

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Jalar Ungu

Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas var Ayamurasaki*) biasa disebut *Ipomoea batatas* karena memiliki kulit dan daging umbi yang berwarna ungu kehitaman (ungu pekat). Ubi jalar ungu mengandung pigmen antosianin yang lebih tinggi daripada ubi jalar jenis lain. Menurut Sri Kumala Ningsih (2006), menyatakan bahwa ubi jalar ungu mulai dikenal menyebar ke seluruh dunia terutama negara-negara yang beriklim tropis. Pada abad ke-16 diperkirakan ubi jalar ungu pertama kali di Spanyol melalui Tahiti, Kepulauan Guam, Fiji dan Selandia Baru.



Sumber: *Suprapti, 2003*

Gambar 1. Ubi Jalar Ungu

Dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, tanaman ubi jalar dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: <i>Plantae</i>
<i>Devisi</i>	: <i>Spermatophyta</i>
<i>Subdivisi</i>	: <i>Angiospermae</i>
<i>Kelas</i>	: <i>Dicotyledonae</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Convolvulales</i>
<i>Famili</i>	: <i>Convolvulaceae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Ipomoea</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Ipomoea Batotas</i> (Suprapti, 2003)

Ubi jalar memiliki banyak nama latin dari setiap daerah, bahasa latin dari ubi jalar adalah *Ipomea batatos*. Ubi jalar terbesar di Indonesia adalah Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Papua, dan Sumatera, namun pada saat ini, baru papua yang memanfaatkan ubi jalar ungu sebagai makanan pokok, walaupun belum menyamai padi, jagung dan ubi kayu (singkong). Pigmen warna ungu pada ubi ungu bermanfaat sebagai antioksidan karena dapat menyerap polusi udara, racun, oksidasi dalam tubuh, dan menghambat pengumpulan sel-sel darah. Ubi ungu juga mengandung serat pangan alami yang tinggi, prebiotik. Kandungan lainnya dalam ubi jalar ungu adalah *Betakaroten*. Semakin pekat warna ubi jalar, maka semakin pekat *betakaroten* yang ada di dalam ubi jalar. *Betakaroten* selain sebagai pembentuk vitamin A, juga berperan sebagai pengendalian hormon melatonin. Hormon ini merupakan antioksidan bagi sel dan sistem syaraf, berperan dalam pembentuk hormon endokrin. Kurangnya melatonin akan menyebabkan gangguan tidur dan penurunan daya ingat, dan menurunnya hormon endokrin yang dapat menurunkan kekebalan tubuh (Suprapti, 2003)

Keunggulan ubi ungu adalah adalah zat antioksidan yang membantu tubuh menangkal radikal bebas, selain itu, prebiotik bisa mengusir zat-zat racun penyebab kanker (antikarsinogenik) dan melawan mikroba pengganggu (anti mikrobial). Kabar baik lainnya, prebiotik membantu menyerap mineral serta mengatur keseimbangan kadarnya di dalam tubuh, dengan begitu, akan terhindar dari *osteoporosis*. Kandungan lain yang bermanfaat pada ubi jalar ungu adalah fenol, yaitu senyawa kimia yang memiliki efek anti-penuaan dan komponen antioksidan. Ubi jalar ungu merupakan sumber karbohidrat dan sumber kalori yang cukup tinggi.

Ubi jalar ungu juga merupakan sumber vitamin dan mineral, vitamin yang terkandung dalam ubi jalar antara lain Vitamin A, Vitamin C, *thiamin* (vitamin B1) dan *riboflavin*, sedangkan mineral dalam ubi jalar di antaranya adalah zat besi (Fe), fosfor (P) dan kalsium (Ca). Kandungan lainnya adalah protein, lemak, serat kasar dan abu. Total kandungan antosianin bervariasi pada setiap tanaman dan berkisar antara 20 mg/100 g sampai 600 mg/100 g berat basah. Total

kandungan antosianin ubi jalar ungu adalah 519 mg/100 g berat basah (Suprapti, 2003).

Tabel 1. Komposisi zat Gizi Ubi Jalar per 100 gr

No.	Unsur Gizi	Ubi Ungu	Ubi Putih	Ubi Kuning
1.	Kalori (kal)	123	123	136
2.	Protein (g)	1,8	1,8	1,1
3.	Lemak (g)	0,7	0,7	0,4
4.	Karbohidrat (g)	27,9	27,9	32,3
5.	Kalsium (mg)	30	30	57
6.	Fosfor (mg)	49	49	52
7.	Zat besi (mg)	0,7	0,7	0,7
8.	Natrium (mg)	77	-	5
9.	Kalium (mg)	0,9	-	393
10.	Niacin (mg)	22	-	0,6
11.	Vitamin A (SI)	62	60	900
12.	Vitamin B (mg)	0,7	0,9	900
13.	Vitamin C (mg)	22	22	0,04
14.	Air (g)	62,5	68,5	-
15.	BBD (%)	75	86	-

Sumber: *Direktorat Gizi Departemen Republik Indonesia (1991)*

2.2 Konsep Dasar Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air suatu bahan hingga mencapai kadar air tertentu. 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 lebih rendah dari bahan yang akan dikeringkan (Treybal, 1981).

Definisi lain dari proses pengeringan yaitu pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair lain dari suatu bahan, sehingga mengurangi kandungan zat cair tersebut. Pengeringan biasanya merupakan langkah terakhir dari sederetan operasi dan hasil pengeringan biasanya siap untuk dikemas (McCabe, 2005).

Buckle *et al.*, (1987) menyatakan bahwa kecepatan pengeringan suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: (1) sifat fisik bahan, (2) pengaturan geometris produk sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pemindahan panas, (3) sifat-sifat dari lingkungan alat pengering (suhu,

kelembaban dan kecepatan udara, serta (4) karakteristik alat pengering (efisiensi perpindahan panas).

Menurut Brooker *et al.*, (2004), 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 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 relatif 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.

$$\% \text{ Kadar Air} = \frac{\text{massa sampel basah (gr)} - \text{massa sampel kering (gr)}}{\text{massa sampel basah (gr)}} \times 100\% \quad \dots (1)$$

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.

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.

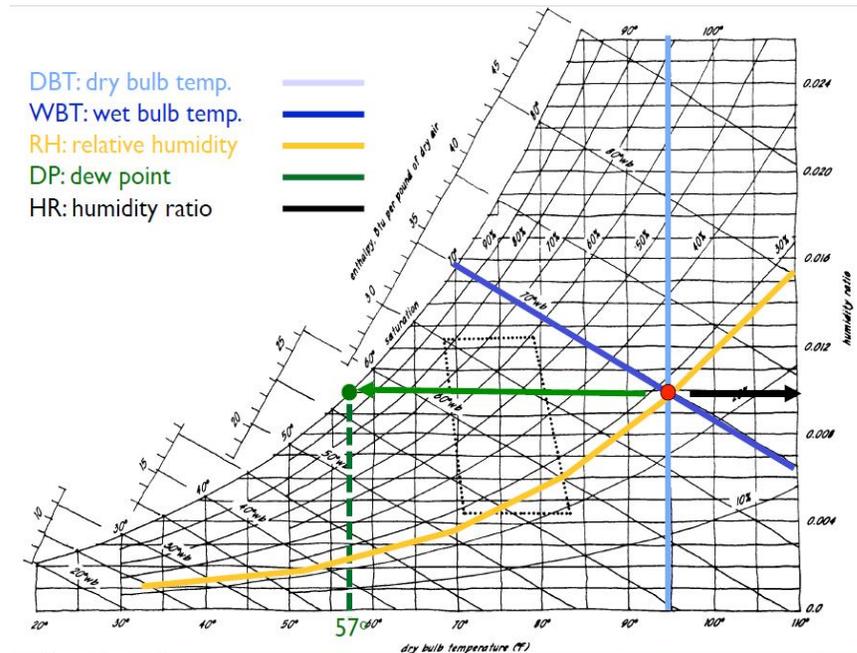
2.3 Mekanisme Pengeringan

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 (Perry, 2008).

Pada saat 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. 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, sampai air dalam 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.



Sumber : Perry's Chemical Handbook, 2008

Gambar 2. Kurva Psikometrik Proses Pengeringan

2.4 Periode Pengeringan

Menurut Perry (2008), 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. 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 selama 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 menguapkan 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 Gambar 3.

Pada periode laju pengeringan konstan, perhitungannya bisa didasarkan atas perpindahan massa sebagai berikut (McCabe, 2005) :

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

dimana, m_v = laju penguapan

A = luas permukaan

h_y = koefisien perpindahan kalor

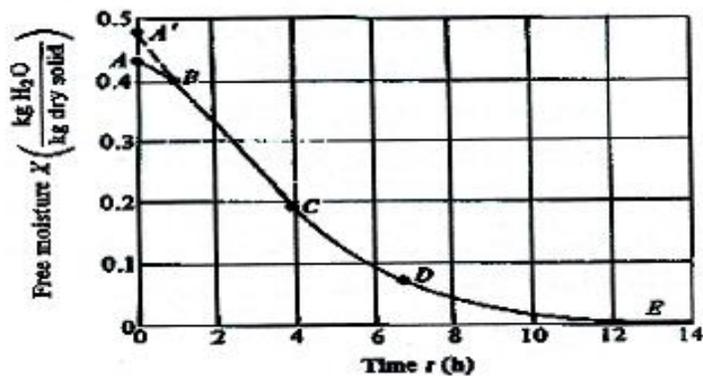
T = Temperatur udara

λ_w = panas laten pada suhu T_w

T_w = Temperatur pada permukaan

Bila udara mengalir sejajar dengan permukaan zat padat, koefisien perpindahan kalor dapat ditaksir dengan persamaan dimensional (McCabe, 2005):

$$h_y = 0,0128 G^{0,8} \quad \dots (2)$$



Sumber : Anton, Modul Pengeringan, 2011.

Gambar 3. Hubungan Kadar Air dan Waktu Pengeringan dengan Menggunakan Udara sebagai Media Penghantar Panas

Bila udara mengalir tegak lurus dengan permukaan zat padat, koefisien perpindahan kalor dapat ditaksir dengan persamaan dimensional (Geonkoplis, 2006):

$$h_y = 0,37 G^{0,37} \quad \dots (3)$$

dimana, G = kecepatan massa, lb/ft² jam

Laju pengeringan konstan, R_C dapat dihitung dengan rumus (McCabe, 2005) :

$$R_C = \frac{mv}{A} = \frac{h_y (T - T_w)}{\lambda_w} \quad \dots(4)$$

sedangkan untuk laju pengeringan menurun dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = - \frac{Wp}{A} \times \frac{dX}{dt} \quad \dots (5)$$

2.5 Mesin Pengering

Mesin pengering merupakan peralatan yang digunakan untuk membantu mempercepat proses pengeringan. Pemilihan mesin pengering dilakukan dari pertimbangan terhadap jenis bahan yang akan dikeringkan, mutu hasil akhir yang dikeringkan dan pertimbangan ekonomi. Pada Tabel 2 ditampilkan tipe-tipe mesin pengering yang umumnya digunakan hingga saat ini.

Tabel 2. Tipe-tipe Mesin Pengering

Kriteria	Tipe
Jenis operasi	<i>Batch</i> . Contoh : <i>try and compartment dryer, through circulation dryer, vacuum tray dryer.</i> <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	Konduksi. Contoh : <i>belt conveyor dryer, rotary dryer, spray dryer, tray dryer, fluidized bed dryer, through dryer.</i> Konveksi. Contoh : <i>drum dryer, vacuum tray dryer, steam jacket rotary dryer.</i> Radiasi. Contoh : <i>microwave.</i>
Tekanan operasi	Vakum. Contoh : <i>vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer, freeze dryer.</i> Tekanan atmosfer. Contoh : <i>rotary dryer, tunnel dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.</i>
Waktu	Singkat (< 1 menit). Contoh : <i>flash dryer, spray dryer, drum dryer.</i> Sedang (1-120 menit). Contoh : <i>belt conveyor dryer, fluidized bed dryer, rotary dryer, tray dryer.</i> Panjang (>120 menit). Contoh : <i>tray dryer (batch).</i>

Sumber : Mujumdar dan Menon, 1995

Dari tabel di atas 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 m^2 mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mencapai 4500 watt hour/ m^2 yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini dan matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam/tahun (ESDM, 2015).

Dibandingkan dengan pengeringan tradisional dimana bahan yang akan dikeringkan berkontak langsung dengan matahari, maka pengeringan dengan menggunakan kolektor surya atau panel surya tentunya lebih menguntungkan, karena pengeringan tradisional tersebut membutuhkan area yang luas, sulit untuk mengontrol kondisi operasi dan memungkinkan tercemarnya bahan yang akan dikeringkan oleh lingkungan sekitar, sedangkan pengering tenaga surya dengan menggunakan kolektor surya mampu menyediakan proses pengeringan dengan luas area yang kecil, waktu pengeringan yang singkat, pengaturan kondisi operasi yang bisa disesuaikan dan menghasilkan produk dengan kualitas yang baik (Imre, 2006).

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. *Modul Energi Konvensional dan Non Konvensional*).

2.6 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang dapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi fototermik dan energi surya fotovoltaik. Energi surya fototermik atau energi surya termal pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian (perkebunan, perikanan, kehutanan, tanaman pangan) dan memanaskan air. Energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi dan lemari pendingin (ESDM, 2010).

2.6.1 Energi surya non-*photovoltaic* (energi surya termal)

Surya termal adalah teknologi yang mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi panas dengan menggunakan alat pengumpul panas atau yang biasa disebut kolektor surya.

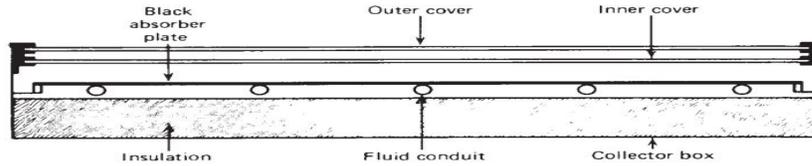
1. Kolektor surya

Kolektor surya merupakan piranti utama dalam sistem surya termal yang berfungsi mengumpulkan dan menyerap radiasi sinar matahari dan mengkonversinya menjadi energi panas, 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 didalam kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan pada berbagai aplikasi yang membutuhkan panas. Kolektor surya yang pada umumnya memiliki komponen-komponen utama (Duffie *et al.*, 1991), yaitu:

- a) *Cover*, berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan.
- b) *Absorber*, berfungsi untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
- c) *Kanal*, berfungsi sebagai saluran transmisi fluida kerja.
- d) *Isolator*, berfungsi meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari absorber menuju lingkungan.

- e) *Frame*, berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor.

Pada Gambar 4 diperlihatkan salah satu jenis kolektor yang umum digunakan yaitu kolektor surya plat datar



Sumber : Duffie, A. John. 2013

Gambar 4. Kolektor Surya Plat Datar

Untuk membuat suatu kolektor surya buatan dalam hal ini adalah kolektor surya jenis plat datar, maka perlu dilakukan berbagai pertimbangan seperti bahan pembuat kolektor. Bahan pembuat kolektor pada dasarnya merupakan bahan yang mempunyai kemampuan menyerap kalor, untuk itu perlu dilakukan pertimbangan dalam pemilihan bahan yang digunakan untuk membuat kolektor surya termal. Salah satu pertimbangan dalam pemilihan bahan adalah dengan melihat nilai konduktifitas bahan tersebut. Pada Tabel 3 diperlihatkan konduktivitas dari berbagai bahan yang dapat digunakan sebagai penyusun kolektor surya termal.

Tabel 3. 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
Wol kaca	0,038

Sumber : Ari Suryanto, 2012

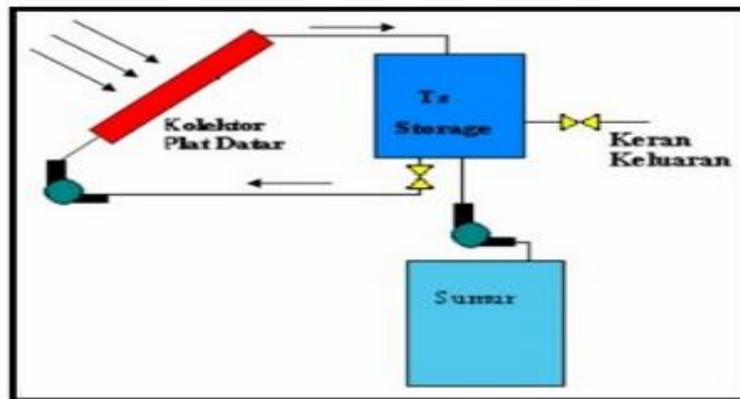
Bahan logam yang mempunyai kemampuan menyerap kalor adalah logam alumunium berwarna hitam, dalam hal ini logam yang dipakai adalah plat alumunium yang dicat hitam dan di bawahnya terdapat bahan penyimpan kalor, seperti glasswool ataupun pasir. Nilai konduktivitas bahan berpengaruh terhadap cepat lambatnya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

2. Tipe kolektor surya

Kolektor surya dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran tergantung pada aplikasi yang dibutuhkan.

a) Kolektor surya plat datar

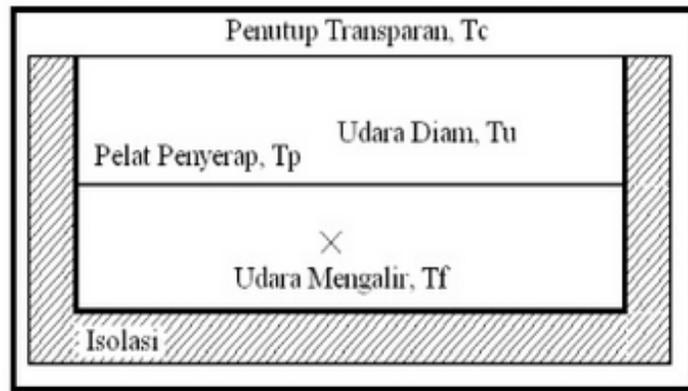
Kolektor surya plat datar merupakan jenis kolektor yang saat ini sudah banyak di pasaran. Kolektor ini umumnya digunakan untuk memanaskan air atau udara dengan suhu operasi yang cukup rendah yaitu dibawah $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ciri khas kolektor pelat datar adalah berupa kotak logam/baja terisolasi yang memiliki pelat penyerap (*absorber*) berwarna hitam dan ditutupi oleh lapisan kaca plastik transparan dan kemudian mentransfernya ke fluida cair atau udara. Keuntungan kolektor surya jenis ini adalah tidak membutuhkan biaya yang itnggi dan dapat menerima radiasi surya langsung maupun radiasi sebaran.



Sumber: *Duffie, Jhon A. Dan Beckman, William A, 1991*

Gambar 5. Bentuk umum pemanas air dengan kolektor plat datar

Cara kerjanya kolektor plat datar untuk pemanas air adalah ketika pagi hari air dipompa dari sumur ke tangki penyimpan hingga penuh, kemudian saat matahari bersinar, pompa dibawah kolektor dihidupkan untuk menggerakkan fluida kerja. Fluida kerja yang bersirkulasi akan mentrasfer kalor dari kolektor ke tangki penyimpanan air, setelah sore hari maka air hangat dari tangki penyimpanan dapat digunakan untuk mandi atau keperluan yang lain (Gati dkk, 2006).



Sumber: Gati dkk, 2006.

Gambar 6. Kolektor surya plat datar untuk pemanas udara

Dari gambar 6, prinsip kerja kolektor surya pemanas udara tenaga matahari yang menimpa kolektor pertama akan menembus penutup transparan kemudian menimpa pelat. Sebagian radiasi akan dipantulkan kembali menuju penutup transparan dan sebagian lagi akan diserap oleh pelat penyerap. Radiasi yang dipantulkan ke penutup beberapa akan dipantulkan kembali ke pelat penyerap, akan diubah menjadi energi panas dan ditransmisikan ke fluida kerja yang mengalir ke bawah pelat penyerap (Sucipta, 2010).

b). Kolektor tabung hampa

(Intisolar.com, 2010) Penemuan paling kontemporer di abad 21 adalah pemanas air dengan kolektor penyerap panas sistem tabung vakum yang sangat sensitif (cepat) menyerap panas dan sangat efisien menyimpan panas. Tabung vakum dalam dilapisi dengan apisan penyerap terbaik yang menyerap energi surya dengan sempurna dan menahan pembuangan panas,

antara dua lapisan tersebut terbentuk suatu ruang vakum (hampa udara), yang dapat meminimalisasi pembuangan panas. Tabung-tabung ini bekerja sangat baik dalam segala kondisi cuaca bahkan pada saat mendung dan temperatur rendah (bersalju). Tabung ini terbuat dari 100% kaca *borosilicate* (*pyrex*). Penyerapan panas pada sistem tabung vakum diterima secara radiasi, sehingga persentase kehilangan panas sangat kecil.

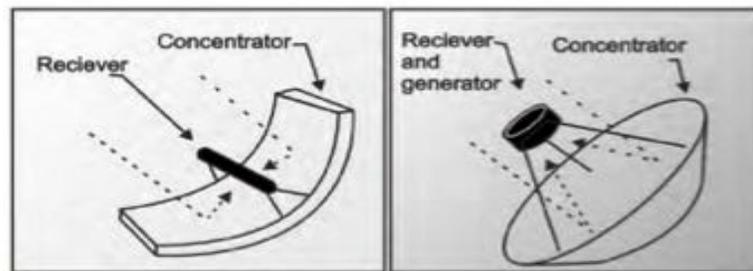


Sumber: *Intisolar.com, 2010*

Gambar 7. Kolektor surya tabung hampa

c). Kolektor parabola konsentrator

Jenis ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperatur tinggi $>100^{\circ}\text{C}$. Kolektor surya jenis ini mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu *receiver* sehingga dapat meningkatkan kualitas energi panas yang diserap oleh absorber. Komponen konsentrator harus terbuat dari material dengan trasmisivitas tinggi.



Sumber: *Intisolar.com, 2010*

Gambar 8. Kolektor parabola/konsentrator

2.6.2 Pentingnya Manfaat Energi Surya Termal untuk pemasak dan pengering hasil pertanian

1. Untuk pemasak

Kompur surya menguntungkan bagi keluarga yang setiap hari memasak dengan menggunakan kompor, dengan menggunakan kompor surya ini maka kebutuhan akan energi fosil dan energi listrik untuk memasak dapat dikurangi.

2. Untuk pengering hasil pertanian

Kebanyakan digunakan petani di desa-desa daerah tropis dengan menjemur hasil pertanian dibawah sinar matahari. Cara ini sangat menguntungkan bagi para petani yang tidak perlu mengeluarkan biaya untuk mengeringkan hasil pertanian mereka. Keuntungan petani di negara-negara empat musim yang harus mengeluarkan biaya untuk mengeringkan hasil panenya dengan menggunakan oven yang menggunakan bahan bakar fosil maupun menggunakan listrik (Harismansur, 2012).

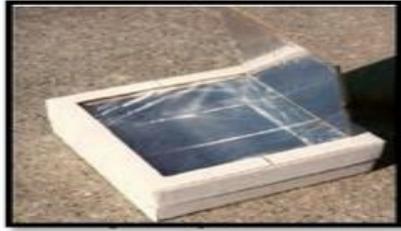
2.6.3 Mekanisme Kerja Alat Pemasak dan Pengering Hasil Pertanian dengan Energi Surya Termal.

1. Kompur Surya

Ketergantungan masyarakat terhadap kebutuhan bahan bakar seperti minyak tanah, gas dan kayu bakar untuk memasak dapat diatasi dengan memanfaatkan kompor oven surya. Kompur surya adalah salah satu bentuk kolektor surya yang digunakan sebagai perangkat memasak. Secara umum kompor surya dibedakan atas beberapa tipe, yaitu:

a) Kompur surya tipe kotak

Kompur surya tipe ini berbentuk kotak kedap udara dengan interior berwarna gelap dan penutup bagian atas yang terbuat dari kaca/cermin untuk menjebak panas matahari di dalam kotak. Prinsip kerjanya sama dengan kolektor surya pelat datar. Kompur tipe ini disebut juga oven surya karena bentuknya menyerupa oven.

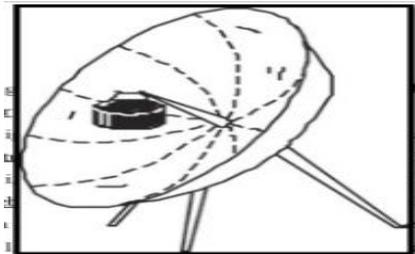


Sumber: *Mhharismansur, 2012*

Gambar 9. Kolektor surya tipe kompor

Pengoperasian oven surya sangat simpel dan mudah, tetapi waktu yang diperlukan untuk memasak nasi sekitar 3-5 jam, meskipun suhu di dalam oven surya tidak sepanas oven konvensional, hanya bisa mencapai 150 °C tetapi masih dapat mematangkan makanan dan minuman lebih lama. Makanan yang mengandung air lebih dari 100°C. Kompor juga dapat digunakan untuk mengeringkan makanan dan minuman serta mempasterisasikan makanan dan minuman sehingga dapat mencapai temperatur yang tinggi setiap hari tanpa khawatir menjadi hangus. Kelebihan dari menggunakan oven adalah menghasilkan asap yang rendah sehingga pemakaian kompornya tidak mengganggu kesehatan orang yang sedang memasak, apalagi bila terjadi ledakan gas dan sebagainya, bisa memasak beberapa makanan sekaligus, ringan dan *portable*, mudah pengoperasian dan perawatannya, bisa menyimpan makanan hangat hingga malam, mudah dibuat dan bahan untuk membuatnya terjangkau. Kelemahan oven surya, proses memasak dibutuhkan 2-3 kali lebih lama daripada kompor minyak lamanya tergantung pada awan dan penyinaran matahari, tidak bisa digunakan untuk menggoreng dan memanggang.

b) Kompor surya tipe parabola



Sumber: *Marwani, 2011*

Gambar 10. Kmpor surya tipe parabola

Prinsip kerja kompor parabola ini mirip dengan kolektor parabola/konsentrator. Kompor parabola terdiri atas sekumpulan cermin pemantul yang disusun berbentuk parabola dan dilengkapi dengan tempat panci di titik fokus parabola yang berfungsi sebagai *receiver*. Cermin parabola akan memfokuskan sinar radiasi surya ke arah panci untuk memasak makanan yang ada didalam panci. Kompor jenis ini biasanya digunakan untuk memasak dalam skala besar. Kolektor parabola berukuran 1,25 m² dapat memasak 1 liter air selama lebih kurang 15 menit. Energi yang dihasilkan setara dengan daya 350 W pada hari cerah. Kelebihan kompor surya parabola antara lain proses memasak cepat, bisa memasak hampir semua jenis makanan dan bisa untuk memanggang.

c) Efisiensi Kompor Surya

Energi panas yang digunakan untuk menaikkan temperatur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Marwani, 2011):

$$Q_u = m \times C_p \times \Delta T \quad \dots (5)$$

dimana:

Q_u = besar energi panas yang dimanfaatkan oleh kolektor surya (J)

m = massa zat yang masuk ke kolektor (kg/s)

C_p = kalor jenis zat (J.kg/°C)

ΔT = perubahan temperatur (°C)

Energi radiasi matahari yang diterima kolektor dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q_{\text{radiasi}} = I \times A \text{ kolektor} \quad \dots (6)$$

dimana :

I = intensitas radiasi matahari (W/C)

A = luas permukaan kolektor (°C)

Dari persamaan diatas maka efisiensi kompor surya tipe kotak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{Q_u}{Q_{\text{radiasi}}} \times 100\% \quad \dots (7)$$

dimana:

Q_u = besar energi panas yang dimanfaatkan oleh kolektor surya (J)

Qradiasi= Energi radiasi matahari yang diterima kolektor (J)

n = efisiensi kompor surya (%)

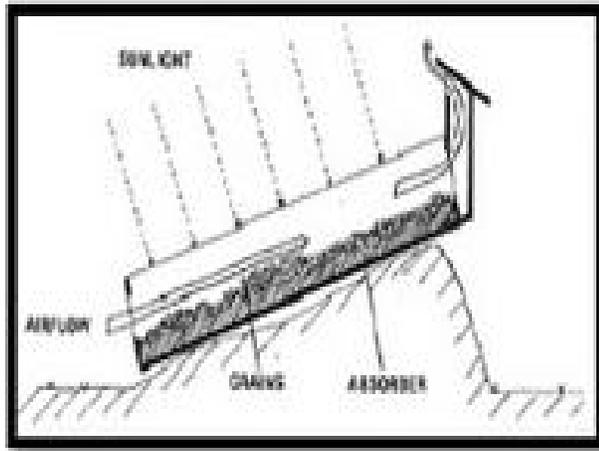
2. Pengering Tenaga Surya

Energi surya dapat dimanfaatkan untuk mengeringkan hasil-hasil pertanian pada dasarnya, prinsip kerja pengering tenaga surya terbagi menjadi dua yaitu:

1). Pengeringan secara langsung

Pengeringan dengan cara langsung dimana produk yang akan dikeringkan langsung menerima paparan sinar matahari. Contoh teknologi ini antara lain:

- a. Rak terbuka (penjemuran tradisional)
- b. Rak tertutup (efek rumah kaca)
- c. Boks yang diisolasi dan dilengkapi dengan bahan penyerap (menggunakan prinsip kolektor surya plat datar)



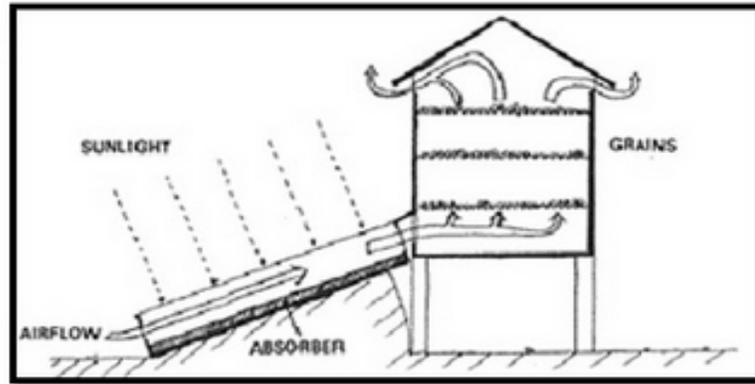
Sumber: *Marwani, 2011*

Gambar 11. Sistem pengering surya secara langsung

2) Pengeringan secara tidak langsung

Pada pengeringan secara tidak langsung, udara dipanaskan terpisah kemudian baru dialirkan ke produk yang akan dikeringkan, jadi produk tidak langsung terpapar sinar matahari. Rancangan konstruksi untuk sistem pengering ini dapat bervariasi, diantaranya dengan menambahkan

komponen kipas blower dan cerobong guna meningkatkan sirkulasi udara dan efisiensi.



Sumber: Marwani, 2011

Gambar 12. Sistem pengering surya secara tidak langsung

1) Efisiensi pengering surya

Efisiensi pengering pada hasil pertanian (diambil dari hasil penelitian oleh Ismail Thamrin dan Anton Kharisandi) dinyatakan sebagai perbandingan kalor yang digunakan untuk penguapan kandungan air dari ubi kayu terhadap energi radiasi surya yang tiba di alat pengering (Thamrin dkk, 2011). Kalor yang digunakan untuk pengeringan kandungan air dari ubi kayu dinyatakan:

$$Q_c = (m_b - m_k) \times h_{fg} \quad \dots(8)$$

dimana:

m_b = massa ubi kayu yang akan dikeringkan (kg)

m_k = massa ubi kayu yang sudah dikeringkan (kg)

h_{fg} = entalpi penguapan pada temperatur rata-rata (KJ/Kg)

Energi radiasi yang tiba di alat pengering dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_{rs} = A \times I_r \times t \quad \dots(9)$$

dimana:

A = Luas pelat kolektor (m^2)

I_r = intensitas radiasi matahari (W/m^2)

t = selisih antara waktu akhir pengeringan dengan awal pengeringan (s).

Persamaan efisiensi pengeringan dapat ditulis sebagai berikut:

$$np = \frac{Q_c}{Q_{rs}} \times 100\% \quad \dots(10)$$

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Thamrin dkk, 2011) adalah sebagai berikut:

- a) Alat pengering ini dalam segi pengankapan sinar matahari dapat dikatakan cukup baik.
- b) Efiseinsi pengeringan tertinggi terjadi pada rak I yaitu sebesar 17,33% dan yang terendah sebesar 9,46% yang terjadi pada rak V, dengan efiseiensi keseluruhan alat pengering ini yaitu sebesar 61,47%
- c) Laju pengeringan akan lebih cepat pada terjai pada rak I yaitu sebesar 1,89 gr/min dibandingkan dengan rak lainnya dan yang terendah pada rak V sebesar 0,73gr/min.

2.6.4 Kelebihan dan Kekurangan Energi Surya Termal dibandingkan dengan Energi Sel Surya (*Photovoltaic*)

1. Keunggulan

- a) Aplikasi teknologi energi surya termal mudah ditemukan di pasaran dibandingkan energi sel surya yang masih impor.
- b) Harganya lebih ekonomis dibandingkan dengan energi sel surya.
- c) Bisa dibuat sederhana oleh masyarakat contohnya kompor surya
- d) Bahan dan material yang dibutuhkan cukup murah dan mudah ditemukan.

2. Kekurangan

- a) Teknologi energi surya termal untuk memasak dan mengeringkan hasil pertanian masih sangat terbatas, akan tetapi, sebagai pemanas air, energi surya termal sudah mencapai tahap komersial. Teknologi surya termal masih belum berkembang karena sosialisai ke masyarakat luas masih sangat rendah.
- b) Belum terdapat teknologi yang pernah digunakan untuk menyimpan pada alat kompor surya dan pengering hasil pertanian sehingga tidak bisa digunakan pada malam hari.

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 (McCabe, 2005).

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 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, 2005):

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \dots (11)$$

dengan :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

- k = Konduktivitas termal (W/mK)
 A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m^2)
 ΔT = Perbedaan temperatur diantara dua permukaan (K)
 Δx = Tebal permukaan (m)

2.7.2 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. Tabel 4 menyajikan data berupa koefisien perpindahan panas secara konveksi.

Tabel 4. 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*

Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut (McCabe, 2005) :

$$q = HA(T_w - T_\infty) \quad \dots (12)$$

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

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 (McCabe, 2005) :

$$q_{rad} = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots (13)$$

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.