

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Energi Surya

Sejarah peradaban manusia mencatat bahwa tenaga surya sangat berpengaruh terhadap segala aspek kehidupan manusia dan lingkungan sejak awal kehidupan dunia ini. Ribuan tahun yang lalu radiasi surya dapat menghasilkan bahan bakar fosil yang kita kenal sekarang sebagai minyak bumi dan sangat bermanfaat bagi manusia, juga bagi irigasi dan sumber tenaga listrik. Radiasi matahari juga sangat berguna untuk proses fotosintesis yang merupakan dasar dari proses pertumbuhan segala jenis tumbuhan yang ada di dunia ini. Matahari juga dapat menimbulkan energi gelombang laut, energi petir dan energi angin.

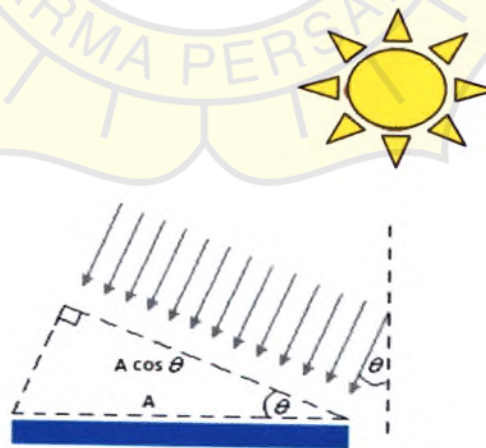
Fusi Termonuklir pada inti dari matahari membebaskan energi dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi. Gelombang energi yang memancar melalui ruang angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda.

Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap bumi. Menurut pengukuran radiasi surya oleh badan Angkasa Luar Amerika Serikat NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) melalui misi ruang angkasa tahun 1971 ditemukan bahwa terdapat kalor sebesar 1350 Joule per sekon per meter persegi yang berpindah dari matahari menuju planet bumi. Pada hari yang cerah (tidak ada awan), terdapat kalor sebesar 1000 Joule per sekon per meter persegi di permukaan bumi. Pada hari yang tidak cerah (banyak awannya), sekitar 70 % kalor diserap oleh atmosfer bumi. Jadi hanya 30 % kalor sampai di permukaan bumi. Besarnya kalor yang lenyap di atmosfer bumi tergantung pada banyak atau sedikitnya awan di langit^[1].

Jumlah kalor sebesar 1350 Joule per sekon per meter persegi dikenal dengan julukan konstanta matahari. Karena Joule per sekon (J/s) = Watt, maka bisa ditulis kembali konstanta matahari menjadi 1350 Watt per meter persegi = 1350 W/m^2 . Dari besaran tersebut 7,85% atau $105,8 \text{ Watt/m}^2$ dipancarkan melalui sinar ultraviolet, 47,33% atau $640,4 \text{ Watt/m}^2$ di pancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia (*Visible light*) dan 44,85% atau $606,8 \text{ Watt/m}^2$ di pancarkan oleh sinar inframerah.

Pada dasarnya energi radiasi yang di pancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang konstan, tapi karena perbendaan bumi yang mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1308 Watt/m^2 dan 1398 Watt/m^2 . Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah $751 \times 10^{15} \text{ kW-jam}$

Ketika kalor yang dipancarkan oleh matahari tiba di permukaan bumi, kalor tersebut diserap oleh benda hidup dan benda mati yang berada di permukaan bumi. Laju penyerapan kalor bergantung pada emisivitas (e) benda tersebut, luas permukaan benda dan sudut yang dibentuk oleh sinar matahari dengan garis yang tegak lurus permukaan benda.



Gambar 2.1. laju penyerapan kalor

Secara matematis, laju penyerapan kalor bisa ditulis sebagai berikut :

$$\frac{Q}{t} = \left(1000 \frac{W}{m^2}\right) eA \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)^{[1]}$$

Keterangan:

$\frac{Q}{t}$ = Laju penyerpan kalor

e = Emisivitas benda

A = Luas permukaan benda

θ = sudut yang dibentuk oleh sinar matahari,dengan garis yang tegak lurus permukaan benda.

1000 W/m^2 = konstanta matahari

$A \cos \theta$ = Daerah efektif

(komponen luas permukaan benda yang tegak lurus dengan matahari)

Pada siang hari, sinar matahari sejajar atau berhimpit dengan garis yang tegak lurus permukaan bumi (Sudut yang dibentuk = 0°). Karena sudut yang dibentuk = 0° , maka laju penyerapan kalor adalah :

$$\frac{Q}{t} = \left(1000 \frac{W}{m^2}\right) eA \cos 0 \rightarrow \cos 0 = 1$$

$$\frac{Q}{t} = \left(1000 \frac{W}{m^2}\right) eA 1$$

$$\frac{Q}{t} = \left(1000 \frac{W}{m^2}\right) eA \dots\dots\dots(2.2)^{[1]}$$

Laju penyerapan kalor (Q/t) bernilai maksimum jika sudut yang dibentuk sinar matahari dengan garis yang tegak lurus permukaan bumi = 0° ($\cos 0 = 1$). Biasanya ini terjadi pada siang hari, di mana matahari tepat berada di atas kepala.

2.2. Proses Perpindahan Panas (Kalor)

Perpindahan panas/kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut. Macam-macam proses perpindahan kalor, yaitu :

2.2.1. Perpindahan kalor secara konduksi.

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Secara umum laju aliran kalor secara konduksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.3)^{[3]}$$

keterangan :

- q = laju aliran kalor (W)
- k = konduktifitas termal bahan (W/m².°C)
- A = luas penampang (m²)
- (-) = perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah
- dT/dx = gradient suhu terhadap penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas

Berikut ini nilai konduktivitas termal beberapa benda

Jenis benda	Konduktivitas Termal (k)	
	W/m ² .°C	Kkal/m.s.Co
Perak	420	1000 x 10 ⁻⁴
Tembaga	380	920 x 10 ⁻⁴
Aluminium	200	500 x 10 ⁻⁴
Baja	40	110 x 10 ⁻⁴
Es	2	5 x 10 ⁻⁴
Kaca (biasa)	0,84	2 x 10 ⁻⁴
Bata	0,84	2 x 10 ⁻⁴
Air	0,56	1,4 x 10 ⁻⁴
Tubuh manusia	0,2	0,5 x 10 ⁻⁴
Kayu	0,08 – 0,16	0,2 x 10 ⁻⁴ – 0,4 x 10 ⁻⁴
Gabus	0,042	0,1 x 10 ⁻⁴
Wol	0,040	0,1 x 10 ⁻⁴
Busa	0,024	0,06 x 10 ⁻⁴
Udara	0,023	0,055 x 10 ⁻⁴

Tabel 2.1. Nilai konduktifitas termal benda

Benda yang memiliki konduktivitas termal (k) besar merupakan penghantar kalor yang baik (konduktor termal yang baik). Sebaliknya, benda yang memiliki konduktivitas termal yang kecil merupakan penghantar kalor yang buruk (konduktor termal yang buruk).

Dari nilai konduktivitas termal benda diatas kita juga dapat menentukan tahanan termal (R), Para insinyur biasanya menggunakan konsep tahanan termal ($R =$ resistansi termal) untuk menyatakan kemampuan suatu bahan dalam menghambat aliran kalor. Tahanan termal merupakan perbandingan antara ketebalan suatu bahan dengan konduktivitas termal bahan tersebut. Secara matematis bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \frac{l}{k} \dots \dots \dots (2.4)^{[3]}$$

Keterangan :

R = tahanan atau hambatan termal

l = Ketebalan bahan

k = konduksi termal benda

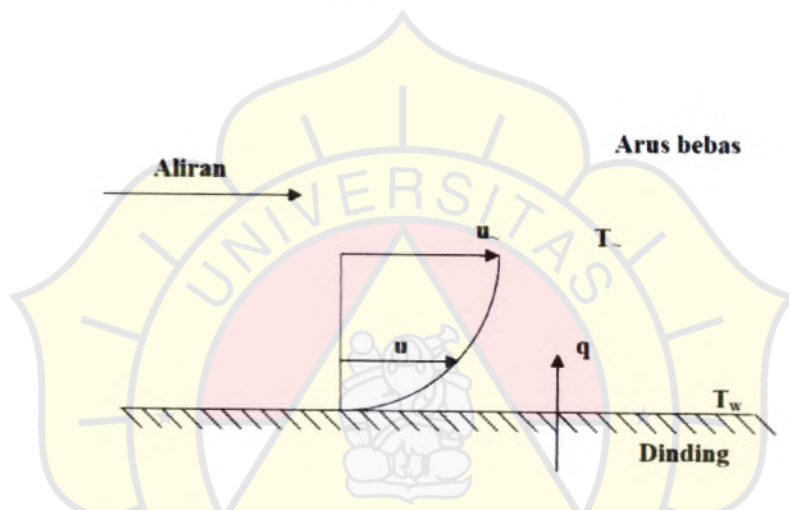
Tambahan:

Pada umumnya zat padat merupakan konduktor termal yang baik, sedangkan zat cair dan zat gas merupakan konduktor termal yang buruk. Konduktor termal = penghantar panas alias kalor. Zat cair dan zat gas bisa disebut juga sebagai isolator termal terbaik. Isolator termal = penghambat panas alias kalor.

2.2.2. perpindahan kalor secara konveksi.

Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi

antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor 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-partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.



Gambar 2.2. perpindahan kalor secara konveksi pada suatu plat

Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Laju perpindahan kalor antara suatu permukaan plat dan suatu fluida dapat

dihitung dengan hubungan :

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.5)^{[3]}$$

dimana:

q_c = Laju perpindahan kalor secara konveksi (W)

h_c = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².K)

A = Luas perpindahan kalor (m²)

ΔT = Beda antara suhu permukaan T_w dan suhu fluida T

2.2.3. Perpindahan kalor secara radiasi.

Selain berpindah dari tempat yang memiliki suhu lebih tinggi menuju tempat yang memiliki suhu lebih rendah dengan cara konduksi dan konveksi, kalor juga bisa berpindah tempat dengan cara radiasi. Bedanya, perpindahan kalor dengan cara konduksi dan konveksi membutuhkan medium. Sebaliknya, perpindahan kalor dengan cara radiasi tidak membutuhkan medium. Yang dimaksudkan dengan medium adalah benda-benda yang berfungsi sebagai penghantar kalor. Penghantar kalor yang baik menggunakan cara konduksi adalah zat padat. Sedangkan penghantar kalor yang baik menggunakan cara konveksi adalah zat cair dan zat gas. perpindahan kalor dengan cara radiasi tidak menggunakan penghantar. Radiasi sebenarnya merupakan perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik, seperti cahaya tampak (merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu dll), infra merah dan ultraviolet .

Laju perpindahan kalor dengan cara radiasi ditemukan sebanding dengan luas benda dan pangkat empat suhu mutlak (Skala Kelvin) benda tersebut. Benda yang memiliki luas permukaan yang lebih besar memiliki laju perpindahan kalor yang lebih besar dibandingkan dengan benda yang memiliki

luas permukaan yang lebih kecil. Demikian juga, benda yang bersuhu 2000 Kelvin, misalnya, memiliki laju perpindahan kalor sebesar $24 = 16$ kali lebih besar dibandingkan dengan benda yang bersuhu 1000 Kelvin. Hasil ini ditemukan oleh Josef Stefan pada tahun 1879 dan diturunkan secara teoritis oleh Ludwig Boltzmann sekitar 5 tahun kemudian. Secara matematis bisa ditulis sebagai berikut :

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (2.6)^{[3]}$$

Keterangan :

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

A = luas penampang bidang (m^2)

Benda yang permukaannya berwarna gelap (hitam pekat, seperti arang) memiliki emisivitas mendekati 1, sedangkan benda yang berwarna terang memiliki emisivitas mendekati 0. Semakin besar emisivitas suatu benda (e mendekati 1), semakin besar laju kalor yang dipancarkan benda tersebut.

2.3. Destilasi Tenaga Surya

Destilasi tenaga surya adalah suatu alat penyulingan air berenergi surya yang memanfaatkan efek rumah kaca yang terjadi karena adanya penutup transparan pada dinding bangunan serta plat *hitam* sebagai pengumpul panas untuk menaikkan suhu udara ruang. Bahan dinding yang digunakan adalah polikarbonat, plastik *UV stabilizer*, kaca serat dan lain-lain. Lapisan transparan ini memungkinkan radiasi gelombang pendek dari matahari masuk ke dalam dan mengenai elemen-elemen bangunan. Hal ini menyebabkan radiasi gelombang pendek yang terpantul berubah menjadi gelombang panjang dan terperangkap dalam bangunan karena tidak dapat menembus penutup transparan sehingga menyebabkan suhu menjadi tinggi. Proses inilah yang dinamakan efek rumah kaca.

Jika matahari mengenai bahan tembus cahaya, maka sebagian sinar itu diteruskan selain diserap dan dipantulkan kembali. Oleh karena itu penutup transparan memerlukan bahan yang memiliki nilai transmisivitas yang tinggi dengan absorpsivitas dan reflektivitas yang rendah agar dapat menangkap gelombang pendek sebanyak mungkin.

Jenis Bahan	Transmisi Cahaya (%)	Transmisi Panas (%)
Udara	100	100
Kaca (<i>double strength</i>)	90	88
FRP (<i>fiberglass reinforced plastic</i>)	85-95	-
<i>Polyethylene</i> :		
a. 1 lapisan	88	-
b. 2 lapisan	81	-
c. dengan (3/16)" ruang udara	85	-
<i>Fiberglass</i> :		
a. bening (<i>clear</i>)	92-95	63-68
b. warna jade	81	61-68
c. kuning	64	37-43
d. putih salju	63	30-34
e. hijau	62	60-68
f. merah kekuningan	61	57-66
g. jernih (<i>canary</i>)	25	20-23

Tabel 2.2. Transmisi cahaya dan panas beberapa bahan transparan ^[2]

Pindah panas dalam efek rumah kaca berlangsung baik secara konveksi, konduksi dan radiasi dengan sumber energi panas berupa radiasi matahari.

Pada dasarnya sistem pengumpul surya udara terdiri dari pada plat yang dihitamkan yang terletak di dalam ruang tertutup. Dibagian atasnya terdapat plastik tembus sinar dan bagian bawah serta sisinya dibuat bahan perekat.

Bahan	Transmisi		Ketebalan (mm)	Jisim perluas (kgm^{-2})	Suhu maksimum operasi	Daya tahan
	Cahaya	Infrared				
Polimetil	91	1	3.2	37	60-95	10-20 tahun
Metakrilat						
Polikarbonat	84.4	6	3.2	3.8	121-123	5-7 tahun
Polivinil florida	91	43	0.1	0.14	108	Permukaan yang tidak rusak
Tedler						
Teflon FEP	96	13	0.05	0.1	205	30 tahun
Suntek	95					
Suntek yang dibuat daripada						
Serabut						
Sunlite biasa	83	6	0.1	1.5	93	20 tahun
Politena	86	77	0.8			1 tahun
Novolaks PVC	84	4	0.1			
Poliester milar	87	18	0.1			
PET	85		0.025	0.034	100*	
Kaca terapung	83	2	3.9	9.8		
Kaca kandungan	88	2	3.1	7.8		
Oksidasi yang kurang						

* untuk jangka waktu yang singkat saja

Tabel 2.3. Sifat bahan pengumpul surya^[2]

Kadar panas yang dapat diserap oleh penyerap bergantung pada bagaimana udara mengalir di atas dan di bawah pengumpul. Pada aliran udara yang rendah, aliran udara berbentuk lamina menyebabkan perpindahan panas berkurang di antara plat penyerap dengan udara. Apabila aliran udara ditingkatkan (dengan menggunakan kipas), alirannya bergolak dan perpindahan panas menjadi lebih baik. Oleh yang demikian, untuk kemampuan yang lebih tinggi, aliran udara dalam celah yang sempit adalah lebih baik.

- Kadar aliran udara dalam pengumpul dibatasi oleh dua faktor, yaitu : Kadar aliran yang tinggi (kadar aliran volume udara yang tinggi) meningkatkan kapasitas pengumpul panas tetapi menghasilkan suhu yang rendah.
- Kadar aliran udara yang tinggi dalam saluran yang sempit (*narrow ducts*) akan menyebabkan kejatuhan tekanan yang tinggi pula.

Kemampuan pengumpul mengumpulkan panas ditunjukkan sebagai kadar panas yang diterima oleh udara yang melalui pengumpul kepada jumlah sinar matahari yang menimpa pengumpul. Secara matematik ini dapat ditulis sebagai :

$$n_c = \frac{V \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot C_p \cdot 100\%}{A_c I_c} \dots\dots\dots(2.7)^{[2]}$$

dimana:

V = Volume yang melalui pengumpul ($m^3 s^{-1}$)

ρ = massa jenis udara (kgm^{-3})

ΔT = perubahan suhu udara ($^{\circ}C$)

C_p = Panas jenis udara ($J kg^{-1} ^{\circ}C$)

A_c = luas kolektor panas (m^2)

I_c = Iradiasi matahari (Wm^{-2})

Rumus ini ialah kemampuan pengumpul seketika, yaitu pada kondisi penyinaran jika kondisi penyinaran sekitar keadaan seperti tiupan angin keatas pengumpul, arah kemiringan pengumpul dan sebagainya berbeda maka pengumpul akan mempunyai kemampuan yang berbeda pula. Dengan demikian perlu diingat bahwa rumus 27 tidak memberikan kemampuan mutlak pengumpul, sebaliknya menyatakan kemampuan relatif terkait kondisi penyinaran dan lingkungan sekitar.

Kemampuan pengumpul juga ditentukan oleh bagaimana pengumpul dirancang dan bahan yang digunakan. Kebocoran udara yang melalui pengumpul, panas yang hilang

melalui konduksi panas pada bagian sisi dan dibawah pengumpul, kemampuan memantulkan sinar matahari, kesemuanya memberi gambaran kemampuan sistem pengumpul sinar matahari.

Kehilangan panas pada bagian permukaan di atas pengumpul dapat dikurangkan dengan memilih plastik penutup yang dibuat dari bahan yang tidak melanjutkan sinaran yang mempunyai panjang gelombang yang panjang (sinar inframerah) keluar dari bahan yang mempunyai kemampuan pancar rendah agar lebih banyak tenaga dari sinar yang diserap. Ruang udara di antara bahan penyerap dengan penutup juga memainkan peranan penting dalam kehilangan panas karena ruang udara adalah penyerap yang baik.

2.4. Kolektor Plat Datar

Kolektor pelat datar memanfaatkan fluida baik udara atau air untuk membawa energi panas yang dihasilkan. Berdasarkan konstruksinya kolektor pelat datar terdiri dari:

1. Lapisan transparan
2. Permukaan penyerap datar (*absorber*)
3. Penyekat panas (*isolator*)
4. Ruang aliran fluida
5. Kotak penyangga

Karakteristik radiasi pada sebuah kolektor pelat datar berbentuk gelombang pendek (*short wave*). Radiasi ini jika terperangkap dapat di ubah menjadi energi panas seperti terjadi pada sebuah kolektor. Lapisan transparan tersebut dari sebuah material yang di lewati radiasi seperti kaca dapat mentransmisikan radiasi tersebut lebih kurang 88% dan di serap oleh plat absorber yang terbuat dari pelat yang di cat hitam, absorber

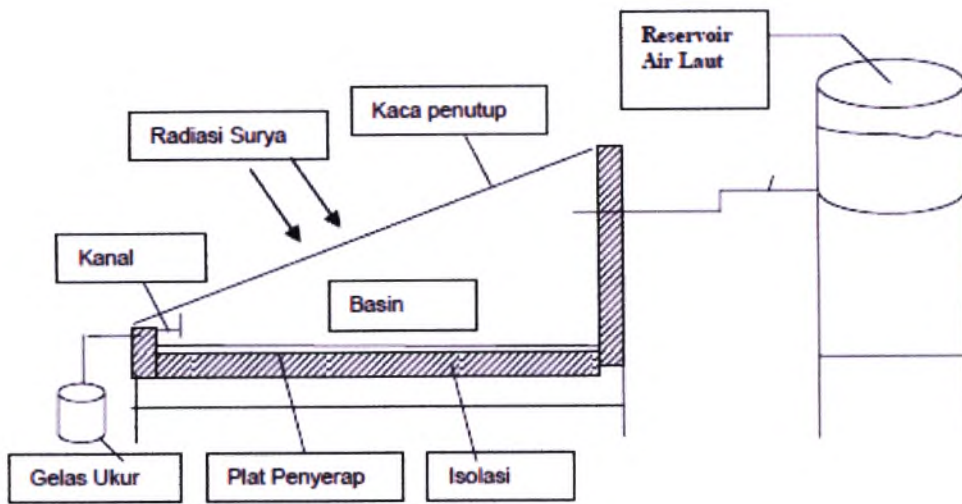
dapat menyerap radiasi tersebut 95% dan mentransmisikannya dalam bentuk gelombang panjang.

Dari sifat fisik material transparan seperti kaca yang dapat mentransmisikan gelombang pendek maka emisi radiasi dari absorber yang berbentuk gelombang panjang tidak dapat menembus kaca dan di pantulkan kembali ke plat absorber yang dikenal dengan efek rumah kaca (*greenhouse effect*) hingga radiasi terrefleksi dalam kolektor.

Radiasi yang sampai ke kolektor sebagian di refleksikan dan diserap absorber dan proses ini terus berlangsung sepanjang kolektor.

2.5. Destilasi Surya Type Basin

Prinsip kerja destilasi surya type basin sama seperti teori kolektor pelat datar, yang memanfaatkan efek rumah kaca (*greenhouse effect*). Radiasi surya menembus dan mengenai permukaan dari pelat penyerap maka pelat penyerap akan panas, dan energi panas dari pelat penyerap akan memanasi air laut yang ada di kolam (*basin*). Air ini akan menguap dan berkumpul di bawah permukaan kaca penutup. Oleh karena temperature udara didalam basin lebih tinggi dari temperature luar atau lingkungan, maka terjadi kondensasi yaitu uap berubah menjadi cair dan melekat pada kaca penutup bagian dalam. Cairan (air bersih) akan mengalir mengikuti kemiringan kaca penutup dan masuk kedalam kanal, terus mengalir kedalam tempat penampungan air bersih. Sedangkan garam akan tertinggal di atas pelat penyerap karena adanya perbedaan massa jenis.



gambar 2.3. alat destilasi air laut tipe basin dengan penutup kaca miring



Gambar 2.4. destilasi air laut yang akan dibuat

Untuk menentukan nilai dari energi yang berguna, energi yang hilang dan efisiensi dapat di gunakan persamaan berikut:

2.5.1. Energi radiasi yang di serap oleh pelat penyerap

$$Q_{in} = \alpha \cdot I_T \cdot A_c \quad (4) \dots\dots\dots(2.8)^{[4]}$$

Dimana:

- I_T = Intensitas surya (W/m^2)
- A_c = Luas pelat Penyerap (m^2)
- α = absorpsivitas plat penyerap

Tabel 2.4. panas laten untuk penguapan

Substance	Latent Heat Fusion kJ/kg	Melting Point °C	Latent Heat Vaporization kJ/kg	Boiling Point °C
Alcohol, ethyl	108	-114	855	78.3
Ammonia	339	-75	1369	-33.34
Carbon dioxide	184	-78	574	-57
Helium			21	-268.93
Hydrogen(2)	58	-259	455	-253
Lead ^[4]	24.5	327.5	871	1750
Nitrogen	25.7	-210	200	-196
Oxygen	13.9	-219	213	-183
R134a		-101	215.9	-26.6
Toluene		-93	351	110.6
Turpentine			293	
Water	334	0	2260 (at 100°C)	100