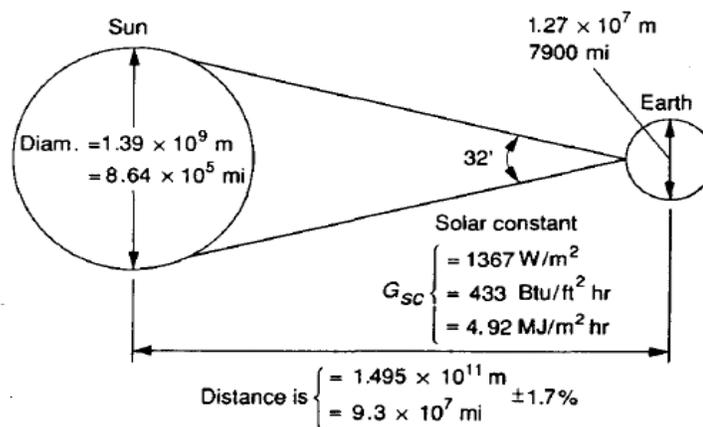


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Matahari

Radiasi yang diemiskan matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{SC}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%.



Gambar 2.1 Hubungan Bumi Dengan Matahari

(Duffie, 1980).

Pada gambar 2.1 yaitu hubungan antara bumi dan matahari memiliki jarak yang disebut dengan jarak eksentris dimana memiliki variasi sebesar 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata antara bumi dan matahari adalah $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$ dengan sudut kecenderungan matahari 32° memiliki nilai konstanta matahari (G_{SC}) sebesar 1367 W/m^2 . Intensitas radiasi matahari di luar

atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km dan hasilnya besar pancaran E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi. Insolation terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka insolation dapat mencapai hingga 1400 W/m^2 untuk jangka pendek.

2.2 Suhu Standar Penggunaan Air Rumah Tangga

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/menkes/sk/xi/2002 standar temperatur air panas untuk keperluan mandi dan mencuci tangan adalah $40 - 45 \text{ }^\circ\text{C}$. Berikut dibawah ini adalah tabel suhu standar penggunaan air untuk keperluan rumah tangga:

Tabel 2.1 Suhu Standar Penggunaan Air Untuk Keperluan Rumah Tangga

NO	JENIS PEMAKAIAN	TEMPERATUR($^\circ\text{C}$)
1	Minum	50 – 55
2	Mandi : Dewasa	42 – 45
	Mandi : Anak – Anak	40 – 42
3	Pancuran Mandi	40 -43
4	Cuci Muka Dan Tangan	40 – 42
5	Cuci Tangan Untuk	43
6	Bercukur	46 – 52
7	Dapur :	
	Macam – Macam Keperluan	45
	Pencucian Mesin Cuci	45 -60
	Pembilasan Mesin Cuci	70 – 80
8	Cuci Pakaian :	
	Macam – Macam Pakaian	60
	Bahan Sutra Dan Wol	33 – 49
	Bahan Linen Dan Katun	49 -60
9	Kolam Renang	21 -27
10	Cuci Mobil	24 -30

(Sumber: Nurhalim, 2011)

2.3 Penyediaan Air Minum

2.3.1 Air Minum

Menurut Permenkes RI No. 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa prosesn pengolahan yang melalui syarat dan dapat langsung diminum. Sementara, menurut Permendagri No. 23 tahun 2006 tentang Pedoman Teknis dan Tata Cara Pengaturan Tarif Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum, Departemen Dalam Negeri Republik Indonesia, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum.

2.3.2 Persyaratan Kualitas Air Minum

Persyaratan kualitas air minum sebagaimana yang ditetapkan melalui Permenkes RI nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum, meliputi persyaratan bakteriologis, kimiawi, radioaktif dan fisik. Terdapat 2 parameter kualitas air minum, yaitu sebagai berikut:

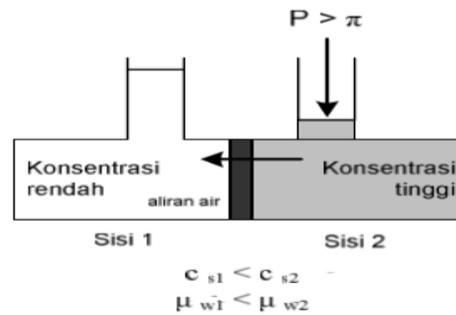
1. Parameter wajib yaitu:
 - a) Parameter microbiologi
 - b) Parameter kimia an-organik
2. Parameter yang tidak wajib yaitu:
 - a) Parameter fisik
 - b) Parameter kimiawi

Tabel 2.2 Persyaratan kualitas air minum menurut Permenkes RI nomor 492/MENKES/PER/IV/2010

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai NO ₂ ⁻)	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai NO ₃ ⁻)	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	suhu udara ± 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kesadahan	mg/l	500
	4) Khlorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5

2.3.3 Proses Pengolahan Air dengan Reverse Osmosis

Reverse osmosis adalah kebalikan dari fenomena osmosis. Osmosis adalah proses perpindahan larutan dari larutan dengan konsentrasi zat terlarut rendah menuju larutan dengan konsentrasi zat terlarut lebih tinggi sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi.



Gambar 2.2 Skema Fenomena Reverse Osmosis

Sumber: D. Ariyanti, 2016

Prinsip dasar reverse osmosis adalah memberi tekanan hidrostatis yang melebihi tekanan osmosis larutan sehingga pelarut dalam hal ini air dapat berpindah dari larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut tinggi ke larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut rendah seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Pada peristiwa reverse osmosis, pada sisi larutan dengan konsentrasi tinggi diberikan tekanan untuk mendorong molekul air melewati membran menuju sisi larutan air. Proses pemisahan ini akan memisahkan antara zat terlarut pada suatu sisi membran dan pelarut murni disisi yang lain. Sehingga, dalam proses reverse osmosis minimal selalu membutuhkan dua komponen yaitu adanya tekanan tinggi (high pressure) dan membran semi permeable.

Membran semipermeabel yang digunakan pada reverse osmosis disebut membran reverse osmosis (Membran RO). Memiliki ukuran pori kurang dari 1 nm karena ukuran porinya yang sangat kecil. membran RO disebut juga membran tidak berpori. Membran RO biasanya digunakan untuk pengolahan air, seperti, pengolahan air minum, destilasi air laut, dan pengolahan limbah cair. Saat ini membran RO juga banyak digunakan pada proses pengolahan air isi ulang, pada pengolahan air minum seperti pada pengolahan air isi ulang membran RO didesain untuk melewatkan molekul-molekul air dan menahan solid, seperti ion ion garam, membran RO dapat memisahkan dan menyisihkan zat terlarut dan zat organik, pirogen, koloid, virus dan bakteri dari air baku.

Membran semipermeabel pada aplikasi reverse osmosis terdiri dari lapisan tipis polimer pada penyangga berpori (fabric support). Membran untuk kebutuhan komersial harus memiliki sifat permeabilitas yang tinggi terhadap air. Selain itu, membran juga harus memiliki derajat semipermeabilitas yang tinggi dalam arti laju transportasi air melewati membran harus jauh lebih tinggi dibandingkan laju transportasi ion-ion yang terlarut dalam umpan. Membran juga harus memiliki ketahanan (stabil) terhadap variasi pH dan suhu. Kestabilan dari sifat-sifat tersebut dalam periode waktu dan kondisi tertentu dapat didefinisikan sebagai umur membran yang biasanya berkisar antara 3-5 tahun. Terdapat dua jenis polimer yang dapat digunakan sebagai membran reverse osmosis: selulosa asetat (CAB) dan komposit poliamida (CPA). Kedua jenis material membran ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada proses pembuatannya, kondisi operasi dan kinerjanya seperti yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.3 Jenis Membran Reverse Osmosis

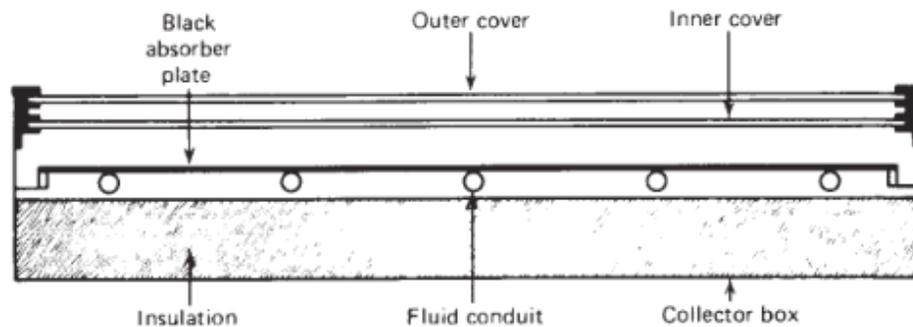
Batasan	Membran selulosa asetat	Lapisan tipis membran komposit
pH	pH 2-8	pH 2-11
Temperatur	5 ⁰ C-30 ⁰ C	5 ⁰ C-50 ⁰ C
Ketahanan terhadap serangan bakteri	Lemah	Sangat kuat
Ketahanan terhadap klorin	0-1 ppm	0-0.1 ppm
Rejeksi terhadap garam saat 60 psi	85-92%	94-98%
Rejeksi terhadap nitrat saat 60 psi	30-50%	70-90%
Cost relatif	Rendah	Tinggi

2.4. Kolektor Surya

Kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang kemudian diteruskan ke fluida yang berada di dalam pipa-pipa kolektor. Berdasarkan dimensi, geometri dan penyerapannya kolektor surya dibedakan menjadi tiga, yaitu:

2.4.1. Kolektor Surya Pelat Datar (*Flat Plat Collector*)

Kolektor Surya Pelat Datar merupakan sebuah media yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Kolektor surya plat datar mempunyai temperatur keluaran dibawah 95°C . Performansi kolektor dinyatakan dengan keseimbangan energi yang menggambarkan distribusi energi matahari yang datang terhadap energi yang bermanfaat dan beberapa energi yang hilang. (Philip Kristanto,2011).



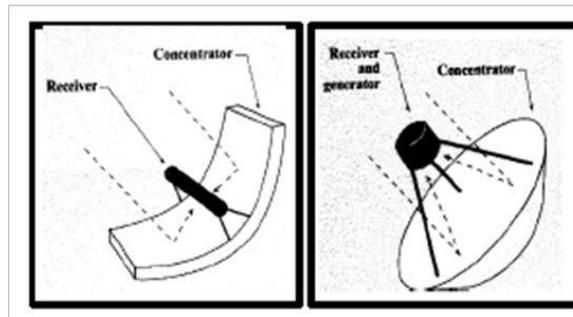
Gambar 2.3. Penampang kolektor plat datar dasar

(Philip Kristanto, 2011).

Prinsip kerja pada *solar water heater* dengan menggunakan pelat datar, yaitu bahwa air yang masuk kedalam kolektor melalui pipa distribusi yang akan mendapatkan panas yang baik melalui radiasi langsung matahari maupun konveksi. Hal ini di sebabkan energi radiasi matahari didalam kolektor yang dibatasi kaca bening tembus cahaya. Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa – pipa distribusi maka suhu air di dalam pipa tersebut akan secara langsung bertambah, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan masa jenis. Air yang bersuhu tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung akan mengalir kearah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang bersuhu rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung akan bergerak kebawah, sehingga terjadi konveksi secara alami (Marbun, 2009).

2.4.2. Concentrating Collector

Kolektor jenis ini diaplikasikan pada temperatur 100° – 400°C dan mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu *receiver*, sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh absorber. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmissivitas tinggi.



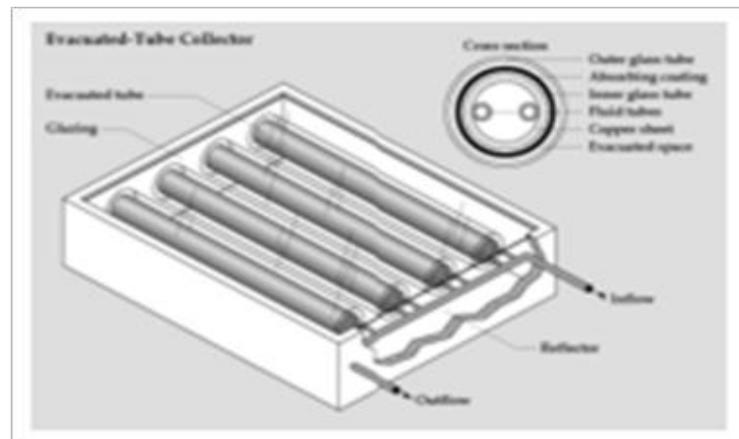
Gambar 2.4 Kolektor Surya Konsentrik

(Avianto, 2003).

Kolektor jenis konsentrik sesuai pada gambar 2.4 Agar cahaya matahari selalu dapat difokuskan terhadap tabung absorber, concentrator harus dirotasi. Pergerakan ini disebut dengan tracking. Temperatur fluida melebihi 400°C dapat dicapai pada sistem kolektor ini seperti terlihat pada gambar diatas.

2.4.3 *Evacuated Reciever*

Pada kolektor surya jenis ini dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kolektor pelat datar maupun kolektor konsentrik. Keistimewaannya terletak pada efisiensi transfer panasnya yang tinggi tetapi faktor kehilangan panasnya yang relatif rendah. kolektor surya jenis evacuated reciever fluida yang terjebak diantara absorber dan cover-nya dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi dari permukaan luar absorber menuju lingkungan.



Gambar 2.5 Kolektor Surya Jenis *Evacuated Reciever*

(Mintorogo, 2004).

2.5 Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) ialah ilmu tentang perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi panas itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga menjelaskan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 1983).

2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas melalui materi solid seperti dinding. Laju alir dari panas proporsional dengan perubahan temperatur yang melalui dinding dengan luasnya. Jika t merupakan temperatur dari dinding dan x merupakan ketebalan dinding dari arah flow panas maka laju alir panasnya sebagai berikut (Kern, 1965) :

$$dQ = kA \left(-\frac{dt}{dx} \right) \quad (2.1)$$

dimana :

dt = temperature difference 2 sisi masuk dan keluar panas ($^{\circ}\text{C}$)

dx = ketebalan dinding (m)

A = luas permukaan dinding (m^2)

k = konduktivitas thermal dinding [W/m^2 ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)]

2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas antara fluida panas dengan fluida dingin melalui proses pencampuran. Laju alir panas secara konveksi dapat menggunakan persamaan (Kern,1965) :

$$dQ = hA dt$$

dt = temperature difference fluida panas dan dingin ($^{\circ}\text{C}$)

A = luas permukaan kontak fluida (m^2)

h = koefisien heat transfer [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$]

2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi

Ketika radiasi dikeluarkan dari sumber radiasi ke penerima radiasi, sebagian energi di serap dan sebagian lagi dipantulkan. Berdasarkan hukum kedua termodinamika, Boltzman menetapkan laju transfer panas yang diberikan sebagai berikut (Kern,1965) :

$$dQ = \sigma \varepsilon dA T^4$$

σ = konstanta boltzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2$)

ε = emisivitas

A = luas permukaan absorber [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$]

T = Absolut Temperatur (K)

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja *Solar Water Heater*

Berikut ini merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi Kinerja *Solar Water Heater* menurut (Duffie & Beckman, 1980)

1. Kondisi Ambien

Jumlah radiasi menentukan banyaknya energy surya yang terserap oleh kolektor sementara temperatur ambien menentukan panas hilang dari kolektor.

2. Arah dan Kemiringan Kolektor

Umumnya, arah optimum untuk kolektor surya yakni azimuth 180° .

3. Susunan Kolektor

Kinerja *Soar Water Heater* bergantung pada susunan kolektor. Pada jenis parallel, modul inlet dan outlet diumpankan ke bagian *header*. Sementara pada susunan seri, kinerja dari modul pertama dan kedua kana berbeda dikarenakan temperature masuk modul kedua merupakan outlet temperature dari modul pertama.

4. Laju Alir Fluida

Laju alir yang rendah sekitar 1 – 4 gpm meningkatkan kinerja kolektor surya dengan cara meningkatkan penyimpanan stratifikasi tangki pemanas. Pada tangki pemanas, temperature fluida pada dasar penyimpanan tangki lebih rendah dibandingkan bagian atas. Temperature masuk kolektor akan tereduksi dikarenakan fluida masuk kolektor masuk dari bagian dasar tangki. Temperature inlet yang rendah mereduksi panas hilang.

2.7 Energi dan Efisiensi pada Kolektor Solar Water Heater

Hukum pertama termodinamikan merupakan penerapan kekekalan energi yang mana jumlah total energi selama proses konversi energi dan perpindahan energi adalah kekal.

2.7.1. Persamaan Energi pada Kolektor

Persamaan dasar neraca energi pada SWH dapat ditulis sebagai berikut:

Secara umum, dalam kondisi tunak, panas yang termanfaatkan oleh kolektor surya sama dengan energi yang diserap oleh cairan. Sehingga energi yang dikumpulkan dari kolektor dapat diperoleh dari rumus berikut (Sukhatme & J K, 1993) :

$$Q_u = m \cdot C_p (t_o - t_i)$$

Overall Heatloss Coefficient didapatkan dari penjumlahan antara *bottom heat loss coefficient* (U_b), *edge heat loss coefficient* (U_e) dan *top heat loss coefficient*.

Bottom heat loss coefficient (koefisien kehilangan panas bawah) ditentukan oleh jenis dan ketebalan isolasi. Bottom heat loss didapatkan dengan rumus :

$$U_b = \frac{k_{is}}{x_{is}}$$

Dimana,

U_b = Bottom heatloss coefficient (W/m²K)

k_{is} = Konduktivitas isolasi (W/mK)

x_{is} = Ketebalan isolasi (m)

Edge heat loss coefficient (koefisien kehilangan panas samping) ditentukan oleh jenis, ketebalan dan luas dari rangka. Edge heat loss didapatkan dengan rumus :

$$U_e = \frac{(UA)_e}{A_{cs}} = \frac{k_w/x_w \times 2(p_{cs}+l_{cs}) \times x_w}{A_{cs}}$$

Dimana :

k_w = Konduktivitas *Edge* bahan (W/mK)

x_w = Tebal (m)

p_{cs} = Panjang kolektor (m)

l_{cs} = Lebar kolektor (m)

Top heat loss coefficient (koefisien kehilangan panas atas) didapatkan dari persamaan yang dikembangkan oleh Klein (1979) sebagai berikut :

$$\left(\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} \frac{\sigma (T_{pm} + T_a) (T_{pm}^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0,00591 N h_w} + \frac{2N + f - 1 + 0,113 \varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N}$$

Dimana :

N = Jumlah kaca penutup

v = Kecepatan Angin (m/s)

h_w = Koefisien perpindahan panas antara kaca dan lingkungan

T_a = Temperatur Ambient (°C)

T_{pm} = Temperatur Plat rata-rata (°C)

f = Konstanta

β = Kemiringan kolektor

C = Konstanta

- e = Konstanta
 σ = Konstanta boltzman ($\text{W/m}^2\text{K}^4$)
 ε_g = Emitansi kaca
 ε_p = Emitansi plat

Heat removal factor/ faktor pemindahan panas, didefinisikan sebagai besaran yang menghubungkan penerimaan energi yang termanfaatkan dari kolektor dengan penerimaan energi termanfaatkan jika seluruh permukaan kolektor berada pada temperatur fluida masuk. Faktor pemindahan panas kolektor, F_R secara matematis ditulis dengan ;

$$F_R = \frac{m C_p (t_o - t_i)}{A [I \tau \alpha - U_L (t_c - t_a)}$$

Penerimaan energi berguna maksimum yang ada dalam kolektor terjadi ketika seluruh kolektor berada pada temperatur fluida masuk. Energi aktual yang dihasilkan merupakan perkalian dari faktor pemindahan panas dikalikan dengan hasil perolehan energi termanfaatkan maksimum ;

$$Q_u = F_R A [I \tau \alpha - U_L (t_c - t_a)]$$

Untuk kolektor plat datar persamaannya menjadi (Duffie dan Beckman) ;

$$Q_u = F_R A [I \tau \alpha - U_L \Delta T]$$

Dimana:

- F_R = faktor pemindah panas kolektor
 U_L = koefisien kehilangan panas kolektor ($\text{W/m}^2 \text{C}$)
 ΔT = perbedaan antara temperatur rata-rata pelat absorber (t_c) dan temperatur lingkungan (t_a)

Namun, dikarenakan sulit untuk mempresiksi U_L dan T_p secara bersamaan. Efisiensi termal kolektor dapat dihitung dengan persamaan berikut (Sukhatme & J K, 1993):

$$\eta = \frac{Q_{in}}{G_T A_a}$$

Dimana:

- A_a = Luas Plat Absorber (m^2)
 G_T = Intensitas Cahaya (W/m^2)

Q_u = Panas yang dimanfaatkan (Watt)

η = Efisiensi *thermal* kolektor