

SKRIPSI

***ANALISIS PENGARUH PCM STORAGE PADA PELAT
ABSORBER PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI***

DISUSUN OLEH

**MUH. NURHIDAYAT
D021 17 1518**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH PCM STORAGE PADA PELAT
ABSORBER PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI

DISUSUN OLEH
MUH. NURHIDAYAT
D021 17 1518

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTASTEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022

LEMBAR PENGESAHAN

***ANALISIS PENGARUH PCM STORAGE PADA PELAT
ABSORBER PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI***

Disusun dan diajukan oleh

MUH. NURHIDAYAT

D021171518


Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin

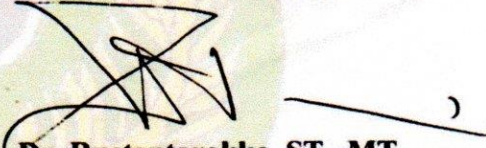
Pada tanggal 12 Agustus 2022

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 200003 1 001


Dr. Rustantarakka, ST., MT
NIP. 19750827 200501 1 002



Ketua Departemen Teknik Mesin,


Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : MUH. NURHIDAYAT
NIM : D021 17 1518
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS PENGARUH PCM STORAGE PADA PELAT ABSORBER PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Agustus 2022

Yang Menyatakan



MUH. NURHIDAYAT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Muh. Nurhidayat

Tempat Tanggal Lahir : Tonggoni, 02 September 2000

Alamat : BTP Blok F NO.13, Makassar

Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam

Telepon : 085 346886 030/085 219 805 879

E-mail : mnurhidayat601@gmail.com



RIWAYAT PENDIDIKAN

SDN 2 TONGGONI (2005-2011)

SMPS ANTAM POMALAA (2011-2014)

SMKN 1 BAULA (2014-2017)

Universitas Hasanuddin (2017-2022)

RIWAYAT ORGANISASI

OKFT-UH
HMM FT-UH

PENGALAMAN MAGANG (*INTERNSHIP*)

PT. INDUSTRI KAPAL INDONESIA

ABSTRAK

Penelitian mengenai pemanas air tenaga matahari 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 menganalisis kinerja *solar water heater* mini sistem termosipon dengan PCM *storage*, *storage full PCM* dan pelat 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 untuk kolektor pelat absorber V dengan PCM *storage full* 67,88%, sementara untuk pelat datar tanpa PCM *storage* sebesar 62,37% dan untuk pelat absorber V dengan PCM *storage* sebesar 64,86%. Kenaikan efisiensi antara pelat absorber V dengan PCM *storage* dan *storage full PCM* sebesar 3,02%. Dan kenaikan efisiensi antara antara pelat absorber V dengan *storage full PCM* dan pelat datar tanpa PCM *storage* sebesar 5,51%.

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

ABSTRACT

Research on solar water heaters has been widely carried out because solar energy is considered environmentally friendly energy and its availability is unlimited, therefore research is carried out to develop the effectiveness of pre-existing solar water heaters, this study analyzes the performance of mini solar water heaters. thermosiphon system with PCM storage, full PCM storage and without PCM storage. PCM used is Paraffin Wax (C₂₅H₅₂), then a tank is used to create a thermosiphon effect. In this study using a mini water heater with a storage tank capacity of 25 liters. This research was conducted in the renewable energy laboratory of Hasanuddin University using the Experimental Laboratory method. The results of this study indicate that the average thermal efficiency for absorber plate collector V with full PCM Storage is 67.88%, while for flat plate without PCM Storage it is 62.37% and for absorber plate V with PCM storage is 64.86%. The increase in efficiency between the absorber plate V with PCM storage and full PCM storage is 3.02%. And the increase in efficiency between the absorber plate V with full PCM and flat plate without PCM Storage is 5.51%.

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

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Alhamdulillah, Puji dan Syukur kita panjatkan kepada Allah SWT. Dzat yang hanya kepada-Nya memohon pertolongan karena atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***“analisis pengaruh pcm storage pada pelat absorber pemanas air tenaga matahari”*** yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik bagi umat manusia.

Penulis 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 skripsi dan penelitian ini telah selesai.

Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr-Eng. Jalaluddin, ST, MT Selaku Pembimbing pertama dan Bapak Dr. Ir. Rustan Tarakka, ST, MT selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan banyak pelajaran berharga bagi penulis yang tidak bisa ternilai, meluangkan waktu dan tenaganya dan juga memberikan motivasi dan ide-ide kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tidak Lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ayahanda Anton yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan semangat kepada penulis dan ibunda Jumriah Arsyad yang tanpa lelah dari kecil merawat dengan penuh kasih sayang yang tulus kepada penulis hingga saat ini, dan memberikan dukungan dan semangat yang tiada habisnya kepada penulis, dan juga kepada saudara serta keluarga besar yang namanya tidak dapat disebutkan satu-persatu yang selalu memberikan bantuan serta dukungan kepada penulis.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. Selaku Rektor Universitas Hasanuddin.

2. Yth Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin
5. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Ibu Suri, Pak Irwan dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
6. OKFT-UH dan HMM FT-UH yang menjadi tempat belajar dan bermain selama proses perkuliahan maupun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Asta Hidayanti yang telah menemani dan memberikan dukungan berupa semangat, motivasi, serta inspirasi untuk terus berjuang menyelesaikan tugas akhir.
8. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
9. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin Angkatan 2017 ZYNCROMEZH yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini.
10. Kanda-kanda senior HYDRAULIC¹⁵ dan COMPREZZOR¹⁶ serta adik REACTOR¹⁸, BRUZHLEZZ¹⁹, ZTATOR²⁰, dan DEZILTER²¹ yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman-teman di Disya Kost yang selalu menjadi tempat bersukacita penulis.
12. Teman-teman di IPMAP-SULTRA yang selalu mendukung serta memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir

tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

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 kritikan dan saran yang membangun agar penulis dapat terus berkembang kedepannya.

Gowa, 19 2022

MUH. NURHIDAYAT

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
NOMENKLATUR.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Perumusan masalah.....	3
1.3. Tujuan penelitian.....	3
1.4. Batasan masalah.....	3
1.5. Manfaat penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pemanas air teanaga matahari	4
2.2 Perpindahan Panas	6
2.3 <i>Phase Change Material</i> (PCM)	8
2.4 Parafin Wax	10
2.5 Tahapan perhitungan efisiensi termal kolektor	11
BAB III	18
METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan tempat penelitian.....	18
3.2 Alat dan bahan yang digunakan	18
3.3 Skema instalasi pengujian dan titik pengukuran.....	22
3.4 Tahapan pengambilan data	22
3.5 Diagram Alir Penelitian	23
BAB IV	24
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Hasil.....	24

4.2 Pembahasan	40
BAB V	43
KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
1.1. Kesimpulan.....	43
1.2. Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kolektor pemanas air pelat V dengan <i>PCM storage</i>	4
Gambar 2. 2 Sistem termosipon	6
Gambar 2. 3 Konveksi paksa dan konveksi bebas	7
Gambar 2. 4 Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan	8
Gambar 2. 5 Jala-jala termal	11
Gambar 2. 6 Lapisan bawah kolektor	15
Gambar 3. 1 Pelat absorber berbentuk V <i>PCM storage</i> (kiri) dan <i>storage full PCM</i> (kanan).....	18
Gambar 3. 2 Dimensi <i>solar water heater</i> mini.....	19
Gambar 3. 3 Dimensi kolektor	19
Gambar 3. 4 Data logger GL820	20
Gambar 3. 5 Termokopel	20
Gambar 3. 6 Weather station dan komputer.....	21
Gambar 3. 7 Paraffin wax	21
Gambar 3. 8 Skema instalasi pengujian dan titik pengukuran	22
Gambar 3. 9 Diagram alir penelitian	23
Gambar 4. 1 Hubungan temperatur air pada inlet dan outlet kolektor terhadap waktu pada tanggal 08 September 2021	32
Gambar 4. 2 Hubungan temperatur air pada inlet dan outlet kolektor terhadap waktu pada tanggal 09 September 2021	33

Gambar 4. 3 Hubungan temperatur air pada inlet dan outlet kolektor terhadap waktu pada tanggal 14 September 2021.....	34
Gambar 4. 4 Hubungan intensitas matahari dan kalor diserap air terhadap waktu pada tanggal 08 September 2021	35
Gambar 4. 5 Hubungan intensitas matahari dan kalor diserap air terhadap waktu pada tanggal 09 September 2021	36
Gambar 4. 6 Hubungan intensitas matahari dan kalor diserap air terhadap waktu pada tanggal 14 September 2021	36
Gambar 4. 7 Hubungan efisiensi termal kolektor terhadap waktu pada tanggal 8 September 2021	37
Gambar 4. 8 Hubungan efisiensi termal kolektor terhadap waktu pada tanggal 9 September 2021	38
Gambar 4. 9 Hubungan efisiensi termal kolektor terhadap waktu pada tanggal 14 September 2021	39

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	Visikositas 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.

Indonesia merupakan negara tropis yang dimana daerahnya dilalui oleh garis khatulistiwa, sehingga setiap tahunnya Indonesia menerima energi matahari yang sangat besar, namun pemanfaatan energi matahari tersebut tidak sebanding dengan banyak energi yang tersedia, energi matahari masih kurang pemanfaatannya di Indonesia.

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. Salah satu cara mengatasi persoalan tersebut yaitu pemanas air tenaga matahari. (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)

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.

Berdasarkan hal tersebut, pengembangan tentang hal baru dari sistem pemanas air mini tenaga matahari yang diusulkan ini sangat di perlukan. Penyerapan panas, kehilangan panas pada permukaan dan transfer panas ke fluida kerja secara penyimpanan panas pada *Thermal Energy Storage* (TES) adalah hal yang berpengaruh pada efisiensi sistem.

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 pengaruh PCM storage pada pelat absorber pemanas air tenaga matahari”***

1.2 Perumusan masalah

1. Bagaimana kinerja *solar water heater* mini sistem termosipon dengan PCM *storage*, *storage full PCM* dan pelat datar tanpa PCM *storage*.
2. Bagaimana efisiensi pemanas air tenaga matahari dengan variasi (PCM *storage* & *Storage full PCM*).

1.3 Tujuan penelitian

1. Menganalisis kinerja *solar water heater* mini sistem termosipon dengan PCM *storage*, *storage full PCM* dan pelat datar tanpa PCM *storage*.
2. Menentukan efisiensi pemanas air tenaga matahari dengan variasi (PCM *storage* & *Storage full PCM*).

1.4 Batasan masalah

1. Jumlah yang di gunakan adalah PCM *storage* dan *storage full PCM*
2. PCM yang digunakan adalah *paraffin wax* ($C_{25}H_{52}$)
3. Kemiringan kolektor 10°

1.5 Manfaat penelitian

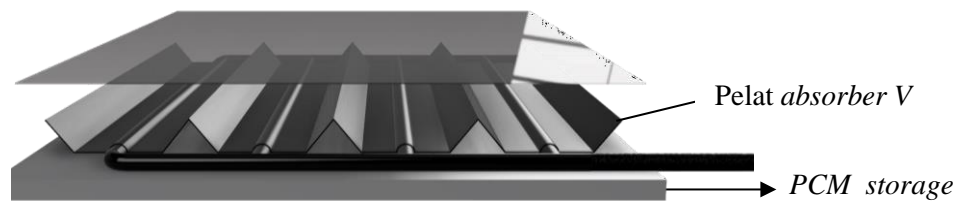
1. Memberikan informasi bagaimana pengaruh penyerapan panas, kehilangan energi panas ke permukaan dan transfer energi panas ke fluida kerja serta penyimpanan panas pada *PCM storage*.
2. Memberikan informasi pengaruh penggunaan *PCM storage* pada efisiensi *solar water heater* mini
3. Sebagai referensi desain untuk aplikasi nyata pemanfaatan teknologi untuk kepentingan masyarakat luas.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanas air tenaga matahari

Pemanas air tenaga matahari adalah sebuah alat yang berfungsi untuk memanaskan air dengan memanfaatkan energi matahari.

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 pelat absorber bentuk V yang terintegrasi dengan *PCM storage* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Kolektor pemanas air Pelat V dengan *PCM storage* (Lukman Hakim, 2020)

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-bahan dasar yang dapat dipakai sebagai absorber diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Konduktivitas termal beberapa bahan kolektor matahari tertentu (Philip dkk,2000).

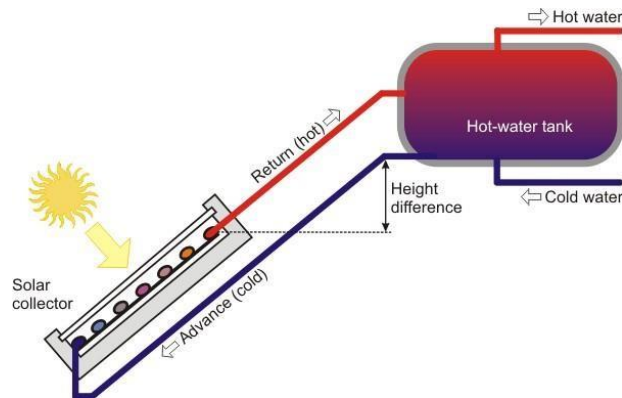
Bahan	Konduktivitas termal (k), W/(m.K)
Tembaga	385.0
Alumunium	211.0
Timah putih	66.0
Baja, 1% karbon	45.0
Baja tahan karat	16.0

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 didalam tangki. Pergerakan perpindahan antara air bersuhu tinggi digantikan dengan air bersuhu rendah dapat bergerak secara mekanis tanpa bantuan pompa tambahan. Air bersuhu tinggi disimpan 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.



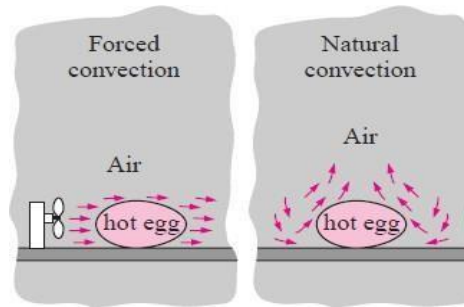
Gambar 2. 2 Sistem termosipon (Hosni. 2012).

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). Pada penelitian ini memakai 2 jenis perhitungan perpindahan panas yaitu:

2.2.1 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena partikel zat bersuhu tinggi berpindah tempat ke partikel zat bersuhu lebih rendah. Pada alat solar water heater ini, perpindahan panas secara konduksi yang terjadi yaitu melalui pelat absorber ke material dan air dalam pipa. Jenis perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 3 Konveksi paksa dan konveksi bebas (Cengel, 2003)

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

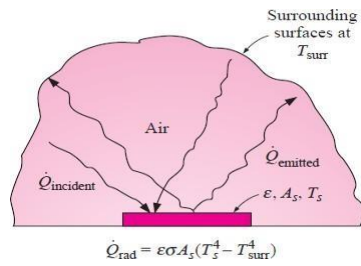
$$Q = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2.1)$$

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 ($^\circ C$)

2.2.2 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh material dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau cahaya) sebagai hasil dari pergantian dalam konfigurasi elektromagnetik pada 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.



Gambar 2. 4 Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan (Cengel, 2003).

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).

$$Q = \epsilon \sigma A T_s^4 \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

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

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 temperaturnya. Hal ini terjadi bila bahan mengalami perubahan fasa. Misalnya padat menjadi cair (mencair), cair menjadi uap (mendidih) dan perubahan strukturkristal (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):

$$Q = mLe..... (2.3)$$

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 intensitaspanas 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).

$$Q = mC\Delta T \dots\dots\dots(2.4)$$

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 (Firmansyah dkk, 2013).

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

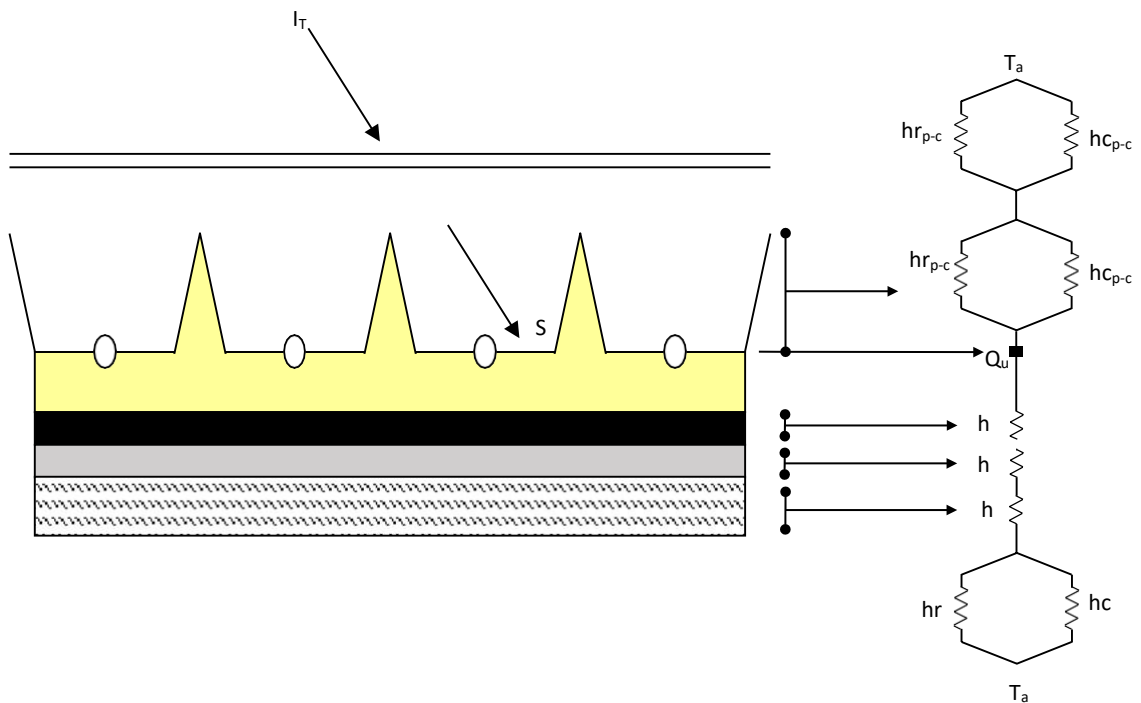
Lilin Parafin, merupakan hidrokarbon jenuh dengan rantai terbuka dan merupakan senyawa alkana. Lilin parafin adalah campuran senyawa hidrokarbon alkana yang mengandung 21- 50 atom karbon. Ketika pemisahan residu minyak bumi, jumlah atom karbon pada lilin parafin berkisar 40-50 atom. Komposisi dari setiap 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.

Tabel 2. 3 Sifat fisik lilin parafin (Yoshua, dkk, 2012).

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

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas kolektor, maka jala-jala termal dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 5 Jala-jala termal

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 diatas penutup transparan:

Bilangan Reynold,

$$Re = V \frac{L}{\nu} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

V : Kecepatan angin, m/s

ν : Viskositas kinematik, m²/s

L : Panjang karakteristik penutup, m

Bilangan Nusselt, Nu

$$Nu = 0,94Re_L^{1/2}Pr^{1/3} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$h_w = \frac{Nu_L \cdot k}{L} \dots\dots\dots(2.7)$$

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, Nu

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ +$$

$$\left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/2} - 1 \right]^+ \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

β : Sudut kemiringan kolektor

Rayleigh Number, R_a :

$$R_a = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

ΔT : Beda temperatur antara pelat dengan cover, K

L : Jarak pelat dengan Penutup, m

α : *Thermal diffusivity*, m^2/s

Sehingga diperoleh:

$$Nu \cdot k \dots\dots\dots (2.10)$$

$$h_{c_{p-c}} = \frac{\dots\dots\dots}{L}$$

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 laminer maka:

$$h_{c_{p-f}} = \frac{Nu \cdot k_f}{D_h} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

Nu : Bilangan Nusselt

D_h : Diameter hidrolisis, m

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

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \dots\dots\dots (2.12)$$

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:

$$h_{r_{c-a}} = \varepsilon_c \frac{\sigma(T_c^4 + T_s^4)}{(T_c - T_s)} \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana:

- ε_c : *Emisivitas* penutup
- σ : Konstanta Stefan-Boltzman ($5,6697 \times 10^{-8}$, W/m²K⁴)
- 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:

$$T_{sky} = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} \dots\dots\dots(2.14)$$

- B. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup

Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup, yaitu :

$$h_{r_{p-c}} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p} + \frac{1}{F_{1-2} \cdot A_p} + \frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c \cdot A_c}} \dots\dots\dots(2.15)$$

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 2.6, koefisien perpindahan panas kolektor yang akan dihitung yaitu (Munahar, 2015):

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

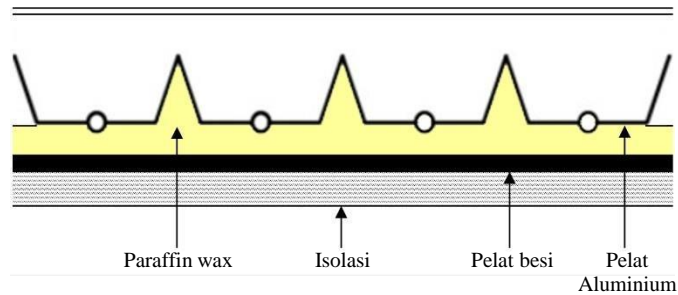
Dari rangkaian termal,

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r_{c-a}}} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{c_{p-c}} + \frac{1}{h_{r_{p-c}}}} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$U_t = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \dots\dots\dots(2.18)$$

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



Gambar 2. 6 Lapisan bawah kolektor

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_a}{k_a} + \frac{L_f}{k_f} + \frac{L_p}{k_p} + \frac{1}{h_{p-F}} \right]} \dots\dots\dots(2.19)$$

k_a k_f k_p h_{p-F}

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 alumunium 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 2.6 dapat diketahui bahwa :

$$U_L = U_t + U_b \dots\dots\dots (2.20)$$

2.5.4 Efisiensi termal kolektor (Teoritis)

Efisiensi termal kolektor dipengaruhi oleh radiasi matahari yang diserap.

A. Faktor efisiensi termal kolektor (F')

$$\frac{U_L}{k\delta} \sqrt{\dots\dots\dots} m = \dots\dots\dots (2.21)$$

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_{p-f}} \right]} \dots\dots\dots (2.23)$$

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'')

$$\dot{m} = \frac{-U_L \cdot F' \cdot A_c}{C_p \cdot \ln \left[1 - \frac{U_L \cdot (T_{out} - T_{in})}{S - U_L(T_{in} - T_A)} \right]} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$F'' = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \frac{\frac{S}{U_L} - (T_{f,o} - T_a)}{\frac{S}{U_L} - (T_{f,i} - T_a)} \right] \dots\dots\dots(2.25)$$

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):

$$F_R = F' \cdot F'' \dots\dots\dots(2.26)$$

Sehingga diperoleh panas yang berguna (q_u):

$$q_u = A_c \cdot F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \dots\dots\dots(2.27)$$

Dan diperoleh efisiensi kolektor (η):

$$\eta = \frac{q_u}{A_c I_T} \dots\dots\dots(2.28)$$

I_T = Intensitas matahari total, W/m²