

**SKRIPSI**

**ANALISIS EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI  
MENGUNAKAN ALUMINIUM *FOAM* DAN PCM (*PHASE  
CHANGE MATERIAL*) PADA PELAT ABSORBER  
BERBENTUK DATAR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ARHAM SAMSIR**

**D021 19 1145**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI  
MENGUNAKAN ALUMINIUM *FOAM* DAN PCM (*PHASE  
CHANGE MATERIAL*) PADA PELAT ABSORBER  
BERBENTUK DATAR**

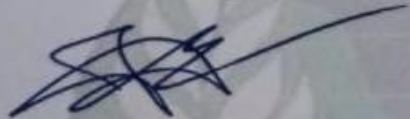
Disusun dan diajukan oleh

**ARHAM SAMSIR  
NIM D021191145**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal:  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

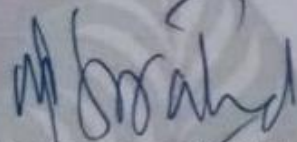
Menyetujui,

Pembimbing Utama



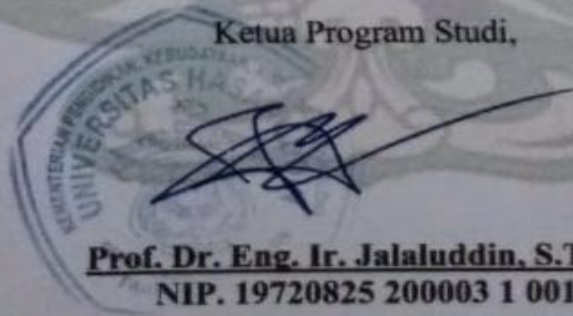
**Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.**  
NIP. 19720825 200003 1 001

Pembimbing Pendamping



**Dr. Muhammad Syahid, S.T., MT.**  
NIP. 19770707 200501 1 001

Ketua Program Studi,



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

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : ARHAM SAMSIR  
NIM : D021191145  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

*"ANALISIS EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI MENGGUNAKAN ALUMINIUM FOAM DAN PCM (PHASE CHANGE MATERIAL) PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR"*

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.

Gowa, 9 Desember 2023

Yang membuat Pernyataan,



Arham Samsir

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat 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 “ANALISIS EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI MENGGUNAKAN ALUMINIUM *FOAM* DAN PCM (*PHASE CHANGE MATERIAL*) PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami penggunaan pemanas air tenaga matahari.

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 beserta jajaran staffnya.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, ST., MT** selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan sebagai pembimbing Pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. Bapak **Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.** selaku pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.

5. Seluruh dosen penguji, bapak **Prof. Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc** dan bapak **Ir. Andi Mangkau, MT** yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi saya.
6. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Samsir M.** dan ibunda **Sunarti S.** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan dan kebaikan selama ini, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Saudara tercinta **Asriana, Ali Imran,** dan **Aiman** atas doa, kasih sayang, segala dukungan dan kebaikan selama ini.
3. Seluruh saudaraku **BRUZHLEZZ 2019.** Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
4. **Zul, Mario, Achmadani,** dan **Wahyu** teman seperjuangan di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
5. Tim Anggota Riset di laboratorium Energi Terbarukan, (Bapak **Muhammad Basri Katjo** dan **Muh. Anis Ilahi R, ST., MT**)
6. Kanda-kanda Senior serta dinda wiro dan farizky yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. 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.

Gowa, 9 Desember 2023

Penulis

## ABSTRAK

**ARHAM SAMSIR**, *Analisis Efisiensi Pemanas Air Tenaga Matahari Menggunakan Aluminium Foam dan PCM (Phase Change Material) Pada Pelat Absorber Berbentuk Datar* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin. S.T., M.T dan Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.)

Penggunaan energi fosil semakin terbatas dan berdampak serius terhadap polusi udara dan pemanasan global. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan energi baru terbarukan seperti energi surya. Energi surya merupakan sumber energi baru terbarukan yang pemanfaatannya beranekaragam salahsatunya pemanas air tenaga surya, umumnya digunakan untuk keperluan rumah tangga (domestik) atau industry. Alat seperti kolektor surya digunakan untuk mengumpulkan energi panas radiasi matahari yang kemudian energi panas tersebut diteruskan ke dalam air yang mengalir di dalamnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan dengan dua kali percobaan untuk menguji pengaruh penggunaan *Aluminium Foam* dan *Phase Change Material (Paraffin Wax)* sebagai *Thermal Storage* terhadap efisiensi kolektor solar water heater, percobaan pertama tanpa menggunakan *Thermal Storage*, percobaan kedua dengan menggunakan variasi material *Thermal Storage* dengan parameter *flowrate* yaitu 36 liter/jam, dengan sudut kolektor 0° serta volume *Thermal Storage* yaitu 10 mm dengan memperhatikan temperatur inlet dan temperatur outletnya. Hasil penelitian menunjukkan perbandingan efisiensi antara Pelat kolektor standar dengan variasi *Thermal Storage*. Dimana rata-rata efisiensi pelat kolektor standar sebesar 84.19%, sedangkan untuk efisiensi pelat dengan variasi *Aluminium Foam* sebesar 86.72%, dan untuk nilai efisiensi pelat kolektor dengan variasi *Aluminium Foam PCM* sebesar 91.88%.

Kata Kunci: Kolektor Surya, Efisiensi, *Phase Change Material*, *Aluminium Foam*, *Paraffin Wax*, *Thermal Energy Storage*.

## **ABSTRACT**

ARHAM SAMSIR, *Analysis of the Efficiency of Solar Water Heater Using Aluminium Foam and Phase Change Material (PCM) on Flat-shaped Absorber Plate (supervised by Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin. S.T., M.T and Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.)*

*The use of fossil energy is becoming increasingly limited and has serious consequences for air pollution and global warming. One way to address this issue is by using renewable energy sources such as solar energy. Solar energy is a diverse renewable energy source, one of which is solar water heaters, commonly used for domestic or industrial purposes. Devices like solar collectors are used to gather solar radiation heat energy, which is then transferred to flowing water. The method used in this research is an experimental method, involving two trials to test the effect of using Aluminium Foam and Phase Change Material (Paraffin Wax) as Thermal Storage on the efficiency of the solar water heater collector. The first experiment is conducted without using Thermal Storage, and the second experiment involves the use of Thermal Storage materials with a flow rate parameter of 36 liters/hour, collector angle of 0°, and Thermal Storage volume of 10 mm, taking into account the inlet and outlet temperatures. The research results show a comparison of efficiency between the standard collector plate and variations with Thermal Storage. The efficiency of the standard collector plate is 84.19%, while the efficiency of the plate with Aluminium Foam variation is 86.72%, and the efficiency of the plate with Aluminium Foam PCM variation is 91.88%.*

*Keywords: Solar Collector, Efficiency, Phase Change Material, Aluminium Foam, Paraffin Wax, Thermal Energy Storage.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SINGKATAN ARTI SIMBOL.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Ruang Lingkup.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari .....	6
2.2. Kolektor Surya .....	7
2.3. Pelat Absorber Bentuk Datar.....	7
2.4. Penyimpanan Energi Termal (TES) .....	8
2.5. PCM ( <i>Phase Change Material</i> ).....	10
2.6. Parafin wax.....	11
2.7. <i>Metal Foam</i> .....	13



2.8. Formulasi Keseimbangan Energi pada SWH.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	19
3.2 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	19
3.3 Prosedur Penggunaan Alat Laboratorium Gunt ET-202 .....	24
3.4 Metode Penelitian.....	25
3.5 Variabel Penelitian .....	26
3.6 Tahapan Pengambilan Data.....	27
3.7 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1. Analisa Hasil Pengujian Eksperimental .....	29
4.2 Pembahasan .....	44
BAB V PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52
LAMPIRAN.....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisik lilin paraffin .....	12
Tabel 2. Tabel parameter pengukuran efisiensi solar kolektor .....	25

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Absorber pelat datar .....	8
Gambar 2 Klasifikasi penyimpanan energi termal.....	9
Gambar 3 Daftar bahan yang paling mungkin digunakan untuk penyimpanan panas laten .....	10
Gambar 4 <i>Metal Foam</i> .....	13
Gambar 5. Tahanan termal pada kolektor .....	15
Gambar 6 Solar Thermal Energy Gunt ET-202 .....	19
Gambar 7 Skema Penelitian (a) skema instalasi alat penelitian, dan (b) skema alat penelitian .....	20
Gambar 8 Data logger Omega T08 .....	21
Gambar 9 Termokopel .....	21
Gambar 10 Komputer.....	22
Gambar 11 Kolektor.....	22
Gambar 12 Variasi pengujian (a) standar plate (c) pcm + alfoam, dan (b) al foam .....	23
Gambar 13 Flowchart Penelitian.....	28
Gambar 14. Grafik perbandingan temperatur inlet dan outlet pada pelat kolektor..	44
Gambar 15. Grafik perbandingan energi kalor yang diserap antara pelat standar dengan variasi Al Foam dan Al Foam PCM .....	45
Gambar 16. Grafik perbandingan efisiensi kolektor pada pelat standar dan variasi <i>Al Foam</i> dan <i>Al Foam PCM</i> .....	46
Gambar 17 Grafik Intensitas kolektor pelat standar dan kolektor dengan penambahan material <i>thermal energy storage</i> .....	47
Gambar 18 Grafik perbandingan temperatur pelat absorber kolektor standar dan kolektor dengan penambahan material <i>thermal energy storage</i> .....	48

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel <i>Properties of miscellaneous material</i> .....	54
Lampiran 2. Tabel <i>Properties of insulating material</i> .....	55
Lampiran 3. Tabel <i>Properties of air at 1 atm pressure</i> .....	56
Lampiran 4. Tabel <i>Properties of saturated water</i> .....	57
Lampiran 5. Tabel pengambilan data Pelat kolektor standar.....	58
Lampiran 6. Tabel pengambilan data Pelat kolektor dengan ketebalan Al <i>foam</i>	60
Lampiran 7. Tabel pengambilan data Pelat kolektor dengan ketebalan Al <i>foam</i> PCM.....	67
Lampiran 8. Tabel hasil perhitungan Pelat kolektor standar.....	72
Lampiran 9. Tabel hasil perhitungan Pelat kolektor Al <i>Foam</i> .....	77
Lampiran 10. Tabel hasil perhitungan Pelat kolektor dengan ketebalan Al <i>foam</i> PCM.....	80
Lampiran 11. Dokumentasi.....	85

## DAFTAR SINGKATAN ARTI SIMBOL

Simbol	Arti Singkatan
$\Theta$	Derajat kemiringan
%	Presentase
$v_w$	Kecepatan Angin
$\rho$	Densitas Air
Cp	Panas Spesifik
Ac	Luas permukaan benda
Y	Laju aliran massa
°C	Celsius
ETC	<i>Evacuated Tube Collector</i>
ET 202	<i>Energy Thermal Seri 202</i>
FPC	<i>Flat Pelate Collector</i>
CPC	<i>Compound Parabolic Collector</i>
PCM	<i>Phase Change Material</i>
RCV	<i>Reticulated Virteous Carbon</i>
Al	Aluminium
T	Temperatur
TES	<i>Thermal Energy Storage</i>
N	Visikositat Kinematik
W	<i>Watt</i>
$\Sigma$	konstanta Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8}$
R	<i>Radiation / Radiasi</i>
I <sub>T</sub>	Intensitas Cahaya
L/h	<i>Liter per hour</i>
J	Joule
Liquid	Cairan
Solid	Padatan
SWH	<i>Solar Water Heater</i>

G	Percepatan Gravitasi
M	Meter
mm	Milimeter
ICS	<i>Integral Collector Storage</i>
kg	Kilogram
S	Energi yang diserap oleh pelat
Qu	Energi yang Berguna
$\eta$	Efisiensi
K	Kelvin
$\alpha$	Absorbsivitas rata-rata
$\epsilon_p$	Emisivitas pelat absorber
$\epsilon_c$	Emisivitas kaca
$\tau$	Transmivisitas kaca penutup

---

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam seperti batu bara dan minyak bumi. Batu bara dan minyak bumi merupakan sumber energi fosil yang suatu saat akan habis dan tidak dapat diperbaharui seiring dengan kebutuhan energi dunia. Penggunaan batu bara dan minyak bumi semakin terbatas dan berdampak serius terhadap polusi udara dan pemanasan global. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan energi baru terbarukan seperti energi surya. Energi surya merupakan sumber energi baru terbarukan yang pemanfaatannya beranekaragam salahsatunya pemanas air tenaga surya, umumnya digunakan untuk keperluan rumah tangga (domestik) atau industry.

Berkurangnya potensi energi fosil terutama minyak bumi dan gas bumi, mendorong pemerintah untuk menjadikan energi baru terbarukan sebagai prioritas utama untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Potensi energi baru terbarukan di Indonesia sangat melimpah tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu energi baru terbarukan tersebut adalah energi panas matahari yang potensinya mencapai 207,9 GW sementara pemanfaatannya hanya sekitar 78,5 MW (Prasojo dkk., 2017).

Alat seperti kolektor surya digunakan untuk mengumpulkan energi panas radiasi matahari yang kemudian energi panas tersebut diteruskan ke dalam air yang mengalir di dalamnya. Besarnya energi panas matahari yang diterima kolektor surya, bergantung dari intensitas radiasi matahari tiap waktu, sudut pasang serta kemampuan kolektor surya untuk menyerap energi panas radiasi matahari. Sudut kemiringan dan arah hadap (sudut azimut) kolektor surya berhubungan dengan sudut datang radiasi langsung matahari (Duffie dan Beckman, 2013).

Kolektor surya tipe pelat datar dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan pemanfaatan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menyinari pelat absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke

lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut akan dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan guna sebagai aplikasi (Selmi dkk, 2008).

Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan komponen yang dapat meningkatkan performa termal pemanas air tenaga surya, salah satunya adalah dengan memodifikasi pelat absorber dari kolektor surya. (Jalaluddin et al., 2016), melakukan penelitian menggunakan dua sistem pemanas air surya yaitu dengan pelat absorber datar dan pelat absorber berbentuk – V. pada kedua sistem pemanas air surya tersebut diuji pada aliran laju rendah yaitu 0,5 L/Menit dan laju aliran tinggi L/Menit. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa sistem pemanas air surya dengan pelat absorber berbentuk – V memiliki efisiensi 3,6 – 4,4% lebih tinggi dibandingkan sistem dengan pelat absorber. Hal ini disebabkan penggunaan pelat absorber berbentuk – V dalam pemanas air surya mampu meningkatkan daya serap pada pelat absorber.

Walaupun demikian, temperatur tinggi pada permukaan pelat absorber berbentuk – V mengakibatkan kerugian panas semakin makin besar. Maka dari itu dibutuhkan komponen penyimpanan energi panas (Thermal Energy Storage) untuk mengatasi kerugian tersebut. Hal tersebut bertujuan agar panas yang diserap oleh pelat absorber dapat diteruskan dan disimpan dalam jangka waktu tertentu sebelum panas tersebut dipindahkan pada fluida kerja. Untuk itu, penyimpanan panas pada pemanas air surya dilakukan dengan memanfaatkan media penyimpanan berbasis Phase Change Material (PCM), seperti Paraffin Wax. Material yang bersifat PCM mampu menyimpan dan melepaskan energi panas yang besar. Penyerapan atau pelepasan panas terjadi Ketika perubahan fasa dari padat ke cair ataupun sebaliknya, dengan demikian material PCM dikategorikan sebagai sebagai bahan penyimpanan panas laten. Material yang digunakan sebagai PCM harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan juga memiliki temperatur titik cair yang bekerja pada rentang temperatur tertentu.

Metode penambahan penambahan material porous pada absorber diyakini dapat meningkatkan efek perpindahan panas pada kolektor sekaligus dapat menjadi



bahan penyimpan kalor. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Chen dan Huang pada tahun 2012, yang dimana secara simulasi numerik hasil dari efek penambahan material porous pada kolektor pelat datar yang disisipkan antara absorber dan isolator memiliki efek perpindahan panas yang cukup besar dengan parameter efisiensi material porous mencakup rasio luas permukaan, laju aliran, konduktifitas termal dan tingkat absorptivitas. Sehingga Material porous pada aplikasi solar thermal yang dapat digunakan antara lain Aluminium Foam, Block Aluminium Foam, Copper Foam, Nickel Foam dan foam Reticulated Virteous Carbon (RCV). (Chen dan Huang, 2012). Selain itu penelitian serupa dari Saedodin dkk pada tahun 2017 yaitu Analisis simulasi penggunaan porous material yang disisipkan di bagian bawah saluran. Dari analisis tersebut diperoleh bahwa efisiensi termal dan area perpindahan termal meningkat dibandingkan tanpa foam (Saedodin dkk, 2017).

Permasalahan yang terkait dengan penggunaan foam pada absorber antara lain penempatan posisi foam aluminium yang efektif, dimensi foam termasuk ketebalannya dan bentuk konfigurasi foamnya. Terkait dengan posisi, foam umumnya diletakkan diantara pelat dan isolator. Saedoddin dkk (2017) meletakkan foam copper menempel pada pelat absorber dan di posisi menempel pada isolator. Dalam penelitian tersebut tidak dijelaskan secara detail dimensi ketebalan yang digunakan dan kemiringan yang efektif.

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas maka akan dilakukan penelitian dengan judul: “analisis efisiensi pemanas air tenaga matahari menggunakan aluminium foam dan pcm (phase change material) pada pelat absorber berbentuk datar”

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana proses perancangan dan pembuatan pelat absorber berbentuk datar dengan menggunakan *aluminium foam* dan *phase change material* sebagai *thermal storage*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *aluminium foam* dan *phase change material* sebagai *thermal storage* pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari?

## 1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Untuk membuat rancang bangun pembuatan pelat absorber berbentuk datar dengan menggunakan *aluminium foam* dan *phase change material* sebagai *thermal storage*
2. Untuk menganalisa pengaruh penggunaan *aluminium foam* dan *phase change material* sebagai *thermal storage* pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi Pemanas air tenaga matahari.

## 1.4. Ruang Lingkup

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. Penggunaan material *thermal storage* yang digunakan adalah material PCM dan *Aluminium Foam* dengan dimensi 30×29 cm dengan ketebalan 10 mm.
4. Laju aliran yang di gunakan konstan
5. Variasi sudut kemiringan panel kolektor surya berbasis material *Aluminium foam* dan PCM yaitu 0°.
6. Alat uji yang dipakai 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 sebuah *thermal storage* berpengaruh pada efisiensi pemanas air tenaga matahari

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari

Sistem pemanas air tenaga matahari yang terintegrasi adalah sistem pemanas air tenaga matahari yang menggabungkan kolektor surya dan tangki penyimpanan (*storage tank*), dimana potensi yang dihasilkan dalam sistem tersebut dapat mengurangi kebutuhan energi pemanas air skala domestik dengan biaya rendah secara signifikan. (Garnier dkk, 2018).

Pada umumnya, sistem pemanas air tenaga matahari atau *solar water heating system* skala domestik terdiri atas tiga komponen utama yaitu *collector*, *heat exchangers* dan *isolated storage tank*. Sedangkan berdasarkan posisinya secara permanen, kolektor surya juga terdiri dari berbagai tipe yaitu *Flate Pelate Collector* (FPC), *Ecavuated Tube Collector* (ETC) dan *Compound Parabolic Collector* (CPC). Secara sistem, pelat absorber berfungsi untuk menyerap radiasi matahari dan mentransfernya ke cairan atau fluida yang mengalir. Sehingga dapat juga dibedakan berdasarkan klasifikasi temperatur operasinya, pada umumnya *Flate Pelate Collector* (FPC) beroperasi pada temperatur rendah sampai temperatur 100°C, untuk jenis *Ecavuated Tube Collector* (ETC) beroperasi pada temperatur lebih tinggi daripada FPC dikarenakan terdapat tabung kaca konsentris vakum yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas secara konveksi dan konduksi, sedangkan *Compound Parabolic Collector* (CPC) menggunakan permukaan yang reflektif untuk memusatkan cahaya matahari pada area yang sangat kecil sehingga kalor mudah untuk diserap. (Kalogirou,2004).

Ada dua jenis sistem kolektor surya pemanas air yaitu sistem loop terbuka dan sistem loop tertutup. Pada sistem loop terbuka, dimana pada sistem ini air dipanaskan langsung oleh kolektor, sedangkan sistem loop tertutup atau tidak langsung yang dimana pada sistem ini air dipanaskan secara tidak langsung oleh fluida, secara garis besar transfer panas yang dipanaskan di kolektor setelah fluida dipanaskan lagi di kolektor, fluida kemudian dipompa ke tangki penyimpanan dimana terdapat *heat exchanger* untuk mentransfer kalor dari fluida ke air untuk

keperluan rumah tangga maupun industri. Sistem juga berbeda sehubungan dengan cara fluida melakukan perpindahan panas yaitu 7 sistem alami (pasif), sistem sirkulasi paksa (aktif). Dua jenis sistem yang termasuk dalam sistem pasif adalah termosifon dan sistem penyimpanan kolektor terintegrasi, yang dimana pada sistem pasif menggunakan metode perpindahan panas konveksi alami dan tanpa alat mekanis untuk mengalirkan fluida air dari kolektor ke tangki penyimpanan. Sedangkan dalam sistem aktif menggunakan kombinasi dengan peralatan konvensional yang dimana fluida air atau cairan transfer panas dipompa melalui kolektor. (Kalogirou,2009).

## **2.2. Kolektor Surya**

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. Pelat Absorber Bentuk Datar**

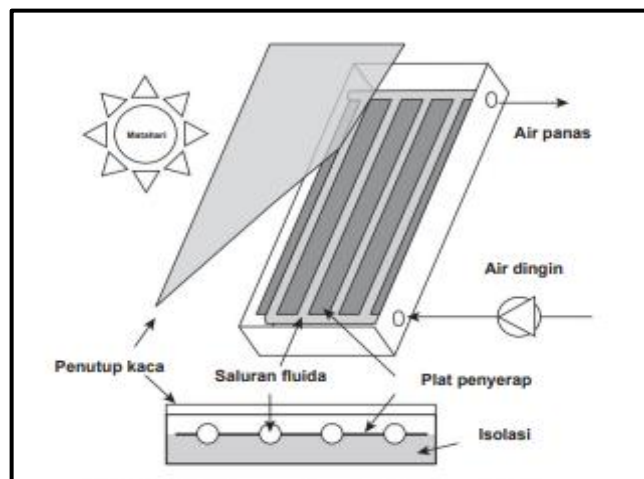
Kolektor pelat datar digunakan secara luas untuk aplikasi pemanas air domestik. Kolektor yang memiliki desain sederhana dan tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga membutuhkan sedikit perawatan. Kolektor pelat datar adalah kotak terisolasi dan tahan cuaca yang berisi pelat penyerap gelap di bawah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

FPC adalah inti dari setiap sistem pengumpulan energi matahari yang dirancang untuk beroperasi pada rentang suhu rendah (kurang dari 60°C) atau dalam rentang suhu menengah (kurang dari 100°C). Digunakan untuk menyerap

energi matahari, mengubahnya menjadi panas, dan kemudian mentransfer panas ke aliran cairan atau gas.

Kolektor pelat datar (FPC) biasanya dipasang secara permanen pada satu posisi tertentu. Mereka tidak memerlukan pengarah sinar matahari, dan fluida yang bersirkulasi bertindak sebagai media perpindahan panas. FPC terdiri dari kaca transparan untuk meneruskan sinar matahari, lembar absorber belakang, yang mana menyerap jumlah panas maksimum dan mentransfer ke fluida. Lapisan isolator di bawah pelat mengurangi jumlah panas kerugian konduksi, dan pipa tembaga dapat dipasang ke pelat absorber.

FPC umumnya terdiri dari komponen-komponen berikut:



Gambar 1 Absorber pelat datar

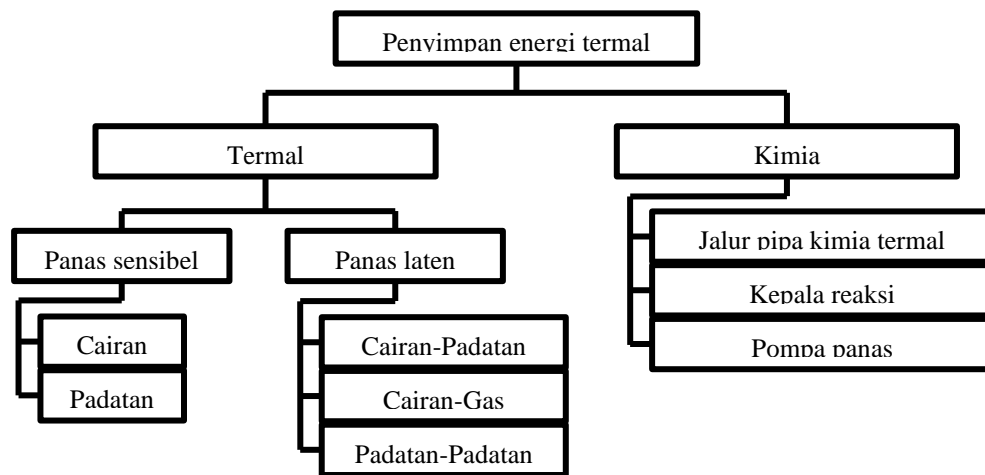
#### 2.4. Penyimpanan Energi Termal (TES)

Penyimpanan energi telah menjadi bagian penting dari teknologi sistem energi terbarukan. Penyimpanan energi termal (*thermal energy storage*) (TES) 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. Sistem TES biasanya digunakan pada bangunan dan proses industri. 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 (CO<sub>2</sub>)). Sistem termal matahari dengan upaya efisiensi yang baik, sudah matang di industri dan dapat memanfaatkan sebagian besar energi termal matahari di siang hari. Namun sistem termal surya tidak memiliki cukup cadangan (termal) untuk melanjutkan operasi pada saat waktu radiasi sedang rendah atau tidak ada (Ioan Sarbu, 2018).

Penggunaan penyimpanan termal, pada awalnya, tidak dapat menyediakan cadangan yang efektif tetapi membantu sistem stabil secara termal. Akibatnya, penyimpanan termal banyak digunakan pada sistem termal dengan bantuan matahari. Sejak itu, studi terhadap TES serta kegunaan dan efek dari penyimpanan panas sensibel dan laten pada beragam aplikasi meningkat, yang mengarah ke banyak penelitian (Ioan Sarbu, 2018)

Jenis-jenis penyimpanan energi termal matahari diperlihatkan pada gambar dibawah.

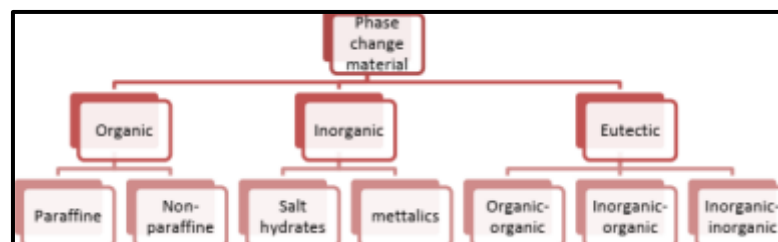


Gambar 2 Klasifikasi penyimpan energi termal

## 2.5. PCM (*Phase Change Material*)

Phase Change Materials adalah material perubahan fase (gas-cair-padat), ada penyerapan/pelepasan panas pada suhu yang hampir konstan. Untuk penyimpanan energi, perubahan fase cair-padat adalah satu-satunya yang praktis, dan bahan tersebut harus memiliki panas laten yang besar dan konduktivitas termal yang tinggi. Bahan perubahan fase menyimpan energi panas 5 hingga 14 kali lebih banyak per satuan volume daripada bahan penyimpanan konvensional (air, pasangan bata, dan batuan). Ada sejumlah besar bahan perubahan fase dalam kisaran suhu dari  $-5^{\circ}\text{C}$  hingga  $190^{\circ}\text{C}$ . Bahan organik seperti parafin dan asam lemak memiliki perubahan fase dalam kisaran ini. Beberapa masalah dengan menggunakan bahan perubahan fase adalah stabilitas sifat termal di bawah siklus yang diperpanjang dan kadang-kadang pemisahan fase dan *subcooling*. Panas fusi untuk air adalah  $333,6 \text{ kJ/kg}$  atau  $319,8 \text{ MJ/m}^3$ . Ingat, kepadatan es kurang dari itu untuk air, jadi wadah harus memiliki ruang untuk ekspansi air dalam fase padat. Contoh penyimpanan perubahan fase untuk gedung perkantoran adalah es yang dibuat di musim dingin, disimpan di reservoir bawah tanah, dan kemudian digunakan untuk pendinginan selama musim panas (Nelson, 2009).

Secara umum, penyimpanan panas laten adalah yang paling menjanjikan di antara berbagai metode penyimpanan energi panas. Dalam tes panas laten; energi disimpan dalam bahan perubahan fase (PCM) melalui perubahan suatu zat dari satu fase ke fase lainnya.



Gambar 3 Daftar bahan yang paling mungkin digunakan untuk penyimpanan panas laten



Ketika suhu meningkat, bahan berubah dari fase padat menjadi cair dan menyerap panas dalam proses endotermik. Ketika suhu berkurang, bahan mengalami perubahan fase dari cair ke padat dan melepaskan panas. Karena PCM menyimpan energi dalam bentuk panas laten fusi, tidak ada penurunan suhu yang signifikan dalam proses pelepasan panas. Penyimpanan energi harus melalui beberapa transisi fase: padat-padat, padat-cair, padat-gas dan cair-gas. Dalam transisi padat-padat, energi disimpan oleh transformasi kristal material. Transisi ini mengandung panas laten yang jauh lebih kecil dan perubahan volume kecil. Akibatnya, PCM padat-padat memiliki keuntungan dari persyaratan kontainer yang kurang ketat yang memungkinkan fleksibilitas desain yang lebih besar. Di sisi lain, transformasi padat-cair memainkan peran penting dalam TES panas laten karena memberikan kepadatan penyimpanan energi yang tinggi dan memiliki panas fusi laten yang jauh lebih tinggi. Berbeda dengan transisi fase padat-padat dan padat-cair, transisi padat-gas dan gas cair memiliki keuntungan dari panas fusi laten yang lebih tinggi, tetapi perubahan volumenya yang besar selama proses perubahan fase meningkatkan kesulitan dan kompleksitas sistem penyimpanan.

## **2.6. Parafin wax**

Lilin parafin adalah campuran hidrokarbon jenuh yang biasanya terdiri dari campuran alkana yang berbeda. Parafin dicirikan oleh rantai karbon lurus atau bercabang dengan rumus generik  $C_nH_{2n+2}$  ( $C_{20}H_{42}$  hingga  $C_{40}H_{84}$ ), dan memiliki suhu leleh mulai dari  $23^\circ$  hingga  $67^\circ\text{C}$ . Parafin adalah padatan putih, semi-transparan, hambar dan tidak berbau dengan sifat umum seperti tekstur halus, anti air, toksisitas rendah, bebas dari bau dan warna yang tidak menyenangkan. Parafin mudah terbakar dan memiliki sifat dielektrik yang baik. Larut dalam benzena, ligroin, alkohol hangat, kloroform dan karbon disulfida, tetapi tidak larut dalam air dan asam. Parafin digunakan untuk pelengkap lilin, lapisan kertas, sealant pelindung untuk produk makanan dan minuman, pelengkap pembersihan kaca, dukungan karpet panas-meleleh, mulsa biodegradable, pelumas, dan sumbat untuk botol asam, serta isolasi listrik. Parafin digunakan sebagai bahan perubahan fase untuk aplikasi penyimpanan termal, karena mereka memiliki sebagian besar sifat

yang diperlukan. Memiliki panas laten fusi yang tinggi, pendinginan super yang dapat diabaikan, tekanan uap rendah dalam keadaan cair, mereka secara kimiawi lembam, memiliki stabilitas kimia, nukleasi diri, tersedia secara komersial, tidak berbahaya secara ekologis, tersedia dan murah. Kapasitas panas spesifik mereka adalah sekitar 2,1 kJ/kg.K, dan entalpi mereka terletak antara 180 dan 230 kJ/kg, cukup tinggi untuk bahan organik. Kombinasi kedua nilai ini menghasilkan kepadatan penyimpanan energi yang sangat baik. Karena karakteristik yang diinginkan inilah lilin parafin digunakan sebagai PCM dalam penelitian ini. Lilin parafin dikatakan sebagai PCM padat- cair konvensional, dan karenanya tidak nyaman digunakan secara langsung sebagai bahan perubahan fase. Ini berarti bahwa lilin parafin perlu dikapsulasi untuk mencegah, misalnya, kebocoran lilin parafin cair selama transisi fase. Memiliki konduktivitas termal yang rendah dan perubahan volume yang besar selama transisi fase. Penerapan bahan perubahan fase telah menemukan pentingnya dalam berbagai sistem mulai dari penyimpanan energi hingga perlindungan termal (Mngomezulu M.E., 2009).

Tabel 1. Sifat fisik lilin paraffin

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
$\rho$ (density)	830 kg/m <sup>3</sup>

## 2.7. Metal Foam

*Metal Foam* adalah suatu logam yang memiliki pori-pori di hampir setiap bagian logam tersebut. *Metal Foam* memiliki sifat-sifat unik diantaranya memiliki konstruksi yang ringan, sifat kekakuannya tinggi namun memiliki kepadatan yang rendah, dapat menyerap energi, dan dapat mengisolasi panas dan suara. Pada gambar 4 memperlihatkan salah satu jenis material metal foam dalam hal ini gambar dibawah merupakan bentuk fisik dari *Aluminium Foam*.



Gambar 4 *Metal Foam*

## 2.8. Formulasi Kesenjangan Energi pada SWH

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

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

Dimana:

$Qu$  = Kalor yang berguna (kW)

$A_c$  = Luas Kolektor (m<sup>2</sup>)

$S$  = Radiasi Cahaya yang diserap per satuan luas (kW/m<sup>2</sup>)

$U_L$  = Koefisien Perpindahan panas (kW/m<sup>2</sup>.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:

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

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:

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

Dimana:

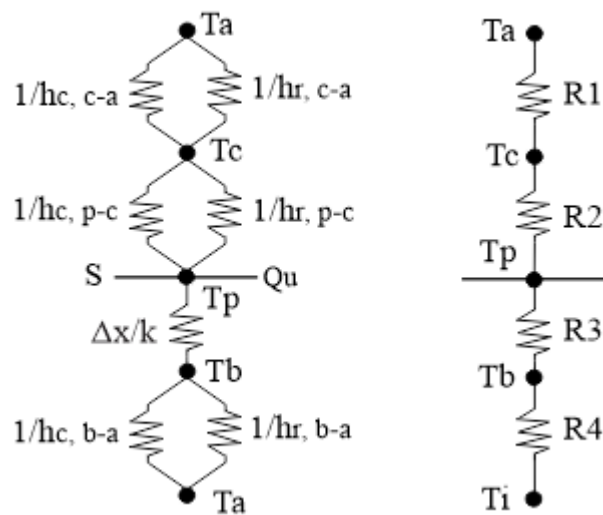
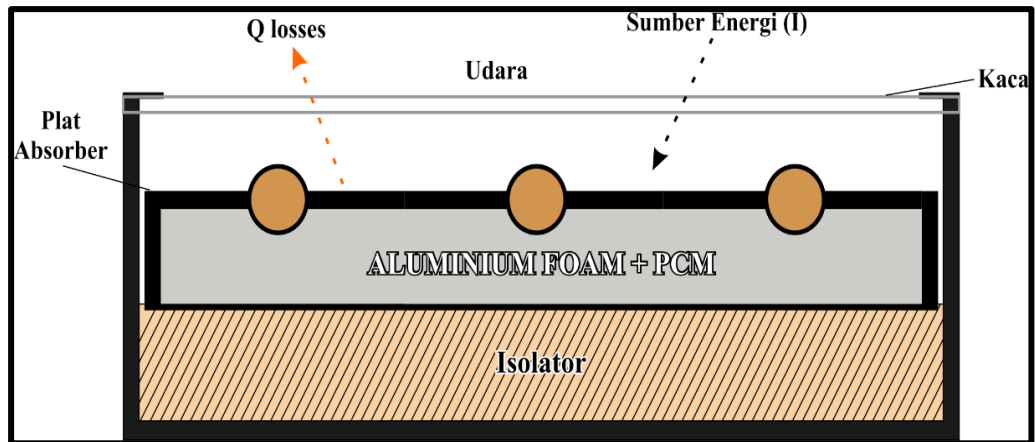
$\eta$  = Efisiensi (%)

$I_T$  = intensitas matahari total pada periode waktu sama (kW/m<sup>2</sup>)

$Qu$  = panas yang berguna (kW)

$A_c$  = Luas Kolektor (m<sup>2</sup>)

Adapun tahap perhitungan dalam mencari kerugian kalor sebagai berikut:  
Analisis perpindahan panas:



Gambar 5. Tahanan termal pada kolektor

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

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

Dimana:

$Re$  = Bilangan Reynolds

$Pr$  = Bilangan Prandtl

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

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

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

Dimana:

$h_{r_{c-a}}$  = koefisien perpindahan panas radiasi (penutup dan udara luar)  
(W/m<sup>2</sup>.K)

$\varepsilon_c$  = Emisivitas penutup

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman ( $5,6697 \times 10^{-8}$ , W/m<sup>2</sup>k<sup>4</sup>)

$T_c$  = temperatur penutup (K)

$T_s$  = temperatur sky (K)

$T_a$  = temperatur lingkungan (K)

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

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

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

Dimana:

$Ra$  = Bilangan Rayleigh

$\beta$  = sudut kemiringan (°)

$L$  = panjang karakteristik penutup (m)

4. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup.

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

Dimana:

$h_{r_{p-c}}$  = Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup (W/m<sup>2</sup>.K)

$\varepsilon_c$  = emisivitas penutup

$\varepsilon_p$  = emisivitas pelat

$T_p$  = temperatur pelat

$T_c$  = temperatur penutup

5. Koefisien perpindahan panas total kolektor.

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

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

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

Dimana:

$U_t$  = koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas (W/m<sup>2</sup>.K).

$U_b$  = koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor (W/m<sup>2</sup>.K).

$U_L$  = koefisien perpindahan panas total kolektor (W/m<sup>2</sup>.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).

$L_{Besi}$  = ketebalan pelat besi *casing* material penyimpan panas (m).

$k_{Besi}$  = konduktivitas pelat besi *casing* material penyimpan panas (W/m.K).

$L_i$  = ketebalan isolator (m).

$k_i$  = konduktivitas termal isolator (W/m.K).

## 6. Kerugian panas kolektor

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

Dimana:

$Q_{loss}$  = Panas yang terbuang ( $\text{W/m}^2$ )

$U_L$  = koefisien perpindahan panas total kolektor ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ).

$T_i$  = temperatur *inlet* (K).

$T_a$  = temperatur Udara (K).