

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI  
*TERMAL STORAGE* TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER  
BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA  
MATAHARI**

**Disusun dan diajukan oleh**

**FAISAL HAMKA**

**D021 17 1015**



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS**

**HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI  
*TERMAL STORAGE* TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER  
BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA  
MATAHARI**

**Disusun dan diajukan oleh**

**FAISAL HAMKA**

**D021 17 1015**

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

**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS  
HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**JUDUL:**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI  
TERMAL STORAGE TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER  
BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA  
MATAHARI**

**Disusun dan diajukan oleh**


**FAISAL HAMKA**


**D021 17 1015**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I


Dosen Pembimbing II

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

  
**Dr. Muhammad Syahid. ST.,MT.**  
NIP. 19770707/200501 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Faisal Hamka

NIM : D021171015

Program Studi : Teknik Mesin

Judul skripsi : Pengaruh Penggunaan Material Komposit Sebagai *Thermal Storage* Terintegrasi Pada Pelat Absorber Berbentuk Datar Terhadap Efisiensi Pemanas Air Tenaga Matahari

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 4 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



**Faisal Hamka**

## ABSTRAK

Penelitian mengenai pemanas air tenaga matahari untuk meningkatkan efisiensi telah banyak dilakukan salah satunya yaitu modifikasi pelat absorber. Penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi termal pada pelat absorber perlu menggunakan material tembaga dan warna hitam pada permukaan pelat absorber kemudian penggunaan material komposit Aluminium Alumina ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ) pada bagian bawah pelat absorber. Hal ini dikarenakan tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan warna hitam untuk meningkatkan proses penyerapan kalor serta material komposit Aluminium Alumina ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ) dapat berfungsi sebagai TES (Thermal Energy Storage). pengambilan data dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan Alat Gunt ET-202, untuk mengetahui efisiensi pemanas air tenaga matahari akan dibandingkan pelat absorber tanpa penggunaan material komposit Aluminium Alumina ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ) pada bagian bawah pelat dengan pelat absorber menggunakan material komposit Aluminium Alumina ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ) pada bagian bawah pelat dan beberapa variasi sudut kemiringan yang sama setiap pelat absorber. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan efisiensi terjadi secara signifikan pada pelat absorber dengan penggunaan material komposit Aluminium Alumina ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ) pada bagian bawah pelat absorber untuk sudut  $0^\circ$  yaitu 6,31%, untuk sudut kemiringan  $10^\circ$  yaitu 5,71% dan untuk sudut kemiringan  $30^\circ$  yaitu 4,59%. dimana dari hasil tersebut didapatkan sudut  $0^\circ$  memiliki efisiensi terbesar dari sudut kemiringan yang lain yaitu 6,31%.

Kata Kunci: Kolektor Surya, Efisiensi, Aluminium Alumina ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ), Thermal Energy Storage

## **ABSTRACT**

*Many researches on solar water heaters to increase efficiency have been carried out, one of which is modification of the absorber plate. Research conducted to improve the thermal efficiency of the absorber plate needs to use copper material and black color on the surface of the absorber plate and then use Aluminum Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite material at the bottom of the absorber plate. This is because copper has high thermal conductivity and black color to increase the heat absorption process and Aluminum Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite material can function as TES (Thermal Energy Storage). Data collection was carried out at the Renewable Energy Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University using the Gunt ET-202 Tool, to determine the efficiency of a solar water heater compared to an absorber plate without the use of Aluminum Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite material at the bottom of the plate with an absorber plate using a composite material. Aluminum Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite at the bottom of the plate and several variations of the slope angle are the same for each absorber plate. The results of this study indicate that an increase in efficiency occurs significantly on the absorber plate with the use of Aluminum Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite material at the bottom of the absorber plate for an angle of 0° which is 6,31%, for an angle of 10° which is 5,71% and for a slope angle of 30° which is 4,59%. where from these results obtained an angle of 0° has the greatest efficiency of the other slope angles, namely 6,31%.*

*Keywords: Solar Collector, Efficiency, Aluminum Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Thermal Energy Storage*

## KATA PENGANTAR

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

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

Oleh karena ini dengan penuh rasa hormat dan tulus saya selaku penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr-Eng. Jalaluddin, ST, MT selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST,MT selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan sangat banyak pelajaran berharga bagi saya, yang tidak bisa ternilai harganya dengan apapun, meluangkan waktu dan tenaganya dan juga memberikan motivasi dan ide-ide kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tak lupa secara khusus penulis haturkan ucapan terima kasih kepada Ayahanda sekaligus motivasi hidup saya Hading hamsa yang telah memberikan sangat banyak pelajaran berharga kepada saya dan Ibunda Kamatang yang telah merawat saya tanpa lelah dari kecil hingga saat ini, dan memberikan semangat serta dukungan yang tidak ada habisnya kepada saya, dan juga kepada kakak saya Irwan hamka yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada saya, serta keluarga besar yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu ada memberikan dukungan kepada saya.

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



1. Ibu Prof. Dwia Aris Tina Pulubuhu, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta stafnya.
2. Bapak Dr-Eng. Jalaluddin, ST,MT selaku Ketua Departemen Mesin FT-UH
3. Bapak Dr.Ir Nasruddin Azis, M.Si selaku penasehat akademik yang telah membimbing dan membantu penulis selama menjalani studi.
4. Seluruh dosen penguji, bapak Dr-Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST,M.Sc, dan bapak Dr. Rustan Tarakka, ST,MT yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi saya.
5. Seluruh staf administrasi Departemen Mesin (Pak Mansyur, Pak Irwan, Kak Suri serta yang lain) yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.
6. Seluruh teman–teman mahasiswa Jurusan Mesin khususnya Angkatan 17 ZYNCROMEZH Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
7. Tim Anggota Riset di laboratorium Energi Terbarukan, (Bapak Muhammad Hasan Basri, ST.MT dan Muh. Anis Ilahi R )
8. Semua pihak yang tidak sempat disebutkan namanya satu per satu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua baik dengan pahala ataupun rejeki.penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima keritikan dan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi ini kedepanya, agar berguna bagi pembaca nantinya.

Gowa, Maret 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
NOMENKLATUR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari .....	5
2.2. Sistem Surya Pemanas Air .....	6
2.3. Kolektor Surya.....	7
2.4. Pelat Absorber Bentuk Datar.....	10
2.5. Penyimpan Energi Termal ( <i>Thermal Energy Storage, TES</i> ).....	11
2.6. Material Komposit Aluminium Alumina .....	13
2.7. Perpindahan Panas.....	16
2.8. Formulasi Keseimbangan Energi pada <i>Solar Thermal Collector</i> .....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1. Waktu Penelitian dan Tempat .....	22
3.2. Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	22
3.3. Prosedur Penggunaan Alat Laboratorium Gunt ET-202.....	26

3.4. Metode Penelitian.....	27
3.5. Variabel Penelitian .....	28
3.6. Tahapan Pengambilan Data.....	29
3.7. <i>Flowchart</i> Penelitian .....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1. Analisa Hasil Pengujian Eksperimental .....	31
4.2. Pembahasan .....	39
BAB V PENUTUP.....	50
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA .....	51

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Kolektor Surya Pemanas Air (Hudon, 2014).....	5
<b>Gambar 2.2.</b> Kolektor pelat datar (Kalogirou, 2014) .....	8
<b>Gambar 2.3.</b> Kolektor parabola majemuk stasioner (Kalogirou, 2004) .....	9
<b>Gambar 2.4.</b> Kolektor tabung dievakuasi (Kalogirou, 2004) .....	10
<b>Gambar 2.5.</b> Absorber pelat datar (Prado R.T.A. dan Sowny D.S., 2016).....	11
<b>Gambar 2.6.</b> Klasifikasi penyimpan energi termal (Ioan Sarbu, 2018).....	12
<b>Gambar 2.7.</b> Klasifikasi material komposit (Rajak dkk, 2016) .....	13
<b>Gambar 2.8.</b> Konduksi pada dinding dengan tebal $\Delta x$ dan luas A (Cengel, 2003) .....	17
<b>Gambar 2.9.</b> Konveksi paksa dan konveksi bebas (Cengel, 2003) .....	17
<b>Gambar 2.10.</b> Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan (Cengel, 2003)	19
<b>Gambar 2.11.</b> Jala-jala termal.....	21
<b>Gambar 3.1.</b> Solar Thermal Energy Gunt ET-202.....	22
<b>Gambar 3.2.</b> Skema penelitian.....	23
<b>Gambar 3.3.</b> Data logger Omega T08.....	23
<b>Gambar 3.4.</b> Termokopel.....	24
<b>Gambar 3.5.</b> Komputer .....	24
<b>Gambar 3.6.</b> Dimensi kolektor .....	25
<b>Gambar 3.7.</b> Flowchart penelitian .....	30
<b>Gambar 4.1.</b> Energi kalor yang diserap pada sudut $0^\circ$ .....	39
<b>Gambar 4.2.</b> Efisiensi kolektor pada sudut $0^\circ$ .....	40
<b>Gambar 4.3.</b> Energi kalor yang diserap pada sudut $10^\circ$ .....	42
<b>Gambar 4.4.</b> Efisiensi kolektor pada sudut $10^\circ$ .....	42
<b>Gambar 4.5.</b> Energi kalor yang diserap pada sudut $30^\circ$ .....	44
<b>Gambar 4.6.</b> Efisiensi kolektor pada sudut $30^\circ$ .....	44
<b>Gambar 4.7.</b> Efisiensi kalor tanpa penambahan material komposit pada sudut kemiringan $0^\circ$ , $10^\circ$ , dan $30^\circ$ .....	47

**Gambar 4.8.** Efisiensi kalor penambahan material komposit Aluminium-Alumina pada sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $30^\circ$  ..... 48

## DAFTAR TABEL

**Tabel 2.1.** Properti Material Komposit Aluminium-Alumina..... 15

**Tabel 3.1.** Tabel parameter pengukuran efisiensi solar kolektor..... 27

## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
$R_m$	Iluminasi dari Material komposit bawah	$W/m^2$
$R_c$	Iluminasi dari Custom	$W/m^2$
$\dot{V}$	Laju Aliran Massa	kg/s
$V_w$	Kecepatan Angin	m/s
$P$	Densitas Air	$kg/m^3$
$C_p$	Kalor Spesifik Udara	$kJ/kg.K$
$A_c$	Luas Kolektor	$m^2$
$T_p$	Temperatur Pelat Absorber	$^{\circ}C, K$
$T_{am}$	Temperatur Udara Luar Material Komposit	$^{\circ}C, K$
$T_{ac}$	Temperatur Udara Luar Custom	$^{\circ}C, K$
$T_{in}$	Temperatur Air Masuk	$^{\circ}C, K$
$T_{out}$	Temperatur Air Keluar	$^{\circ}C, K$
$T_{kd}$	Temperatur Kaca dalam	$^{\circ}C, K$
$T_{kl}$	Temperatur Kaca luar	$^{\circ}C, K$
$T_{isl}$	Temperatur Isolator	$^{\circ}C, K$
$T_{mk}$	Temperatur Material komposit bawah	$^{\circ}C, K$
$T_{c-luar}$	Temperatur Kaca Luar	$^{\circ}C, K$
$T_{c-dalam}$	Temperatur Kaca Dalam	$^{\circ}C, K$
$N$	Visikositas Kinematik	$m^2/s$
$D_h$	Diameter Hidrolis	M
$\Sigma$	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	$W/m^2.K$
$R_{k1}$	Tahanan Termal dari Material komposit bawah ke Isolator	$W/m^2.K$
$R_{k2}$	Tahanan Termal dari Pelat ke Material komposit bawah	$W/m^2.K$

R1,R2	Tahanan Termal	$m^2K/W$
$K_m$	Konduktivitas Termal Material komposit	$W.m.K$
$K_k$	Konduktivitas Termal Keramik	$W.m.K$
$L_m$	Ketebalan Material komposit	m
$L_k$	Ketebalan Keramik Isolator	m
G	Percepatan Gravitasi	$m/s^2$
$U_t$	Koefisien perpindahan panas Atas	$W/m^2K$
$U_b$	Koefisien perpindahan panas Bawah	$W/m^2K$
$U_d$	Koefisien perpindahan panas Bawah	$W/m^2K$
$U_L$	Koefisien perpindahan panas Total	$W/m^2K$
S	Radiasi Per Satuan Luas	$W/m^2$
$Q_n$	Energi yang Berguna	W
H	Efisiensi	%



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya melimpah seperti batubara dan minyak bumi. Batubara dan minyak merupakan sumber daya energi yang akan habis dan tidak dapat diperbaharui. Penggunaan batubara dan minyak semakin terbatas dan berdampak serius terhadap polusi udara dan pemanasan global. Salah satu cara menanggulangnya adalah dengan penggunaan energi terbarukan seperti pemanfaatan energi matahari. Energi matahari adalah sumber energi terbarukan dengan berbagai macam aplikasi seperti pemanas air tenaga matahari yang pada umumnya digunakan untuk keperluan domestik (rumah tangga) ataupun industri.

Energi matahari dihasilkan dari fusi nuklir hidrogen (unsur utama matahari) menjadi helium, yang mengurangi massa matahari sebanyak  $4,7 \times 10^6$  ton setiap detiknya. Kebutuhan energi seluruh populasi di bumi sekitar 15 tera- Watt, sedangkan radiasi matahari yang mencapai bumi sekitar 120.000 tera- Watt. Idealnya, apabila pemanfaatan sebagian kecil saja dari radiasi matahari yang sampai ke bumi, akan mampu memenuhi kebutuhan energi semua populasi yang ada di bumi (Ogie dkk, 2013)

Indonesia terdiri dari kesatuan pulau yang terbentang di sepanjang garis katulistiwa. Menurut Ditjen EBTKE (2013), potensi sumber energi matahari rata-rata di Indonesia sekitar 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Besarnya potensi energi surya ini sangat cocok untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

Meskipun Indonesia adalah termasuk negara dengan iklim tropis dengan temperatur udara yang relatif panas, tetapi pada kasus tertentu terdapat kebutuhan untuk air panas. Pada sektor pariwisata, misalnya bangunan hotel, penggunaan air panas adalah hal yang umum. Demikian juga untuk rumah sakit dan beberapa sektor industri.

Berdasarkan fakta bahwa Indonesia memiliki sumber energi matahari yang cukup besar dan adanya kebutuhan energi untuk menghasilkan air panas, maka energi surya cocok digunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan air panas. Teknologi yang digunakan untuk menghasilkan air panas dari energi surya biasanya disebut *solar water heater (SWH)* atau pemanas air tenaga surya.

Pengembangan berbagai komponen banyak dilakukan untuk meningkatkan performa termal pemanas air tenaga surya, salah satunya adalah dengan memodifikasi pelat absorber dari kolektor surya. Jalaluddin, dkk (2016), melakukan penelitian dua sistem pemanas air tenaga surya yaitu dengan pelat datar dan pelat bentuk-V. Ditemukan bahwa sistem pemanas air tenaga surya dengan pelat absorber bentuk-V memiliki efisiensi 3,6-4,4% lebih tinggi dibandingkan sistem dengan pelat absorber datar disebabkan oleh peningkatan daya serap panas dari pelat absorber.

Penelitian terkait *thermal energy storage* juga telah dilakukan oleh Andi Syahrinaldy Syahrudin (2020) untuk menganalisa performa pemanas air tenaga matahari menggunakan pelat kolektor terintegrasi dengan PCM Storage. Ditemukan bahwa terjadi peningkatan efisiensi sebesar 3,25% karena adanya peningkatan penyerapan kalor oleh pelat absorber.

Berdasarkan uraian di atas diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai sistem pemanas tenaga surya dengan pelat datar yang lebih efisien yaitu dengan penggunaan material komposit yang tersusun dari alumina dan aluminium ( $Al-Al_2O_3$ ) dimana aluminium sebagai material matriksnya. Dengan penggunaan material ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi sistem pemanas air tenaga surya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul: **“PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI *TERMAL STORAGE* TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI”**

## 1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan material komposit sebagai thermal storage pada pelat absorber datar terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan dengan penggunaan material komposit sebagai thermal storage pada pelat absorber datar terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari

## 1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisa pengaruh penggunaan material komposit sebagai thermal storage pada pelat absorber datar terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari.
2. Untuk menganalisa pengaruh variasi sudut kemiringan dengan penggunaan material komposit sebagai thermal storage dengan pelat absorber datar terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari.

## 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. Penggunaan material *thermal storage* yang digunakan adalah material komposit Aluminium-Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dengan dimensi 30×30 cm dengan ketebalan 7 mm.
4. Laju aliran yang di gunakan 10 liter per jam
5. Variasi sudut kemiringan panel kolektor surya berbasis material komposit yaitu 0<sup>0</sup>, 10<sup>0</sup>, dan 30<sup>0</sup>.

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:

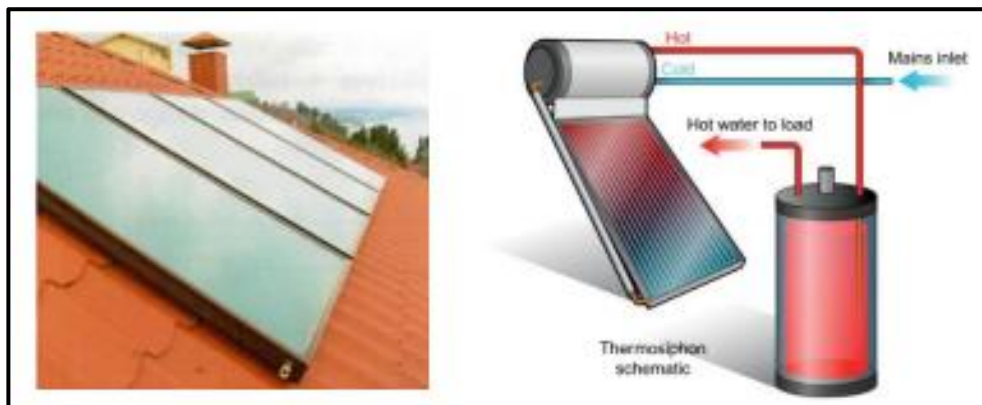
1. Sebagai tugas akhir, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Menjadi referensi untuk penelitian serupa kedepannya.
3. Memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu 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 adalah sebuah alat yang digunakan untuk mentransfer energi panas matahari ke dalam air. Radiasi matahari ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan kemudian diserap oleh pelat penyerap (pelat absorber). Selanjutnya, energi panas pada pelat absorber ditransfer ke air yang mengalir dalam pipa, yang terlihat pada gambar 2.1. Pemanas Air Tenaga Surya memiliki komponen utama yang terbuat dari selembur bahan konduktif termal yang disebut pelat penyerap (absorber) yang kepadanya menempel pipa-pipa pembawa cairan (air) atau biasa disebut pipa pemanas (riser pipe). Absorber ini terbuat dari lembaran metal tipis dan permukaannya dibuat berwarna hitam untuk memaksimalkan penyerapan radiasi matahari. Menurut teori yang ada, benda hitam adalah penyerap radiasi yang baik. Penghitaman bisa dilakukan dengan pengecatan warna hitam sebagai cara yang paling mudah. Adapun cara yang lebih canggih dengan proses pelapisan seperti elektroplating, anodizing, dan lain-lain. Cara pelapisan canggih tersebut, misal dengan black chrome atau black nickel, dimasukkan selain untuk mempertinggi penyerapan material terhadap radiasi matahari, juga untuk memperendah emitansinya terhadap gelombang sinar infra merah.



**Gambar 2.1.** Kolektor Surya Pemanas Air (Hudon, 2014)

## 2.2. Sistem Surya Pemanas Air

Sistem Surya pemanas air yang terintegrasi adalah sistem pemanas air tenaga surya 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 surya pemanas air atau solar water heating system skala domestik terdiri atas tiga komponen utama yaitu collector, heatexchangers dan isolated storage tank. Sedangkan berdasarkan posisinya secara permanen, kolektor surya juga terdiri dari berbagai tipe yaitu *Flate Plate 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 Plate 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. Klasifikasi sistem surya pemanas air berdasarkan sirkulasi aliran fluida dapat dilihat pada tabel 2.1 ( Kalogirou, 2009).

### **2.3. Kolektor Surya**

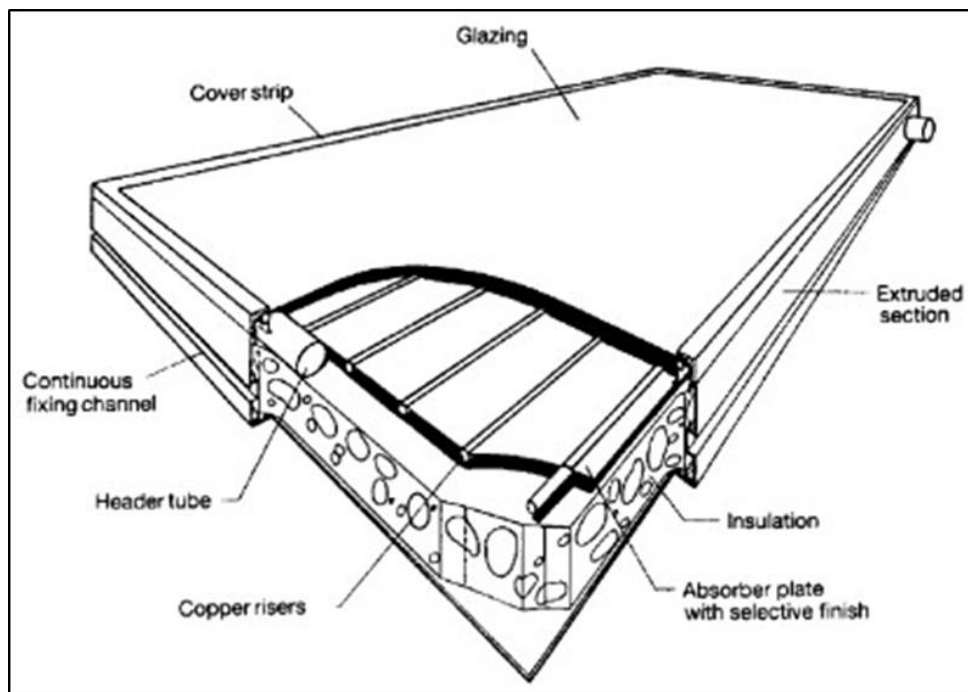
Kolektor energi surya adalah jenis khusus dari penukar panas yang mengubah energi radiasi surya menjadi energi internal media transportasi. Komponen utama dari setiap sistem surya adalah kolektor surya. Ini merupakan alat dimana menyerap radiasi surya, mengubahnya menjadi panas, dan memindahkan panas tersebut ke fluida (biasanya udara, air, atau oli) yang mengalir melalui kolektor. Energi surya yang dikumpulkan dibawa dari fluida yang bersirkulasi baik secara langsung menuju air panas atau peralatan pengkondisian ruangan, atau ke tangki penyimpanan energi panas (*thermal energy storage tank*) yang dapat diambil untuk digunakan pada malam hari dan/atau hari berawan (Kaligirou, 2004).

#### **2.3.1. Kolektor Pelat Datar, *Flat Plate Collectors* (FPC)**

Kolektor plat datar, *flat plate collector* (FPC) merupakan salah satu jenis solar kolektor yang berfungsi untuk mengumpulkan energi panas matahari yang terdiri dari plat penyerap termal konduktif yang biasanya terdapat satu atau dua penutup transparan di atasnya yang berfungsi untuk mencegah panas dikonveksi ke udara sekitar, insulator panas yang di belakangnya 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 set. Sistem kolektor pasif memindahkan panas dari kolektor ke tangki penyimpanan dengan prinsip konveksi alami, juga disebut sebagai termosipon yaitu tanpa dukungan pompa listrik. Karena intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ ) bervariasi sesuai dengan lokasi, musim, dan langit berawan, di daerah beriklim sedang dan dingin, sumber panas listrik atau gas biasanya dipasang sebagai sistem bantu di dalam atau luar tangki agar air mencapai suhu yang diinginkan ( $45-50^{\circ}C$  atau bahkan lebih tinggi). Dapat dicampur dengan air dingin mencapai sekitar  $38^{\circ}C$  untuk memberikan mandi atau shower yang nyaman (Prado R. T. A. dan Sowny D. S., 2016).

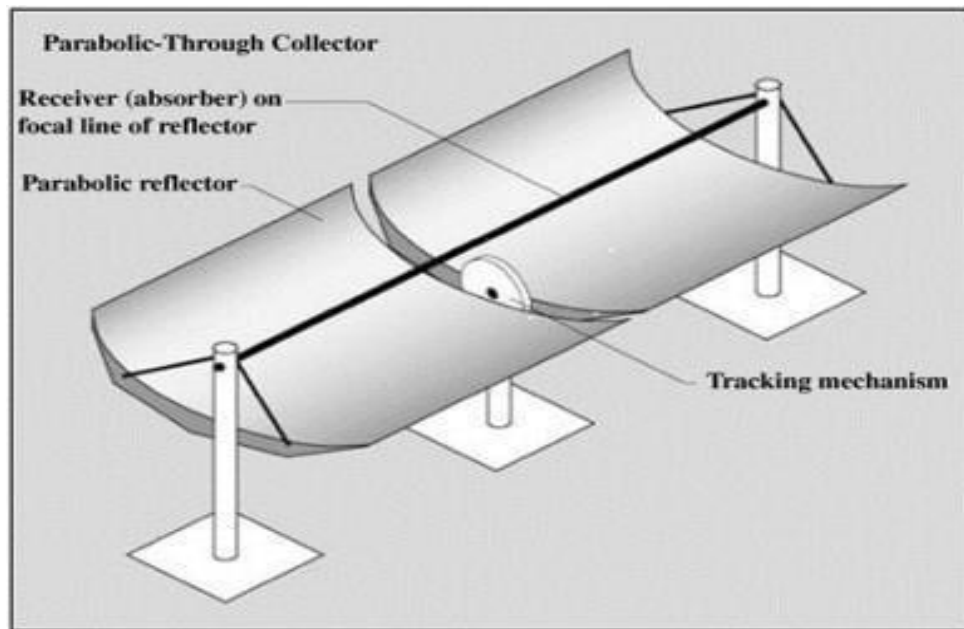


**Gambar 2.2.** Kolektor pelat datar (Kalogirou, 2014)

### **2.3.2. Kolektor Parabola Majemuk Stasioner, *Stationary Compound Parabolic Collectors (CPC)***

Kolektor parabola majemuk stasioner, *stationary compound parabolic collectors (CPC)* merupakan jenis kolektor yang memiliki kemampuan dalam merefleksikan semua radiasi yang datang ke absorber

tanpa batasan. Pergerakan konsentrator dibantu oleh reflektor pada dua sisi dari parabola saling berhadapan untuk mengatasi permasalahan orientasi arah matahari. Penggunaan multi reflektor memungkinkan radiasi apapun yang masuk dengan sudut terima, maka absorber yang terletak di bagian bawah akan mudah menyerap kalor dengan konfigurasi yang bervariasi (Kaligirou, 2004).



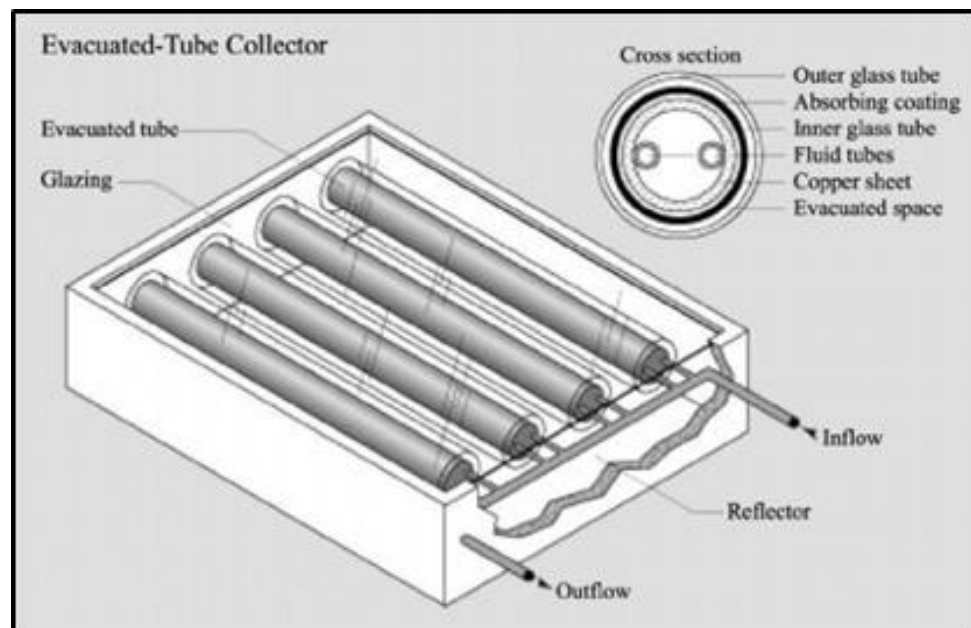
**Gambar 2.3.** Kolektor parabola majemuk stasioner (Kaligirou, 2004)

### **2.3.3. Kolektor Tabung Dievakuasi, *Evacuated Tube Collector (ETC)***

Prinsip kerja dari kolektor tabung dievakuasi, *evacuated tube collector (ETC)* berbeda dengan tipe kolektor lain yang komersial. Komponennya terdiri atas: (1) *evacuated tube (glass-glass seal)* yang berfungsi untuk meminimalkan kehilangan panas, (2) *copper heat-pipe*, berfungsi sebagai alat penukar panas yang cepat, dan (3) *casing*, material dari aluminium berfungsi sebagai pelindung sekaligus rangka struktur yang terintegrasi dengan sistem. Keunggulan dari kolektor bentuk tabung ini yaitu memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kolektor pelat datar dengan sudut terima yang rendah sepanjang hari karena menggunakan PCM dan menghasilkan temperatur fluida tinggi. Sedangkan kelemahannya

yaitu biaya pembuatan dan pemeliharaan yang tinggi, sehingga kurang kompetitif untuk dipasarkan (Shukla et al., 2013).

Pada umumnya, kolektor bentuk tabung ini didesain dengan menempatkan material konduktor dengan konduktivitas termal tinggi salah satunya tembaga dalam tabung vakum. Tabung vakum berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas konveksi dan konduksi. Pipa tembaga yang berada dalam tabung diberikan sirip berperan sebagai plat absorber. Tonjolan pada masing-masing tabung dihubungkan dengan kondenser. Sedangkan heat pipe terisi fluida kerja (cairan) yang akan mengalami siklus kondensasi dan penguapan (Kaligarou, 2004).

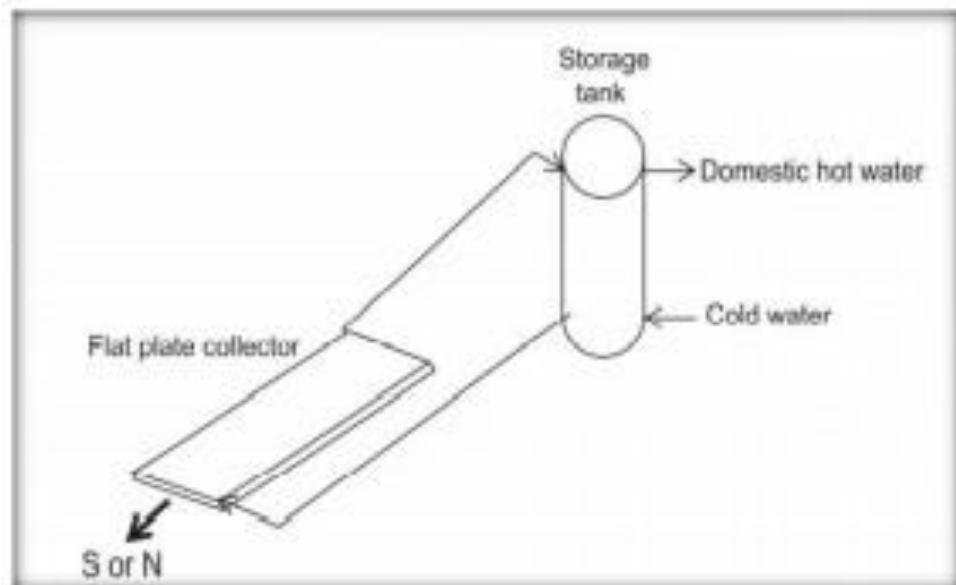


**Gambar 2.4.** Kolektor tabung dievakuasi (Kalogirou, 2004)

#### 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 dibelakang nya 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 set. Sistem kolektor pasif memindahkan panas dari kolektor ke tangki penyimpanan dengan prinsip konveksi alami, juga disebut sebagai termosipon yaitu tanpa dukungan pompa listrik. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Karena intensitas radiasi matahari ( $W/M^2$ ) bervariasi sesuai dengan lokasi, musim, dan langit berawan, di daerah beriklim sedang dan dingin, sumber panas listrik atau gas biasanya dipasang sebagai sistem bantu di dalam atau di luar tangki agar air mencapai suhu yang diinginkan (45-50 °C atau bahkan lebih tinggi). Dapat dicampur dengan air dingin mencapai sekitar 38 °C untuk memberikan mandi atau shower yang nyaman. (Prado R.T.A dan Sowny D.S 2016)



**Gambar 2.5.** Absorber pelat datar (Prado R.T.A. dan Sowny D.S., 2016)

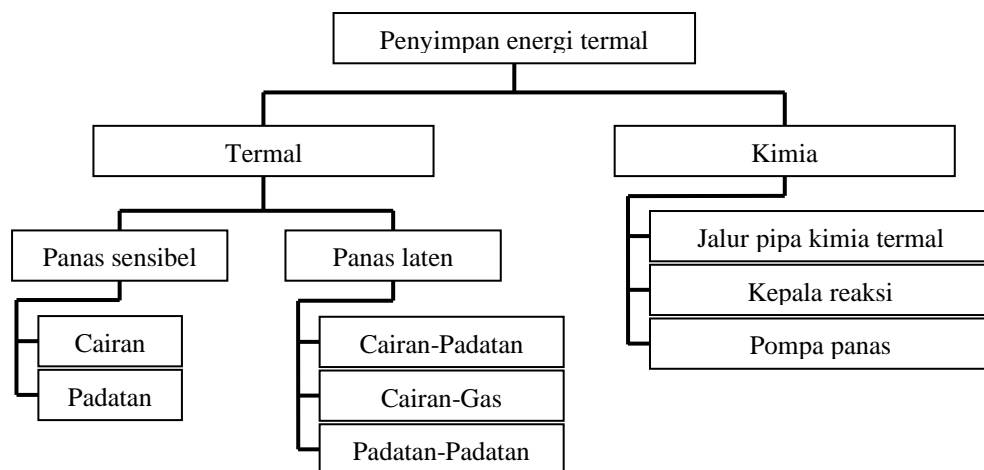
## 2.5. Penyimpan Energi Termal (*Thermal Energy Storage, TES*)

Penyimpanan energi telah menjadi bagian penting dari teknologi sistem energi terbarukan. Penyimpan 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, penyimpan 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 (TES) energi matahari diperlihatkan pada gambar dibawah.

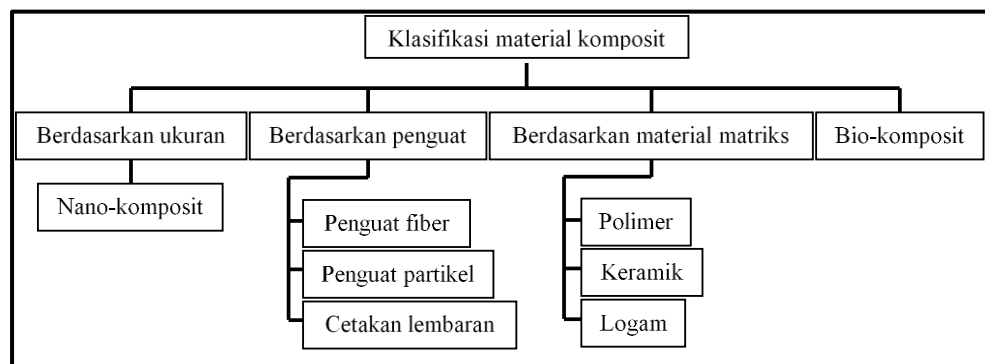


**Gambar 2.6.** Klasifikasi penyimpan energi termal (Ioan Sarbu, 2018)

## 2.6. Material Komposit Aluminium Alumina

Komposit adalah penyatuan dua atau lebih material yang berbeda, untuk mendapatkan sifat (mekanik, fisik, termal, listrik) yang lebih baik. Material komposit terdiri atas dua fase yaitu penguat (*reinforcement*) dan pengikat (*matrix*). Material yang digunakan sebagai pengikat yaitu logam, keramik dan polimer. Sedangkan material penguat digunakan serat. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik komposit antara lain: struktur geometri, bentuk fase, distribusi konsentrasi, orientasi matriks, dan fraksi volume (Sharma dkk, 2019).

Klasifikasi material komposit berdasarkan jenis konstituen yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.7. Klasifikasi material komposit (Rajak dkk, 2016)

### 2.6.1. Berdasarkan Fase Matriks

#### 1. *Polymer matrix composites* (PMCs)

PMCs terdiri dari thermosetting plastic atau termoplastik matrix dengan penguat dari serat karbon, kaca, Kevlar, logam. Termoset lebih populer digunakan daripada termoplastik karena kekuatan yang lebih tinggi dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Termoset dibuat dengan mencampur resin dengan pengeras. Struktur laminar paling banyak digunakan dibuat dengan menumpuk dan mengikat lapisan tipis serat dan polimer sampai diperoleh ketebalan yang diinginkan. PMC adalah komposit berbiaya rendah karena teknik penanganannya yang mudah dan metode pembuatannya sederhana.

## 2. *Ceramic matrix composites (CMCs)*

CMC adalah jenis keramik yang terdiri dari karbon, silikon karbida (SiC), aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), serat silikon nitrida (SiN) yang tertanam dalam struktur matriks keramik. CMC juga disebut inverse composite kegagalan regangan matriks lebih rendah daripada kegagalan regangan serat. Pembuatan CMC dilakukan dengan teknik pemrosesan khusus yang dinamai Gas-or liquid-phase routes. Dalam proses ini dengan fase inner dan matriks terbentuk di sekitar serat dari prekursor gas atau cairan.

## 3. *Metal matrix composites (MMCs)*

Material utama matriks MMC adalah logam (aluminium (Al), magnesium (Mg), tembaga (Cu) & titanium (Ti)) dan penguat berupa keramik terdispersi seperti oksida & karbida atau bisa juga logam (tungsten, molibdenum, lead). Kontribusi penguat bisa mencapai 50% dari volume total material komposit. MMC berbasis Aluminium paling banyak digunakan dalam industri mobil dan kedirgantaraan sebagai senyawa penguat seperti SiC dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dapat dicampur dengan mudah dan efektif untuk mencapai sifat yang diinginkan seperti kekuatan unggul, peningkatan kekakuan, pengurangan kepadatan, dan peningkatan ketahanan aus. Karena sifat kekakuannya tinggi dan strukturnya abrasif maka teknik pemesinan yang tidak konvensional digunakan pada MMC dimana tidak ada kontak antara alat dan material.

### **2.6.2. Berdasarkan Penguat (*Reinforcements*)**

#### 1. Fiber

Dalam material komposit yang diperkuat oleh serat seperti serat sintesis (kaca, karbon, basal, dan Kevlar). Sifat material di dalam struktur komposit yang ditingkatkan seperti kekuatan tinggi, kekakuan, dan ketahanan terhadap material kimia, suhu dan keausan. Saat ini, penggunaan penguat serat alami telah mendapatkan popularitas luar biasa di antara para peneliti. Serat alami yang diolah secara kimia untuk



mendapatkan ketangguhan impak dan kekuatan lelah yang lebih baik. Serat ini tersedia dengan harga murah, memiliki kepadatan yang lebih rendah dibandingkan dengan serat sintetis dan dapat terurai dengan mudah

## 2. Partikel

Pada dasarnya kekuatan komposit partikel lebih rendah dibandingkan dengan komposit berbasis serat. Aplikasi komposit yang diperkuat partikel digunakan untuk keperluan ketahanan aus yang tinggi seperti permukaan jalan. Keuntungan dari komposit yang diperkuat partikel adalah biaya yang rendah dan kemudahan produksi serta stabilitas termal dari komposit hibrida yang diperkuat serat. Selain itu, komposit partikel memiliki stabilitas degradasi termal yang tinggi dan sangat nyaman untuk penyimpanan dan pelepasan panas laten yang relatif tinggi.

## 3. Sheet

Sheet berbasis komposit atau *Sheet Moulding Composite* (SMC) adalah material termoset kaca cetakan yang diperkuat dengan kompresi. Metode menggabungkan serat dan resin tak jenuh untuk menghasilkan cetakan komposit kekuatan tinggi. SMC digunakan untuk komponen struktural besar dengan rasio kekuatan-terhadap- berat yang tinggi.

Penelitian material komposit sebagai penyimpan termal pada aplikasi pemanas air tenaga matahari masih sangat jarang ditemukan. Salah satu material komposit yaitu komposit Aluminium-Alumina ( $Al_2O_3$ ) dimana menggunakan Aluminium yaitu *Metal Matrix Composites* (MMCs) sebagai matriks dan Alumina dalam bentuk partikel sebagai penguatnya Penggunaan material komposit sebagai penyimpan termal praktis daripada PCM (missal paraffin) karena tidak perlu memikirkan kebocoran pada *casing* material penyimpan termal.

**Tabel 2.1.** Properti Material Komposit Aluminium-Alumina

Sifat termal	Aluminium powder	Alumina powder (94%)	Persentase berat		Rata-rata
			1	2	
			1 (35%)	2 (65%)	
rho (kg/m <sup>3</sup> )	2700	3690	945	2398,5	1671,75
k (W/m·K)	237	18	82,95	11,7	47,325
cp (J/kg·K)	51,39	880	17,99	572	294,99
α (μm/m·K)	23,1	8,1	8,085	5,265	6,675

## 2.7. Perpindahan Panas

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

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

### 2.7.1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada satu medium atau pada medium yang berlainan tanpa disertai perpindahan partikel zat (Kreith, F, 1986). Pada alat *solar water heater* ini perpindahan panas secara konduksi yang terjadi yaitu ketika energi panas pelat kolektor kemudian di pindahkan menuju material komposit aluminium-alumina. Dapat dilihat pada gambar 2.7 energi yang dipindahkan dari konduksi dapat dituliskan dengan persamaan:

$$Q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots (1)$$

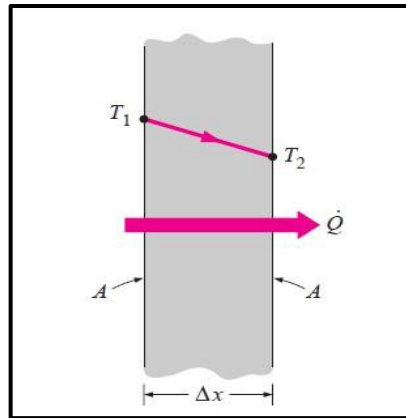
Dimana:

Q: banyaknya energi yang dipindahkan (joule)

$k$ : konduktivitas benda ( $\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$ : perbedaan temperatur

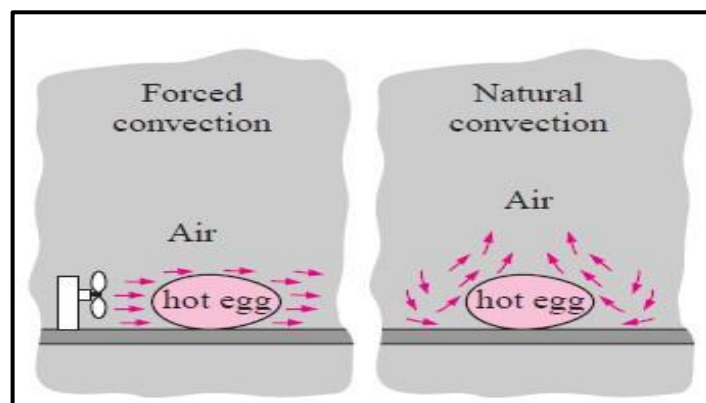
$\Delta x$ : ketebalan benda (m)



**Gambar 2.8.** Konduksi pada dinding dengan tebal  $\Delta x$  dan luas  $A$  (Cengel, 2003)

### 2.7.2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena partikel zat bersuhu tinggi berpindah tempat ke partikel zat bersuhu lebih rendah. Umumnya konveksi terjadi pada satu medium cair dan gas (Kreith,F, 1986). Pada alat *solar water heater* ini perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dan udara luar, didasarkan pada hembusan angin di atas penutup transparan sehingga menggunakan persamaan konveksi bebas Jenis perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.9.** Konveksi paksa dan konveksi bebas (Cengel, 2003)

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

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

Dimana:

Q: besarnya kalor yang dikonveksikan (joule)

h: koefisien konveksi (W/m<sup>2</sup>·°C)

A: luas permukaan terjadinya konveksi (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub>: temperatur permukaan benda padat (°C)

T<sub>∞</sub>: temperatur fluida yang cukup jauh (°C)

### 2.7.3. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh material dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau cahaya) yang merupakan perbukan konfigurasi atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, perpindahan energi melalui radiasi tidak memerlukan medium perantara untuk berpindah, dapat dilihat pada Gambar 2.9. Faktanya energi radiasi bergerak lebih cepat dibandingkan konduksi dan konveksi (secepat cahaya) dan tetap dapat bergerak dalam hampa udara, dengan inilah panas dari matahari dapat mencapai bumi.

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

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

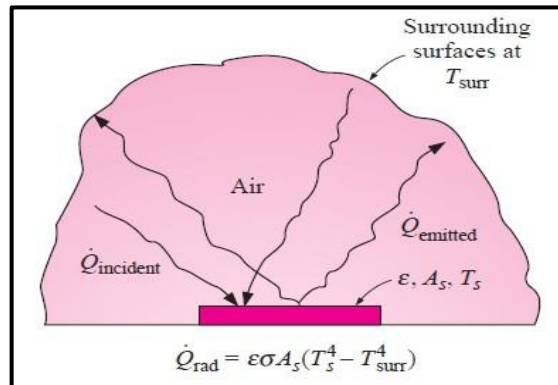
Dimana:

Q: kalor radiasi yang diserap (joule)

ε: emisivitas benda

σ: 5.67×10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>

T<sub>s</sub>: temperatur permukaan benda (K)



**Gambar 2.10.** Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan (Cengel, 2003)

## 2.8. Formulasi Kesetimbangan Energi pada *Solar Thermal Collector*

Fungsi kolektor surya yaitu menyerap radiasi matahari yang tersedia secara optimal dan menyediakan panas untuk kebutuhan tertentu. Untuk menentukan besaran efisiensi dari suatu kolektor, maka perlu memperhatikan hubungan efisiensi dengan beberapa variasi kerugian kalor. Adapun tahap perhitungan dalam mencari efisiensi kolektor dan kerugian kalor sebagai berikut:

### Analisis Perpindahan Panas

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

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

Dimana: Re: bilangan Reynolds  
Pr : bilangan Prandtl

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

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

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

Dimana:  $\epsilon_c$  : 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  
 $T$  : 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  
 $\beta$  : sudut kemiringan, °  
L : panjang karakteristik penutup,

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:  $\varepsilon_c$  : emisivitas cover  
 $\varepsilon_p$  : emisivitas pelat  
 $T_p$  : temperatur pelat  
 $T_c$  : temperatur penutup

Koefisien perpindahan panas total kolektor

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

$$U_b = \frac{1}{\frac{L_C}{k_C} + \frac{L_{Al}}{k_{Al}} + \frac{L_S}{k_S} + \frac{L_i}{k_i}} \dots\dots\dots(11)$$

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

Dimana:  $U_t$  : koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas  
 $U_b$  : koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor  
 $U_L$  : koefisien perpindahan panas total kolektor  
 $L_C$  : ketebalan pelat tembaga penutup material penyimpan panas  
 $k_C$  : konduktivitas pelat tembaga penutup material penyimpan panas  
 $L_{Al}$  : ketebalan material komposit Aluminium-Alumina  
 $k_{Al}$  : konduktivitas termal komposit Aluminium-Alumina  
 $L_S$  : ketebalan pelat besi *casing* material penyimpan panas

$k_s$  : konduktivitas pelat besi *casing* material penyimpan panas

$L_i$  : ketebalan isolator

$k_i$  : konduktivitas termal isolator

Kerugian panas kolektor

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

Dimana:  $U_L$ : koefisien perpindahan panas total kolektor

$T_i$  : temperatur *inlet*

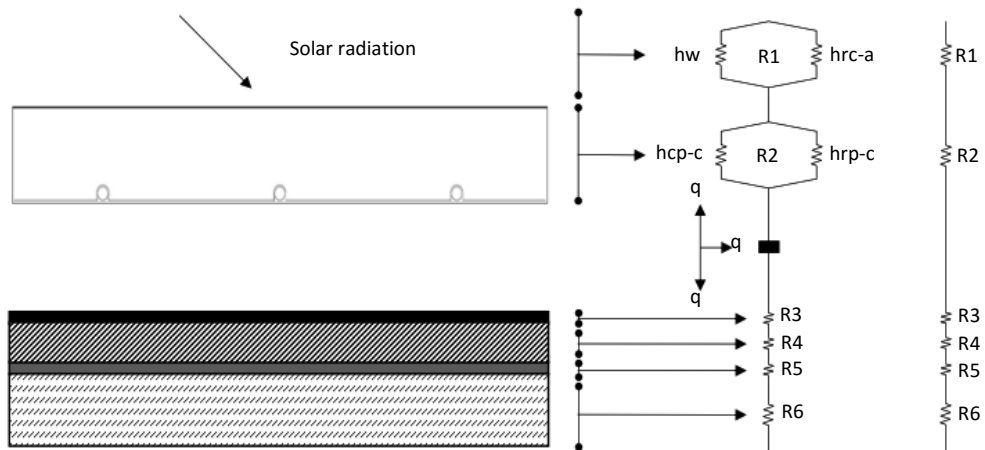
Efisiensi Kolektor (Teoritis)

$$\eta = \frac{Q_n}{A_c I_T} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana:  $I_T$  : intensitas matahari total, W/m<sup>2</sup>

$A_c$  : luasan absorber, m<sup>2</sup>

$Q_n$  : panas yang berguna



Keterangan :

R1: perpindahan panas antara kaca penutup dan udara luar

R2: perpindahan panas antara kaca penutup dan pelat absorber

R3: perpindahan panas antara fluida kerja dan pelat tembaga penutup material penyimpan panas

R4: perpindahan panas antara pelat tembaga penutup material penyimpan panas dan material komposit Aluminium Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

R5: perpindahan panas antara material komposit Aluminium Alumina (Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan *casing* material penyimpan panas

R6: perpindahan panas antara *casing* material penyimpan panas dan isolator

**Gambar 2.11.** Jala-jala termal