

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Peningkatan populasi dan pertumbuhan ekonomi memicu bertambahnya permintaan terhadap energi dunia. Dengan persediaan energi konvensional saat ini berarti terjadi penambahan pemakaian persediaan energi fosil dan meningkatnya emisi dari gas yang dapat membahayakan lingkungan. Jika hal ini terjadi terus menerus maka lingkungan dan masa depan kita akan terancam. Karena kita tahu bahwa sumber minyak dunia akan habis dan kita tidak mempunyai cara untuk mengisi ulang lagi sumber minyak tersebut. Dengan demikian perlu menemukan alternatif lain guna mendukung atau mempertahankan kebutuhan saat ini dan gaya hidup yang menggunakan energi yang dapat diperbaharui.

Dimuka bumi ini kita mengenal dua jenis sumber energi, yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui dan yang tidak dapat diperbaharui. Penggunaan energi secara nasional cenderung pada sumber energi berupa batubara, kayu bakar, geothermal, minyak bumi dan gas alam. Yang menjadi masalah yaitu, persediaan sumber energi tersebut tidak dapat diperbaharui. Jika dibiarkan dapat mengancam kelangsungan hidup manusia dimuka bumi ini.

Mengatasi masalah tersebut maka diperlukan usaha – usaha untuk mencari sumber energi alternatif seperti energi air, tenaga surya, tenaga angin, energi matahari dan sel bahan bakar seperti penggunaan biomassa dan lain – lain.

Keunggulan dari energi matahari ini dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya adalah tidak bersifat polutif, berlimpah, bersifat terbarukan, tidak pernah habis dan dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung dan merupakan energi sepanjang masa. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan alat yang mampu menerima dan mengkonversikannya menjadi energi listrik. Salah satu alat tersebut adalah sel surya atau Potovoltaik. Ada beberapa sumber yang dapat diperbarui yang tersedia dimana dapat digunakan dalam skala besar untuk menghasilkan listrik di daerah terpencil dimana jaringan listrik tidak tersedia. Tipe yang termasuk dalam hal ini antara lain adalah sinar, angin, panas bumi, air, gelombang laut dan lain lain. Kombinasi dari dua atau lebih dari sumber ini dapat digunakan dan biasanya dikenal dengan Hybrid system.

Kemajuan teknologi menjadi sangat umum sekarang ini. Seperti tenaga sel surya adalah alat yang mengubah panas matahari langsung menjadi energi listrik dan keuntungannya adalah radiasi matahari dapat diperoleh setiap hari secara bebas. Penggunaan sel surya sangatlah luas, sebagai contoh penggunaan yang paling umum di kalkulator dan menggantikan atau membantu fungsi baterai. Selama tersedianya radiasi matahari, kalkulator dapat berfungsi. Sel surya yang lebih besar juga digunakan untuk menyediakan tenaga untuk lampu lalu lintas, telepon, lampu jalan, rumah, kapal, mobil elektrik tenaga surya yang dapat beroperasi tanpa minyak, sebagai pengering komoditi, pengering makanan dan lain-lain. Permasalahan yang ada sekarang ini adalah bagaimana arus yang dihasilkan sel surya bisa menggerakkan kipas angin.yang terpasang masih bersifat

statis. Oleh karena itu, perlu dibuat suatu sistem yang dapat menyesuaikan pengeluaran arus yang dihasilkan sel surya ke kipas angin, dan bisa menggerakkan secara konstan.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Secara umum terdapat beberapa faktor yang menentukan kinerja kolektor surya, di antaranya posisi matahari, bentuk kolektor surya, *boosted mirror* dan kondisi cuaca. Posisi matahari yang terletak  $90^0$  terhadap kolektor surya akan lebih efektif bila dibandingkan dengan posisi  $30^0$  terhadap kolektor surya. (Cengel, Y.A. (2006). *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach*).

Radiasi energi surya cukup besar, namun kehilangan panas ke lingkungan juga besar. Untuk memanfaatkan energi surya melalui pembuatan kolektor surya diharapkan dapat menghemat waktu para petani untuk mengeringkan asam gelugur.

## **1.3. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bentuk kolektor surya yang digunakan adalah plat datar dengan ukuran 1x1,5 m.
2. Lokasi penelitian dilakukan di Lab inovasi dan pengembangan Universitas HKBP Nommensen Medan.
3. Bahan yang akan dikeringkan adalah Asam Gelugur (*Garcinia Atroviridis*) yang diambil dari daerah Barus Sumatera Utara.

4. Kotak pengering ukuran 1x1x15 m.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian adalah :

1. Untuk mendapatkan karakteristik pengeringan terhadap asam gelugur (*Garcinia Atrovidiris*) yaitu; Suhu dan kecepatan aliran udara pengering.
2. Untuk menurunkan kadar air asam gelugur yang dikeringkan oleh kolektor surya jenis plat datar dengan ukuran 1x1,5 m dan kotak pengering ukuran 1x1x1,5 m.
3. Untuk mendapatkan kecepatan kipas angin yang dialirkan ke dalam kotak kotak pengering.

#### **1.5. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Survey lapangan
2. Menentukan lokasi penelitian
3. Studi literatur, yakni berupa studi kepustakaan, kajian dari buku – buku, jurnal terkait dan artikel terkait.
4. Diskusi, yakni berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing, dosen pembanding yang disediakan oleh Program Studi Teknik Mesin UHN mengenai kekurangan di dalam tulisan tugas akhir ini.

## **1.6. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengurangi penggunaan energi listrik dari bahan bakar fosil dan pada akhirnya mengurangi konsumsi bahan bakar minyak.
2. Memberi sumbangan yang berarti bagi perkembangan teknologi energi terbarukan, khususnya photovoltaik.
3. Ikut berpartisipasi dalam mengurangi efek pemanasan global dengan menggunakan sumber Energi yang bersih dan gratis.
4. Mendapatkan kekeringan asam gelugur pada kadar air yang dikeringkan oleh panas matahari melalui kolektor surya dengan bantuan kipas untuk mengalirkan panas dengan penggerak photovoltaik.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1.Pengeringan**

Pengeringan adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Secara umum keuntungan dari metode ini adalah bahan menjadi awet dengan volume bahan menjadi lebih kecil sehingga mempermudah dan menghemat ruang pengangkutan dan pengepakan, berat bahan menjadi berkurang sehingga mempermudah pengangkutan. Dengan demikian diharapkan biaya produksi menjadi lebih murah (Winarno, dkk., 1984). Pengeringan merupakan proses mengurangi kadar air bahan sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti. Semakin banyak kadar air dalam suatu bahan, maka semakin cepat pembusukannya oleh mikroorganisme. Dengan demikian bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lebih lama dan kandungan nutrisinya masih ada (Erlina dan Tazi, 2009)

Tujuan dari pengeringan adalah mengurangi kadar air bahan sampai batas dimana mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan akan terhenti, dengan demikian bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lama (Riansyah, dkk., 2013). Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kandungan air bahan, sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikroba maupun reaksi yang tidak diinginkan. Pengeringan yang

biasa dilakukan masyarakat adalah dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari. Cara ini kurang efektif karena sangat bergantung pada kondisi cuaca, membutuhkan waktu yang lama, dan produk yang dihasilkan kurang higienis karena terkontaminasi dengan debu atau kontaminan lain yang ada di udara. Sehingga perlu dilakukan teknik pengeringan yang lebih efektif yaitu dengan alat pengering (Lisa, dkk., 2015).

## **2.2. Metode Pengeringan**

Terdapat berbagai metode dalam pengeringan yaitu antara lain pengeringan dengan sinar matahari langsung, pengeringan dengan oven, dan kering angin. Pengeringan dengan matahari langsung merupakan proses pengeringan yang paling ekonomis dan paling mudah dilakukan, akan tetapi dari segi kualitas alat pengering buatan (oven) akan memberikan produk yang lebih baik. Sinar ultra violet dari matahari juga menimbulkan kerusakan pada kandungan kimia bahan yang dikeringkan. Pengeringan dengan oven dianggap lebih menguntungkan karena akan terjadi pengurangan kadar air dalam jumlah besar dalam waktu yang singkat. Penggunaan suhu yang terlampau tinggi dapat meningkatkan biaya produksi selain itu terjadi perubahan biokimia sehingga mengurangi kualitas produk yang dihasilkan, sedangkan metode kering angin dianggap murah akan tetapi kurang efisien waktu dalam pengeringan (Winangsih, dkk., 2013).

Metode pengeringan sangat mempengaruhi hasil akhir dari kualitas asam potong yang dihasilkan. Metode pengeringan yang banyak dikenal oleh masyarakat saat ini ada dua yaitu pengeringan dengan bantuan sinar matahari dan

pengeringan buatan dengan menggunakan oven. Pengeringan menggunakan sinar matahari biasanya dilakukan dalam skala rumah tangga, sedangkan metode oven dilakukan pada skala industri. Metode pengeringan matahari sangat ekonomis namun memiliki berbagai kelemahan seperti memerlukan waktu yang lama, tergantung kondisi cuaca, dan sanitasi kurang terjaga, sehingga kemungkinan mutu produk akhir kurang baik, sedangkan metode pengeringan oven suhu dapat diatur tetapi dapat mengakibatkan terjadinya case hardening (Airlangga, dkk., 2016).

Pengeringan adalah salah satu aspek penting dalam pengolahan makanan dan merupakan teknik umum dalam pengawetan makanan untuk menghasilkan bentuk baru produk. Metode pengeringan yang sering dipakai pada industri makanan secara konvensional adalah pengeringan metode oven menggunakan udara panas, yang bekerja dengan cara menguapkan air dari bahan. Penggunaan oven untuk mengeringkan produk pangan membutuhkan waktu lama dan dapat menyebabkan penurunan kualitas pada produk kering, untuk mengatasinya penggunaan oven microwave (OM) merupakan salah satu alternatif yang bisa digunakan untuk mengeringkan produk pangan (Trisnawati, dkk., 2014).

Pengeringan merupakan salah satu cara dalam teknologi pangan yang dilakukan untuk pengawetan. Pengeringan dapat menghasilkan satu produk atau lebih produk, tergantung tujuan produk yang diinginkan, misalnya bentuk fisik (bubuk, pipih atau butiran), warna, rasa, dan strukturnya. Salah satu tujuan pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air bahan sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan

pembusukan terhambat atau terhenti. Bahan yang dikeringkan biasanya mempunyai waktu simpan yang lebih lama. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada 2 faktor, yaitu faktor yang berhubungan dengan udara pengering (suhu, kelembaban udara) dan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan (ukuran bahan, kadar air awal) (Rukmana, 2005).

### **2.3 Mekanisme Pengeringan**

Proses pengeringan akan mengubah kandungan air, aktivitas air, dan komposisi kimia yang pada akhirnya akan berpengaruh pada keempukan dan daya ikat air. Pengeringan dengan suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya case hardening, sedangkan pengeringan pada suhu yang terlalu rendah masih memberikan kesempatan untuk tumbuhnya mikroorganisme, sehingga perlu diketahui metode pengeringan terbaik (Airlangga, dkk., 2016). Pengaruh terhadap panas yang tidak terlalu tinggi, tidak mengubah sifat fisik, sifat zat gizi dan sensorik bahan pangan. Kombinasi waktu dan suhu tertentu dalam pengolahan pangan sangat berpengaruh terhadap kualitas bahan pangan yang diinginkan (Fellows, 2009). Pada proses pengeringan terjadi penurunan aktivitas air dalam bahan sehingga mikroorganisme penyebab kerusakan bahan tidak dapat hidup.

### **2.4 Pengaruh Suhu pada Proses Pengeringan**

Faktor yang mempengaruhi pengeringan adalah suhu, kecepatan aliran udara pengeringan, dan kelembaban udara. Suhu udara pada proses pengeringan akan berpengaruh terhadap waktu pengeringan, sehingga proses pengeringan yang menggunakan suhu tinggi dalam waktu singkat lebih kecil kemungkinannya

merusak bahan dari pada proses pengeringan dengan suhu rendah dengan waktu yang lama (Susti, 2011). Suhu pengeringan bahan pangan berpengaruh terhadap komponen yang terkandung pada bahan pangan. Semakin tinggi suhu pengeringan menyebabkan terjadinya penguapan air yang lebih cepat sehingga kadar air menurun. Lama pengeringan akan berpengaruh terhadap air yang diuapkan. Jumlah air yang menguap pada waktu pengeringan yang singkat lebih rendah, dari pada jumlah air yang menguap pada waktu pengeringan yang lebih lama (Asgar, dkk., 2010). Menurut Parulian Siagian pengeringan asam gelugur (*Garcinia Atrovidiris*) dengan radiasi matahari rata – rata 300- 590 W/m<sup>2</sup> dengan temperatur lingkungan 28,8°C dan temperatur dalam ruang pengering 38°C serta total kandungan asam sitrat nya 1,2787% dengan ketebalan 3mm.

## **2.5. Alat Pengering Surya**

Alat pengering surya dapat mempersingkat atau mempercepat lama pengeringan, kebersihan dan mutu produk yang dikeringkan lebih terjamin. Secara ekonomis, alat pengering surya ini sederhana dan pembuatan dan biaya yang dibutuhkan relatif murah, mudah dalam penggunaan dan mudah untuk dipindahkan, serta pakai yang cukup lama. Selain itu konsep pengering energi surya tetap digunakan mengingat potensi energi surya di Indonesia yang relatif baik. Radiasi surya harian rata- rata Indonesia adalah 4,825 kWh/ m<sup>2</sup> ( Anonim,1998)

Kelebihan alat pengering surya dibandingkan dengan dibandingkan dengan pengering sederhana adalah sebagai berikut :

1. Tidak tergantung pada cuaca, walaupun dengan sinar matahari yang kurang terik, alat ini tetap menjalankan fungsinya dengan baik karena suhu yang ada di dalam lebih tinggi dari suhu luar.
2. Produk yang dikeringkan terlindung dari curah hujan dan serangga.

Tabel 2.1. Perbandingan alat pengering surya dengan pengeringan sederhana

No	Alat Pengering Surya	Pengeringan Sederhana
1	Suhu ruangan yang panas sehingga bahan lebih cepat kering	Sangat tergantung kepada intensitas cahaya matahari
2	Ruangan yang tertutup sehingga produk yang dihasilkan relative lebih bersih	Dilakukan ditempat terbuka sehingga produk yang dihasilkan terkesan kotor ( berdebu)
3	Apabila terjadi hujan, produk yang dikeringkan tidak perlu diangkat atau dipindahkan	Apabila terjadi hujan produk yang dipindahkan harus segera dipindahkan atau di angkat
4	Ruangan yang tertutup sehingga produk terjamin mutunya karena terhindar dari jangkauan serangga	Bahan mudah tercemar karena serangga sehingga mutu kurangterjamin

*Sumber:* BPTP Kalimantan Timur, 2001

## 2.6. Jenis Pengering Surya

Berdasarkan cara pemanfaatan energi surya, maka dikenal dua macam alat pengering energi surya :

1. Tipe radiasi langsung bekerja dengan cara meneruskan radiasi langsung menuju bahan
2. Tipe tidak langsung yaitu panas yang didapat dari dinding penyekat, Untuk mempertahankan panas digunakan sekat transparan (kaca yang dibuat lubang).

Berdasarkan prinsip kerja alat pengering energy surya terdiri atas dua jenis yaitu :

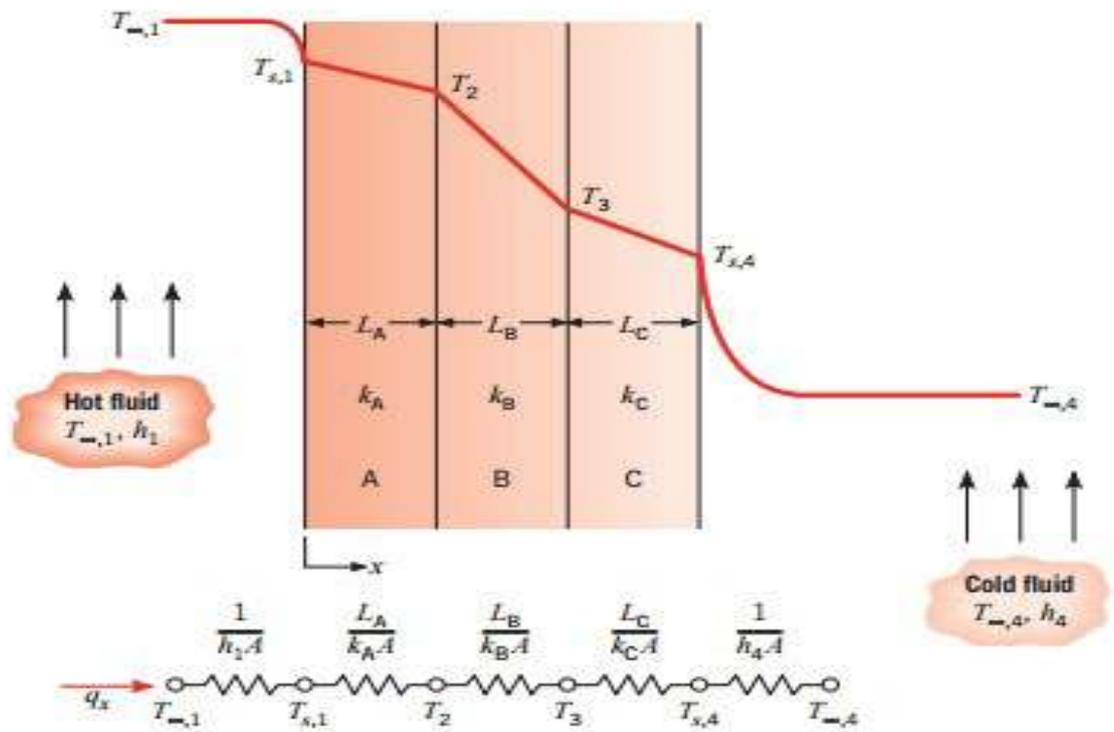
1. Sistem pasif yaitu pengeringan sistem pasif memanfaatkan radiasi surya dan kecepatan angin tanpa sumber energi selain energi surya.
2. Sistem hybrid yaitu memanfaatkan energi surya dengan tambahan energi lain ( listrik, bahan bakar dan energi lain lain).

## **2.7. Teori Perpindahan Panas**

Konversi energi yang terjadi pada alat pemanas air tenaga surya pada dasarnya adalah perpindahan panas. Panas adalah suatu bentuk energi yang dapat ditransfer dari satu sistem ke sistem lain sebagai fungsi dari perbedaan suhu. Jumlah energi yang ditransfer ini disebut sebagai perpindahan panas (Cengel, 2002). Energi surya dapat diterima oleh plat penyerap karena perpindahan panas secara radiasi dari matahari. Energi yang diterima oleh air disebabkan karena perpindahan panas secara konduksi dan konveksi.

### **4.2.1. Perpindahan Panas Konduksi**

Konduksi adalah transfer energi dari partikel yang memiliki energi lebih besar ke substansi dengan energi yang lebih rendah dan sebagai hasilnya terjadi interaksi antara partikel (Cengel, 2002). Gambar 2.3 menunjukkan skema perpindahan panas secara konduksi.



Gambar 2.1 Skema Perpindahan Panas Secara Konduksi

(Incropera,2011)

Rumus Umum :

$$q = k.A (\Delta T)$$

$$q = \frac{\dots}{\dots}$$

$$\frac{\dots}{\dots} \dots \dots \dots 2.1$$

Keterangan :

$q$  = Laju perpindahan panas (W)

- A = Luas penampang dimana panas mengalir ( $m^2$ )
- $\Delta T$  = Perubahan temperature (K)
- k = Konduktivitas thermal bahan (W/mK)
- L = tebal masing-masing plat A,B,C,...n. (m)
- h = koefisien konveksi masing-masing fluida 1,2,...n (W/mK)

Konduktivitas termal bahan berbeda-beda tergantung jenis bahan tersebut. Jika konduktivitas semakin tinggi, maka benda tersebut dapat menghantarkan panas dengan baik, begitu juga sebaliknya. Pada kolektor surya pelat rata, bahan dengan konduktivitas termal yang baik digunakan sebagai pelat penyerap dan pipa sirkulasi, sedangkan bahan dengan konduktivitas yang buruk digunakan sebagai isolator untuk mengurangi kerugian panas yang terjadi. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa jenis bahan dengan konduktivitasnya.

Tabel 2.2. Konduktivitas Termal Beberapa Bahan

No	Bahan	Konduktivitas termal (W/m.K)
1	Tembaga	385,0
2	Aluminium	211,0
3	Timah putih	66,0
4	Baja, 1% karat	45,0
5	Baja tahan karat	16,0
6	Kaca	1,05
7	ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	0,27
8	Polikarbonat	0,2
9	Karet alam 30 durometer	0,14
10	Karet alam 70 durometer	0,17
11	Isolasi papan serat kaca	0,043

Sumber: Jansen, T, 1995

#### 4.2.2. Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah bentuk dari transfer energi diantara permukaan padat dan fluida yang bergerak dan terkandung efek kombinasi konduksi dan fluida bergerak.

Rumus Umum :

$$q = h.A.\Delta T \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

$q$  = Laju perpindahan panas konveksi (W)

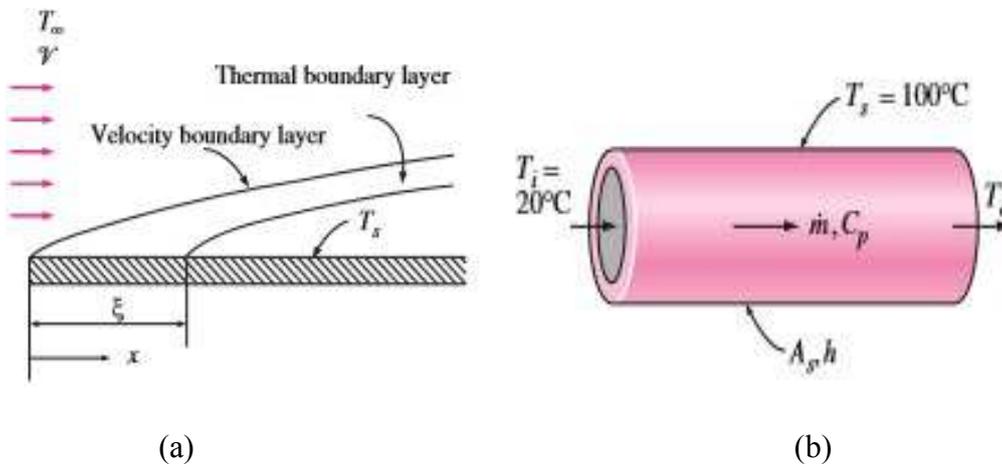
$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup> K)

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

$\Delta T$  = Perubahan atau perbedaan temperatur (°C)

##### 1. Konveksi Paksa

Konveksi paksa adalah perpindahan panas pada fluida yang dialirkan secara paksa. Konveksi terdiri atas dua jenis yaitu *internal forced convection* dan *external forced convection*. *Internal forced convection* adalah konveksi paksa yang terjadi didalam suatu bidang yang memiliki batas area, sedangkan *external forced convection* adalah konveksi paksa di mana fluida yang mengalir tidak memiliki batas aliran. Gambar 2.4 menunjukkan *internal forced convection* (a) dan *external forced convection* (b).



Gambar 2.2. *Internal Forced Convection* (a) dan *External Forced Convection* (b).  
(Cengel, Y, 2002)

Dalam kajian *internal forced convection* terdapat beberapa parameter yang berkaitan dengan laju aliran fluida yang perlu diperhatikan, antara lain :

a. Bilangan Reynold

Bilangan Reynold adalah bilangan tanpa dimensi yang menunjukkan jenis aliran fluida. Menurut (Jansen, Ted) bilangan Reynold dapat diperoleh dengan:

$$Re = \frac{\rho V d_i}{\mu} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan:

V = kecepatan rata-rata fluida (m/s)

d<sub>i</sub> = diameter dalam tabung (m)

ρ = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

μ = viskositas dinamik

Bila bilangan Reynold berkisar  $< 2.000$  maka alirannya laminar, sedangkan bila berkisar antara  $> 10.000$  maka alirannya turbulen. Bila bilangan Reynold berada diantara  $2000 - 10000$ , maka alirannya adalah transisi

b. Bilangan Nuselt

Bilangan Nuselt adalah salah satu bilangan tanpa dimensi lainnya setelah bilangan Reynold. Bila aliran laminar maka:

$$Nu = 3,66 + \dots (-) \dots *(-) \dots + \dots 2.4$$

Bila alirannya turbulen maka:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{1/3} \dots 2.5$$

Persamaan di atas berlaku apabila:

$$(0,7 \leq Pr \leq 160) \text{ dan } (Re > 10.000)$$

Bila alirannya aliran transisi maka digunakan persamaan yang diajukan oleh Gnielinski:

$$Nu = \frac{\dots}{\dots} \dots 2.6$$

Persamaan ini berlaku, apabila:

$$(0,5 \leq Pr \leq 2000) \text{ dan } (3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6)$$

Nilai f diperoleh dengan persamaan Petukhov

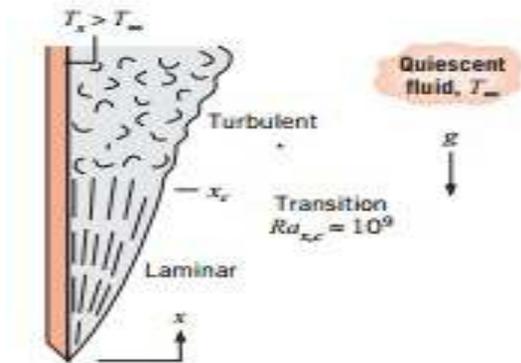
$$f = (0,790 \ln Re - 1,64)^{-2} \dots 2.7$$

Koefisien perpindahan panas konveksi diperoleh dengan menggunakan rumus

$$h = Nu \frac{k}{L} \dots\dots\dots 2.8$$

## 2. Konveksi Natural

Konveksi natural perpindahan panas yang terjadi secara alami yang mengakibatkan terjadinya aliran fluida. Gambar 2.5 memperlihatkan terjadinya konveksi alami pada suatu permukaan.



Gambar 2.3. Konveksi Alami pada Suatu Permukaan (Incropera, 2011)

Bilangan-bilangan tanpa dimensi yang sering digunakan untuk menghitung konveksi alamiah adalah (Incropera,2011) :

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_m) L^3}{\nu^2} \dots\dots\dots 2.9$$

$$\text{dan } Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_m) L^3}{\alpha \nu} = Gr_L Pr \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan:

$Ra_L$  = Rayleigh Number

- g = gravitasi bumi
- Ts = suhu permukaan
- Tr = suhu ruangan
- L = panjang
- $\nu$  = viskositas kinematik ( $\mu/\rho$ )
- $\alpha$  = diffusitas termal ( $k/\rho.c_p$ )
- Pr = bilangan Prandtl

Persamaan mencari bilangan Nusselt untuk konveksi alamiah pada plat luar telah diturunkan secara analitik, dengan asumsi bawah aliran adalah laminar. Namun faktanya, aliran tidak selalu laminar melainkan turbulenta. Bilangan Nusselt pada plat vertikal dengan Ts konstan dapat dirumuskan sebagai berikut :

Jika bilangan  $10^{-1} < Ra < 10^{12}$  , maka bilangan Nusselt yang dipakai adalah [Incropera,1985] :

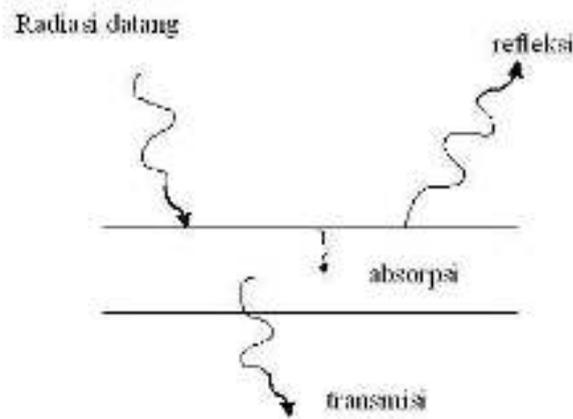
$$Nu = 0.68 \frac{Ra^{1/4}}{[1 + (Ra/1708)^{1/4}]^{1/4}} \dots\dots\dots 2.11$$

Jika bilangan  $Ra < 10^9$  , maka bilangan Nusselt yang dipakai adalah (Persamaan ini lebih akurat) [Incropera,2011] :

$$Nu = 0.68 \frac{Ra^{1/4}}{[1 + (Ra/1708)^{1/4}]^{1/4}} \dots\dots\dots 2.12$$

### 4.2.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi tanpa melalui media perantara (padat dan fluida) Gambar 2.6 menunjukkan skema perpindahan panas radiasi.



Gambar 2.4. Skema Perpindahan Panas Radiasi  
(Cengel, Y, 2002)

$$\rho_G + \alpha_G + \eta_G = 1 \dots\dots\dots 2.13$$

Penurunan panas netto secara radiasi termal diantara dua badan ideal (“hitam”) diberikan oleh (W. Gray, 1974)

$$q = \zeta A (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots 2.14$$

Dalam praktik pada kolektor surya, permukaan bukan pemancar atau pun penyerap yang sempurna dari radiasi termal. Permukaan “kelabu” semacam ini ditandai oleh fraksi-fraksi dari jumlah ideal yang dipancarkan dan diserap. Perpindahan panas radiasi antara pelat penyerap dengan kaca dirumuskan oleh (Jansen, T, 1995).

$$q = \frac{\dots}{\dots} \dots\dots\dots 2.15$$

Keterangan:

q = laju perpindahan panas radiasi (W)

$\epsilon$  = emisivitas bahan

A = luas permukaan ( $m^2$ )

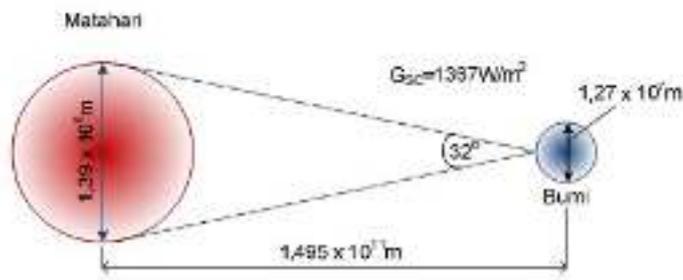
$\zeta$  = konstanta Stefan – Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )

$T_1$  = temperatur permukaan 1 (K)

$T_2$  = temperatur permukaan 2 (K)

### 2.8. Teori Dasar Radiasi

Matahari mempunyai diameter  $1,39 \times 10^9$  m. Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk ellipse dan matahari berada pada salah satu pusatnya. Jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah  $1,49 \times 10^{11}$  m. Daya radiasi rata-rata yang diterima atmosfer bumi yaitu ( $G_{sc}$ )  $1367 \text{ W/m}^2$ .



Gambar 2.5. Jarak antara Matahari Dan Bumi (Ambarita, H, 2011)

Lintasan bumi terhadap matahari berbentuk ellipse, maka jarak antara bumi dan matahari tidak konstan. Jarak terdekat adalah  $1,47 \times 10^{11}$  m yang terjadi pada tanggal 3 Januari 2011, dan jarak terjauh pada tanggal 3 Juli dengan jarak  $1,52 \times 10^{11}$  m. Karena adanya perbedaan jarak ini, menyebabkan radiasi yang diterima atmosfer bumi juga akan berbeda.

Beberapa istilah yang biasanya dijumpai pada perhitungan radiasi adalah :

1. *Air Mass (m)*

*Air Mass* adalah perbandingan massa udara sampai ke permukaan bumi pada posisi tertentu dengan massa udara yang dilalui sinar jika matahari tepat pada posisi zenit. Artinya pada posisi tegak lurus (zenit = 0) nilai  $m = 1$ , pada sudut zenith  $60^\circ$ ,  $m = 2$ .

2. *Beam Radiation*

Radiasi energi dari matahari yang tidak dibelokkan oleh atmosfer. Istilah ini sering juga disebut radiasi langsung (*direct solar radiation*).

3. *Diffuse Radiation*

Radiasi energi surya dari matahari yang telah dibelokkan atmosfer

4. *Total Radiation*

*Total Radiation* adalah jumlah beam dan *diffuse radiation*.

5. *Irradiance*

*Irradiance* adalah laju energi radiasi yang diterima suatu permukaan persatuan luas permukaan tersebut *Solar irradiance* biasanya

disimbolkan dengan  $G$ . Dalam bahasa Indonesia besaran ini biasanya disebut dengan Intensitas radiasi.

6. *Irradiation atau Radian Exposure*

Jumlah energi radiasi (bukan laju) yang diterima suatu permukaan dalam interval waktu tertentu. Besaran ini didapat dengan mengintegrasikan  $G$  pada interval waktu yang diinginkan, misalnya untuk 1 hari biasa disimbolkan  $H$  dan untuk 1 jam biasa disimbolkan  $I$ .

7. *SolarTime atau Jam Matahari*

*SolarTime* atau Jam Matahari adalah waktu berdasarkan pergerakan semu matahari di langit pada tempat tertentu. Jam matahari (disimbolkan  $ST$ ) berbeda dengan penunjukkan jam biasa (*standard time*, disimbolkan  $STD$ ).

$$STD = ST \pm 4 (L_{st} - L_{loc}) + E \dots\dots\dots 2.16$$

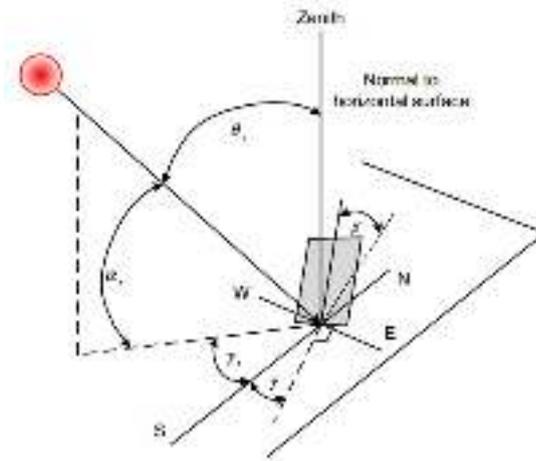
Sementara  $E$  adalah persamaan waktu yang dihitung dengan:

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868\cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615\cos 2B - 0,04089 \sin \dots\dots\dots 2.17$$

$L_{st}$  adalah standar meridian untuk waktu local, sementara  $L_{loc}$  adalah derajat bujur daerah yang diukur.

Dalam menghitung energi radiasi matahari yang sampai ke suatu permukaan perlu dipertimbangkan beberapa sudut, karena garis edar sumbu matahari yang cukup kompleks. Gambar 2.2 menunjukkan

beberapa istilah sudut yang sering digunakan dalam analisis energi radiasi surya.



Gambar 2.6. Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari

(Sumber : Ambarita, H, 2011)

Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari antara lain:

1. Slope  $\beta$  adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal.
2.  $\phi$  adalah sudut lintang dimana posisi permukaan berada
3. Sudut deklinasi  $\delta$  yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya.

Nilai sudut ini diperoleh dengan menggunakan persamaan yang diajukan oleh Cooper (Ambarita, H, 2011)

$$\delta = 23,45 \sin ( \quad \text{---} \quad ) \dots\dots\dots 2.18$$

atau dapat juga menggunakan persamaan yang lebih teliti, yang diajukan Spencer (Himsar, 2011)

$$\delta = 6,918 \times 10^{-3} - 3,99912 \cos B + 0,070251 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B \dots \dots \dots 2.19$$

Di mana nilai  $n$  merupakan nilai urutan hari dalam satu tahun yang dapat yang diperoleh dari tabel 2.3

Tabel 2.3. Urutan Hari dalam Tahun

No	Bulan	Nilai $n$ pada hari ke- $i$
1	Januari	$I$
2	Februari	$31 + i$
3	Maret	$59 + i$
4	April	$90 + i$
5	Mei	$120 + i$
6	Juni	$151 + i$
7	Juli	$181 + i$
8	Agustus	$212 + i$
9	September	$243 + i$
10	Oktober	$273 + i$
11	November	$304 + i$
12	Desember	$334 + i$

Sumber: Ambarita, H, 2011

4. Sudut jam  $\omega$  adalah sudut pergeseran semu matahari dari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam,  $\omega$  berkurang  $15^0$  dan setiap bertambah 1 jam,  $\omega$  bertambah  $15^0$ .

$$\omega = 15(STD - 12) + (ST - STD) \times - \dots \dots \dots 2.20$$

Radiasi surya yang sampai ke permukaan bumi dapat dihitung secara analitis. Perhitungan radiasi surya secara analitis diberikan oleh Himsar, 2011.

Radiasi harian yang sampai ke bumi berbeda setiap harinya, karena lintasan bumi yang berbentuk elips.

Radiasi pada hari ke-n dirumuskan oleh Duffie dan Beckman (1991)

$$G_{on} = G_{sc} (1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \dots\dots\dots 2.21$$

Di mana, B diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$B = (n-1) \times 360/365 \dots\dots\dots 2.22$$

$$\cos \theta_z = \cos \theta \cos \delta \cos \omega + \sin \theta \sin \delta \dots\dots\dots 2.23$$

Parameter lain yang digunakan untuk perhitungan radiasi secara teoritis yaitu, estimasi bahwa langit dalam kondisi cerah. Maka dalam hal ini perlu diketahui  $\eta_b$

$$\eta_b = a_0 + a_1 \exp \left( \frac{-k}{A} \right) \dots\dots\dots 2.24$$

Di mana, nilai masing-masing parameter

$$a_0 = r_0 (0,4237 - 0,0082 (6 - A)^2) \dots\dots\dots 2.25$$

$$a_1 = r_1 (0,5055 + 0,00595 (6.5 - A)^2) \dots\dots\dots 2.26$$

$$k = r_k (0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2) \dots\dots\dots 2.27$$

Di mana, A adalah ketinggian (km) dan  $r_0$ ,  $r_1$ , dan  $r_k$  adalah koreksi akibat iklim.

Nilai faktor koreksi akibat iklim ditampilkan pada tabel 2.4 berikut ini

Tabel 2.4. Faktor koreksi akibat iklim

Iklim	$r_0$	$r_1$	$r_k$
Tropical	0,95	0,98	1,02
Midiatude summer	0,97	0,99	1,02
Subartic summer	0,99	0,99	1,01
Midiatude winter	1,03	1,01	1,00

Radiasi *beam* adalah radiasi matahari yang jatuh langsung ke permukaan bumi.

$$G_{\text{beam}} = G_{\text{on}} \eta_b \cos \theta_z \quad 2.13$$

Radiasi *diffuse* adalah radiasi hasil pantulan atmosphere

$$G_{\text{diffuse}} = G_{\text{on}} \cos \theta_z (0,271 - 0,294 \eta_b) \dots \dots \dots 2.28$$

Maka total radiasi teoritis

$$G_{\text{total}} = G_{\text{beam}} + G_{\text{diffuse}} \dots \dots \dots 2.29$$

## 2.9. Pemanfaatan Energi Surya

Era ini, penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi manusia, kemajuan teknologi dan lain lain. Namun hal ini berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber daya alam tersebut. Sehingga para ilmuwan telah mencoba mengembangkan potensi sumber daya alam yang dapat diperbarui contohnya air, angin dan energi surya. Pembahasan adalah tentang pemanfaatan energi surya, terdapat 2 macam pemanfaatan energi surya yaitu:

1. Pemanfaatan Fotovoltaik

Pemanfaatan energi surya ini adalah untuk menghasilkan energi listrik. Menurut Sujono (2009). Energi surya yang diubah menjadi energi listrik hanya memiliki efisiensi sekitar 10%. Gambar 2.9. menunjukkan pemanfaatan energi surya dengan memanfaatkan teknologi fotovoltaik.



Gambar 2.7. Sel Fotovoltaik

## 2. Pemanfaatan Termal

Terdapat 9 pemanfaatan termal terbesar yang sudah dilakukan dan diterapkan di beberapa negara yaitu:

### a. *Solar Water Heater* (Pemanas Air Tenaga Surya)

Prinsip kerja *solar water heater* adalah memanaskan air dengan energi surya. Air dialirkan ke pipa-pipa yang pipih, biasanya dicat warna hitam untuk memaksimalkan penyerapan energi surya. Air yang telah mencapai suhu yang diinginkan disimpan ke sebuah silinder sebagai tempat penyimpanan. *Solar water heater* juga dilengkapi beberapa sensor untuk menjaga suhu air yang diinginkan.

*Solar Water Heater* juga dapat memanaskan air menggunakan listrik jika cuaca hujan/mendung. Gambar 2.8 menunjukkan *solar water heater*.



Gambar 2.8. *Solar Water Heater*

(Tang, R, 2011)

b. *Solar Cooker*

*Solar Cooker* adalah alat memasak yang menggunakan energi surya . *Solar cooker* ini juga memiliki berbagai bentuk konstruksi. Beberapa bentuk memiliki cara kerja yang sedikit berbeda, tapi pada prinsipnya *solar cooker* menggunakan energi surya, dan diubah menjadi energi panas untuk memasak makanan.

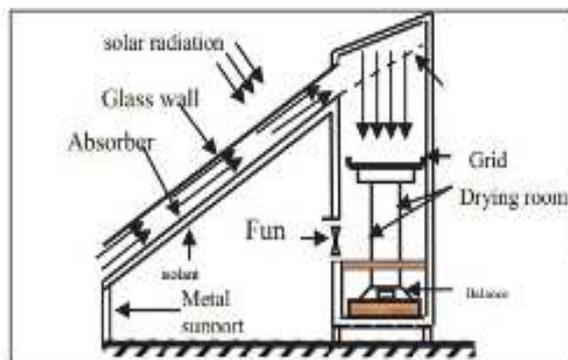


Gambar 2.9. *Solar Cooke*

(<https://www.niftyhomestead.com/blog/solar-cooker/>)

c. *SolarDrier*

Pada negara-negara berkembang, produk-produk pertanian dan perkebunan sering dikeringkan menggunakan tenaga matahari. Konsep inilah yang digunakan sebagai acuan untuk menciptakan *solar driers*. Cara kerjanya adalah udara yang masuk ke dalam kolektor akan dipanaskan oleh energi surya, udara yang telah panas kemudian masuk ke dalam kotak pengering, kotak pengering inilah yang diisi produk-produk pertanian yang akan dikeringkan. Gambar 2.12 menunjukkan bagian-bagian utama *solar driers*.



Gambar 2.10. *Solar Drier*

(Sumber: Choicha ,S, 2014)

d. *Solar Ponds*

Ini tergolong aplikasi dengan skala cukup besar. Cara kerjanya adalah garam yang mengendap di dasar, dan disinari matahari akan bertambah panas. Panas ini digunakan untuk memutar turbin. Menggunakan prinsip rankine organik. Gambar 2.11. memperlihatkan konstruksi *solar ponds*.