

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Pengeringan

Pengeringan merupakan suatu cara untuk menurunkan kandungan air yang terdapat dalam suatu bahan (Trayball E.Robert, 1981). Proses pengeringan dipengaruhi oleh suhu, tekanan, kelembaban udara lingkungan, kecepatan aliran udara pengering, kandungan air yang diinginkan, energi pengering, dan kapasitas pengering sebagaimana yang dipaparkan pada penjelasan berikut ini (Anton,2011) :

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 : Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar. Partikel-partikel kecil ataupun lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus dikeluarkan ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

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.

Udara merupakan medium yang sangat penting dalam proses pengeringan, untuk menghantarkan panas kepada bahan yang hendak dikeringkan, karena udara satu-satunya medium yang sangat mudah diperoleh dan tidak memerlukan biaya operasional. Oleh karena itu untuk memahami bagaimana proses pengeringan terjadi, maka perlu ditinjau sifat udara.

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 terhenti 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 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

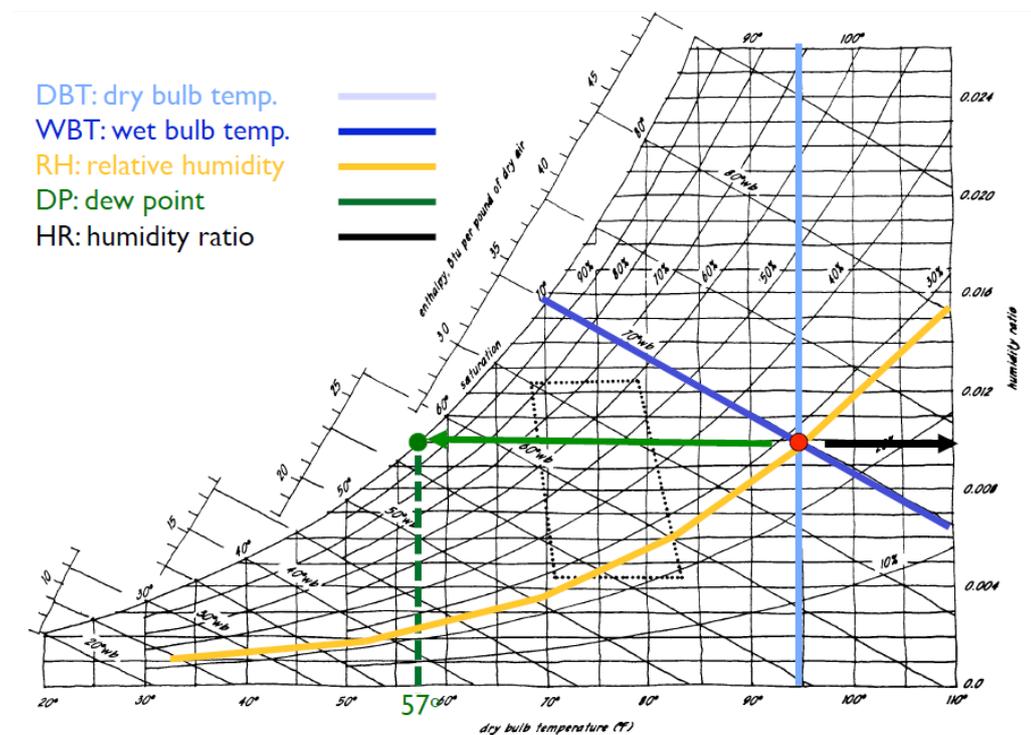
permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu :

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

Proses pengeringan pada bahan 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 : Anton, Modul Pengeringan, 2011.

2.3 Laju Pengerinan

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.

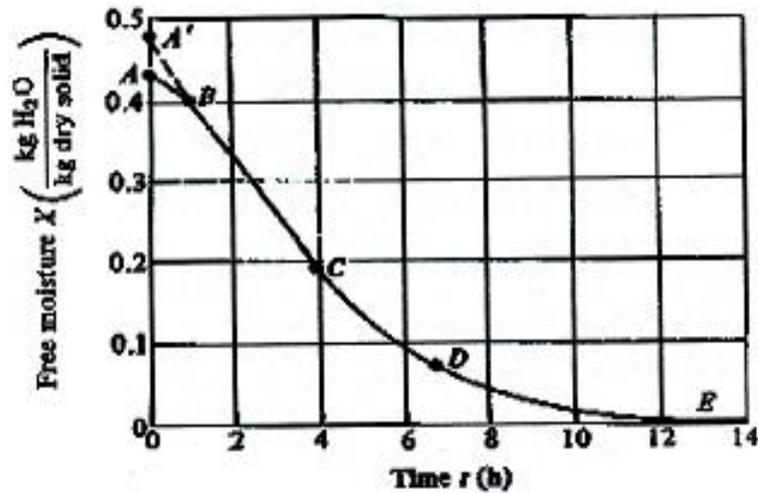
Simmonds et al (1953) menyatakan bahwa kadar air kritis adalah kadar air terendah saat mana laju air bebas dari dalam bahan ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air maksimum dari bahan. Pada biji-bijian umumnya kadar air ketika pengeringan dimulai lebih kecil dari kadar air kritis. Dengan demikian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

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 menguakan sisa air bebas yang sedikit sekali 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 pada proses pengeringan dengan menggunakan udara sebagai media penghantar panas

Sumber :Anton,2011, Modul Pengeringan, 2011.

Pada periode laju pengeringan konstan, perhitungannya bisa didasarkan atas perpindahan massa sebagai berikut (Mc Cabe, 1993):

$$m_v = \frac{h_y (T - T_w) A}{\lambda_w} \dots\dots\dots (\text{pers. 1})$$

- Dimana,
- m_v = laju penguapan
 - A = luas permukaan
 - h_y = koefisien perpindahan kalor
 - T = Temperatur udara
 - T_w = Temperatur pada permukaan
 - λ_w = panas laten pada suhu T_w

Bila udara mengalir tegak lurus dengan permukaan zat padat, koefisien perpindahan kalor dapat ditaksir dengan persamaan dimensional (Mc Cabe, 1993) :

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

- Dimana,
- G = kecepatan massa, lb/ft² jam

Selanjutnya, laju pengeringan konstan, R_C dapat dihitung dengan rumus (Mc Cabe, 1993):

$$R_C = \frac{mv}{A} = \frac{h_y (T - T_w)}{\lambda_w} \dots\dots\dots (\text{pers. 3})$$

2.4 Mesin Pengering

Pemilihan mesin pengering dilakukan dari pertimbangan terhadap jenis bahan yang akan dikeringkan, mutu hasil akhir yang dikeringkan dan pertimbangan ekonomi. Pada Tabel 1 ditampilkan tipe-tipe mesin pengering.

Tabel 1. Tipe-tipe Mesin Pengering

Kriteria	Tipe
Metode operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Batch</i>. Contoh : <i>try and compartment dryer, through circulation dryer, vacuum tray dryer.</i> 2. <i>Continue</i>. Contoh : <i>pneumatic dryer, tunnel dryer, rotary dryer, fluidized bed dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.</i>
Metode perpindahan panas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konveksi. Contoh : <i>belt conveyer dryer, rotary dryer, spray dryer, tray dryer, fluidized bed dryer, through dryer.</i> 2. Konveksi. Contoh : <i>drum dryer, vacuum tray dryer, steam jacket rotary dryer.</i> 3. Radiasi. Contoh : <i>microwave.</i>
Tekanan operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vakum. Contoh : <i>vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer, freeze dryer.</i> 2. Tekanan atmosfer. Contoh : <i>rotary dryer, tunnel dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.</i>
Waktu	<ol style="list-style-type: none"> 1. Singkat (< 1 menit). Contoh : <i>flash dryer, spray dryer, drum dryer.</i> 2. Sedang (1-120 menit). Contoh : <i>belt conveyer dryer, fluidized bed dryer, rotary dryer, tray dryer.</i> 3. Panjang (>120 menit). Contoh : <i>tray dryer (batch).</i>

Sumber : Jurnal Mujumdar dan Menon, 1995

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semua tipe pengering tersebut membutuhkan energi yang berupa listrik ataupun bahan bakar fosil. Untuk itulah, pada tahun 2000-an dirancang suatu mesin pengering dengan sumber energi terbarukan yang tidak membutuhkan energi suplai berupa listrik ataupun bahan bakar fosil, yaitu mesin pengering tenaga surya.

Hal yang menjadikan mesin pengering tenaga surya dinilai berpotensi untuk terus dikembangkan adalah fakta bahwa Indonesia terletak pada garis khatulistiwa dan Indonesia mempunyai karakteristik cahaya matahari yang baik (intensitas cahaya tidak fluktuatif) dibanding negara-negara 4 musim. Dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas 1 m² mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mencapai 4500 watt hour/m² 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>).

Melihat begitu banyak keuntungan yang dapat diperoleh dari mesin pengering tenaga surya maka mesin tenaga surya ini dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan mesin pengering untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Hingga saat ini dalam pemanfaatan energi surya, telah dikembangkan setidaknya dua macam teknologi yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energinya yaitu teknologi energi surya fotovoltaik dan teknologi energi surya termal (Erlinawati, 2013).

2.5 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 m² mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mencapai 4500 watt hour/m² 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>).

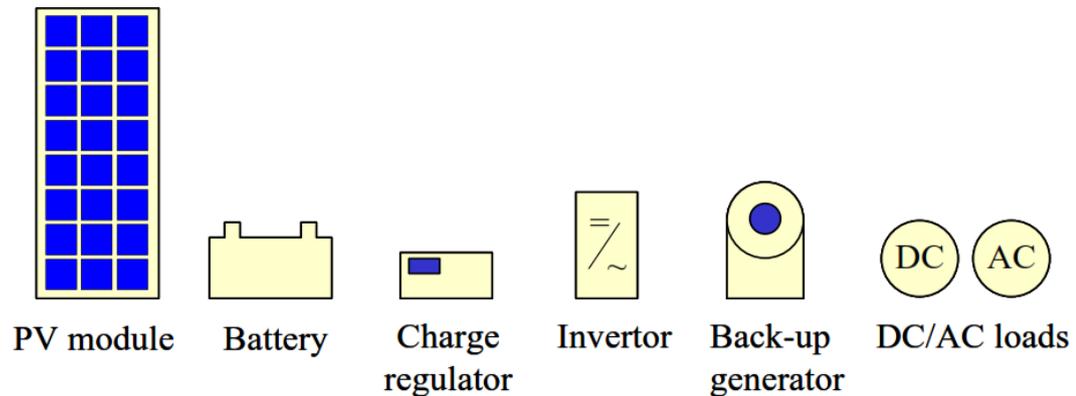
Karena sel surya sanggup menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi, mudah dipindah, dekat dengan pusat beban sehingga penyaluran energi sangat sederhana serta sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai karakteristik cahaya matahari yang baik (intensitas cahaya tidak fluktuatif) dibanding negara-negara 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.

2.5.1 Kolektor 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 milliamper 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 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.

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 3 .



Gambar 3. PV Solar system

Sumber : Zeman, Miro. 2011. Solar Cells

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 = Negatif) yang dicemari unsur fosfor (phospor-doped) dan lapisan tebal silikon tipe-p (p = 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 Cu(In,Ga)(S,Se)_2 (CIGS), CdTe (kadmium

telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ (CZTS) dan Cu_2O (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.

2.5.2 Kolektor Surya Termal

Untuk membuat suatu kolektor surya buatan maka perlu dilakukan berbagai pertimbangan seperti bahan pembuat kolektor. Bahan pembuat kolektor pada dasarnya merupakan bahan yang mempunyai kemampuan menyerap kalor. Nilai konduktivitas berbagai bahan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konduktivitas Berbagai Bahan

Bahan	k (W/m. °C)
Logam	
Perak (murni)	410
Tembaga (murni)	385
Alumunium (murni)	202
Nikel (murni)	93
Besi (murni)	73
Baja carbon, 1% C	43
Timbal (murni)	35
Baja krom-nikel (18% Cr, 8% Ni)	16,3
Bukan Logam	
Kuarsa (sejajar sumbu)	41,6
Magnesit	4,15
Marmar	2,08 – 2,94
Batu pasir	1,83
Kaca, jendela	0,78
Kayu maple atau ek	0,17
Serbuk gergaji	0,059
Wol kaca	0,038
Zat Cair	
Air raksa	8,21
Air	0,556
Ammonia	0,540
Minyak pelumas, SAE 50	0,147

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

Bahan logam yang mempunyai kemampuan menyerap kalor adalah logam alumunium berwarna hitam. Dalam hal ini logam yang dipakai adalah plat alumunium yang dicat hitam dan dibawahnya terdapat bahan penyimpan kalor, seperti glass wool ataupun pasir. Nilai konduktivitas bahan berpengaruh terhadap cepat lambatnya kalor yang mengalir di dalam suatu bahan. Semakin tinggi nilai konduktivitas suatu bahan maka semakin cepat pula kalor yang mengalir pada bahan tersebut.

2.6 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 cabai sebagai bahan pangan yang akan dikeringkan. Besarnya cabai kering dengan kadar tertentu dapat dicari dengan rumus sebagai berikut (Treybal Mass Transfer):

$$M_k = \frac{(100 - m_1) \times m_b}{100} \dots\dots\dots (Pers. 1)$$

Dimana :

m_k = Massa kering (kg)

m_b = Massa basah (kg)

m_1 = Kadar air awal (%)

Sedangkan untuk mencari pengurangan kadar air dari suatu bahan dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara yaitu menggunakan basis basah atau menggunakan basis kering. Pengurangan air dengan menggunakan basis basah dapat dituliskan pada persamaan (Abu Hasan, 2014) :

$$M_{wb} = \frac{w_0 - w_d}{w_d} \times 100\% \dots\dots\dots (pers 1)$$

Dengan M_{wb} adalah kadar air basis basah (%), w_0 adalah massa awal bahan (kg), w_b adalah massa akhir bahan (kg), dan M_d adalah kadar air basis kering (%).

2.7 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.

2.7.1 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 kecepatan dan posisi relatif molekul – molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul – molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun 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 diwujudkan 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 (Mc Cabe, 1993):

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots (Pers, 4)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas atau tetapan kesebandingan, maka (Mc Cabe, 1993):

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots (Pers, 5)$$

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)

2.7.2 Perpindahan Panas Konveksi

Selanjutnya adalah perpindahan panas secara konveksi, perpindahan panas ini 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 di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel – partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel fluida ini. Kemudian partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana partikel tersebut akan bercampur dan memindahkan sebagian 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. Berikut ini adalah tabel yang menyajikan data berupa koefisien perpindahan panas secara konveksi.

Tabel 3. Perpindahan Panas Secara Konveksi

No	Proses	H (Watt/m ² 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 (Mc Cabe, 1993) :

$$q = HA(T_w - T_\infty) \dots\dots\dots (\text{pers, 6})$$

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)

2.7.3 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 (Mc Cabe, 1993) :

$$q_{rad} = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (Pers, 7)$$

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.