

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Konsep Dasar Pengeringan**

Pengeringan merupakan salah satu cara dalam teknologi pangan yang dilakukan dengan tujuan pengawetan. Manfaat lain dari pengeringan adalah memperkecil volume dan berat bahan dibanding kondisi awal sebelum pengeringan, sehingga akan menghemat ruang.

Proses pengeringan dipengaruhi oleh suhu, tekanan, kelembaban udara lingkungan, kecepatan aliran udara pengering, energi pengering, kapasitas pengering, dan luas permukaan kontak antara padatan dengan fluida panas. Pengeringan yang terlampau 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.

Laju pengeringan sangat bergantung pada perbedaan antara kadar air bahan dengan kadar air keseimbangan. 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. Pada proses pengeringan, air dikeluarkan dari bahan pangan dapat berupa uap air. Uap air tersebut harus segera dikeluarkan dari atmosfer di sekitar bahan pangan yang dikeringkan. Jika tidak segera keluar, udara di sekitar bahan pangan akan menjadi jenuh oleh uap air sehingga memperlambat penguapan air dari bahan pangan yang memperlambat proses pengeringan.

Berikut ini dijelaskan tentang faktor-faktor pengeringan tersebut:

a. Luas Permukaan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada dibagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dahulu. Hal ini terjadi karena :

1. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar.
2. Partikel-partikel kecil ataupun lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan.

b. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitar

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut “*case hardening*”, yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

c. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.

d. Tekanan Udara

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

## 2.2 Mekanisme Pengeringan

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

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.

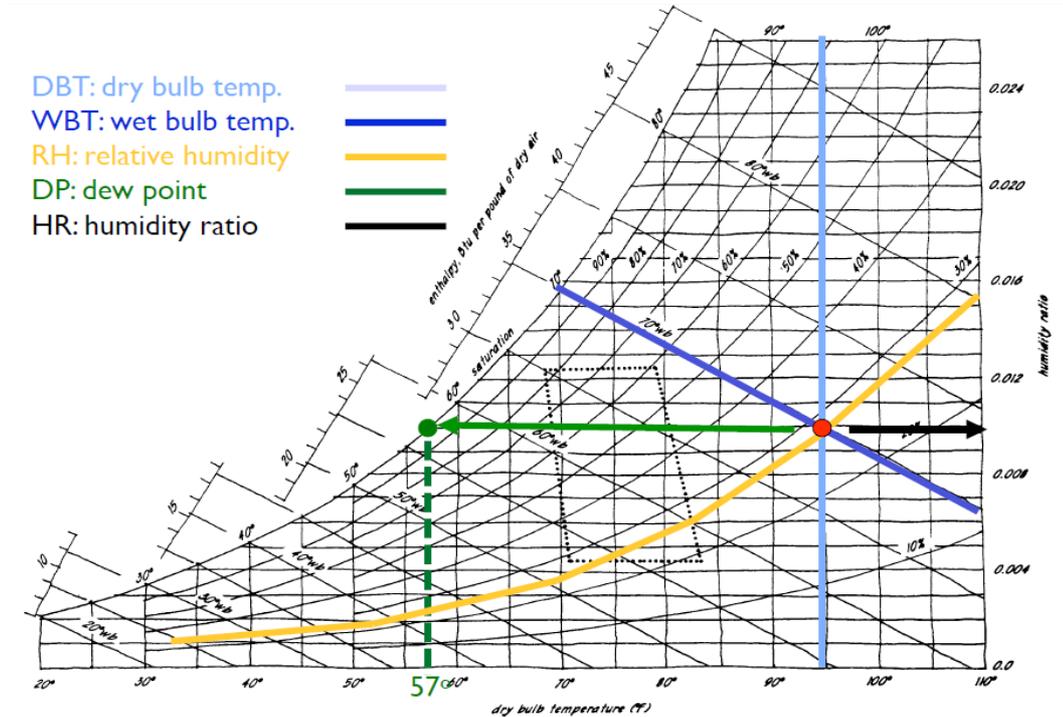
Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu :

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

Proses pengeringan pada bahan dimana udara panas dialirkan dapat dianggap suatu proses adiabatik. Hal ini berarti bahwa panas yang dibutuhkan untuk penguapan air dari bahan hanya diberikan oleh udara pengering tanpa tambahan energi dari luar. Ketika udara pengering menembus bahan basah sebagian 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 sebagaimana yang ditunjukkan kurva psikometrik dibawah ini.



**Gambar 1. Kurva Psikometrik Proses Pengeringan**

(Sumber : Modul Pengeringan, 2011)

### 2.3 Periode Laju Pengeringan

Menurut Henderson dan Perry (1995), proses pengeringan mempunyai 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.

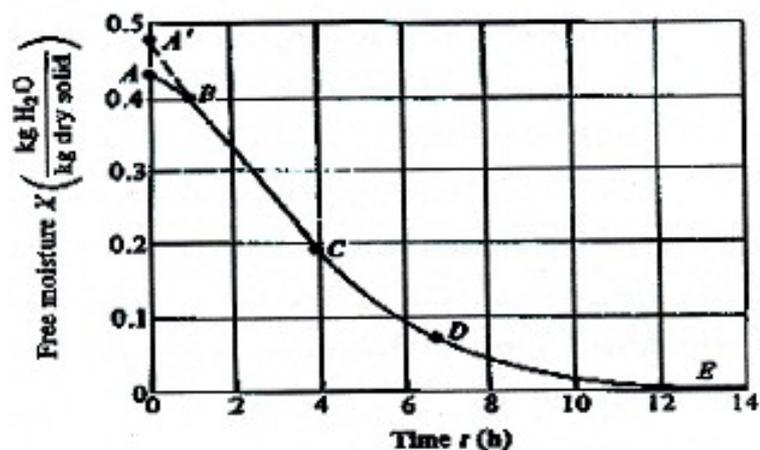
Simmonds et al (1953) menyatakan bahwa kadar air kritis adalah kadar air terendah saat mana laju air bebas dari dalam bahan ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air maksimum dari bahan. Pada biji-bijian umumnya kadar air ketika pengeringan dimulai lebih kecil dari kadar air kritis. Dengan demikian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

Henderson dan Perry (1955) menyatakan bahwa pada periode pengeringan dengan laju tetap, bahan mengandung air yang cukup banyak, dimana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Laju penguapan sebagian besar tergantung pada keadaan sekeliling bahan, sedangkan pengaruh bahannya sendiri relatif kecil.

Laju pengeringan akan menurun seiring dengan penurunan kadar air selmaa pengeringan. Jumlah air terikat makin lama semakin berkurang. Perubahan dari laju pengeringan tetap menjadi laju pengeringan menurun untuk abahan yang ebrbeda akan terjadi pada kadar air yang berbeda pula.

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

Laju pengeringan menurun terjadi setelah laju pengeringan konstan dimana kadar air bahan lebih kecil daripada kadar air kritis. Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu : perpindahan dari dalam ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya, seperti yang ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



**Gambar 2. Hubungan Kadar Air dengan Waktu**

(Sumber :Modul Pengeringan, 2011)

## 2.4 Pemanfaatan Energi Surya

Indonesia memiliki potensi yang cukup besar untuk menjadikan solar sel sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada daerah khatulistiwa. Dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas 1 m<sup>2</sup> mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mencapai 4500 watt hour/m<sup>2</sup> yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini. Dan matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya. (<http://www.esdm.go.id>).

Karena sel surya sanggup menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi, mudah dipindah, dekat dengan pusat beban sehingga penyaluran energi sangat sederhana serta sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai karakteristik cahaya matahari yang baik (intensitas cahaya tidak fluktuatif) dibanding negara-negara 4 musim, utamanya lagi sel surya relatif efisien, tidak ada pemeliharaan yang spesifik dan bisa mencapai umur yang panjang serta mempunyai keandalan yang tinggi. Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, ada 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya fotovoltaik dan teknologi energi surya termal.

#### **2.4.1 Sel Surya Fotovoltaik**

Kolektor surya komersial yang umumnya dikenal dunia saat ini adalah sel surya fotovoltaik. Sel surya fotovoltaik adalah peralatan yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya dapat dianalogikan sebagai *device* dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm<sup>2</sup>. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul surya tersebut bisa

digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu.



**Gambar 3. Sel Surya Fotovoltaik**

*(Sumber: solaranlage.de, 2010)*

Tegangan listrik yang dikeluarkan panel sel surya umumnya beraliran DC. Jumlah dan kapasitas panel yang dibutuhkan pada suatu aplikasi tergantung pada beban alat listrik dan intensitas sinar matahari. Standar panel surya yang terdapat di pasar umumnya berkapasitas puluhan sampai dengan ratusan watt (misalnya, 20W, 40W, 80W, 100W, 120W dan seterusnya). Sistem photovoltaik bekerja dengan sistem efek photovoltaik. Efek Photovoltaik merupakan fenomena fisika dimana energi cahaya datang, yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik. Arus listrik dapat timbul, karena energi foton cahaya datang berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semi-konduktor tipe n dan tipe p untuk dapat mengalir.

Semi-konduktor silikon murni (intrinsik) merupakan isolator yang tidak bisa menimbulkan arus listrik. Namun ketika bahan silikon ini dicemari dengan bahan lain misalnya unsur Fosfor dan Boron melalui suatu proses yang disebut doping, maka semi-konduktor silikon ini menjadi konduktor yang bisa memberikan elektron bebas untuk menimbulkan aliran listrik.

Pada dasarnya, sel surya yang berbasis semi-konduktor silikon cara kerjanya sama dengan perilaku sebuah dioda silikon. Dengan kata lain, sel surya silikon ada sebuah dioda yang besar. Sel surya photovoltaik terdiri dari wafer tipis lapisan silikon tipe-n ( $n = \text{Negatif}$ ) yang dicemari unsur fosfor (phospor-doped) dan lapisan tebal silikon tipe-p ( $p = \text{Positif}$ ) yang tercemar unsur Boron (boron-doped). Lapisan silikon jenis N merupakan semi-konduktor yang berkelebihan elektron sehingga kelebihan muatan negatif. Sedangkan lapisan silikon jenis p

merupakan semi-konduktor yang berkelebihan proton (*hole*) sehingga kelebihan muatan positif. Medan listrik timbul dekat permukaan atas sel dimana kedua lapisan p-n tersebut bersentuhan. Ketika photon sinar matahari menyentuh permukaan sel surya tersebut, medan listrik ini memberikan momentum dan pergerakan elektron bebas yang dirangsang oleh photon matahari, sehingga menimbulkan aliran arus ketika sel surya dihubungkan ke beban listrik.

Adapun komponen dari sel surya dijelaskan sebagai berikut :

1. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti indium tin oxide (ITO) dan flourine doped tin oxide (FTO).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (copper oxide).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang

disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n junction dan sel surya akan dibahas dibagian “cara kerja sel surya”.

### 3. Kontak metal / contact grid

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

### 4. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

### 5. Enkapsulasi / cover glass

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

## 2.4.2 Kolektor Surya

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan guna berbagai aplikasi, biasanya digunakan sebagai pengering atau pemanas dengan bantuan alat pendukung lainnya seperti inverter sebagai alat pengonversi energi dan lainnya.

Kolektor surya umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu:

1. *Cover* berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan.
2. *Absorber* berfungsi untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
3. Kanal berfungsi sebagai saluran transmisi fluida kerja .
4. *Isolator* berfungsi meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari absorber menuju lingkungan.
5. *Frame* berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor.



**Gambar 4. Kolektor Termal Plat Datar**

(Sumber: *solaranlage.de*, 2010)

Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari absorber-nya yang berupa plat datar yang terbuat dari material dengan konduktivitas termal tinggi, dan dilapisi dengan cat berwarna hitam. Kolektor pelat datar memanfaatkan radiasi matahari langsung dan terpencar, tidak membutuhkan pelacak matahari, dan hanya membutuhkan sedikit perawatan.

## **2.5 Teori Pendukung**

### **2.5.1 Laju Pengeringan pada Proses Pengeringan**

Laju pengeringan suatu bahan yang dikeringkan antara lain ditentukan oleh sifat bahan tersebut seperti temperatur bola basah dan kering, kecepatan massa udara, koefisien  $h$ . Laju pengeringan maksimum biasanya tidak dipakai.

Hal ini untuk mengurangi dan mencegah terjadinya pengkerutan, pengerasan permukaan, retak permukaan bahan serta akibat lain yang tidak diinginkan terjadi pada pengeringan produk pangan padat.

Untuk mencari nilai laju pengeringan tersebut maka di data temperatur bola basah ( $t_{bb}$ ) dan temperatur bola kering ( $t_{bk}$ ) untuk mengukur nilai kelembaban pada diagram *humidity chart*. Lalu digunakan beberapa persamaan yang didapat dari buku Mc Cabe :

$$V_h = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} \times H) T \quad \dots\dots\dots \text{(pers.1)}$$

Hasil perhitungan  $V_h$  akan di aplikasikan pada pers 7 yang digunakan untuk menghitung densitas dari harga  $G$  atau kecepatan massa udara pengeringan.

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\rho G = (1 + H) / V_h \quad \dots\dots\dots \text{(pers.2)}$$

Densitas  $G$  itu digunakan pada pers 8 untuk menghitung kecepatan massa udara pengeringan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$G = v_{\text{udara}} \times \rho G \quad \dots\dots\dots \text{(pers.3)}$$

Lalu setelah didapat nilai kecepatan massa udara pengeringan, maka dihitung pula nilai koefisien transfer panas konveksi. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$h = 24,2 G^{0,37} \quad \dots\dots\dots \text{(pers.4)}$$

Sehingga gabungan hasil tersebut digunakan pada perhitungan laju pengeringan ( $R_c$ ). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$R_c = \frac{h (T_{bk} - T_{bb})}{\lambda_w} \quad \dots\dots\dots \text{(pers.5)}$$

Dimana :

$R_c$  = Laju pengeringan ( $\text{kg/jam m}^2$ )

$H$  = Humidity

$\rho G$  = Densitas  $G$  ( $\text{kg/m}^3$ )

$G$  = Kecepatan massa udara pengeringan ( $\text{kg/jam m}^2$ )

$v_{\text{udara}}$  = Kecepatan ( $\text{m/jam}$ )

$h$  = Koefisien transfer panas konveksi ( $\text{W/m}^2 \text{ jam}$ )

$\lambda_w$  = Panas laten penguapan

$T_{bk}$  = Temperatur bola kering

$T_{bb}$  = Temperatur bola basah

### 2.5.2 Perpindahan Massa

Perpindahan yang terjadi selama proses pengeringan adalah 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 jahe sebagai bahan yang akan dikeringkan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\%W = \dots\dots\dots \quad (\text{pers.6})$$

Dimana :

$W$  = Kadar air awal (%)

$W_1$  = Massa sampel basah (gr)

$W_2$  = Massa sampel kering (gr)

### 2.5.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah – daerah tersebut. Transfer panas atau perpindahan panas yang terjadi dalam proses pengeringan dapat meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi, sebagaimana yang dijelaskan dibawah ini.

#### 2.5.3.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi secara umum adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium – medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar.

Konduksi adalah satu – satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak dapat tembus cahaya. Panas yang hilang dari kolektor

ke lingkungan dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas, luas pelat absorber, dan beda temperatur absorber dengan lingkungan. Panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan dibagi menjadi 5 bagian penting yaitu panas dari bagian belakang, depan, samping, bawah dan atas kolektor. Sedangkan ruang pengering pun mengalami rugi panas yang rumuskan pada persamaan 11 sebagai berikut :

- Heat Loss Ruang Pengering

$$Q = k A (T_2 - T_1) \times \dots \dots \dots \quad (\text{pers.2})$$

Dimana : Q = Besar heat loss pada alat (J)

K = Konduktivitas kaca/alumunium (J/m °C)

A = Luas penampang kolektor termal (m<sup>2</sup>)

T<sub>1</sub> = Temperatur lingkungan saat pengamatan (°C)

T<sub>2</sub> = Temperatur kaca absorber kolektor (°C)

x = Ketebalan kaca (m)

- Heat Loss pada Kolektor

1. Rugi panas melalui belakang, depan, samping kanan dan samping kiri

Rugi panas yang hilang di bagian ini pada kolektor dipengaruhi oleh plat alumunium dan glasswool yang menyelubungi. Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung rugi panasnya adalah sebagai berikut :

$$U_{blg} = A_s \times \frac{1}{A_k \left( \frac{t_a}{k_a} + \frac{t_g}{k_g} \right)} \dots \dots \dots \quad (\text{pers.3})$$

Dimana : A<sub>s</sub> = Luas permukaan bagian belakang (m<sup>2</sup>)

A<sub>k</sub> = Luas kolektor (m<sup>2</sup>)

t<sub>a</sub> = Tebal plat alumunium (m)

k<sub>a</sub> = Konduktivitas plat alumunium (W/m°C)

T<sub>g</sub> = Tebal plat glasswool (m)

K<sub>g</sub> = Konduktivitas plat glasswool (W/m°C)

2. Rugi panas melalui bagian bawah

Panas yang hilang dari bagian belakang dipengaruhi oleh lapisan isolasi berupa glasswool. Nilai  $h_b$  ini didapat dari  $5,7+3,8(v)$ . Sehingga rumus yang digunakan:

$$U_{bwh} = A_s \times \frac{1}{A_k \left( \frac{t_g}{k_g} + \frac{1}{h_b} \right)} \quad \text{..... (pers.4)}$$

Dimana :  $v$  = Kecepatan udara disekitar kolektor

$h_b$  = Koefisien konveksi bagian bawah kolektor

### 3. Rugi panas melalui bagian atas

Pada bagian atas terjadi perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi.

Koefisien perpindahan panas total melalui bagian atas kolektor dirumuskan :

$$U_a = \frac{1}{R_k + R_c + R_r} \quad \text{..... (pers.14)}$$

Dimana:  $R_k$  = Tahanan termal konduksi kaca ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$R_c$  = Tahanan termal konveksi dari tutup ke lingkungan ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$R_r$  = Tahanan termal radiasi antara tutup ke lingkungan ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$A_s$  = Luas samping kolektor ( $m^2$ )

$A_k$  = Luas kolektor ( $m^2$ )

Maka,

$$U_{total} = F \times A \times (U_{gab} + U_{bwh} + U_a) \times (T_2 - T_1) \quad \text{..... (pers.15)}$$

Dimana:

$F$  = Faktor transfer panas kolektor

$A$  = Luas penampang kolektor ( $m^2$ )

$U_{gab}$  = Rugi panas gabungan dari bagian belakang, depan dan atas (J)

$U_{bwh}$  = Rugi panas bagian bawah kolektor (J)

$U_a$  = Rugi panas bagian atas kolektor (J)

$T_1$  = Temperatur lingkungan saat pengamatan ( $^\circ C$ )

$T_2$  = Temperatur kaca absorber kolektor ( $^\circ C$ )

### 2.5.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan massa medianya, dan media konveksi adalah fluida. Konveksi terjadi karena adanya perbedaan kecepatan fluida bila suhunya berbeda, yang tentunya akan berakibat pada perbedaan berat jenis. Fluida yang bersuhu tinggi akan mempunyai berat jenis yang lebih kecil bila dibandingkan dengan fluida sejenisnya yang bersuhu lebih rendah. Karena itu, maka fluida yang bersuhu tinggi akan naik sambil membawa energi. Hal inilah yang berakibat pada terjadinya perpindahan kalor konveksi. Konveksi adalah proses transfer 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 diatas 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 fluida ini. Kemudian partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana partikel tersebut akan bercampur dan memindahkan sebaian energinya pada partikel fluida lainnya.

Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan cara alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradient suhu, maka proses ini yang disebut dengan konveksi bebas atau alamiah (*natural*). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Berikut ini adalah tabel yang menyajikan data berupa koefisien perpindahan panas secara konveksi.

**Tabel 1. Perpindahan Panas Secara Konveksi**

No	Proses	H (Watt/m <sup>2</sup> K)
----	--------	---------------------------

1	Konveksi Alami :	- Gas	2 – 25
		- Cairan	50 – 1000
2	Konveksi Paksa :	- Gas	25 – 250
		- Cairan	100 – 20.000
3	Konveksi dengan perubahan fasa (mendidih dan mengembun)		2500 – 100.000

(Sumber : Suryanto, Ari dkk. 2012. Modifikasi plat penyerap kalor matahari)

Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut :

$$q = HA(T_w - T_\infty) \quad \dots\dots\dots \text{(pers.4)}$$

Dimana :

H = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m<sup>2</sup>°C)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m<sup>2</sup>)

T<sub>w</sub> = Temperatur dinding (°C)

T<sub>p</sub> = Temperatur padatan (°C)

q = Laju perpindahan panas konveksi (watt)

### 2.5.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Jika suatu benda ditempatkan di dalam sebuah ruangan, dan suhu dinding – dinding ruangan lebih rendah dari pada suhu benda maka suhu benda tersebut akan turun sekalipun ruangan tersebut ruang hampa. Proses dengan perpindahan panas dari suatu benda terjadi berdasarkan suhunya tanpa bantuan dari suatu zat antara (medium) disebut radiasi termal. Defenisi lain dari radiasi termal ialah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya.

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium (ini yang menyebabkan mengapa perpindahan panas radiasi sangat penting pada ruang vakum), disamping itu jumlah energi yang dipancarkan sebanding dengan temperatur benda tersebut. Tidak seluruh energi yang disebutkan dalam konstanta surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbondioksida dan uap air di atmosfer. Perpindahan panas secara radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q_{\text{rad}} = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots\dots\dots \text{(pers.5)}$$

Dimana :

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ )

$\varepsilon$  = emisivitas benda (0,95)

$T_1$  = Temperatur permukaan kolektor termal ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = Temperatur lingkungan ( $^{\circ}\text{C}$ )