Ruang udara di antara bahan penyerap dengan penutup juga memainkan peranan penting dalam kehilangan panas karena ruang udara adalah penyerap yang baik.

Umumnya terdapat berbagai jenis pengumpul udara matahari. Jenis yang paling mudah dan ringkas adalah pengumpul dengan plat penyerap mendatar. Pengumpul jenis-jenis pengumpul matahari plat mendatar yang lain ditunjukkan dalam Gambar 2. dari plat terbuka (plat penyerap mendatar) hingga jenis aliran parallel (parallel pass). Lebih baik sistem pengumpulannya, lebih mahal harganya.

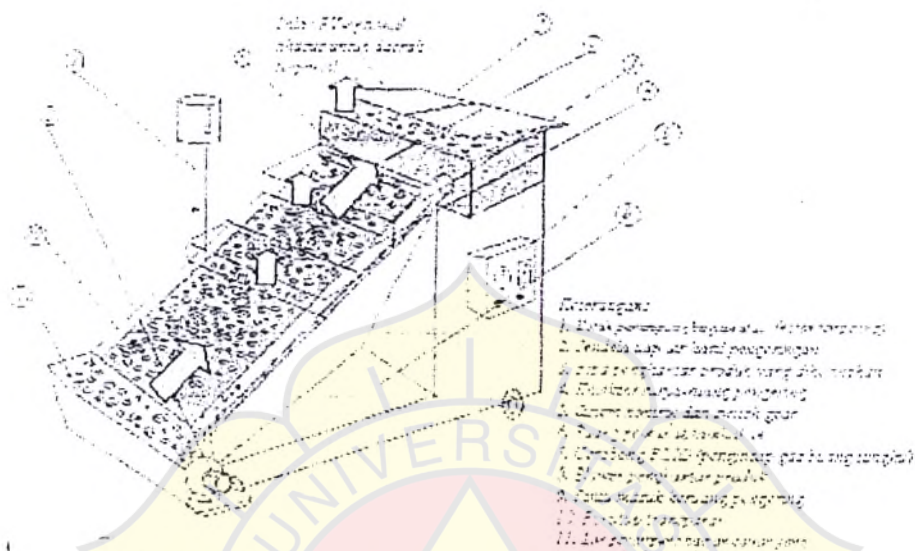
**Tabel 2.4.** Jenis pengumpul yang dicadangkan untuk beberapa suhu yang dikehendaki

Jenis pengumpul	Peningkatan suhu °C			
	10	20	30	40
Plat terbuka	—			
Laluan hadapan tunggal (satu penutup)	—————			
Laluan selari (satu penutup)	—————			
Laluan belakang (satu penutup)	—————			
Laluan dua	—————			
Laluan tiga	Tidak disyorkan untuk sistem pengeringan			
Pengumpul berpernampu	Tidak disyorkan untuk sistem pengeringan			

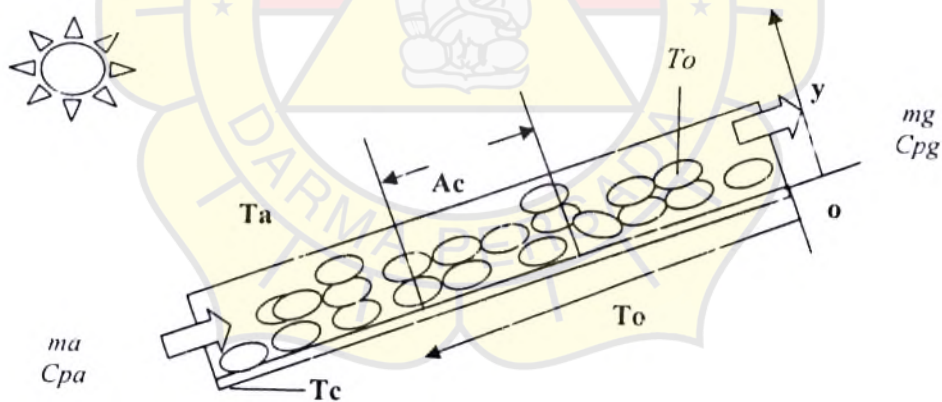
Kita dapat lihat dalam Gambar 2.10 bahwa proses udara melalui pengumpul dan bagaimana ruang udara yang membentuk penyerap menentukan mutu pengumpul berkenaan. Sistem pengumpul aliran udara tunggal (single pass) adalah ringkas tetapi tidak memberikan penyerap panas yang baik, manakala sistem haluan belakang tunggal (single back pass) memberikan penyerapan panas yang baik.

Sebagai gambaran umum perbandingan prestasi beberapa jenis pengumpul ini. Tabel 2.4 menunjukkan suhu yang mungkin dicapai untuk sistem pengumpul bersangkutan.

resirkulasi (gambar 2.11), yang digambarkan secara skematis pada gambar 2.12. Proses perpindahan massa 1-D pada biji-bijian yang sedang mengalami proses pengeringan seperti pada gambar 2.12. dapat dibangun persamaan atur sebagai berikut. (Birds, et.al, 1980)



Gambar 2.11 Pengering surya ERK tipe resirkulasi



Gambar 2.12 Volume atur untuk analisis keseimbangan energi dan massa.

Dengan kondisi awal (IC) dan kondisi batas (BC) sebagai berikut :

IC: pada  $t = 0$ , pada  $M = M_0$  pada  $0 < y < \delta$

BC: pada  $y=0, T_a = T_c, M = M(T_c)$

Pada  $y = \delta, Q = I(t) A_c$

Suhu plat penyerap (kolektor surya)  $T_c$  dapat diduga dengan persamaan keseimbangan energi berikut :

$$m_c C_{p_c} dT_c / dt = C_1 \tau \alpha I(t) A_c - h_c A_c (T_c - T_r) - U_c A_c (T_c - T_a) \dots \dots \dots [23]$$

Perubahan suhu udara pengering sepanjang  $-z$  adalah :

$$m_r C_{p_r} dT_r = m_r C_{p_r} (T_r - T_a) - m (dM/dt) (\Delta H_{fg}) + h_c A_c (T_c - T_r) - U_a A_c (T_r - T_a) \dots \dots [24]$$

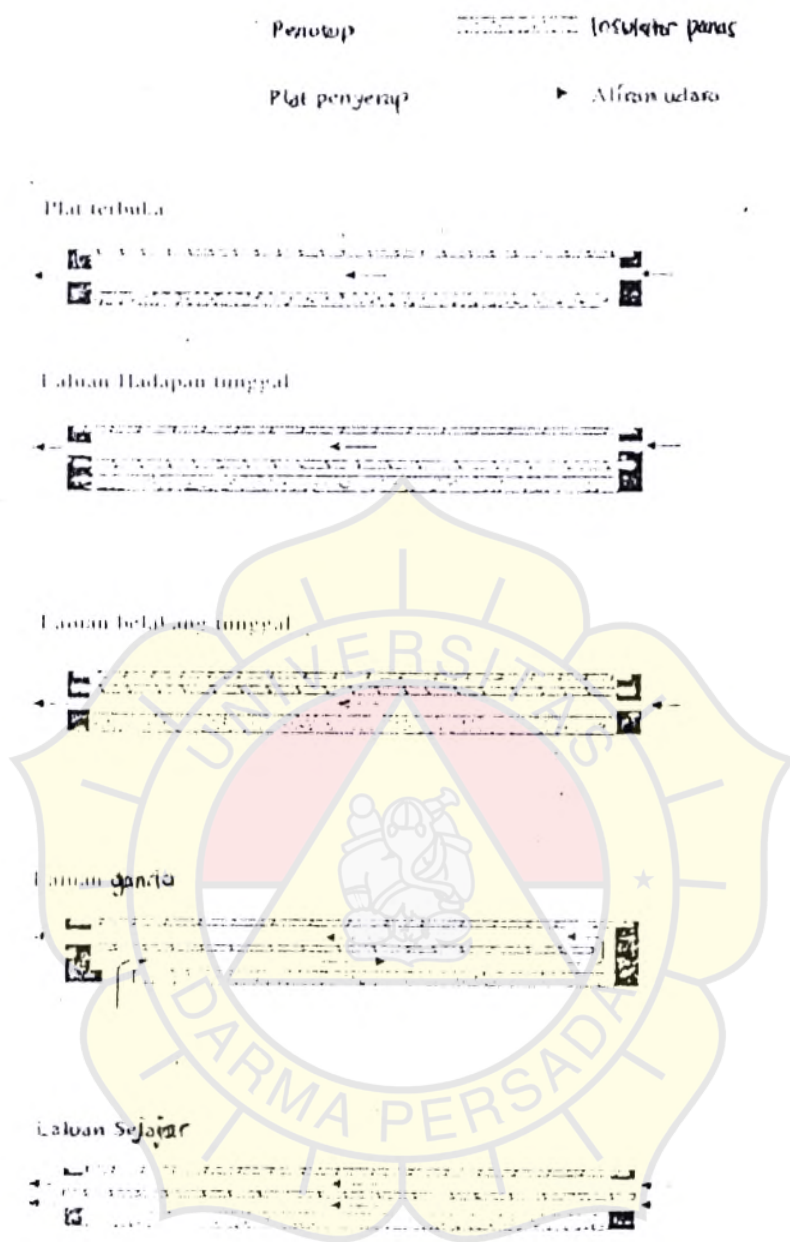
Bila dianggap bahwa suhu yang terjadi dapat di pertahankan konstan selama proses pengeringan, dan proses pengeringan berlangsung sebagai proses pengeringan lapisan tipis maka pemecahan pers. (1) dapat disederhanakan menjadi (Henderson and Perry, 1970).

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \text{Exp}(-kt) \dots \dots \dots [24]$$

Dari pers.(4).dapat dihitung turunan M terhadap t untuk laju pengeringan  $dM / dt$  yang hasilnya menjadi :

$$dM / dt = -k(M - M_e) \dots \dots \dots [25]$$

Dimana k, konstanta pengeringan (1/menit),  $M_e$ , kadar air keseimbangan,  $M_o$ , dan  $M_o$ , kadarair awal bahan (%bk). Nilai konstanta pengeringan k, untuk beberapa komoditas dapat dilihat pada Tabel A. (Lih. Lampiran 6)



Gambar 210. Jenis – jenis pengumpul surya utama

### 2.3.1. Model Matematis pengeringan model Continues Flow..

Perhatikan proses pengeringan yang terjadi pada suatu elemen kecil sepanjang  $Dz$  dari aliran bahan yang dikeringkan pada bidang miring pengering