

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Silika (SiO<sub>2</sub>)

Silika adalah suatu mineral yang penyusun utamanya berupa silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>). Silika tersusun dari dua unsur yang terdiri dari silikon (Si) dan oksigen (O<sub>2</sub>) dimana keduanya merupakan unsur yang paling banyak di alam. Diperkirakan 60% dari kerak bumi ini tersusun dari silika. Silika yang ada di bumi ini biasanya ditemukan dalam bentuk silikat (Lujan, 2007).

Silika terdiri dari berbagai bentuk yaitu: silika kristalin, silika mikrokristalin, silika *vitreous* (*supercooled liquid glasses*), dan silika amorf. Berdasarkan struktur molekulnya silika dibagi menjadi dua bagian yaitu: silika kristalin dan silika amorf. Silika kristalin adalah silika yang susunan molekulnya membentuk pola tertentu (kristal) sedangkan silika amorf adalah silika yang susunan molekulnya tidak teratur. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintetisnya berupa amorf. Secara sintetis senyawa silika dapat dibuat dari larutan silikat atau dari pereaksi silan.

Tabel 1. Sifat-Sifat Fisika Silika

Sifat Fisika	Keterangan
Nama IUPAC	Silikon dioksida
Nama lain	Kuarsa, silika, silikat dioksida, silicon (IV) oksida
Rumus molekul	SiO <sub>2</sub>
Massa molar	60, 08 gr/mol
Penampilan	Kristal transparan
Titik lebur	1.600-1.725 °C
Titik didih	2.230 °C

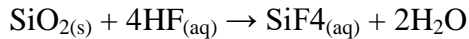
*Sumber: Melinda, 2015*

Adapun sifat kimia dari silika yaitu:

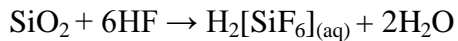
Mineral silika mempunyai berbagai sifat kimia antara lain sebagai berikut:

### a. Reaksi Asam

Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidrofluorida dan asam fospat.

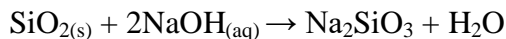


Dalam asam berlebih reaksinya adalah:

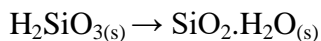
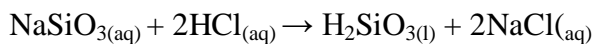


### b. Reaksi Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat, seperti dengan hidroksil alkali.



Secara komersial, silika dibuat dengan mencampurkan larutan natrium silikat dengan suatu asam mineral. Reaksi ini menghasilkan suatu disperse pekat yang akhirnya memisahkan partikel dari silika terhidrat, yang dikenal sebagai silika hidrosol atau asam silikat yang kemudian dikeringkan pada suhu 70-100°C agar terbentuk silika gel. Reaksi yang terjadi:



Silika telah dikenal sejak jaman dahulu karena kekerasannya. Silika paling sering ditemukan di alam sebagai pasir atau kuarsa, serta di dinding sel diatom. Silika diproduksi dalam beberapa bentuk termasuk leburan kuarsa, kristal, silika kesal (atau silika *pyrogenic*, merk dagang aerosol), silika koloid, gel silika, dan aerogel.

#### 2.1.1 Silka Gel

Gel (dari bahasa Latin gelu-membeku, dingin, es atau gelatus-membeku) adalah campuran koloidal antara dua zat berbeda fase: padat dan cair. Penampilan gel seperti zat padat yang lunak dan kenyal (seperti *jelly*), namun pada rentang suhu tertentu dapat berperilaku seperti fluida (mengalir). Berdasarkan berat, kebanyakan gel

seharusnya tergolong zat cair, namun gel juga memiliki sifat seperti benda padat. Contoh gel adalah gelatin, agar-agar, dan gel rambut. Biasanya gel memiliki sifat tiksotropi yang berarti menjadi cairan ketika digoyang, tetapi kembali memadat ketika dibiarkan tenang. Beberapa gel juga menunjukkan gejala histeresis. Dengan mengganti cairan dengan gas dimungkinkan pula untuk membentuk *aerogel* (gel udara), yang merupakan bahan dengan sifat-sifat yang khusus, seperti massa jenis rendah, luas permukaan yang sangat besar, dan isolator panas yang sangat baik. Pada 2005 sebuah efek *sound induced gelation* didemonstrasikan. Banyak zat dapat membentuk gel apabila ditambah bahan pembentuk gel (*gelling agent*) yang sesuai. Teknik ini umum digunakan dalam produksi berbagai macam produk industri, dari makanan sampai cat serta perekat.

Silika gel merupakan salah satu bentuk silika amorf yang paling luas penggunaannya karena silika gel memiliki kemampuan menyerap air. Hal ini disebabkan silika gel sangat berpori dan memiliki Gugus Si-OH dipermukaannya sehingga mudah menyerap air. Partikel silika gel adalah inti yang terdiri dari atom silikon yang terikat bersama silikon lain oleh adanya atom oksigen dengan ikatan siloksan (Si-O-Si) sehingga pada permukaan tiap partikel primer terdapat gugus -OH yang tidak terkondensasi yang berasal dari monomer asam silikat. Gugus -OH yang kemudian dikenal dengan gugus silanol inilah yang memberikan sifat polar pada silika gel dan merupakan sisi aktif silika gel (Ida, 2018).

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ). Sol mirip agar - agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis. Garam - garam kobalt dapat diabsorpsi oleh gel ini.

Berdasarkan cara pembuatannya silika gel dibagi menjadi dua macam, yaitu :

#### **a. Silika Gel Sintetis**

Silika gel sintetis, dibuat dengan melalui proses dan pengolahan menggunakan mesin. Yang mana terdapat perubahan bentuk dan jenis dari bahan menjadi barang

jadi. Dengan bahan dasar pasir kwarsa dan *soda ash* dijadikan *silica gel* ( $\text{SiO}_3$ ). Dalam perkembangannya silica gel sintetis ada dua yaitu:

### 1. Silika Gel Putih (*White*)

Silika Gel *White* merupakan silica gel sintetis berupa butiran berwarna putih/bening.



Gambar 1. Silika Gel Putih

### 2. Silika Gel Biru (*Blue*)

Silika gel *blue* merupakan silica gel sintetis yang dimodifikasi dengan penambahan indikator warna biru. Indikator warna berubah menjadi merah bata pada kondisi jenuh. Bahan ini mengandung kobalt klorida yang memiliki efek samping bersifat karsinogenik dan menyebabkan iritasi pernapasan. Sebaiknya silica gel *blue* dihindari penggunaannya dari produk makanan.



Gambar 2. Silika Gel Biru

### b. Silika Gel Alami (*Natural*)

Silika gel natural merupakan silica gel berbahan alami/*natural* seperti batu zeolite dan zat lain yang terkandung senyawa silika didalamnya seperti halnya abu cangkang dan fiber kelapa sawit yang diolah melalui proses aktivasi dan screening.



Gambar 3. Silika Gel Alami

### 2.1.2 Manfaat Silika Gel

Berikut ini adalah manfaat dari silika gel, yaitu:

1. Silika gel mencegah terbentuknya kelembapan yang berlebihan sebelum terjadi. Silika gel merupakan produk yang aman digunakan untuk menjaga kelembapan pada kemasan produk makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik dan film sekalipun. Silika gel sering ditemukan dalam kotak paket dan pengiriman film, kamera, teropong, alat-alat komputer, sepatu kulit, pakaian, makanan, obat-obatan, dan peralatan - peralatan lainnya.
2. Produk anti lembap ini menyerap lembap tanpa merubah kondisi zatnya. Walaupun dipegang, butiran-butiran silika gel ini tetap kering. Silika gel adalah substansi-substansi yang digunakan untuk menyerap kelembapan dan cairan partikel dari ruang yang berudara/bersuhu. Silika gel juga membantu menahan kerusakan pada barang-barang yang mau disimpan.
3. Silika gel selain berfungsi untuk absorpsi kelembapan udara, fungi-jamuran dan bau-bauan serta ion-ion lainnya dan untuk menjaga kualitas produk terutama untuk barang-barang yang diekspor, misalnya untuk *garment*, *textile*, computer, *pharmaceutical*, *electronic*, tas kulit, sepatu, *dry food*, buku, karet, ban, plastik, alat-alat laboratorium, dll.
4. Produk anti lembap ini menyerap lembap tanpa merubah kondisi zatnya. Silika gel adalah substansi-substansi yang digunakan untuk menyerap kelembapan dan cairan partikel dari ruang yang berudara/bersuhu. Silika gel juga membantu menahan kerusakan pada barang-barang yang mau disimpan.
5. Silika gel biru & silika gel putih. Digunakan selain untuk absorpsi kelembapan udara, fungi-jamuran dan bau-bauan serta ion-ion lainnya dan untuk menjaga

kualitas produk terutama untuk barang-barang yang diekspor, misalnya untuk *garment, textile, computer, pharmaceutical, electronic*, tas kulit, sepatu, *dry food*, buku, karet, ban, plastik, dan alat-alat laboratorium.

Silika gel yang siap untuk digunakan berwarna biru. Ketika silika gel telah menyerap banyak kelembapan, ia akan berubah warnanya menjadi *pink* (merah muda). Ketika ia berubah menjadi warna *pink* (merah muda), ia tidak bisa lagi menyerap kelembapan. Ia harus meregenerasi, hal ini dapat dilakukan dengan menghangatkannya di dalam *oven*. Panasnya mengeluarkan kelembapan, lalu ia akan berubah warnanya menjadi biru dan kembali bisa digunakan.

Walaupun dipegang, butiran-butiran silika gel ini tetap kering. Silika gel sebagai penyerap kandungan air bisa diaktifkan sesuai kebutuhan. Unit ini mempunyai indikator khusus yang akan berubah dari warna biru ke merah muda jika produk mulai mengalami kejenuhan kelembapan. Saat itulah alat ini aktif. Setelah udara mengalami kejenuhan/kelembapan, dia bisa diaktifkan kembali lewat *oven* (Okta, 2012). Berikut ini adalah tabel spesifikasi silica gel desiccant sesuai standar JIS-0701.

Tabel 2. Spesifikasi Silika Gel Standar JIS-0701

KARAKTERISTIK	Standar JIS-0701
Butir Diameter ( mm )	2,0-5,0 ( sesuai kebutuhan )
Kerugian Pengeringan pada 180 °C ( % )	5.0 max.
pH	4.0 – 8.0
Kadar Air (%)	2,5 max.
Jelas Density ( g / ml )	0.73
Luas Permukaan ( m <sup>2</sup> / g)	650
Pori Volume ( ml / g)	0.36
Av . Pori Diameter ( mm )	22
Bahan Jenis ( kcal / Kg . C )	0.22
Konduktivitas Termal ( kcal / m . Hr . C )	0.15
Spesific Resistance (Ω/cm)	3000 min.
Kelembaban :	
RH = 20%	8.0% min.
RH = 40%	20.0% min.
Penyerapan Kadar Air	41 %

Sumber: Japanese Industrial Standard, 2003

## 2.2 Tebu

Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah tanaman yang tumbuh subur di Indonesia. Tanaman ini hanya tumbuh di daerah beriklim tropis dan digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan gula (FAO, 2014). Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan dan merupakan tanaman berserat. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun.

Setiap jenis tebu memiliki ukuran batang serta warna yang berlainan. Tebu termasuk tumbuhan berbiji tunggal. Tinggi tumbuhan tebu berkisar 2-4 meter. Batang pohon tebu terdiri dari banyak ruas yang setiap ruasnya dibatasi oleh buku-buku sebagai tempat duduknya daun. Bentuk daun tebu berwujud belaian dengan pelepah. Panjang daun dapat mencapai panjang 1-2 meter dan lebar 4-8 centimeter dengan permukaan kasar dan berbulu.

### 2.2.1 Komposisi Penyusun Tebu

Tanaman tebu yang sering kita lihat hanya berisi air yang digunakan sebagai bahan pembuat gula, tetapi memiliki komposisi yang lebih kompleks dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Penyusun Tebu

Kandungan	Jumlah (%)
Gula	8
Tetes	3,5
Blotong	5
Ampas tebu	83,5

Sumber: CIC, 1990

Diperkirakan kandungan polisakarida pada tebu mencapai lebih dari 70% yang terbagi dari selulosa 50-55% dan hemiselulosa 15-20%. Kandungan lignin diperkirakan hanya sekitar 20-23% diluar itu adalah senyawa lain yang lebih sering disebut senyawa abu.

### 2.2.2 Ampas Tebu

Ampas tebu yang dihasilkan dari satu pabrik gula sekitar 35–40% dari berat tebu yang digiling. Ampas tebu mengandung air 48-52%, gula 3,3% dan serat 47,7% (A.Hanafi dan A. Nandang, 2010). Menurut Husin dkk., (2007) ampas tebu sebagian

besar mengandung lingo-cellulose. Panjang seratnya antara 1,7 sampai 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikro, sehingga ampas tebu dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan.

Ampas tebu yang dibakar akan menghasilkan abu ampas tebu. Proses untuk menghasilkan abu ampas tebu ini melalui empat tahap yakni proses pengeringan, proses pembetukan karbon, proses pembakaran dan yang terakhir akan menjadi abu ampas tebu. Komposisi penyusun dari ampas tebu ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Penyusun Abu Ampas Tebu

Senyawa	Jumlah (%)
SiO <sub>2</sub>	70,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36
K <sub>2</sub> O	4,82
Na <sub>2</sub> O	0,43
MgO	0,82
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	22,7
C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	22,7
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	22,7

Sumber: ITS, 1999

### 2.2.3 Manfaat Ampas Tebu

Pada proses pengolahan tebu menjadi gula, tidak semua tebu terkonversi menjadi gula, masih ada residu padat yang diyakini masih memiliki kandungan karbohidrat khususnya kandungan selulosa yang cukup tinggi serta hemiselulosa yang masih belum dimanfaatkan secara optimal.

Pada umumnya, pabrik gula memanfaatkan ampas tebu sebagai bahan bakar bagi pabrik yang bersangkutan, ampas tebu tersebut digunakan setelah dilakukan pengeringan. Disamping untuk bahan bakar, ampas tebu juga banyak digunakan sebagai bahan baku pada industrin kertas, papan partikel, makanan ternak dan lain-lain (Shin Juang dkk, 2002). Terobosan baru telah dilakukan oleh PT. Rajawali Nusantara Indonesia dengan memanfaatkan ampas tebu sebagai kanvas rem yang saat ini dalam taraf pengujian akhir dan siap diluncurkan ke pasar (Budiono, 2008).



Menurut penelitian Yusuf, dkk., 2014 abu ampas tebu memiliki kandungan silika yang cukup besar yakni berkisar 70%. Komposisi ini akan menguntungkan abu ampas tebu jika digunakan sebagai bahan campuran untuk bahan bangunan seperti keramik, semen, aspal, beton dll. Selain itu kandungan silikanya yang tinggi itu dapat dioptimalkan penggunaannya sebagai bahan baku alternatif pembuatan silika gel. Saat ini pembuatan silika gel dilakukan dengan menggunakan tanah diatomae dan pasir kuarsa yang jika pengambilannya dilakukan secara terus menerus dapat merusak alam.

### **2.3 Pengerinan**

Pengerinan mempunyai pengertian aplikasi pemanasan melalui kondisi yang teratur, sehingga dapat menghilangkan sebagian besar air dalam suatu bahan dengan cara diuapkan. Penghilangan air dalam suatu bahan dengan cara pengerinan mempunyai satuan operasi yang berbeda dengan dehidrasi. Dehidrasi akan menurunkan aktivitas air yang terkandung dalam bahan dengan cara mengeluarkan atau menghilangkan air dalam jumlah lebih banyak, sehingga umur simpan bahan pangan menjadi lebih panjang atau lebih lama (Muarif, 2013).

#### **2.3.1 Mekanisme Pengerinan**

Udara yang terdapat dalam proses pengerinan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengerinan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengerinan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Muarif, 2013).

Faktor yang dapat mempengaruhi pengerinan suatu bahan pangan adalah: (Buckle, 1987):

1. Sifat fisik dan kimia dari bahan pangan.
2. Pengaturan susunan bahan pangan.
3. Sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengering.
4. Proses pemindahan dari media pemanas ke bahan yang dikeringkan melalui dua

tahapan proses selama pengeringan yaitu:

- a. Proses perpindahan panas terjadinya penguapan air dari bahan yang dikeringkan.
- b. Proses perubahan air yang terkandung dalam media yang dikeringkan menguapkan air menjadi gas.

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut perpindahan panas ke dalam dan perpindahan massa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan adalah:

#### 1. Luas Permukaan

Pada umumnya, bahan pangan yang dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran dapat mempercepat proses pengeringan dengan mekanisme sebagai berikut :

- a. Pengecilan ukuran memperluas permukaan bahan. Luas permukaan bahan yang tinggi atau ukuran bahan yang semakin kecil menyebabkan permukaan yang dapat kontak dengan medium pemanas menjadi lebih baik,
- b. Luas permukaan yang tinggi juga menyebabkan air lebih mudah berdifusi atau menguap dari bahan pangan sehingga kecepatan penguapan air lebih cepat dan bahan menjadi lebih cepat kering.
- c. Ukuran yang kecil menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas. Panas harus bergerak menuju pusat bahan pangan yang dikeringkan. Demikian juga jarak pergerakan air dari pusat bahan pangan ke permukaan bahan menjadi lebih pendek.

#### 2 Perbedaan Suhu Sekitar

Pada umumnya, semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan pangan semakin cepat pindah panas ke bahan pangan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan pangan. Semakin tinggi suhu udara, semakin banyak uap air yang dapat ditampung oleh udara tersebut sebelum terjadi kejenuhan. Dapat disimpulkan bahwa udara bersuhu tinggi lebih cepat mengambil air dari bahan pangan sehingga proses pengeringan lebih cepat.

### 3. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak atau bersirkulasi akan lebih cepat mengambil uap air dibandingkan udara diam. Pada proses pergerakan udara, uap air dari bahan akan diambil dan terjadi mobilitas yang menyebabkan udara tidak pernah mencapai titik jenuh. Semakin cepat pergerakan atau sirkulasi udara, proses pengeringan akan semakin cepat. Prinsip ini yang menyebabkan beberapa proses pengeringan menggunakan sirkulasi udara.

### 4. Kelembaban Udara

Kelembaban udara menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Bahan pangan yang telah dikeringkan dapat menyerap air dari udara di sekitarnya. Jika udara disekitar bahan pengering tersebut mengandung uap air tinggi atau lembab, maka kecepatan penyerapan uap air oleh bahan pangan tersebut akan semakin cepat. Proses penyerapan akan terhenti sampai kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan tersebut tercapai. Kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan adalah kelembaban pada suhu tertentu dimana tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penyerapan uap air dari udara oleh bahan pangan.

### 5. Lama Pengeringan

Lama pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas maka waktu pengeringan yang digunakan harus maksimum, yaitu kadar air bahan akhir yang diinginkan telah tercapai dengan lama pengeringan yang pendek. Pengeringan dengan suhu yang tinggi dan waktu yang pendek dapat lebih menekan kerusakan bahan pangan dibandingkan dengan waktu pengeringan yang lebih lama dan suhu lebih rendah. Misalnya, jika kita akan mengeringkan kacang-kacangan, pengeringan dengan pengering rak pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam akan menghasilkan kacang kering yang mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan penjemuran selama 2 hari.

### 2.3.2 Jenis-Jenis Alat Pengering

Berdasarkan bahan yang akan dikeringkan adapun jenis-jenis alat pengering untuk zat padat dan tapal:

#### a. Pengering Putar (*Rotary Dryer*)

Pengering putar terdiri dari sebuah selongsong berbentuk silinder yang berputar, horisontal atau gerak miring ke bawah ke arah keluar. Umpan masuk dari satu ujung silinder, bahan kering keluar dari ujung yang satu lagi.

#### b. Pengering konveyor (*Screen Conveyor Dryer*)

Lapisan bahan yang akan dikeringkan diangkut perlahan-lahan diatas logam melalui kamar atau terowongan pengering yang mempunyai kipas dan pemanas udara.

#### c. Pengering Menara (*Tower Dryer*)

Pengering menara terdiri dari sederetan talam bundar yang dipasang bersusun keatas pada suatu poros tengah yang berputar. Zat padat itu menempuh jalan seperti melalui pengering, sampai keluar sebagian hasil yang kering dari dasar menara.

#### d. Pengering Konveyor Sekrup (*Screw Conveyor Dryer*)

Pengering konveyor sekrup adalah suatu pengering kontinyu kalor tak langsung, yang pada pokoknya terdiri dari sebuah konveyor sekrup horizontal (konveyor dayung) yang terletak di dalam selongsong bermantel berbentuk silinder.

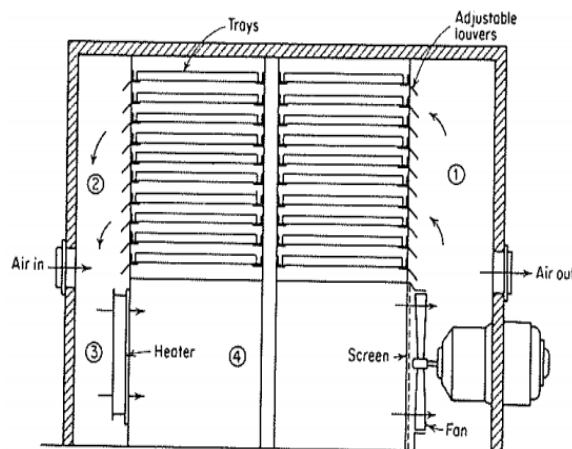
### 2.3.3 *Tray Dryer*

*Tray dryer* atau alat pengering tipe rak, mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak, yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Pada umumnya rak tidak dapat dikeluarkan. Beberapa alat pengering jenis ini rak-raknya mempunyai roda sehingga dapat dikeluarkan dari alat pengeringnya. Bahan diletakan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut untuk mengalirkan udara panas.

Ukuran yang digunakan bermacam-macam, ada yang luasnya 200 cm<sup>2</sup> dan ada juga yang 400 cm<sup>2</sup>. Luas rak dan besar lubang-lubang rak tergantung pada bahan yang dikeringkan. Apabila bahan yang akan dikeringkan berupa butiran halus, maka

lubangnya berukuran kecil. Pada alat pengering ini bahan selain ditempatkan langsung pada rak-rak dapat juga ditebarkan pada wadah lainnya misalnya pada baki dan nampan. Kemudian pada baki dan nampan ini disusun diatas rak yang ada di dalam pengering. Selain alat pemanas udara, biasanya juga digunakan juga kipas (*fan*) untuk mengatur sirkulasi udara dalam alat pengering.

Udara yang telah melewati kipas masuk ke dalam alat pemanas, pada alat ini udara dipanaskan lebih dulu kemudian dialurkan diantara rak-rak yang sudah berisi bahan. Arah aliran udara panas didalam alat pengering bisa dari atas ke bawah dan bisa juga dari bawah ke atas, sesuai dengan dengan ukuran bahan yang dikeringkan. Untuk menentukan arah aliran udara panas ini maka letak kipas juga harus disesuaikan (Unari Thaib dkk., 2008).



Sumber: Treybal, 1980

Gambar 4. *Tray Dryer*

## 2.4 Perpindahan Panas

Dalam proses pengeringan terjadi proses perpindahan panas yang terbagi menjadi konduksi (hantaran), dan konveksi.

### 2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energy

terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, temperatur elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energy dalam elemen zat.

Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energy kinetic rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul disuatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energy yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bersuhu lebih rendah. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida-fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi.

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas. Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$q_k = Uk (T - Ts)A \quad (\text{Geankoplis, 1978})$$

Dimana :  $q_k$  = laju perpindahan panas konduksi, Watt (Btu/h)

$Uk$  =

$T$  = Temperatur Pengeringan

$T_s$  = Temperature Surface ( $^{\circ}\text{C}$ )

$A$  = luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $\text{m}^2$ )

#### 2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur.

Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur, dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya.

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui dua cara, yaitu:

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)

Konveksi bebas/konveksi alamiah adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

Contoh: *plat* panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

2. Konveksi paksaan (*forced convection*)

Konveksi paksaan adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.

Contoh: *plat* panas dihembus udara dengan kipas/blower.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton. Hukum Newton dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$q_c = h_c A (T_w - T_s) \text{ atau} \quad (\text{Geankoplis, 1978})$$

$$\frac{q_c}{A} = h_c (T_w - T_s)$$

Dimana : T = suhu, °C (°F)

A = luas permukaan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>)

h<sub>c</sub> = koefisien perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer coefficient*)

q<sub>c</sub> = laju perpindahan panas konveksi, Watt (Btu/h)

$\frac{q_c}{A}$  = laju perpindahan panas per satuan luas (*heat flux*) W/m<sup>2</sup> (Btu/h/ft<sup>2</sup>)

## 2.5 Laju Pengeringan

Struktur bahan secara umum dapat didasarkan pada kadar air yang biasanya ditunjukkan dalam presentase kadar air basis basah atau basis kering. Kadar air basah ( $M_{wb}$ ) banyak digunakan dalam penentuan harga pasar sedangkan kadar air basis kering ( $M_{db}$ ) digunakan dalam bidang teknik (Brooker, dkk., 1974).

Persamaan kadar air adalah sebagai berikut :

$$M_{db} = \frac{Ww - Wd}{Wd}$$

$$M_{wb} = \frac{Ww - Wd}{Ww}$$

Dimana,  $Ww$  adalah berat sampel sebelum dikeringkan dan  $Wd$  adalah berat sampel setelah dikeringkan.

Perhitungan laju pengeringan membutuhkan data hasil pengukuran dari kadar air awal, kadar air akhir, waktu, suhu, luas permukaan. Pada periode laju pengeringan, perhitungannya bisa didasarkan atas perpindahan massa sebagai berikut

$$q = q_c + q_k + q_r$$

$$R_c = \frac{q}{A \cdot \lambda s} = \frac{q_c + q_k + q_r}{A \cdot \lambda s} \quad (\text{Geankoplis, 1978})$$

Menjadi,

$$R_c = \frac{q}{A \cdot \lambda s} = \frac{q_c + q_k + q_r}{A \cdot \lambda s} = \frac{hc(T - T_s)A + Uk(T - T_s) + 0}{A \cdot \lambda s} \quad (3600)$$

(Geankoplis, 1978)

Dimana nilai  $q_r = 0$  dikarenakan dalam proses pengeringan yang terjadi hanya terdapat panas secara konduksi dan konveksi. Pada persamaan yang ada proses diperlukan mencari nilai  $Uk$  dan  $hc$  untuk menghitung nilai laju pengeringan.

Dari persamaan yang ada dapat digunakan untuk memperkirakan laju pengeringan selama periode laju konstan, Untuk memperkirakan waktu pengeringan selama periode laju konstan, didapatkan persamaan :



$$R_c = \frac{(hc + Uk)(T - T_s)}{\lambda_s} \quad (\text{Geankoplis, 1978})$$

Dari persamaan yang ada antara konduksi dan konveksi pada perpindahan panas dryer ini didapatkan persamaannya menjadi :

$$R_c = \frac{q}{A\lambda_s} = \frac{(hc + Uk)(T - T_s) + hR(TR - TS)}{\lambda_s} = K_y M_B (H_s - H) \quad (\text{Geankoplis, 1978})$$

## 2.6 Efisiensi Termal *Tray Dryer*

Dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakar dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. Jadi efisiensi termal dapat dirumuskan dengan:

$$\text{Efisiensi termal} = \frac{\text{Panas Input} - \text{Panas yang terserap}}{\text{panas input}} \times 100\%$$

(Himmelblau, 2004)