

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi surya merupakan energi yang ramah lingkungan dan didapat secara gratis. Indonesia sebagai negara yang terletak digaris katulistiwa mempunyai periode untuk memanfaatkan matahari lebih besar baik secara kuantitas maupun kualitasnya dibanding dengan kawasan yang tidak dilintasi oleh garis katulistiwa. Penggunaan energi surya di Indonesia merupakan pilihan yang tepat sebagai energi alternatif untuk kebutuhan energi dalam industri atau memenuhi kebutuhan energi sehari-hari di rumah tangga.

Pada negara berkembang, konsumsi energi terbesar adalah untuk keperluan memasak (C.R.Chen, dkk). Energi surya banyak juga dipergunakan sebagai pengering makanan dan komoditi pertanian.

Untuk membantu mengatasi permasalahan di atas, maka diperlukan suatu inovasi teknologi yang menggunakan tenaga yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) seperti penggunaan energi matahari untuk mengeringkan bahan makanan/komoditi pertanian atau yang lebih dikenal dengan kolektor surya. Karena potensi energi matahari di Indonesia khususnya kota Medan sangatlah besar. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk merancang kolektor surya sebagai alat pengering komoditi kopi dalam membantu para petani kopi.

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 komoditi biji kopi. Maka perlu dirancang sebuah kolektor surya yang dapat menangkap atau mengumpulkan (radiasi) matahari.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian berada pada $3,3^0\text{LU } 98.4^0\text{BB}$ di Medan.
2. Bentuk kolektor surya yang digunakan adalah plat datar dengan ukuran $1 \times 1,5 \text{ m}$.
3. Bahan yang akan dikeringkan adalah biji kopi jenis arabika.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dicapai dari penelitian ini adalah:

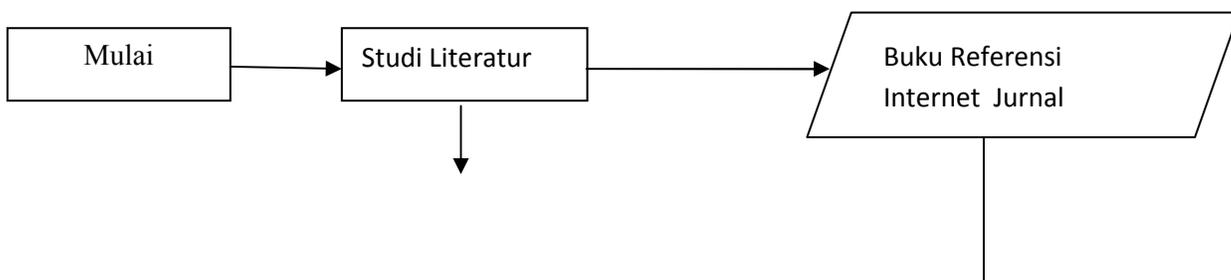
1. Untuk mengetahui potensi energi matahari yang dapat diserap kolektor surya
2. Untuk mendapat karakteristik kolektor surya tipe plat datar.
3. Efisiensi Kolektor Surya.
4. Untuk mendapatkan kadar air biji kopi 50% yang dikeringkan oleh kolektor surya jenis plat datar dengan ukuran $1 \times 1,5 \text{ m}$.

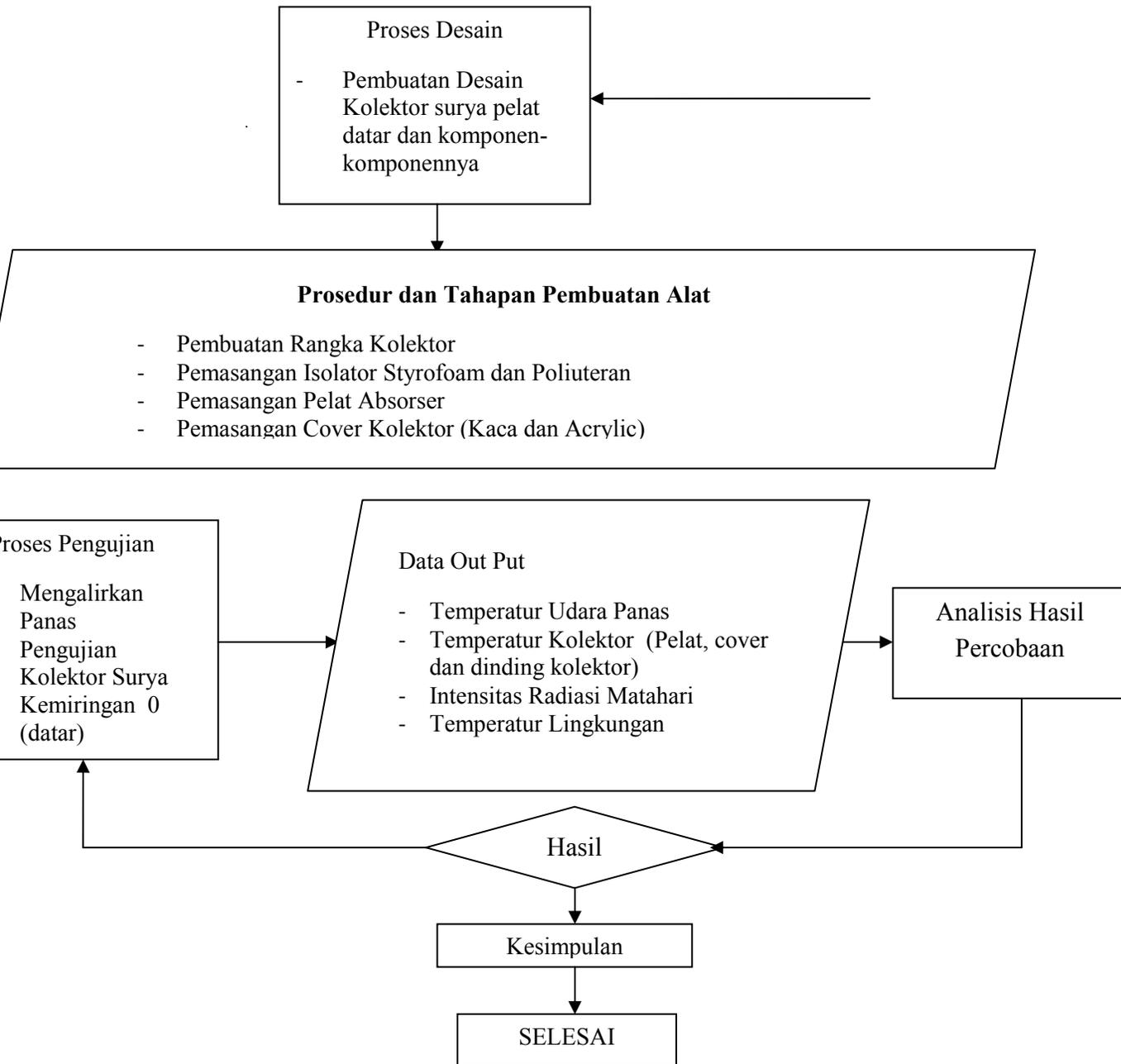
1.5 Metode Penulisan

Metode penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Survei lapangan.
2. Studi literatur, yakni berupa studi kepustakaan, kajian dari buku-buku, dan jurnal-jurnal yang terkait.
3. Diskusi, yakni berupa tanya-jawab dengan dosen pembimbing, dosen pembimbing yang disediakan oleh Fakultas Teknik Prodi Mesin UHN mengenai kekurangan-kekurangan di dalam tulisan tugas akhir ini.

1.6 Diagram Alir Pengujian





Gambar : 1.1. Diagram Alir Pengujian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Sumber energi berjumlah besar dan bersifat kontiniu terbesar yang tersedia bagi manusia adalah energi surya, khususnya energi elektri magnetik yang dipancarkan oleh matahari. Sementara energi surya belum dipakai untuk sumber primer energi bahan bakar pada saat ini.

Tenaga surya dapat digunakan untuk:

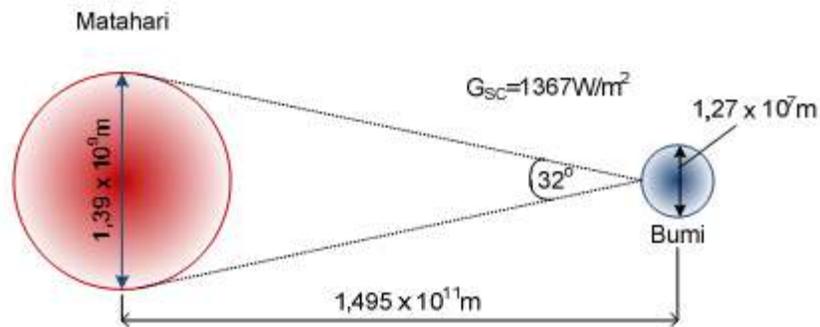
1. Menghasilkan listrik menggunakan sel surya.
2. Menghasilkan pembangkit listrik tenaga surya.
3. Memghasilkan listrik menggunakan menara surya.
4. Memanaskan gedung secara langsung.
5. Memanaskan gedung melalui popa panas.
6. Memanaskan makanan dengan menggunakan open surya.

Energi surya dapat dikonversikan ke bentuk energi lain, yaitu: Proses Helochemical, proses Helioelectrical, dan proses heliothermal (Anynomous, 1977).

- a. Proses Helochemica. Reaksi helochemica yang utama adalah proses fotosintesa. Proses ini adalah sumber dari semua bahan bakar fosil.
- b. Proses Helioelectrical. Rekasi helioelectrical yang utama adalh produksi listrik oleh sel-sel surya.
- c. Proses heliothermal adalah penyerapan radiasi matahari dan pengkonversian energi menjadi energi termal.

2.1.1 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 W/m^2 . Gambar 2.1 menunjukkan jarak antara matahari dan bumi.



Gambar 2.1 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° , $m = 2$.

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*[W/m²]

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*[J/m²]

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

7. *Solar Time* atau Jam Matahari

Solar Time 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).

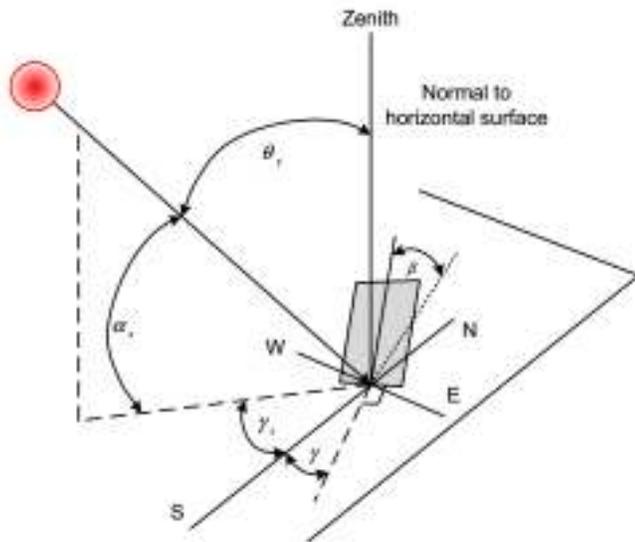
$$STD = STD \pm 4 (L_{st} - L_{loc}) + E \dots\dots\dots 2.1$$

Sementara E adalah persamaan waktu yang dihitung dengan:

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868\cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615\cos 2B - 0,04089 \sin 2 \dots\dots\dots 2.2$$

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 2.2 Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari
(Sumber : Ambarita, H, 2011)

Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari antara lain:

1. Slope β adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal.
2. ϕ adalah sudut lintang dimana posisi permukaan berada
3. Sudut deklinasi δ yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya.

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

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \dots\dots\dots 2.3$$

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

$$\delta = 6,918 \times 10^{-3} - 3,99912 \cos B + 0,070251 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B \dots\dots\dots 2.4$$

Di mana nilai n merupakan nilai urutan hari dalam satu tahu yang dapat yang diperoleh dari tabel 2.1

Tabel 2.1 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 ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15^0 dan setiap bertambah 1 jam, ω bertambah 15^0 .

$$\omega = 15(STD - 12) + (ST - STD) \times \frac{15}{60} \dots\dots\dots 2.5$$

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)

$$G_{on} = G_{sc} (1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0, 000077 \sin 2B) \dots\dots\dots 2.6$$

Di mana, B diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$B = (n-1) \times 360/365 \dots\dots\dots 2.7$$

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \dots\dots\dots 2.8$$

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

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \dots\dots\dots 2.9$$

Di mana, nilai masing-masing parameter

$$a_0 = r_0 (0,4237 - 0,0082 (6 - A)^2) \dots\dots\dots 2.10$$

$$a_1 = r_1 (0,5055 + 0,00595 (6.5 - A)^2) \dots\dots\dots 2.11$$

$$k = r_k (0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2) \dots\dots\dots 2.12$$

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 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Faktor koreksi akibat iklim

Iklm	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 radisi matahari yang jatuh langsung ke permukaan bumi.

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

Radiasi *diffuse* adalah radiasi hasil pantulan atmosphere

$$G_{\text{diffuse}} = G_{\text{on}} \cos\theta_z(0,271 - 0,294\tau_b) \dots\dots\dots 2.14$$

Maka total radiasi teoritis

$$G_{\text{total}} = G_{\text{beam}} + G_{\text{diffuse}} \dots\dots\dots 2.15$$

2.1.2 Pemanfaatan Energi Surya

Dalam 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 *Fotovoltaic*

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. menunjukkan pemanfaatan energi surya dengan memanfaatkan teknologi fotovoltaik.



Gambar 2.3 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 2.2 menunjukkan *solar water heater*.



Gambar 2.4 *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.

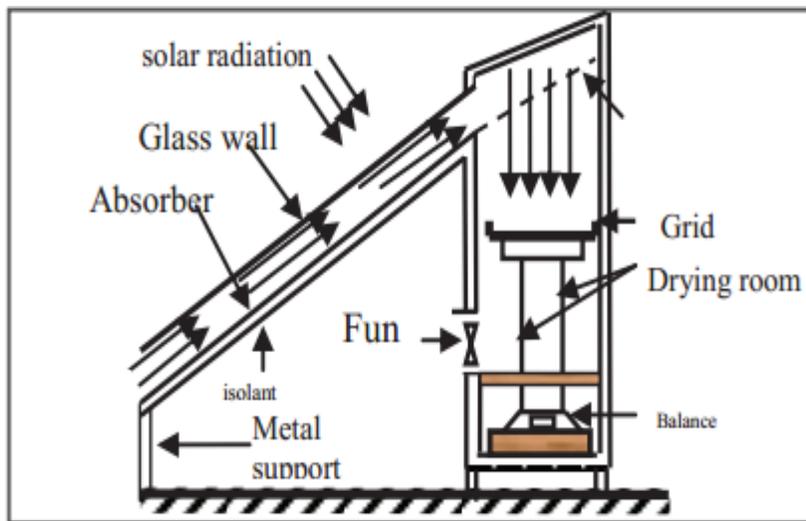


Gambar 2.5 *Solar Cooker*

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

c. *Solar Drier*

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 2.6 menunjukkan bagian-bagian utama *solar driers*.

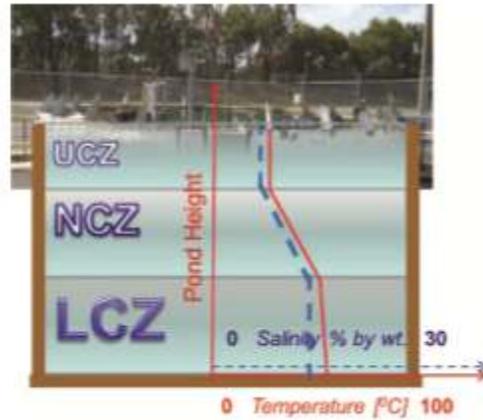


Gambar 2.6 *Solar Drier*

(Sumber: Choicha ,S, 2014)

d. *Solar Ponds*

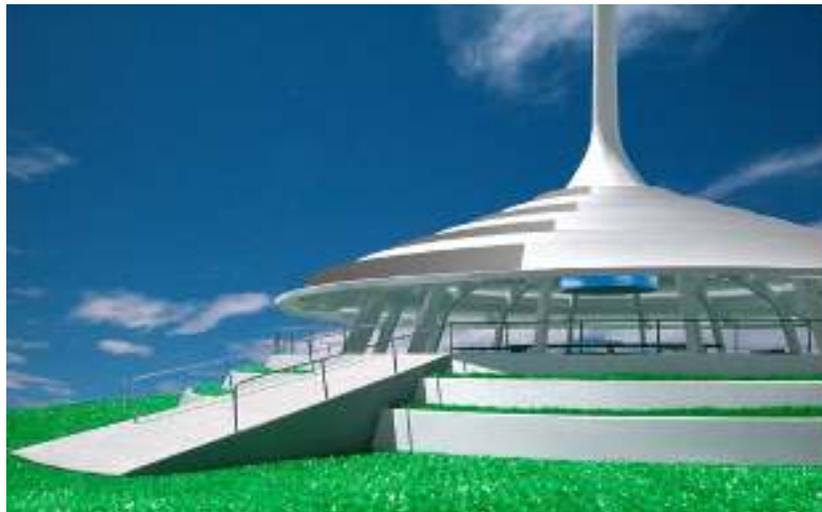
Ini tergolong aplikasi dengan skala cukup besar. Cara kerjanya adalah garam yang mengendap di dasar, dan disinari matahari akan bertambah panas. Panas ini digunakan untuk memutar turbin. Menggunakan prinsip rankine organik. Gambar 2.7 memperlihatkan konstruksi *solar ponds*.



Gambar 2.7 Skema *Solar Ponds*
(sumber: Simic, M, 2016)

e. *Solar Architecture*

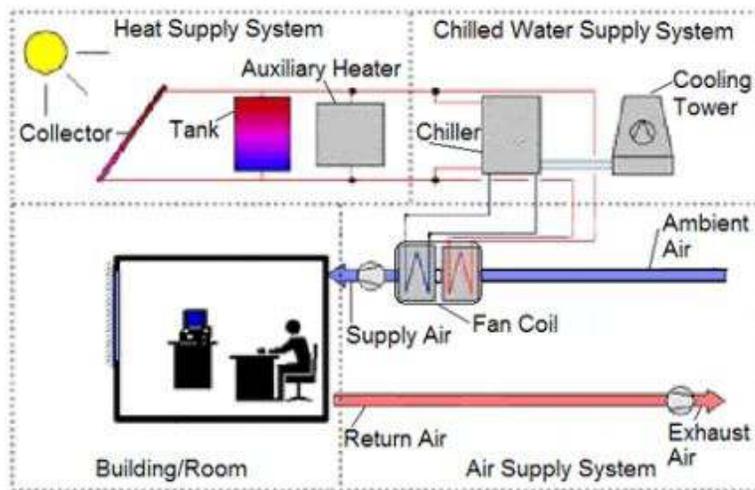
Dalam bidang arsitektur, pemanfaatan energi surya telah dikembangkan. Pemanfaatan dalam bidang ini sudah cukup banyak diterapkan di Jepang. Dari segi artistik juga mendapatkan tanggapan positif demikian juga dari segi pemanfaatan energi termalnya. Fungsi dari *solar architecture* adalah untuk membuat ruangan menjadi nyaman. Gambar 2.8 menunjukkan desain perumahan yang berdasar pada *solar architecture*.



Gambar 2.8 *Solar Architecture*
([www://inhabitat.com/solar-wind-pavilion/](http://www.inhabitat.com/solar-wind-pavilion/))

f. *Solar Air-Conditioning*

Penggunaan *Air-Conditioning* mencapai puncaknya pada saat matahari terik/panas. Inilah yang dimanfaatkan menjadi *Solar-Air Conditioning*. Cara kerjanya adalah dengan kolektor tabung hampa panas yang memanaskan air untuk menggerakkan sebuah chiller penyerapan sinar matahari secara langsung. Udara digunakan sebagai pendingin. Dengan teknologi ini juga, kerusakan atmosfer akan dapat dihindarkan. Gambar 2.9 menunjukkan bagian-bagian *solar air-conditioning*.



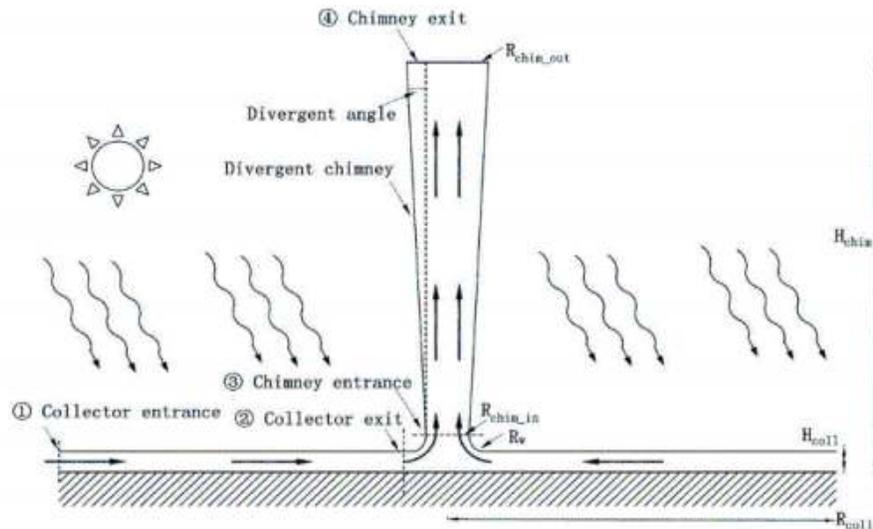
Gambar 2.9 *Solar Air-Conditioning*

(www.blog.qualitytechnic.com/2012/03/solar-air-conditioning.html)

g. *Solar Chimney*

Solar Chimney digunakan untuk ventilasi pada gedung-gedung besar. Sirkulasi udara menjadi baik dan ruangan menjadi tidak terlalu panas. Biasanya juga digunakan untuk menghasilkan listrik. Cara kerjanya adalah udara dipanaskan oleh energi surya. Udara yang panas akan cenderung bergerak ke atas dan keluar melalui cerobong. Pada cerobong biasanya

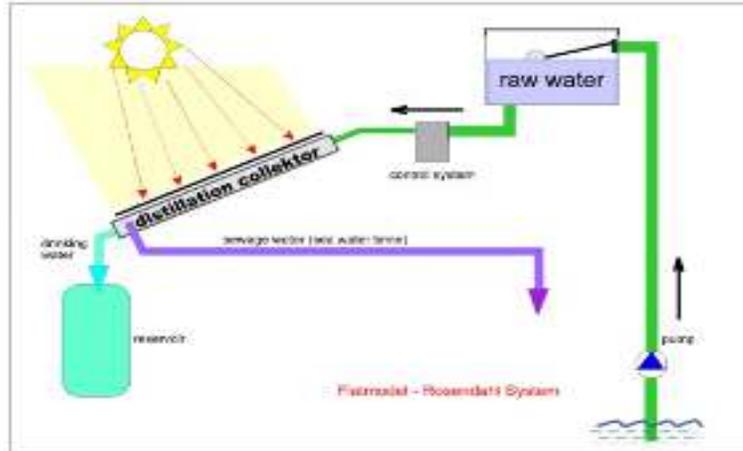
dipasang turbin. Udara yang bergerak ke atas akan menggerakkan turbin, sehingga menghasilkan listrik. Gambar 2.10 menunjukkan bagian-bagian utama *solar chimn*



Gambar 2.10 *Solar Chimney*
(Hu,S, 2016)

h. Solar Distillation Water

Solar Destilasi/ purification digunakan untuk memurnikan air maupun memisahkan air dengan garam. Cara kerjanya adalah air laut dipompakan setelah itu melewati kolektor, dengan panas dari energi surya ini, air akan menguap dan menyisakan garam. Uap dikondensasikan menjadi air. Sehingga didapat 2 hasil yaitu garam dan air tawar. Gambar 2.11 menunjukkan bagian-bagian *solar distillation water*.



Gambar 2.11 *Solar Distillation Water*
 (<http://benjimester.hubpages.com/hub/solar-water-distiller-solar-still>)

i. *Solar Powerplant*

Ini merupakan aplikasi dengan skala yang sangat besar, bisa diaplikasikan di daerah gurun. Dapat menghasilkan listrik dalam kapasitas yang sangat besar. Cara kerjanya ialah energi surya yang terpapar ke reflektor, direfleksikan ke tower yang di tengah. Dari tower itulah energi surya dikumpul dan digunakan untuk menghasilkan listrik. Gambar 2.12 menunjukkan *solar power plant* di Seville, Spanyol.



Gambar 2.12 *Solar Power Plant*

(Sumber: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=is-the-sun-setting-on-solar-power-in-spain>)

2.2 Alat Pemanas Air Tenaga Surya (*Solar Water Heater*)

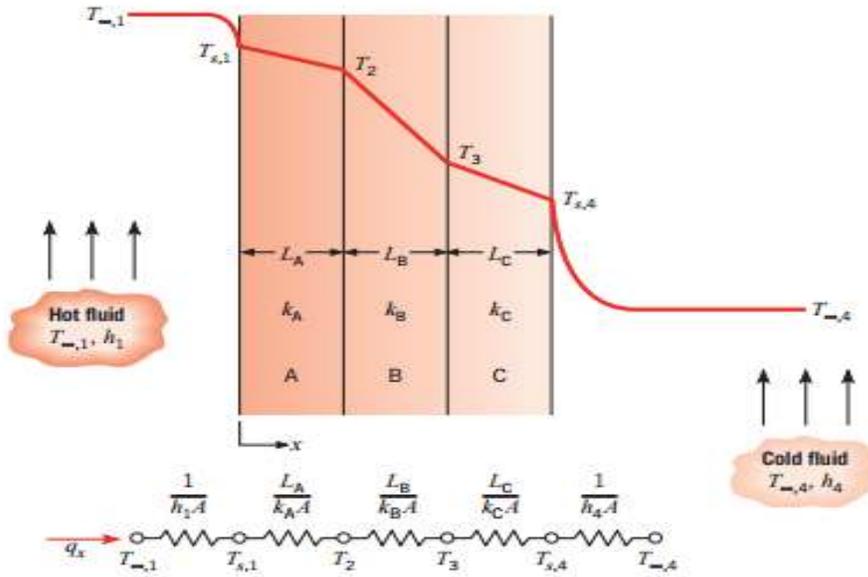
Pemanas air tenaga surya (PATS) merupakan produk teknologi yang memanfaatkan energi termal surya yang cukup populer dan banyak digunakan, terutama di hotel, villa peristirahatan hingga perumahan. Alat pemanas ini pada umumnya menggunakan absorber berbentuk plat rata yang bagian atasnya akan ditutup dengan lapisan transparan, baik kaca, maupun jenis plastik lainnya.

2.3 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.

2.3.1 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 2.15 menunjukkan . Skema perpindahan panas secara konduksi.



Gambar 2.15 Skema Perpindahan Panas Secara Konduksi
(Incropera,2011)

Rumus Umum :

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

$$q = \frac{T_{u,1} - T_{u,4}}{\left[\left(\frac{1}{h_1.A} \right) + \left(\frac{L_A}{k_A.A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B.A} \right) + \left(\frac{L_C}{k_C.A} \right) + \left(\frac{1}{h_4.A} \right) \right]} \dots\dots\dots 2.16$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan panas (W)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m²)

Δ 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 2.3 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

2.3.2 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 :

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots 2.17$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi (W)

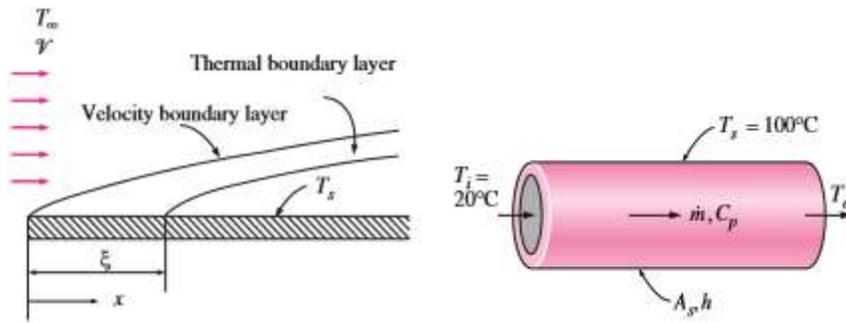
h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² K)

A = Luas penampang (m²)

ΔT = 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 2.16 menunjukkan *internal forced convection* (a) dan *external forced convection* (b).



(a) (b)
 Gambar 2.16 *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:

$$Re = \frac{V d_i \rho}{\mu} \dots\dots\dots 2.18$$

Keterangan:

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

d_i = diameter dalam tabung (m)

ρ = massa jenis (kg/m³)

μ = viskositas dinamik (Ns/m²)

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:

$$Nu = 3,66 + [0,065 \left(\frac{D}{L}\right) Re Pr] / \{1 + 0,04 \left[\left(\frac{D}{L}\right) Re Pr\right]^{2/3}\} \dots\dots\dots 2.19$$

Bila alirannya turbulen maka:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{1/3} \dots\dots\dots 2.20$$

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:

$$Nu = \frac{(f/8) (Re-1000) Pr}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} (Pr^{2/3} - 1)} \dots\dots\dots 2.21$$

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

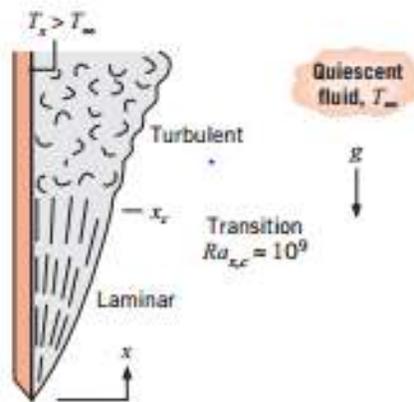
$$f = (0,790 \ln Re - 1,64)^{-2} \dots\dots\dots 2.22$$

Koefisien perpindahan panas konveksi diperoleh dengan menggunakan rumus

$$h = Nu \frac{k}{di} \dots\dots\dots 2.23$$

2. Konveksi Natural

Konveksi natural perpindahan panas yang terjadisecara alami yang mengakibatkan terjadinya aliran fluida. Gambar 2.17 memperlihatkan terjadinya konveksi alami pada suatu permukaan.



Gambar 2.17 Konveksi Alami pada Suatu Permukaan
(Incropera, 2011)

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

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_L) L^3}{\nu^2} \dots\dots\dots 2.24$$

dan

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_r) L^3}{\nu \alpha} = Gr_L Pr \dots\dots\dots 2.25$$

Keterangan:

Ra_L = Rayleigh Number

g = gravitasi bumi

T_s = suhu permukaan

T_r = suhu ruangan

L = panjang

ν = viskositas kinematik (μ/ρ)

α = 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 T_s konstan dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

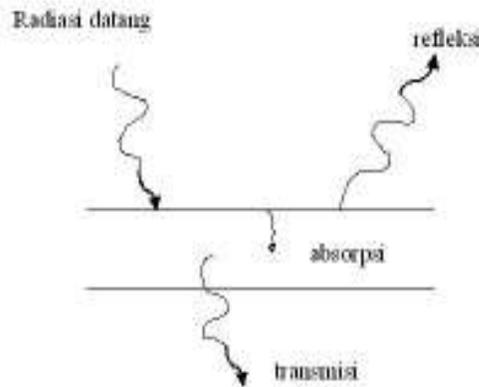
$$Nu = 0.68 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \dots\dots\dots 2.26$$

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

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67 Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \dots\dots\dots 2.27$$

2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi tanpa melalui media perantara (padat dan fluida). Gambar 2.18 menunjukkan skema perpindahan panas radiasi.



Gambar 2.18 Skema Perpindahan Panas Radiasi
(Cengel, Y, 2002)

$$\rho_G + \alpha_G + \tau_G = 1 \dots\dots\dots 2.28$$

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

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots 2.29$$

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).

$$q = \frac{\sigma A (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \dots\dots\dots 2.30$$

Keterangan:

q = laju perpindahan panas radiasi (W)

ε = emisivitas bahan

A = luas permukaan (m^2)

σ = 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)

2.4 Analisis Energi pada Kolektor Surya Plat datar

Komponen utama dari sebuah solar system adalah kolektor surya. Kolektor surya adalah alat yang digunakan untuk menyerap energi radiasi, mengubahnya menjadi panas, dan mentransferkannya ke fluida yang mengalir melalui kolektor (Helal, O, 2011).

Kolektor surya memiliki bentuk yang bermacam-macam, tetapi yang paling umum digunakan adalah kolektor surya tipe plat datar. Analisis jumlah energi pada kolektor plat datar meliputi energi yang diterima kolektor plat datar, energi yang terbuang dan energi berguna yang digunakan untuk mengeringkan kopi.

2.4.1 Analisis Energi yang Diterima Kolektor

Untuk menghitung perolehan energi radiasi matahari yang diterima pada sebuah permukaan datar yang dimiringkan maka digunakan persamaan yang diberikan oleh Duffie and Beckman (1991).

$$R_{b,1} = \frac{q_{in}}{q_{radiasi}} \dots \dots \dots 2.31$$

Sehingga untuk mencari nilai q_{in} digunakan persamaan berikut:

$$q_{in} = R_b \times q_{radiasi} \dots\dots\dots 2.32$$

Keterangan:

$R_{b,1}$ = rasio perbandingan perolehan energi radiasi pada bidang datar terhadap bidang yang dimiringkan

q_{in} = energi yang diterima pada bidang yang dimiringkan (Joule)

$q_{radiasi}$ = energi yang diterima pada bidang yang datar (Joule)

Untuk mencari rasio perbandingan perolehan energi radiasi pada bidang datar terhadap bidang yang dimiringkan ini digunakan persamaan yang diajukan oleh Duffie dan Beckman (1991).

$$R_{b,1} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \dots\dots\dots 2.33$$

Keterangan:

ϕ = posisi lintang permukaan

β = sudut kemiringan kolektor

δ = sudut kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya

ω = adalah sudut pergeseran semu matahari dari dari garis siang.

2.4.2 Analisis Kehilangan Energi pada Kolektor

Kehilangan panas pada kolektor dapat diperoleh dengan menjumlahkan total panas yang terbuang pada sisi kolektor. Pada sisi depan, belakang, samping dan bawah kolektor analisis dapat digunakan dengan menggunakan analisis perpindahan panas secara konveksi dan konduksi, sementara pada sisi atas terdapat analisis yang berbeda sebagai akibat dari jumlah cover yang digunakan.

Duffie dan Beckman (1991) memberikan persamaan berikut ini untuk menghitung koefisien perpindahan panas sisi atas dari sebuah kolektor yang memiliki *cover* lebih dari 1.

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591 N h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0,133\epsilon_p}{\epsilon_g} N} \dots\dots\dots 2.34$$

Keterangan:

- N = jumlah penutup bagian atas
- C = 520 (1-0,000051 β²) untuk 0⁰< β< 70⁰.
- e = 0,430 (1-100/T_{pm})
- β = kemiringan kolektor
- ε_g = emisivitas kaca
- ε_p = emisivitas plat
- T_a = Temperatur lingkungan di sekitar kaca

T_{pm} = Temperatur plat rata-rata (K)

h_w = koefisien konveksi angin (W/m^2C)

Total kehilangan panas pada kolektor dapat diperoleh sebagai total energi yang terbuang dari sebuah kolektor.

$$\Sigma Q_{out} = \Sigma Q_{o,a} + \Sigma Q_{o,s} \dots\dots\dots 2.35$$

Keterangan:

$\Sigma Q_{o,a}$ = Total energi yang terbuang dari sisi atap (Joule)

$\Sigma Q_{o,s}$ = Total energi yang terbuang dari seluruh sisi dinding (Joule)

2.4.3 Analisis Termal Efisiensi Kolektor

Efisiensi termal kolektor adalah nilai perbandingan antara energi yang digunakan untuk memanaskan air (q_{use}) dengan energi yang diterima oleh kolektor (q_{in}). Untuk memperoleh nilai efisiensi kolektor maka digunakan persamaan 2.24 (Duffie and Beckman ,1991).

$$\eta = \frac{q_{use}}{q_{in}} \dots\dots\dots 2.40$$

Keterangan:

η = efisiensi kolektor

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Energi Terbarukan Fakultas Teknik Program studi Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.

3.2 Metode Desain

Perancangan merupakan kegiatan awal dari usaha merealisasikan suatu dibutuhkan oleh masyarakat. Langkah perancangan terdiri dari 4 tahap atau fase, yang masing-masing terdiri dari beberapa langkah. Ke-4 fase tersebut adalah :

1. Fase Perumusan . (*Formulation Phase*)
2. Fase Fungsi (*Functional Phase*)
3. Fase Perancangan (*Design Phase*)
4. Hasil (*Result*)

Kolektor yang dipilih dalam perancangan ini adalah kolektor pelat datar. Desain kolektor yang akan dibahas meliputi *body* kolektor, pelat absorber, penutup transparan (kaca) dan isolasi pada kolektor. Pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam perancangan kolektor yaitu: ekonomis, kuat, produktivitas tinggi, mudah pembuatan dan mudah dioperasikan.

3.3 Perancangan Alat

Perancangan adalah langkah yang dilakukan untuk membangun kolektor surya pelat datar setelah selesai didesain. Perancangan meliputi pemilihan bahan dan peralatan yang akan dipakai.

3.3.1 Perancangan Rangka Alat Pengering

Untuk rangka alat pengering biji kopi ini harus kuat dan kokoh karena rangka memiliki fungsi sebagai tumpuan. Demikian juga untuk pemilihan rangka kolektor surya ini mempertimbangkan beban yang akan dipikul oleh rangka tersebut dengan kemiringan kolektor 0° .

3.3.2 Perancangan Kolektor Surya

1. Perancangan Pelat Absorber

Pelat absorber berfungsi untuk menyerap radiasi surya dan mengkonversikannya menjadi panas. Kemudian energi matahari yang diserap dan dialirkan ke plat absorber nantinya akan semakin besar. Kemudian energi dialirkan melalui pipa fleksibel yang terbuat dari aluminium foil secara konveksi dengan bantuan kipas pada kecepatan 1m/s. Dengan mengacu fungsinya sebagai absorber, maka dipilih sifat bahan antara lain:

- Absorbsivitas tinggi
- Emisifitas panas rendah
- Kapasitas panas kecil
- Konduktifitas besar

- Refleksi rendah
- Tahan panas dan tahan korosi
- Kaku dan mudah dibentuk
- Ada dipasaran

Bahan-bahan yang biasa dipakai untuk pelat pengumpul yaitu: aluminium, tembaga, kuningan dan baja. Sesuai dengan pertimbangan di atas dalam perancangan ini digunakan plat aluminium dan permukaannya dilakukan pelapisan dengan cat hitam kusam (dof), agar jangan terjadi korosi dan mempunyai absorpsivitas maksimum.

2. Perancangan Penutup Transparan

Penutup transparan ini berfungsi untuk meneruskan radiasi surya dan mencegah panas yang keluar dari kolektor ke lingkungan pada bagian atas. Berdasarkan fungsi ini maka penutup transparan harus mempunyai sifat:

- Transmisivitas tinggi
- Absorpsivitas rendah
- Reflektivitas rendah
- Tahan panas
- Ada dipasaran dan kuat

3. Perancangan Isolasi

Isolasi berfungsi untuk memperkecil panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan pada bagian belakang dan samping kolektor. Pada isolasi terjadi perpindahan panas secara konduksi sehingga kehilangan panas dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan. Isolasi yang digunakan adalah:

- Konduktivitas termal bahan (k) kecil.

- Mudah dibentuk dan praktis
- Harga murah dan ada dipasaran
- Tahan lama.

3.4 Peralatan Perancangan dan Pengujian

Adapun beberapa alat perancangan dan pengujian yang digunakan adalah :

1. Laptop

Digunakan untuk :

- membuat desain rancangan,
- menyimpan dan mengolah data yang telah didapatkan dari Hobo Microstation data logger dan Agilent 3a 972.



Gambar 3.1 Laptop

2. *Solar Panel*

Panel surya (solar panel) merupakan komponen utama yang digunakan untuk menghasilkan listrik pada pemanas ini. Panel surya (solar panel) terdiri dari sel surya yang mengumpulkan radiasi surya dan mengubahnya menjadi daya listrik.



Gambar 3.2 *Solar Panel*

3. Agilent 3 a972 A

Alat ini dihubungkan dengan termo couple yang dipasang pada titik-titik yang akan diukur temperaturnya, setelah itu akan disimpan ke dalam alat ini, setelah itu dipindahkan ke komputer untuk dapat diolah datanya.



Gambar 3.3 Agilent 3a 972 A

Dengan Spesifikasi :

- a. Daya 35 Watt
- b. Jumlah Saluran Termokopel 20 buah
- c. Tegangan 250 Volt
- d. Mempunyai 3 saluran utama

- e. Dapat memindai data hingga 250 saluran per detik
- f. Mempunyai 8 tombol panel dan sistem control
- g. Fungsional antara lain pembacaan suhu Termokopel,RTDdan Termistor, arus listrik AC

4. Hobo Microstation Data Logger

Alat ini di hubungkan ke data logger untuk kemudian dihubungkan ke komputer untuk diolah datanya. Terdapat beberapa alat ukur pada Hobo Microstation data logger yaitu :

- a. Pyranometer

Alat ini digunakan untuk mengukur radiasi matahari pada suatu lokasi.

- b. Wind Velocity Sensor

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan angin

- c. Ambient Measurement apparatus

Alat ini digunakan untuk mengukur temperature lingkungan sekitar.

- d. T and RH smart sensor

Alat ini digunakan untuk mengukur kelembaban and temperature lingkungan sekitar.



Gambar 3.4 Hobo Microstation Data Logger

Spesifikasi alat ini adalah :

- Skala pengoperasian : 20 °C -50 °C dengan baterai alkalin
40 °C -70 °C dengan baterai lithium
- Input Processor : 3 buah sensor pintar *multi channel monitoring*
- Ukuran : 8,9 cm x 11,4 cm x 5,4 cm
- Berat : 0,36 Kg
- Memori : 512 Kb Penyimpanan data *nonvolatileflash*
- Interval Pengukuran : 1 detik – 18 jam (tergantung pengguna)
- Akurasi Waktu : 0 – 2 detik

3.5 Bahan Perancangan dan Pengujian

Adapun beberapa bahan yang digunakan untuk pengujian yaitu :

1. Biji Kopi

Varietas kopi yang dipakai, yaitu kopi arabika (*coffea arabica*) dari Doloksanggul. Kopi arabika merupakan tipe kopi tradisional yang berasal dari Etiopia dan sekarang telah dibudidayakan di berbagai belahan dunia. Pada percobaan ini, biji kopi digunakan sebagai bahan utama pengujian.

2. Acrylic

Bahan ini digunakan sebagai jalur masuknya radiasi matahari. Digunakan jenis *double glasses*, untuk meningkatkan performance dari *flat plate solar collector*



Gambar 3.5 Acrylic

3. Sterofoam

Digunakan sebagai isolator untuk mengurangi panas dari dalam kolektor terbuang ke lingkungan.



Gambar 3.6 Sterofoam

4. Plat Aluminium

Bahan ini digunakan sebagai absorber. Plat Aluminium yang memiliki konduktivitas yang bagus dan di beri cat hitam agar radiasi yang masuk pada *box solar cooker* akan diserap sepenuhnya oleh plat aluminium



Gambar 3.7 Pelat Aluminium

5. Aluminium Profil C

Aluminium Profil C digunakan sebagai kerangka kolektor.



Gambar 3.8 Aluminium profil C

6. *Rock Wool*

Bahan ini digunakan sebagai lapisan isolator. digunakan untuk mencegah panas dari *box solar* hilang keluar. Jenis *Rock Wool* yang dipakai adalah jenis *Wire Mesh* yang memiliki konduktivitas $0.043 \frac{W}{mK}$. Ditampilkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.9 Rock Wool

Sumber: <https://www.google.com/search?q=rockwool.com>

ROCKWOOL			
 ROCKWOOL SLAB / BOARD	Max. Service Temp.	(°C)	650
	Bulk Density	(Kg/M ³)	40, 60, 80, 100, 120
	Available Size	Thk. (mm)	25, 40, 50, 75, 100
		Width (mm)	600
Length (mm)		1200	
 ROCKWOOL PIPE SECTION	Max. Service Temp.	(°C)	650
	Bulk Density	(Kg/M ³)	90, 100
	Available Size	Thk. (mm)	20 – 100
		Width (mm)	½” ~ 10”
Length (mm)		1000, 1200	
 ROCKWOOL BLANKET	Max. Service Temp.	(°C)	650
	Bulk Density	(Kg/M ³)	25, 40, 80, 100, 120
	Available Size	Thk. (mm)	25, 40, 50, 75, 100
		Width (mm)	600, 900
Length (mm)		4000, 5000, 6000, 8000	
 ROCKWOOL WIRE BLANKET	Max. Service Temp.	(°C)	650
	Bulk Density	(Kg/M ³)	40, 60, 80, 100, 120
	Available Size	Thk. (mm)	25, 40, 50, 75, 100
		Width (mm)	600, 900
Length (mm)		4000, 5000, 6000, 8000	

Gambar 3.10 Spesifikasi Rock Wool

Sumber: <https://www.google.com/search?q=spesifikasi+rockwoo.com>

7. *Alluminium Composite Panel*

Alluminium Composite Panel adalah material yang digunakan sebagai *body* bagian bawah kolektor. Material ini digunakan sebagai pengganti triplek, agar bebas dari serangan rayap dan lumut.



Gambar 3.11 *Alluminium Composite Panel*

1. *Ambient temperature* (T_a)

Ini adalah temperature lingkungan sekitar pengujian. Dapat diambil lebih dari 1 titik pengujian , yang kemudian akan dirata-ratakan.

2. Radiasi Solar (G_a)

Ini menunjukkan seberapa besar radiasi solar pada 1hari dalam 1 m². Biasanya data di hitung setiap jam,dari jam 08:00-17:00 , kemudian dirata-ratakan sehingga didapatkan radiasi solar per hari

3. *Absorber temperature* (T_p)

Ini adalah temperature plat absorber. Data dihitung setiap jam dari jam 08:00-17:00.

4. Waktu (t)

Parameter ini digunakan untuk mengetahui berapa lama pengeringan hingga kadar air 50%

5. Temperatur Biji Kopi

Temperatur biji kopi dihitung setiap menitnya dengan agilent pada jam 09.00-17.00.

3.6 Eksperimental Set-Up



