

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

M. ANUGRAH PRATAMA ILHAM

D021171322



DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

M. ANUGRAH PRATAMA ILHAM

D021171322

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

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI TERMAL STORAGE TERINTEGRASI PADA PELAT ABSORBER BERBENTUK-V TERHADAP EFISIENSI PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI

Disusun dan diajukan oleh

M. ANUGRAH PRATAMA ILHAM

D021171322

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Progm Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Pada tanggal Februari 2022

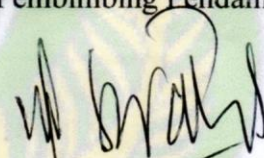
Menyuetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Departemen Teknik Mesin,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Anugrah Pratama Ilham
NIM : D021171322
Program Studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : Pengaruh Material Komposit Sebagai Termal Storage
Terintegrasi Pada Pelat Absorber Berbentuk-V 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, 15 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



M. Anugrah Pratama Ilham

ABSTRAK

Penelitian mengenai pemanas air tenaga matahari untuk meningkatkan efisiensi telah banyak dilakukan salah satunya yaitu dengan modifikasi pelat absorber. Untuk meningkatkan efisiensi termal pada pelat absorber maka perlu dilakukan pemilihan material tembaga dan coating hitam pada permukaannya kemudian dibuat dalam bentuk-V lalu ditambahkan material komposit Aluminium-Alumina pada bagian bawahnya. Hal ini dikarenakan tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi, coating hitam untuk meningkatkan proses penyerapan kalor, bentuk-V untuk meningkatkan panas yang diserap, serta material komposit Aluminium-Alumina dapat berfungsi sebagai penyimpan energi termal atau TES (*Thermal Energy Storage*). Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan Alat Gunt ET-202 kemudian efisiensi pelat kolektor bentuk-V dengan penambahan material komposit Aluminium-Alumina akan dibandingkan dengan pelat kolektor bentuk-V tanpa penambahan material komposit dengan variasi sudut kemiringan 0° , 10° , dan 30° untuk masing-masing panel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi pelat kolektor bentuk-V dengan penambahan material komposit Aluminium-Alumina pada bagian bawah pelat absorber untuk sudut kemiringan 0° yaitu lebih tinggi 0,97%, untuk sudut 10° yaitu lebih tinggi 1,31%, untuk sudut 30° yaitu lebih tinggi 1,10%.

Kata Kunci: Kolektor Surya, Efisiensi, Aluminium Alumina, *Thermal Energy Storage*

ABSTRACT

Research on solar water heaters to increase efficiency has been carried out, one of which is by modifying the absorber plate. To increase the thermal efficiency of the absorber plate, it is necessary to choose copper material and black coating on the surface, then make it a V-shape and add Aluminum-Alumina composite material at the bottom. This is because copper has high thermal conductivity, black coating to improve the heat absorption process, V-shape to increase absorptivity, and Aluminum-Alumina 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, then the efficiency of the V-shape collector plate with the addition of Aluminum-Alumina composite material will be compared with the V-shape collector plate without the addition of composite material with an angle of incident variation of 0° , 10° , and 30° for each panel. The results of this study indicate that the efficiency of the V-shaped collector plate with the addition of Aluminum-Alumina composite material on the absorbent plate for an angle of 0° is 0,97% higher, for an angle of 10° which is 1.31% higher, for an angle of 30° that is 1.10% higher.

Keywords: Solar Collector, Efficiency, Aluminum-Alumina, Thermal Energy Storage

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Alhamdulillah, Puji dan Syukur kita panjatkan kepada Allah SWT. Dzat yang hanya kepada-Nya memohon pertolongan karena atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Material Komposit Sebagai Termal Stroge Terintegrasi Pada Pelat Absorber Berbentuk-V Terhadap Efisiensi Pemanas Air Tenaga Matahari” yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik bagi umat manusia.

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

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

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

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin
5. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Ibu Suri, Pak Irwan dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
6. OKFT-UH dan HMM FT-UH yang menjadi tempat belajar dan bermain selama proses perkuliahan maupun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. SRE Unhas yang memberikan pengalaman dan keterampilan baik *soft skills* dalam konteks mengurus dan mengelola organisasi maupun *hard skills* yaitu pengetahuan energi terbarukan.
8. Putri Lestari yang telah menemani dan memberikan dukungan berupa semangat, motivasi, serta inspirasi untuk terus berjuang menyelesaikan tugas akhir.
9. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
10. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin Angkatan 2017 ZYNCROMEZH yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini.
11. Kanda-kanda senior HYDRAULIC¹⁵ dan COMPREZZOR¹⁶ serta adik-adik REACTOR¹⁸, BRUZHLEZZ¹⁹, dan ZTATOR²⁰ yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

12. Teman-teman di Disya Kost yang selalu menjadi tempat bersukacita penulis.

13. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua baik dengan pahala ataupun rejeki. Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima kritikan dan saran yang membangun agar penulis dapat terus berkembang kedepannya.

Gowa, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
NOMENKLATUR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari	5
2.2. Kolektor Surya	7
2.3. Pelat Absorber Bentuk-V	10
2.4. Penyimpan Energi Termal (<i>Thermal Energy Storage, TES</i>).....	12
2.5. Material Komposit Aluminium-Alumina (Al-Al ₂ O ₃)	13
2.6. Perpindahan Panas.....	16
2.7. Formulasi Keseimbangan Energi pada <i>Solar Thermal Collector</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2. Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	23
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. Flowchart Penelitian.....	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Analisa Hasil Pengujian Eksperimental	31
4.2. Pembahasan	39
BAB V PENUTUP.....	51
4.1. Kesimpulan.....	51
4.2. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kolektor pelat datar (Kalogirou, 2014)	8
Gambar 2.2. Kolektor parabola majemuk stasioner (Kalogirou, 2014)	9
Gambar 2.3. Kolektor tabung dievakuasi (Kalogirou, 2014)	10
Gambar 2.4. Tampilan penampang kolektor surya (Jalaluddin, et al., 2016).....	11
Gambar 2.5. Klasifikasi penyimpan energi termal (Ioan Sarbu, 2018).....	13
Gambar 2.6. Klasifikasi material komposit (Rajak dkk.,2019)	13
Gambar 2.7. Konduksi pada dinding tebal Δx dan luas A (Cengel, 2003)	17
Gambar 2.8. Konveksi paksa dan konveksi bebas (Cengel, 2003).....	18
Gambar 2.9. Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan (Cengel, 2003) .	19
Gambar 2.10. Jala-jala termal.....	22
Gambar 3.1. Solar Thermal Energy Gunt ET-202	23
Gambar 3.2. Skema penelitian.....	23
Gambar 3.3. Data logger Omega T08.....	24
Gambar 3.4. Termokopel.....	24
Gambar 3.5. Komputer	24
Gambar 3.6. Dimensi kolektor	25
Gambar 3.7. Flowchart penelitian	30
Gambar 4.1. Energi kalor yang diserap pada sudut 0°	39
Gambar 4.2. Efisiensi kolektor pada sudut 0°	40
Gambar 4.3. Energi kalor yang diserap pada sudut 10°	42
Gambar 4.4. Efisiensi kolektor pada sudut 10°	43
Gambar 4.5. Energi kalor yang diserap pada sudut 30°	44
Gambar 4.6. Efisiensi kolektor pada sudut 30°	45
Gambar 4.7. Efisiensi pelat kolektor bentuk-V pada sudut kemiringan 0° , 10° , dan 30°	48
Gambar 4.8. Efisiensi pelat kolektor bentuk-V terintegrasi dengan material komposit Aluminium-Alumina pada sudut kemiringan 0° , 10° , dan 30°	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konduktivitas termal beberapa bahan pelat kolektor matahari tertentu (Philip, et al., 2000).....	10
Tabel 2.2. Properti Material Komposit Aluminium-Alumina.....	16
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
ρ	Densitas Air	kg/m^3
C_p	Kalor Spesifik Udara	$kJ/kg.K$
A_c	Luas Kolektor	m^2
T_p	Temperatur Pelat Absorber	$^{\circ}C, K$
T_{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	$^{\circ}C, K$
ν	Visikositas Kinematik	m^2/s
D_h	Diameter Hidrolis	M
Σ	konstanta Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8}$	$W/m^2.K^4$
h_{cp-c}	Koefisien Konveksi Penutup-Udara Luar	$W/m^2.K$
h_{rc-a}	Koefisien Radiasi Pelat-Penutup	$W/m^2.K$
H_f	Koefisien Konveksi Pelat ke Air	$W/m^2.K$
R_{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
η	Efisiensi	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara 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 industri dan rumah tangga, pendinginan, memasak, pembangkitan energi, pompa air, dll. Peralatan energi matahari semakin banyak digunakan untuk aplikasi bangunan ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi dan dapat diperbarui.

Indonesia terdiri dari kesatuan pulau yang terbentang di sepanjang garis katulistiwa. Menurut Ditjen EBTKE (2013), di Indonesia sendiri potensi sumber energi matahari rata-rata sekitar 4,80 kWh/m²/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 matahari.

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), menyelidiki 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.

Meskipun demikian, temperatur tinggi pada permukaan pelat absorber bentuk-V menyebabkan kerugian panas juga menjadi semakin besar, sehingga diperlukan penyimpanan energi termal (*thermal energy storage*). Tujuannya yaitu agar panas yang diserap oleh pelat absorber dapat ditransmisikan dan disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama, sebelum berikutnya panas tersebut dipindahkan ke fluida kerja. Untuk itu, pemilihan material sebagai penyimpanan energi panas semestinya memiliki karakteristik yaitu penyerapan panas yang besar dan periode penyimpanan kalor dengan waktu relatif lama. Material penyimpan energi panas yang digunakan yaitu material komposit Aluminium-Alumina ($Al-Al_2O_3$). Dengan memadukan kedua unsur tersebut menjadi material komposit diharapkan material komposit yang dihasilkan dapat menjadi penyimpan energi termal yang baik sehingga meningkatkan efisiensi pemanas air tenaga surya.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka akan dilakukan penelitian dengan judul: “Pengaruh Material Komposit sebagai Thermal Storage Terintegrasi pada Pelat Absorber Berbentuk-V Terhadap Efisiensi Pemanas Air Tenaga Matahari”.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan material komposit sebagai termal storage terintegrasi pada pelat absorber berbentuk-V terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari?

2. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan dengan penambahan material komposit sebagai thermal storage terintegrasi pada pelat absorber berbentuk-V terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisa pengaruh penambahan material komposit sebagai thermal storage dengan pelat absorber bentuk-V terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air?
2. Untuk menganalisa pengaruh variasi sudut kemiringan dengan penambahan material komposit sebagai thermal storage dengan pelat absorber bentuk-V terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air?

1.4. Batasan Masalah

1. Bentuk pelat absorber yang digunakan pada pengujian ini adalah pelat absorber bentuk-V
2. Material absorber yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0,5 mm
3. Penambahan material *thermal storage* yang digunakan adalah material komposit Aluminium-Alumina (Al-Al₂O₃) dengan komposisi 35% Aluminium dan 65% Alumina dan dimensi 26,4×30×0,7 cm
4. Variasi sudut kemiringan pada panel kolektor surya berbasis material komposit yaitu 0°, 10°, dan 30°
5. Alat uji yang dipakai adalah *Solar Thermal Energy Gunt ET-202*

1.5. Manfaat Penelitian

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 pemanas air tenaga 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 (*solar water heater system*) umumnya sangat sederhana hanya menggunakan cahaya matahari untuk memanaskan air. Fluida kerja dikontakkan dengan permukaan hitam yang terkena cahaya matahari dimana menyebabkan temperature pada fluida naik. Fluida kerja ini dapat berbentuk air yang dipanaskan secara langsung, atau biasa disebut sistem langsung (*direct system*), atau dapat pula berbentuk fluida perpindahan panas (*heat transfer fluid*) seperti campuran glikol/air yang melewati beberapa bentuk penukar panas (*heat exchanger*) yang disebut sistem tidak langsung (*indirect system*) (Kishan Patel, et al., 2012). Sistem ini dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori:

1. Sistem aktif (*active system*)

Sistem aktif (*active system*) menggunakan pompa elektrik, katup, dan kontroler untuk mensirkulasikan air atau fluida perpindahan panas lainnya melewati kolektor. Jadi, sistem aktif biasanya juga disebut sistem sirkulasi paksa dan dapat berbentuk langsung ataupun tidak langsung (Kishan Patel, et al., 2012). Sistem aktif kemudian dibagi menjadi dua kategori:

- a. Sistem aktif *open-loop* (langsung)

Sistem aktif *open-loop* menggunakan pompa untuk mensirkulasikan air melewati kolektor. Desain ini efisien dan biaya pengoperasian lebih rendah tetapi tidak sesuai jika airnya keras atau asam karena kerak dan korosi dengan cepat melumpuhkan sistem. Sistem *open-loop* ini populer pada iklim tidak beku (Kishan Patel, et al., 2012).

- b. Sistem aktif *closed-loop* (tidak langsung)

Sistem ini memompa fluida perpindahan panas (umumnya campuran glikol-air anti beku) melewati kolektor. Penukar panas

memindahkan panas dari fluida menuju ke air rumah tangga yang disimpan di tangki. Sistem glikol closed-loop populer pada daerah dengan suhu dingin berkepanjangan karena menawarkan perlindungan terhadap pembekuan yang baik (Kishan Patel, et al., 2012).

2. Sistem pasif (*passive system*)

Sistem pasif secara sederhana mengsirkulasikan air atau fluida perpindahan panas melalui konveksi alami antara kolektor dan tangki penyimpanan yang ditinggikan. Prinsipnya sederhana, selama fluida dipanaskan densitasnya menurun. Fluida menjadi lebih ringan dan naik ke atas kolektor dimana fluida tersebut ditarik ke tangki penyimpanan. Fluida yang telah mendingin pada bagian bawah tangki penyimpanan kemudian mengalir kembali menuju kolektor. Sistem pasif dapat lebih murah daripada sistem aktif, tetapi juga kurang efisien. Sistem termosifon adalah contoh paling baik dari sistem pasif (Kishan Patel, et al., 2012).

a. Sistem termosifon

Pada sistem termosifon, air datang dari tangki penyimpanan yang ditinggikan menuju ke bawah kolektor surya dengan sirkulasi alami dan air bersirkulasi dari kolektor menuju ke tangki penyimpanan sepanjang absorber terus menyerap panas dari matahari dan air menjadi panas dalam kolektor. Air yang telah dingin pada bagian bawah tangki penyimpanan bergerak menuju kolektor dan diganti dengan air panas, dimana air panas tersebut kemudian dipaksa masuk ke tangki penyimpanan air panas terisolasi. Proses sirkulasi berakhir ketika tidak ada radiasi surya pada kolektor. Sistem termosifon relatif sederhana dan membutuhkan sedikit perawatan karena ketiadaan sistem kontrol dan instrumentasi. Efisiensi dari kolektor bergantung pada perbedaan temperature kolektor dan temperatur lingkungan dan berbanding terbalik dengan intensitas radiasi surya (Kishan Patel, et al., 2012).

3. Sistem gabungan (*batch system*)

Sistem batch (*batch system*) (juga dikenal sebagai sistem penyimpanan kolektor integral) adalah sistem pasif sederhana terdiri dari satu atau lebih tangki penyimpanan disimpan dalam kotak terisolasi yang memiliki sisi kaca menghadap matahari. Sistem batch telah menggabungkan fungsi koleksi dan penyimpanan. Bergantung dari sistemnya, tidak ada kebutuhan untuk pompa atau komponen bergerak, sehingga tidak mahal dan memiliki lebih sedikit komponen dengan kata lain, lebih sedikit perawatan dan kegagalan (Kishan Patel, et al., 2012).

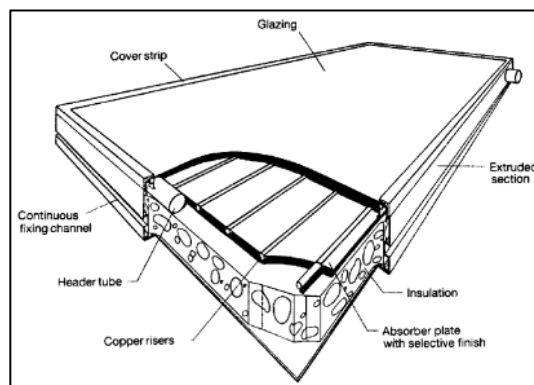
2.2. Kolektor Surya

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).

1. Kolektor pelat datar (*flat plate collectors, FPC*)

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 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

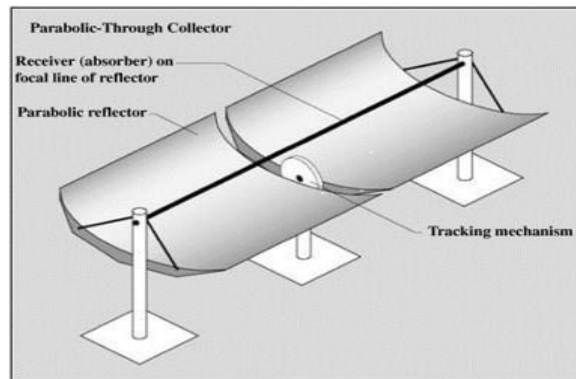
memindahkan panas dari kolektor ke tangki penyimpanan dengan prinsip konveksi alami, juga disebut sebagai termosipon yaitu tanpa dukungan pompa listrik. Karena intensitas radiasi matahari (W/m^2) bervariasi sesuai dengan lokasi, musim, dan langit berawan, di daerah beriklim sedang dan dingin, sumber 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 2.1. Kolektor pelat datar (Kalogirou, 2014)

2. Kolektor parabola majemuk stasioner (*stationary compound parabolic collectors, CPC*)

Kolektor parabola majemuk stasioner 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 (Kalogirou, 2004).

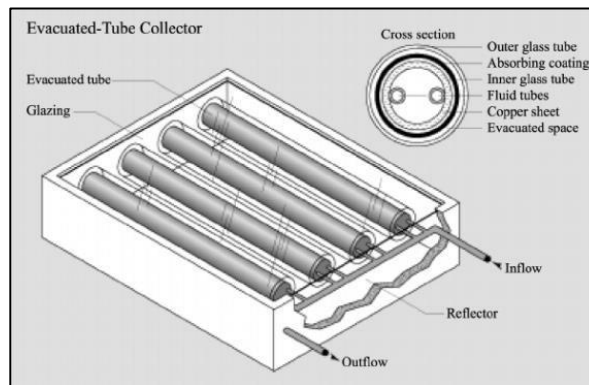


Gambar 2.2. Kolektor parabola majemuk stasioner (Kalogirou, 2014)

3. Kolektor tabung dievakuasi (*evacuated tube collector, ETC*)

Prinsip kerja dari kolektor tabung dievakuasi 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 pelat 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 2.3. Kolektor tabung dievakuasi (Kalogirou, 2014)

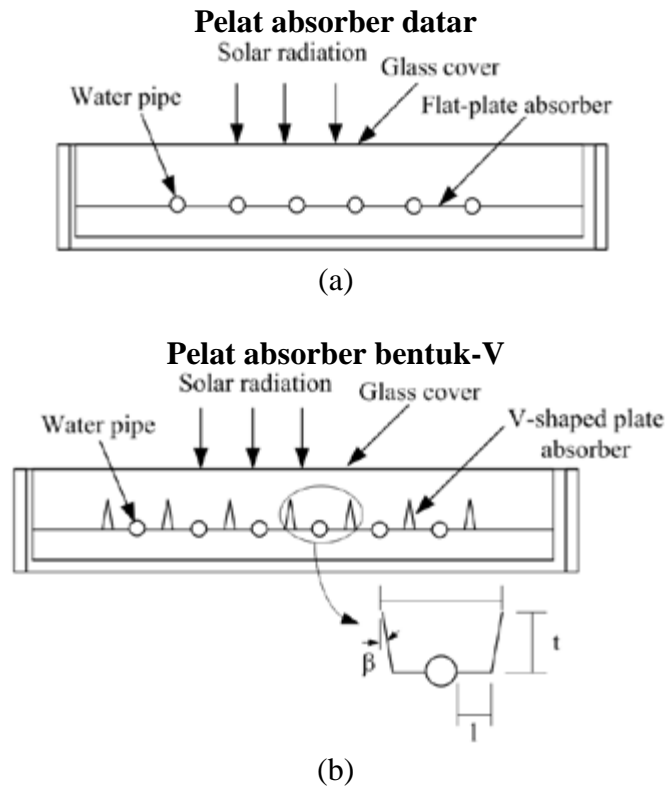
2.3. Pelat Absorber Bentuk-V

Bahan dasar pelat absorber harus mempunyai konduktivitas termal yang baik agar terjadi pindah panas yang baik dari absorber ke pipa-pipa pemanas, beberapa bahan-bahan dasar yang dapat dipakai sebagai absorber diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Konduktivitas termal beberapa bahan pelat kolektor matahari tertentu (Philip, et al., 2000)

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

Desain dari pelat absorber berkontribusi terhadap performa kolektor surya. Tampilan penampang dari kolektor surya dengan pelat absorber datar dan pelat absorber bentuk-V terlihat pada Gambar 2.1. (Jalaluddin, et al., 2016).



Gambar 2.4. Tampilan penampang kolektor surya (Jalaluddin, et al., 2016)

Meningkatkan kemampuan penyerapan (*absorptivity*) dari pelat absorber mengarah ke peningkatan efisiensi kolektor. Radiasi surya dikonversi menjadi energi yang bermanfaat dengan menyerap radiasi tersebut dalam pelat absorber kemudian memindahkannya ke fluida kerja. Metode analitik digunakan untuk menghitung kemampuan penyerapan dari pelat absorber datar dan beberapa jenis pelat absorber bentuk-V (Jalaluddin, et al., 2016).

Radiasi surya dengan sudut insiden $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ sampai pada permukaan pelat absorber. Radiasi tersebut sampai ke pelat absorber tegak lurus ($\theta = 0^\circ$) pada siang hari dan $\theta = 60^\circ$ pada pagi dan sore hari. Kemampuan penyerapan dari pelat absorber dapat dihitung dari sudut kejadiannya. Pelat absorber dianggap memiliki permukaan hitam. Pada kasus pelat bentuk-V, radiasi surya dipantulkan beberapa kali. Radiasi surya diserap oleh pelat absorber dengan setiap pantulan berdasarkan sudut kejadian (Jalaluddin, et al., 2016).

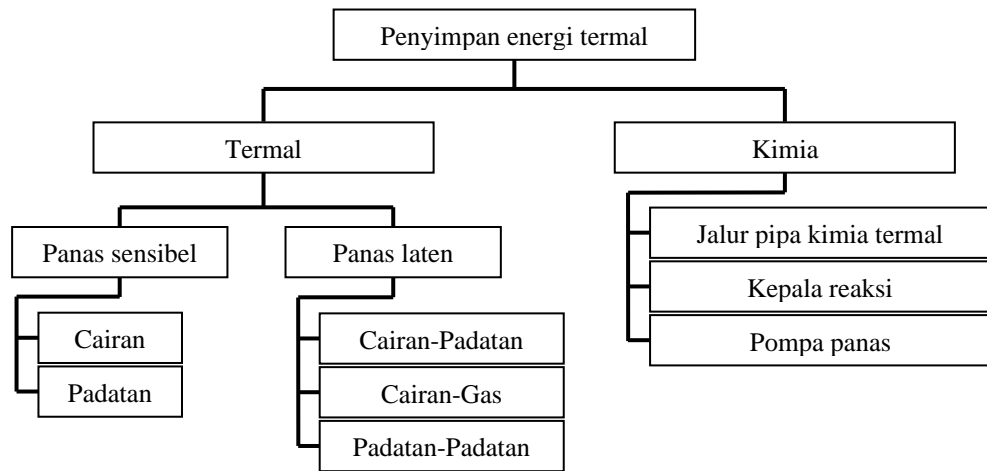
2.4. Penyimpanan Energi Termal (*Thermal Energy Storage, TES*)

Penyimpanan energi telah menjadi bagian penting dari teknologi sistem energi terbarukan. Penyimpanan energi termal (*thermal energy storage*) (TES) adalah teknologi yang menyimpan energi termal dengan cara memanaskan atau mendinginkan media penyimpanan sehingga energi yang tersimpan tersebut dapat digunakan di lain waktu untuk aplikasi pemanasan, pendinginan atau pembangkit listrik. Sistem TES biasanya digunakan pada bangunan dan proses industri. Kelebihan menggunakan TES sebagai sistem energi yaitu peningkatan efisiensi secara keseluruhan dan keandalan (*reliability*) yang lebih baik, dan dapat menuju ke penghematan, pengurangan investasi dan biaya operasional, dan lebih sedikit polusi lingkungan (misal: emisi karbon dioksida (CO₂)). 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 2.5. dibawah.

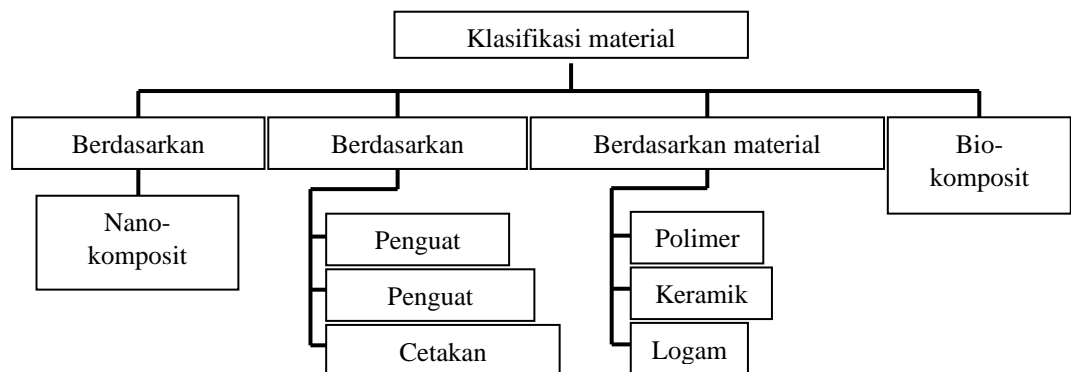


Gambar 2.5. Klasifikasi penyimpan energi termal (Ioan Sarbu, 2018)

2.5. Material Komposit Aluminium-Alumina (Al-Al₂O₃)

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 2.6. Klasifikasi material komposit (Rajak dkk.,2019)

1. Berdasarkan fase matriks

a. *Polymer matrix composites* (PMC)

PMC terdiri dari *thermosetting plastic* atau matriks termoplastik dengan penguat dari serat karbon, kaca, Kevlar, logam. Termoset lebih populer digunakan daripada termoplastik karena kekuatan yang lebih tinggi dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Termos 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 penanganan yang mudah dan metode pembuatan sederhana.

b. *Ceramic matrix composites* (CMC)

CMC adalah jenis keramik yang terdiri dari karbon, silikon karbida (SiC), aluminium oksida (Al_2O_3), 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.

c. *Metal matrix composites* (MMC)

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_2O_3 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. Berdasarkan penguat (*reinforcements*)

a. 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.

b. 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.

c. Lembaran (*Sheet*)

Komposit berbasis lembaran 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 lebih praktis daripada material PCM (misal: paraffin) karena tidak perlu memikirkan kebocoran pada *casing* material penyimpan termal. Adapun properti material komposit Aluminium-Alumina dengan persentase berat 35% Aluminium dan 65% Alumina ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Properti Material Komposit Aluminium-Alumina

Sifat termal	Aluminium powder	Alumina powder (94%)	Persentase berat		Rata-rata
			1 (35%)	2 (65%)	
rho (kg/m ³)	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 ($\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$)	23,1	8,1	8,085	5,265	6,675

2.6. 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 pemanas air tenaga matahari, perpindahan panas yang terjadi ada 3 yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

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 pemanas air tenaga matahari, perpindahan panas secara konduksi terjadi ketika energi panas dari pelat kolektor diteruskan ke material penyimpan panas kemudian ke isolator.

Dapat dilihat pada Gambar 2.7 energi yang dipindahkan dari konduksi dapat dituliskan dengan persamaan:

$$Q = k \times A \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots (1)$$

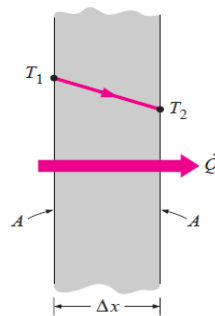
Dimana:

Q: banyaknya energi yang dipindahkan (Joule)

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

ΔT : perbedaan temperatur ($^\circ\text{C}$)

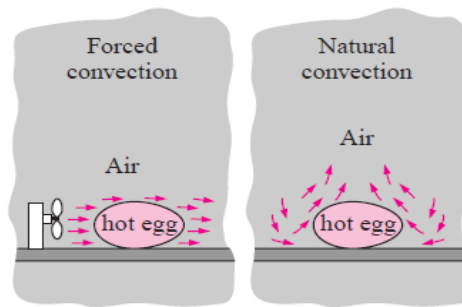
Δx : ketebalan benda (m)



Gambar 2.7. Konduksi pada dinding tebal Δx dan luas A (Cengel, 2003)

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). Jenis perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Konveksi paksa dan konveksi bebas (Cengel, 2003)

Pada alat pemanas air tenaga matahari, perpindahan panas konveksi terjadi antara kaca penutup dan udara luar, didasarkan pada hembusan angin di atas penutup transparan. Selain itu, perpindahan panas konveksi juga terjadi antara kaca penutup dan pelat kolektor serta pada pelat kolektor menuju fluida kerja.

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/m²°C)

A: luas permukaan terjadinya konveksi (m²)

T_s: temperatur permukaan benda padat (°C)

T_∞: temperatur fluida yang cukup jauh (°C)

3. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh material dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau cahaya) yang merupakan perbukuan 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 (Cengel, 2003).

Pada alat pemanas air tenaga matahari, perpindahan panas secara radiasi terjadi antara langit dan kaca penutup. Setelah itu, perpindahan panas secara radiasi berlanjut antara kaca penutup menuju ke pelat kolektor.

Adapun besarnya radiasi yang dapat diserap oleh suatu benda dapat dituliskan dalam persamaan:

$$Q = \epsilon \sigma A T_s^4 \dots\dots\dots(3)$$

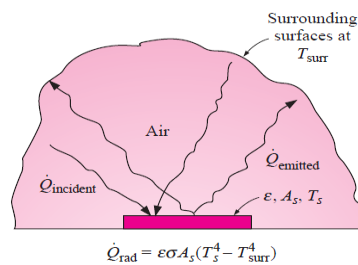
Dimana:

Q: kalor radiasi yang diserap (Joule)

ϵ : emisivitas benda

σ : konstanta Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

T_s : temperatur permukaan benda (K)



Gambar 2.9. Perpindahan panas radiasi antara dua permukaan (Cengel, 2003)

2.7. Formulasi Kestimbangan 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

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

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

Dimana:

ε_c : emisivitas penutup

σ : konstanta Stefan-Boltzman ($5,6697 \times 10^{-8}$, W/m²k⁴)

T_c: temperatur penutup, K

T_s: temperatur sky, K

T_a: temperatur lingkungan, K

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

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

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

Dimana:

Ra: Bilangan Rayleigh

β : sudut kemiringan, °

L: panjang karakteristik penutup, m

4. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup

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

Dimana:

- ε_c : emisivitas penutup
- ε_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)

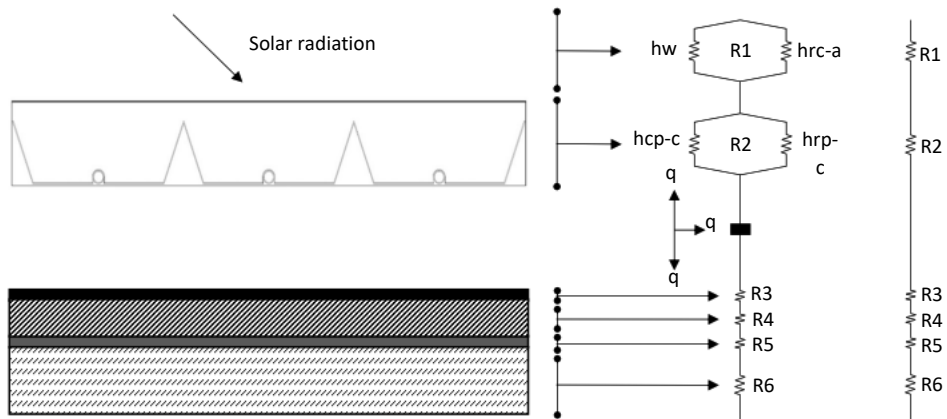
$$\eta = \frac{Q_n}{A_c I_T} \dots \dots \dots (14)$$

Dimana:

I_T : intensitas matahari total, W/m^2

A_c : luasan absorber, m^2

Q_n : panas yang berguna



Keterangan:

- R1: Perpindahan panas antara penutup dan udara luar
- R2: Perpindahan panas antara pelat kolektor dan penutup
- R3: Perpindahan panas antara pelat tembaga penutup material komposit dan fluida kerja
- R4: Perpindahan panas antara material komposit Aluminium-Alumina dan pelat tembaga penutup material komposit
- R5: Perpindahan panas antara pelat besi casing material komposit dan material komposit Aluminium-Alumina
- R6: Perpindahan panas antara isolator dan pelat besi casing

Gambar 2.10. Jala-jala termal

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

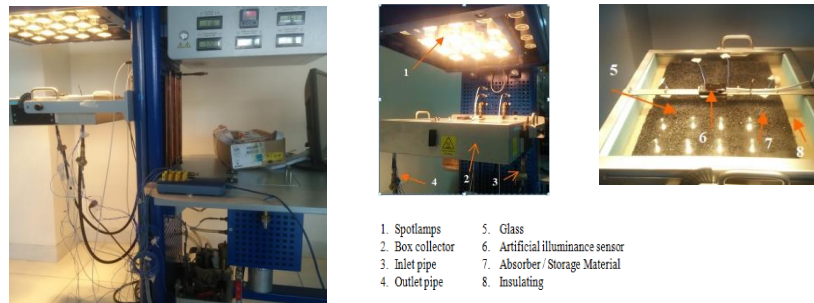
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin ($5^{\circ}13'50.8''S$ $119^{\circ}30'05.5''E$).

3.2. Peralatan dan Bahan yang Digunakan

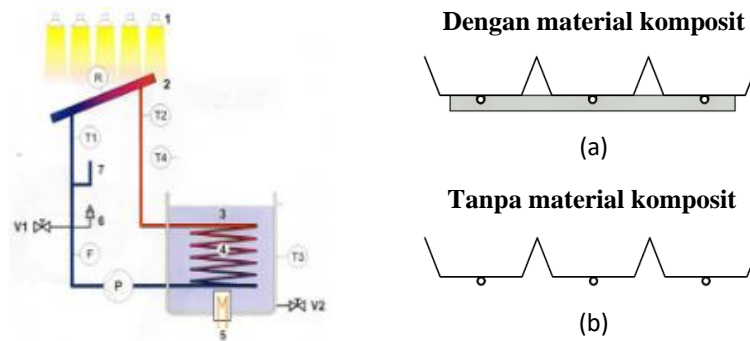
Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Alat Laboratorium ET-202 *Solar Thermal Energy*

Alat yang digunakan untuk pengujian kinerja *solar water heater*. Gambar 3.1. memperlihatkan rangkaian dan tampilan dari alat *Solar Thermal Energy Gunt ET-202*.



Gambar 3.1. *Solar Thermal Energy Gunt ET-202*



Gambar 3.2. Skema penelitian

2. *Data Logger* Temperatur Omega T08

Alat yang digunakan untuk mengumpulkan data temperatur yang direkam dari termokopel. Adapun tampilan fisik dari *data logger* temperatur tipe Omega T08 terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. *Data logger* Omega T08

3. Termokopel

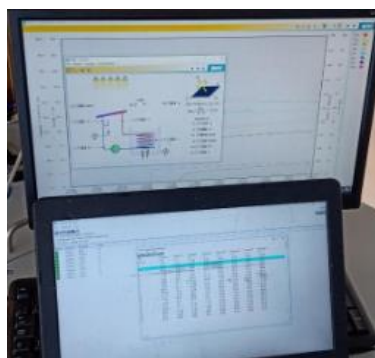
Untuk mengukur temperatur pelat kolektor yang dihubungkan langsung secara fisik. Adapun tampilan fisik termokopel terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Termokopel

4. Komputer

Alat yang digunakan untuk menampilkan hasil data dan mengolah data yang terlihat pada Gambar 3.5.

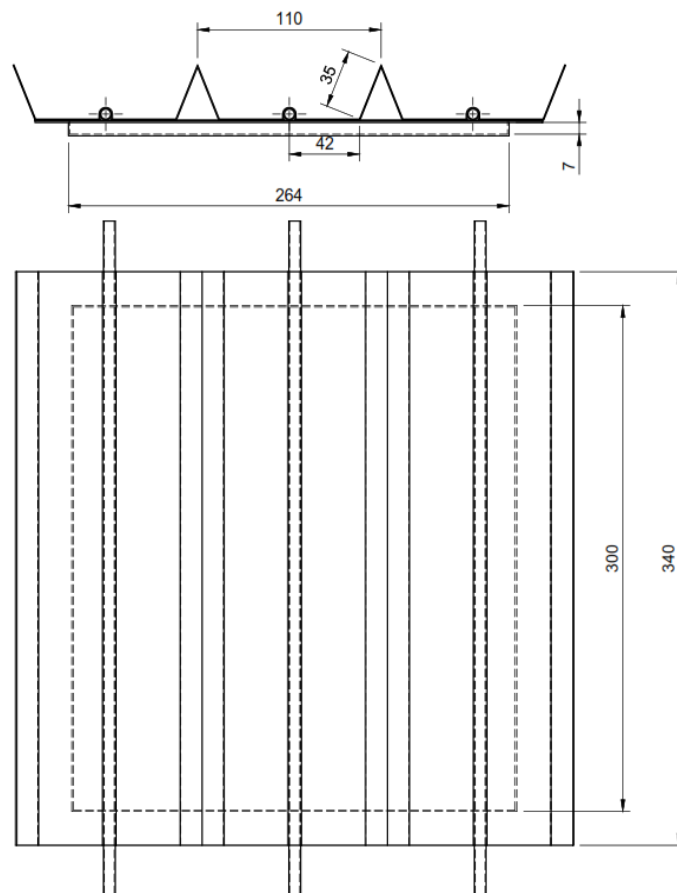
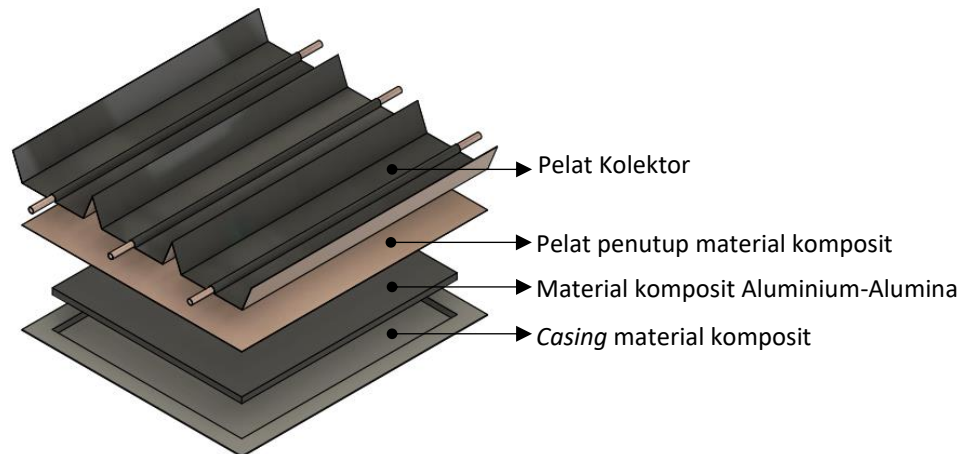


Gambar 3.5. Komputer

5. Panel kolektor

Sebagai bahan uji objek variasi penelitian dalam menguji efisiensi kolektor. Adapun dimensi kolektor sebagai berikut:

- a. Panjang kolektor : 462 mm
- b. Lebar kolektor : 340 mm



Gambar 3.6. Dimensi kolektor

6. Air

Sebagai fluida kerja dalam penelitian, dimana air yang digunakan pada penelitian ini merupakan air jenis RO (*reverse osmosis*)

3.3. Prosedur Penggunaan Alat Laboratorium Gunt ET-202

Alat Laboratorium Gunt ET-202 merupakan alat yang digunakan untuk pengujian kinerja pemanas air tenaga matahari. Adapun prosedur penggunaan alat yaitu sebagai berikut.

Sebelum menyalakan unit untuk pertama kalinya, semua komponen dan unit pencahayaan secara khusus harus diperiksa untuk menghindari dari kerusakan. Perhatikan dan periksa tegangan listrik dan terminal utama sesuai dengan kode nomor. Berikut langkah yang hendaknya dilaksanakan sesuai dengan urutan:

1. Gunakan kabel *device* untuk menghubungkan *device* ke suplai daya listrik utama
2. Hubungkan ET-202 ke PC dengan kabel USB
3. Nyalakan komputer
4. Gunakan tombol utama menghidupkan unit
5. Periksa pencahayaan, pompa, dan pembacaan indikator
6. Buka perangkat lunak pada komputer
(Perhatikan gelombang pada solar sirkuit, sirkuit ini dilengkapi sebuah katup isi dengan corong. Berikut langkah yang diperlukan untuk mengisi air melalui katup)
7. Pindahkan *flat pelat collector* ke sudut kemiringan 40 derajat
8. Tutup katup V1
9. Gunakan selang untuk mengubungkan katup V1 yang berisi air ke persediaan air
10. Dorong pipa ke nozzle pada katup isi dan jepit dengan penjepit selang
11. Buka baut vent nya
12. Aktifkan pompanya

13. Gunakan potenometer untuk mengatur kecepatan pompa sekitar 20% dari nilai maksimum
14. Dengan hati-hati bukalah katup untuk menyalurkan suplai air ke selang
15. Buka dengan hati-hati katup sirkuit surya V1 sambil memonitor aliran pada pipanya
16. Jika level pengukuran terlihat aliran pada pipa naik terlalu tajam setel sedikit katup V1 dengan menutupnya secara perlahan
17. Selama proses pengisian pada sirkuit surya, tingkatkan atau level air dalam pipa atas harus setidaknya $\frac{1}{4}$ dari tingkat atau level maksimum
18. Perhatikan katup pada pipa yang sudah terisi harus ditutup selama proses pengisian agar tidak mengalir
19. Agar dapat menghilangkan gelembung dalam system sirkuit solar variasikan kecepatan pompa dan kemiringan kolektor sampai tidak ada lagi gelembung yang terlihat
20. Prosedur ini akan berhasil jika level air pada pipa berhenti berfluktuasi sementara kecepatan pompa tetap konstan

3.4. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Dilakukan dua kali percobaan untuk menguji pengaruh material komposit Aluminium-Alumina dengan komposisi 35% Aluminium dan 65% Alumina sebagai *thermal storage* terhadap efisiensi kolektor *solar water heater*, percobaan pertama tanpa material komposit, percobaan kedua dengan material komposit, dengan variasi sudut kemiringan yaitu 0° , 10° , dan 30° . Adapun tabel parameter pengukuran untuk mendapatkan nilai efisiensi solar kolektor terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Tabel parameter pengukuran efisiensi solar kolektor

<i>Flow rate</i>	<i>Temp inlet</i>	<i>Temp outlet</i>	<i>Temp air</i>	<i>Temp difference</i>	<i>Thermal output</i>	<i>Illuminance</i>	<i>Efficiency</i>
F	T ₁	T ₂	T ₄	T ₂ -T ₁	P	R	η
l/h	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	kW	kW/m ²	%

3.5. Variabel Penelitian

1. Variabel tetap

Variabel tetap yaitu variable yang selama proses penelitian berlangsung dan dikondisikan sama. Adapun variable tetap dalam penelitian ini antara lain

- Pelat absorber yang digunakan adalah pelat absorber bentuk-V
- Material absorber yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0.5mm
- *Thermal storage* material komposit Aluminium-Alumina yang digunakan memiliki luasan $26,4 \times 30 \times 0,7$ cm dengan komposisi 65% Alumina dan 35% Aluminium.
- Kemiringan kolektor dari sumbu horizontal adalah 0° , 10° , dan 30°

2. Variabel terikat

Variabel terikat, yaitu variabel yang menjadi tujuan utama dari penelitian, dimana tujuan utama dari penelitian adalah menjelaskan variabel terikat. Dengan menganalisa variabel terikat diharapkan dapat ditemukan jawaban atas permasalahan yang ingin dipecahkan di dalam penelitian ini.

Yang menjadi variabel terikat dari penelitian ini adalah temperatur inlet dan outlet, flowrate, sudut kemiringan/tracking (incline) dan efisiensi kolektor sebelum dan setelah dilakukan penambahan material komposit Aluminium-Alumina pada panel absorber.

3. Variabel bebas

Variabel bebas yaitu kondisi yang dikehendaki oleh peneliti, yang mana di dalam proses penelitian akan mempengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas yaitu:

Variasi tanpa menggunakan material komposit Aluminium-Alumina pada panel absorber, dan yang terakhir dengan menggunakan material komposit Aluminium-Alumina yang disisipkan di bawah panel absorber.

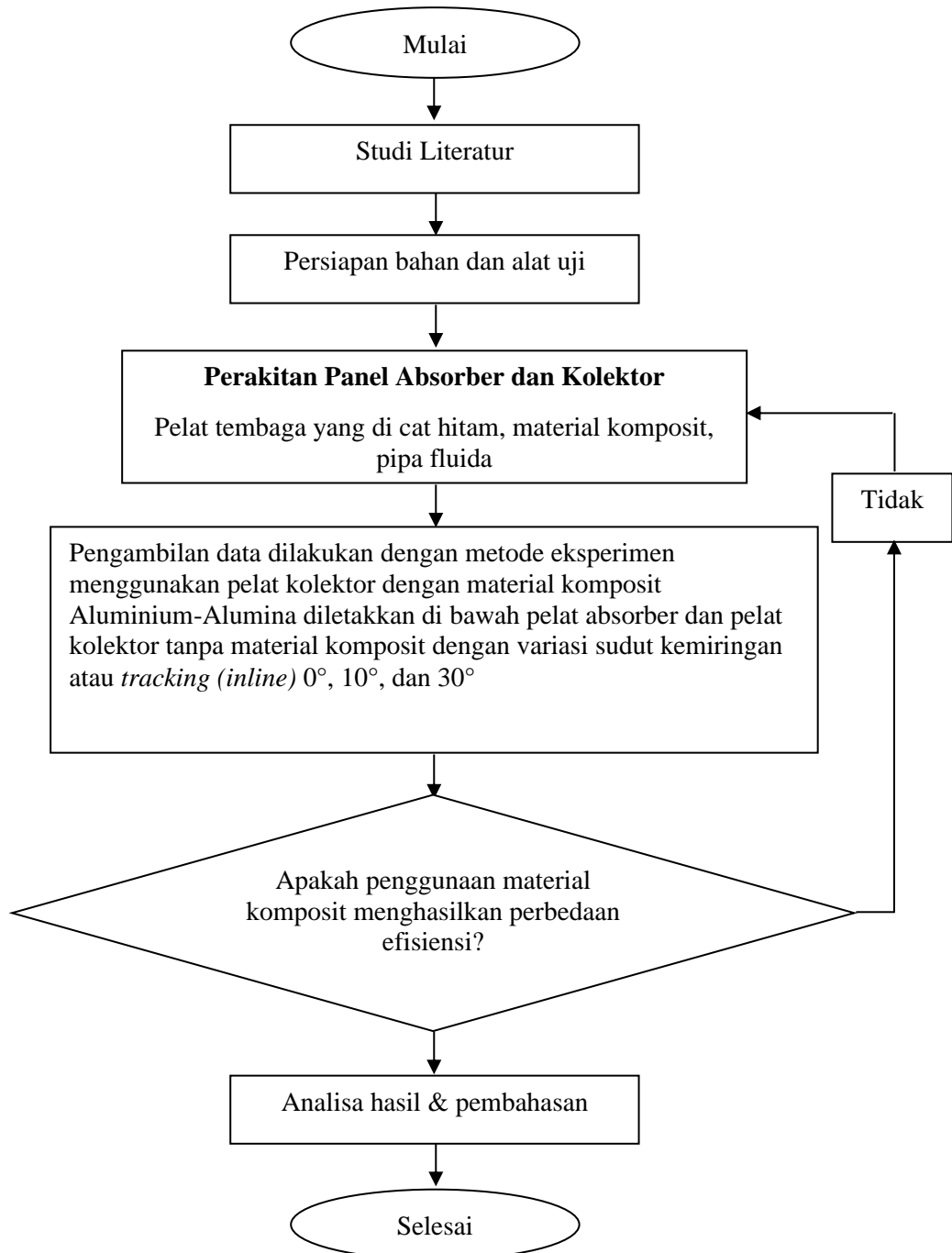
3.6. Tahapan Pengambilan Data

Adapun langkah-langkah pengambilan data yang dilakukan secara eksperimental adalah:

1. Mengisi Air ke dalam tangki unit ET-202 *Solar Thermal Energy*
2. Mengganti Air di dalam tangki untuk sekali eksperimen agar kalor air dalam tangki tetap terjaga sewaktu melaksanakan eksperimen.
3. Menstabilkan dan menyamakan kondisi awal pada temperatur air yang ada di dalam sistem dan dilihat di panel board alat, hal ini dilakukan setiap melakukan pengambilan data.
4. Mengukur dengan menentukan intensitas cahaya pada unit karena pada percobaan menggunakan cahaya buatan sehingga harus diukur intensitas Cahaya yang tergantung pada lokasi sebelum memulai eksperimen dengan memperhatikan prosedur pada buku petunjuk alat uji
5. Menentukan variasi parameter dalam penelitian ini yaitu kemiringan kolektor dari sumbu horizontal adalah 0° , 10° , dan 30°
6. Menentukan titik-titik pada setiap temperatur yang ada pada di dalam maupun diluar panel dengan menggunakan termokopel yang direkam oleh *data logger*.
7. Mencatat dan merekam data secara otomatis yang ditampilkan oleh unit maupun alat pada komputer dengan waktu penyimpanan setiap 30 menit unit beroperasi.
8. Menyimpan semua data yang digunakan setelah perekaman data selesai, baik data pada termokopel maupun data perekaman dari unit, setelah itu disatukan dan di konversi ke dalam file xls.
9. Proses ini dilakukan dua kali untuk melakukan perbandingan yaitu tanpa menggunakan material komposit Aluminium-Alumina dan dengan menggunakan material komposit Aluminium-Alumina dengan posisi dibawah pada pelat absorber.

3.7. Flowchart Penelitian

Pada gambar menunjukkan *Flowchart* Penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3.7. Flowchart penelitian