

SKRIPSI

PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SERBUK TEMBAGA SEBAGAI THERMAL STORAGE TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR TERHADAP EFESIENSI SOLAR WATER HEATER

Disusun dan diajukan oleh



MUH. ALIFKA FIKRIANSYAH ASHARI

D021191120

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Pengaruh Penggunaan Material Komposit Serbuk Tembaga Sebagai Thermal Storage Terintegrasi Pada Plat Absorber Berbentuk Datar Terhadap Efisiensi Solar Water

Disusun dan diajukan oleh

MUH ALIFKA FIKRIANSYAH ASHARI

D021 19 1120

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 06 September 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Tugas Akhir,



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

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUH. ALIFKA FIKRIANSYAH ASHARI
NIM : D021191120
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

***“PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SERBUK TEMBAGA
SEBAGAI THERMAL STORAGE TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER
BERBENTUK DATAR TERHADAP EFESIENSI SOLAR WATER HEATER”***

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Makassar, 28 April 2024

Yang membuat Pernyataan,

MUH. ALIFKA FIKRIANSYAH ASHARI



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

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 penelitian dan skripsi ini telah selesai.

Dengan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SERBUK TEMBAGA SEBAGAI THERMAL STRORAGE TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR TERHADAP EFESIENSI SOLAR WATER HEATER”**, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami penggunaan *solar water heater*.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, ST., MT., selaku Pembimbing penulis yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen penguji, Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. Dan bapak Prof. Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., MT., yang telah memberikan banyak masukan yang sangat bermanfaat untuk menyempurnakan skripsi penulis.
5. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu dan memudahkan penulis selama pengurusan berkas.
6. Kedua orang tua tercinta, Ir. H. Ashari Ibnu Hadjar dan Sitti Saadiyah Peter Hamzah, ST., MT., yang telah memberikan doa, kasih sayang dan dukungan yang

sangat luar biasa kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini, serta seluruh keluarga besar atas dorongan dan motivasi yang telah diberikan.

7. Saudara tercinta, St Athiyah Syahbani dan Muh Rafi Triasad atas segala dukungan dan kebaikan yang diberikan kepada penulis.
8. Saudara tidak sedarah penulis, Family Nuri yang telah menemani dan membantu penulis selama penyusunan skripsi.
9. Suci Widyaningsih yang telah memberikan banyak dukungan dan semangat kepada penulis sejak awal penulisan skripsi.
10. Tim Anggota Riset di Laboratorium Energi Terbarukan, bapak Muhammad Basri Katjo dan Muh. Anis Ilahi R atas segala bantuan yang diberikan selama pengambilan data dan penyusunan skripsi penulis.
11. BRUZHLEZZ 2019, Terimakasih untuk waktu-waktu yang telah dihabiskan bersama penulis sampai hari ini.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Mesin.

Makassar, 28 April 2024

Penulis,

ABSTRAK

MUH. ALIFKA FIKRIANSYAH ASHARI, *Pengaruh Penggunaan Material Komposit Serbuk Tembaga Sebagai Thermal Storage Terintegrasi Pada Pelat Absorber Berbentuk Datar Terhadap Efisiensi Solar Water Heater* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T dan Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.)

Penggunaan energi fosil secara terus menerus akan berdampak serius bagi lingkungan. Hal tersebut dapat diatasi dengan mengembangkan sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan energi fosil dan tidak habis pakai dengan memanfaatkan sumber energi alternatif disekitar kita. Berbagai macam penelitian dilakukan untuk mengembangkan komponen yang dapat meningkatkan performa termal pemanas air tenaga surya, salah satunya adalah dengan memodifikasi Pelat absorber dari kolektor surya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan dengan dua kali percobaan untuk menguji pengaruh penggunaan *Phase Change Material* sebagai *Thermal Storage* terhadap efisiensi kolektor *solar water heater*, percobaan pertama tanpa menggunakan material *Phase Change Material*, percobaan kedua dengan menggunakan variasi ketebalan *Phase Change Material*, dengan parameter *flowrate* yaitu 10 liter/jam, dengan sudut kolektor 0° serta volume *Thermal Storage* yaitu 4 mm, 8 mm dan 12 mm dengan memperhatikan temperatur inlet dan temperatur outletnya. Efisiensi gabungan plat serbuk tembaga mencapai 91,42% pada menit ke-150 . Penggunaan Plat Standar dengan campuran lilin berada di urutan kedua untuk efisiensi terbaik dengan nilai sebesar 83,30 %. Efisiensi paling rendah terjadi pada saat menggunakan Plat Standar dengan nilai 72,66 % pada menit ke-155

Kata Kunci: Efisiensi, Kolektor Surya, Plat Standar, *Phase Change Material*, *Thermal Energy Storage*.

ABSTRACT

MUH. ALIFKA FIKRIANSYAH ASHARI, *The Effect of Using Copper Powder Composite Material as Integrated Thermal Storage on Flat Absorber Plates on the Efficiency of Solar Water Heaters (supervised by Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin. S.T., M.T and Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.))*

The continuous use of fossil energy will have a serious impact on the environment. This can be overcome by developing renewable energy sources that can replace fossil energy and are not used up by utilizing alternative energy sources around us. Various kinds of research have been carried out to develop components that can improve the thermal performance of *solar water heaters*, one of which is by modifying the absorber plate of the solar collector. The method used in this research is an experimental method, namely a method used with two experiments to test the effect of using Phase Change Material as Thermal Storage on the efficiency of the *solar water heater* collector, the first experiment without using Phase Change Material, experiment was by using variations in the thickness of the Phase Change Material, with a flowrate parameter of 10 liters/hour, with a collector angle of 0° and a Thermal Storage volume of 4 mm, 8 mm and 12 mm taking into account the inlet temperature and outlet temperature. The combined efficiency of the copper powder plate reached 96,25% at 163 minutes. The use of Standard Plates with a wax mixture is in second place for the best efficiency with a value of 88,68% at the 171th minute. The lowest efficiency occurred when using a Standard Plate with a value of 89,90% at the 160th minute

Keywords: *Efficiency, Solar Collector, Standard Plate, Phase Change Material, Thermal Energy Storage.*

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ASTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
NOMENKULATUR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Solar Water Heater	4
2.2 Kolektor Surya	5
2.3 Kolektor Surya Plat Datar	6
2.4 Pelat Absorber Bentuk Datar.....	6
2.5 Penyimpanan Energi Panas (Thermal Energy Storage, TES)	8
2.6 Phase Change Materials (PCM)	9
2.7 Serbuk Tembaga.....	12
2.8 Formulasi Keseimbangan Energi pada <i>Solar Thermal Collector</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Waktu Penelitian dan Tempat	18
3.2 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	18
3.3 Prosedur Penggunaan Alat Laboratorium Gunt ET-202	22

3.4 Metode Penelitian.....	23
3.5 Variabel Penelitian	24
3.6 Tahapan Pengambilan Data.....	25
3.7 <i>Flowchart</i> Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Analisa Hasil Pengujian Eksperimental	27
4.2 Pembahasan	40
BAB V KESIMPULAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sirkulasi Solar Water Heater (SWH) Langsung	4
Gambar 2. 2 Sirkulasi Solar Water Heater (SWH) Tidak Langsung	5
Gambar 2. 3 Kolektor Surya	5
Gambar 2. 4 Plat Datar	6
Gambar 2.5 Penyimpanan Panas	10
Gambar 2. 6 Tahanan Thermal pada Kolektor	14
Gambar 3. 1 (a) Solar Thermal Energy Gunt ET-202, (b) Solar Thermal Energy Gunt ET-202	19
Gambar 3. 2 Skema Penelitian	19
Gambar 3. 3 Data Logger GL 820	20
Gambar 3. 4 Termokopel	20
Gambar 3. 5 Komputer	20
Gambar 3. 6 Dimensi Kolektor	21
Gambar 3. 7 Flowchart Penelitian	26
Gambar 4. 1 Intensitas Cahaya dari Sumber Kalor	43
Gambar 4. 2 Temperatur inlet dan outlet pada kolektor	43
Gambar 4. 3 Energi kalor yang diserap kolektor	44
Gambar 4. 4 Variasi pelat standar dan penambagan thermal storage terhadap efisiensi	45
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan temperatur pelat absorber kolektor standar dan kolektor dengan penambahan material thermal energy storage	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel parameter pengukuran efisiensi solar kolektor	23
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

<i>Lampiran 1. Tabel Properties of miscellaneous material.....</i>	<i>50</i>
<i>Lampiran 2. Tabel Properties of insulating material</i>	<i>52</i>
<i>Lampiran 3. Tabel Properties of air at 1 atm pressure.</i>	<i>53</i>
<i>Lampiran 4. Tabel Properties of saturated water.....</i>	<i>54</i>
<i>Lampiran 5. Tabel pengambilan data Pelat kolektor standar.</i>	<i>55</i>
<i>Lampiran 6. Tabel pengambilan data Pelat PCM.....</i>	<i>56</i>
<i>Lampiran 7. Tabel Pengambilan data pelat CU POWDER+PCM</i>	<i>57</i>
<i>Lampiran 8. Tabel hasil perhitungan Pelat kolektor standar.....</i>	<i>58</i>
<i>Lampiran 9. Tabel hasil perhitungan Pelat kolektor PCM</i>	<i>59</i>
<i>Lampiran 10. Tabel perhitunhan pelat CU POWDER+PCM</i>	<i>60</i>
<i>Lampiran 11. Dokumentasi kegiatan</i>	<i>61</i>

NOMENKULATUR

Simbol	Arti dan Keterangan
%	Persentase
V_w	Kecepatan Angin
$\dot{m}$	Laju Aliran Massa
C_p	Panas Spesifik
A_c	Luas permukaan benda
$\dot{V}$	Laju aliran massa
C	Celsius
ETC	Evacuated Tube Collector
ET 202	Energy Thermal Seri 202
FPC	Flat Pelate Collector
CFC	Curved Flow
STC	Collector Spiral Tube
	Collector
PCM	Phase Change Material
CC	Concentrating Collector
T	Temperature
TES	Thermal Energy Storage
ν	Visikositas Kinematik
W	Watt
R	Radiation / Radiasi
I	Intensitas Cahaya
L/h	Liter per hour
J	Joule
SWH	Solar Water Heater
g	Percepatan Gravitasi
m	Meter
mm	Milimeter
kg	Kilogram

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan dengan berbagai macam manfaat yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari, contoh paling dekatnya adalah *Solar Water Heater*. Dalam perancangan *Solar Water Heater* memerlukan komponen utama, salah satunya ialah plat. Plat kolektor surya merupakan bagian dari kolektor surya yang berfungsi sebagai tempat penyerapan energi radiasi matahari. Plat ini terbuat dari material yang dapat menyerap panas seperti kaca atau plastik dan berfungsi sebagai penyerap panas untuk menghasilkan energi panas. Kolektor surya terbagi atas beberapa jenis salah satunya ialah tipe plat datar. Plat datar dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan pemanfaatan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. (Selmi. M, 2008)

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan sebagai penyimpanan energi dalam penggunaan sehari-hari, salah satunya ialah Thermal Energy Storage (TES). Penyimpanan energi termal (thermal energy storage) adalah teknologi yang menyimpan energi termal dengan cara memanaskan atau mendinginkan media penyimpanan sehingga energi yang tersimpan tersebut dapat digunakan di lain waktu untuk aplikasi pemanasan, pendinginan atau pembangkit listrik. Kelebihan menggunakan TES sebagai sistem energi yaitu peningkatan efisiensi secara keseluruhan dan keandalan (reliability) yang lebih baik, dan dapat menuju ke penghematan, pengurangan investasi dan biaya operasional, dan lebih sedikit polusi lingkungan (misal: emisi karbon dioksida (CO₂)). Namun sistem termal surya tidak memiliki cukup cadangan (termal) untuk melanjutkan operasi pada saat waktu radiasi sedang rendah atau tidak ada. Penggunaan penyimpan termal, pada awalnya tidak dapat menyediakan cadangan yang efektif tetapi membantu sistem stabil secara termal (Ioan Sarbu, 2018).

Penelitian terkait thermal energy storage telah dilakukan oleh (Faisal Hamka, 2022) yaitu dengan menggunakan material komposit Aluminium-Alumina sebagai thermal storage terhadap efisiensi kolektor *solar water heater*, dan mengvariasikan sudut kolektor 0°, 10° dan 30° dengan memperhatikan temperatur inlet dan temperatur outletnya. Hasil yang didapatkan adalah fenomena dari efisiensi untuk panel kolektor dengan penambahan Aluminium Foam pada bagian bawah pelat absorber selama 60 menit di semua variasi sudut kemiringan mengalami peningkatan efisiensi secara signifikan jika

dibandingkan dengan panel kolektor plat datar tanpa foam.

Dalam penggunaan kolektor surya, agar mendapatkan hasil yang lebih baik dapat dilakukan variasi dengan penambahan serbuk tembaga. Serbuk tembaga banyak dipergunakan untuk berbagai aplikasi karena memiliki sifat konduktifitas elektrik dan termal yang sangat baik. Serbuk tembaga adalah bentuk partikel kecil dari logam tembaga yang digunakan dalam berbagai aplikasi. Serbuk tembaga memiliki beberapa kegunaan seperti dalam metalurgi serbuk untuk membuat paduan logam yang lebih baik dengan mengurangi jumlah skrap dan meningkatkan efisiensi proses. Selain itu, serbuk tembaga digunakan sebagai bahan pengisi untuk menghubungkan dua atau lebih bagian logam dan dalam pelapisan permukaan untuk meningkatkan sifat antimikroba dan dekoratif. Serbuk tembaga juga digunakan sebagai campuran material untuk pembuatan *water heater*. Penelitian telah menunjukkan bahwa serbuk tembaga dapat meningkatkan kinerja *water heater* dengan cara meningkatkan konduktivitas termal dan listrik (Damisih, 2015).

Penelitian mengenai efisiensi *solar water heater* menggunakan aluminium foam dan PCM (phase change material) pada plat absorber berbentuk datar telah dilakukan oleh Arham(2023). Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan penambahan al foam PCM sebagai thermal storage dapat menaikkan efisiensi pada kolektor (Arham, 2023). Dari beberapa penelitian tersebut maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai sistem pemanas tenaga surya dengan plat datar yang lebih efisien dengan mengintegrasikan *thermal storage* berupa material komposit yang tersusun dari *aluminum-foam*, *paraffin-wax*, serta serbuk tembaga, yang diharapkan mampu meningkatkan efisiensi system *solar water heater*.

Berdasarkan uraian diatas maka akan dilakukan penelitian dengan judul:

“PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SERBUK TEMBAGA
SEBAGAI THERMAL STORAGE TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER
BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI SOLAR WATER
HEATER”

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pemanfaatan penggunaan material komposit serbuk tembaga sebagai *thermal storage* terintegrasi pada pelat absorber bentuk datar ?

2. Bagaimana pengaruh penggunaan material komposit serbuk tembaga sebagai *thermal storage* terintegrasi pada pelat absorber bentuk datar terhadap efisiensi *solar water heater*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan antara lain:

1. Untuk menganalisa penggunaan material komposit serbuk tembaga sebagai *thermal storage* terintegrasi pada pelat absorber bentuk datar.
2. Untuk menganalisa pengaruh penggunaan material komposit serbuk tembaga sebagai *thermal storage* terintegrasi pada pelat absorber bentuk datar terhadap efisiensi *solar water heater*.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi diri berdasarkan kondisi berikut:

1. Bentuk pelat absorber yang digunakan pada pengujian ini adalah pelat absorber berbentuk datar.
2. Material pelat absorber yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0,5 mm.
3. Laju aliran yang digunakan konstan.
4. Variasi sudut kemiringan panel kolektor surya berbasis material *PCM* dan serbuk tembaga yaitu 0°.
5. Alat uji yang digunakan adalah *Solar Thermal Energy Gunt ET-202*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai tugas akhir, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Menjadi referensi untuk penelitian serupa kedepannya.
3. Memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi konsumsi energi fosil.
4. Memberikan penjelasan bagaimana kemampuan dan pengaruh kolektor surya plat datar berpengaruh pada efisiensi *solar water heater*.

BAB II

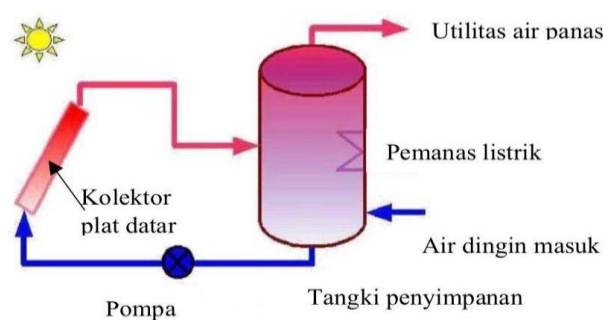
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Solar Water Heater

Solar water heater (SWH) merupakan suatu sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari. Cara kerja alat tersebut yaitu ketika cahaya matahari menyinari SWH sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, kemudian energi panas tersebut dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam pipa pemanas air (RF Hidayatulloh dkk., 2021). Sistem sirkulasi *solar water heater* terbagi atas dua jenis yaitu sistem sirkulasi langsung dan sistem sirkulasi tidak langsung.

2.1.1 Sistem Sirkulasi Langsung

Solar Water Heater pada sistem sirkulasi langsung merupakan sistem sirkulasi air langsung melalui kolektor ke dalam tangki penyimpanan. Sistem ini mengedarkan air yang dapat digunakan untuk kebutuhan melalui kolektor yang dipanaskan langsung dengan menggunakan energi matahari. Air yang telah dipanaskan kemudian disimpan kedalam tangki untuk dipergunakan nanti.

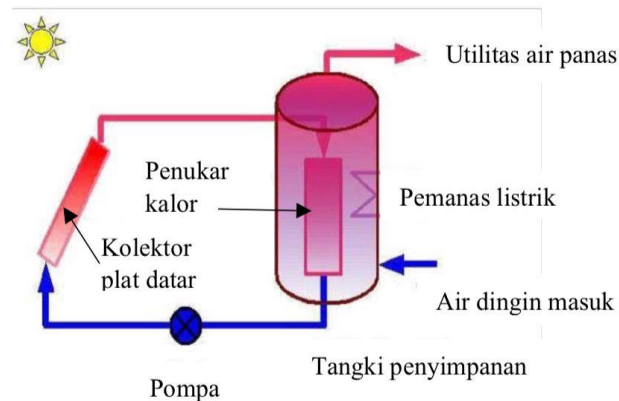


Gambar 2. 1 Sirkulasi Kerja *Solar Water Heater* (SWH) Langsung
<https://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/32208/f.%20BAB%202.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

2.1.2 Sistem Sirkulasi Tidak Langsung

Solar Water Heater pada sistem sirkulasi tidak langsung merupakan air yang mengalir melalui kolektor yang kemudian masuk kedalam tangki penyimpanan dipisahkan dari air yang akan dipergunakan dengan menggunakan kumparan pemanas atau penukar panas

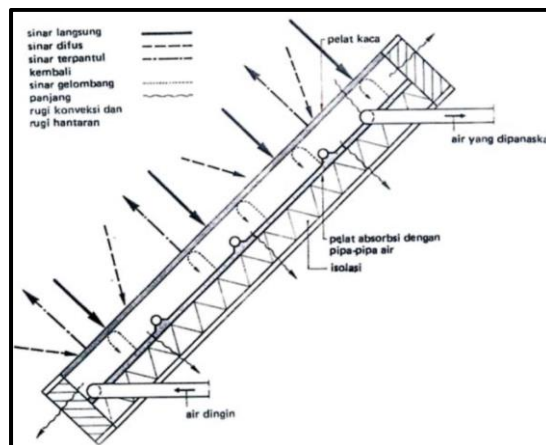
(*Heat Exchanger*). *Heat Exchanger* mentransfer panas dari kumparan yang telah dipanaskan oleh kolektor menggunakan tenaga matahari ke air yang berada di tangki penyimpanan tanpa adanya air yang bercampur. *Heat Exchanger* ini biasanya terbuat dari logam seperti tembaga dan stainless steel.



Gambar 2. 2 Sirkulasi Solar Water Heater (SWH) Tidak Langsung

<https://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/32208/f.%20BAB%202.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

2.2 Kolektor Surya



Gambar 2. 3 Kolektor Surya

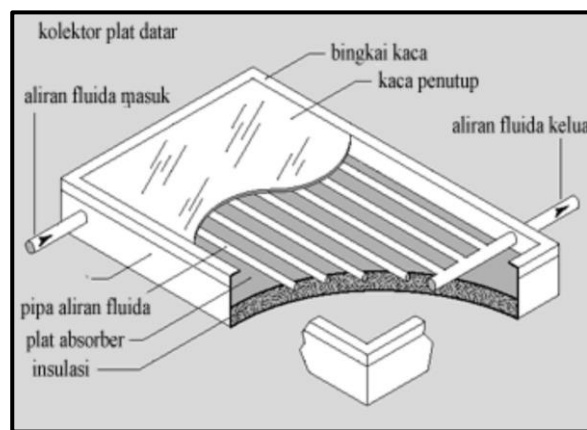
<https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/download/280/301>

Kolektor surya merupakan salah satu bagian penting dari sistem pemanas air matahari. Ini dapat digunakan sebagai penukar panas. Mereka mengumpulkan energi dalam bentuk radiasi dari matahari, mengubahnya menjadi panas, dan kemudian mentransfer panas itu ke fluida yang lebih dingin (biasanya air atau udara). Energi ini dapat digunakan untuk pemanasan ruang perumahan atau komersial dan air panas domestik, pemanas kolam surya, dan lain – lain. Pemilihan

kolektor surya yang cocok tergantung pada beberapa faktor. Di Kanada, perlu untuk memilih kolektor surya yang dapat dilindungi dari pembekuan (Kalogirou, 2009).

2.3 Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya plat datar adalah suatu bentuk khusus alat penukar panas di mana perpindahan panas radiasi memegang peranan yang sangat penting. Apabila pada pesawat penukar panas konvensional, energi panas dipindahkan antar fluida dan radiasi bukanlah suatu hal yang penting maka pada kolektor surya plat datar, energi dipindahkan dari sumber energi radiasi yang berjarak tertentu, dan melalui prinsip konversi fotothermal, energi radiasi matahari diubah menjadi energi panas.



Gambar 2. 4 Plat Datar

<https://digilib.polban.ac.id/files/disk1/97/jbptppolban-gdl-rizkypandu-4801-3-bab2--8.pdf>

Dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca, maka udara yang berada dalam ruang kaca mengalami pemanasan sehingga temperatur dalam ruang kaca meningkat dan lebih tinggi daripada temperatur sekeliling. Kolektor surya plat datar dirancang untuk penggunaan energi pada temperatur moderat. Untuk keperluan temperatur kerja yang lebih tinggi, digunakan kolektor konsentrasi. Pada umumnya kolektor surya plat datar digunakan untuk pemanas air, pemanas ruang, pengkondisian udara, dan proses pengeringan. Kolektor ini tidak memerlukan alat pengarah matahari, jadi posisi kolektor relatif tetap. Oleh karena itu secara mekanik, kolektor surya plat datar lebih sederhana daripada kolektor konsentrasi dan perawatannya lebih mudah.

2.4 Pelat Absorber Bentuk Datar

Kolektor pelat datar merupakan salah satu jenis solar kolektor yang berfungsi untuk mengumpulkan energi panas matahari yang terdiri dari pelat penyerap termal konduktif yang biasanya terdapat satu atau dua penutup transparan di atasnya yang berfungsi untuk mencegah panas konveksi ke udara sekitar, insulator panas yang dibelakangnya mengurangi kehilangan panas dengan konduksi, pipa yang berfungsi untuk meneruskan cairan termal panas ke tangki penyimpanan serta casing untuk melindungi kolektor dari debu dan uap air dan juga untuk memberikan kekuatan pada mekanis pada rakitan.

Kolektor pelat datar digunakan secara luas untuk aplikasi pemanas air domestik. Kolektor yang memiliki desain sederhana dan tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga membutuhkan sedikit perawatan. Kolektor pelat datar adalah kotak terisolasi dan tahan cuaca yang berisi pelat penyerap gelap di bawah satu atau lebih penutup transparan dan mengumpulkan radiasi langsung atau difusi. Kesederhanaan mereka dalam konstruksi mengurangi biaya awal dan pemeliharaan sistem (Patel dkk, 2012).

Bagian-Bagian Utama Kolektor Surya Plat Datar Secara umum, kolektor surya plat datar terdiri atas bagian-bagian utama, sebagai berikut:

- a. Plat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi yang diteruskan oleh penutup transparan. Bahan plat yang digunakan adalah tembaga, baja, aluminium, yaitu logam yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Biasanya permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan serapnya. Apabila yang digunakan adalah plat tembaga atau baja maka dapat diberi lapisan bahan khusus yang dapat meningkatkan kemampuan penyerapan radiasi sekaligus meminimalisirkan emisi.
- b. Pipa tembaga, berfungsi sebagai media untuk mengalirkan air yang dipanaskan. Bahan pipa sendiri terbuat dari logam yang memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sehingga panas yang diterima langsung dari matahari maupun yang diterima dari plat absorber dapat terserap dengan baik.
- c. Penutup transparan, terbuat dari bahan semitransparan yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi. Fungsinya adalah untuk mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke sekeliling. Bahan yang digunakan umumnya kaca

- atau bisa juga plastik. Penutup bisa terdiri dari satu atau beberapa lapis kaca.
- d. Lapisan Isolator, lapisan ini ditempatkan di sisi kanan, kiri dan bawah kolektor. Lapisan ini biasanya terbuat dari bahan yang nilai konduktivitasnya sangat rendah seperti glass wool, hal ini dikarenakan untuk meminimalisir panas yang keluar dari kolektor surya.
 - e. Kerangka atau kotak penyangga, sebagai tempat atau wadah kolektor.

2.5 Penyimpanan Energi Panas (Thermal Energy Storage, TES)

Penyimpanan energi telah menjadi bagian penting dari sistem teknologi energi terbarukan. Thermal Energy Storage (TES) adalah teknologi yang menyimpan energi panas dengan memanaskan atau mendinginkan media penyimpanan sehingga energi yang tersimpan dapat digunakan di lain waktu untuk aplikasi pemanasan pendinginan dan pembangkit listrik. Sistem TES digunakan terutama di gedung dan dalam proses industri. Keuntungan menggunakan TES dalam sistem energi termasuk peningkatan efisiensi keseluruhan dan keandalan yang lebih baik, dan dapat mengarah pada ekonomi yang lebih baik, pengurangan investasi dan biaya operasional, dan lebih sedikit polusi lingkungan, yaitu, lebih sedikit emisi karbon dioksida (CO₂) (Sarbu & Sebarchievici, 2018).

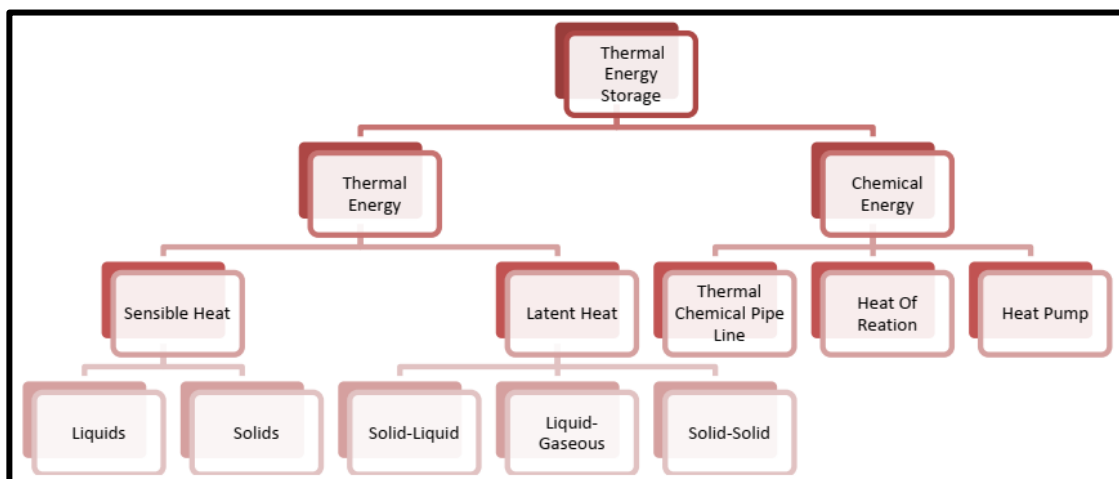
Penyimpanan energi panas memungkinkan penyimpanan energi digunakan untuk pemanasan atau pendinginan untuk digunakan nanti. Proses penyimpanan ini terjadi dalam tiga langkah:

- 1) mengisi media penyimpanan dengan energi berlebih,
- 2) menyimpan energi yang diisi,
- 3) pemakaian ketika energi yang disimpan diperlukan.

Sistem penyimpanan energi panas biasa terdiri dari tiga bagian yaitu: bahan penyimpanan, penukar panas untuk mengisi dan mengeluarkan bahan, serta wadah yang menutupi media penyimpanan. Efisiensi, dengan demikian biaya sistem penyimpanan energi panas tergantung pada beberapa faktor seperti kepadatan energi (kapasitas penyimpanan) dan stabilitas bahan penyimpanan, perpindahan panas antara cairan pengisian atau pemakaian dan bahan penyimpanan, reversibilitas sistem, dan jumlah kehilangan (Ugur & Tezel, 2013).

Penyimpanan energi termal adalah salah satu teknologi yang berkembang dan dilakukan dengan tiga metode berbeda: penyimpanan panas yang masuk akal, penyimpanan panas laten, dan penyimpanan panas termo-kimia. Dalam sistem penyimpanan panas yang masuk akal, bahan, seperti batu, dipanaskan dalam wadah berinsulasi. Metode penyimpanan ini saat ini merupakan proses yang paling banyak digunakan karena kelayakan ekonominya. Namun, karena ada kehilangan panas terus menerus terhadap lingkungan selama periode penyimpanan, itu tidak dapat diterapkan untuk penyimpanan energi jangka Panjang. Metode lain yang digunakan adalah penyimpanan panas laten. Dalam sistem penyimpanan panas laten, energi yang dilepaskan selama perubahan fase suatu bahan digunakan. Metode ini memiliki banyak keunggulan seperti memiliki kepadatan energi hingga 500 kWh/m³, dan pemakaian energi panas yang tersimpan pada suhu yang hampir konstan. Namun, proses ini dirancang untuk proses suhu tinggi seperti produksi uap dan tidak dapat diterapkan untuk proses perumahan (Ugur & Tezel, 2013).

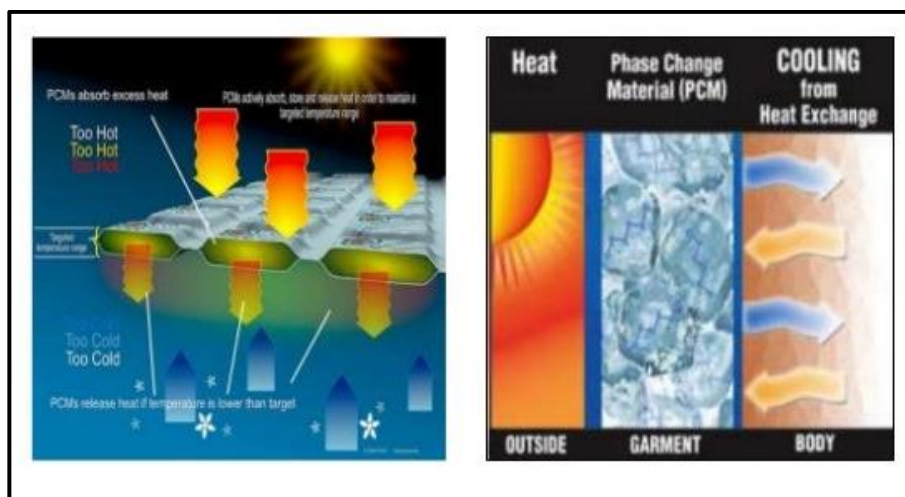
Energi panas dapat disimpan sebagai perubahan energi internal suatu bahan sebagai panas yang masuk akal, panas laten atau termokimia atau kombinasi dari ini. Penyimpanan panas yang masuk akal adalah karena perubahan suhu material sementara penyimpanan panas laten disebabkan oleh transformasi fase baik itu padat-cair, cair-gas atau padat padat (Avghad et al., 2016).



Gambar 2. 5 Berbagai jenis penyimpanan termal energi matahari
<https://www.semanticscholar.org/paper/Thermal-Energy-Storage-:-A-Review-Avghad-Keche/3f25b7883a43add58bee70e6417afea79ac380de>

2.6 Phase Change Materials (PCM)

Phase Change Materials (PCM) merupakan substansi yang dapat ditempatkan diselubung, yang dapat melepas ataupun menyerap energi termal selama proses pemadatan dan peleburan. Pelepasan dan penyerapan kalor oleh substansi akan berpengaruh terhadap suhu yang ada di dalam ruangan. Keuntungan menggunakan PCM adalah kemampuan penyimpanan panas yang kuat dengan minimal perubahan desain dari bangunan yang sudah ada. Dengan menggunakan konsep kapasitas panas laten maka, bahan yang mengandung PCM dapat menyerap dan melepaskan panas lebih efektif daripada selubung bangunan biasa. Phase Change Materials merupakan salah satu TES dengan prinsip kerja panas laten. PCM dapat digunakan sebagai sistem pendinginan dan pemanasan ruangan secara aktif atau pasif. Material yang digunakan untuk PCM harus memenuhi beberapa kriteria seperti sifat termodinamika tertentu yang diinginkan, sifat kinetik serta kimia. Selain itu faktor ekonomi dan kemudahan mendapatkan bahan juga harus dipertimbangkan. Secara umum, PCM dapat ditempatkan didalam beton, atau dipasang pada bangunan yang sudah berdiri (Sitti Nur Cholida et al., 2018).



Gambar 2. 6 Penyimpanan Panas

<https://www.slideshare.net/slideshow/phase-changing-material/37801052>

Secara umum PCM diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu organik dan anorganik. Pengelompokan ini didasarkan pada titik leleh dan panas peleburan laten. Namun karena tidak ada satu bahan yang dapat memenuhi seluruh sifat yang diinginkan, maka dikembangkan juga PCM yang merupakan kombinasi

antara 2 kelompok bahan (Sharma et al. 2009).

1. PCM organik

PCM organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya PCM organik mempunyai rentang suhu rendah. PCM organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar PCM organik mudah terbakar di alam. PCM organik dapat dibedakan sebagai parafin dan non parafin.

- a. Parafin

Parafin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Kristalisasi dari rantai $\text{(CH}_2\text{)-}$ melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas.

- b. Non Parafin

PCM dari bahan non parafin merupakan PCM yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti parafin yang mempunyai sifat hampir sama. Di antara bahan-bahan non parafin tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis-jenis glikol. (Wiwik Pudjiastuti, 2011)

2. PCM anorganik

PCM anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat (salt hydrate) garam dan logam (metallic). PCM jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran.

- a. Hidrat Garam

Hidrat-hidrat garam merupakan jenis PCM yang paling penting dan banyak dipelajari pada sistem penyimpanan energi. Sifat-sifat yang paling menonjol dari PCM jenis ini adalah: panas peleburan laten per-satuan volume tinggi, konduktivitas panas relatif tinggi (hampir dua kali parafin) dan perubahan volume selama meleleh kecil. PCM jenis ini juga tidak terlalu korosif, kompatibel dengan plastik dan hanya beberapa

jenis yang beracun. Banyak jenis hidrat garam yang harganya tidak terlalu mahal untuk digunakan sebagai penyimpan panas.

b. Logam (Metallic)

Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. PCM jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Di samping itu mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat.

3. PCM kombinasi

PCM kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi. PCM jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen-komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan. (Wiwik Pudjiastuti, 2011)

2.7 Serbuk Tembaga

Tembaga merupakan material yang banyak digunakan pada berbagai komponen mesin terutama dalam bentuk paduan karena berbagai keunggulan sifatnya dibanding material lain. Beberapa keunggulan tembaga adalah tahan korosi, konduktivitas listrik baik, konduktivitas panas baik dan sifat dekoratif (Ahmad Junaidi, 2013).

Pada umumnya serbuk tembaga yang juga dikenal sebagai copper powder merupakan material pilihan di banyak sektor industri. Serbuk tembaga biasanya digunakan sebagai salah satu bahan utama dalam pembuatan keramik, cat, dan bahan-bahan lainnya. Keuntungan utama penggunaan serbuk tembaga adalah karena sifatnya yang mudah diproses dan memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Proses pembuatan serbuk tembaga biasanya melalui proses penggilingan atau

penggerusan tembaga, dan kemudian dihasilkan serbuk tembaga dengan ukuran yang sesuai. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi ukuran serbuk tembaga adalah pengaturan suhu dalam proses penggilingan. Selain itu, serbuk tembaga juga memiliki kelebihan dalam pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya, dimana serbuk tembaga menghasilkan sifat konduktivitas yang tinggi. (Andika Perkasa, 2023)

Menurut Popov (2016), elektrodeposit tembaga dalam bentuk serbuk (powder) dapat terbentuk melalui proses elektrolisis dalam larutan $H_2SO_4-CuSO_4$ yang dilakukan dengan kondisi dimana proses deposisi tembaga terkendali oleh perpindahan massa (difusi) ion tembaga dari ruah larutan menuju permukaan katoda dan terjadi evolusi gas hidrogen pada permukaan katoda. Kondisi tersebut terjadi pada rapat arus yang lebih tinggi dari rapat arus limit untuk deposisi ion tembaga menjadi logamnya. Sementara itu, elektrodeposit tembaga dengan bentuk pelat dapat dihasilkan pada rapat arus yang lebih rendah dari rapat arus limit yaitu pada zona dimana deposisi tembaga terkendali oleh laju perpindahan muatan pada antarmuka elektroda-elektrolit.

2.8 Formulasi Keseimbangan Energi pada *Solar Thermal Collector*

Untuk kondisi steady, kinerja sebuah kolektor ditentukan oleh keseimbangan energi melalui distribusi energi matahari sebagai sumber kalor (energi gain), kehilangan termal (thermal losses), dan kehilangan optikal (optical losses). Besarnya energi yang berguna pada kolektor dinyatakan dengan persamaan (Beckman et al., 2021):

$$Qu = A_c \cdot [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

Qu = Kalor yang berguna (kW)

A_c = Luas Kolektor (m^2)

S = Radiasi Cahaya yang diserap per satuan luas (kW/ m^2)

U_L = Koefisien Perpindahan panas (kW/ $m^2.K$)

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

T_a = Temperatur Ambien (K)

Selain itu, besarnya energi berasal dari fluida kerja melalui perbedaan temperatur masuk dan keluar pada kolektor yaitu:

$$Qu = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- Qu = Kalor yang berguna (kW)
- $\dot{m}$ = Laju aliran massa air (kg/s)
- C_p = Panas spesifik air (kJ/kg.K)
- T_{in} = Temperatur air masuk ke kolektor (K)
- T_{out} = Temperatur air keluar dari kolektor (K)

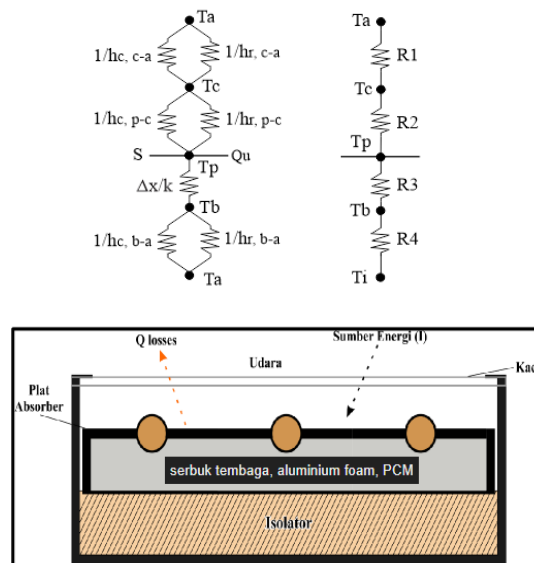
Sedangkan, efisiensi kolektor pada periode waktu yang konstan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Qu}{I_T \cdot A_c} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- η = Efisiensi (%)
- I_T = intensitas matahari total pada periode waktu sama (kW/m²)
- Qu = panas yang berguna (kW)
- A_c = Luas Kolektor (m²)

Adapun tahap rangkaian tahanan termal pada kolektor adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 7 Tahanan Thermal pada Kolektor

1. Koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dengan udara luar.

$$h_w = 0,86 Re^{1/2} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynolds

Pr = Bilangan Prandtl

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

$$h_{r_{c-a}} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \dots\dots\dots(5)$$

$$T_s = 0,5552 T_a^{1,5} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

$h_{r_{c-a}}$ = koefisien perpindahan panas radiasi (penutup dan udara luar) (W/m².K)

ε_c = Emisivitas penutup

σ = konstanta Stefan-Boltzman (5,6697×10⁻⁸, W/m²k⁴)

T_c = temperatur penutup (K)

T_s = temperatur sky (K)

T_a = temperatur lingkungan (K)

3. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat absorber dengan kaca penutup.

$$h_{c_{p-c}} = \frac{Nu \cdot K}{L} \dots\dots\dots(7)$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

Ra = Bilangan Rayleigh

β = sudut kemiringan (°)

L = panjang karakteristik penutup (m)

4. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup.

$$h_{r_{p-c}} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

$h_{r_{p-c}}$ = Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup

(W/m².K)

ε_c = emisivitas penutup

ε_p = emisivitas pelat

T_p = temperatur pelat

T_c = temperatur penutup

5. Koefisien perpindahan panas total kolektor.

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \dots\dots\dots(10)$$

$$U_b = \frac{1}{\frac{L_C}{k_C} + \frac{L_{Af}}{k_{Af}} + \frac{L_{Besl}}{k_{Besl}} + \frac{L_i}{k_i}} \dots\dots\dots(11)$$

$$U_L = U_t + U_b \dots\dots\dots(12)$$

Dimana:

U_t : Koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas (W/m².K).

U_b : Koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor (W/m².K).

U_L : Koefisien perpindahan panas total kolektor (W/m².K)

L_C : Ketebalan pelat tembaga penutup material penyimpan panas (m).

k_C : Konduktivitas pelat tembaga penutup material penyimpan panas (W/m.K).

L_{Af} : Ketebalan material *Aluminium Foam* (m).

k_{Af} : Konduktivitas termal *Aluminium Foam* (W/m.K).

L_{Besl} : Ketebalan pelat besi *casing* material penyimpan panas (m)

L_i : ketebalan isolator (m).

k_i : konduktivitas termal isolator (W/m.K

6. Kerugian panas kolektor

$$Q_{loss} = U_L(T_i - T_a).....(13)$$

Dimana:

Q_{loss} = Panas yang terbuang (W/m²)

U_L = koefisien perpindahan panas total kolektor (W/m².K).

T_i = temperatur *inlet* (K).

T_a = temperatur Udara (K).