

BAB II

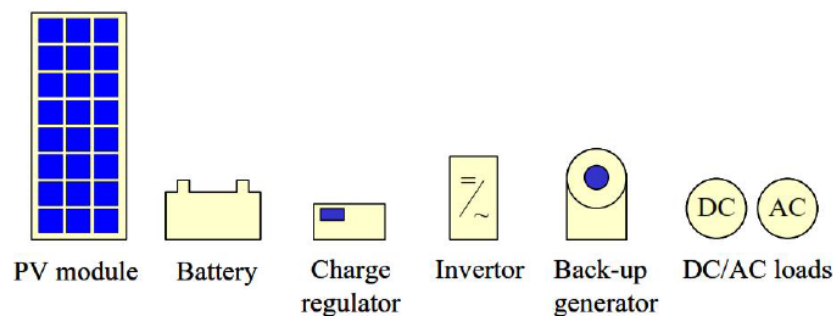
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi yang tidak akan pernah habis. Energi surya dipancarkan ke bumi secara radiasi, yaitu perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik tanpa medium perantara. Untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi panas dibutuhkan kolektor surya. Dalam pemanfaatannya terdapat dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya termal dan teknologi energi surya fotovoltaik.

2.1.1. Teknologi Energi Surya Fotovoltaik

Kolektor surya komersial yang umumnya dikenal dunia saat ini adalah modul fotovoltaik. Modul fotovoltaik adalah salah satu bagian dari *PV solar system*. Modul fotovoltaik merupakan bagian inti dari sistem pembangkit tenaga surya, seperti halnya generator yang mengkonversi suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Dalam *PV system* dibutuhkan baterai, *charge regulator*, *inverter* dan beban AC/DC sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Sel surya fotovoltaik adalah peralatan yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya sel surya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari sel surya dapat menghasilkan tegangan.



Gambar 2.1. *PV Solar system*
Sumber : Zeman, Miro. 2011. *Solar Cells*

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^2 . 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 penyorotan standar (Zeman, Miro. 2011). 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 *fluorine doped tin oxide* (FTO).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Material semikonduktor yang umum digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. 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.

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.

Panel sel surya umumnya mengeluarkan tegangan listrik 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 Fotovoltaik 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 semikonduktor tipe n dan tipe p untuk dapat mengalir.

Pada dasarnya, sel surya yang berbasis semi-konduktor silikon cara kerjanya sama dengan perilaku sebuah dioda silikon. Dengan kata lain, sel surya silikon adalah sebuah dioda yang besar. Sel surya photovoltaik terdiri dari wafer tipis lapisan silikon tipe-n (n = negatif) yang dicemari unsur fosfor (phosphor-doped) dan lapisan tebal silikon tipe-p (p = positif) yang tercemar unsur Boron (borondoped). 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.

2.2. Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air bahan hingga mencapai kadar air tertentu sehingga menghambat laju kerusakan bahan akibat aktifitas biologis dan kimia (Brooker et al., 2004). Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air bahan ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Agar suatu bahan dapat menjadi

kering, maka udara harus memiliki kandungan uap air atau kelembaban yang relatif rendah dari bahan yang dikeringkan. Menurut Brooker, et al., (1974), beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, antara lain :

a. Suhu Udara Pengering

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang. Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Makin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat. Biaya pengeringan dapat ditekan pada kapasitas yang besar jika digunakan pada suhu tinggi, selama suhu tersebut sampai tidak merusak bahan.

b. Kelembaban Relatif Udara Pengering

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Kelembaban relative 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

c. Kecepatan Aliran Udara Pengering

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.

d. Kadar Air Bahan

Pada proses pengeringan sering dijumpai adanya variasi kadar air bahan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh tebalnya tumpukan bahan, RH udara pengering serta kadar air awal bahan. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara : (1) mengurangi ketebalan tumpukan bahan, (2) menaikkan kecepatan aliran udara pengering, (3) pengadukan bahan.

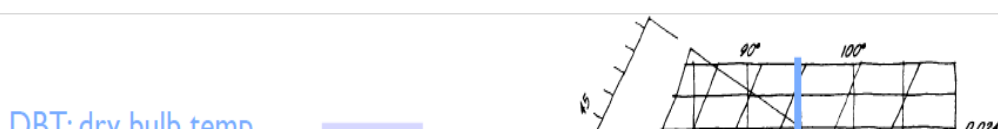
2.2.1. Mekanisme Pengeringan

Mekanisme pengeringan diterangkan melalui teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama kali mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habis, maka terjadi migrasi air dan uap air dari bagian dalam bahan secara difusi. Migrasi air dan uap terjadi karena perbedaan tekanan uap pada bagian dalam dan bagian luar bahan (Handerson dan Perry, 1976).

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.

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 Gambar 2.2.

Gambar 2.2. Kurva Psikometrik Proses Pengeringan
Sumber : Perry's Chemical Handbook, 1989

2.2.2. 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

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

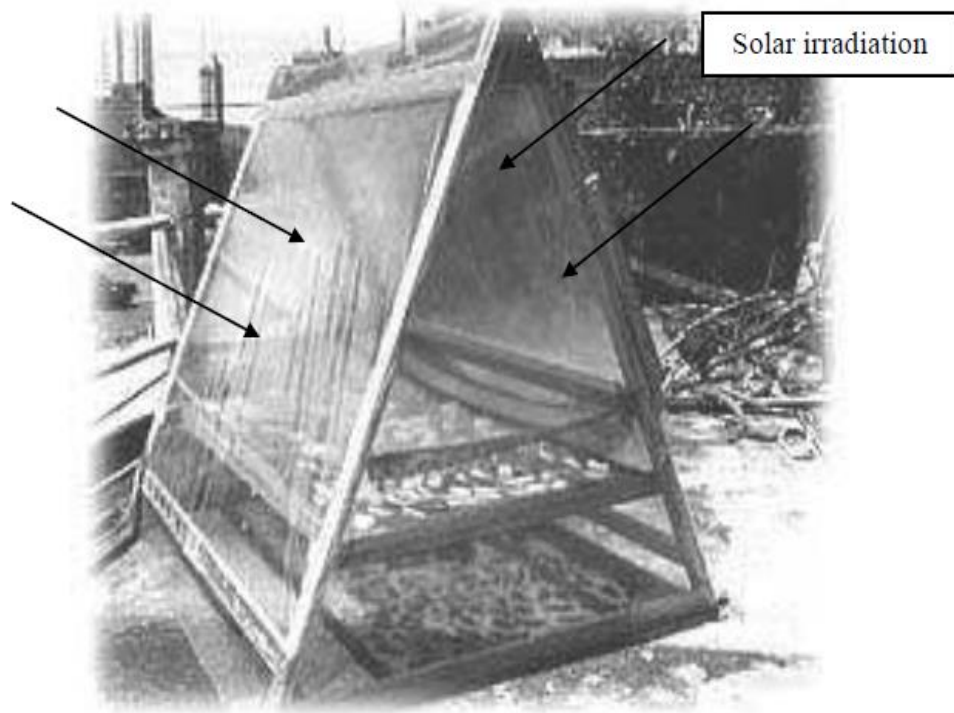
Lama pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas maka waktu pengeringan yang digunakan harus maksimum, yaitu kadar air bahan akhir yang diinginkan telah tercapai dengan lama pengeringan yang pendek. Pengeringan dengan suhu yang tinggi dan waktu yang pendek dapat lebih menekan kerusakan bahan pangan dibandingkan dengan waktu pengeringan yang lebih lama dan suhu lebih rendah.

2.2.3. Jenis Pengeringan Berdasarkan Mode Pemanasan Matahari

Berdasarkan mode pemanasan matahari sistem pengeringan matahari menjadi tiga sub-kelas yang berbeda berdasarkan pengaturan desain komponen sistem serta mode pemanfaatan panas (YusheilaYunus,2011)

1. Pengering matahari langsung.

Matahari memanaskan langsung ke material dan selungkup dan menyebabkan penumpukan panas karena "efek rumah kaca".

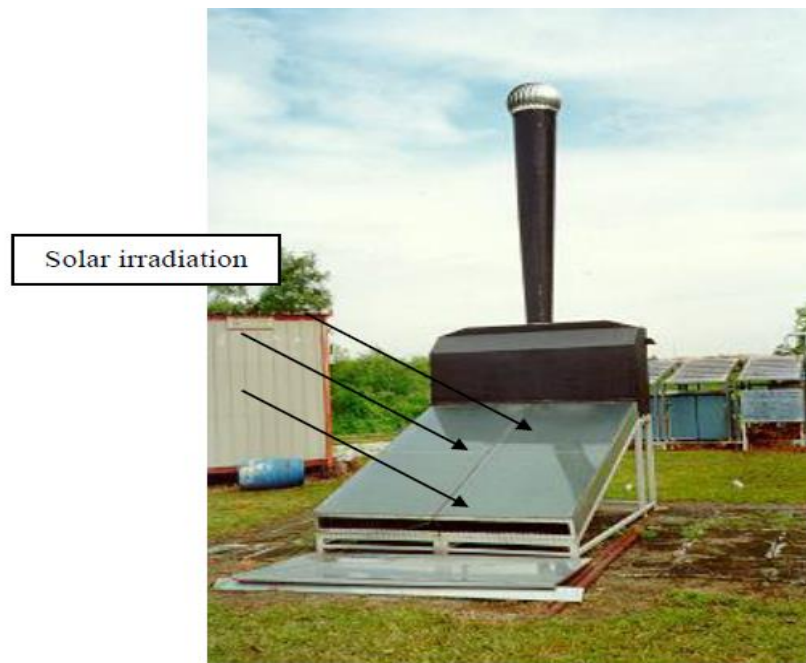


Gambar 2.3. Pengering matahari langsung

Sumber : YusheilaYunus,2011

2. Pengering surya tidak langsung.

Matahari tidak bertindak langsung pada bahan yang akan dikeringkan tetapi produk dikeringkan dengan udara panas dipanaskan oleh matahari.



Gambar 2.4. Pengereng matahari tidak langsung
Sumber : YusheilaYunus,2011

3. Pengereng surya mode campuran.

Pengereng jenis ini memperoleh kombinasi panas dari penyinaran matahari langsung dan udara panas dari kolektor surya untuk operasi pengeringan.



Gambar 2.5. Pengereng matahari campuran
Sumber : YusheilaYunus,2011

2.2.4. Jenis-Jenis Alat Pengering

Jenis-Jenis Alat Pengering Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk suatu produk pangan ditentukan oleh kualitas produk akhir yang diinginkan, sifat bahan pangan yang dikeirngkan, dan biaya produksi atau pertimbangan ekonomi. Beberapa jenis 7 pengeringan telah digunakan secara komersial, dan jenis pengeringan tertentu cocok untuk produk pangan yang lain. Berdasarkan bahan yang akan dipisahkan, dryer terdiri dari:

1. Pengering untuk Zat Padat dan Tapal

a. *Rotary Dryer* (Pengering Putar)

Alat pengering ini berbentuk silinder yang bergerak pada porosnya. Silinder ini dihubungkan dengan alat pemutar dan letaknya agak miring. Permukaan dalam silinder dilengkapi dengan penggerak bahan yang berfungsi untuk mengaduk bahan. Udara panas mengalir searah dan dapat pula berlawanan arah jatuhnya bahan kering pada alat pengering.

b. *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. *Tower Dryer* (Pengering Menara) 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. *Screw Conveyor Dryer* (Pengering Konveyor Sekrup) 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.

e. Alat Pengering Tipe Rak (*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*). 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.

2. Pengeringan Larutan dan Bubur

a. *Spray Dyer* (Pengering Semprot)

Pada proses pengeringan semprot, cairan disemprotkan melalui nozel pada udara panas. Pada spray dryer, bahan cair berpartikel kasar (*slurry*) dimasukkan lewat pipa saluran yang berputar dan disemprotkan ke dalam jalur yang berudara bersih, kering, dan panas dalam suatu tempat yang besar, kemudian produk yang telah kering dikumpulkan dalam filter kotak, dan siap untuk dikemas.

b. *Thin Film Dryer* (Pengering Film Tipis)

Pengering film tipis yang dapat menangani zat padat maupun bubur dan menghasilkan hasil padat yang kering dan bebas mengalir. Efisiensi termal pengering film tipis biasanya tinggi dan kehilangan zat padatnya pun kecil. Alat ini relatif lebih mahal dan luas permukaan perpindahan kalornya terbatas (Unair Thaib, dkk).

Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk suatu produk pangan ditentukan oleh 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.

Dalam pengeringan, keseimbangan kadar air menentukan batas akhir dari proses pengeringan. Kelembaban udara nisbi serta suhu udara pada bahan kering

biasanya mempengaruhi keseimbangan kadar air. Pada saat kadar air seimbang, penguapan air pada bahan akan berhenti dan jumlah molekul - molekul air yang akan diuapkan sama dengan jumlah molekul air yang diserap oleh permukaan bahan. Laju pengeringan amat bergantung pada perbedaan antara kadar air bahan dengan kadar air keseimbangan.

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan semakin cepat pindah panas ke bahan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan. Pada proses pengeringan, air dikeluarkan dari bahan dapat berupa uap air. Uap air tersebut harus segera dikeluarkan dari atmosfer di sekitar bahan 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.

2.2.5. Klasifikasi Pengering

Pengeringan dimana zat padat bersentuhan langsung dengan gas panas (biasanya udara) disebut pengeringan adiabatik (*adiabatic dryer*) atau pengeringan langsung (*direct dryer*). Bila perpindahan kalor berlangsung dari suatu medium luar dinamakan pengering nonadiabatik atau pengering tak langsung. Pada beberapa unit terdapat gabungan pengeringan adiabatik dan nonadiabatik, pengering ini biasa disebut pengering langsung-tak-langsung (*direct-indirect-dryer*).

Berdasarkan cara penanganan zat padat didalam pengering, klasifikasi pengeringan dikelompokkan menjadi :

1. Pengering Adiabatik

Pengeringan dimana zat padat bersentuhan langsung dengan gas panas (biasanya udara) disebut pengeringan adiabatik (*adiabatic dryer*) atau pengeringan langsung (*direct dryer*).

2. Pengering Non Adiabatik

Bila perpindahan kalor berlangsung dari suatu medium luar dinamakan pengering nonadiabatik atau pengering tak langsung.

2.3. 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 kerupuk sebagai bahan yang akan dikeringkan. Besarnya kerupuk kering dengan kadar tertentu dapat dicari dengan rumus sebagai berikut (Trayball, 1981) :

$$M_k = \frac{(100 - m_1)}{100} \times m_b \quad (1)$$

Dimana :

m_k = Massa kering (kg)

m_b = Massa basah (kg)

m_1 = Kadar air awal (%)

Sedangkan untuk kadar air awal bahan maka dapat digunakan rumus :

$$\text{Kadar air awal} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan w_1 adalah massa awal bahan (kg), w_2 adalah massa akhir bahan/setelah pengeringan (kg).

2.4. Perpindahan Panas

Energi matahari yang dipancarkan ke suatu permukaan dapat menyebabkan terjadinya transfer panas. Transfer panas atau perpindahan panas yang terjadi dalam proses pengeringan dapat meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi, sebagaimana yang dijelaskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993).

2.4.1. 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. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatandan posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu meupun energi dalam elemen zat. Bila molekul-molekul di satu daerah

memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar dari pada yang dimiliki oleh molekul-molekul di suatu daerah yang berdekatan, sebagaimana ditunjukkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energi 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 dapat tembus cahaya. Konduksi penting dalam fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi, dan radiasi. Energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal (McCabe, 1993):

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3)$$

Dengan :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/mK)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m²)

ΔT = Perbedaan temperatur diantara dua permukaan (K)

Δx = Tebal permukaan (m)

2.4.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi bergantung pada nilai koefisien konveksi fluidanya. 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 (berat tiap satuan volume). 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. Dalam hal ini alirannya adalah aliran fluida maupun energi. Energi disimpan didalam partikel – partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel tersebut.

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. Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993) :

$$q = HA(T_w - T_\infty) \quad (4)$$

Dimana :

H = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m²°C)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m²)

T_w = Temperatur dinding (°C)

T_f = Temperatur fluida (°C)

Q = Laju perpindahan panas konveksi (watt)

2.4.3. 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. Definisi 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 (Mc Cabe, 1993) :

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

Dimana σ adalah konstanta Stefan-Boltzman dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$, ε adalah emisivitas benda dan T adalah beda temperatur.

2.5. Massa H₂O yang Menguap dalam Pengering

2.5.1. Laju Alir Volumetrik Udara

Menurut Mc Cabe, 1993 hal 63 untuk menghitung laju alir volumetrik udara dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = v \times A \quad (6)$$

Dimana,

Q : Laju Alir Volumetrik (m^3/s)

A : Luas Penampang (m^2)

V : Kecepatan Aliran (m/s)

2.5.2. Massa H₂O yang Terkandung dalam Udara

Untuk menghitung H₂O yang Terkandung dalam Udara digunakan basis 1 jam dengan rumus :

$$m_1 = \omega \text{ masuk} \times \text{jumlah udara keluar} \quad (7)$$

$$m_2 = \omega \text{ keluar} \times \text{jumlah udara keluar} \quad (8)$$

dimana :

m_1 : massa H₂O yang Terkandung dalam Udara Masuk (Kg H₂O)

m_2 : massa H₂O yang Terkandung dalam Udara Keluar (Kg H₂O)

ω : Humiditas (Kg H₂O/ kg udara kering)

2.5.3. Massa H₂O yang menguap dalam pengering

Untuk menentukan massa H₂O yang teruapkan oleh udara dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$m_{H_2O} = m_2 - m_1 \quad (9)$$

2.5.4. Panas Penguapan H₂O Standar

Berdasarkan Persamaan 33 Olaf A. Hougen, Hal : 275 untuk mengetahui panas penguapan Standar, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda = 2,303 (Z_c - Z_L) R T_c A \quad (10)$$

dimana :

$Z_c - Z_L$: *Function Of Reduced Pressure*

R : Konstanta Gas Ideal (Gcal/Gmol K)

T_c : Temperature Kritis (K)

A : Vapor Pressure Constant

2.5.5. Panas untuk menguapkan air pada bahan baku

Untuk mengetahui panas laten air pada bahan baku, berdasarkan persamaan 40 Olaf A. Hougen, Hal: 281 sebagai berikut:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \left(\frac{1-Tr_2}{1-Tr_1} \right)^{0,38} \quad (11)$$

dimana :

λ_1 : Panas Laten Air Standar (Btu/ Lbmol)

λ_2 : Panas Laten Air Pada Temperature Pengukuran (Btu/ Lbmol)

Tr_1 : Temperature Penguapan Standar (K)

Tr_2 : Temperatur Pengukuran (K)

$$Tr = \frac{T}{T_c} \quad (12)$$

dimana :

T : Temperatur Hasil Pengukuran (°C)

T_c : Temperatur Kritis (°R)

Panas untuk menguapkan air pada bahan baku, digunakan persamaan berikut :

$$Q = m \times \lambda_2 \quad (13)$$

Dimana :

Q : Panas Untuk Mendapatkan Air Bahan Baku (Btu)

m : Massa Air Yang Teruapkan (Kg)

λ_2 : Panas Laten Air Pada Temperature Pengukuran (Btu/ Lbmol)

2.6. Penjelasan Umum Tentang Kerupuk

Kerupuk adalah makanan ringan yang dibuat dari adonan tepung tapioca dicampur bahan perasa seperti udang atau ikan. Kerupuk dibuat dengan mengukus adonan sebelum dipotong tipis-tipis, dikeringkan di bawah sinar matahari dan digoreng dengan minyak goreng yang banyak (Soemarmo, 2009). Tahapan dalam proses pembuatan kerupuk hingga siap untuk dimakan terdiri atas tiga proses utama yaitu pembuatan, pengeringan dan penggorengan. Pada umumnya pembuatan kerupuk adalah sebagai berikut : Bahan berpati dilumatkan bersama atau tanpa bumbu, kemudian dimasak (direbus atau dikukus) dan dicetak berupa lempengan tipis yang disebut kerupuk kering. Sebelum dikonsumsi, kerupuk kering digoreng atau dipanggang terlebih dahulu. Ikan, telur dan daging adalah bahan penyedap yang dapat digunakan pada pembuatan kerupuk. Merica, bawang putih, bawang merah dan garam merupakan bumbu utama (Warintek, 2016). Kerupuk pada dasarnya dibagi menjadi dua jenis yaitu kerupuk halus dan kerupuk kasar.

Kerupuk kasar dibuat hanya dari bahan pati yang ditambahkan bumbu, sedangkan kerupuk halus ditambah lagi dengan bahan berprotein seperti ikan sebagai bahan tambahan. Kerupuk tapioca mempunyai kandungan protein yang rendah. Kerupuk yang kering memiliki kadar airnya yang rendah 10% dari kadar

air semula (sebelum pengeringan), tandanya adalah berbunyi bila dipatahkan. Dan hasil pengeringan disebut dengan kerupuk mentah.

Tabel 2.1. Standard Mutu Kerupuk Ikan (SNI 01-2713-1999)

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Rasa dan Aroma		Khas kerupuk ikan
2.	Serangga dalam bentuk stadia dan potongan – potongan serta benda – benda asing		Tidak ternyata
3.	Kapang		Tidak ternyata
4.	Air	%	Maks. 11
5.	Abu tanpa garam	%	Maks. 1
6.	Protein	%	Min. 6
7.	Lemak	%	Maks. 0,5
8.	Serat Kasar	%	Maks. 1
9.	Bahan tambahan makanan		Tidak ternyata atau sesuai dengan peraturan yang berlaku
10.	Cemaran logam (Pb, Cu, Hg)		Tidak ternyata atau sesuai dengan peraturan yang berlaku
11.	Cemaran arsen (As)		Tidak ternyata atau sesuai dengan peraturan yang berlaku

(sumber : Badan Standarisasi Nasional, 1999)