

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi Surya di Indonesia**

Studi menunjukkan bahwa energi matahari yang sampai ke bumi dalam satu jam sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh manusia dipermukaan bumi dalam satu tahun. Alasan yang cukup untuk memacu pemaksimalan energi matahari sebagai energi terbarukan terutama dengan pengkonversian menjadi listrik oleh sel/panel surya.

Energi surya adalah energi yang berupa panas dan cahaya yang dipancarkan matahari. Energi surya (matahari) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling penting. Indonesia mempunyai potensi energi surya yang melimpah. Namun melimpahnya sumber energi surya di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal.

Sebagai negara yang berada di kawasan khatulistiwa, potensi energi surya di Indonesia sangat besar. Indonesia memiliki sekitar 4.8 KWh/m<sup>2</sup> atau setaradengan 112.000 GWp energi surya. Sayangnya, seperti berbagai energi terbarukan lainnya, energi surya ini belum dimanfaatkan secara optimal. Dari total potensi energi surya tersebut, Indonesia baru memanfaatkan sekitar 10 MWp.

#### **2.2 Konsep Dasar Pengeringan**

Pengeringan merupakan cara pengawetan makanan dengan biaya rendah. Tujuan pengeringan adalah menghilangkan air, mencegah fermentasi atau pertumbuhan jamur dan memperlambat perubahan kimia pada makanan (Gunasekaran, 2012). Selama pengeringan dua proses terjadi secara simultan seperti transfer panas ke produk dari sumber pemanasan dan perpindahan massa uap air dari bagian dalam produk ke permukaan dan dari permukaan ke udara sekitar. Esensi dasar dari pengeringan adalah mengurangi kadar air dari produk agar aman dari kerusakan dalam jangka waktu tertentu, yang biasa diistilahkan dengan periode penyimpanan aman (Rajkumar dan Kulanthaisami, 2006).

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida di mana cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Jadi panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar supaya dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan. Dengan sangat terbatasnya kadar air pada bahan yang telah dikeringkan, maka enzim-enzim yang ada pada bahan menjadi tidak aktif dan mikroorganisme yang ada pada bahan tidak dapat tumbuh.

Pertumbuhan mikroorganisme dapat dihambat, bahkan beberapa jenis dimatikan karena mikroorganisme seperti umumnya jasad hidup yang lain membutuhkan air untuk proses metabolismenya. Mikroorganisme hanya dapat hidup dan melangsungkan pertumbuhannya pada bahan dengan kadar air tertentu. Walaupun setelah proses pengeringan secara fisik masih terdapat (tersisa) molekul-molekul air yang terikat, tetapi molekul air tersebut tidak dapat dipergunakan oleh mikroorganisme. Di samping itu enzim tidak mungkin aktif pada bahan yang sudah dikeringkan, karena reaksi biokimia memerlukan air sebagai medianya. Berdasarkan hal tersebut, berarti jika kita bermaksud mengawetkan bahan melalui proses pengeringan, maka harus diusahakan kadar air yang tertinggal tidak mungkin dipakai untuk aktivitas enzim dan mikroorganisme.

### **2.2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi Laju Pengeringan**

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi laju pengeringan adalah dapat digolongkan menjadi dua yaitu faktor internal dan faktor eksternal.

- a) Faktor internal adalah faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan atau disebut faktor internal (ukuran bahan, kadar air awal dari bahan dan tekanan parsial di dalam bahan)
- b) Faktor eksternal adalah faktor yang berhubungan dengan udara pengering atau disebut sebagai faktor eksternal (suhu, kelembaban udara dan kecepatan volumetrik aliran udara pengering).

Semakin tinggi suhu dan kecepatan aliran udara pengering makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Makin tinggi suhu udara pengering, makin besar energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan. Jika kecepatan aliran udara pengering makin tinggi maka makin cepat massa uap air yang dipindahkan dari bahan ke atmosfer. Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Pada kelembaban udara tinggi, perbedaan tekanan uap air di dalam dan di luar bahan kecil, sehingga pemindahan uap air dari dalam bahan ke luar terhambat.

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. 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 (Taib, G. et al., 1988). Makin tinggi suhu dan kecepatan aliran udara pengering makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Makin tinggi suhu udara pengering makin besar energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan. Jika kecepatan aliran udara pengering makin tinggi maka makin cepat pula massa uap air yang dipindahkan dari bahan ke atmosfer (Taib, G. et al., 1988).

Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan, semakin tinggi energi yang disuplai dan makin cepat laju pengeringan. Akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat dapat merusak bahan, yakni permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan. Hal ini menyebabkan pengerasan permukaan bahan (*case hardening*). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang. Disamping itu penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak daya fisiologik biji-bijian/ benih (Taib, G. et al., 1988).

Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat perpindahan panas dan pindahan massa (pindah massa dalam hal ini perpindahan air keluar dari bahan yang dikeringkan dalam proses pengeringan tersebut). Ada

beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu :

### 1. Luas permukaan

Luas permukaan kontak antara padatan dengan fluida panas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pengeringan. Pengeringan yang terlampaui cepat dapat merusak bahan, oleh karena permukaan bahan terlalu cepat kering sehingga kurang bisa diimbangi dengan kecepatan gerakan air di dalam bahan yang menuju permukaan bahan tersebut. Adanya pengeringan cepat menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan, selanjutnya air di dalam bahan tersebut tidak dapat lagi menguap karena terhambat.

Makin luas permukaan bahan makin cepat bahan menjadi kering. Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan pangan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau di iris-iris terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

- (1) Pemotongan atau pengirisan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar
- (2) Potongan-potongan kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan pangan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

### 2. Suhu

Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang. Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Makin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat.

### 3. Kecepatan Aliran udara

Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pembawa panas untuk menguapkan kandungan air pada bahan serta mengeluarkan uap air tersebut. Air dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap dan harus secepatnya dipindahkan dari

bahan. Bila tidak segera dipindahkan maka air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga akan memperlambat pengeluaran air selanjutnya. Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah uap air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Semakin besar volume udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air di permukaan bahan.

#### 4. Kelembaban udara

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Kelembaban relatif juga menentukan besarnya tingkat kemampuan udara pengering dalam menampung uap air di permukaan bahan. Semakin rendah RH udara pengering, maka makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi, karena mampu menyerap dan menampung uap air lebih banyak dari pada udara dengan RH yang tinggi.

Laju penguapan air dapat ditentukan berdasarkan perbedaan tekanan uap air pada udara yang mengalir dengan tekanan uap air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Tekanan uap jenuh ini ditentukan oleh besarnya suhu dan kelembaban *relative* udara. Semakin tinggi suhu, kelembaban relatifnya akan turun sehingga tekanan uap jenuhnya akan naik dan sebaliknya.

#### 5. Tekanan atmosfer dan vakum

Pengeringan vakum merupakan salah satu cara pengeringan bahan dalam suatu ruangan yang tekanannya lebih rendah dibanding tekanan udara atmosfer, pengeringan dapat berlangsung dalam waktu relatif cepat walaupun pada suhu yang lebih rendah daripada atmosfer.

#### 6. Waktu

Semakin tinggi suhu dan lamanya waktu pengeringan yang diberikan, memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kecepatan perpindahan air.

Selain faktor-faktor diatas, pemilihan beberapa komponen pun harus diperhatikan dalam mempengaruhi proses yang terjadi pada saat pengeringan berlangsung. Seperti pemilihan jenis *heater* dan juga alat sensor yang tentunya akan sangat membantu dalam berlangsungnya proses pengeringan.

### 2.2.2 Pemilihan Heater

Pengeringan memiliki beberapa komponen penting dalam menunjang proses yang akan terjadi, salah satunya yaitu *heater*. Pemanas adalah objek yang dapat menyebabkan benda lainnya mengalami kenaikan suhu dari suhu yang rendah untuk mencapai suhu yang lebih tinggi. Dalam bidang rumah tangga atau domestik, heater biasanya merupakan peralatan yang digunakan untuk tujuan menghangatkan ruangan. Pemanas atau *heater* dapat memanaskan semua materi baik berupa padat, cair ataupun gas. Komponen ini memiliki jenis- jenisnya yang mempengaruhi proses pengeringan. Diantaranya :

#### 1. *Tubular Heater*

*Tubular Heater* adalah salah satu jenis *heating* elemen yang penggunaannya serbaguna karena berbentuk tabung sehingga modelnya bisa disesuaikan dan aplikasinya bisa untuk pemanas padat, cair, ataupun gas.

Pada umumnya *Tubular Heater* digunakan untuk aplikasi pengolahan plastik, percetakan, pemanas tangki air/ minyak / larutan kimia, oven pengering, peralatan medis, dll. Untuk dimensi, bentuk tekukan dan daya bisa disesuaikan dengan permintaan dari konsumen atau berdasarkan contoh barang yang ingin dipesan, karena spesifikasi *Tubular Heater* antara setiap mesin berbeda-beda.

#### 2. *Ceramic Bobbin Heater*

Sistem pemanas ini tidak kontak langsung terhadap cairan dan gas, dimana alat ini dipasang ke dalam tangki/tabung untuk proses pemanasannya. Dirancang untuk menahan area panas yang cukup tinggi. Pemanas ini adalah pilihan yang sangat baik untuk digunakan dengan bahan bakar minyak bunker berat, cairan korosif dan cairan dengan viskositas tinggi.

#### 3. *Catridge Heater*

*Catridge Heater* merupakan *heater* yang paling banyak digunakan untuk memanaskan *Blocks of Metal* (seperti Dies pada mesin *injection molding*) atau cetakan, biasanya diaplikasikan dalam proses pemanasan mesin *packaging* (kemasan). Pada umumnya banyak digunakan untuk mesin *packaging* plastik (jenis horizontal dan vertikal), mesin cetak/pres keramis, dan lain-lain.

#### 4. *Coil/ Bar Heater*

*Coil/Bar Heater* merupakan pemanas fleksibel yang dapat dibentuk menjadi berbagai model dan konfigurasi spiral dapat dibentuk menjadi pemanas *nozzle* melingkar 360<sup>0</sup> penuh. Karakteristik heater ini sangat elastis dan fleksibel sehingga dapat dibentuk berupa model spiral maupun model lainnya.

#### 5. *Cast in Heater*

*Cast in Heater* merupakan elemen pemanas yang dirancang dari *tubular heater* menjadi satu kesatuan berbentuk elemen band atau *strip* melalui proses pengecoran. *Heater* ini juga merupakan salah satu bentuk pengembangan elemen pemanas, yang aplikasi dan instalasinya sama pada *Band* dan *Strip Heater*. Hanya saja, heater ini memiliki beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh *Band* dan *Strip Heater*, yaitu : Lebih *Heavy* dan *Maximum operating temperature* bisa sampai 500<sup>0</sup>c. *Cast-In Heater* tersedia untuk pendinginan tabung, untuk pemanasan dan pendinginan barel, pengestruksi pengolahan plastik. *Cast-In Heater* dapat dibuat dari aluminium, kuningan dan besi. Jenis paduan yang akan dicor tergantung pada aplikasi, maksimal suhu operasi & watt kepadatan.

#### 6. *Silica Heater / Silica Quartz Heater*

*Silica Heater / Silica Quartz Heater* merupakan salah satu jenis pemanas dengan sistem celup. Aplikasi dilapangan biasanya digunakan untuk proses pemanasan berupa : Air, Cairan Kimia, Kain, Plastik, Kemasan, Plastik, Ruangan, dan lain-lain. Penggunaan pemanas ini memudahkan anda untuk proses pemanas cairan secara menyeluruh sesuai dengan suhu yang dibutuhkan.

#### 7. *Finned Heater*

*Finned Heater* merupakan elemen pemanas berbentuk pipa dan bersirip dan merupakan solusi yang paling cocok untuk pemanas udara. Seringkali digunakan dalam perakitan sebuah blower agar panas yang dihasilkan lebih maksimal dan bisa merata didalam atau diluar sebuah ruangan yang telah disiapkan atau memanaskan zat gas didalam ruangan, menghangatkan makanan dalam oven, mengeringkan, duct udara, dan lain-lain. Sirip *Finned Heater* terbuat dari stainless stell dengan ukuran lebar sirip sebesar 7-10 mm dan diameter pipa tubular 11mm. Umumnya *Finned Heater* digunakan dalam pengaplikasian :

Dalam Oven, Lemari Pengering, Konveyer, Saluran, Peralatan Pengeringan, AC, dll.

#### 8. *Band Heater / Nozzle Heater*

*Band Heater* adalah pemanas yang umumnya digunakan untuk aplikasi pengolahan plastik dalam bentuk silinder, pemanas cetakan dan industri karet. Pada umumnya diameter standard yang digunakan pada industri mulai dari Ø 25mm sampai dengan 500mm (namun jika menginginkan dimensi khusus/pesanan khusus dapat menghubungi kami). Daya yang dihasilkan mulai dari 50 – 10.000 Watt dapat diaplikasikan pada mesin-mesin injeksi / ekstruder. *Band Heater* umumnya dapat diaplikasikan untuk memanaskan Plastik *Injections, Extrusion Barrels* dan *Nozzle Blow Moulders, Pipe, Holding Tanks, Drum* dan bermacam-macam permukaan silinder.

#### 9. *Hot Plate Heater*

*Hot Plate Heater* digunakan untuk dapur profesional dalam berbagai bentuk dan ukuran misalnya bulat, persegi atau persegi panjang – kualitas luar biasa dan kehandalan tidak diragukan lagi.

#### 10. *Infraraya Heater/ Infrared Radiant Heater*

Pemanas seri inframerah dirancang untuk aplikasi yang memerlukan pemanasan dan kenyamanan di daerah *indoor, outdoor*. Digunakan di daerah-daerah besar seperti arena, pengergajian, auditorium gimnasium, sauna room, racetracks, garasi parkir, hingga pesawat dan daerah besar yang memerlukan pemanasan. Pemanas inframerah menggunakan pemanas berbentuk tabung yang mencapai suhu tinggi dan memancarkan panas yang cukup. Pemanas inframerah juga digunakan dalam industri makanan untuk menjaga makanan pada suhu target untuk periode waktu tertentu.

#### 11. *Infrared Ceramic Heater*

*Infrared Ceramic Heater* adalah pemanas inframerah keramik yang dirancang untuk suhu operasi sampai 750<sup>0</sup>c dan menghasilkan permukaan panas hingga 64 kW/m<sup>2</sup> dapat digunakan secara universal dan cocok untuk perakitan daerah radiasi dengan geometri yang diperlukan. Tersedia dalam tiga desain dan mencakup rentang daya dari 60 W sampai 1000 W.

#### 12. *Strip Heater*



*Strip Heater* tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk. Pemanas ini ideal untuk aplikasi pengolahan plastik, kemasan dan sebagainya, yang diperlukan pada permukaan datar atau melengkung.

### 13. *Dummy Load Heater*

*Dummy Load Heater* biasanya banyak digunakan untuk pengetesan Genset / Mesin dengan cara menyalakan heater untuk mengetes kemampuan beban daya yang diberikan sehingga dapat memastikan kemampuan daya dari genset tersebut. Dapat juga digunakan sebagai pengalihan beban puncak pada suatu mesin sehingga panas yang dibuang bisa digunakan untuk aplikasi pemanas lainnya.

## 2.2.3 Sensor

### 2.2.3.1 Sensor Panas

Yayan I.B, (1998), mengatakan temperatur adalah kondisi penting dari suatu substrat. Sedangkan “panas adalah salah satu bentuk energi yang diasosiasikan dengan aktifitas molekul-molekul dari suatu substrat”. Partikel dari suatu substrat diasumsikan selalu bergerak. Pergerakan partikel inilah yang kemudian dirasakan sebagai panas. Sedangkan temperatur adalah ukuran perbandingan dari panas tersebut. Pergerakan partikel substrat dapat terjadi pada tiga dimensi benda yaitu:

1. Benda padat
2. Benda cair
3. Benda gas (udara)

Aliran kalor substrat pada dimensi padat, cair dan gas dapat terjadi secara konduksi, yaitu pengaliran panas melalui benda padat (penghantar) secara kontak langsung, konveksi (pengaliran panas melalui media cair secara kontak langsung) dan radiasi (pengaliran panas melalui media udara/gas secara kontak tidak langsung). Pada aplikasi pendeteksian atau pengukuran tertentu, dapat dipilih salah satu tipe sensor dengan pertimbangan penampilan (*Performance*), kehandalan (*Reliable*) dan faktor ekonomis (*Economic*)

### 2.2.3.2 Pemilihan Jenis Sensor Suhu

Hal-hal yang perlu diperhatikan sehubungan dengan pemilihan jenis sensor suhu adalah: (Yayan I.B, 1998)

1. Level suhu maksimum dan minimum dari suatu substrat yang diukur.
2. Jangkauan (*range*) maksimum pengukuran
3. Konduktivitas kalor dari substrat
4. Respon waktu perubahan suhu dari substrat
5. Linieritas sensor
6. Jangkauan temperatur kerja

Selain dari ketentuan diatas, perlu juga diperhatikan aspek fisik dan kimia dari sensor seperti ketahanan terhadap korosi (karat), ketahanan terhadap guncangan, pengkabelan (instalasi), keamanan dan lain-lain.

### 2.2.3.3 Temperatur Kerja Sensor

Setiap sensor suhu memiliki temperatur kerja yang berbeda, untuk pengukuran suhu disekitar kamar yaitu antara  $-35^{\circ}\text{C}$  sampai  $150^{\circ}\text{C}$ , dapat dipilih sensor NTC, PTC, transistor, dioda dan IC hibrid. Untuk suhu menengah yaitu antara  $150^{\circ}\text{C}$  sampai  $700^{\circ}\text{C}$ , dapat dipilih *thermocouple* dan *RTD*. Untuk suhu yang lebih tinggi sampai  $1500^{\circ}\text{C}$ , tidak memungkinkan lagi dipergunakan sensor-sensor kontak langsung, maka teknis pengukurannya dilakukan menggunakan cara radiasi. Untuk pengukuran suhu pada daerah sangat dingin dibawah  $65^{\circ}\text{K} = -208^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{C} = 273,16^{\circ}\text{K}$ ) dapat digunakan resistor karbon biasa karena pada suhu ini karbon berlaku seperti semikonduktor. Untuk suhu antara  $65^{\circ}\text{K}$  sampai  $-35^{\circ}\text{C}$  dapat digunakan kristal silikon dengan kemurnian tinggi sebagai sensor.

### 2.2.3.4 Bimetal

Bimetal adalah sensor temperatur yang sangat populer digunakan karena kesederhanaan yang dimilikinya. Bimetal biasa dijumpai pada alat strika listrik dan lampu kelap-kelip (dimmer). Bimetal adalah sensor suhu yang terbuat dari dua buah lempengan logam yang berbeda koefisien muainya ( $\alpha$ ) yang direkatkan menjadi satu. Bila suatu logam dipanaskan maka akan terjadi pemuaian, besarnya pemuaian tergantung dari jenis logam dan tingginya temperatur kerja logam tersebut. Bila dua lempeng logam saling direkatkan dan dipanaskan, maka logam yang memiliki koefisien muai lebih tinggi akan memuai lebih panjang sedangkan yang memiliki koefisien muai lebih rendah memuai lebih pendek. Oleh karena perbedaan reaksi muai tersebut maka bimetal akan melengkung kearah logam

yang muainya lebih rendah. Dalam aplikasinya bimetal dapat dibentuk menjadi saklar *Normally Closed* (NC) atau *Normally Open* (NO).

### **2.2.3.5 Termistor**

Termistor atau tahanan thermal adalah alat semikonduktor yang berkelakuan sebagai tahanan dengan koefisien tahanan temperatur yang tinggi, yang biasanya negatif. Umumnya tahanan termistor pada temperatur ruang dapat berkurang 6% untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C. Kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur ini membuat termistor sangat sesuai untuk pengukuran, pengontrolan dan kompensasi temperatur secara presisi. Termistor terbuat dari campuran oksida-oksida logam yang diendapkan seperti: mangan (Mn), nikel (Ni), cobalt (Co), tembaga (Cu), besi (Fe) dan uranium (U). Rangkuman tahanannya adalah dari 0,5  $\Omega$  sampai 75  $\Omega$  dan tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran. Ukuran paling kecil berbentuk manimanik (beads) dengan diameter 0,15 mm sampai 1,25 mm, bentuk piringan (*disk*) atau cincin (*washer*) dengan ukuran 2,5 mm sampai 25 mm. Cincin-cincin dapat ditumpukan dan di tempatkan secara seri atau paralel guna memperbesar disipasi daya.

### **2.2.3.6 Resistance Thermal Detector (RTD)**

RTD adalah salah satu dari beberapa jenis sensor suhu yang sering digunakan. RTD dibuat dari bahan kawat tahan korosi, kawat tersebut dililitkan pada bahan keramik isolator. Bahan tersebut antara lain; platina, emas, perak, nikel dan tembaga, dan yang terbaik adalah bahan platina karena dapat digunakan menyensor suhu sampai 1500° C. Tembaga dapat digunakan untuk sensor suhu yang lebih rendah dan lebih murah, tetapi tembaga mudah terserang korosi.

### **2.2.3.7 Termokopel**

Pembuatan termokopel didasarkan atas sifat *thermal* bahan logam. Jika sebuah batang logam dipanaskan pada salah satu ujungnya maka pada ujung tersebut elektron-elektron dalam logam akan bergerak semakin aktif dan akan menempati ruang yang semakin luas, elektron elektron saling desak dan bergerak ke arah ujung batang yang tidak dipanaskan. Dengan demikian pada ujung batang yang dipanaskan akan terjadi muatan positif.

### 2.2.3.8 Dioda sebagai Sensor Temperatur

Dioda dapat pula digunakan sebagai sensor temperatur yaitu dengan memanfaatkan sifat tegangan *junction*. Dimanfaatkan juga pada sensor temperatur rangkaian terintegrasi (memiliki rangkaian penguat dan kompensasi dalam *chip* yang sama).

### 2.2.3.9 Infrared Pyrometer

Sensor inframerah dapat pula digunakan untuk sensor temperatur. Memanfaatkan perubahan panas antara cahaya yang dipancarkan dengan diterima yang diterima pyrometer terhadap objek yang di deteksi.

## 2.3 Jenis-jenis Pengeringan

Dalam penggunaan pengeringan, terdapat beberapa jenis pengeringan yang digunakan dalam seperti dibawah ini :

### 1. *Tray dryer*

Pengering baki (*tray dryer*) disebut juga pengering rak atau pengering kabinet, dapat digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta, yang ditebarkan pada baki logam dengan ketebalan 10-100 mm. Pengeringan jenis baki atau wadah adalah dengan meletakkan material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Cara perpindahan panas yang umum digunakan adalah konveksi dan perpindahan panas secara konduksi juga dimungkinkan dengan memanaskan baki tersebut.

Rangka bak pengering terbuat dari besi, rangka bak pengering di bentuk dan dilas, kemudian dibuat dinding untuk penyekat udara dari bahan plat seng dengan tebal 0,3mm. Dinding tersebut dilengketkan pada rangka bak pengering dengan cara di revet serta dilakukan pematian untuk menghindari kebocoran udara panas. Kemudian plat seng dicat dengan warna hitam buram, agar dapat menyerap panas dengan lebih cepat. Pada bak pengering dilengkapi dengan pintu yang berguna untuk memasukan dan mengeluarkan produk yang dikeringkan. Di pintu tersebut dibuat kaca yang memungkinkan kita dapat mengetahui temperatur tiap rak, dengan cara melihat termometer yang sengaja digantungkan pada setiap rak pengering. Di bagian atas bak pengering dibuat cerobong udara, bertujuan untuk memperlancar sirkulasi udara pada proses pengeringan.

**Alat pengering tipe bak terdiri atas beberapa komponen sebagai berikut :**

- a. Bak pengering yang lantainya berlubang-lubang serta memisahkan bak pengering dengan ruang tempat penyebaran udara panas (*plenum chamber*).
- b. Kipas, digunakan untuk mendorong udara pengering dari sumbernya ke *plenum chamber* dan melewati tumpukan bahan di atasnya.
- c. Unit pemanas, digunakan untuk memanaskan udara pengering agar kelembapan nisbi udara pengering menjadi turun sedangkan suhunya naik.

**Keuntungan dari alat pengering jenis itu sebagai berikut :**

- a. Laju pengeringan lebih cepat
- b. Kemungkinan terjadinya *over drying* lebih kecil
- c. Tekanan udara pengering yang rendah dapat melalui lapisan bahan yang dikeringkan. (Revitasari, 2010).

## 2. Rotary dryer

*Rotary dryer* atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering berbentuk sebuah drum yang berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau *gasifier*.

Alat pengering ini dapat bekerja pada aliran udara melalui poros silinder pada suhu 1200-1800°F tetapi pengering ini lebih seringnya digunakan pada suhu 400-900°F. *Rotary dryer* sudah sangat dikenal luas di kalangan industri karena proses pengeringannya jarang menghadapi kegagalan baik dari segi output kualitas maupun kuantitas. Namun sejak terjadinya kelangkaan dan mahalnya bahan bakar minyak dan gas, maka teknologi *rotary dryer* mulai dikembangkan untuk berdampingan dengan teknologi bahan bakar substitusi seperti burner batubara, gas sintesis dan sebagainya. Pengering *rotary dryer* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granula, gumpalan partikel padat dalam ukuran besar. Pemasukan dan pengeluaran bahan terjadi secara otomatis dan berkesinambungan akibat gerakan vibrator, putaran lubang umpan, gerakan berputar dan gaya gravitasi. Sumber panas yang digunakan dapat berasal dari uap listrik, batubara, minyak tanah dan gas. Debu yang dihasilkan dikumpulkan oleh *scrubber* dan penangkap air elektrostatis.

Secara umum, alat *rotary dryer* terdiri dari sebuah silinder yang berputar diatas sebuah *bearing* dengan kemiringan yang kecil menurut sumbu horisontal,

rotor, gudang piring, perangkat transmisi, perangkat pendukung, cincin meterai, dan suku cadang lainnya. Panjang silinder biasanya bervariasi dari 4 sampai lebih dari 10 kali diameternya (bervariasi dari 0,3 sampai 3 m). *Feed* padatan dimasukkan dari salah satu ujung silinder dan karena rotasi, pengaruh ketinggian dan slope kemiringan, produk keluar dari salah satu ujungnya. Pengering putar ini dipanaskan dengan kontak langsung gas dengan zat padat atau dengan gas panas yang mengalir melalui mantel luar, atau dengan uap yang kondensasi di dalam seperangkat tabung longitudinal yang dipasangkan pada permukaan dalam selongsong. Pada alat pengering *rotary dryer* terjadi dua hal yaitu kontak bahan dengan dinding dan aliran uap panas yang masuk ke dalam drum. Pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan dinding disebut konduksi karena panas dialirkan melalui media yang berupa logam. Sedangkan pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan aliran uap disebut konveksi karena sumber panas merupakan bentuk aliran.

Pada pengeringan dengan menggunakan alat ini penyerapan panas mudah dilakukan dan terjadi penyusutan bobot yang lebih tajam dibandingkan dengan penurunan pembobotan yang dialami *tray dryer*. Pengeringan pada *rotary dryer* dilakukan pemutaran berkali-kali sehingga tidak hanya permukaan atas yang mengalami proses pengeringan, namun juga pada seluruh bagian yaitu atas dan bawah secara bergantian, sehingga pengeringan yang dilakukan oleh alat ini lebih merata dan lebih banyak mengalami penyusutan. Selain itu *rotary* ini mengalami pengeringan berturut-turut selama satu jam tanpa dilakukan penghentian proses pengeringan. Pengering *rotary* ini terdiri dari unit-unit silinder, dimana bahan basah masuk diujung yang satu dan bahan kering keluar dari ujung yang lain.

*Rotary dryer* diklasifikasikan sebagai *direct*, *indirect-direct*, dan *special types*. Istilah tersebut mengacu pada metode transfer panasnya, istilah *direct* digunakan pada saat terjadi kontak langsung antara gas dan solid. Peralatan *rotary dryer* dapat diaplikasikan untuk pemrosesan material solid batch maupun kontinyu. Material solid harus mempunyai sifat dapat mengalir bebas dan berwujud granula.

Secara umum, unit pemanas langsung merupakan unit yang sederhana dan paling ekonomis. Unit ini digunakan pada saat kontak langsung antara padatan

dan *flue gas* dapat ditoleransi. Karena beban panas total harus diberikan dan diambil, sejumlah volume total gas yang besar dan kecepatan yang tinggi diperlukan. Kecepatan gas yang ekonomis biasanya kurang dari 0,5 m/s.

Bagian dalam alat yang berbentuk silindris ini, semacam sayap yang banyak. Melalui antara sayap-sayap tersebut dialirkan udara panas yang kering sementara silinder pengering berputar. Dengan adanya sayap-sayap tersebut bahan seolah-olah diaduk sehingga pemanasan meratakan akhirnya diperoleh hasil yang lebih baik. Alat ini dilengkapi 2 silinder, yang satu ditempatkan di bagian dekat pemasukan bahan yang akan dikeringkan, dan yang satu lagi di bagian dekat tempat pengeluaran bahan hasil pengeringan. Masing- masing silinder tersebut berhubungan dengan sayap-sayap (kipas) yang mengalirkan secara teratur udara panas disamping berfungsi pula sebagai pengaduk dalam proses pengeringan, sehingga dengan cara demikian pengeringan berlangsung merata. Adapun kelebihan dan kekurangan dari alat ini yaitu :

Keuntungan penggunaan *rotary / drum dryer* sebagai alat pengering adalah:

1. Dapat mengeringkan baik lapisan luar ataupun dalam dari suatu padatan
2. Penanganan bahan yang baik sehingga menghindari terjadinya atrisi
3. Proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang seragam/merata
4. Efisiensi panas tinggi
5. Operasi sinambung
6. Instalasi yang mudah
7. Menggunakan daya listrik yang sedikit

Kekurangan dari penggunaan pengering drum diantaranya adalah :

1. Dapat menyebabkan reduksi kurang karena erosi atau pemecahan
2. Karakteristik produk kering yang inkonsisten
3. Efisiensi energi rendah
4. Perawatan alat yang susah
5. Tidak ada pemisahan debu yang jelas

### 3. *Fluidized Bed Dryer*

Pengering hampan terfluidisasi adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hampan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida. Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah. Proses pengeringan dipercepat dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara panas sampai bahan terfluidisasi. Dalam kondisi ini terjadi penghembusan bahan sehingga memperbesar luas kontak pengeringan, peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi, dan peningkatan laju difusi uap air.

Kecepatan minimum fluidisasi adalah tingkat kecepatan aliran udara terendah dimana bahan yang dikeringkan masih dapat terfluidisasi dengan baik, sedangkan kecepatan udara maksimum adalah kecepatan tertinggi dimana tingkat kecepatan bahan ini terhembus keluar ruang pengering.

Bagian-bagian mesin pengering sistem fluidisasi:

1. Kipas (*Blower*)

Kipas (*Blower*) berfungsi untuk menghasilkan aliran udara, yang akan digunakan pada proses fluidisasi. Kipas juga berfungsi sebagai penghembus udara panas ke dalam ruang pengering juga untuk mengangkat bahan agar proses fluidisasi terjadi.

2. Elemen Pemanas (*heater*)

Elemen Pemanas (*heater*) berfungsi untuk memanaskan udara sehingga kelembaban relatif udara pengering turun, dimana kalor yang dihasilkan dibawa oleh aliran udara yang melewati elemen pemanas sehingga proses penguapan air dari dalam bahan dapat berlangsung.

3. *Plenum*

*Plenum* dalam mesin pengering tipe fluidisasi merupakan saluran pemasukan udara panas yang dihembuskan kipas ke ruang pengeringan. Bagian saluran udara ini dapat berpengaruh terhadap kecepatan aliran udara yang dialirkan, dimana arah aliran udara tersebut dibelokkan menuju ke ruang



pengering dengan bantuan sekat-sekat yang juga berfungsi untuk membagi rata aliran udara tersebut.

#### 4. Ruang Pengering.

Ruang pengering berfungsi sebagai tempat dimana bahan yang akan dikeringkan ditempatkan. Perpindahan kalor dan massa uap air yang paling optimal terjadi diruang ini.

#### 5. *Hopper*.

*Hopper* berfungsi sebagai tempat memasukkan bahan yang akan dikeringkan ke ruang pengering.

#### 4. *Spray dryer*

*Spray drying* merupakan suatu proses pengeringan untuk mengurangi kadar air suatu bahan sehingga dihasilkan produk berupa bubuk melalui penguapan cairan. *Spray drying* menggunakan atomisasi cairan untuk membentuk droplet, selanjutnya *droplet* yang terbentuk dikeringkan menggunakan udara kering dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Bahan yang digunakan dalam pengeringan *spray drying* dapat berupa suspensi, dispersi maupun emulsi. Sementara produk akhir yang dihasilkan dapat berupa bubuk, granula maupun aglomerat tergantung sifat fisik-kimia bahan yang akan dikeringkan, desain alat pengering dan hasil akhir produk yang diinginkan.

#### Mekanisme kerja *spray drying*

Prinsip dasar *Spray drying* adalah memperluas permukaan cairan yang akan dikeringkan dengan cara pembentukan droplet yang selanjutnya dikontakkan dengan udara pengering yang panas. Udara panas akan memberikan energi untuk proses penguapan dan menyerap uap air yang keluar dari bahan.

Bahan (cairan) yang akan dikeringkan dilewatkan pada suatu *nozzle* (saringan bertekanan) sehingga keluar dalam bentuk butiran (*droplet*) yang sangat halus. Butiran ini selanjutnya masuk kedalam ruang pengering yang dilewati oleh aliran udara panas. Hasil pengeringan berupa bubuk akan berkumpul dibagian bawah ruang pengering yang selanjutnya dialirkan ke bak penampung.

Secara umum proses pengeringan dengan metode *spray drying* melalui 5 tahap :

- a. Penentuan konsentrasi : konsentrasi bahan yang akan dikeringkan harus tepat, kandungan bahan terlarut 30% hingga 50%. Jika bahan yang digunakan sangat encer dengan total padatan terlarut yang sangat rendah maka harus dilakukan pemekatan terlebih dahulu melalui proses evaporasi. Jika kadar air bahan yang akan dikeringkan terlalu tinggi maka proses *spray drying* kurang maksimal dimana bubuk yang dihasilkan masih mengandung kadar air yang tinggi. Selin itu juga menyebabkan kebutuhan energi yang tinggi dalam proses pengeringan.
- b. *Atomization* : Bahan yang akan dimasukkan dalam alat *spray drier* harus dihomogenisasikan terlebih dahulu agar ukuran *droplet* yang dihasilkan seragam dan tidak terjadi penyumbatan *atomizer*. Homogenisasi dilakukan dengan cara pengadukan. selanjutnya bahan dialirkan kedalam *atomizer* berupa *ring/wheel* dengan lubang-lubang kecil yang berputar. *Atomization* merupakan proses pembentukan *droplet*, dimana bahan cair yang akan dikeringkan dirubah ukurannya menjadi partikel (*droplet*) yang lebih halus. Tujuan dari *atomizer* ini adalah untuk memperluas permukaan sehingga pengeringan dapat terjadi lebih cepat. Pada Industri makanan, luas permukaan droplet setelah melalui *atomizer* adalah mencapai 1-400 mikrometer.
- c. Kontak *droplet* dengan udara pengering : Pada sebagian besar *spray dryer*, *nozzle (atomizer)* tersusun melingkar. Dan pada tengahnya disemprotkan udara panas bertekanan tinggi dengan suhu mencapai 300 °C. Udara panas dan *droplet* hasil atomisasi disemprotkan ke bawah. Kondisi ini menyebabkan terjadinya kontak antara droplet dengan udara panas sehingga terjadi pengeringan secara simultan.
- d. Pengeringan *droplet* : adanya kontak broplet dengan udara panas menyebabkan evaporasi kadungan air pada droplet hingga 95% sehingga dihasilkan bubuk. Bubuk yang telah kering jatuh ke bawah *drying chamber* (ruang pengering) dari atas *chamber* hingga mencapai dasar hanya memerlukan waktu selama beberapa detik.
- e. Separasi : udara hasil pengeringan dipisahkan dengan pengambilan udara yang mengandung serpihan serbuk dalam chamber, selanjutnya udara akan memasuki separator. Udara hasil pengeringan dan serpihan bubuk dipisahkan dengn menggunakan gaya sentrifugal. Selanjutnya udara dibuang dan serpihan

bahan dikembalikan dengan cara diblow sehingga bergabung lagi dengan produk dalam line proses.

#### Kelebihan metode *Spray Drying*

1. Kapasitas pengeringan besar dan proses pengeringan terjadi dalam waktu yang sangat cepat. Kapasitas pengeringan mencapai 100 ton/jam.
2. Tidak terjadi kehilangan senyawa volatile dalam jumlah besar (aroma)
3. Cocok untuk produk yang tidak tahan pemanasan (tinggi protein)
4. Memproduksi partikel kering dengan ukuran, bentuk, dan kandungan air serta sifat-sifat lain yang dapat dikontrol sesuai yang diinginkan
5. Mempunyai kapasitas produksi yang besar dan merupakan system kontinyu yang dapat dikontrol secara manual maupun otomatis

#### Kekurangan metode *Spray Drying*

1. Memerlukan biaya yang cukup tinggi
2. Hanya dapat digunakan pada produk cair dengan tingkat kekentalan tertentu
3. Tidak dapat diaplikasikan pada produk yang memiliki sifat lengket karena akan menyebabkan penggumpalan dan penempelan pada permukaan alat.

Pengaplikasian dari *Spray Drying* ini berupa pengeringan semprot (*spray drying*) cocok digunakan untuk pengeringan bahan pangan cair seperti susu dan kopi (dikeringkan dalam bentuk larutan ekstrak kopi) (Ula, 2011).

#### 5. *Vacuum dryer*

Vakum berasal dari bahasa latin, *vacuus*, artinya kosong. Jadi vakum artinya menghampakan suatu ruangan atau suatu kemutlakan dibawah nol tekanan. Sitem ruang hampa dikepung oleh atmosfir bumi. Untuk meciptakan ruang hampa diperlukan pompa untuk mengeluarkan udara keluar dari system. Kebutuhan ini merupakan arti pekerjaan dasar dari vakum.

Mesin *vacuum drying* adalah mesin pengering dengan menggunakan teknologi vacuum. Proses pengeringan produk diatur pada suhu yang dikehendaki, disertai dengan proses vacuum untuk mempercepat pengeringan. Mesin vacuum drying ini biasanya digunakan untuk produk yang dikeringkan harus dengan suhu rendah, agar gizi tidak rusak.

*Vacuum drying* ini bermanfaat untuk pengeringan sayur-sayuran dan produk lainnya. Mesin ini digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain mengeringkan

sayur-sayuran pada suhu tidak terlalu tinggi, sehingga nilai gizi tidak hilang. Mesin ini juga bisa digunakan untuk produk makanan

Prinsip kerja mesin ini adalah memanaskan produk pada suhu yang bisa diatur, disertai dengan penyedotan (pempvakuman) uap air dari produk yang dipanaskan tersebut (admin, 2010).

#### 6. *Freeze dryer*

*Freeze Dryer* merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk kedalam *Conduction Dryer/ Indirect Dryer* karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah / lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi secara hantaran (konduksi), sehingga disebut juga *Conduction Dryer/ Indirect Dryer*.

Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas.

Keunggulan pengeringan beku, dibandingkan metoda lainnya, antara lain adalah :

- a. Dapat mempertahankan stabilitas produk (menghindari perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik lain)
- b. Dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan (pengkerutan dan perubahan bentuk setelah pengeringan sangat kecil)
- c. Dapat meningkatkan daya rehidrasi (hasil pengeringan sangat berongga dan *lyophile* sehingga daya rehidrasi sangat tinggi dan dapat kembali ke sifat fisiologis, organoleptik dan bentuk fisik yang hampir sama dengan sebelum pengeringan).

Keunggulan-keunggulan tersebut tentu saja dapat diperoleh jika prosedur dan proses pengeringan beku yang diterapkan tepat dan sesuai dengan karakteristik bahan yang dikeringkan. Kondisi operasional tertentu yang sesuai dengan suatu jenis produk tidak menjamin akan sesuai dengan produk jenis lain.

## 7. Pengerinan Gabungan

Pengerinan gabungan adalah pengerinan dengan energi smh dan bahan bakar minyak atau biomass yang menggunakan konveksi paksa (udara panas dikumpulkan dalam kolektor kemudian dihembus ke komoditi).

Contoh:

- a. Alat pengerin energi surya tipe lorong
  - Terdiri atas kipas angin sentrifugal, pemanas udara (kolektor) dan lorong pengerin.
  - Kolektor dan lorong pengerin dipasang paralel dan di atasnya ditutup dengan plastik transparan.
  - Alat pengerin dipasang dengan arah membujur utara-selatan dan diletakkan di atas tanah.
  - Udara pengerin yang dihasilkan dalam kolektor dihembuskan ke komoditi dengan kecepatan 400 - 900 m<sup>3</sup>/jam agar tercapai temperatur pengerinan 40 - 60<sup>0</sup>C.
- b. Alat pengerin energi surya-biomassa tipe lorong
  - Alat pengerin tipe lorong di atas dimodifikasi menjadi alat pengerin energi surya dan biomass
  - Ruang pengerin dan kolektor dipasang pada satu sumbu supaya kehilangan tekanan udara menjadi lebih kecil. Kipas dengan tenaga listrik 60 watt dapat berfungsi secara efisien, bahkan kipas arus scarab 32 watt dengan penggerak photovoltaik dapat dipakai pada sistem tersebut
  - Alat pengerin tersebut dipasang di atas struktur kayu dan disangga dengan batako setinggi 60 cm dari tanah.
  - Pada alat pengerin yang dimodifikasi ini dilengkapi dengan tungku biomass dan alat penukar panas yang terbuat dari plat baja, agar pada waktu hujan atau malam hari masih dapat dilakukan operasi pengerinan.
- c. Alat pengerin rumah asap
  - Alat ini terdiri atas : plat pemanas matahari yang dihubungkan dengan ruang pengerin. Di dalam ruang pengerin yang berbentuk rumah yang pada bagian atasnya terdapat penggantung komoditas.

- Sebagian dari udara buang dikembalikan ke plat pemanas sehingga temperatur kembali dapat dinaikkan menjadi 45 - 60°C. Untuk mengurangi ketergantungan pada kondisi cuaca, alat ini dilengkapi dengan tungku biomass yang dipasang dibawah rumah asap.
- d. Unit prosesing kakao/rumah pengering surya.
- Atap seluas 100 m<sup>2</sup> dan berfungsi juga sebagai kolektor matahari. Udara masuk ke kolektor sehingga menjadi panas. Dengan menggunakan kipas angin (blower), udara panas tersebut kemudian "ditarik" dan dihembus ke tempat pengering. Pemasangan atap dibuat dengan kemiringan 10° pada arah utara-selatan.
  - Rumah pengering ini dirancang untuk memproses 2-3 ton biji kakao basah, menggunakan 4 buah *blower* aksial.
  - Unit ini mampu berfungsi dengan efektif. Satu siklus pengolahan berlangsung selama 5 hari. Dengan pengoperasian tungku pada malam hari, waktu pengeringan lebih singkat yaitu sekitar 36-44 jam (Parapat, 2009).

#### **2.4 Mekanisme 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 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 sekitarnya

Mekanisme pengeringan meliputi dua proses perpindahan yaitu perpindahan kalor dan perpindahan massa uap air dengan mengkondisikan udara pengering. Proses perpindahan kalor terjadi karena suhu bahan lebih rendah daripada suhu udara pengering yang dialirkan di sekelilingnya. Udara panas yang

dialirkan ini akan meningkatkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air bahan menjadi lebih tinggi daripada tekanan uap air di udara, sehingga terjadi perpindahan massa uap air dari bahan ke udara.

Pada saat berlangsungnya proses pengeringan, laju perpindahan kalor dapat dihubungkan dengan laju perpindahan massa uap air ke udara (Earle,1983). Proses pengeringan tidak dapat berlangsung dalam suatu waktu sekaligus, namun diperlukan adanya waktu istirahat (*tempering time*), yaitu waktu yang dibutuhkan oleh seluruh air di dalam bahan untuk mencapai keseimbangannya.

Ketika benda basah dikeringkan secara termal, ada dua proses yang berlangsung secara simultan, yaitu perpindahan energi dari lingkungan untuk menguapkan air yang terdapat di permukaan benda padat perpindahan energi dari lingkungan ini dapat berlangsung secara konduksi, konveksi, radiasi, atau kombinasi dari ketiganya. Proses ini dipengaruhi oleh temperatur, kelembapan, laju dan arah aliran udara, bentuk fisik padatan, luas permukaan kontak dengan udara dan tekanan. Proses ini merupakan proses penting selama tahap awal pengeringan ketika air tidak terikat dihilangkan. Penguapan yang terjadi pada permukaan padatan dikendalikan oleh peristiwa difusi uap dari permukaan padatan ke lingkungan melalui lapisan film tipis udara. Perpindahan massa air yang terdapat di dalam benda ke permukaan. Ketika terjadi penguapan pada permukaan padatan, terjadi perbedaan temperatur sehingga air mengalir dari bagian dalam benda padat menuju ke permukaan benda padat. Struktur benda padat tersebut akan menentukan mekanisme aliran internal air.

## **2.5 Periode Pengeringan**

Proses pengeringan sendiri terbagi dalam dua periode yaitu laju pengeringan konstan (*drying in the constan rate period*) dan laju pengeringan menurun (*drying in falling rate period*). Penjemuran langsung merupakan cara yang paling mudah dan murah untuk proses pengeringan, namun jika diteliti lebih seksama penjemuran langsung membutuhkan waktu yang lebih lama dan kualitas hasil pengeringannya tidak terlalu bagus. Cara agar waktu pengeringan relatif lebih pendek dan kualitas hasil pengeringan lebih baik, proses pengeringan dilakukan menggunakan teknologi rekayasa surya sebagai hasil perbaikan dari

cara pengeringan alami dan tradisional. Pengering Surya (*Solar Dryer*) merupakan cara pengeringan menggunakan kolektor yang memanfaatkan radiasi energi matahari dengan lebih maksimal (Azridjal, 2004). Digunakannya rak bertingkat pada pengering surya jenis pemanasan langsung bertujuan memaksimalkan pemanfaatan udara panas dan memaksimalkan pemakaian ruang pengering, sehingga alat pengering menjadi lebih kompak dan efisien dalam penerimaan udara panas. Pemanfaatan udara panas pada rak bertingkat lebih merata dan menyentuh keseluruhan bahan dan produk yang akan dikeringkan.

Pada periode laju pengeringan menurun permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Selama periode laju pengeringan menurun, energi panas yang diperoleh bahan digunakan untuk menguapkan sisa air bebas yang sedikit sekali jumlahnya.

## 2.5 Perpindahan Panas

Selama proses pengeringan, terjadi proses perpindahan panas yang mengakibatkan menguapnya air dari dalam bahan yang akan dikeringkan dan proses perpindahan massa dimana sejumlah uap air dari dalam bahan yang akan dikeringkan ke udara. Dalam penelitian ini digunakan pisang sale sebagai bahan yang akan dikeringkan.

### a. Panas *sensible*

Adalah panas yang diserap selama pemanasan dari temperatur masuk sampai temperatur panas. Jika ruang pemanas dan produk dimasukan maka besarnya panas sensible dari produk tersebut adalah:

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot (t_1 - t_0) = Q_t = Q_{rak} = \text{kal} \quad \dots (1)$$

Dimana:

- $Q_s$  = Panas sensible (kal)
- $m$  = Massa air dari produk (kg)
- $C_p$  = Panas jenis air (kal/gr )
- $T_1$  = Temperatur produk masuk
- $T_2$  = Temperatur panas masuk



b. Panas *latent*

Adalah panas yang diserap oleh produk selama pengeringan dari temperatur panas sampai temperatur akhir, yang besarnya adalah:

$$Q_1 = m \cdot L \quad \dots (2)$$

Dimana:

$Q_1$  = Panas *latent* (kal)

$m$  = Massa produk (gram)

$L$  = Panas latent air (kal/gram)

Menurut Henderson dan Perry, proses pengeringan mempunyai dua periode utama yaitu periode pengeringan dengan laju pengeringan tetap dan periode pengeringan dengan laju pengeringan menurun.

Lalu untuk menentukan Cp udara dapat menurut Hougen adalah sebagai berikut :

$$Cp \text{ udara} = a + \frac{b}{2} (T_2 + T_1) + \frac{c}{3} (T_2^2 + T_2 \cdot T_1 + T_1^2)$$

Dimana :

$a = 6,386 \text{ gr cal/kmol K}$

$b = 0,002 \text{ gr cal/kmol K}$

$c = -2,66E-8 \text{ gr cal/kmol K}$

## 2.6 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*).

Kadar air pisang yang telah dikeringkan dapat dihitung melalui beberapa tahapan berikut :

- Menghitung kadar air pisang kering yang diperkirakan dengan menggunakan persamaan Berikut ni:

$$w_f = \frac{[W_{pk} - W_{po}]}{W_{pk}} \times 100\% \quad \dots(1)$$

$W_f$  = Kadar air pisang yang diperkirakan (%)

$W_{pk}$  = Berat pisang kering (kg)

$W_{po}$  = Berat pisang dengan kadar air 0 % (kg)

- Nilai total kadar air setelah pisang dikeringkan ( $w_f$ )

Berat air pisang awal ( $W_i$ ), kg

$$W_i = W_{pb} \times w_i \quad \dots\dots(2)$$

$W_i$  = kadar air awal pisang (%)

$$w_i = \frac{[W_{pb} - (W_{pk} - W_f)]}{W_{pb}} \times 100\% \quad \dots\dots (3)$$

- Berat kandungan air pisang akhir ( $W_f$ ), kg

$$W_f = 4,55 \% \times w_{pk} \quad \dots\dots(4)$$

## 2.7 Konsumsi Energi Spesifik

Kebutuhan energi untuk pengeringan dalam kilo *joule* dan energi spesifik pengering dapat menggunakan persamaan berikut (Gatot Sumarno,2013).

- Panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan

$$Q = m_b C_{pb} (T_{bhn} - T_{awal}) \quad \dots(5)$$

(Sumber: Gatot Sumarno,2013)

- Panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan. Panas laten yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air dalam produk yaitu :

$$Q = m \cdot H_{fg} \quad \dots(6)$$

(Sumber: Gatot Sumarno,2013)

Dimana:

$m_b$  = Massa bahan (kg)

$C_{pb}$  = Kapasitas jenis bahan (gcal/gmol K)

$T_{bhn}$  = Temperatur bahan yang sudah dikeringkan (K)

$T_{awal}$  = Temperatur awal bahan (K)

$H_{fg}$  = Perubahan entalpi (kJ/kg)

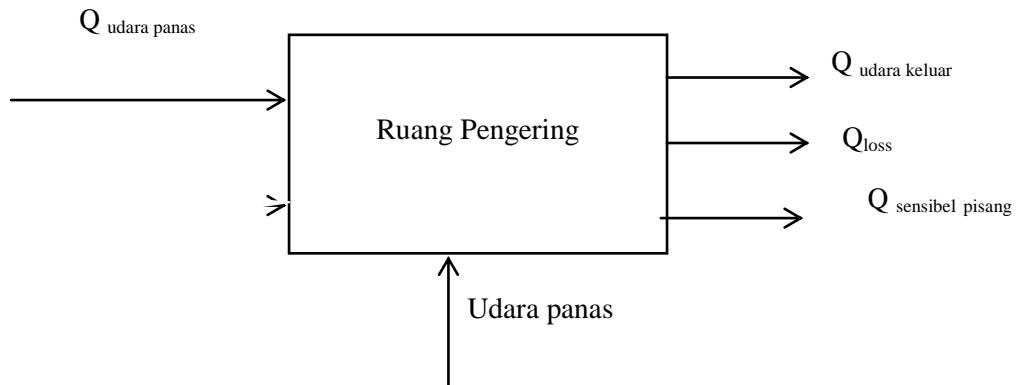
Persamaan energi spesifik dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{spesifik} = \frac{\text{energi yang tersedia}}{\text{massa bahan} \times \text{penurunan kadar air}} \quad (\text{kcal/kg}) \quad \dots(7)$$

(Sumber: Gatot Sumarno,2013)

Dalam prototipe alat pengering menggunakan sumber daya energi surya fotovoltaik dan *thermal backup unit*, energi input yang dihasilkan berasal dari panas radiasi matahari yang kemudian digunakan untuk proses pengeringan

kerupuk dan panas sensibel pisang sebelum pengeringan. Sedangkan suatu unit proses berdasarkan (Frank (Xin X.) Zhu, 2014) yang dimaksud dalam prototipe ini adalah proses pengeringan produk berupa pisang sebanyak  $x$  kg, sehingga didapatkan seberapa banyak massa air yang menguap. Berikut ini blok diagram pada ruang pengering.



Energi input terdiri dari  $Q_{\text{udara panas}}$

$$Q_{\text{sensibel}} = m c_p (T_2 - T_1) \quad \dots(8)$$

(sumber: Mc.cabe)

Dimana:

$m$  = Massa (kg)

$c_p$  = Kapasitas panas (kJ/kg °C)

$T_1$  = Temperatur awal (°C)

$T_2$  = Temperatur akhir (°C)

Massa air yang teruapkan = massa pisang awal – massa pisang kering

Dengan demikian,

$$\text{Konsumsi energi spesifik (sec)} = \frac{\text{total energi input}}{\text{m air yang teruapkan}} \quad \dots(9)$$

## 2.8 Penjelasan umum mengenai Pisang

Pisang adalah nama umum yang diberikan pada tumbuhan ternak raksasa berdaun besar memanjang dari suku Musaceae. Beberapa jenisnya (*Musa*

*acuminata*, *M.balbisiana*, dan *M.×paradisiaca*) menghasilkan buah konsumsi yang dinamakan sama. Buah ini tersusun dalam *tandan* dengan kelompok-kelompok tersusun menjari yang disebut *sisir*. Hampir semua buah pisang memiliki kulit berwarna kuning ketika matang, meskipun ada beberapa yang berwarna jingga, merah, hijau, ungu, atau bahkan hampir hitam. Buah pisang sebagai bahan pangan merupakan sumber energi (karbohidrat) dan mineral, terutama kalium.

Pisang kaya akan mineral seperti kalium, magnesium, besi, fosfor, dan kalsium. Bila dibandingkan dengan jenis makanan nabati lain, mineral pisang, khususnya besi, hampir 100% dapat diserap tubuh. Berdasarkan berat kering, kadar besi pisang mencapai 2 mikrogram per 100 gram, dan seng 0,8 mikrogram per 100 gram. Bandingkan dengan apel, yang hanya mengandung 0,2 mikrogram besi dan 0,1 mikrogram seng untuk berat 100 gram.