

**DISERTASI**

**PENGEMBANGAN MATERIAL ABSORBER  
UNTUK PENINGKATAN PERFORMA  
SISTEM PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI**

*DEVELOPMENT OF ABSORBER MATERIAL TO IMPROVE THE  
PERFORMANCE OF SOLAR WATER HEATING SYSTEM*

**MUHAMMAD HASAN BASRI  
D043191004**



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

**PENGAJUAN DISERTASI**

**PENGEMBANGAN MATERIAL ABSORBER UNTUK PENINGKATAN  
PERFORMA SISTEM PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI**

Disertasi

sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor  
Program Studi Ilmu Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD HASAN BASRI  
D043191004

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**DISERTASI**


**PENGEMBANGAN MATERIAL ABSORBER UNTUK  
PENINGKATAN PERFORMA SISTEM PEMANAS  
AIR TENAGA MATAHARI**

**MUHAMMAD HASAN BASRI  
D043191004**

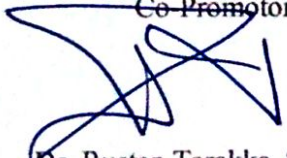
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Ilmu Teknik Mesin Sekolah  
Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin  
Pada Tanggal Maret 2023

Menyetujui


Promotor

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

Co-Promotor

  
Dr. RUSTAN TARAKKA, S.T., M.T  
NIP. 19750827 200501 1 002

Co-Promotor

  
Dr. MUHAMMAD SYAHID, S.T., M.T  
NIP. 19770707 200511 1 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.,  
IPM, ASEAN Eng.  
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi,  
S3 Ilmu Teknik Mesin



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., MT.  
NIP. 19760216 201012 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Hasan Basri

Nomor Induk Mahasiswa : D043191004

Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi berjudul "*Pengembangan Material Absorber Untuk Peningkatan Performa Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari*" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T. sebagai Promotor dan Dr. Ir. Rustan Tarakka, S.T., M.T., sebagai Co-promotor-1 serta Dr. Ir. Muhammad Syahid, S.T., M.T. sebagai Co-promotor-2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal *International Journal of Renewable Energy Research-IJRER*, Volume 12 No. 2, halaman 993-999, DOI : 10.20508/ijrer.v12i2 sebagai artikel dengan judul "*Experimental Study of Modified Absorber Plate Integrated with Aluminium Foam of Solar Water Heating System*" dan di ISAIME 2022 sebagai artikel dengan judul "*Thermal Properties Characteristic of Aluminium-Alumina Composite for Solar Water Heating System Application*".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin



Gowa, 6 Maret 2023

Yang Menyatakan

  
Muhammad Hasan Basri

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmatNya, sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Gagasan utama penggunaan material penyimpan energi panas berupa aluminium foam dan komposit aluminium alumina pada pelat absorber untuk meningkatkan efisiensi termal kolektor sistem pemanas air tenaga matahari. Penemuan material baru dari komposit aluminium-alumina dengan komposisi tertentu sangat cocok digunakan di kolektor sistem pemanas air tenaga matahari dalam membantu proses penyerapan dan penyimpanan energi panas, sehingga membantu mengurangi konsumsi energi listrik dan meningkatkan kinerja dari sistem tersebut. Diharapkan selanjutnya material tersebut dimodifikasi kembali dengan material lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

Bukan hal yang mudah untuk mewujudkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan disertasi, berkat bimbingan, arahan dan motivasi berbagai pihak maka disertasi ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. sebagai promotor, Dr. Ir. Rustan Tarakka, ST., MT. sebagai Co-promotor-1, dan Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT. sebagai Co-promotor-2 atas bimbingan, diskusi dan arahnya selama studi.
2. Prof. Dr.Ing.Ir. Wahyu H. Piarah, MSME, Dr. Zuryati Djafar, ST., MT., Dr.Eng. Lukmanul Hakim, ST., MT, dan Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. sebagai komisi tim penguji.
3. Rektor universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program doktor serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
4. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. yang telah mengizinkan kami untuk melaksanakan penelitian di Laboratorium Energi Terbarukan, dan kepada Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT. atas kesempatan untuk juga menggunakan fasilitas dan peralatan di Laboratorium Pengecoran. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Kepala LPPT UGM dan Kepala

Laboratorium Perpindahan kalor dan massa Teknik Mesin UGM atas bantuan dalam sifat termal material komposit.

5. Bapak Dr. Bakri, ST., M.Phil yang telah mengizinkan kami juga untuk menggunakan fasilitas Laboratorium Ilmu Bahan Universitas Tadulako, serta Bapak Yandi, ST dan Bapak Hidayat, ST atas bantuan dalam pembuatan material komposit.
6. Kepada kedua orang tua tercinta H. Arif Syam dan Hj. Sanubariah, serta mertua Hj. Aisyah, saya mengucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan.
7. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada isteri tercinta Dr. dr. Sumarni, M.Kes., Sp.GK atas kasih sayang dan dukungan doa, moril serta material yang tak terhingga. Begitu juga anak-anak kami Muhammad Rizqy Hanif, Muhammad Rifqy Naufal, Syifa Mutmainnah, Husnul Khatimah, Ulfa Zafirah atas doa mereka yang tulus.
8. Kepada kakak saya tercinta Ashari Arif, Asmawati Arif, SKM, M.Kes, Dr. Astuti Arif, S.Hut., M.Hut., Asnawi Arif, ST atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.
9. Akhirnya terima kasih kami ucapkan kepada rekan kami terkhusus Muh. Iqbal Muhsen, ST.MT dari PNUP atas bantuan teknisnya, dan Muhammad Sadat Hamzah atas bantuannya serta adik Muhammad Farid, ST., Faisal, ST, Anugerah, ST, Zaldy dan Ferdi atas kerjasamanya dalam penelitian kami.

Wassalam

Penulis,

Muhammad Hasan Basri

## ABSTRAK

MUHAMMAD HASAN BASRI. **Pengembangan Material Absorber untuk Peningkatan Performa Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari** (dibimbing oleh Jalaluddin, Rustan Tarakka dan Muhammad Syahid).

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan material penyimpan energi baru dari aluminium foam, keramik atau komposit yang cocok digunakan pada sistem pemanas air tenaga surya. Analisis kinerja kolektor pelat rata dengan kombinasi aluminium foam dan komposit aluminium-alumina melalui pengujian eksperimen pada *solar thermal energy* ET 202. Karakteristik sifat termal komposit juga dianalisa berdasarkan persentase berat alumina 35%, 50% dan 65%.

Uji eksperimen untuk aluminium foam ada tiga model yaitu Standar Flat-Plate (SFP), Bottom Aluminium Foam (SFP-BAF), Top Aluminium Foam (SFP-TAF). Sedangkan uji eksperimen komposit aluminium-alumina juga ada tiga (3) model dengan komposisi berbeda yaitu SFP-TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SFP-TESC 50Al-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SFP-TESC 65Al-35Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pengujian eksperimen dilakukan selama 4 jam dengan variasi kemiringan 0°, 10° dan 30°, serta laju aliran air 8, 10 dan 12 L/jam. Karakteristik sifat termal komposit berupa konduktivitas termal diuji melalui alat konduktivitas termal selama 30 menit pada suhu atur 100°C, dan kapasitas panas spesifik diuji melalui *differential scanning calorimetry* selama 2 jam dengan pengaturan suhu mencapai 600°C.

Penambahan material penyimpanan energi panas pada bagian bawah pelat absorber meningkatkan efisiensi termal kolektor dengan signifikan. Model SFP-BAF memiliki efisiensi termal tertinggi masing-masing sebesar 88.4%, 86.9%, 83.9% pada laju aliran air sirkulasi 8 L/jam, 10 L/jam, dan 12 L/jam. Model komposit SFP-TESC 35Al 65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki efisiensi termal rata-rata tertinggi masing-masing sebesar 87%, 85.9%, dan 71.1% pada sudut 0°, 10° dan 30° dengan laju 10 L/jam. Hasil karakterisasi sifat termal menunjukkan bahwa model C1 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki kemampuan menyimpan panas lebih tinggi dengan kapasitas panas spesifik sebesar 1.36 J/g.°C, konduktivitas termal 0.37 W/m.°C dan difusivitas termal 0.08 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

Model TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah komposit aluminium alumina baru yang direkomendasikan dapat digunakan sebagai material penyimpan energi panas pada kolektor sistem pemanas air tenaga matahari. Dengan Intensitas radiasi 1000 W/m<sup>2</sup>, material model ini dapat mengabsorb panas 800 W/m<sup>2</sup> dengan suhu material maksimum sebesar 54.1 °C.

Kata kunci: *Absorber, aluminium foam, komposit, aluminium-alumina.*

## ABSTRACT

**MUHAMMAD HASAN BASRI.** Development of Absorber Materials to Improve the Performance of Solar Water Heating Systems (supervised by Jalaluddin, Rustan Tarakka and Muhammad Syahid).

This study aims to find new energy storage materials from aluminum foam, ceramics or composites suitable for solar water heating systems. Performance analysis of flat plate collectors with a combination of aluminum foam and aluminum-alumina composites through experimental testing on solar thermal energy ET202. The thermal properties of the composites were also analyzed based on the weight percentage of alumina 35%, 50% and 65%.

There are three experimental tests for aluminum foam, namely Standard Flat-Plate (SFP), Bottom Aluminum Foam (SFP-BAF), and Top Aluminum Foam (SFP-TAF). While the experimental test for the aluminum-alumina composite also included three (3) models with different compositions, namely SFP-TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SFP-TESC 50Al-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and SFP-TESC 65Al-35Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Experimental testing was carried out for 4 hours with variations in the slope of 0°, 10° and 30°, and water flow rates of 8, 10 and 12 L/h. The characteristics of the thermal properties of the composite in the form of thermal conductivity were tested through a thermal conductivity tool for 30 minutes at a set temperature of 100°C, and the specific heat capacity was tested through a differential scanning calorimetry for 2 hours at a set temperature of 600°C.

The addition of heat energy storage material at the bottom of the absorber plate significantly increases the thermal efficiency of the collector. The SFP-BAF model has the highest thermal efficiency of 88.4%, 86.9%, and 83.9%, respectively, at circulating water flow rates of 8, 10 and 12 L/h. The SFP-TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite model has the highest average thermal efficiency of 87%, 85.9% and 71.1%, respectively, at angles of 0°, 10° and 30° with a rate of 10 L/h. The results of the characterization of the thermal properties show that the C1 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> model has a higher ability to store heat with a specific heat capacity of 1.36 J/g.°C, a thermal conductivity of 0.37 W/m.°C and a thermal diffusivity of 0.08 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> model is a new aluminum alumina composite which is recommended to be used as a heat energy storage material in the collector of solar water heating systems. With a radiation intensity of 1000 W/m<sup>2</sup>, this model material can absorb and store 762.8 W/m<sup>2</sup> of heat with a maximum material temperature of 54.1 °C.

Keywords: Absorber, aluminum foam, composite, aluminum-alumina.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PENGAJUAN DISERTASI .....	ii
PERSETUJUAN DISERTASI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SOMBOL.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN UMUM</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	7
1.4. Manfaat Penelitian .....	7
1.5. Kebaruan Penelitian .....	8
1.6. Ruang Lingkup Penelitian.....	9
<b>BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS</b>	
2.1. Kerangka konsep .....	10
2.2. Hipotesis .....	12
2.3. Diagram Alir Penelitian .....	13
2.4. Road Map Penelitian .....	14
2.5. State of the Art .....	16
<b>BAB III TOPIK PENELITIAN I MODIFIKASI PELAT ABSORBER DENGAN ALUMINIUM FOAM</b>	
3.1. Abstrak .....	17
3.2. Pendahuluan .....	17

3.3. Metode .....	22
3.4. Hasil dan pembahasan .....	28
3.5. Kesimpulan .....	36
3.6. Daftar pustaka .....	37
BAB IV TOPIK PENELITIAN II. KARAKTERISASI SIFAT TERMAL KOMPOSIT ALUMINIUM ALUMINA	
4.1. Abstrak .....	41
4.2. Pendahuluan .....	42
4.3. Metode .....	44
4.4. Hasil dan pembahasan .....	51
4.5. Kesimpulan .....	59
4.6. Daftar pustaka .....	60
BAB V TOPIK PENELITIAN III KINERJA PELAT ABSORBER DENGAN KOMPOSIT ALUMINIUM ALUMINA	
5.1. Abstrak .....	62
5.2. Pendahuluan .....	62
5.3. Metode .....	66
5.4. Hasil dan pembahasan .....	73
5.5. Kesimpulan .....	85
5.6. Daftar pustaka .....	86
BAB VI PEMBAHASAN UMUM	
6.1. Kinerja Pelat Absorber dengan Aluminium Foam .....	89
6.2. Karakteristik sifat termal komposit Aluminium-Alumina .....	91
6.3. Kinerja Pelat Absorber dengan Komposit Aluminium Alumina .....	93
BAB VII PENUTUP	
7.1. Kesimpulan .....	96
7.2. Saran .....	97
DAFTAR PUSTAKA .....	98
LAMPIRAN.....	102

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kerangka konsep .....	11
Gambar 2.2	Diagram Alir penelitian .....	14
Gambar 2.3	Road map penelitian .....	15
Gambar 2.4	State of the Art .....	16
Gambar 3.1	Material absorber dan penyimpan energi panas .....	23
Gambar 3.2	Komponen dan prinsip kerja alat uji ET202.....	24
Gambar 3.3	Tiga model panel uji .....	26
Gambar 3.4	Diagram alir tahap penelitian I .....	27
Gambar 3.5	Intensitas radiasi dari model uji pada sudut $0^{\circ}$ .....	29
Gambar 3.6	Intensitas radiasi dari model SFP-BAF berdasarkan pada sudut .....	29
Gambar 3.7	Hubungan perubahan laju aliran dengan intensitas radiasi .....	30
Gambar 3.8	Temperatur air masuk dan keluar dari ketiga model uji .....	31
Gambar 3.9	Temperatur air masuk dan keluar model SFP-BAF berdasarkan sudut kemiringan .....	33
Gambar 3.10	Temperatur air masuk dan keluar berdasarkan laju aliran air .....	33
Gambar 3.11	Perbandingan efisiensi termal model uji .....	34
Gambar 3.12	Efisiensi termal model SFP-BAF terhadap sudut kemiringan .....	35
Gambar 3.13	Hubungan efisiensi dengan perubahan laju aliran air .....	36
Gambar 4.1	Spesimen komposit aluminium-alumina .....	45
Gambar 4.2	Mikroskop optik .....	45
Gambar 4.3	Alat Konduktivitas termal .....	46
Gambar 4.4	Alat Differential Scanning Calorimetry .....	46
Gambar 4.5	Proses fabrikasi specimen komposit aluminium-alumina .....	48
Gambar 4.6	Diagram alir tahap penelitian II .....	49
Gambar 4.7	Aliran kalor melalui komposit .....	50
Gambar 4.8	Struktur mikroskopik specimen material uji .....	53
Gambar 4.9	Densitas teoritis komposit aluminium-alumina .....	54

Gambar 4.10	Perubahan temperatur dititik pengambilan data .....	55
Gambar 4.11	Konduktivitas termal ketiga jenis komposit .....	56
Gambar 4.12	Nilai kapasitas panas spesifik komposit .....	58
Gambar 4.13	Difusivitas termal komposit.....	59
Gambar 5.1	Material absorber dan penyimpan energi panas .....	67
Gambar 5.2	Komponen dan prinsip kerja alat uji ET202 .....	68
Gambar 5.3	Model panel absorber dengan material penyimpan energi termal .....	69
Gambar 5.4	Diagram alir tahap penelitian III .....	71
Gambar 5.5	Aliran energi melalui material penyimpan energi panas .....	72
Gambar 5.6	Intensitas radiasi dari model uji pada sudut $0^{\circ}$ .....	73
Gambar 5.7	Intensitas radiasi dari model uji pada sudut $10^{\circ}$ .....	74
Gambar 5.8	Intensitas radiasi dari model uji pada sudut $30^{\circ}$ .....	74
Gambar 5.9	Temperatur air masuk dan keluar pada sudut $0^{\circ}$ .....	75
Gambar 5.10	Temperatur air masuk dan keluar pada sudut $10^{\circ}$ .....	77
Gambar 5.11	Temperatur air masuk dan keluar pada sudut $30^{\circ}$ .....	78
Gambar 5.12	Efisiensi termal model uji pada pada sudut $0^{\circ}$ .....	79
Gambar 5.13	Efisiensi termal model uji pada pada sudut $10^{\circ}$ .....	80
Gambar 5.14	Efisiensi termal model uji pada pada sudut $30^{\circ}$ .....	80
Gambar 5.15	Perbandingan temperatur material uji pada sudut $0^{\circ}$ .....	82
Gambar 5.16	Perbandingan temperatur material uji pada sudut $10^{\circ}$ .....	83
Gambar 5.17	Perbandingan temperatur material uji pada sudut $30^{\circ}$ .....	84
Gambar 5.18	Perbandingan energi simpanan dari ketiga model komposit ..	85

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi peralatan <i>solar thermal energy</i> .....	25
Tabel 3.2	Spesifikasi pelat absorber dan material penyimpan energi .....	26
Tabel 5.1	Spesifikasi peralatan <i>solar thermal energy</i> .....	69
Tabel 5.2	Spesifikasi pelat absorber dan material penyimpan energi .....	70

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Biodata penulis.....	102
Lampiran 2	Hasil Perhitungan Densitas .....	103
Lampiran 3	Data temperature Konduktivitas termal .....	104
Lampiran 4	Thermal analysis (Heat capacity) .....	105
Lampiran 5	Jurnal publikasi Scopus.....	109
Lampiran 6	Jurnal Publikasi Seminar Internasional.....	116
Lampiran 7	sertifikat seminar international .....	122

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan penjelasan
°	Derajat suhu
Θ	Derajat kemiringan
%	Persentase
Ac	Luas permukaan benda
Al	Aluminium
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminium Oxida / Alumina
BAF	Bottom aluminium Foam
C	Celsius
C1	Komposit jenis 1
C2	Komposit jenis 2
C3	Komposit jenis 3
Cp	Panas spesifik
ETC	Evacuated Tube Collector
ET 202	Energy Thermal seri 202
Ferro alloy	Paduan logam /besi
Foam	Busa logam atau logam berpori
FPC	Flat Plate Collector
g	Gram
Grit	Ukuran kehalusan amplas
L/h	Liter per hour
IT	Intensitas Cahaya
J	Joule
Kg	Kilogram
Liquid	Cairan
m	Meter
m	Laju aliran massa
mm	Millimeter
MMC	Metal Matrix Composite

PCM	Phase Change Materials
Porous	Bahan berpori
PTC	Parabolic Through Collector
Qu	Kalor berguna
R	Radiation / radiasi
SFP	Standard Flat Plate
Solid	Padatan
SWHS	Solar Water Heating System
T	Temperatur
TAF	Top Aluminium Foam
TES	Thermal Energy Storage
TESC	Thermal energy Storage Composite
V	Bentuk konfigurasi pelat kolektor
V	Laju aliran volume
V-Ti	Vanadium Titanium
W	Watt



# BAB I

## PENDAHULUAN UMUM

### 1.1 Latar belakang

Energi matahari adalah salah satu sumber energi yang mempunyai potensi terbesar dari semua sumber energi terbarukan. Pemanfaatan energi matahari beraneka-ragam seperti sebagai sumber listrik untuk penerangan, proses pemanasan dan pendinginan ruangan, pemompaan air sawah, dan lain-lain. Keunggulan dari penggunaan energi matahari yaitu ramah lingkungan, biaya energi rendah dan sifatnya terbarukan.

Sistem pemanas air tenaga matahari adalah peralatan pemanas air yang terdiri atas kolektor, penukar kalor, tangki penyimpanan dan alat distribusi air digunakan untuk memenuhi kebutuhan air panas skala industri maupun rumah tangga. Sistem pemanas air domestik terbukti memberikan penghematan sekitar 70–90% dari total biaya pemanas air, sehingga sistem ini merupakan salah satu peralatan terbaik untuk mengurangi konsumsi energi rumah tangga (Shukla *et al.*, 2013).

Salah satu komponen utama dari sistem pemanas air tenaga matahari yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari dan memindahkannya ke fluida yang mengalir adalah kolektor. Adapun bagian-bagian dari kolektor yaitu kaca penutup, pelat absorber, pipa, isolator dan rangka. Secara umum, jenis-jenis kolektor pemanas air terdiri atas tiga (3) tipe yaitu; *Flat Plate Collector (FPC)*, *Evacuated Tube Collector (ETC)* dan *Parabolic Through Collector (PTC)*.

FPC merupakan kolektor perat rata yang paling umum digunakan karena kolektor ini dapat bekerja pada temperatur rendah sampai temperatur 100°C (Kalogirou, 2004). Adapun kelebihan dari FPC yaitu konstruksinya lebih sederhana, kerugian kalor konveksi dan konduksinya lebih rendah, perbandingan luas pelat absorber terhadap luas keseluruhan sistem kolektor juga lebih rendah, dan posisi radiasi matahari selalu tegak lurus terhadap permukaan kolektor. Sedangkan kekurangannya yaitu efisiensi dan temperatur fluidanya lebih rendah, serta temperatur pemanasan efektifnya hanya berlangsung pada siang hari saja

(Tewari and Dev, 2019).

Untuk mengatasi kekurangan yang ada pada kolektor FPC, maka tentu perlu adanya pengembangan yang berkelanjutan untuk meningkatkan kinerja dari kolektor tersebut. Secara umum, peningkatan efisiensi kolektor bergantung pada kapasitas media penyerap, tingkat kehilangan kalor dan jenis material absorber yang digunakan. Metode-metode pengembangan untuk meningkatkan efisiensi kolektor yang telah dilakukan antara lain; modifikasi material absorber, modifikasi konstruksi melalui perubahan dimensi, bentuk, jarak celah antara pelat dengan kaca, modifikasi fluida kerja dan metode pelapisan (Rangababu *et al.*, 2015).

Salah satu metode yang efektif dalam menaikkan efisiensi kolektor dengan signifikan yaitu modifikasi material pelat absorber. Kriteria pemilihan material absorber perlu mempertimbangkan sifat fisik dan sifat termal dari material. Sifat fisik material seperti densitas, kekuatan, modulus elastis, dan lain-lain. Sedangkan sifat termal material meliputi konduktivitas termal, kapasitas panas dan koefisien ekspansi termal. Dari sifat-sifat inilah yang mengindikasikan material yang cocok sebagai material absorber ataupun material penyimpan energi termal (*thermal energy storage*).

Beberapa material absorber kolektor dari logam yang umum digunakan antara lain: aluminium (Fan *et al.*, 2019), tembaga (Sakhrieh and Al-Ghandoor, 2013), besi (Bhowmik and Amin, 2017) dan kuningan (Chong *et al.*, 2012). Material absorber non-logam seperti keramik (He, 2018), polimer (Popel *et al.*, 2013), aspal (Saad *et al.*, 2019) dan konkrit (O'Hegarty *et al.*, 2017).

Pengembangan lain dari absorber adalah modifikasi bentuk dan konfigurasi pelat absorber. Perubahan bentuk absorber dari pelat rata (standar) menjadi bentuk gelombang atau bentuk v memberikan peningkatan performa sistem pemanas air. Dalam penelitian eksperimennya, Jalaluddin *et al* (2016) memperlihatkan adanya peningkatan kinerja sistem pemanas air yang signifikan dengan menggunakan pelat bentuk V dibandingkan dengan pelat rata konvensional. Peningkatan efisiensi termal juga dihasilkan dalam konfigurasi konstruksi yang berbeda seperti pelat *V-trough* (Saravanan *et al.*, 2016), *chevron corrugate* (Dovic and Andrassy, 2012), dan *channel corrugate* (Alvarez *et al.*,

2010).

Kombinasi penggunaan pelat absorber dengan material penyimpan energy termal seperti *Solid-Liquid TES* misalnya *phase change materials* (PCM) dan *Solid-TES* pada kolektor juga dapat meningkatkan kinerja dari kolektor. PCM adalah material yang memiliki sifat dan bentuk yang stabil, serta efektif dalam menyimpan energi panas. Penggunaan PCM pada aplikasi pemanasan aktif dan pasif dapat meningkatkan efisiensi energi (Faraj *et al.*, 2021), dan efisiensi eksergi sistem (Eltaweel & Abdel-Rehim, 2019). Disamping itu, kombinasi PCM dengan pelat bentuk V pada kolektor SWH juga meningkatkan kinerja kolektor hingga 20% dibandingkan tanpa PCM (Haddada *et al.*, 2017) dan menurunkan kecepatan kehilangan kalor pada tangki SWHS ke lingkungan (Bouhal *et al.*, 2018). Namun material PCM ini juga mempunyai kelemahan yaitu tingkat kebocoran yang cukup tinggi (Singh *et al.*, 2020).

Selain material solid-liquid TES, material *solid TES* juga saat ini dikembangkan sebagai material penyimpan energi panas di kolektor pelat rata, misalnya *metal foam*, keramik, *concrete* dan komposit. Tujuan pengembangan ini adalah mengefektifkan material tersebut dalam penyerapan dan penyimpanan energi panas dalam periode tertentu untuk dipindahkan ke fluida kerja, sehingga efisiensi kolektor akan meningkat.

Beberapa jenis material foam yang dikembangkan pada aplikasi rekayasa, antara lain: *block aluminium foam*, *copper foam*, *nickel foam* (Stadler & Lasova, 2005) dan *reticulated virteous carbon foam* (Chen and Huang, 2012) dan *ceramic foam* (Oliveira *et al.*, 2019). Studi penelitian metal foam pada aplikasi kolektor diprioritaskan pada aspek geometri, posisi dan kecepatan aliran fluida. Dalam studinya, Saedodin *et al.* (2017) menganalisis pengaruh posisi metal foam di antara pelat absorber dan isolator. Hasil analisis tersebut menunjukkan adanya peningkatan efisiensi termal kolektor. Faktor posisi *metal foam* yang menempel pada pelat absorber juga memberikan efek penyerapan energi panas maksimal dan peningkatan laju perpindahan panas jika dibandingkan tanpa penambahan *metal foam*. Selain itu, studi lain memberikan gambaran bahwa bentuk konfigurasi metal foam yang utuh (*full-filled*) memberikan hasil efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dalam bentuk blok yang terpisah (Valizade *et al.*, 2020).

Pengembangan material lain pada sistem pemanas air tenaga matahari yaitu material keramik. Keramik adalah material yang mempunyai sifat termofisik yang baik, stabil terhadap tekanan, sehingga banyak digunakan dalam dunia rekayasa seperti alat elektronik, manufaktur dan kolektor (Yang *et al.*, 2013). Di sistem pemanas air, keramik diberikan lapisan material tertentu seperti *black V-Ti* untuk meningkatkan efisiensi kolektor. Keunggulan dari kolektor keramik *black V-Ti* yakni dapat diintegrasikan pada bangunan seperti pada atap, balkon dan dinding, meskipun efisiensinya masih rendah (Sun *et al.*, 2014). Meskipun efisiensi kolektor keramik masih rendah, tetapi kolektor keramik mempunyai prospek yang cerah dimasa depan dan dapat bersaing dengan kolektor konvensional (Zukowski and Woroniak, 2017).

Material alternatif yang memiliki potensi untuk digunakan di sistem pemanas air adalah komposit Aluminium-Alumina. Komposit adalah gabungan 2 atau lebih unsur material dengan tujuan untuk mendapatkan sifat fisik, sifat mekanik atau sifat termal yang diinginkan. Sifat termal material berkaitan erat dengan kapasitas panas, koefisien ekspansi termal dan konduktivitas termal (Almadhoni and Khan, 2015). Komposit Aluminium(Al) – Alumina( $Al_2O_3$ ) merupakan salah satu komposit yang mempunyai karakteristik sifat fisik dan mekanik yang handal, tidak mengalami dalam proses penuaan, kekuatan mulur lebih tinggi dalam kondisi tegangan yang konstan (Furukawa *et al.*, 1995). Meskipun demikian, bila terjadi peningkatan fraksi penguat (alumina) pada aluminium, maka akan menurunkan nilai konduktivitas termal dan konduktivitas elektrik material (El-Kady *et al.*, 2011).

Berdasarkan literatur di atas, gagasan dan ide penelitian ini adalah menemukan suatu material penyimpan energi panas yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi atau kinerja dari sistem pemanas air tenaga matahari. Gagasan ini diawali dari penelitian terdahulu yang telah memproduksi air panas menggunakan sistem *hybrid* dengan sistem pendingin sumber tanah (Jalaluddin, *et al.*, 2016, 2018a, 2018b). Kesulitan yang dihadapi adalah konsumsi energi listrik yang cukup tinggi dan konstruksi yang cukup besar. Penelitian lainnya yaitu sistem pemanas air menggunakan pelat absorber bentuk V dengan kombinasi material PCM sebagai material penyimpan panas. Namun, kendala utama yang

dihadapi yaitu tingkat kebocoran cairan dalam konstruksi penyimpanannya (Haddada et al., 2017). Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, pada awal proposal penelitian menawarkan penggunaan aluminium foam dan keramik sebagai pengganti material penyimpan panas pada sistem pemanas air tenaga matahari. Material ini dipertimbangkan dan dipilih, karena material tersebut memiliki bentuk padatan (*solid*) yang tidak akan berubah dan tidak menimbulkan kebocoran selama proses pemanasan.

Pada tahap awal penelitian, pengujian menggunakan aluminium foam sebagai material penyimpan energi panas. Aluminium foam ditambahkan ke pelat absorber dengan cara menempelkan aluminium foam di pelat absorber. Dalam aktualnya, aluminium foam diuji dengan dua (2) model posisi yaitu model aluminium foam di bawah pelat absorber (*Bottom Aluminium Foam*) dan model aluminium foam di atas pelat absorber (*Top Aluminium Foam*). Kedua model ini dibandingkan hasilnya dengan model standar (*Flat Plate Collector*) atau tanpa aluminium foam. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh adanya peningkatan efisiensi termal kolektor dengan penggunaan aluminium foam pada bagian bawah pelat absorber. Penggunaan aluminium foam pada bagian atas pelat absorber tidak memberikan efek peningkatan efisiensi, bahkan menurunkan efisiensi termal kolektor. Kekurangan dari metode ini karena adanya pori yang diisi udara pada material yang mengakibatkan tahanan termal yang besar, sehingga mengurangi efek pemindahan panas kembali ke media air. Selain itu, ketebalan dimensi aluminium foam juga mempengaruhi pemindahan kalor ke air tidak maksimal.

Setelah pengujian tahap awal berlangsung, ide dan saran yang diberikan untuk menutupi kekurangan pengujian aluminium foam yaitu mengurangi tahanan termal dengan menutup pori material dengan serbuk (*powder*) material lain. Pada parkteknya, material keramik alami (*clay*) yang awalnya akan diuji menjadi seperti aluminium foam berubah metode dan bahannya menjadi bahan komposit. Dengan metode metalurgi serbuk, serbuk aluminium dan serbuk alumina yang tergolong juga termasuk golongan keramik digunakan sebagai bahan dasar komposit logam MMC. Dasar pemilihan kedua material ini, karena unsur aluminium memiliki sifat penghantar panas yang moderat, sedangkan alumina

memiliki sifat penyimpan panas dan isolator yang baik. Perpaduan kedua material ini dalam bentuk komposit dapat mendapatkan sifat penghantar panas sekaligus penyimpan panas yang baik dan cocok digunakan pada sistem pemanas air.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, komposit dibuat dengan tiga (3) komposisi dengan persentase berat alumina yang berbeda. Model komposit ini yaitu TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TESC 50Al-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TESC 65Al-35Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Perlakuan ini dimaksudkan untuk mengetahui komposisi mana yang akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, sehingga dapat digunakan pada sistem pemanas air dan menjadi acuan penelitian selanjutnya. Pada proses pengujiannya, komposit dengan persentase alumina yang lebih besar menghasilkan efisiensi termal kolektor yang lebih tinggi. Untuk memvalidasi hasil pengujian ini, maka perlu diperoleh karakteristik sifat termal dari material komposit.

Karakterisasi sifat termal dari material komposit dimaksudkan untuk melihat sifat konduktivitas termal dan kapasitas panas dari ketiga komposisi komposit ini. Dengan mengetahui sifat termal ini dapat mengetahui komposisi material yang memiliki tingkat penyerapan energi panas dan tingkat penyimpanan energi panas yang optimal.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada studi penggunaan pelat absorber rata yang dimodifikasi dengan material penyimpan energi panas melalui penambahan aluminium foam dan komposit aluminium-alumina dengan komposisi yang berbeda. Semua pengujian eksperimen dilakukan pada unit *Solar Thermal Energy ET 202* dengan kondisi yang sama.

## 1.2 Rumusan permasalahan

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah yang dapat dikembangkan adalah :

1. Bagaimana menganalisis karakteristik material penyimpan energi panas berupa aluminium foam, keramik dan komposit yang akan digunakan pada sistem pemanas air tenaga matahari?
2. Bagaimana menganalisis kinerja kolektor pelat rata dengan penambahan material penyimpan energi termal berupa aluminium foam dan komposit aluminium-alumina dengan komposisi yang berbeda?

3. Bagaimana menganalisa karakteristik sifat termal material komposit aluminium-alumina dengan komposisi yang berbeda?
4. Bagaimana menemukan material baru dari komposisi komposit aluminium-alumina sebagai material penyimpan energi panas yang cocok digunakan pada sistem pemanas air tenaga matahari?

### **1.3 Tujuan penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik material penyimpan energi panas berupa aluminium foam, keramik dan komposit yang akan digunakan pada sistem pemanas air tenaga matahari.
2. Menganalisis kinerja kolektor pelat rata dengan penambahan material penyimpan energi panas berupa aluminium foam dan komposit aluminium-alumina dengan komposisi yang berbeda.
3. Menganalisa karakteristik sifat termal material komposit aluminium-alumina dengan komposisi berbeda.
4. Menemukan material baru dari komposisi komposit aluminium-alumina sebagai material penyimpan energi panas yang cocok digunakan pada sistem pemanas air tenaga matahari.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan pengetahuan baru tentang material penyimpan energi termal dari bahan aluminium foam dan komposit aluminium-alumina.
2. Memanfaatkan sumber daya alam terbarukan dan ramah lingkungan untuk mengurangi konsumsi energi fosil, polusi dan bernilai ekonomis, sehingga dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat.
3. Menunjang perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang rekayasa material dan energi terbarukan pada aplikasi sistem pemanas air tenaga matahari di dunia dan khususnya di Indonesia.

## 1.5 Kebaruan Penelitian

Kajian utama dalam penelitian ini yaitu pengembangan material absorber pada kolektor sistem pemanas air tenaga matahari. Pengembangan material absorber berupa kombinasi pelat absorber dengan penggunaan material penyimpan energi panas (*thermal energy storage*) berupa aluminium foam dan komposit. Penggunaan material penyimpan energi panas ini dimaksudkan untuk mengefektifkan serapan kalor yang diteruskan oleh pelat absorber, sehingga terjadi peningkatan laju perpindahan panas dan efisiensi termal kolektor. Material penyimpan energi panas yang dipilih adalah bentuk padatan (solid) yang mempunyai kapasitas panas spesifik dan densitas besar, dan memiliki stabilitas termal yang baik dan terhindar dari kebocoran pada sistem kolektor.

Komposit yang dikaji adalah komposit aluminium-alumina dengan komposisi yang berbeda. Pemilihan komposit aluminium-alumina karena material ini memiliki karakteristik dengan keunggulan dari sifat fisik dan mekanisnya dan dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan. Namun penggunaan komposit aluminium-alumina masih terbatas di sistem pemanas air tenaga matahari. Kajian awal yaitu karakterisasi sifat termal berupa konduktivitas termal dan kapasitas panas material komposit aluminium-alumina dengan komposisi berbeda. Kajian berikutnya uji eksperimen untuk mengetahui efisiensi termal kolektor dengan menggunakan material komposit aluminium-alumina dengan komposisi yang berbeda. Komposisi yang menghasilkan efisiensi tertinggi direkomendasikan untuk digunakan pada sistem pemanas air tenaga matahari dan dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

Oleh karena masih terbatasnya kajian pemanfaatan material komposit aluminium-alumina di sistem pemanas air tenaga matahari, maka kebaruan yang dimunculkan dalam penelitian ini adalah :

1. Material komposit aluminium – alumina dijadikan sebagai bahan penyimpan energi panas selain aluminium foam.
2. Komposisi material komposit aluminium–alumina yang baru berdasarkan persentase berat unsur penguat (alumina) yaitu 35%, 50% dan 65%.
3. Karakteristik sifat termal material komposit baru berupa sifat kapasitas panas spesifik dan sifat konduktivitas termal material.



4. Ketebalan dari material komposit yang menghasilkan performa yang lebih tinggi masih perlu kajian lebih lanjut.

## **1.6 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian mencakup penggunaan material penyimpan energy panas berupa aluminium foam dan komposit Aluminium (Al) – Alumina ( $Al_2O_3$ ). Penelitian tahap awal yaitu karakterisasi material komposit TES Aluminium (Al) – Alumina ( $Al_2O_3$ ) untuk mengetahui sifat termal material berupa sifat konduktivitas termal dan kapasitas panas spesifik material. Penelitian tahap kedua yaitu pengujian eksperimen pelat rata absorber standar dan penambahan material aluminium foam. Fokus pada tahapan ini adalah penempatan posisi aluminium foam yang menempel di pelat absorber yakni posisi atas dan bawah pelat absorber. Posisi yang menghasilkan kinerja yang paling tinggi akan dipilih untuk pengujian material komposit aluminium-alumina. Pada tahap ketiga adalah pengujian eksperimen material komposit Aluminium-Alumina dengan komposisi yang berbeda.

Data eksperimen meliputi: intensitas radiasi, debit air, temperatur air masuk dan keluar, temperatur air tangki dan temperatur material, serta kemiringan kolektor. Sedangkan pengujian sifat termal meliputi sifat konduktivitas termal material dan kapasitas panas spesifik material. Hasil yang didapatkan merupakan gambaran kinerja dari material yang digunakan pada kolektor.

## **BAB II**

### **KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS**

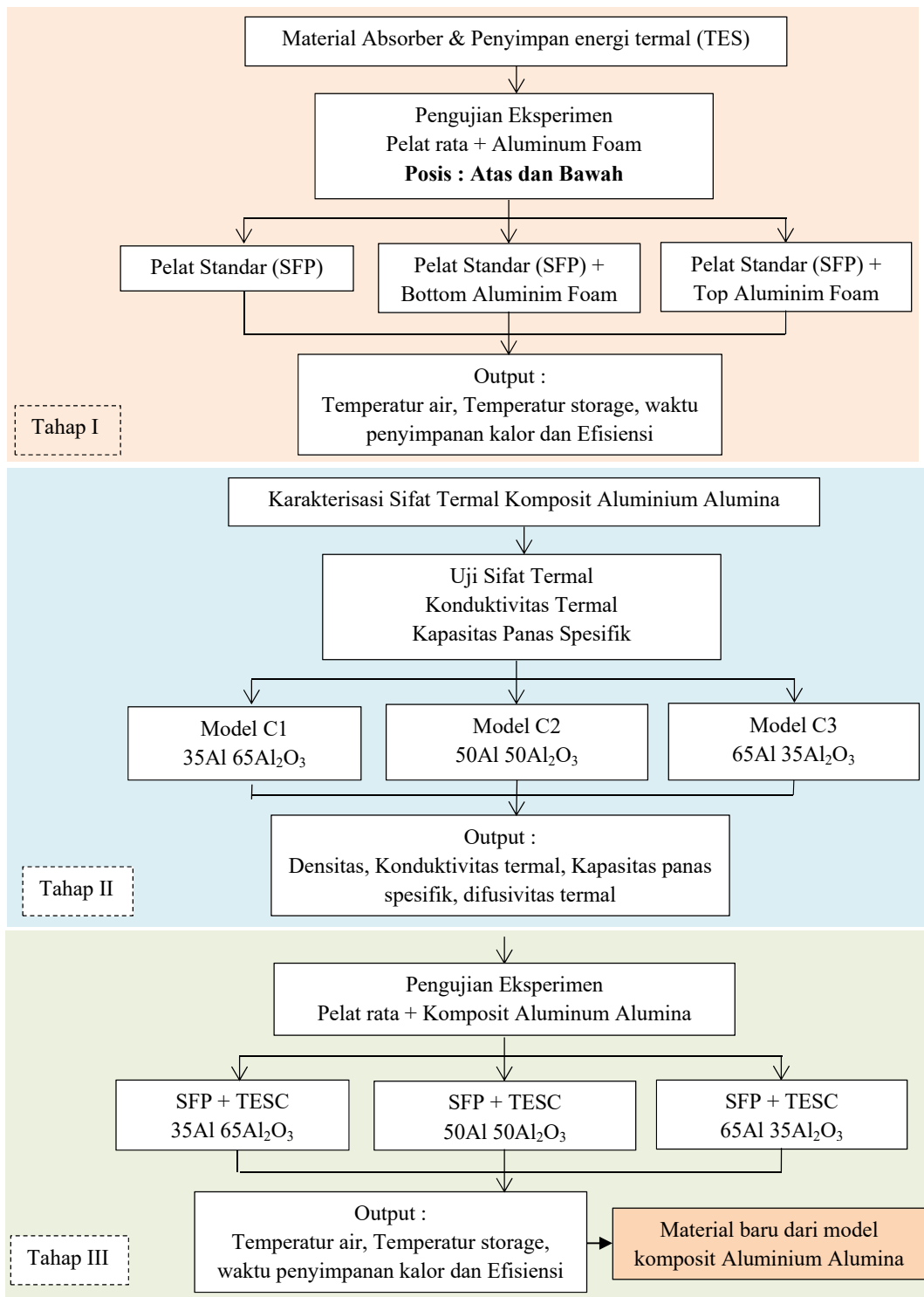
#### **2.1. Kerangka Konsep**

Dalam meningkatkan kinerja sistem pemanasan air panas tenaga matahari penting adanya pengembangan pada sistem kolektor pemanas air tenaga matahari. Metode-metode pengembangan untuk meningkatkan efisiensi kolektor yang dilakukan antara lain; modifikasi material absorber, modifikasi konstruksi melalui perubahan dimensi, bentuk, jarak celah antara pelat dengan kaca, modifikasi fluida kerja dan metode pelapisan (Rangababu *et al.*, 2015) serta penggunaan material penyimpanan energi panas (*Thermal Energy Storage, TES*). Tujuan utama dari penggunaan TES yaitu untuk mengatasi ketidaksesuaian antara pembangkitan energi dan penggunaan energi (Cabeza *et al.*, 2009). Komposit aluminium-alumina telah luas pemanfaatannya di beberapa aplikasi rekayasa, namun di sistem pemanas air tenaga matahari penggunaannya masih sangat terbatas ditemukan.

Permasalahan yang muncul dalam sistem pemanas air tenaga matahari adalah keterbatasan pelat absorber dalam mengabsorb panas dan memindahkan kalor ke media air. Kalor sebagian besar yang tidak terserap akan hilang ke lingkungan. Untuk memaksimalkan penyerapan kalor di kolektor, maka diperlukan material penyimpan energi tambahan pada pelat absorber untuk membantu penyerapan kalor dan menyimpannya sehingga dapat digunakan jika potensi sumber kalor berangsur-angsur berkurang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menemukan material baru dari jenis komposit aluminium-alumina melalui pembentukan komposisi berbeda yang tentunya memiliki karakteristik sifat termal yang berbeda.

Model komposit yang dibuat dengan komposisi berbeda yaitu TESC 35Al-65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TESC 50Al-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TESC 65Al-35Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Perlakuan ini dimaksudkan untuk mengetahui komposisi mana yang akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, sehingga dapat digunakan pada sistem pemanas air tenaga matahari.

Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 2.1 kerangka konsep berikut ini.



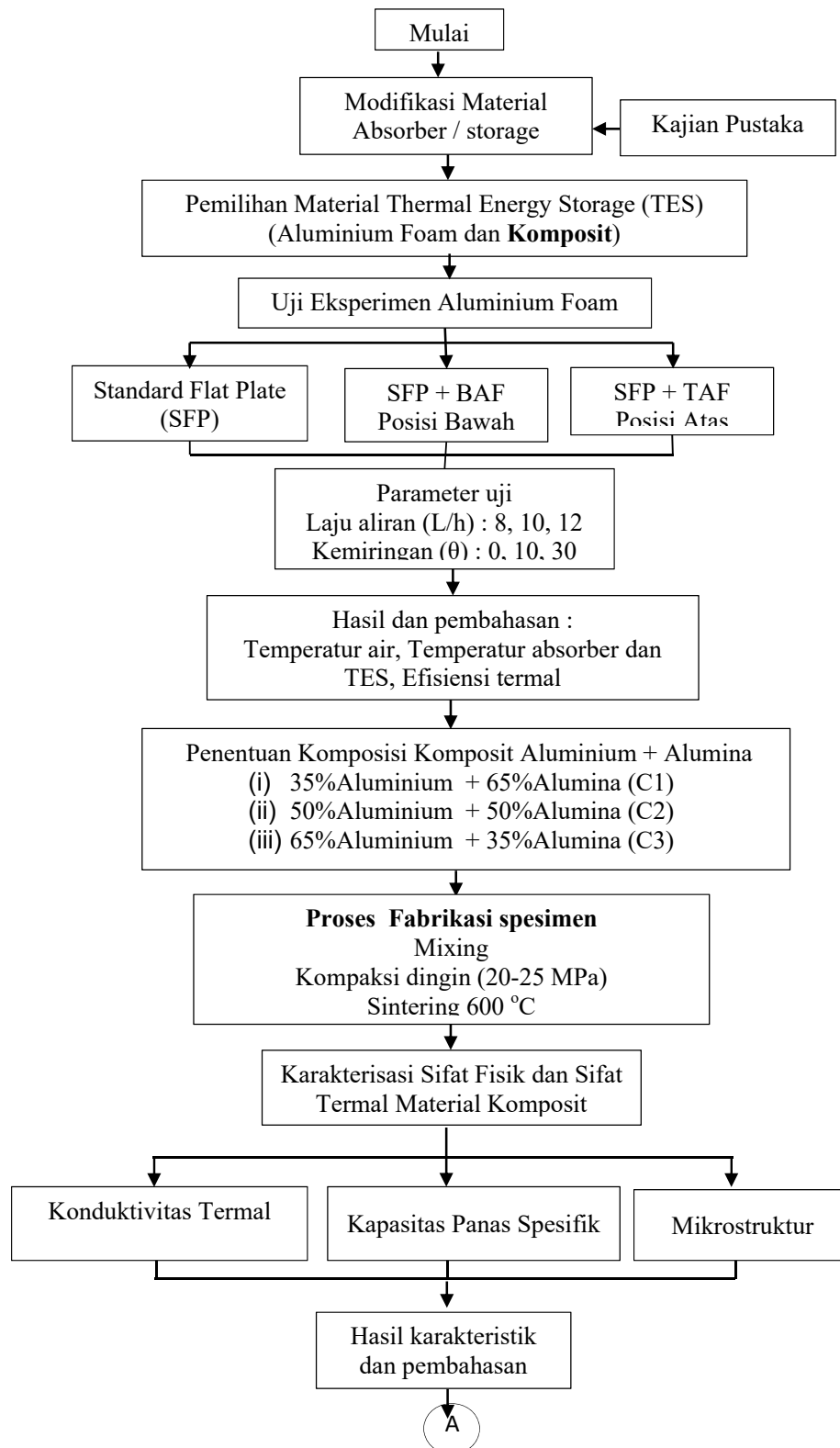
**Gambar 2.1.** Kerangka Konsep

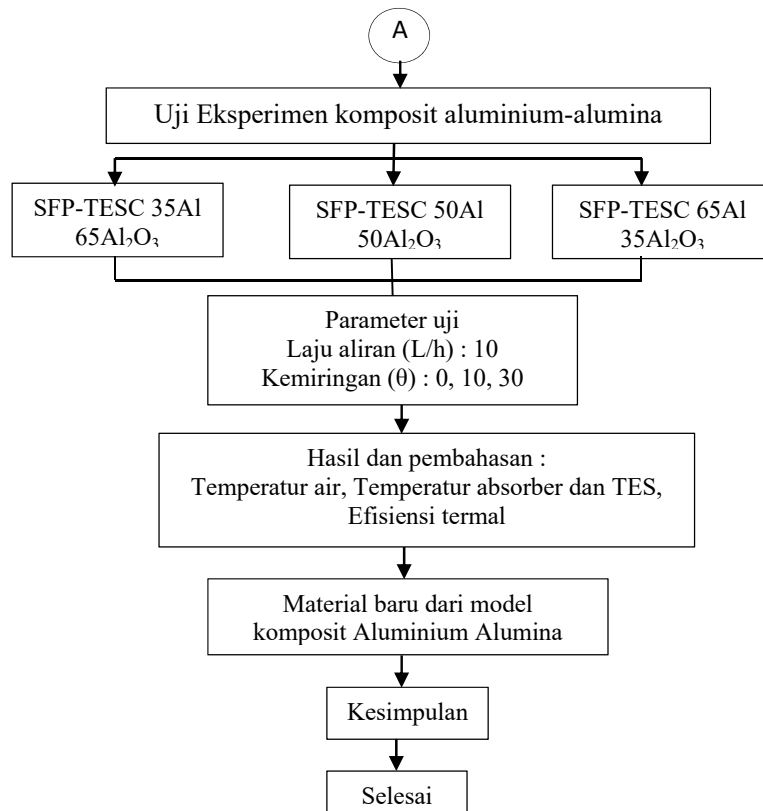
## 2.2. Hipotesis

Kerangka konsep diatas dapat disusun hipotesa sebagai berikut :

1. Karakteristik material absorber sistem pemanas air tenaga matahari yang dikombinasi dengan material penyimpan energi panas. Desain pengujian berupa pengujian eksperimen pada kolektor untuk membandingkan penggunaan pelat absorber rata standar dengan kombinasi penggunaan material penyimpan energy panas aluminium foam dan material komposit aluminium-alumina.
2. Pada tahap pengujian awal pengujian, penggunaan aluminium foam ditempatkan pada posisi bawah dan bagian atas dari pelat absorber rata tembaga. Posisi yang menghasilkan efisiensi yang tinggi akan digunakan sebagai standar untuk pengujian material komposit aluminium-alumina.
3. Tahap penelitian selanjutnya adalah karakterisasi sifat termal dari material komposit aluminium-alumina. Sifat termal ini berupa densitas, konduktivitas termal, kapasitas panas spesifik dan difusivitas termal material. Ada tiga model komposisi berbeda berdasarkan persentase berat alumina yang diuji yaitu C1 35Al 65Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C2 50Al 50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan C3 65Al 35Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dari beberapa literatur mengindikasikan bahwa komposit aluminium-alumina dengan kandungan alumina yang lebih besar menghasilkan konduktivitas termal yang rendah tetapi kapasitas panas spesifik lebih tinggi.
4. Pengujian eksperimen komposit aluminium-alumina dengan tiga (3) komposisi yang berbeda untuk mengetahui efisiensi termal yang tinggi. Komposit dengan persentase alumina lebih besar diduga akan menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi dinandingkan dua model lainnya.

### 2.3. Diagram Alir Penelitian

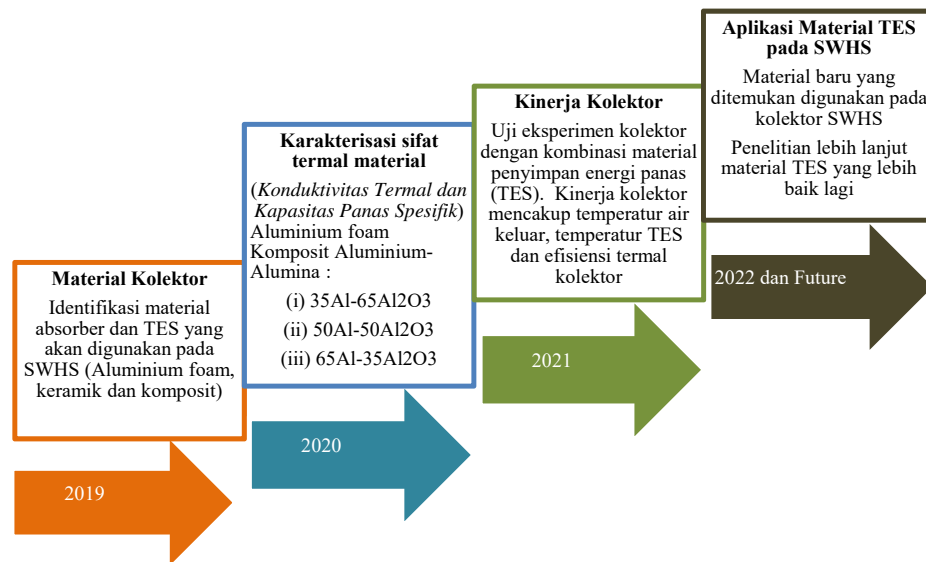




**Gambar 2.2.** Diagram Alir Penelitian

#### 2.4. Road Map Penelitian

Secara umum, road map penelitian menggambarkan arah dan target penelitian yang dimulai dari studi literature penggunaan material penyimpan energy termal yang digunakan pada SWH, karakterisasi sifata material komposit aluminium-alumina, pengujian eksperimen pelat absorber dikombinasi dengan aluminium foam dan komposit aluminium alumina dan penemuan material baru dari komposit yang akan digunakan pada aplikasi sistem pemanasa air tenaga matahari. Road map penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



**Gambar 2.3.** Road map penelitian

## 2.5. State Of The Art

