

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PROSES PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN  
KOLEKTOR SURYA DAN PCM PARAFFIN SEBAGAI MATERIAL  
PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA ALAT PEMANAS AIR BERBASIS  
TENAGA SURYA**

**(Skripsi)**

**Oleh:  
DIFYANI HAMID**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PROSES PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN  
KOLEKTOR SURYA DAN PCM PARAFFIN SEBAGAI MATERIAL  
PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA ALAT PEMANAS AIR BERBASIS  
TENAGA SURYA**

**Oleh:  
DIFYANI HAMID**

Skripsi  
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**  
Pada  
**Jurusan Teknik Mesin**  
**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2023**

**ABSTRAK**  
**KAJIAN EKSPERIMENTAL PROSES PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN**  
**KOLEKTOR SURYA DAN PCM PARAFFIN SEBAGAI MATERIAL**  
**PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA ALAT PEMANAS AIR BERBASIS**  
**TENAGA SURYA**

Oleh :

**Difyani Hamid**

Energi surya merupakan energi yang tidak terbatas dan tidak pernah habis ketersediaannya, energi surya dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air dengan memanfaatkan kalor yang ditangkap oleh kolektor surya kemudian ditransfer ke air dalam tabung penyimpanan air. Kekurangan dari kolektor surya adalah tidak mampu menyimpan energi kalor pada malam hari, oleh karena itu diperlukan material yang dapat menyimpan kalor untuk mengatasi masalah tersebut. Material berubah fasa (PCM) merupakan sebuah material yang dapat menyimpan energi panas, jenis pcm yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis pcm organik atau paraffin dengan titik leleh 47-51°C. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan debit aliran air untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur optimal air dalam tabung dan temperatur optimal pada paraffin. Variasi debit aliran yang digunakan yaitu 2 l/min, 4 l/min, dan 6 l/min. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh debit aliran air terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur optimal serta untuk mengetahui temperatur air optimal pada tabung penyimpanan air. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa variasi debit aliran mempengaruhi laju perpindahan panas, semakin besar debit aliran yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur air optimal pada tabung penyimpanan air dan paraffin juga akan semakin cepat. Penelitian ini dapat membantu dalam pengembangan alat pemanas air berbasis tenaga surya yang lebih efisien.

Kata kunci : pemanas air tenaga surya, material berubah fasa (PCM), lilin paraffin, alat penukar kalor

**ABSTRACT**

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE WATER HEATING PROCESS USING  
SOLAR COLLECTORS AND PCM PARAFFIN AS THERMAL ENERGY  
STORAGE MATERIALS IN SOLAR POWER BASED WATER HEATING  
DEVICES**

By :

**Difyani Hamid**

*Solar energy is unlimited energy and its availability never runs out, solar energy can be used as a water heater by utilizing the heat captured by the solar collector and then transferred to water in a water storage tube. The disadvantage of solar collectors is that they are unable to store heat energy at night, therefore materials are needed that can store heat to overcome this problem. Phase change material (PCM) is a material that can store heat energy. The type of PCM used in this research is organic PCM or paraffin with a melting point of 47-51°C. The research was carried out by varying the water flow rate to find out how long it took to reach the optimal temperature of the water in the tube and the optimal temperature in the paraffin. The variations in flow rate used are 2 l/min, 4 l/min, and 6 l/min. This research aims to determine the effect of water flow on the time needed to reach the optimal temperature and to determine the optimal water temperature in the water storage tube. The results of the research show that variations in flow rate affect the rate of heat transfer, the greater the flow rate used, the faster the time required to reach the optimal water temperature in the water and paraffin storage tubes. This research can help in the development of more efficient solar-based water heaters.*

*Key words: solar water heater, phase change material (PCM), paraffin wax, heat exchanger*

Judul Skripsi

: **KAJIAN EKSPERIMENTAL PROSES  
PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN  
KOLEKTOR SURYA DAN PCM  
PARAFFIN SEBAGAI MATERIAL  
PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA  
ALAT PEMANAS AIR BERBASIS  
TENAGA SURYA**

Mahasiswa

: **Difyani Hamid**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1815021058**

Jurusan

: **Teknik Mesin**

Fakultas

: **Teknik**

Komisi Pembimbing I

Komisi Pembimbing II



**Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**

**Hadi Prayitno, S.T., M.T.**

Nip. 197112142000121001

Nip. 198805142019031012

**MENGETAHUI**

Ketua Jurusan

Ketua Program Studi

Teknik Mesin

S1 Teknik Mesin

**Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**

**Novri Tanti, S.T., M.T.**

Nip. 197108171998021003

Nip. 197011041997032001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**

**Anggota Penguji : Hadi Prayitno, S.T., M.T.**

**Penguji Utama : Amriza S.T., M.T., Ph.D.**

**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197509282001121002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Desember 2023**



*(Handwritten signatures of the examiners and dean)*

## PERNYATAAN PENULIS

Skripsi yang berjudul “KAJIAN EKSPERIMENTAL PROSES PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN KOLEKTOR SURYA DAN PCM PARAFFIN SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA ALAT PEMANAS AIR BERBASIS TENAGA SURYA” merupakan hasil karya penuli sendiri dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana yang diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010

Bandar Lampung, 18 Desember 2023

Pembuat Pernyataan



**Difyani Hamid**  
Npm. 1815021058

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di OKU Timur, pada tanggal 09 November 1999 sebagai anak ke empat, dari pasangan Bapak Ahmad Fauzi dan Ibu Wasitoh. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Margodadi hingga tahun 2012, lalu dilanjutkan di SMP NEGERI 1 BELITANG MADANG RAYA yang diselesaikan tahun 2015 dan MADRASAH ALIYAH NEGERI 1 OKU TIMUR yang diselesaikan tahun 2018, hingga pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Selain aktif dalam HIMATEM, penulis pernah menjadi bagian panitia kegiatan yang ada di jurusan Teknik Mesin, dan organisasi diluar kampus.

Penulis pernah melakukan kerja praktek (KP) di **PT Bukit Asam Tbk.** Tarahan, Bandar Lampung tahun 2022 dengan judul laporan **“ANALISIS KERUSAKAN ELEMEN SPERICAL ROLLER BEARING 23148 CCK/W33 PADA DRIVE PULLEY CV503A DI PT BUKIT ASAM Tbk. UNIT PELABUHAN TARAHAN BANDAR LAMPUNG”**.

Tahun 2023 penulis melakukan penelitian dengan judul **“KAJIAN EKSPERIMENTAL PROSES PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN KOLEKTOR SURYA DAN PCM PARAFFIN SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA ALAT PEMANAS AIR BERBASIS TENAGA SURYA”**. Dibawah bimbingan dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. dan Hadi Prayitno, S.T., M.T.

## **MOTO**

“Tuhan menciptakan manusia dengan cetak biru yang sama, maka terlahirlah manusia yang umumnya sama, tak ada manusia setinggi langit, semua rata-rata saja, jangan merasa lebih tinggi dari siapapun dan jangan pula menjatuhkan diri dibawah siapapun”

**ChatGPT**

“Peliharalah hubungan baikmu dengan orang-orang, dan hal-hal baik akan datang kepadamu”

**ChatGPT**

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji ALLAH adalah benar”

**(Qs. Ar-Ruum: 60)**

“Dan bersabarlah, sesungguhnya Allah tidak menyia-nyiakan pahala orang-orang yang berbuat baik”

**(Qs. Hud: 115)**

## SANWACANA

### *Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh*

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia yang telah memberikan nikmat hidup dan rezeki sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan lancar dan dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW yang telah membimbing manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh hidayah. Skripsi ini dibuat sebagai tanda selesai pelaksanaan tugas akhir. Karya tulis ini diharapkan dapat menjadi pengembangan dalam ilmu di bidang alat penukar kalor. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Skripsi ini dapat selesai karena adanya dukungan dari beberapa pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Ayahanda Ahmad Fauzi dan Ibunda Siti Masitoh yang selalu mendampingi, mendoakan, mendukung, serta memberikan restu kepada penulis sehingga dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi di Teknik Mesin.
2. Kakak dan adik penulis, Mas Aan, Mbak Liza, dan Adik Veza yang memberikan dukungan bagi penulis dalam menjalankan kuliah.
3. Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing serta memberikan ilmu selama menjalankan perkuliahan dan selama melaksanakan tugas akhir.

7. Hadi Prayitno, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing serta memberikan ilmu selama menjalankan perkuliahan dan selama melaksanakan tugas akhir.
8. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah bersedia mengoreksi serta memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
10. Seluruh Staff dan Karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
11. Keluarga besar ISWA, yang terdiri dari Selamat, Paman Aldi, Uuy, Bro Diks, dan Mr.O yang telah memberikan semangat kepada penulis.
12. Orang terdekat, Jesss, Uwan, Ulan, dan Soleha yang telah menemani, mendengarkan keluhan, dan memberikan semangat kepada penulis.
13. Tim SWH, terdiri dari Bang Aduy dan Aa' Ahmad yang telah membantu mengerjakan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca. Aamiin.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.***

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	4
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Energi Surya.....	5
2.2 Kolektor Surya .....	7
1. Kolektor Surya Plat Datar .....	7
2. Kolektor Terkonsentrasi.....	8
3. Kolektor Surya Tabung Terevakuasi .....	9
2.3 Prinsip Perpindahan Panas .....	9
1. Perpindahan panas secara konduksi .....	10
2. Perpindahan panas secara konveksi .....	12
3. Perpindahan panas secara radiasi .....	13
2.4 Alat Penukar Panas .....	14
2.5 Material Berubah Fasa .....	15
1. PCM Organik .....	16
2. PCM Anorganik .....	16
3. PCM Kombinasi.....	16
2.6 Parafin .....	16
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
1. Waktu .....	18
2. Tempat.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	19
1. Alat.....	19
2. Bahan.....	25
3. Diagram Alir Penelitian .....	26

4. Skema Pengujian.....	27
5. Prosedur Pengujian .....	28
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Kinerja Termal Kolektor Surya.....	30
4.1.1 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya pada kecepatan aliran 2 l/min.....	30
4.1.2 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya pada kecepatan aliran 4 l/min.....	32
4.1.3 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya pada kecepatan aliran 6 l/min.....	33
4.1.4 Efisiensi termal kolektor surya .....	35
4.2 Penyimpanan Energi Dalam Tabung .....	38
4.2.1 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar tabung penyimpan air pada aliran 2 l/min.....	38
4.2.2 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar tabung penyimpan air pada aliran 4 l/min.....	40
4.2.3 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar tabung penyimpan air pada aliran 6 l/min.....	41
4.2.4 Perbandingan temperatur air didalam tabung penyimpan air berdasarkan variasi kecepatan aliran.....	43
4.2.5 Energi yang disimpan dalam tabung penyimpan air.....	44
4.3 Penyimpanan Energi Dalam Paraffin.....	45
4.3.1 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar paraffin pada kecepatan aliran 2 l/min .....	45
4.3.2 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar paraffin pada kecepatan aliran 4 l/min .....	47
4.3.3 Perbandingan temperatur air masuk dan keluar paraffin pada kecepatan aliran 6 l/min .....	48
4.3.4 Perbandingan temperatur paraffin berdasarkan variasi kecepatan aliran .....	50
<b>PENUTUP .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta potensi energi surya di Indonesia .....	6
Gambar 2.2 Skema kolektor surya plat datar .....	8
Gambar 2.3 Skema kolektor surya terkonsentrasi .....	8
Gambar 2.4 Skema kolektor surya tabung terevakuasi .....	9
Gambar 2.5 Perpindahan panas konduksi pada dinding datar .....	11
Gambar 2.6 Perpindahan panas konveksi pada pipa .....	12
Gambar 2.7 Perpindahan panas radiasi pada permukaan .....	13
Gambar 3.1 Kolektor surya .....	20
Gambar 3.2 <i>Data logger</i> dan <i>Thermocouple</i> .....	20
Gambar 3.3 <i>Water flow meter</i> .....	21
Gambar 3.4 Pompa air .....	21
Gambar 3.5 Tabung penyimpan air .....	22
Gambar 3.6 Katup air .....	22
Gambar 3.7 Pipa PVC .....	23
Gambar 3.8 alat penukar panas .....	24
Gambar 3.9 Solar Power Meter .....	24
Gambar 3.10 Paraffin padat .....	25
Gambar 3.11 Diagram alir penelitian .....	26
Gambar 3.12 Skema pengujian .....	27
Gambar 4.1 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya kecepatan aliran 2 l/min. ....	31
Gambar 4.2 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya kecepatan aliran 4lpm. ....	32
Gambar 4.3 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar kolektor surya kecepatan aliran 6 l/min. ....	34
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara radiasi matahari dengan temperatur permukaan kolektor surya. ....	36

Gambar 4.5 Grafik hubungan antara panas yang diserap dengan efisiensi kolektor surya.....	37
Gambar 4.6 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar tabung pada kecepatan aliran 2 l/min.....	39
Gambar 4.7 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar tabung pada kecepatan aliran 4 l/min.....	40
Gambar 4.8 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar tabung pada kecepatan aliran 6 l/min.....	42
Gambar 4.9 Perbandingan temperatur air didalam tabung berdasarkan variasi kecepatan aliran.....	43
Gambar 4.10 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar paraffin pada kecepatan aliran 1/min.....	46
Gambar 4.11 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar paraffin pada kecepatan aliran 4 l/min.....	47
Gambar 4.12 Grafik perbandingan temperatur air masuk dan keluar paraffin pada kecepatan aliran 6 l/min.....	49
Gambar 4.13 Grafik perbandingan temperatur paraffin berdasarkan variasi kecepatan aliran.....	50

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi merupakan kebutuhan manusia yang penting dalam menunjang aktivitas sehari-hari. Energi merupakan pendukung bagi pertumbuhan ekonomi nasional. Energi merupakan salah satu instrumen untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Saat ini penyangga kebutuhan energi masih bergantung pada minyak bumi dan batubara. Batubara dan minyak bumi memiliki keterbatasan cadangan. Oleh karena itu diperlukan energi alternatif dan energi terbarukan sebagai pengganti minyak bumi.

Energi surya merupakan sebuah energi alternatif yang tidak dapat habis dan dapat diperbarui. Energi surya merupakan sebuah energi yang saat ini sedang dikembangkan oleh pemerintah Indonesia karena Indonesia merupakan sebuah Negara tropis yang mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Dengan potensi yang besar, sumber daya yang sangat melimpah, serta sifatnya yang kontinyu dan tidak menimbulkan polusi menjadikan energi surya sebagai alternatif unggulan di bidang energi sebagai pengganti minyak bumi. Energi surya dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia, terutama sebagai pemanas, pengering dan sebagainya. Tidak diragukan lagi bahwa energi surya adalah salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang.

Air panas merupakan salah satu kebutuhan manusia untuk keperluan sehari-hari, misalnya untuk mandi, cuci muka, cuci tangan untuk keperluan pengobatan, membantu pencabutan bulu ayam dan keperluan lainnya. Manusia biasanya memanaskan air menggunakan tungku api, kompor minyak, kompor gas dan pemanas listrik. Kondisi saat ini cadangan minyak bumi dan gas semakin berkurang, sehingga dibutuhkan teknologi alternatif lain yang dapat dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan manusia. Pemanas air tenaga surya merupakan alat alternatif dengan memanfaatkan energi terbarukan yang bersumber dari panas matahari yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan air panas.

Pemanas air tenaga surya merupakan proses perpindahan panas yang digunakan untuk menghasilkan air panas dengan memanfaatkan sinar matahari hingga mencapai suhu tertentu. Pemanas air tenaga surya memiliki kolektor surya yang berfungsi untuk menyerap dan mengumpulkan sinar radiasi matahari yang dikonversi menjadi energi panas. Akan tetapi kolektor surya masih memiliki kelemahan yaitu sulitnya mempertahankan panas yang diterima oleh air terutama pada saat malam hari, oleh karena itu diperlukan penambahan media sebagai penyimpan energi panas.

Salah satu media yang dapat menyimpan energi panas yaitu *phase change material* (PCM). *Phase change material* (PCM) merupakan sebuah material yang dapat menyimpan panas dan mengalami perubahan fasa namun tidak mengalami perubahan pada struktur dan susunan kimianya. *Phase change material* (PCM) dibagi menjadi tiga jenis yaitu organik, non organik dan eutektik. Paraffin merupakan jenis pcm organik yang memiliki nilai konduktivitas *thermal* yang rendah, titik lebur rendah, serta mudah terbakar. Paraffin memiliki sifat yang stabil, aman, tidak korosif, dan mudah bereaksi dengan wadah yang digunakan. Ketersediaan paraffin di alam juga sangat melimpah, mudah ditemukan, dan harganya relatif murah.

Dalam penelitian ini yang berjudul “Kajian Eksperimental Proses Pemanasan Air Menggunakan Kolektor Surya dan PCM Paraffin Sebagai Material Penyimpan Energi Termal Pada Alat Pemanas Air Berbasis Tenaga Surya”. Jenis *Phase Change Material* (PCM) yang digunakan adalah PCM organik yaitu paraffin yang digunakan sebagai penyimpan energi termal, pemilihan paraffin sendiri karena paraffin dapat menyimpan panas dengan baik, tidak beracun, tidak korosif, serta ketersediaannya yang sangat melimpah.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui temperatur air optimal pada tabung penyimpan air pada aliran 2 l/min, 4 l/min, dan 6 l/min.
2. Mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air dalam tabung untuk mencapai temperatur optimal pada aliran 2 l/min, 4 l/min, dan 6 l/min.
3. Mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam proses pemanasan paraffin untuk mencapai temperatur optimal pada aliran 2 l/min, 4 l/min, dan 6 l/min.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang diberikan dalam proposal penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. PCM yang digunakan berupa paraffin padat atau lilin paraffin
2. Perpindahan panas yang terjadi adalah dari tabung air ke paraffin yang berada dalam alat penukar kalor.
3. Alat penukar kalor yang digunakan berjenis rangkaian seri, menggunakan pipa tembaga 1 inchi dan plat alumunium dengan jumlah *tube* 36 buah, panjang 50 cm, dan ukuran *shell* 21,5 cm x 58 cm.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

### I. PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, tujuan dari penelitian, batasan masalah yang diberikan, dan sistematika penulisan.

### II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan landasan teori mengenai hal-hal yang berhubungan dengan penelitian seperti perpindahan panas, *Phase Change Material* (PCM), paraffin dan lainnya.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian, bahan penelitian, peralatan dan prosedur pengujian.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh pada saat pengujian.

### V. PENUTUP

Bab ini berisi hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

### LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi perlengkapan laporan penelitian.

## BAB 2

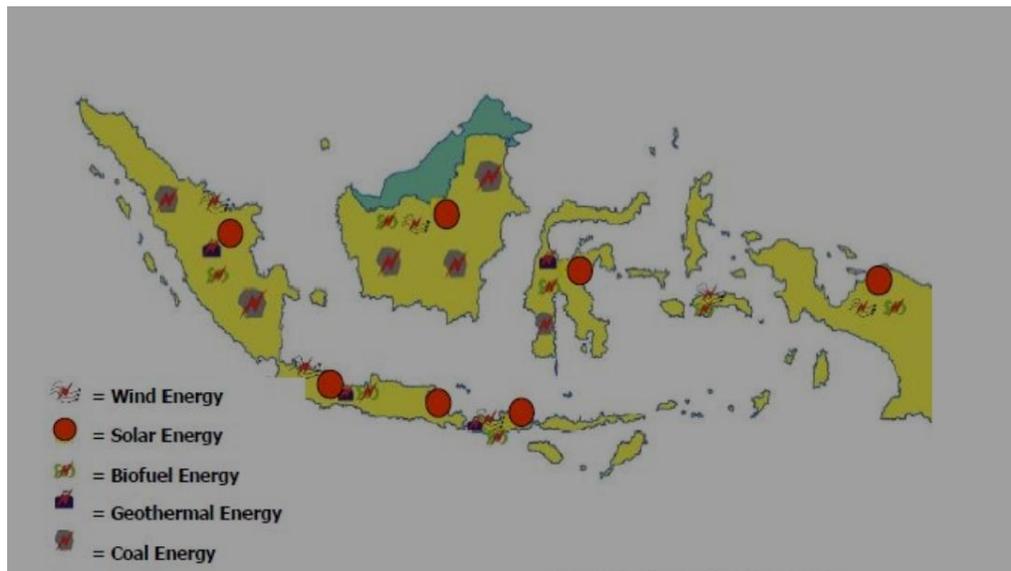
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang tidak terbatas dan tidak pernah habis ketersediaannya, energi surya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang dapat diubah menjadi energi listrik maupun energi panas. Energi surya berbentuk seperti bola yang terdiri dari gas-gas panas dimana lapisan luar dari surya disebut dengan *fotosfer* yang memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu. Radiasi surya merupakan suatu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang yang khusus, karena radiasinya terkonsentrasi pada panjang gelombang pendek.

Tidak semua energi surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat *absorbs*, sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (infra merah ) dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer. Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang di pancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi sebagai radiasi sebaran. Energi surya akan optimum mencapai permukaan bumi bila berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi, karena terdapat bidang pandang yang begitu luas terhadap fluks surya yang datang dan berkas sinar jatuh surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer sehingga terdapat lebih sedikit *absorbsi*.

Ketersediaan energi radiasi matahari di daerah tropis khususnya di Indonesia cukup melimpah yaitu sekitar  $4,8 \text{ KWh/m}^2$ . Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi bebas polusi, berlimpah, dan terbarukan dapat digunakan secara langsung maupun tidak langsung. Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai pemanas langsung, memanaskan air dan udara dengan kolektor surya, serta penyediaan listrik dengan sel fotovoltaik. Salah satu pemanfaatan energi radiasi matahari yang saat ini banyak dikembangkan yaitu pemanas air berbasis tenaga surya. Pemanas air tenaga surya memiliki kolektor surya yang berfungsi untuk menyerap dan mengumpulkan sinar radiasi matahari yang dikonversi menjadi energi panas dan dimanfaatkan untuk memanaskan air yang mengalir pada pipa kolektor. Radiasi termal yang diterima kolektor surya ditransmisikan melalui penutup kolektor yang transparan dan dikonversi menjadi panas pada pelat penyerap kolektor surya (Gonsales L.R Dkk., 2022).



Gambar 2.1. Peta potensi energi surya di Indonesia

Sumber : (Widayana, 2012)

## 2.2 Kolektor Surya

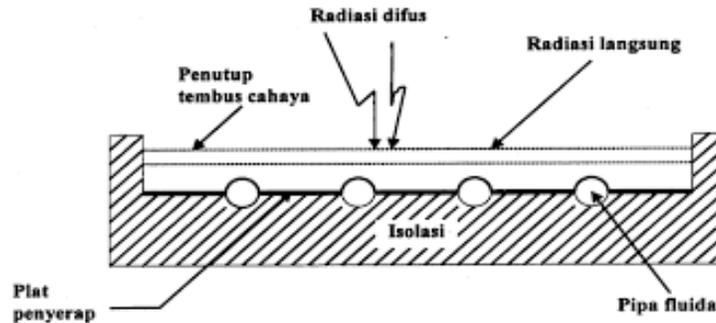
Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa plat penyerap (absorber) pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut akan dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam kolektor surya yang kemudian dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi. Salah satu contoh penggunaan kolektor surya adalah *solar water heater* yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Sistem kolektor surya secara umum diklasifikasikan menjadi tiga macam. Klasifikasi kolektor surya ditentukan berdasarkan geometri *receiver* dan dimensi kolektor surya tersebut, diantaranya adalah kolektor plat datar, kolektor terkonsentrasi, dan kolektor tabung terevakuasi (Sitorus, 2018).

### 1. Kolektor Surya Plat Datar

Prinsip kerja kolektor plat datar yaitu air yang masuk ke dalam kolektor melalui pipa sirkulasi akan mendapatkan panas dari absorber secara konveksi alamiah. Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari absorbernya yang berupa pelat datar yang terbuat dari material yang memiliki konduktivitas termal dan absorptivitas yang tinggi. Plat absorber tersebut biasanya dicat berwarna hitam agar cahaya yang diterima diserap optimal, tidak dipantulkan kembali. Kolektor surya jenis plat datar umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu:

- a. Penutup (*cover*), berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas ke lingkungan pada bagian atas kolektor namun tembus cahaya untuk menerima radiasi cahaya matahari.
- b. Penyerap (absorber), berfungsi sebagai penyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
- c. Pipa sirkulasi fluida, berfungsi sebagai saluran tempat fluida kerja mengalir yang mengambil panas dari absorber.

- d. Isolasi, berfungsi untuk mencegah pelepasan panas secara konduksi dari absorber ke lingkungan pada bagian bawah dan samping kolektor.
- e. Rangka (*frame*), berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan kolektor.

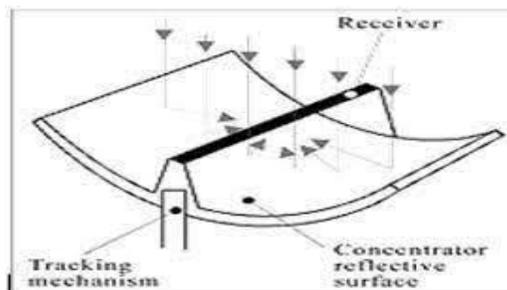


Gambar 2.2. Skema kolektor surya plat datar

Sumber : (digilib.polban.ac.id)

## 2. Kolektor Terkonsentrasi

Kolektor jenis terkonsentrasi dapat diaplikasikan pada *range* temperatur 100°-400°C. Kolektor surya jenis ini memiliki komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmissivitas tinggi. Prinsip kerja kolektor surya jenis ini adalah memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu absorber sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh absorber. Kolektor jenis terkonsentrasi prinsip kerjanya sedikit lebih rumit karena cahaya matahari harus selalu difokuskan terhadap tabung absorber/*reciever* dengan cara *tracking* atau konsentrator harus dirotasi.

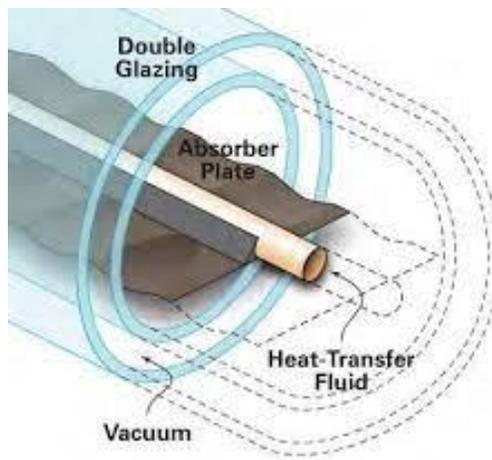


Gambar 2.3. Skema kolektor surya terkonsentrasi

Sumber : (digilib.polban.ac.id)

### 3. Kolektor Surya Tabung Terevakuasi

Kolektor surya jenis tabung terevakuasi dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor plat datar maupun kolektor terkonsentrasi. Keunggulan kolektor jenis ini terletak pada efisiensi transfer panasnya yang tinggi tetapi faktor kehilangan panasnya yang relatif rendah. Prinsip kerja kolektor surya jenis ini yaitu fluida yang terjebak diantara absorber dan penutupnya dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi dari permukaan luar absorber menuju lingkungan.



Gambar 2.4. Skema kolektor surya tabung terevakuasi

Sumber : (digilib.polban.ac.id)

### 2.3 Prinsip Perpindahan Panas

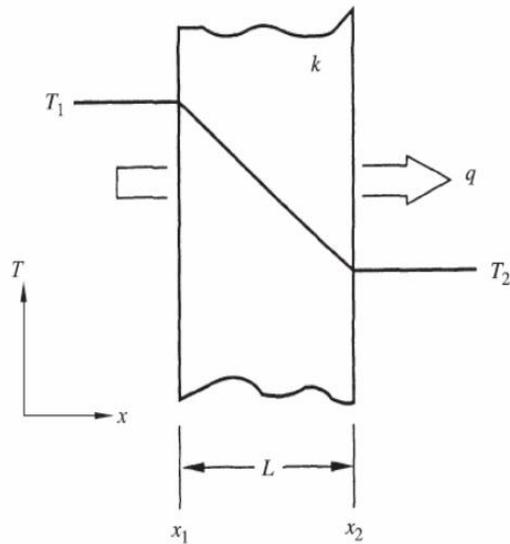
Perpindahan panas adalah perpindahan energi yang terjadi pada benda atau material yang bersuhu tinggi ke benda atau material yang bersuhu rendah, hingga tercapainya kesetimbangan panas. Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan atau menggambarkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Bila dua sistem yang suhunya berbeda disinggungkan maka akan terjadi perpindahan energi. Proses di

mana perpindahan energi itu berlangsung disebut perpindahan panas. Perpindahan panas akan terjadi apabila ada perbedaan temperatur antara 2 bagian benda. Panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah (Rokhimi, 2015). Secara umum proses perpindahan panas dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

### **1. Perpindahan panas secara konduksi**

Konduksi adalah proses perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat atau material ke bagian lainnya. Pada perpindahan kalor secara konduksi tidak ada bahan dari logam yang berpindah. Yang terjadi adalah molekul-molekul logam yang diletakkan di atas nyala api membentur molekul-molekul yang berada di dekatnya dan memberikan sebagian panasnya. Molekul-molekul terdekat kembali membentur molekul molekul terdekat lainnya dan memberikan sebagian panasnya, dan begitu seterusnya di sepanjang bahan sehingga suhu logam naik.

Jika padatan adalah logam, maka perpindahan energi kalor dibantu oleh elektron-elektron bebas, yang bergerak diseluruh logam, sambil menerima dan memberi energi kalor ketika bertumbukan dengan atom-atom logam. Dalam gas, kalor dikonduksikan oleh tumbukan langsung molekul-molekul gas. Molekul di bagian yang lebih panas dari gas mempunyai energi rata-rata yang lebih tinggi bertumbukan dengan molekul berenergi rendah, maka sebagian energi molekul berenergi tinggi ditransfer ke molekul berenergi rendah. Contoh kasus sederhana proses perpindahan panas secara konduksi pada dinding datar dalam keadaan stedi dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.5. Perpindahan panas konduksi pada dinding datar  
 Sumber : (Subagyo, 2016)

Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Persamaan dasar untuk perpindahan panas konduksi satu dimensi dalam keadaan stedi adalah sebagai berikut :

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

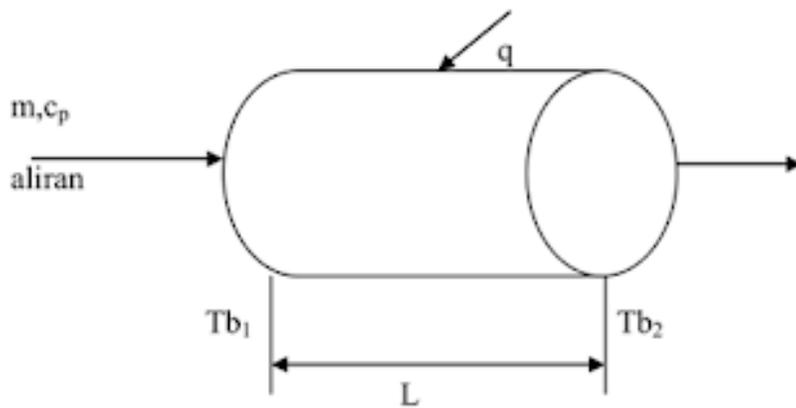
Keterangan :

- $q_k$  = laju perpindahan panas dengan cara konduksi (Watt)
- $A$  = luas perpindahan panas ( $m^2$ )
- $\Delta T$  = gradien suhu pada penampang (K)
- $x$  = jarak dalam arah aliran panas (m)
- $k$  = konduktivitas termal bahan (W/m.K)

**2. Perpindahan panas secara konveksi**

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat, cairan atau gas. Besarnya nilai perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh sifat-sifat viskositas dinamis fluida seperti: konduktivitas termal, panas spesifik dan densitas, serta kecepatan aliran fluida.

Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas secara konveksi dibagi menjadi 2 yaitu : Konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan mencampur berlangsung akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu, maka disebut konveksi bebas atau alamiah (*natural*). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Contoh perpindahan panas secara konveksi terjadi didalam pipa atau saluran yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.6. Perpindahan panas konveksi pada pipa

Sumber : (cengel, 2019)

Laju perpindahan panas konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q = hA (T_w - T_f) \dots\dots\dots 2$$

Keterangan :

$q$  = laju perpindahan panas dengan cara konveksi (Watt)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$T_w$  = temperatur dinding (K)

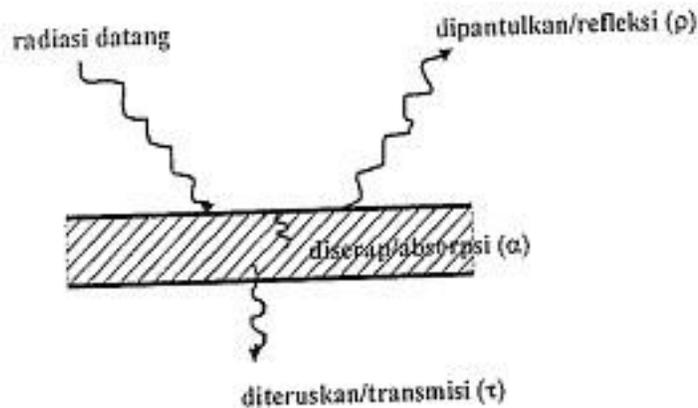
$T_f$  = temperatur fluida (K)

$h$  = koefisien perpindahan panas

### 3. Perpindahan panas secara radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses perpindahan panas dari suatu benda yang bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah bila benda tersebut terpisah didalam ruang. Energi panas radiasi bergerak dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s dan gejala-gejalanya menyerupai radiasi cahaya (Mahmudin, 2016).

Menurut teori elektromagnetik, radiasi cahaya dan radiasi thermal hanya berbeda dalam panjang gelombang masing-masing. Contoh perpindahan panas secara radiasi terjadi pada panas matahari yang sampai ke permukaan bumi yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.7. Perpindahan panas radiasi pada permukaan

Sumber : (cengel, 2019)

Untuk menghitung besarnya panas yang dipancarkan dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$q_r = eA\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

.....3

Keterangan :

$q_r$  = laju perpindahan panas dengan cara radiasi (Watt)

$e$  = emitansi permukaan kelabu

$A$  = luas permukaan ( $m^2$ )

$\sigma$  = konstanta dimensional ( $0,174 \cdot 10^{-8}$  BTU/h  $ft^2$   $^{\circ}C$ )

$T_1$  = temperatur benda kelabu (K)

$T_2$  = temperatur benda hitam yang mengelilinginya (K)

## 2.4 Alat Penukar Panas

Alat penukar panas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memindahkan panas dari dua fluida yang berbeda, proses perpindahan panas yang terjadi yaitu dari fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur lebih rendah dimana perpindahan panas dapat terjadi secara langsung (kedua fluida kontak secara langsung) ataupun secara tidak langsung (dibatasi oleh suatu dinding/sekat). Pada alat penukar kalor jenis *shell & tube*, perpindahan panas terjadi secara tidak langsung, karena fluida tidak kontak secara langsung. Alat penukar panas setelah digunakan beberapa lama akan menyebabkan permukaannya terlapisi oleh berbagai endapan yang terdapat didalam sistem aliran. Permukaan mengalami korosi sebagai akibat dari interaksi antara fluida dengan bahan yang digunakan dalam konstruksi penukar panas. Dalam kedua hal di atas, lapisan itu memberikan tahanan tambahan terhadap aliran panas, dan hal ini menyebabkan menurunnya kemampuan kerja alat penukar panas.

Alat penukar kalor atau panas tipe pipa ganda adalah jenis alat penukar panas yang paling sederhana, terdiri dari dua pipa yang memiliki perbedaan diameter antara pipa *heat exchanger*. Fluida yang mempunyai perbedaan suhu akan mengalir di dua pipa tersebut, dari aliran tersebutlah akan terjadi perpindahan panas. Pada alat penukar panas tipe *double pipe* (pipa ganda) memiliki dua jenis pengaturan aliran dimungkinkan terjadi di dalam alat penukar kalor pipa ganda, yang pertama yaitu aliran fluida paralel atau satu arah antara kedua pipa. Kemudian tipe yang kedua yaitu aliran fluida berlawanan arah (Cengel, 2003).

## 2.5 Material Berubah Fasa

Bahan-bahan merubah fasa atau yang lebih dikenal dengan Phase Change Material (PCM) adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu. Perpindahan energi panas terjadi saat bahan berubah bentuk dari padat ke cair atau cair ke padat. Tidak seperti halnya bahan penyimpan energi konvensional, PCM dapat menyerap dan melepaskan panas mendekati suhu konstan. PCM dapat melepaskan panas lebih 4-5 kali setiap satuan volume dibandingkan bahan penyimpan energi konvensional seperti air atau batu (Pratama, 2022).

PCM merupakan satu cara penyimpanan energi panas yang paling efisien. PCM dapat digunakan untuk penyimpanan energi dan kontrol suhu. PCM menjadi menarik karena mempunyai kelebihan yaitu perbandingan yang cukup tinggi antara panas yang dilepaskan dengan variasi suhu. Secara umum PCM dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis seperti pada gambar 3 yaitu organik, anorganik dan *eutactic*.

### 1. PCM Organik

PCM Organik adalah salah satu jenis PCM yang berasal dari sumber minyak bumi, tumbuhan dan alam. PCM organik dapat berupa *alifatik* atau organik lain. Umumnya PCM organik mempunyai rentang suhu rendah. PCM organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar PCM organik mudah terbakar di alam.

### 2. PCM Anorganik

PCM anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat garam (*salt hydrate*) dan logam (*metallic*). PCM anorganik umumnya menggunakan bahan garam hidrat yang didapatkan dari laut, endapan mineral, atau hasil reaksi samping dari proses yang lain. PCM jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama berlangsungnya siklus.

### 3. PCM Kombinasi

PCM kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi. PCM jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen-komponennya untuk memisahkan diri.

## 2.6 Parafin

Parafin merupakan ikatan hidrokarbon yang tersusun atas  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$ . Dalam hal ini ikatan hidrokarbon jenuh bersifat non polar. Titik leleh dari parafin akan bergantung pada panjang rantai dari ikatan  $\text{CH}_3$ . Parafin merupakan senyawa organik yang tidak berbahaya sehingga cocok pada kategori *food grade level* (Pratama, 2022).

Parafin merupakan PCM organik yang didapatkan melalui proses destilasi minyak bumi. Parafin memiliki sifat yang lebam (*inert*) dan stabil di bawah suhu 500°C. Selain itu, parafin tidak mengalami perubahan volume yang signifikan ketika mencair dan memiliki tekanan uap yang relatif rendah ketika dalam bentuk cair. Berdasarkan karakteristik tersebut, maka sistem yang menggunakan parafin sebagai PCM biasanya mengalami siklus padat-cair yang panjang.

Paraffin murni biasanya mengandung gugus alkana. Empat gugus alkana yang pertama (metana hingga butana) berada dalam fase gas pada suhu ruang dan tekanan atmosfer. Alkana dengan jumlah atom karbon antara 5-17 memiliki bentuk cair, sedangkan alkana dengan jumlah atom karbon diatas 5-17 memiliki bentuk padat dan bersifat seperti lilin pada suhu ruang. Titik leleh dan kalor peleburan (*heat of fusion*) suatu senyawa alkana meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah atom karbon. Lilin paraffin secara umum merupakan senyawa polidespersi yang terdiri atas campuran dengan komposisi terbesar berupa alkana, dengan jumlah melebihi 75% (hingga mencapai 100%), dengan sisa komponen berupa iso-alkana, siklo-alkana, dan alkil benzena. Massa molekul hidrokarbon dalam bentuk cincin paraffin bervariasi dari sekitar 280-560 (C<sub>20</sub>-C<sub>40</sub>) dengan masing-masing lilin spesifik memiliki jumlah atom karbon bervariasi antara 8 hingga 18.

Keunggulan parafin sebagai penyimpan energi panas adalah tidak menunjukkan adanya perubahan sifat termal setelah penggunaan terus menerus, memiliki panas laten yang tinggi, tidak berbau, aman lingkungan, tidak beracun. Sedangkan Kelemahan dari paraffin sebagai alat penyimpan energi panas adalah memiliki konduktivitas panas yang rendah pada fase padat, sehingga menjadi masalah ketika digunakan sebagai alat penyimpan panas. Oleh karena itu, pemilihan material PCM sebagai penyimpanan energi termal perlu dipertimbangkan.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pelepasan temperatur air tabung yang dipanaskan dengan kolektor surya yang akan digunakan untuk memanaskan PCM paraffin sebagai material penyimpan panas. Penelitian ini membutuhkan tempat, waktu, alat, dan bahan penelitian karena bersifat eksperimental.

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan keterangan waktu dan tempat yang telah penulis tentukan sebagai berikut :

#### 1. Waktu

Penelitian, pengambilan data serta pembuatan laporan akhir dilakukan pada bulan Juni – September 2023. Dengan rencana kegiatan yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

#### 2. Tempat

Penelitian dan pengambilan data pengujian dilakukan di lingkungan Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Tabel 3.1 Rencana pelaksanaan penelitian

Kegiatan	Juni				Juli				Agustus				September			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Studi literatur	■	■	■	■												
2 Persiapan alat pengujian					■	■	■	■								
3 pengujian									■	■	■	■				
4 Pembuatan laporan													■	■	■	■

### 1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah mempelajari mengenai perpindahan panas, material berubah fasa, parafin dan karakteristiknya.

### 2. Persiapan Alat Pengujian

Mempersiapkan alat pengujian dan bahan yang dibutuhkan seperti penukar panas, penyimpanan air, parafin, dan lain sebagainya yang akan dijelaskan lebih rinci pada bagian alat dan bahan.

### 3. Pengujian

Melakukan pengujian eksperimental pemanasan air tabung menggunakan kolektor surya yang akan digunakan untuk memanaskan material berubah fasa berupa parafin dengan variasi kecepatan aliran air.

### 4. Penulisan Laporan

Penulisan laporan dilakukan setelah pengujian dan pengambilan data yang dibutuhkan untuk dianalisis kemudian disimpulkan dalam bentuk laporan.

## 3.2 Alat dan Bahan

Penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental sehingga membutuhkan alat dan bahan sebagai berikut :

### 1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### a) Kolektor surya

Kolektor surya yang digunakan adalah kolektor surya tipe pelat datar dengan panjang 80 cm dan lebar 50 cm yang susunannya terdiri atas kaca, plat alumunium, pipa tembaga, *glass woll* dan triplek yang dipasang pada dudukan kayu. Pipa tembaga yang digunakan berdiameter 3/8 inci dengan arah aliran paralel, kemudian jarak antara diameter pipa satu dengan yang lainnya sebesar 5 cm. kolektor surya yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut ini :



Gambar 3.1. Kolektor surya

b) *Data logger dan thermocouple*

Data logger dan thermocouple digunakan untuk mengukur : Temperatur air tabung, temperatur paraffin, temperatur fluida masuk dan keluar alat penukar panas, temperatur fluida masuk dan keluar tabung air. Temperatur akan direkam oleh *data logger* dan dapat disimpan di *SD Card*. *Data logger* dan *thermocouple* dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2. *Data logger* dan *Thermocouple*

c) *Water flow meter*

*Water flow meter* digunakan untuk mengukur debit aliran fluida dari penukar kalor ke tabung penampung air dengan tujuan untuk mengetahui besar laju aliran massanya. Satuan laju aliran massa yang digunakan pada penelitian ini adalah kg/s. *water flow meter* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut :



Gambar 3.3. *Water flow meter*

d) Pompa air

Pompa air digunakan untuk mensirkulasikan fluida dari alat penukar panas menuju tabung penyimpanan air atau dari tabung penyimpanan air menuju ke alat penukar panas sesuai dengan variasi aliran yang diinginkan. Pompa air yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.4. Pompa air

e) Tabung penyimpanan air

Tabung penyimpanan air digunakan untuk menampung air dengan temperatur ruang yang dipanaskan oleh kolektor surya kemudian dialirkan ke paraffin sebagai material penyimpan panas laten. Tabung penyimpanan air terbuat dari pelat alumunium berbentuk silinder dengan diameter 20 cm dan panjang tabung 59 cm. Bentuk dari tabung penyimpanan air dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.5. Tabung penyimpanan air

f) Katup air

Katup atau keran air digunakan untuk mengontrol besar dan kecilnya fluida yang mengalir serta untuk memutuskan aliran fluida dengan cara memutar tuasnya. Pada penelitian ini menggunakan katup air tipe putar yang didalamnya terdapat bola sebagai penutup aliran fluida. Katup air yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut :



Gambar 3.6. Katup air

g) Pipa air *Polyvinyl Chloride* (PVC)

Pipa air yang digunakan pada penelitian ini adalah *Polyvinyl Chloride* (PVC) dengan diameter 1 inchi dan panjang keseluruhan pipa dari penukar panas ke tabung penyimpanan air adalah 247 cm. Rangkaian pipa PVC dilapisi dengan peredam panas untuk menjaga agar panas tidak terbuang melalui permukaan pipa. Pipa PVC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut :



Gambar 3.7. Pipa PVC

h) Alat penukar panas

Alat penukar panas yang digunakan pada penelitian adalah tipe *shell and tube* untuk memanaskan paraffin. Shell berbentuk pelat kotak yang diisolasi dengan peredam panas agar panas tetap tersimpan dengan baik, dan tube menggunakan pipa tembaga dengan diameter 1 inchi yang dirangkai secara seri. Panjang keseluruhan rangkaian pipa dalam alat penukar panas adalah 1800 cm dengan rincian panjang pipa 50 cm berjumlah 36 batang. Desain alat penukar panas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini :



Gambar 3.8. alat penukar panas

i) Solar Power Meter

Solar power meter yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe SPM-1116SD. Solar power meter berfungsi untuk mengukur intensitas radiasi matahari pada saat proses pengujian dilakukan. Solar power meter yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut ini:



Gambar 3.9. Solar Power Meter

## 2. Bahan

Bahan yang digunakan pada kajian pelepasan panas fluida air terhadap material berubah fasa berupa paraffin adalah sebagai berikut :

### a) Fluida air

Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah fluida air. Fluida air disirkulasikan oleh pompa dari tabung penyimpan air menuju ke penukar kalor kemudian kembali lagi ke tabung penyimpan air.

### b) Paraffin

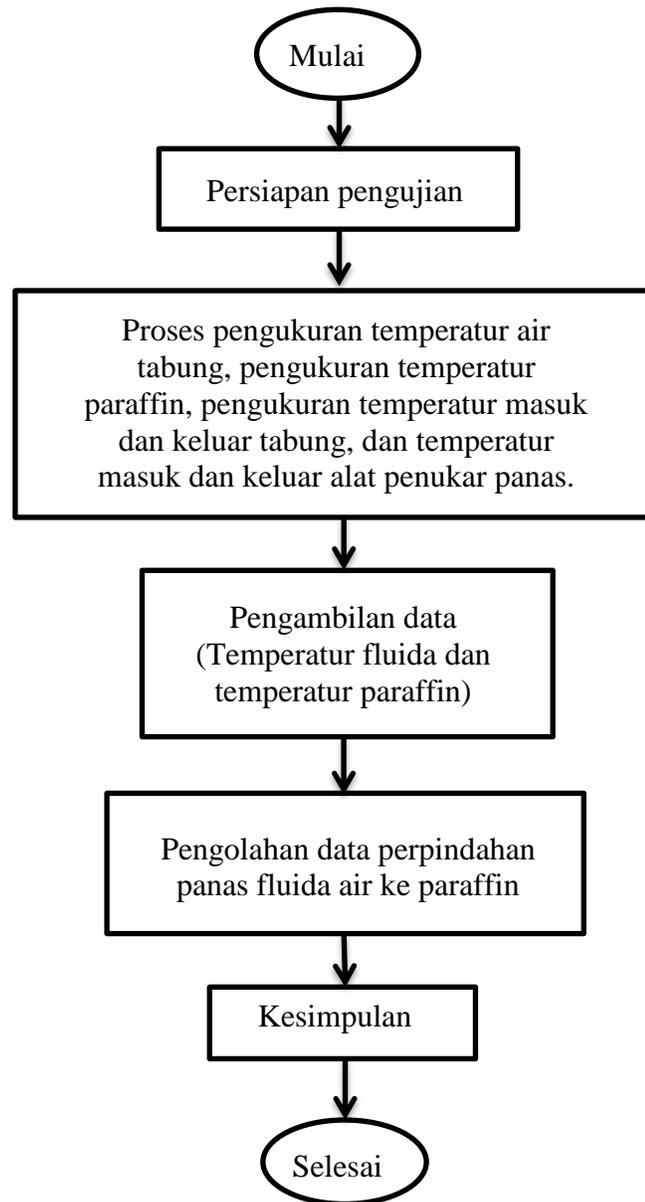
Paraffin sebagai material berubah fasa yang digunakan pada penelitian ini adalah paraffin berjenis padat atau lilin paraffin. Lilin paraffin yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut :



Gambar 3.10. Paraffin padat

### 3. Diagram Alir Penelitian

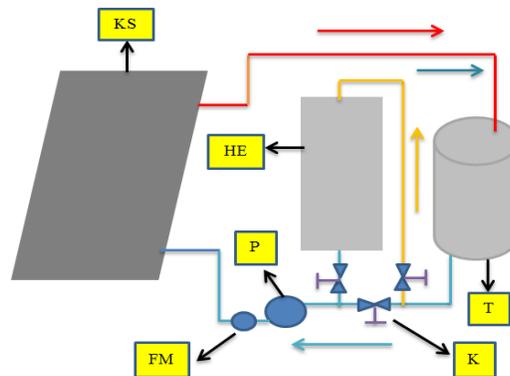
Berikut ini adalah diagram alir penelitian :



Gambar 3.11. Diagram alir penelitian

#### 4. Skema Pengujian

Skema pengujian pada penelitian ini dimulai dengan memanaskan air yang ada didalam tabung menggunakan kolektor surya sampai temperatur air mencapai temperatur optimal, kemudian air yang sudah dipanaskan dialirkan menuju ke paraffin untuk menyimpan panas laten menggunakan pompa. Kecepatan aliran fluida dapat dikontrol dengan menggunakan katup air serta kecepatan alirannya dapat diketahui melalui *water flow meter sensor*. Temperatur fluida, temperatur paraffin, temperatur masuk dan keluar tabung serta temperatur masuk dan keluar alat penukar panas dapat diketahui melalui *thermocouple* dan *data logger*. Skema pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut :



Gambar 3.12. Skema pengujian

Keterangan :

- P = Pompa Air
- FM = *Water flow meter*
- HE = Alat penukar panas
- T = Tabung penyimpanan air
- KS = Kolektor Surya
- K = Katup air

## 5. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti *water flow meter*, *thermocouple*, *data logger*, *solar power meter*, tabung penyimpanan air, pompa air, pipa PVC, katup air, alat penukar panas, dan paraffin.
2. Merangkai semua alat dan bahan seperti pada skema pengujian.
3. Menghidupkan *solar power meter* untuk mengetahui intensitas radiasi matahari pada saat proses pengujian.
4. Memanaskan kolektor surya sampai temperatur pada permukaan kolektor surya mencapai 70°C.
5. Menghidupkan *data logger* dan memasang *thermocouple* untuk mengetahui temperatur permukaan kolektor surya, temperatur air masuk dan keluar kolektor surya, temperatur air didalam tabung penyimpanan air, temperatur masuk dan keluar tabung penyimpanan air, temperatur masuk dan keluar alat penukar panas, dan temperatur paraffin.
6. Menghidupkan *water flow meter* untuk mengetahui kecepatan aliran fluida.
7. Menghidupkan pompa.
8. Mengatur kecepatan aliran fluida sebesar 4 l/min menggunakan katup/keran air.
9. Setelah temperatur permukaan kolektor surya mencapai 70°C kemudian mengatur sirkulasi pengujian yaitu dari kolektor surya menuju tabung penyimpanan air untuk proses pemanasan yang pertama dengan cara menutup keran air yang menuju ke tabung paraffin.
10. Merekam perubahan temperatur dengan *data logger* dan mencatat intensitas radiasi matahari sesuai dengan pembacaan data pada *data logger* yaitu setiap 2 menit.
11. Menunggu hingga air didalam tabung penyimpanan air mencapai temperatur optimal.

12. Setelah temperatur air didalam tabung mencapai temperatur optimal, langkah selanjutnya yaitu mengatur kembali sirkulasi alirannya yaitu dari tabung penyimpan air menuju ke paraffin dengan cara menutup keran yang mengarah ke kolektor surya dan membuka keran yang mengarah ke paraffin.
13. Memasukan data hasil rekaman *data logger* kedalam *Microsoft Excel*.
14. Mengulangi langkah ke 3 hingga 11 dengan variasi kecepatan 2 l/min, 4 l/min, dan 6 l/min.
15. Melakukan kajian terhadap data yang telah didapat pada pengujian.
16. Membuat kesimpulan hasil penelitian.
17. Selesai

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh sebuah data dan telah dilakukan pengolahan data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperatur air optimal yang dihasilkan dari proses pemanasan air menggunakan kolektor surya pada masing-masing variasi kecepatan aliran yang digunakan yaitu sebesar 50,6°C pada aliran 2 l/min, 51,4°C pada aliran 4 l/min, dan 53,1°C pada aliran 6 l/min.
  
2. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur air optimal dalam tabung penyimpan air adalah 2 jam 57 menit pada aliran 2 l/min, 2 jam 17 menit pada aliran 4 l/min, dan 2 jam 33 menit pada aliran 6 l/min. Dimana waktu tercepat untuk mencapai temperatur air optimal terdapat pada aliran 4 l/min, lamanya waktu pemanasan dapat dipengaruhi oleh variasi kecepatan aliran yang digunakan dan intensitas radiasi matahari pada saat proses pengambilan data.
  
3. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur optimal paraffin adalah 8 menit pada aliran 2 l/min, 4 menit pada aliran 4 l/min, dan 4 menit pada aliran 6 l/min.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya termokopel yang digunakan tidak dapat menyerap air supaya tidak masuk ke *data logger*.
2. Sebaiknya alat pengukur radiasi matahari atau *solar power meter* yang digunakan dapat merekam data supaya tidak perlu mencatat data secara manual.
3. Agar energi kalor yang diserap oleh air tidak keluar ke lingkungan, sebaiknya digunakan bahan yang bersifat isolator untuk diletakkan pada bagian luar pipa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Jainal,. Gusti Rusydi Furqon, Syahrillah. (2020). Analisa Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Shell And Tube Pada Pendingin Oil Return Bearing. Teknik Mesin. Universitas Islam Muhammad Arsyad Al Banjari Banjarmasin. Banjarmasin.
- Assidiq S, Hasbi,. Irma Dinahkandy. (2018). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Berbasis Sel Fotovoltaik Untuk Mengatasi Kebutuhan Listrik Rumah Sederhana Di Daerah Terpencil. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Kotabaru. Kotabaru.
- Cengel, Y. A., M. A. Boles, M. Kanoglu. (2019). *Thermodynamics An Engineering Approach Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc. All.
- Gonsales L.R, Finansius,. Ayong Hiendro, Febri Prima. (2022). Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Dan Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Kolektor Surya Terhadap Efisiensi Termal Kolektor Surya. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Kananda, Kiki. (2017). Studi Awal Potensi Energi Surya Wilayah Lampung: Studi Kasus Kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) Menuju Smart Campus. Institut Teknologi Sumatera. Lampung Selatan.
- Korawan, Agus D. (2019). Praffin Sebagai Material Penyimpan Kalor Laten. Program Studi Teknik Mesin. Sekolah Tinggi Teknologi Cepu. Blora.

- Kusumah, Tisna,. Tatang Wahyudi, Mohamad Widodo. (2019). Phase Change Material Dari Campuran Paraffin Untuk Tekstil SWA-Termoregulasi. Politeknik Sekolah Tinggi Tekstil. Bandung.
- Mahmudin,. Muhammad Syahrir. (2016). Karakteristik Perpindahan Panas Pada Pipa Penukar Kalor Selongsong Aliran Searah Vertikal. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muslim Indonesia. Makassar.
- Pratama, Novreza,. Imron Rosyadi, Hadi Wahyudi. (2022). Pengaruh Material Berubah Fasa (PCM) Sebagai Media Penyimpan Panas Terhadap Karakteristik Cooling Box Peltier. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- Robiyanyudra,. Usman A Gani, Muhammad Taufiqurrahman. (2021). Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Tanjungpuro. Pontianak.
- Rokhimi, Intan N,. Pujayanto. (2015). Alat Peraga Pembelajaran Laju Hantaran Kalor Konduksi . Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA FKIP. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sitorus T.B., Syahrul Abda. (2018). Kinerja Kolektor Tipe Plat Datar Pada Mesin Pendingin Adsorpsi Tenaga Surya Di Kota Medan. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Subagyo, Rahmat. (2016). Bahan Ajar Perpindahan Panas HMKK 453. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Widayana, Gede. (2012). Pemanfaatan Energi Surya. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. UNDIKSHA. Denpasar.