

SKRIPSI

***ANALISIS UNJUK KERJA SOLAR WATER HEATER MINI
SISTEM TERMOSIPON DENGAN PCM STORAGE***

DISUSUN OLEH

**LUKMAN HAKIM
D211 15 317**



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

SKRIPSI

***ANALISIS UNJUK KERJA SOLAR WATER HEATER MINI SISTEM
TERMOSIPON DENGAN PCM STORAGE***

OLEH:

LUKMAN HAKIM

D211 15 317

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

***ANALISIS UNJUK KERJA SOLAR WATER HEATER MINI SISTEM
TERMOSIPON DENGAN PCM STORAGE***

LUKMAN HAKIM

D211 15 317

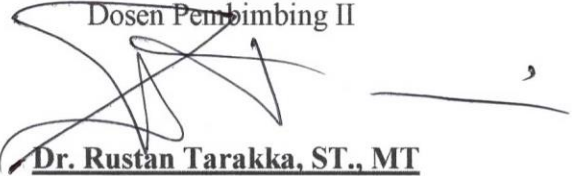
Gowa, 27 November 2020

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I


Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT
NIP. 19720825 200003 1 001

Dosen Pembimbing II


Dr. Rustan Tarakka, ST., MT
NIP. 197508272 00501 1 002



Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lukman Hakim
NIM : D211 15 317
Judul Skripsi : Analisis Unjuk Kerja Solar Water Heater Mini Sistem
Termosipon Dengan PCM Storage

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.


Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Makassar, 27 November 2020

Yang membuat pernyataan,




Lukman Hakim

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama lengkap : Lukman Hakim
Nama Panggilan : Lukman/Malika
Tempat / Tanggal Lahir : Sela, 31 Oktober 1996
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Golongan Darah : AB
Alamat : BTP Blok I no. 21 makassar
Telepon / No. HP : 085343825800
E-mail : lukmanhakim2431@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SDN 32 Sela (2002-2008)
- SMPN 2 Bungoro (2008-2011)
- SMAN 1 Pangkajene (2011-2014)
- Universitas Hasanuddin (2015-2020)

RIWAYAT ORGANISASI

- Sekertaris BE IPPMP-UH 2016-2017
- Kabid PPPA HMI kom. Teknik 2017-2018
- Kord. Keagamaan HMM FT-UH 2017-2018
- Ketua Umum BE HMM FT-UH 2018
- Staff KASTRA SMFT-UH 2019
- Staff PSDA BEM UNHAS 2019-2020

ABSTRAK

Penelitian mengenai pemanas air tenaga surya telah banyak dilakukan karena energi surya dianggap sebagai energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya yang tidak terbatas, oleh karena itu dilakukan penelitian guna mengembangkan efektivitas dari pemanas air tenaga surya yang sudah ada sebelumnya, penelitian ini membandingkan kinerja pelat *absorber* berbentuk-V yang diintegrasikan dengan *PCM Storage* sebagai *TES (Thermal Energy Storage)* dan pelat *absorber* datar tanpa *PCM storage*. *PCM* yang digunakan ialah *Paraffin Wax* ($C_{25}H_{52}$), Kemudian digunakan tangki agar terjadi efek termosipon. Pada penelitian ini menggunakan pemanas air mini dengan daya tampung tangki penyimpanan 25 liter. Penelitian ini dilakukan di laboratorium energi terbarukan Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode *Experimental Laboratory*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi termal rata-rata pelat *absorber* yang diintegrasikan dengan *PCM Storage* pada pukul 09:00 hingga 16:00 (waktu lokal) selama 3 hari sebesar 56,54%, untuk efisiensi termal rata-rata pelat datar tanpa *PCM Storage* sebesar 52,63 %. Maka kenaikan efisiensi termal dengan menggunakan *PCM Storage* sebagai *TES (Thermal Energy Storage)* sebesar 3,92 %. Lalu untuk temperatur di tangki, selama 3 hari pada pukul 09.00 hingga 20.00, temperatur tangki maksimum rata-rata pelat absorber yang diintegrasikan dengan *PCM Storage* adalah 54,7 °C. Sedangkan temperatur rata-rata pelat datar hanya 52,5 °C.

Kata Kunci : Pemanas Air, Termosipon, *PCM*, *TES (Thermal Energy Storage)*

ABSTRACT

Research on solar water heaters has been widely done because solar energy is considered as an environmentally friendly energy and it is an unlimited resources. The writers, therefore, conducted research on modification of absorber plate to develop the effectiveness of solar water heaters which already exists. This research compared the performance of V-shaped absorber plates integrated with PCM Storage as TES (Thermal Energy Storage) and flat absorber plates without PCM storage and the type of PCM used is Paraffin Wax (C₂₅H₅₂). Then used tanks in order to occur a thermosipon effect. This research was conducted in the renewable energy laboratory, Hasanuddin using the Experimental Laboratory method. The results of this research indicate that the average efficiency of the absorber plate integrated with PCM Storage at 09:00 to 16:00 (local time) for 3 days is 56.54% whereas for flat collectors have an average efficiency of 52.7%. This suggests that the use of PCM Storage on the absorber plate can increase the average efficiency by about 3,92 %. Then for the temperature in the tank, for 3 days at 09.00 until 20.00, the average temperature of the absorber plate integrated with PCM Storage is 54,7 °C. While the average temperature of the flat plate is only 52,5 °C.

Keywords: Water Heater, Thermosyphone, PCM, TES (Thermal Energy Storage)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya agar saya selaku penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini yang menjadi salah satu syarat kelulusan Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan salam serta salawat kita sampaikan kepada junjungan kita nabi Muhammad Saw yang telah membawa umat islam ke kehidupan yang lebih beradab.

Saya menyadari dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan skripsi ini telah selesai.

Pada kesempatan ini pula perkenankan penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini, ucapan terima kasih kepada:

1. Kepada Orang tua saya tercinta, Bapak Jalaluddin dan Ibu Hasnah, terima kasih atas semua kasih sayang, doa dan petuahnya yang tidak pernah putus. Kalian adalah semangat penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. Kepada kakak saya Muhammad Suwandi dan adik-adikku Putri dan naura yang selalu menjadi penyemangat, terima kasih doa dan dukungannya.
3. Ibu Prof. Dwia Aris Tina Pulubuhu, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya di tingkat universitas dan fakultas.
4. Bapak Dr-Eng. Jalaluddin, ST, MT. selaku Ketua Departemen Mesin FT-UH sekaligus pembimbing I yang selalu memberi saran dan masukan serta motivasinya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Rustan Tarakka, ST., MT selaku pembimbing II, terima kasih atas saran dan masukannya.
6. Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar ,ST.,MSc dan Ir. Andi Mangkau., ST selaku dosen penguji tugas Akhir.
7. Seluruh staf administrasi Departemen Mesin (Pak Mansyur, Pak Irwan, Kak Suri serta yang lain) yang membantu mengurus administrasi penulis selama kuliah .

8. Saudara-saudara seperjuangan penulis Hydraulic 2015 yang sudah menjadi *support system* paling hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka, yang bahkan saya tidak yakin bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik tanpa mereka.
9. Seluruh kanda senior serta adik-adik mahasiswa mesin khususnya dinda Udin, fahrul, komang, Dias, Kadapol dan Montu asli yang turut membantu saat pengerjaan alat penelitian.
10. Teman-teman sepemikiran, kos Lt 1 gedung Mesin ; Sulfadli Bahri (Bolobolo), Imam Adli Agil (Komeng), Hamdani (Pedrosa), Fahrul Islam (alili), Rizal Amil Aulia Kasman (Tizon jlk), Arifuddin (ngantuk), A Ilham akbar (bolang), Hasan (Jordi Aihihi), Syamsu Rijal S amin, Chatib Dwi Putra, Kaspar Youber nicous, Wahyudi (pocci), terima kasih untuk waktu yang tersita untuk membantu menyelesaikan alat serta menemani begadang di kampus.
11. Penghuni laboratorium Energi Terbarukan, (Kak Naldi, Kak Anis, Cisa, Pudding, Emil, Anan dan Bob)
12. Keluarga besar HMM FT-UH yang menjadi tempat belajar dan bermain selama menempuh kuliah terkhusus teman-teman mengurus HMM FT-UH Periode 2018.
13. Keluarga besar IPPMP-UH yang menjadi rumah pertama saat memasuki bangku perkuliahan.
14. Aditya Risvan sobat seperjuangan semasa praktek kerja lapangan, terima kasih atas atensi, support dan masukannya.
15. Semua pihak yang tidak sempat disebutkan namanya satu per satu.

Semoga Allah *swt* membalas kebaikan kalian semua baik dengan pahala ataupun rejeki. penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima keritikan dan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi ini kedepanya, agar berguna bagi pembaca nantinya

Gowa, 26 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
NOMENKLATUR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kolektor Matahari Pemanas Air	4
2.2 Perpindahan Panas	6
2.3 <i>Phase Change Material</i> (PCM)	9
2.4 Parafin Wax	11
2.5 Tahapan Perhitungan Efisiensi Termal Kolektor	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan	17
3.3 Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran	20
3.4 Tahapan Pengambilan Data	20
3.5 Diagram Alir Penelitian	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil	22

4.1.1 Contoh Perhitungan Efisiensi Termal Kolektor	22
4.1.2 Temperatur Air pada Inlet dan Outlet Kolektor serta Temperatur PCM (<i>Paraffin wax</i>)	29
4.1.3 Temperatur Tangki.....	31
4.1.4 Intensitas Matahari dan Kalor Diserap Air	33
4.1.5 Efisiensi Termal Kolektor.....	35
4.2 Pembahasan.....	37
4.2.1 Temperatur Air Pada Inlet Dan Outlet Kolektor Serta Temperatur PCM (<i>Paraffin wax</i>)	37
4.2.2 Temperatur Tangki.....	38
4.2.3 Intensitas Matahari dan Kalor Diserap Air	39
4.2.4 Efisiensi Termal Kolektor.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan.....	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kolektor Pemanas Air Plat V dengan <i>PCM Storage</i>	4
Gambar 2. 2 Sistem Termosipon.....	6
Gambar 2. 3 Konduksi pada dinding dengan tebal Δx dan luas A	7
Gambar 2. 4 Konveksi paksa dan konveksi bebas	7
Gambar 2. 5 Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan.....	9
Gambar 2. 6 Lapisan Bawah Kolektor	14
Gambar 2. 7 Jala-jala termal	15
Gambar 3. 1 Pelat absorber berbentuk-V (kiri) dan Kolektor dengan pelat absorber berbentuk datar (kanan)	17
Gambar 3. 2 Dimensi <i>Solar Water Heater Mini</i>	17
Gambar 3. 3 Dimensi Kolektor	18
Gambar 3. 4 Data Logger GL820	18
Gambar 3. 5 Termokopel	18
Gambar 3. 6 Weather station dan komputer.....	19
Gambar 3. 7 Parafin Wax.....	19
Gambar 3. 8 Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran.....	20
Gambar 3. 9 Diagram Alir penelitian.....	21
Gambar 4. 1 Hubungan temperatur air pada inlet dan outlet kolektor serta temperatur PCM terhadap waktu pada tanggal 11 Oktober 2020... 29	29
Gambar 4. 2 Hubungan temperatur air pada inlet dan outlet kolektor serta temperatur PCM terhadap waktu pada tanggal 12 Oktober 2020... 30	30
Gambar 4. 3 Hubungan temperatur air pada inlet dan outlet kolektor serta ... temperatur PCM terhadap waktu pada tanggal 13 Oktober 2020... 30	30

Gambar 4. 4 Hubungan temperatur tangki terhadap waktu pada tanggal 11 Oktober 2020	31
Gambar 4. 5 Hubungan temperatur tangki terhadap waktu pada tanggal 12 Oktober 2020	32
Gambar 4. 6 Hubungan temperatur tangki terhadap waktu pada tanggal 13 Oktober 2020	32
Gambar 4. 7 Hubungan intensitas Matahari dan Kalor Diserap Air terhadap waktu pada tanggal 11 Oktober 2020.....	33
Gambar 4. 8 Hubungan intensitas Matahari dan Kalor Diserap Air terhadap waktu pada tanggal 12 Oktober 2020.....	34
Gambar 4. 9 Hubungan intensitas Matahari dan Kalor Diserap Air terhadap waktu pada tanggal 13 Oktober 2020.....	34
Gambar 4. 10 Hubungan efisiensi termal kolektor terhadap waktu pada tanggal 11 Oktober 2020	36
Gambar 4. 11 Hubungan efisiensi termal kolektor terhadap waktu pada tanggal 12 Oktober 2020	36
Gambar 4. 12 Hubungan efisiensi termal kolektor terhadap waktu pada tanggal 13 Oktober 2020	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konduktivitas Termal beberapa Bahan Kolektor Matahari tertentu.....	5
Tabel 2. 2 Jenis-jenis PCM	10
Tabel 2. 3 Sifat fisik lilin parafin	11

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
I_T	Intensitas Matahari	W/m^2
\dot{m}	Laju Aliran Massa	kg/s
V_w	Kecepatan Angin	m/s
ρ	Densitas Air	kg/m^3
C_p	Kalor Spesifik Udara	$kJ/kg.K$
A_c	Luas Kolektor	m^2
T_p	Temperatur Pelat Absorber	$^{\circ}C, K$
T_a	Temperatur Udara Luar	$^{\circ}C, K$
T_{in}	Temperatur Air Masuk	$^{\circ}C, K$
T_{out}	Temperatur Air Keluar	$^{\circ}C, K$
T_{c-luar}	Temperatur Kaca Luar	$^{\circ}C, K$
$T_{c-dalam}$	Temperatur Kaca Dalam	$^{\circ}C, K$
ν	Visikositat Kinematik	m^2/s
D_h	Diameter Hidrolis	m
σ	konstanta Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8}$	$W/m^2.K^4$
h_{cp-c}	Koefisien Konveksi Penutup-Udara Luar	$W/m^2.K$
h_{rc-a}	Koefisien Radiasi Pelat-Penutup	$W/m^2.K$
h_f	Koefisien Konveksi Pelat ke Air	$W/m^2.K$
R_1, R_2	Tahanan Termal	m^2K/W
k_p	Konduktivitas Termal Kertas	$W.m.K$
k_a	Konduktivitas Termal Alumunium	$W.m.K$

k_{pp}	Konduktivitas Termal Polypropylene	W.m.K
L_p	Ketebalan Kertas	m
L_a	Ketebalan Alumunium Foil	m
L_{pp}	Ketebalan Polypropylene	m
g	Percepatan Gravitasi	m/s^2
U_t	Koefisien perpindahan panas Atas	W/m^2K
U_b	Koefisien perpindahan panas Bawah	W/m^2K
U_L	Koefisien perpindahan panas Total	W/m^2K
S	Radiasi Surya Per Satuan Luas	W/m^2
q_u	Energi yang Berguna	W
η	Efisiensi	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.

Air panas merupakan salah satu kebutuhan kehidupan sehari-hari, mulai dari keperluan rumah tangga seperti mencuci piring, mencuci pakaian sampai dengan mandi. Selain itu air panas juga sering digunakan di industri seperti membersihkan botol dan lain sebagainya. Untuk memperoleh air panas tersebut dapat menggunakan beberapa cara seperti menggunakan bahan bakar fosil sampai dengan energi listrik, akan tetapi karena cadangan bahan bakar fosil semakin menipis, Maka dibutuhkan suatu alat untuk mendapatkan air panas dengan cara yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Maka salah satu cara mengatasi persoalan tersebut yaitu pemanas air tenaga surya. (Darmoko. 2018)

Penelitian tentang sistem pemanas air tenaga matahari sangat penting karena akan meningkatkan efisiensi dan efektivitas dari teknologi pemanas air tenaga matahari, terhadap produk yang ada di pasaran sekarang ini. Model-model pemanas air tenaga matahari sudah banyak dikembangkan, salah satunya pemanas air dengan pelat absorber berbentuk V. kemudian ada juga model pelat absorber V yang dilengkapi dengan *Phase Change Material* (PCM) yang berperan sebagai *Thermal Energy Storage* (TES) yang terbukti mampu menaikkan efisiensi kolektor sebesar 7 % per debitnya. (Juan Octapiano,2018)

Selain pelat absorber, komponen penting yang lainnya adalah tangki penyimpanan. Adanya tangki penyimpanan pada Pemanas Air Tenaga Matahari juga akan memudahkan menyimpan energi termal dalam fluida kerja sehingga energi termal dapat digunakan ketika malam hari. Efek termosipon diharapkan akan terjadi untuk mengalirkan fluida dari dan menuju tangki. Prinsip termosipon dimulai dari air yang berada pada panel matahari mengalami pemanasan dan akan bergerak ke sisi atas dan masuk ke dalam tangki. Pada saat yang bersamaan, air di dalam tangki yang bersuhu rendah

terdorong turun ke dalam panel kolektor. Pergerakan perputaran air ini bergerak secara berkesinambungan sehingga terjadi sirkulasi air secara mekanis yang mengakumulasi peningkatan suhu air di dalam tangki (Dimas, 2015). Berdasarkan hal tersebut, pengembangan tentang model baru dari sistem Pemanas Air Tenaga Matahari sangat diperlukan.

Pada penelitian sebelumnya (Hamdana Syam. 2019) merancang pemanas air tenaga surya mini dengan modifikasi pelat absorber berbentuk V yang terintegrasi dengan *Phase Change Material* (PCM) berkapasitas 25 liter untuk kebutuhan satu orang. Penelitian ini merupakan rancangan model baru karena di pasaran kapasitas pemanas air tenaga surya yang tersedia paling rendah yaitu 100 liter, dengan jumlah pakai 4-5 orang, sehingga kurang efektif untuk pemakaian minimum 1 orang.

Penyerapan panas, kehilangan panas pada permukaan dan transfer panas ke fluida kerja serta penyimpanan panas Thermal Energy Storage (TES) dan tangki penyimpanan adalah hal-hal yang berpengaruh pada efisiensi sistem. Untuk mengetahui unjuk kerja rancang bangun sistem *solar water heater* mini dengan modifikasi pelat absorber berbentuk V yang terintegrasi dengan *Phase Change Material* (PCM) maka perlu dibandingkan dengan *solar water heater* mini pelat datar tanpa PCM untuk melihat perbedaan efisiensi kedua sistem tersebut.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka akan dilakukan penelitian dengan judul : “Analisis Unjuk Kerja *Solar Water Heater* Mini sistem Termosipon dengan *PCM Storage*”

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja *solar water heater* mini sistem termosipon dengan PCM *storage* dan tanpa PCM *storage*.
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *PCM Storage* pada efisiensi termal *solar water heater* mini sistem termosipon

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kinerja *solar water heater* mini sistem termosipon dengan PCM *Storage* dan tanpa PCM *storage*.

2. Menganalisis pengaruh penggunaan *PCM Storage* terhadap efisiensi termal *solar water heater* mini sistem termosipon

1.4 Batasan Masalah

1. Pelat absorber yang digunakan berbentuk V sudut 41° dengan *PCM storage* dan bentuk datar tanpa *PCM storage*
2. *PCM* yang digunakan adalah *paraffin wax* ($C_{25}H_{52}$)
3. Kemiringan kolektor 10°

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menemukan rancang bangun *solar water heater* mini sistem termosipon dengan modifikasi pelat absorber berbentuk V yang terintegrasi dengan *PCM Storage*
2. Memberikan informasi bagaimana pengaruh penyerapan panas, kehilangan energi panas ke permukaan dan transfer energi panas ke fluida kerja serta penyimpanan panas pada *PCM Storage*.
3. Memberikan informasi pengaruh penggunaan *PCM Storage* pada efisiensi *solar water heater* mini
4. Sebagai referensi desain untuk aplikasi nyata pemanfaatan teknologi untuk kepentingan masyarakat luas.

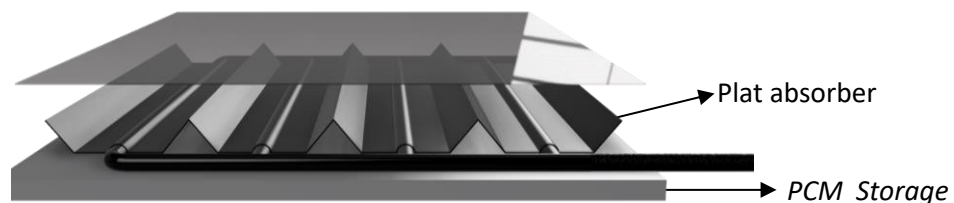
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kolektor Matahari Pemanas Air

Kolektor matahari adalah sistem pengumpul radiasi matahari yang dikonversikan dalam bentuk energi panas. Panjang gelombang radiasi matahari yang dapat diserap oleh kolektor matahari adalah 0.29 sampai dengan 2.5 μm (Yosa Y,2007). Selanjutnya, energi panas pada pelat absorber ditransfer ke air yang mengalir dalam pipa.

Komponen-komponen sebuah kolektor matahari pelat datar terdiri dari permukaan “hitam” sebagai penyerap energi radiasi matahari yang kemudian dipindahkan ke fluida. Penutup tembus cahaya (kaca) berfungsi mengurangi efek radiasi dan konveksi yang hilang ke atmosfer. Pipa-pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkungan. (Philip dkk,2000). Salah satu jenis kolektor adalah kolektor dengan plat absorber bentuk V yang terintegrasi dengan *PCM storage* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Kolektor Pemanas Air Plat V dengan *PCM Storage*

2.1.1 Pelat absorber

Bahan dasar absorber harus mempunyai konduktivitas termal yang baik agar terjadi pindah panas yang baik dari absorber ke pipa-pipa pemanas, beberapa bahan-banan dasar yang dapat dipakai sebagai absorber diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Konduktivitas Termal beberapa Bahan Kolektor Matahari tertentu

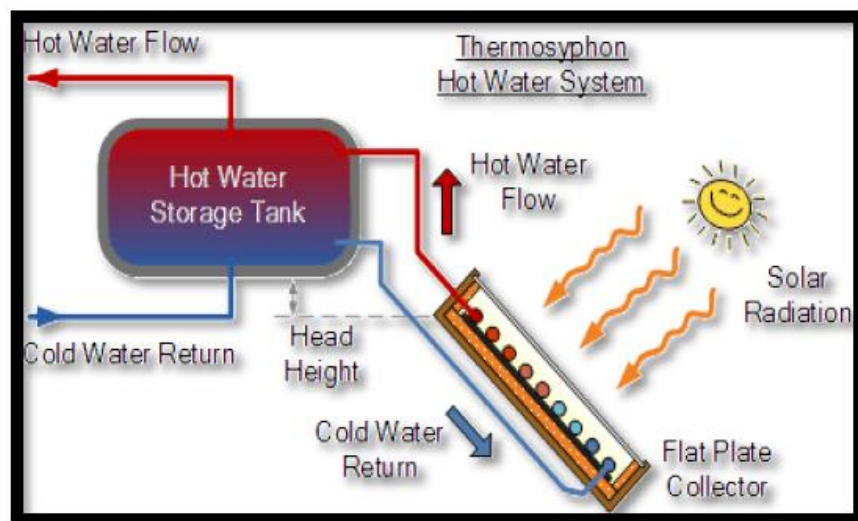
Bahan	Konduktivitas termal (k), W/(m.K)
Tembaga	385.0
Alumunium	211.0
Timah putih	66.0
Baja, 1% karbon	45.0
Baja tahan karat	16.0

Setelah membandingkan kinerja kolektor matahari dengan pelat absorber yang berbentuk gelombang atau V dengan pelat absorber yang datar, hasil yang dipaparkan adalah bahwa pelat absorber bentuk V memberikan efisiensi lebih tinggi dari yang datar (Philip dkk,2000).

2.1.2 Termosipon

Prinsip termosipon ini diterapkan dengan mengatur ketinggian tangki penyimpanan yang harus lebih tinggi sedikit daripada panel. Sistem sirkulasi alami ini diharapkan akan lebih menghemat energi karena tidak memerlukan pompa. Prinsip termosipon dimulai dari air yang berada pada panel matahari mengalami pemanasan dan akan bergerak ke sisi atas dan masuk ke dalam tangki. Pada saat yang bersamaan, air di dalam tangki yang bersuhu rendah terdorong turun ke dalam panel kolektor. Pergerakan perputaran air ini bergerak secara berkesinambungan sehingga terjadi sirkulasi air secara mekanis yang mengakumulasi peningkatan suhu air di dalam tangki. Pergerakan perpindahan antara air bersuhu tinggi digantikan dengan air bersuhu rendah dapat bergerak secara mekanis tanpa bantuan pompa tambahan. Air bersuhu tinggi disimpan di dalam tangki, kemudian dialirkan melalui pipa-pipa penghubung dan disalurkan sesuai kebutuhan. Efek termosipon dapat terjadi dengan perbedaan temperatur minimum sekitar 10°C (Firnada dkk, 2015).

Untuk mengurangi jumlah panas yang hilang oleh air dalam tangki penyimpanan, digunakan tangki yang dilengkapi isolasi termal. Isolasi juga berguna sebagai penghalang resiko bakar bagi pengguna jika mereka menyentuh bagian luar tangki ketika air panas (Hosni. 2012). Adapun sistem termosipon dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Sistem Termosipon
(Sumber : (Firnada dkk, 2015)

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai berpindahnya panas dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah (Kreith,F, 1986). Analisis termodinamika berkaitan dengan banyaknya perpindahan panas pada suatu sistem, yang selalu terjadi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah hingga mencapai titik seimbang (tidak ada perbedaan temperatur).

Perpindahan panas sangat banyak ditemui dalam *Engineering system* ataupun kehidupan sehari-hari. Pada penelitian kali ini perpindahan panas yang terjadi ada 3 yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

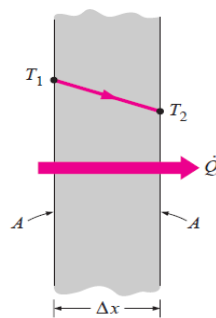
2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada satu medium atau pada medium yang berlainan tanpa disertai perpindahan partikel

zat (Kreith,F, 1986). Dapat dilihat pada Gambar 2.3 energi yang dipindahkan dari konduksi dapat dituliskan dengan persamaan :

$$Q = k \times A \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots (1)$$

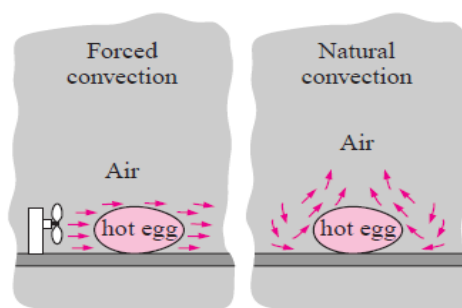
- Dimana :
- Q : Banyaknya energi yang dipindahkan (joule)
 - k : Konduktivitas benda (W/m.°C)
 - ΔT : perbedaan temperatur
 - Δx : Ketebalan benda (m)



Gambar 2. 3 Konduksi pada dinding dengan tebal Δx dan luas A
(Sumber : (Cengel, 2003)

2.2.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena partikel zat bersuhu tinggi berpindah tempat ke partikel zat bersuhu lebih rendah. Umumnya konveksi terjadi pada satu medium cair dan gas (Kreith,F, 1986). Jenis perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Konveksi paksa dan konveksi bebas
(Sumber : (Cengel, 2003)

Adapun persamaan untuk menghitung besarnya panas yang terjadi akibat konveksi ialah (Cengel, 2003) :

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(2)$$

- Dimana: Q : Besarnya kalor yang dikonveksikan (joule)
 h : koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
 A : luas permukaan terjadinya konveksi (m^2)
 T_s : temperatur permukaan benda padat ($^\circ C$)
 T_∞ : temperatur fluida yang cukup jauh ($^\circ C$)

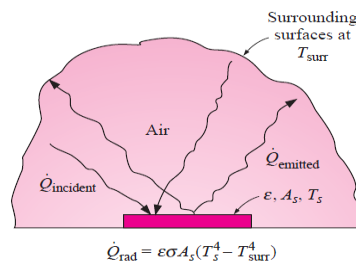
2.2.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh material dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau cahaya) yang merupakan perbukan konfigurasi atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, perpindahan energi melalui radiasi tidak memerlukan medium perantara untuk berpindah, dapat dilihat pada Gambar 2.5. Faktanya energi radiasi bergerak lebih cepat dibandingkan konduksi dan konveksi (secepat cahaya) dan tetap dapat bergerak dalam hampa udara , dengan inilah panas dari matahari dapat mencapai bumi.

Radiasi adalah fenomena *volumetric* yang dimana semua benda baik padat cair maupun gas memancarkan dan menyerap radiasi, dan biasanya radiasi dihubungkan dengan benda padat yang buram, misalnya metal, kayu ataupun batu,adapun besarnya radiasi yang dapat diserap oleh suatu benda dapat dituliskan dalam persamaan (Cengel, 2003).

$$Q = \varepsilon\sigma AT_s^4 \dots\dots\dots(3)$$

- Dimana Q : Kalor radiasi yang diserap (joule)
 ε : Emisivitas benda
 σ : $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$
 T_s : Temperatur permukaan benda (K)



Gambar 2. 5 Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan
(Sumber : (Cengel, 2003)

2.3 Phase Change Material (PCM)

Phase Change Material (PCM) Penyimpanan energi bisa dilakukan dalam bentuk panas sensibel, panas laten, atau hasil energi kimia yang dapat balik (reversibel). Energi yang disimpan tersebut tidak hanya digunakan untuk memanaskan suatu fluida, tetapi juga mampu untuk mendinginkan atau mempertahankan temperatur suatu fluida agar tetap konstan. Penyimpanan energi kimia belum digunakan secara praktis. Hal ini disebabkan biaya dan penggunaannya memerlukan perhatian khusus. Saat ini, penelitian tentang material penyimpan panas dipusatkan pada panas sensibel dan panas laten.(Firmansyah dkk, 2013)

2.3.1 Panas Laten

Suatu bahan biasanya mengalami perubahan temperatur bila terjadi perpindahan panas antara benda dengan lingkungannya. Pada suatu situasi tertentu, aliran panas ini tidak merubah temperturnya. Hal ini terjadi bila bahan mengalami perubahan fasa. Misalnya padat menjadi cair (mencair), cair menjadi uap (mendidih) dan perubahan struktur kristal (zat padat). Energi yang diperlukan disebut panas transformasi. Energi yang diperlukan disebut kalor transformasi. Kalor yang diperlukan untuk merubah fasa dari materi bermassa m adalah (Firmansyah dkk, 2013):

$$Q = mLe \dots\dots\dots(4)$$

- Dimana: Q : Kalor laten zat (J)
 Le : Kapasitas kalor spesifik laten (J/kg)
 m : Massa zat (kg)

2.3.2 Panas Sensibel

Tingkat panas atau intensitas panas dapat diukur ketika panas tersebut merubah temperatur dari suatu benda. Perubahan intensitas panas dapat diukur dengan termometer. Ketika perubahan temperatur didapatkan, maka dapat diketahui bahwa intensitas panas telah berubah dan disebut sebagai panas sensibel. Dengan kata lain, panas sensibel adalah panas yang diberikan atau yang dilepaskan oleh suatu jenis fluida sehingga temperaturnya naik atau turun tanpa menyebabkan perubahan fasa fluida tersebut. Material yang digunakan sebagai PCM harus memiliki panas laten yang besar dan konduktifitas termal yang tinggi. PCM tersebut juga harus memiliki temperatur titik cair yang bekerja pada rentang temperatur yang diizinkan, reaksi kimia yang stabil, biaya rendah, tidak beracun, dan tidak menyebabkan korosi. (Firmansyah dkk, 2013).

$$Q = mC\Delta T \dots\dots\dots(5)$$

- Dimana, Q : Kalor Sensibel zat (J)
 C : Kapasitas kalor spesifik Sensibel (J/kg)
 m : Massa zat (kg)
 ΔT : Perbedaan suhu

Dari penjelasan diatas untuk mengetahui jenis material yang baik sebagai PCM dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Jenis-jenis PCM

Jenis PCM	Titik leleh (°C)	Panas peleburan laten (kJ/kg)
Parafin	47,5	232
Azobenzene	67,1	121
Acetic acid	16,7	184
K ₂ HPO ₄ 6H ₂ O	14	109
Galium	30	80,3
CaCl ₂ +MgCl ₂ +6H ₂ O	14,4	140

2.4 Parafin Wax

Lilin Parafin, merupakan hidrokarbon jenuh dengan rantai terbuka dan merupakan senyawa alkana. Lilin parafin adalah campuran senyawa hidrokarbon alkana yang mengandung 21- 50 atom karbon. Ketika pemisahan residu minyak bumi, jumlah atom karbon pada lilin parafin berkisar 40-50 atom. Komposisi dari setiap anggota senyawa alkana tersebut menyesuaikan dengan rumus C_nH_{2n+2} , yang mana n adalah jumlah atom karbon dalam molekul. Lilin parafin adalah suatu campuran dari hidrokarbon yang dipenuhi massa molekular yang tinggi, diproduksi selama penyulingan dari minyak/petroleum. Lilin parafin, terbaru dari petroleum, memiliki nilai yang paling komersial. Adapun sifat fisiknya dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Yoshua, dkk,2012)

Tabel 2. 3 Sifat fisik lilin parafin

Sifat fisik	Nilai
Melting	40°C - 53°C
Heat of fusion (hf)	251 kJ/kg
Cp (solid)	1,92 kJ/kg.K
Cp (liquid)	3,26 kJ/kg.K
k (solid)	0,514W/m.K
k (liquid)	0,224W/m.K
ρ (density)	830 kg/m ³

2.5 Tahapan Perhitungan Efisiensi Termal Kolektor

2.5.1 Analisa perpindahan panas konveksi

Adapun koefisien perpindahan panas konveksi yaitu:

- A. Koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dengan udara luar.

Koefisien perpindahan panas konveksi oleh kaca penutup transparan terhadap udara luar (Munahar, 2015), didasarkan pada hembusan angin di atas penutup transparan:

Bilangan Reynold,

$$Re = V \frac{L}{\nu} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana: V = kecepatan angin, m/s
 ν = viskositas kinematik, m²/s
 L = Panjang karakteristik penutup, m

Bilangan Nusselt, N_u

$$Nu = 0,94Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(7)$$

$$h_w = \frac{Nu_L \cdot k}{L} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana: h_w = koefisien konveksi, W/m.K

B. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan penutup.

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan penutup (h₁) didekati dengan persamaan (Munahar, 2015),
 Bilangan Nusselt, N_u

$$Nu_u = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/2} - 1 \right]^+ \dots\dots\dots(9)$$

Dimana: β = sudut kemiringan kolektor

Rayleigh Number, R_a:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana: ΔT : beda temperatur antara pelat dengan cover, K

L : jarak pelat dengan Penutup, m

α : *thermal diffusivity*, m²/s

Sehingga diperoleh:

$$h_{c_{p-c}} = \frac{Nu \cdot k}{L} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana: L : Panjang karakteristik penutup, m

C. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan fluida kerja.

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan fluida kerja yang melibatkan aliran dalam (*internal flow*) dengan asumsi *heat fluks* konstan (Holman, 1981), yaitu:

Untuk aliran laminar maka:

$$h_{c\ p-f} = \frac{Nu.kf}{D_h} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana: N_u : bilangan nusselt
 D_h : diameter hidrolisis, m

D_h adalah diameter hidrolisis dari pipa (Holman, 1981), yaitu:

$$D_h = \frac{4.A}{P} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana: A : Luas penampang, m^2
 P : Keliling pipa, m

2.5.2 Analisa perpindahan panas radiasi.

Adapun koefisien perpindahan panas radiasi yaitu:

A. Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dengan udara luar.

Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup terhadap udara luar (Holman, 1981) dapat dihitung berdasarkan:

$$h_{r_{c-a}} = \epsilon_c \frac{\sigma(T_c^4 + T_s^4)}{(T_c - T_s)} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana: ϵ_c = *emisivitas* penutup
 σ = konstanta Stefan-Boltzman ($5,6697 \times 10^{-8}$, W/m^2K^4)
 T_c = temperatur penutup, K
 T_a = temperatur udara luar, K

T_s adalah *sky temperature* yang berkaitan dengan temperatur udara luar (Cengel, dkk, 2003), sehingga dapat dihitung berdasarkan:

$$T_{sky} = 0,0552 . T_a^{1,5} \dots\dots\dots(15)$$

B. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup

Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup, yaitu :

$$h_{r_{p-c}} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p} + \frac{1}{F_{1-2} \cdot A_p} + \frac{1-\epsilon_c}{\epsilon_c \cdot A_c}} \dots\dots\dots(16)$$

- Dimana: ϵ_c :emisivitas cover
 ϵ_p :emisivitas pelat
 A_p :Luas Absorber (m²)
 A_c : Luas penutup (m²)

2.5.3 Koefisien perpindahan panas kolektor.

Jala-jala termal dapat dilihat pada gambar 2.7, koefisien perpindahan panas kolektor yang akan dihitung yaitu (Munahar, 2015):

A. Koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas (U_t).

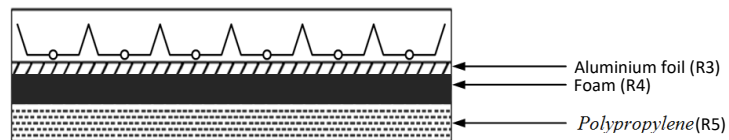
Dari rangkaian termal,

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r_{c-a}}} \dots\dots\dots(17)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{c_{p-c}} + h_{r_{p-c}}} \dots\dots\dots(18)$$

$$U_t = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \dots\dots\dots(19)$$

B. Koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Lapisan Bawah Kolektor

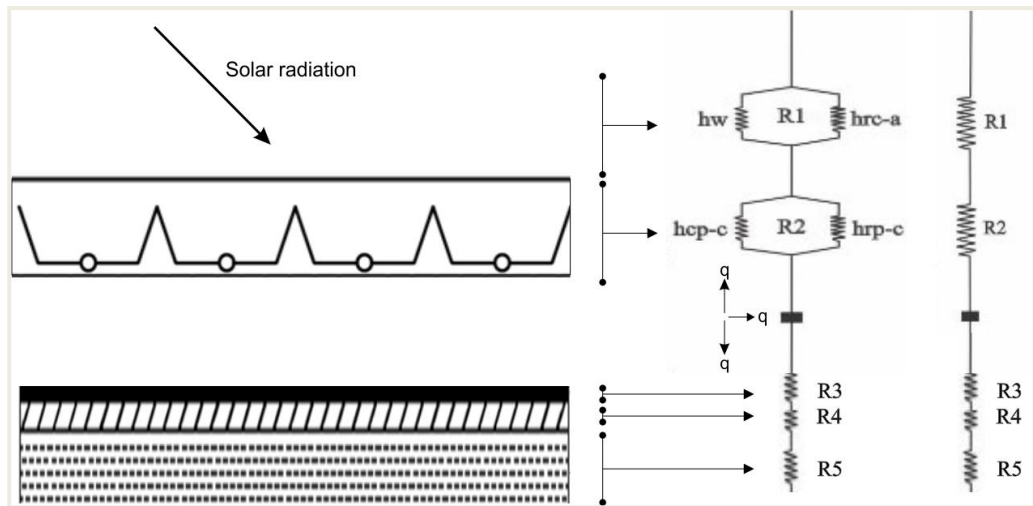
$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_a}{k_a} + \frac{L_f}{k_f} + \frac{L_p}{k_p} + \frac{1}{h_{p-f}} \right]} \dots\dots\dots(20)$$

- Dimana: L_f : ketebalan foam, m
 L_a : ketebalan alumunium foil, m
 L_p : ketebalan polypropylene, m
 k_f : konduktivitas foam,W/mK

- k_a : konduktivitas aluminium foil, W/mK
- k_{pp} : konduktivitas polypropylene, W/mK
- h_{p-f} : koefisien konveksi pelat ke air, W/m²K

Koefisien perpindahan panas total kolektor sesuai Gambar 2.7 dapat diketahui bahwa :

$$U_L = U_t + U_b \dots \dots \dots (21)$$



Gambar 2. 7 Jala-jala termal

2.5.4 Efisiensi termal kolektor (Teoritis)

Efisiensi termal kolektor dipengaruhi oleh radiasi matahari yang diserap.

A. Faktor efisiensi termal kolektor (F')

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \dots \dots \dots (22)$$

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \dots \dots \dots (23)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_{p-f}} \right]} \dots \dots \dots (24)$$

Dimana: W : Jarak antara pipa, m

- D : Diameter luar pipa, m
- D_i : Diameter dalam, m
- k : Konduktivitas termal *absorber*, W/m.K
- δ : Tebal *absorber*, m

B. *Collector flow factor* (F'')

$$\dot{m} = \frac{-U_L \cdot F' \cdot A_c}{C_p \cdot \ln \left[1 - \frac{U_L \cdot (T_{out} - T_{in})}{S - U_L(T_{in} - T_A)} \right]} \dots\dots\dots(25)$$

$$F'' = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \frac{\frac{S}{U_L} - (T_{f,o} - T_a)}{\frac{S}{U_L} - (T_{f,i} - T_a)} \right] \dots\dots\dots(26)$$

- Dimana: \dot{m} : laju aliran massa, kg/s
 S : Radiasi matahari yang diserap oleh *absorber*,
 A_c : luasan absorber, m²
 T_{f,o}: temperatur fluida keluar, K
 T_{f,i} : temperatur fluida masuk, K

C. Faktor pelepasan panas (FR) (Munahar, 2015):

$$F_R = F' \cdot F'' \dots\dots\dots(27)$$

Sehingga diperoleh panas yang berguna (q_u):

$$q_u = A_c \cdot F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \dots\dots\dots(28)$$

Dan diperoleh efisiensi kolektor (η):

$$\eta = \frac{q_u}{A_c I_T} \dots\dots\dots(29)$$

I_T = intensitas matahari total, W/m²