

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT ALUMINIUM-  
ALUMINA ( $Al+Al_2O_3$ ) SEBAGAI *THERMAL STORAGE* TERINTEGRASI  
PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI  
*SOLAR WATER HEATER***

**Disusun dan diajukan oleh**

**ZHALDI  
D021 18 1009**



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

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT ALUMINIUM-ALUMINA (Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) SEBAGAI *THERMAL STORAGE* TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI *SOLAR WATER HEATER***

Disusun dan diajukan oleh

**ZHALDI  
D021 18 1009**

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,

Pembimbing Pendamping,

**Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.**

**Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.**

NIP. 19720825 200003 1 001

NIP. 19770707 200501 1 001

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.**

NIP. 19720825 200003 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : ZHALDI  
NIM : D021181009  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT ALUMINIUM-ALUMINA ( $Al+Al_2O_3$ ) SEBAGAI *THERMAL STORAGE* TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK DATAR TERHADAP EFISIENSI *SOLAR WATER HEATER*”

Adalah karya tulisan 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 mempertanggungjawabkan 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, 31 Juli 2023

Yang membuat Pernyataan,

  
ZHALDI

## 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 Prof. Dr.Eng.Ir.Jalaluddin Haddada, 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.

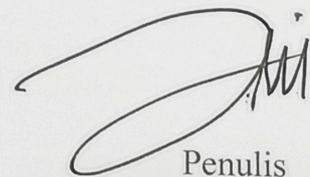
Tak lupa secara khusus penulis haturkan ucapan terima kasih kepada Ayahanda sekaligus motivasi hidup saya Syafril yang telah memberikan sangat banyak pelajaran berharga kepada saya dan Ibunda Ratna yang telah merawat saya tanpa lelah dari kecil hingga saat ini, dan memberikan semangat serta dukungan yang tidak ada habisnya kepada saya, dan juga kepada kakak saya Syafriana dan Afriani 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. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta stafnya.
2. Bapak Prof. Dr. Eng.Ir.Jalaluddin,ST,MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
3. Seluruh dosen penguji, bapak Dr, Eng, Ir Andi Amijoyo Mochtar, ST,M.Sc, dan bapak Ir. H. Baharuddin Mire ,MT yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi saya.
4. Seluruh staf administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.
5. Orang Tua beserta saudara-saudari saya yang selalu memberikan dukungan berupa semangat dan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir.
6. Aulia Fatimah yang telah menemani dan memberikan dukungan berupa semangat, motivasi, serta inspirasi untuk terus berjuang menyelesaikan tugas akhir.
7. Seluruh teman-teman mahasiswa Jurusan Mesin khususnya Angkatan 18 REACTOR. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
8. Teman-Teman seperjuangan di Labolatorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
9. Tim Anggota Riset di laboratorium Energi Terbarukan,(Bapak Dr. Muhammad Hasan Basri, ST.MT dan Muh. Anis Ilahi R, ST.MT)
10. Kanda-kanda Senior serta Adik-adik yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. 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.

Makassar, 31 Juli 2023



Penulis

## ABSTRAK

**ZHALDI.** *Pengaruh Penggunaan Material Komposit Aluminium-Alumina ( $Al+Al_2O_3$ ) Sebagai Thermal Storage Terintegrasi Pada Pelat Absorber Berbentuk Datar Terhadap Efisiensi Solar Water Heater (dibimbing oleh Prof. Dr,Eng.Jalaluddin, ST.,MT. dan Dr.Muhammad Syahid, ST.,MT.)*

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan material penyimpan energi panas dari komposit yang cocok digunakan pada sistem pemanas air tenaga surya. Analisis kinerja kolektor pelat datar dengan penambahan komposit aluminium-alumina melalui pengujian eksperimen. Karakteristik sifat termal material komposit aluminium-alumina juga akan dianalisa berdasarkan komposisi persentase berat alumina 65%-35%. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan Alat Gunt ET-202 kemudian efisiensi pelat kolektor bentuk datar dengan penambahan material komposit Aluminium-Alumina akan dibandingkan dengan pelat kolektor bentuk datar tanpa penambahan material komposit dengan variasi sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $30^\circ$  untuk masing-masing panel. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen. Pelat kolektor yang digunakan dalam pengujian adalah pelat kolektor datar yang telah diintegrasikan dengan material komposit Aluminium-Alumina. Pelat kolektor diberikan perlakuan 3 sudut kemiringan berbeda yaitu  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Kemudian dibandingkan dengan pelat kolektor datar tanpa diberi tambahan material komposit Aluminium-Alumina dengan perlakuan yang sama. Fenomena efisiensi yang terjadi pada pelat kolektor terintegrasi dengan material komposit Aluminium-Alumina pada sudut kemiringan  $0^\circ$  berhasil menaikkan efisiensi pelat kolektor dengan selisih 3,18% lebih tinggi dibandingkan dengan pelat kolektor tanpa penambahan material komposit. Pelat kolektor terintegrasi dengan Aluminium-Alumina berhasil menaikkan efisiensi pelat kolektor pada sudut kemiringan  $10^\circ$  dengan selisih lebih tinggi 1,51% dan pelat kolektor terintegrasi Aluminium-Alumina pada sudut kemiringan  $30^\circ$  lebih rendah dibandingkan pelat kolektor tanpa penambahan material komposit karena pelat kolektor tanpa penambahan material komposit lebih maksimal memberikan kalornya ke air, sedangkan pelat kolektor dengan penambahan material Aluminium-Alumina panas yang diserap kolektor dipindahkan ke komposit namun panas yang diserap tidak semua bisa dipindahkan ke komposit, ini disebabkan karena faktor kemiringan menjadikan panas yang dipindahkan tidak seragam tentunya posisi yang dekat dengan sumber kalor lebih tinggi sedangkan posisi yang jauh dari sumber panasnya lebih rendah dengan selisih 4,09%.

**Kata Kunci :** Komposit, Aluminium-Alumina, Efisiensi, Thermal Energi Storage.

## ABSTRACT

**ZHALDI.** *The Effect of Using Aluminum-Alumina (Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Composite Materials as Integrated Thermal Storage on Flat-Shaped Absorber Plates on the Efficiency of Solar Water Heaters (supervised by Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT. and Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. )*

*This study aims to find heat energy storage materials from composites that are suitable for use in solar water heating systems. Analysis of flat plate collector performance with the addition of aluminum-alumina composite through experimental testing. The characteristics of the thermal properties of the aluminum-alumina composite material will also be analyzed based on the composition of the percentage by weight of alumina 65% -35%. Data collection was carried out at the Renewable Energy Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University using the Gunt ET-202 tool then the efficiency of the flat shape collector plate with the addition of composite material Aluminum-alumina will be compared with a flat collector plate without the addition of composite material with variations in tilt angles of 0°, 10°, and 30° for each panel. This research was conducted using an experimental method. The collector plate used in the test is a flat collector plate which has been integrated with Aluminum-Alumina composite material. The collector plate was treated with 3 different tilt angles, namely 0°, 10°, and 30°. Then it is compared with the flat collector plate without the addition of Aluminum-Alumina composite material with the same treatment. The efficiency phenomenon that occurs in the integrated collector plate with Aluminum-Alumina composite material at an inclination angle of 0° has succeeded in increasing the efficiency of the collector plate by a difference of 3.18% higher than that of the collector plate without the addition of composite material. The collector plate integrated with Aluminum-Alumina managed to increase the efficiency of the collector plate at an inclination angle of 10° with a 1.51% higher difference and the integrated Aluminum-Alumina collector plate at an inclination angle of 30° was lower than the collector plate without the addition of composite material because the collector plate was without the addition of composite material gives maximum heat to the water, while the collector plate with the addition of Aluminum-Alumina material the heat absorbed by the collector is transferred to the composite but not all of the heat absorbed can be transferred to the composite, this is due to the slope factor making the heat transferred not uniform, of course the position which is close to the heat source is higher while the position far from the heat source is lower by a difference of 4.09%.*

**Keywords :** *Composite, Aluminum-Alumina, Efficiency, Thermal Energy Storage.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari.....	5
2.2. Kolektor Surya .....	8
2.3. Pelat Absorber Berbentuk Datar .....	11
2.4. Penyimpan Energi Termal ( <i>Thermal Energy Storage, TES</i> ).....	12
2.5. Material Komposit Aluminium-alumina ( $Al+Al_2O_3$ ) .....	14
2.6. Keseimbangan Energi Pada Kolektor .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2. Peralatan dan Bahan yang digunakan.....	25
3.3. Prosedur penggunaan alat Labolatorium Gunt ET-202.....	28
3.4. Variabel Penelitian .....	29
3.5. Tahapan pengambilan data.....	30
3.6. Flowchart penelitian.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1. Analisis Hasil Pengujian Eksperimental.....	33
4.2. Pembahasan.....	53
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>74</b>
5.1. Kesimpulan .....	74
5.2. Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>76</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 Sifat Aluminium .....	18
Tabel 2 Sifat <i>Aluminium Oxide</i> (Alumina) .....	19

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Solar water heating system</i> (Kalogirou, 2009).....	6
Gambar 2 Pemanas air tenaga surya <i>thermosyphon (a)charge mode (b)discharge mode</i> (Firman dkk,2019) .....	8
Gambar 3 Kolektor pelat datar (Patel et al., 2012) .....	9
Gambar 4 <i>Evacuated Tube Collector (ETC)</i> (Patel et al., 2012).....	10
Gambar 5 <i>Concentrating Collector</i> (Patel et al., 2012).....	11
Gambar 6 Absorber Pelat Datar (Prodo & Sowmy, 2016).....	12
Gambar 7 Klasifikasi Penyimpan Energi Termal.(Ioan Sarbu, 2018) .....	13
Gambar 8 Fase-fase pada komposit (Arifianto,2017).....	14
Gambar 9 <i>Particle Reinforced Composite</i> (Arifianto,2017) .....	16
Gambar 10 <i>Fiber Reinforced Composite</i> (Arifianto,2017) .....	16
Gambar 11 <i>Laminar Reinforced Composite</i> (Arifianto,2017).....	17
Gambar 12 <i>Bonding Fusion</i> (Arifianto,2017).....	17
Gambar 13 Tahanan termal pada kolektor .....	20
Gambar 14 Solar Thermal Energy Gunt ET-202 .....	24
Gambar 15 Skema Penelitian.....	24
Gambar 16 Data Logger Omega T08.....	25
Gambar 17 Termokopel .....	25
Gambar 18 Komputer.....	26
Gambar 19 Panel kolektor .....	26
Gambar 20 Air.....	27
Gambar 21 Flowchart Penelitian .....	31
Gambar 22 Temperatur Inlet dan Outlet pada sudut 0° .....	53
Gambar 23 Temperatur Inlet dan Outlet pada sudut 10° .....	55
Gambar 24 Temperatur Inlet dan Outlet pada sudut 30° .....	56
Gambar 25 Energi Kalor yang diserap pada Sudut 0° .....	57
Gambar 26 Energi Kalor yang diserap pada Sudut 10° .....	59
Gambar 27 Energi Kalor yang diserap pada Sudut 30° .....	62
Gambar 28 Temperatur material pada Sudut kemiringan 0° .....	65
Gambar 29 Temperatur material pada Sudut kemiringan 10° .....	66
Gambar 30 Temperatur material pada Sudut kemiringan 30° .....	67
Gambar 31 Efisiensi Kolektor pelat datar pada Sudut kemiringan 0°.....	68
Gambar 32 Efisiensi Kolektor pelat datar pada Sudut kemiringan 10°.....	69
Gambar 33 Efisiensi Kolektor pelat datar pada Sudut kemiringan 30°.....	70
Gambar 34 Perbandingan Efisiensi Termal Pelat Datar, Aluminium-Alumina, PCM, dan Aluminium Foam .....	72

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Konduktivitas Termal Beberapa bahan kolektor surya .....	78
Lampiran 2	Tabel absortivitas untuk setiap sudut atau <i>angle of incident</i> .....	78
Lampiran 3	Tabel <i>Properties of miscellaneous material</i> .....	79
Lampiran 4	Tabel <i>Properties of insulating material</i> .....	80
Lampiran 5	Tabel <i>Properties of air at 1 atm pressure</i> .....	81
Lampiran 6	Tabel <i>Properties of saturated water</i> .....	82
Lampiran 7	Tabel Data Pelat Kolektor Terintegrasi Material Komposit Aluminium-Alumina (Al+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) dan Pelat Kolektor Standar Sudut 0°,10°,30° .....	83
Lampiran 8	Tabel Hasil Perhitungan Pelat Kolektor Terintegrasi Material Komposit Aluminium-Alumina (Al+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) dan Pelat Kolektor Standar Sudut 0°,10°,30° .....	107
Lampiran 9	Dokumentasi .....	131

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$R_m$	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	$m/s$
$\rho$	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	$^{\circ}C, K$
$\nu$	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	$W/m^2.K$
$K_m$	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	$W$
$\eta$	Efisiensi	$\%$

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Energi merupakan salah satu faktor penting pencapaian pembangunan berkelanjutan. Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa kali perubahan, dari yang awalnya mayoritas menggunakan biomassa seperti kayu bakar untuk memenuhi kebutuhan energinya, berubah menjadi fosil seperti batu bara, minyak dan gas bumi yang dipicu revolusi industri pada tahun 1900-an. Hal tersebut dikarenakan sumber energi ini terbentuk melalui proses alam yang berkelanjutan.(Agus dkk, 2021)

Di Indonesia, pemanfaatan sumber daya energi terbarukan terus mengalami peningkatan sejak 2015 silam. Hal ini sesuai dengan data milik Badan Pusat Statistik yang menyebutkan bahwa bauran energi terbarukan Indonesia meningkat dari 4,4,% di 2015 menjadi 11,5% di 2020. Sementara itu, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan bauran energi terbarukan mencapai 15% pada tahun 2021 dan 23% di tahun 2025. Kementerian ESDM juga memprediksi potensi energi terbarukan Indonesia mencapai 417,8 gigawatt (GW). Potensi tersebut berasal dari arus laut samudera, panas bumi, bioenergi, angin, air, dan cahaya matahari. Indonesia juga sangat konsen terhadap pengembangan penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT). Hal tersebut dibuktikan pada Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memiliki target penggunaan EBT pada tahun 2025 dan 2050 masing masing sebesar 23% dan 31% dari total kebutuhan energi nasional. Akan tetapi sampai tahun 2020 realisasi pangsa EBT baru mencapai 11,31%.(Agus dkk, 2021).

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. Pada penelitian sebelumnya, melakukan penelitian dua sistem pemanas air tenaga surya yaitu dengan pelat datar dan pelat bentuk-V. Kedua sistem pemanas air tenaga surya diuji pada laju aliran rendah yaitu 0,5 L/menit dan laju aliran tinggi yaitu 2 L/menit. 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.(Jalaluddin dkk, 2016)

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 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 Aluminium-Alumina (Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Sebagai *Thermal Storage* Terintegrasi Pada Pelat Absorber Berbentuk Datar Terhadap Efisiensi *Solar Water Heater*.**

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi komposit terhadap pelat absorber berbentuk datar terintegrasi dengan Aluminium-Alumina (Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai *thermal storage* terhadap efisiensi *solar water heater* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan kolektor dengan penggunaan pelat absorber berbentuk datar terintegrasi dengan Aluminium-Alumina (Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai *thermal storage* terhadap efisiensi *solar water heater*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisa bagaimana pengaruh penggunaan variasi komposisi komposit terhadap pelat absorber berbentuk datar terintegrasi dengan Aluminium-Alumina ( $Al+Al_2O_3$ ) sebagai *thermal storage*.
2. Menganalisa bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan kolektor dengan penggunaan pelat absorber berbentuk datar terintegrasi dengan Aluminium-Alumina ( $Al+Al_2O_3$ ) sebagai *thermal storage*.

#### **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 ( $Al+Al_2O_3$ ) dengan dimensi  $30 \times 30$  cm dengan ketebalan 7 mm.
4. Variasi sudut kemiringan panel kolektor surya berbasis material komposit yaitu  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $30^\circ$ .
5. 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 keberadaannya dapat menggantikan energi fosil yang ketersediaannya semakin lama semakin menipis.

4. Memberikan penjelasan bagaimana sebuah *thermal storage* berpengaruh pada efisiensi pemanas air tenaga matahari.

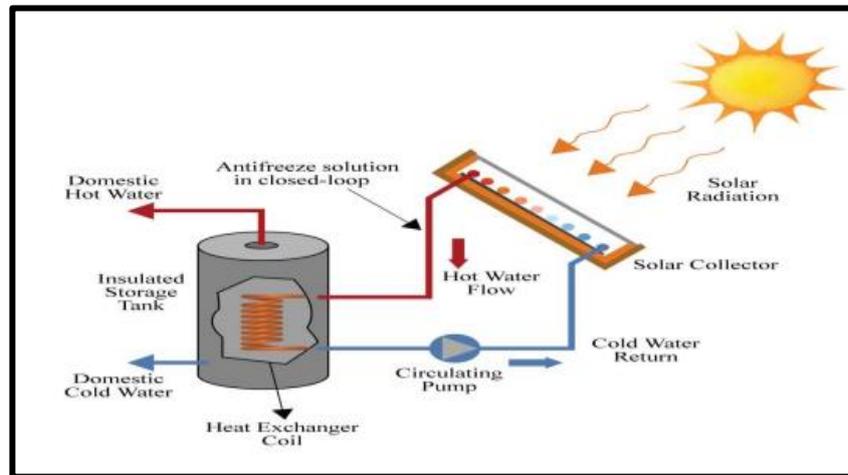
## **BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya**

Sistem pemanas air tenaga surya (*Solar Water Heater System*), yang komponennya terdiri dari kolektor, tangki penyimpanan, dan penukar panas, yang mengubah energi matahari menjadi energi panas. Radiasi matahari diserap oleh pelat kolektor dan ditransfer ke air. Air panas yang dihasilkan oleh sistem SWH dapat digunakan untuk memasak air panas di bangunan perumahan, komersial dan industri. Kinerja sistem dipengaruhi oleh pelat penyerap dan desainnya, pelapis selektif, insulasi termal, sudut kemiringan kolektor, dan fluida kerja.(Jalaluddin dkk,2016)

Sistem pemanas air tenaga surya adalah cara termurah dan ramah lingkungan untuk mendapatkan air panas dan mengkonsumsi sekitar 20% dari total konsumsi energi keluarga. Sistem pemanas air matahari digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi panas melalui berbagai jenis kolektor panas matahari untuk mendapatkan energi panas, bukan listrik. Ada banyak jenis kolektor surya yang ada di dunia; di antara mereka, kolektor surya pelat datar dan kolektor tabung yang dievakuasi telah digunakan dalam aplikasi domestik dan industri. Khususnya, permintaan domestik terbagi menjadi air panas matahari dan tujuan pemanasan ruang surya. Sistem pemanas air tenaga surya sederhana dan menggabungkan dengan fluida kerja yang melewati kolektor surya dengan mengambil panas dan disimpan dalam tangki penyimpanan untuk digunakan nanti. Tata letak skema dari pemanas air tenaga surya ditunjukkan pada Gambar 1.(Kalogirou, 2009).

Alat pemanas air tenaga surya (*solar water heater*) secara umum dapat diklasifikasikan menjadi alat pemanas air sistem natural dan alat pemanas air sistem paksa (pompa) menurut cara fluida yang bersirkulasi. Sementara itu jika menurut cara fluida menyerap panas dapat dibedakan menjadi alat pemanas surya sistem pemanasan langsung dan alat pemanas surya system pemanasan tidak langsung.(Firman dkk,2019).



Gambar 1. *Solar water heating system* (Kalogirou, 2009)

Berdasarkan cara sirkulasi fluidanya, pemanas air tenaga surya dibedakan menjadi dua jenis yaitu: pemanas air tenaga surya sistem aktif dan pemanas air tenaga surya sistem pasif.

#### 2.1.1. Pemanas air tenaga surya sistem aktif

Sistem aktif menggunakan kolektor untuk memanaskan fluida, unit penyimpanan akan menyimpan energi panas air sampai dibutuhkan dan peralatan distribusi yang akan menyalurkannya ke ruangan dengan teratur. Jika dikombinasi dengan peralatan konvensional, maka tingkat keteraturan akan terjaga dan temperatur akan stabil. Sistem ini juga dikenal sebagai sistem sirkulasi paksa yang terdiri atas loop terbuka (*open loop/direct*) dan loop tertutup (*Closed loop/indirect*).

##### 1. Sistem loop terbuka

Sistem ini mengedarkan air dari tangki penyimpanan ke kolektor surya dan mengembalikannya lagi dengan bantuan pompa. Dalam metode ini, energi panas dari matahari ditransfer ke sirkulasi air minum langsung melalui kolektor dan tangki. Itulah sebabnya disebut sistem sirkulasi langsung atau sistem loop terbuka. Anti-freeze dapat digunakan dalam sistem ini. Ini juga menggunakan berbagai pengontrol untuk merasakan suhu yang diperlukan mengenai menyalakan dan mematikan pompa ketika diperlukan dan memiliki satu atau lebih kolektor yang dipasang di atap dan tangki penyimpanan yang terletak sesuai di gedung (Kalogirou, 2009).

##### 2. Sistem loop tertutup

Sistem ini cocok untuk negara-negara yang lebih dingin, di mana kondisi pembekuan dapat terjadi. Cairan kerja dan penukar panas telah

membutuhkan fitur tersebut. Dengan cara ini, panas dari matahari ditransfer ke larutan fluida kerja dan mengedarkan cairan kerja ini dari kolektor ke tangki penyimpanan, dan penukar panas mentransfer panas dari fluida kerja ke air tangki penyimpanan sebelum mengembalikannya lagi dengan bantuan pompa. Biasanya, penukar panas berdinding ganda diperlukan ketika menggunakan cairan kerja beracun. Perpindahan panas terjadi dalam siklus loop tertutup; itulah sebabnya disebut sistem sirkulasi tidak langsung atau sistem loop tertutup. Loop ini termasuk kolektor, pipa penghubung, pompa, tangki ekspansi, penukar panas, dan pengontrol. Perlu diingat bahwa koil penukar panas harus ditempatkan di bagian bawah tangki penyimpanan untuk mengubah panas secara akurat (Kalogirou, 2009).

### 2.1.2. Pemanas air tenaga surya sistem pasif

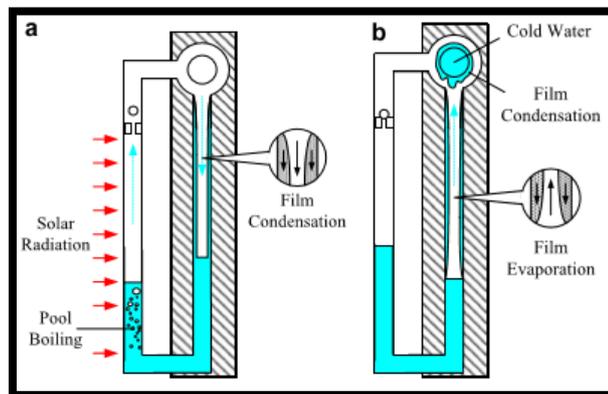
Sistem pasif ini menggunakan metode perpindahan panas konveksi alami dan tanpa alat mekanis. Prinsip kerja sistem ini yaitu air mengalir di antara kolektor dan tangki penyimpanan yang ditinggikan berdasarkan perbedaan tekanan dan densitas. Konstruksi sistem ini yaitu kolektor dan tangki penyimpanan digabung menjadi satu struktur. Sistem pasif terbagi atas :

#### 1. *Integrated Collector Storage (ICS)*

*Integrated Collector Storage system* atau *ICS system* adalah salah satu jenis sistem pemanas air surya pasif yang paling populer. Dalam sistem ini, kolektor dianggap sebagai sistem penyimpanan air panas. Ketika kolektor dipanaskan oleh matahari, air dingin dari luar mengalir secara progresif melalui kolektor dan dipanaskan. Akhirnya, air panas dari atas ditarik ke tangki penyimpanan untuk penggunaan lebih lanjut, dan di bagian bawah, air pengganti mengalir terus menerus. Pompa dan pengontrol tidak digunakan dalam sistem sederhana ini, tetapi katup perlindungan beku tipe flush diperlukan di perpipaan atas dekat kolektor untuk melindungi dari pembekuan (Kalogirou, 2009).

## 2. *Thermosiphon*

Pemanas air surya paling sederhana tetapi paling efektif adalah pemanas air surya system *thermosypon*. Sistem ini hanya terdiri atas sebuah tangki penyimpanan yang ditempatkan pada bagian atas dari deretan kolektor. Fluida pada kolektor akan dipanasi oleh radiasi matahari, kemudian karena perbedaan massa jenis maka fluida panas akan bergerak kearah tangki dan fluida dingin dari tangki akan bergerak turun untuk menggantikan fluida yang dipanaskan. Berikut Tata letak skema dari pemanas air tenaga surya sistem *thermosypon* ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Pemanas air tenaga surya sistem *thermosypon* (a) *charge mode* (b) *discharge mode*.(Firman dkk,2019).

Sirkulasi pemanasan seperti ini akan terus berlanjut sampai seluruh sistem kira-kira mencapai temperatur yang seragam. Gerakan sirkulasi ini tidak lagi membutuhkan sensor temperatur, alat-alat kontrol, dan pompa sirkulasi serta motor.(Firman dkk,2019).

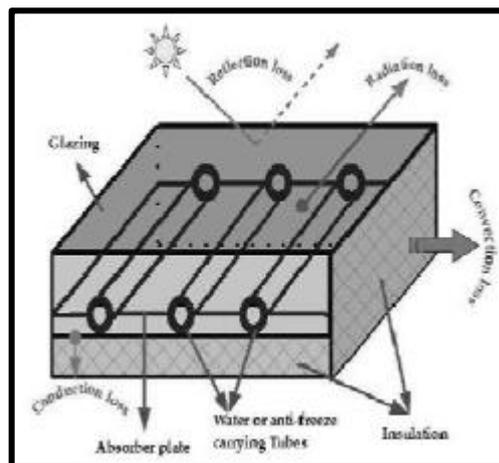
### 2.2. Kolektor Surya

Kolektor surya adalah jenis penukar panas khusus yang mengubah energi radiasi matahari menjadi panas. Kolektor surya berbeda dalam beberapa hal dari panas yang lebih konvensional penukar. Yang terakhir biasanya mencapai pertukaran cairan-ke-cairan dengan perpindahan panas yang tinggi dan dengan radiasi sebagai faktor yang tidak penting. Di kolektor surya, transfer energi dari sumber energi radiasi yang jauh ke fluida. Fluks radiasi datang adalah, paling

baik, sekitar  $1100 \text{ W/m}^2$  (tanpa konsentrasi optik), dan itu bervariasi. Rentang panjang gelombang adalah dari 0,3 hingga 3 m, yang jauh lebih pendek daripada radiasi yang dipancarkan dari sebagian besar permukaan yang menyerap energi. Dengan demikian, analisis solar kolektor menyajikan masalah unik fluks energi rendah dan variabel dan relative pentingnya radiasi. (John dkk, 2013).

### 1. Flat-Plate Collectors (FPC)

Kolektor pelat datar digunakan secara luas untuk rumah tangga aplikasi pemanas air. Sederhana dalam desain dan tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga membutuhkan sedikit perawatan. Ini adalah kotak terisolasi dan tahan cuaca yang berisi kegelapan pelat penyerap di bawah satu atau lebih penutup transparan. Mereka mengumpulkan radiasi langsung dan menyebar. Milik mereka kesederhanaan dalam konstruksi mengurangi biaya awal dan pemeliharaan sistem. (Patel et al., 2012)



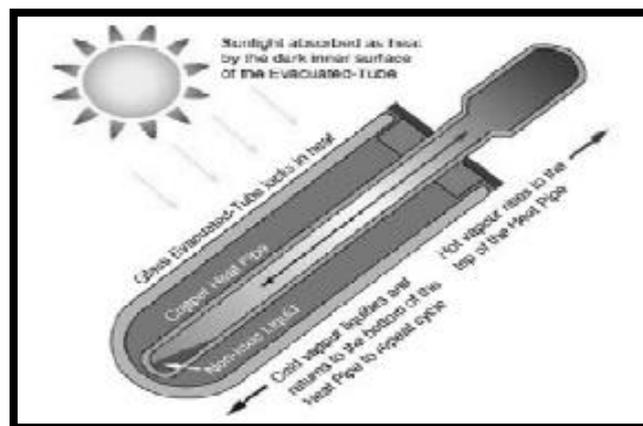
Gambar 3. Kolektor pelat datar (Patel et al., 2012)

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa ketika radiasi matahari melewati penutup dan mengenai permukaan pelat absorber, maka sebagian besar energi radiasi tersebut akan diserap menjadi energi panas. Kemudian energi panas tersebut dipindahkan ke fluida kerja di dalam pipa, dan disirkulasikan ke tangki penyimpanan. Pipa disambungkan di pelat absorber dengan metode pengelasan. Kedua ujung pipa dihubungkan dengan *header-pipe* dengan diameter yang lebih besar. Efisiensi termal kolektor sangat bergantung pada sifat material, ukuran dan desain, serta perbedaan temperatur kolektor dengan lingkungan.

Keunggulan FPC antara lain; desain yang sederhana, biaya yang lebih rendah, umur pakai lebih lama, dan efisiensi termal relatif moderat. Sedangkan kelemahannya antara lain; mudah korosi akibat zat asam, alkalinitas fluida kerja, pembekuan air, endapan debu, uap air pada cover dan kerusakan lainnya. (Kalogirou, 2004).

## 2. *Evacuated Tube Collector (ETC)*

*Evacuated Tube Collector (ETC)* terdiri dari deretan tabung kaca transparan paralel. Setiap tabung terdiri dari tabung kaca luar dan tabung dalam, atau penyerap, ditutupi dengan lapisan selektif yang menyerap matahari energi dengan baik tetapi menghambat kehilangan panas radiasi. Udaranya ditarik (dievakuasi) dari ruang antara tabung untuk membentuk ruang hampa, yang menghilangkan konduktif dan kehilangan panas konvektif. Mereka paling cocok untuk suhu lingkungan yang sangat dingin atau dalam situasi dari cahaya redup secara konsisten. Mereka juga digunakan di aplikasi industri, di mana suhu air tinggi atau uap perlu dihasilkan di tempat mereka berada lebih hemat biaya. Dapat kita lihat pada Gambar 4 dibawah merupakan cara kerja dari *Evacuated Tube Collector (ETC)*. (Patel et al., 2012)

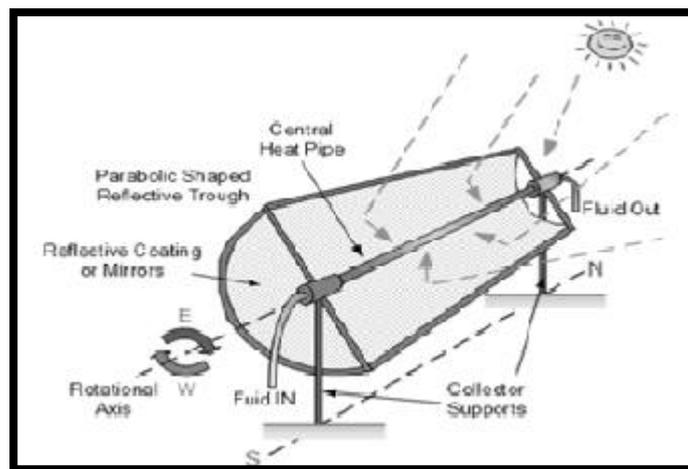


Gambar 4 *Evacuated Tube Collector (ETC)* (Patel et al., 2012)

## 3. *Concentrating Collectors*

*Concentrating Collectors* menggunakan permukaan cermin untuk memusatkan energi matahari pada penyerap yang disebut penerima. Suatu fluida perpindahan panas mengalir melalui penerima dan menyerap panas.

Kolektor ini mencapai suhu yang jauh lebih tinggi daripada kolektor pelat datar dan pengumpul tabung vakum, tetapi mereka hanya dapat melakukannya ketika sinar matahari langsung tersedia. Namun, konsentrator hanya dapat memfokuskan radiasi matahari langsung, dengan hasil bahwa kinerja mereka buruk hari berawan atau berawan. Dapat kita lihat pada Gambar 5 dibawah merupakan cara kerja dari *Concentrating Collectors*. (Patel et al., 2012)

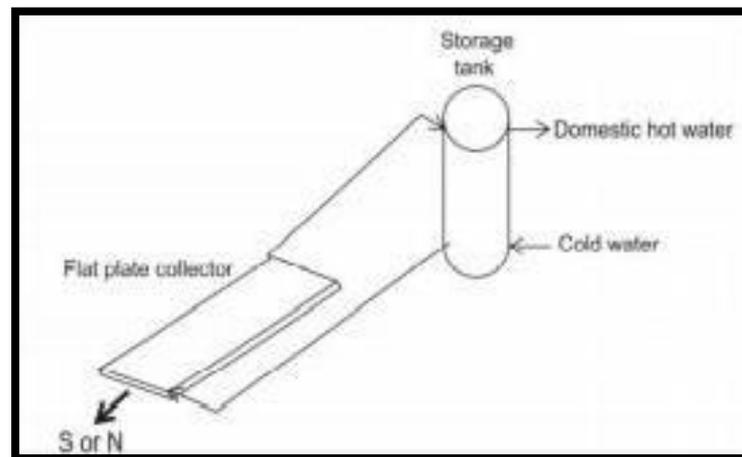


Gambar 5 *Concentrating Collectors* (Patel et al., 2012)

### 2.3. Pelat Absorber Berbentuk 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 rakitan. 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 6. 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 pancuran yang nyaman.(Prodo & Sowmy, 2016)



Gambar 6

Absorber

Pelat Datar (Prodo &amp; Sowmy, 2016)

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

*Thermal energy storage* (TES) merupakan penyimpanan suatu energi dalam sebuah material sebagai energi panas sensibel (*sensible heat storage*), panas laten (*laten heat storage*) dan termokimia (*thermochemical*) atau kombinasi diantara ketiganya. Didalam *sensible heat storage* (SHS) energi panas disimpan dalam bentuk peningkatan temperatur pada material padat maupun cair. Sehingga, jumlah panas sensibel yang dapat disimpan bergantung pada besarnya nilai panas spesifik, perubahan temperatur selama proses penyerapan dan pelepasan panas pada material, serta banyaknya material tersimpan di dalam *storage*.(Shukla dkk,2015).

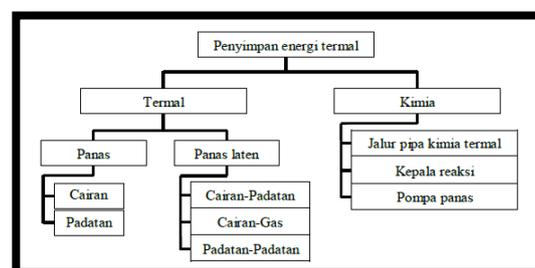
Penyimpanan energi telah menjadi bagian penting dari teknologi sistem energi terbarukan. Penyimpan energi termal (*thermal energy storage*) (TES) adalah teknologi yang menyimpan energi termal dengan cara memanaskan atau mendinginkan media penyimpanan sehingga energi yang tersimpan tersebut dapat digunakan 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, 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).

Karena ketersediaan yang tidak tetap dan bervariasi dari radiasi surya, TES menemukan tempatnya dalam sistem termodinamika. TES tidak hanya mengurangi perbedaan antara permintaan dan pasokan dengan menghemat energi, tetapi juga meningkatkan performa dan keandalan termal (*thermal reliability*) dari sistem. Oleh karena itu, merancang sistem TES yang efisien dan ekonomis sangat penting (Ioan Sarbu, 2018).

Jenis-jenis penyimpanan energi termal (TES) energi matahari diperlihatkan pada gambar dibawah 7 dibawah:



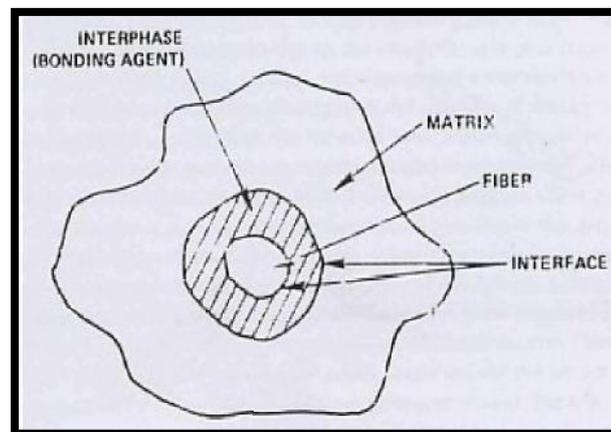
Gambar 7

Klasifikasi

Penyimpan Energi Termal.(Ioan Sarbu, 2018)

## 2.5. Material Komposit Aluminium-Alumina (Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Komposit merupakan material yang terdiri atas dua atau lebih material penyusun. Definisi lain menyatakan bahwa komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan sifat masing-masing bahan penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase diantara fase *matrix* dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan. Dasar kekuatan komposit terletak pada kekuatan *interface* matriks dan penguat. Jika ikatan *interface* terjadi dengan baik maka transmisi tegangan dapat berlangsung dengan baik pula. Kualitas ikatan antara matriks dengan *reinforcement* dipengaruhi beberapa variabel seperti ukuran partikel, fraksi volume material, komposisi material, bentuk partikel, kecepatan dan waktu pencampuran, penekanan (*kompaksi*) dan pemanasan (*sintering*). (Arifianto,2017).



Gambar 8

Fase-Fase

Pada Komposit (Arifianto,2017).

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan material dasar diantaranya memiliki berat yang lebih rendah dari material dasarnya dikarenakan mempunyai densitas yang lebih rendah, memiliki ketahanan *fatigue* yang baik, serta memiliki ketahanan terhadap keausan yang baik pula. Dengan berbagai keunggulan yang dimiliki bahan komposit banyak diterapkan dalam dunia industri otomotif dan penerbangan.(Arifianto,2017).

### 2.5.1. Berdasarkan Fase Matriks(*Matrix*)

Pada teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi untuk pengisi, pengikat, melindungi serta mendistribusikan dan menahan tegangan yang diterima material komposit tersebut. Komposit dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan jenis matriksnya, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

*Polymer Matrix Composite* (PMC) Merupakan komposit yang menggunakan polimer sebagai matriksnya. Contoh: *glass fiber reinforced polymer* dan *carbon fiber reinforced polymer*.(Arifianto,2017).

2. *Ceramic matrix composites* (CMC)

*Metal Matrix Composite* (MMC) Merupakan komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Contoh: aluminium, magnesium.(Arifianto,2017).

3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

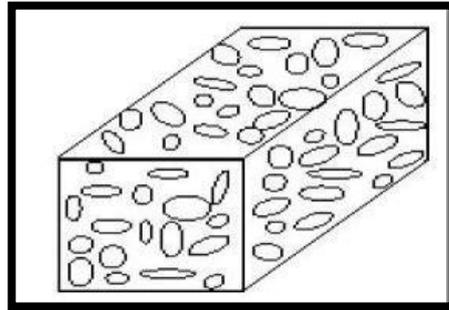
*Ceramic Matrix Composite* (CMC) Merupakan komposit yang menggunakan keramik sebagai matriksnya. Contoh: *aluminium titanate*, *silicon carbide*.(Arifianto,2017).

### 2.5.2. Berdasarkan Fase Penguat (Reinforcement)

Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat yang lebih kuat dari fase matriks dan merupakan tempat melekatnya matriks. Penguat merupakan unsur utama dalam struktur komposit yang berfungsi menahan mayoritas pembebanan yang diterima struktur komposit sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik bahan komposit seperti kekakuan, kekuatan dan sifat-sifat mekanik lainnya. Beberapa jenis penguat berdasarkan bentuk dari fase penguatnya dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

1. *Particle Reinforced Composite (PRC)*

*Particle Reinforced Composite (PRC)* adalah Komposit yang penguatnya berbentuk partikel (*granular*).



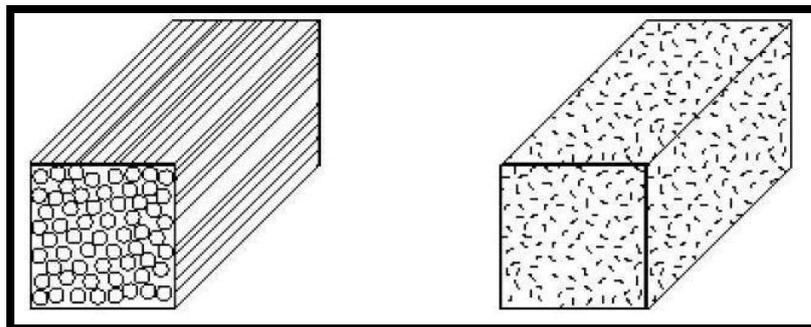
Gambar 9 *Particle*

*Reinforced*

*Composite (Arifianto,2017)*

2. *Fiber Reinforced Composite (FRC)*

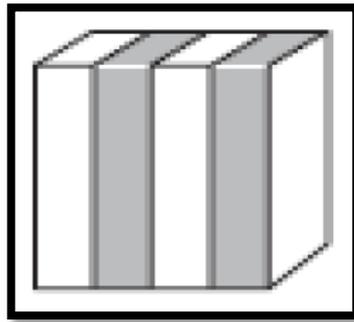
*Fiber Reinforced Composite (FRC)* adalah Komposit yang penguatnya berbentuk serat, baik serat panjang (*continuous*) maupun serat pendek (*discontinuous*)



Gambar 10 *Fiber Reinforced Composite (Arifianto,2017)*

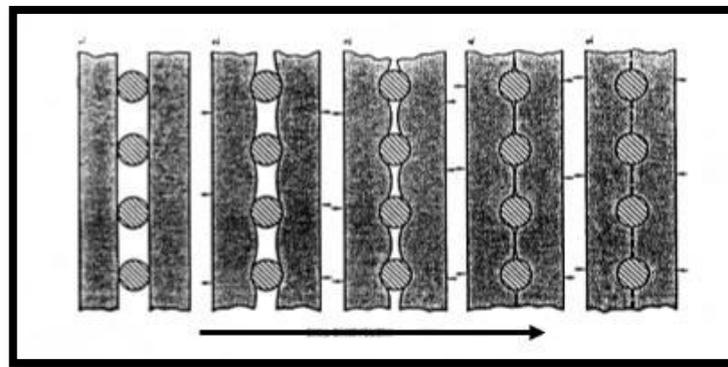
3. *Laminar Reinforced Composite (LRC)*

*Laminar Reinforced Composite (LRC)* adalah Komposit yang penguatnya berbentuk lapisan (*laminated*).

Gambar 11 *Laminar**Reinforced Composite*

(Arifianto,2017)

Adapun metode pembentukan fase padat komposit yang lain, yaitu *bonding diffusion*. Unsur-unsur komposit (lapisan) yang dirakit oleh *layering array* (atau pembungkus untuk bentuk silinder atau cincin) serat dan matriks untuk mencapai orientasi serat yang telah ditentukan dan ketebalan komposit. Penggabungan komposit dicapai dengan menerapkan tekanan tinggi dalam arah normal ke permukaan lapis pada temperatur yang cukup untuk menghasilkan difusi atom dari paduan matriks yang di tunjukkan pada Gambar 12 berikut:

Gambar 12 *Bonding Fusion* (Arifianto,2017)

Sedangkan pada proses fase gas (*Vapor State Processing*), infiltrat yang telah meleleh dicampur dengan gas *inert* dari luar. Proses pencampuran gas *inert* terhadap matrik ini berlangsung di sebuah bejana tekan. (Arifianto,2017).

### 2.5.3. Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang berjumlah sekitar 8 % dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga tetapi tidak ditemukan secara bebas di alam. Pada Tabel 1 dibawah menunjukkan bahwa aluminium mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi serta konduktifitas listrik yang baik. Oleh karena itu, aluminium digunakan dalam banyak industri seperti konstruksi, badan pesawat terbang dan transportasi. Material aluminium banyak digunakan dikarenakan juga memiliki sifat mampu bentuk (*wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas. Pada lapisan luar, aluminium selalu tertutup oleh lapisan tipis oksida yang memang merupakan sifat dari aluminium. Oksida inilah yang mempunyai sifat melindungi aluminium dari korosi. Aluminium mempunyai massa jenis sebesar  $2,7 \text{ g/cm}^3$  dan memiliki nilai kekuatan yang rendah sehingga tidak bisa langsung digunakan untuk keperluan industri. Penambahan unsur seperti tembaga (Cu), silicon (Si), atau magnesium (Mg) akan menghasilkan paduan aluminium yang memiliki nilai kekuatan yang lebih besar. Sementara itu, aluminium juga memiliki beberapa kekurangan seperti : kekakuan yang rendah, tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap abrasi dan *wear* serta titik leburnya yang cukup rendah yaitu sekitar  $660^\circ\text{C}$ . Dengan adanya keunggulan dan kekurangan yang dimiliki aluminium menjadikan aluminium sebagai logam yang paling banyak digunakan untuk obyek riset pada komposit bermatriks logam. (Arifianto,2017).

Tabel 1 Sifat Aluminium

<b>Mechanical</b>	<b>Units of Measure</b>	<b>SI/Metric</b>
Density	gm/cc	3.69
Porosity	%	0
Color		white
Flexural strength	MPa	330
Elastic modulus	GPa	300
Shear modulus	GPa	124
Bulk modulus	GPa	165
Poisson's ratio		0.21
Compressive strength	MPa	2100
Hardness	Kg/mm <sup>2</sup>	1175
Fracture toughness	MPa	3.5

Maximum use temperature (no load)	°C	1700
<b>Thermal</b>		
Thermal conductivity	W/m·K	18
Coefficient of thermal expansion	10 <sup>-6</sup> /°C	8.1
Specific heat	J/Kg·K	880
<b>Electrical</b>		
Dielectric strength	ac-kv/mm	16.7
Dielectric constant	@ 1 MHz	9.1
Dissipation factor	@ 1 kHz	0.0007
Loss tangent	@ 1 kHz	
Volume resistivity	ohm·cm	>10 <sup>14</sup>

#### 2.5.4. Aluminium Oxide (Alumina)

*Aluminium Oxide* merupakan material keramik yang paling penting. Material yang lebih banyak disebut dengan alumina ini merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Material ini memiliki titik lebur pada suhu 2072°C dan mampu mempertahankan kekuatannya hingga suhu 1500°C sampai 1700°C. Material ini juga memiliki *wear resistance* yang baik, nilai kekerasan yang cukup tinggi.

Alumina merupakan salah satu penguat pada *metal matrix composite* yang tergolong pada material keramik. Seperti halnya material keramik lainnya, alumina memiliki sifat tahan aus yang baik karena memiliki nilai kekerasan yang baik pula. Selain itu alumina juga memiliki sifat tahan terhadap korosi, titik leleh yang cukup tinggi, konduktivitas termalnya yang rendah dan tahan terhadap suhu lingkungan yang tinggi. Untuk aplikasi pemakaian yang berhubungan dengan gesekan khususnya yang membutuhkan gaya gesek yang besar, aluminium dengan penguat alumina merupakan pilihan yang tepat. (Arifianto,2017).

Tabel 2 Sifat *Aluminium Oxide* (Alumina)

Property	Value
Atomic number	13
Atomic weight (g/mol)	26.98
Valency	3
Crystal structure	FCC
Melting point (°C)	660.2
Boiling point (°C)	2480

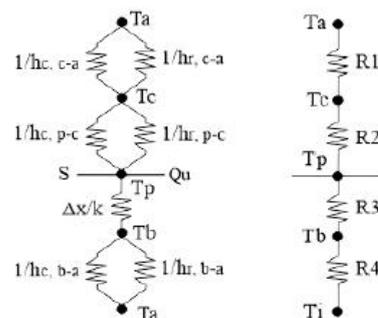
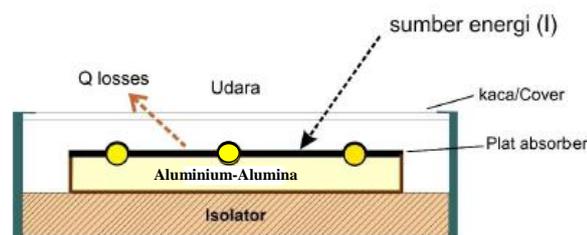
Mean specific heat (0-100°C) (cal/g·°C)	0.219
Thermal conductivity (0-100°C) (cal/cms·°C)	0.57
Co-efficient of linear expansion (0-100°C) ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	23.5
Electrical resistivity at 20°C ( $\Omega\cdot\text{cm}$ )	2.69
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.6898
Modulus of elasticity (GPa)	68.3
Poisson ratio	0.34

**Kata Kunci :** Dalam penelitian ini akan diteliti komposisi komposit aluminium-alumina sebagai *thermal storage* terintegrasi pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi *Solar Water Heater*.

## 2.6. Kestimbangan Energi Pada Kolektor

Secara umum kolektor surya berfungsi menyerap energi surya melalui proses radiasi matahari dan ditransfer menjadi energi termal untuk kebutuhan tertentu. Dalam menentukan nilai efisiensi dari suatu kolektor, maka perlu memperhatikan hubungan efisiensi dengan beberapa variasi kerugian kalor. Adapun tahap perhitungan dalam mencari efisiensi kolektor dan kerugian kalor pada Gambar dibawah adalah:

Analisis perpindahan panas:



Gambar 13. Tahanan termal pada kolektor

Untuk kondisi *steady*, kinerja sebuah kolektor ditentukan oleh kesetimbangan energy 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):

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

Dimana:

$Q_u$  = 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 plat (K)

$T_a$  = Temperatur Lingkungan (K)

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

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Dimana:

$Q_u$  = 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:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c}$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi (%)

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

$Q_u$  = panas yang berguna (kW)

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

Analisis perpindahan panas:

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

$$h_w = 0,86Re^{1/2}Pr^{1/3}$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynolds

Pr = Bilangan Prandtl

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

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

$$T_s = 0,5552T_a^{1,5}$$

Dimana:

$\varepsilon_c$  = 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.

$$h_{c_{p-c}} = \frac{Nu \cdot K}{L}$$

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

$$\left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

Dimana:

Ra = Bilangan Rayleigh

$\beta$  = sudut kemiringan (°)

L = panjang karakteristik penutup (m)

4) Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup.

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

Dimana:

$\varepsilon_c$  = emisivitas penutup

$\varepsilon_p$  = emisivitas pelat

$T_p$  = temperatur pelat

$T_c$  = temperatur penutup

5) Koefisien perpindahan panas total kolektor.

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

$$U_b = \frac{1}{\frac{L_C}{k_C} + \frac{L_{Al_2O_3}}{k_{Al_2O_3}} + \frac{L_{Besi}}{k_{Besi}} + \frac{L_i}{k_i}}$$

(14)

$$U_L = U_t + U_b$$

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.

$L_{Al_2O_3}$  = ketebalan material *Aluminium-Alumina*.

$K_{Al_2O_3}$  = konduktivitas termal *Aluminium-Alumina*.

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

$K_{Besi}$  = konduktivitas pelat besi *casing* material penyimpan panas.

$L_i$  = ketebalan isolator.

$k_i$  = konduktivitas termal isolator.

6) Kerugian panas kolektor

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

Dimana:

$U_L$  = koefisien perpindahan panas total kolektor.

$T_i$  = temperatur *inlet*.

7) Efisiensi Kolektor (Teoritis)

$$\eta = \frac{Q_n}{A_c I_T}$$

Dimana:

$I_T$  = intensitas matahari total ( $W/m^2$ )

$A_c$  = luasan absorber ( $m^2$ )

$Q_n$  = panas yang berguna.