

**KAJIAN PENYERAPAN KALOR PADA KOLEKTOR PLAT
DATAR UNTUK SISTEM PEMANAS AIR TENAGA SURYA YANG
TERINTEGRASI DENGAN PCM SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI
THERMAL**

(Skripsi)

Oleh

**JODI ARIA PRATAMA
(1715021029)**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

KAJIAN PENYERAPAN KALOR PADA KOLEKTOR PLAT DATAR UNTUK SISTEM PEMANAS AIR TENAGA SURYA YANG TERINTEGRASI DENGAN PCM SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI THERMAL

Oleh

JODI ARIA PRATAMA

Kebutuhan air panas semakin meningkat baik untuk skala rumahan maupun untuk skala perhotelan. Untuk memenuhi kebutuhan air panas biasanya dilakukan dengan cara memanaskan air dengan tungku maupun pemanasan menggunakan listrik. Terdapat alternative lain memenuhi kebutuhan air panas yaitu dengan menggunakan media surya sebagai suplai energinya. Dalam upaya menjaga temperatur air tetap konstan pada malam hari atau saat cuaca mendung, tangki penyimpanan air dilengkapi dengan heater listrik. Penggunaan heater listrik dapat menyebabkan penambahan biaya operasional pemanas air surya. Untuk meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, saat ini telah dikembangkan kolektor pemanas air dengan tambahan penyimpanan panas (*Heat Storage*) dengan media PCM { *Phase Change Material* }.

Pengujian dilakukan untuk mengamati pengaruh besarnya radiasi yang diterima oleh kolektor plat datar terhadap penyerapan kalor dalam pelelehan PCM dengan fluida yang digunakan adalah air. Kemudian dilakukan pengujian selanjutnya untuk mengamati pengaruh laju aliran fluida terhadap kenaikan temperature pelelehan PCM. Pengujian sifat termal dilakukan dengan : T-History Recorder

Kata Kunci: Kolektor Plat Datar, Radiasi dan PCM

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL PROPERTIES OF WASTE COOKING OIL FOR THERMAL ENERGY STORAGE APPLICATIONS

By

JODI ARIA PRATAMA

The demand for hot water is steadily increasing in both residential and commercial settings. Traditionally, water heating relies on fossil fuel combustion or electrical resistance, leading to environmental and economic concerns. Solar water heating (SWH) offers a sustainable alternative, but maintaining consistent water temperatures during nighttime or cloudy periods presents a challenge. Conventional SWH systems utilize electric backup heaters, incurring additional operational costs. To enhance the effectiveness of direct solar energy utilization, advancements have been made in collector design by incorporating latent heat storage using Phase Change Materials (PCMs).

This study investigates the influence of incident solar radiation on heat absorption within a PCM-integrated flat plate collector, employing water as the heat transfer fluid. Subsequently, the effect of fluid flow rate on the PCM melting temperature is assessed. Thermal performance evaluation is conducted using a T-history recorder for comprehensive data acquisition.

Keywords: Flat Plate Collector, Solar Radiation, Phase Change Material (PCM)

**KAJIAN PENYERAPAN KALOR PADA KOLEKTOR PLAT DATAR UNTUK
SISTEM PEMANAS AIR TENAGA SURYA YANG TERINTEGRASI DENGAN
PCM SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI THERMAL**

Oleh

JODI ARIA PRATAMA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

Judul skripsi

: **Kajian Penyerapan Kalor Pada Kolektor
Plat Datar Untuk Sistem Pemanas Air
Tenaga Surya yang Terintegrasi Dengan
PCM Sebagai Penyimpan Energi Thermal**

Nama Mahasiswa

: **Jodi Aria Pratama**

Nomor Induk Mahasiswa

: **1715021029**

Program Studi

: **S1 Teknik Mesin**

Fakultas

: **Teknik**

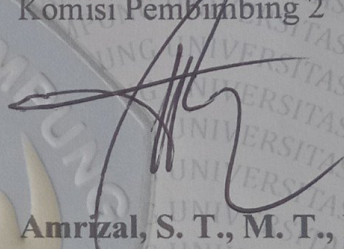
MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1



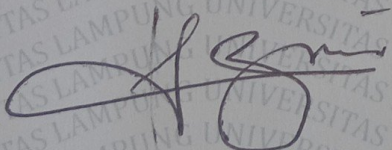
Dr. Muhammad Irsyad, S. T., M. T.
NIP 19711214 200012 1 001

Komisi Pembimbing 2



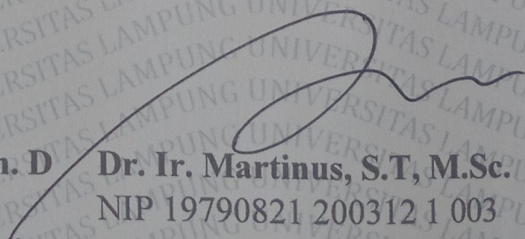
Amrizal, S. T., M. T., Ph. D.
NIP 19700202 199803 1 004

Ketua Jurusan
Teknik Mesin



Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S. T., M. T., Ph. D.
NIP 19710817 199802 1 003

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



Dr. Ir. Martinus, S.T, M.Sc.
NIP 19790821 200312 1 003



MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Anggota Penguji : **Amrizal, S. T., M. T., Ph. D**

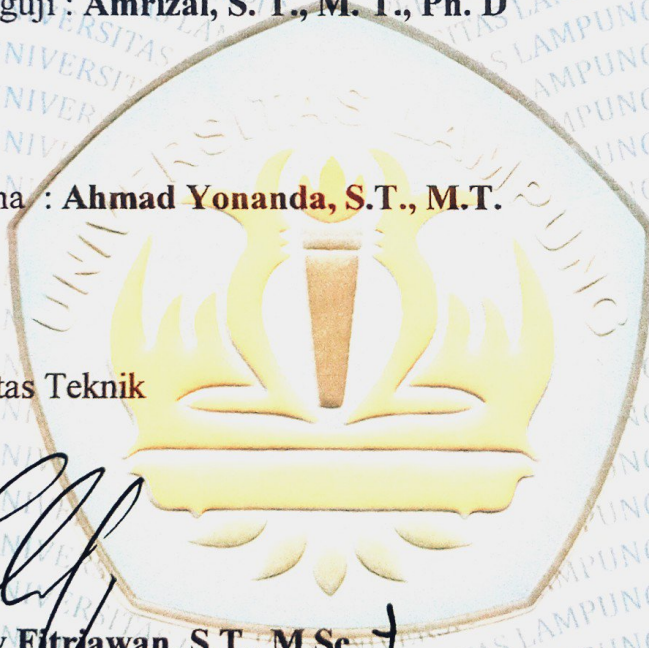
Penguji Utama : **Ahmad Yonanda, S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Juni 2024**



PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

DENGAN INI SAYA MENYATAKAN BAHWA SKRIPSI INI SAYA BUAT DENGAN USAHA SAYA SENDIRI DAN BUKAN HASIL DARI PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN KEPUTUSAN REKTOR NO. 13 TAHUN 2019

Bandar Lampung, 20 Juni 2024

Penulis



Jodi Aria Pratama

NPM 1715021029

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sidomulyo, Lampung pada tanggal 9 Oktober 1998 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Alm. Chairul Anam dan Ibu Misliana

Penulis menempuh Pendidikan sekolah dasar SD Negeri 1 Campang Tiga Kecamatan Sidomulyo pada tahun 2005 - 2011, kemudian penulis melanjutkan Pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Sidomulyo pada tahun 2011-2014. Penulis melanjutkan Pendidikan menengah atas di SMK Negeri 2 Kalianda Kota Kalianda 2014-2017. Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT) Universitas Lampung (UNILA) dan melaksanakan kuliah di perguruan tinggi hingga meraih Sarjana Teknik (S.T.) pada tahun 2024

Selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UNILA, penulis aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas UNILA (BEM-UNILA) 2017-2018 sebagai Anggota muda Kemensospol pada tahun 2017 dan sebagai staff kementrian Kapolhum pada tahun 2018. Kemudian di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT UNILA diberi amanah sebagai Kadiv Kerohanian Islam periode 2018 - 2019, FOSSI FT UNILA diberi amanah sebagai Kepala Bidang Media Informasi periode 2019 – 2020 serta ikut dalam Komunitas Ruang Sosial Sebagai Anggota dari 2018- sekarang.. Pada awal tahun 2020 penulis melakukan Kerja Praktek di P.T. Semen Padang topik yang dibahas “Analisis Keausan *Grinding Ball* pada *Raw Mill* Indarung II,III di PT Semen Padang,Tbk”. Pada tahun 2023 penulis mulai melakukan penelitian dengan “Kajian penyerapan kalor pada kolektor plat datar untuk sistem pemanas air tenaga surya yang terintegrasi dengan pcm sebagai penyimpan energi thermal “ dibawah bimbingan Bapak dibawah bimbingan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku Pembimbing utama dan Bapak Amrizal, S. T., M. T., Ph. D sebagai pembimbing kedua penulis serta Bapak Ahmad Yonanda, S. T., M. T. sebagai pembahas.

Motto

Terima kasih untuk tetap bertahan dan memilih tidak menyerah di saat ada banyak alasan untuk mundur dan berhenti.

(Ria SW)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

Al Insyirah Ayat 6

"Teruslah berbuat baik meski melelahkan karena lelahnya akan hilang, tapi pahalanya akan terus ada."

(Ustad Hanan Attaqi)

"Keberanian bukanlah ketiadaan ketakutan, melainkan kemampuan untuk mengatasi ketakutan."

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatu

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karna atas rahmat, hidayah, dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang pendingin. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Teruntuk Ibunda saya yang tercinta yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingga penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan studi di Teknik Mesin.
2. Dr. Muhammad Irsyad S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah mendukung , membimbing serta memotivasi saya dalam menyelesaikan tugas akhir .

3. Amrizal, S. T., M. T., Ph. D selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ahmad Yonanda, S. T., M.T. selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimakasih untuk masukan dan sarannya.
5. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
6. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Seluruh Dosen dan Staf di Teknik Mesin Universitas lampung yang telah membantu dan membimbing saya selama perkuliahan.
9. Seluruh jajaran pimpinan dan karyawan PT. Trio Teknik Prima baik Bang Goro, mas Malik , bang Arif dan lainnya atas support dan pengalaman yang telah di berikan kepada saya selama magang di PT. Trio Teknik Prima .
10. Teman – teman SNL Squad terkhusus kepada Ahmad Rizki Diva Putra atau (a.k.a Abang) terima kasih untuk memotivasi saya untuk tidak menyerah dan selalu ada untuk mendengarkan keluh kesah saya.
11. Bang Ahmad Fauzan selaku mentor yang selalu memberi masukan dan nasehat kepada saya baik dalam dalam masalah perkuliahan maupun masalah pribadi saya.
12. Para Penghuni Masjid Al-Fatih untuk Salman , Fauzan Fatur dan lainnya yang membantu serta menyemangati saya dalam menyelesaikan perkuliahan saya
13. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. 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 khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakat

Bandar Lampung, 22 November 2021

Penulis,

Jodi Aria Pratama

NPM. 1715021029

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	2
DAFTAR TABEL	4
BAB 1 PENDAHULUAN	5
A. Latar Belakang	5
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	7
E. Batasan Masalah.....	8
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Energi Matahari.....	11
B. Kolektor Surya	12
C. Kolektor Surya Plat Datar	14
D. Kolektor Surya Plat Parabola.....	15
E. Evacuated Tube Collector	16
F. Perpindahan Panas	17
G. Perpindahan Panas Konduksi.....	18
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	20
A. Tempat dan Waktu Penelitian	20
B. Alat dan Bahan	21
1. Alat	21
2. Bahan.....	28
C. Diagram Alir Penelitian	30
D. Skema Pengujian	30
E. Persiapan dan Pengambilan Data	32

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
A. Data Pengaruh Besar Laju Aliran Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Radiasi 997,5 w/m ²	33
B. Data Pengaruh Besar Laju Aliran Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Radiasi 1183 w/m ²	34
C. Data Pengaruh Besar Laju Aliran Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Radiasi 1399,8 w/m ²	35
D. Data Pengaruh Besar Radiasi Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Laju Aliran 2 lpm.....	36
E. Data Pengaruh Besar Radiasi Terhadap Temperatur Kolektor pada Laju Aliran 3 lpm.....	37
F. Data Pengaruh Besar Radiasi Terhadap Temperatur Kolektor pada Laju Aliran 4 lpm.....	38
G. Data Perpindahan Panas Kolektor pada Laju Aliran 2 lpm	39
H. Data Perpindahan Panas Kolektor pada Laju Aliran 3 lpm	40
I. Data Perpindahan Panas Kolektor pada Laju Aliran 4 lpm	41
BAB 5. PENUTUP	43
A. Kesimpulan	43
B. Saran.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kompenen-Komponen Kolektor Surya	13
Gambar 2.2 Kolektor Surya Plat Datar	15
Gambar 2.3 Kolektor Surya Parabola	16
Gambar 2.4 Kolektor Surya Evacuated Tube Collector	17
Gambar 3.1 Kolektor surya aliran paralel	23
Gambar 3.2 Termokopel dan Data logger	24
Gambar 3.3 Tabung penyimpan air panas	25
Gambar 3.4 Pompa air	26
Gambar 3.5 Water flow meter.....	26
Gambar 3.6 Keran air.....	27
Gambar 3.7 Pipa air PVC	28
Gambar 3.8 Penukar panas	28
Gambar 3.9 Solarimeter	29
Gambar 3.10 Parafin padat	30
Gambar 3.11 Diagram alir penelitian	30
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Besar Laju Aliran Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Radiasi 997,5 w/m ²	34
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Besar Laju Aliran Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Radiasi 1183 w/m ²	35
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Besar Laju Aliran Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Radiasi 1399,8 w/m ²	36
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Besar Radiasi Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Laju Aliran 2 lpm	37
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Besar Radiasi Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Laju Aliran 3 lpm	38

Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Besar Radiasi Terhadap Lama Kenaikan Temperatur Kolektor pada Laju Aliran 4 lpm	39
Gambar 4.7 Grafik Perpindahan Panas Kolektor pada Laju Aliran 2 lpm	40
Gambar 4.8 Grafik Perpindahan Panas Kolektor pada Laju Aliran 3 lpm	41
Gambar 4.9 Grafik Perpindahan Panas Kolektor pada Laju Aliran 4 lpm	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Rencana Pelaksanaan Penelitian	21
Tabel 3.2 Spesifikasi termokopel	24

BAB 1 PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan air panas semakin meningkat baik untuk skala rumahan maupun untuk skala perhotelan. Untuk memenuhi kebutuhan air panas biasanya dilakukan dengan cara memanaskan air dengan tungku maupun pemanasan menggunakan listrik. Terdapat alternative lain memenuhi kebutuhan air panas yaitu dengan menggunakan media surya sebagai suplai energinya. Dalam upaya menjaga temperatur air tetap konstan pada malam hari atau saat cuaca mendung, tangki penyimpanan air dilengkapi dengan heater listrik. Penggunaan heater listrik dapat menyebabkan penambahan biaya operasional pemanas air surya. Untuk meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, saat ini telah dikembangkan kolektor pemanas air dengan tambahan penyimpan panas (*Heat Storage*) dengan media PCM {Phase Change Material }.

(Sulaeman 2013) telah melakukan penelitian tentang pengaruh laju debit air terhadap efisiensi kolektor surya dengan variasi kapasitas aliran yaitu 3 liter/menit, 5 liter/menit, 7 liter/menit, 9 liter/menit, 10 liter/menit yang diatur dengan regulator dan katup. Pengambilan data dilakukan dalam rentang waktu 15 menit selama 5 jam (300

menit) setiap variasi kapasitas aliran. Hasilnya efisiensi kolektor surya bergantung kepada laju aliran massa fluida, yang mana dalam pengujian ini terlihat semakin tinggi laju aliran massa fluida maka semakin tinggi pula efisiensi kolektor.

(Christos Pagkalos 2020) telah melakukan penelitian pada Dua media penyimpanan panas yang berbeda, yaitu air dan bahan pengubah fasa parafin, dipelajari untuk tujuan tersebut mengevaluasi dan membandingkannya untuk digunakan dalam sistem penyimpanan energi panas. Hasilnya PCM sebagai media penyimpanan jumlah energi yang disimpan lebih besar untuk volume yang sama media penyimpanan tercapai, tetapi jangka waktunya lebih lama dibutuhkan dibandingkan dengan penggunaan air sebagai media penyimpan untuk menyimpan energy.

(S.M. Shalabya 2020) telah melakukan pengujian pemanas air tenaga surya terintegrasi dengan shell seri dan sistem penyimpanan panas laten (PCM) parafin dengan tabung bersirip. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panas yang dicapai bertahan dari 60,4 hingga 50 °C pada malam hari.

(Finansius Gonsales Lumban Raja 2022) telah melakukan penelitian tentang pengaruh sudut kemiringan kolektor surya terhadap efisiensi termal kolektor surya.

Hasilnya besar efisiensi kalor dari alat pemanas air tenaga surya besar efisiensi kalor dari alat pemanas air tenaga surya rata-rata yang tertinggi adalah 22,47 % pada sudut kemiringan 0°.

Dari beberapa literasi penelitian yang telah dilaksanakan, Penulis mendapat ide untuk melakukan penelitian lanjutan yaitu “Kajian Penyerapan Kalor Pada Kolektor Plat

Datar Untuk Sistem Pemanas Air Tenaga Surya Yang Terintegrasi Dengan PCM Sebagai Penyimpan Energi Thermal “ yang menurut penulis belum ada pada penelitian sebelumnya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka rumusan masalah ini yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh besar radiasi terhadap lama waktu kenaikan temperature leleh PCM?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi kecepatan pompa terhadap lama waktu kenaikan temperature leleh PCM pada kolektor surya pipa paralel?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh besarnya radiasi yang diterima oleh kolektor untuk memanaskan PCM parafin padat dengan kolektor surya pipa paralel.
2. Menganalisis pengaruh laju kecepatan pompa terhadap penyerapan panas terhadap PCM parafin padat pada dengan kolektor surya pipa paralel.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh antara besar radiasi yang diterima oleh kolektor terhadap lama waktu kenaikan temperature leleh PCM sebagai acuan untuk penelitian kedepannya

2. Mengetahui pengaruh laju kecepatan aliran terhadap penyerapan panas terhadap PCM parafin padat pada dengan kolektor surya pipa paralel.

E. Batasan Masalah

Agar lebih terarah dan fokus perlu dilakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan kolektor surya dengan dimensi ukuran panjang 80 cm dan lebar 50 cm, serta pipa yang digunakan berjenis ASTM B280 pada penukar panas shell-and-tube seri dengan kolektor surya pipa paralel.
2. Besar energi radiasi diganti menggunakan solar simulator dengan variasi radiasi $997,5 \text{ W/m}^2$, 1183 W/m^2 dan $1399,8 \text{ W/m}^2$.
3. Dalam pengujian menggunakan kecepatan fluida (air) yang bervariasi 2 lpm, 3 lpm dan 4 lpm.
4. Pengujian dilakukan dengan menggunakan solar simulator dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan dari proposal penelitian ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang yang disesuaikan dengan topik penelitian, perumusan masalah memuat proses penyederhanaan masalah kompleks menjadi masalah yang dapat diteliti, tujuan dari pelaksanaan penelitian, manfaat penelitian, beberapa batasan yang diberikan agar permasalahan menjadi lebih sederhana, dan sistematika dari penulisan proposal ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori yang berhubungan. Tinjauan pustaka ini berisikan kajian telaah dan kajian teori atau unsur teori atau hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan penggunaan PCM paraffin padat pada penukar panas shell-and-tube seri dengan kolektor surya pipa paralel.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Terdiri dari hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian mulai dari tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram alur pelaksanaan, prosedur pelaksanaan dan instrumen yang digunakan untuk mencatat data hasil pengamatan saat melaksanakan proses penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan dan akan di lakukan pembahasan berdasarkan data data yang diperoleh.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

berisikan simpulan dari hasil yang diperoleh dari data data yang diolah, Dan berisikan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini agar dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

memuat referensi yang dipergunakan penulis dalam menyelesaikan penelitian. Referensi yang digunakan bersal dari jurnal nasional maupun internasional, buku teks, dan laman dari lembaga yang berkredibel.

LAMPIRAN

berisikan data atau keterangan lain yang berfungsi untuk melengkapi uraian yang telah disajikan dalam bagian utama laporan. Lampiran juga berisi dokumentasi proses penelitian sebagai penunjang laporan penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Matahari

Matahari atau surya adalah bola gas yang amat panas dengan sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Matahari dapat memancarkan energi radiasi yang berupa sinar dan gelombang elektromagnetik yang terbentuk oleh reaksi nuklir yang terjadi di permukaan matahari. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan banyak cara seperti fotovoltaik surya, listrik panas surya, pemanas air dan fotosintesis buatan. Teknologi dari energi surya adalah sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli. Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m^2 per hari di seluruh wilayah Indonesia. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan.; Kawasan Barat Indonesia (KBI) dengan distribusi penyinaran sekitar $4,5 \text{ kWh/m}^2$ /hari dengan variasi bulanan 10% sedangkan Kawasan

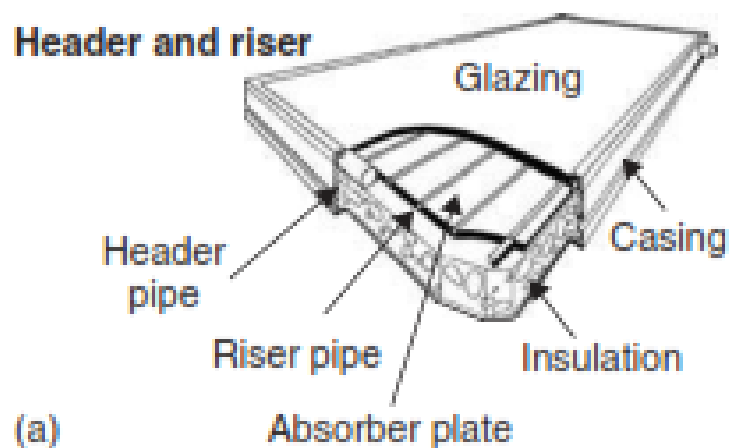
Timur Indonesia (KTI) dengan distribusi penyinaran sekitar 5,1 kWh/m² /hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan oleh banyak negara di belahan dunia dan bila dimanfaatkan secara tepat energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama serta berkepanjangan . (Widayana 2012) (Çengel n.d.)Ada dua cara untuk memanfaatkan energi yaitu matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik (photovoltaik) dan secara *thermal* untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa "perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Keuntungan-keuntungan ini berlaku global.

B. Kolektor Surya

Kolektor surya didefinisikan sebagai alat untuk menangkap energi panas dari radiasi matahari dengan menggunakan pipa kalor dan memindahkannya ke fluida pembawa. Komponen utama kolektor surya adalah *cover* yang berfungsi sebagai penutup kolektor yang transparan, *absorber* untuk menyerap. Komponen utama kolektor surya adalah *cover* yang berfungsi sebagai penutup

kolektor yang transparan, absorber untuk menyerap energi dan mengkonversikan energi matahari menjadi energi thermal, isolasi untuk menahan panas dalam kolektor dan saluran atau kanal untuk mengalirkan fluida yang membawa energi matahari. Panas yang dihasilkan oleh kolektor surya dapat memasok kebutuhan energi secara langsung atau disimpan. Radiasi matahari, sebagian besar panjang gelombang pendek, melewati melalui penutup tembus pandang dan menyerang penerima energi. Kaca bening biasanya digunakan sebagai penutup kaca karena transmisivitasnya yang tinggi; penutup juga sangat mengurangi kehilangan panas. Optik karakteristik penerima energi harus semirip mungkin dengan benda hitam, terutama daya serap tinggi



Gambar 2.1 Komponen-Komponen Kolektor Surya

(Kalogirou, 2009)

Kolektor surya pada umumnya memiliki komponen-komponen utama,yaitu:

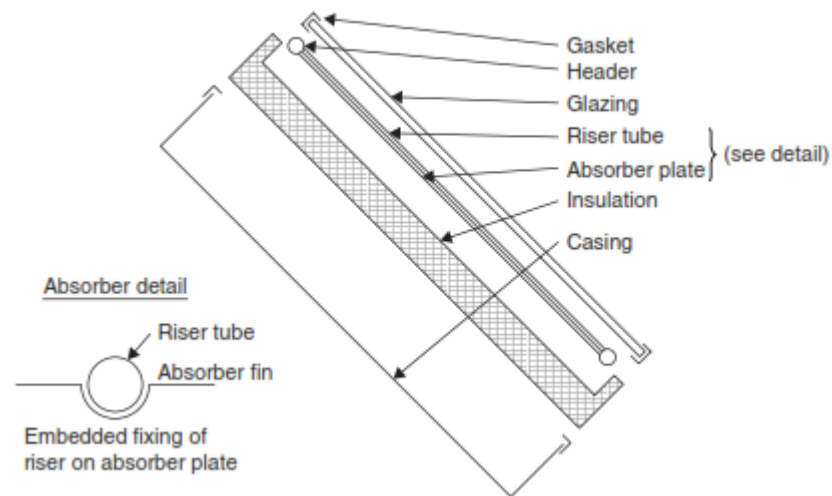
1. *Cover*,berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan.
2. *Absorber*, berfungsi untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
3. Kanal, berfungsi sebagai saluran transmisi fluida kerja
4. *Isolator*, berfungsi meminimalisir kehilangan panas secara konduksi dari absorber menuju lingkungan
5. *Frame*,berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor

C. Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya pelat datar merupakan salah satu jenis kolektor yang banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan jenis yang lain. Salah satu pemanfaatan dari kolektor pelat datar adalah sebagai pemanas air (Sudia, 2010).Alat ini terdiri dari kotak tahan cuaca (wheaterproof) yang berisi pelat absorber berwarna gelap dibawah penutup transparan dari kaca. Sinar matahari menembus penutup transparan dan mengenai pelat yang berwarna gelap, sehingga temperatur pelat naik dan panas ini diserap oleh fluida yang berada di dalam pipa kalor.

Pipa-pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkunganPanas yang terserap oleh pelat diharapkan akan berpindah ke pipa, tetapi karena temperatur

pelat yang lebih tinggi dari udara dalam kotak maka panas juga berpindah ke udara dengan cara konveksi. Berikut adalah gambaran dari rangkaian kolektor surya plat datar.



Gambar 2.2 Kolektor Surya Plat Datar

(Kalogirou, 2009)

D. Kolektor Surya Plat Parabola

Kolektor palung parabola menggunakan prinsip kerja cermin cekung dimana di sepanjang garis fokus dari kolektor bentuk palung parabola tersebut dipasang pipa aluminium rongga yang dicat warna hitam, selanjutnya air dialirkan ke dalam pipa aluminium tersebut. Kolektor palung parabola diletakkan di daerah sinar matahari yang jatuh secara bebas ke permukaan bumi dan mengenai permukaan kolektor sehingga sinar matahari yang dipantulkan oleh kolektor dapat mengenai pipa penyerap.



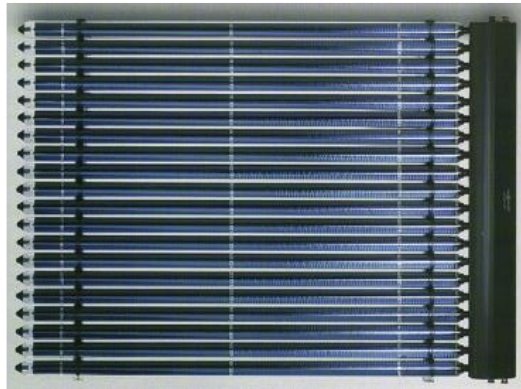
Gambar 2.3 Kolektor Surya Parabola

(Kalogirou, 2009)

E. Evacuated Tube Collector

Kolektor surya tabung-evakuasi memiliki kinerja yang lebih baik daripada pelat datar untuk operasi suhu tinggi berkisar antara 77-170°C. Mereka sangat cocok untuk aplikasi pemanas komersial dan industri dan juga untuk aplikasi pendinginan dengan regenerasi siklus pendinginan. Mereka juga bisa menjadi alternatif yang efektif untuk kolektor pelat datar untuk pemanas ruangan domestik, terutama di daerah di mana sering berawan. Kolektor surya tabung-evakuasi terdiri dari deretan tabung kaca paralel yang terhubung ke header pipa. Udara di dalam setiap tabung dihilangkan mencapai tekanan vakum sekitar 10–3 mbar.

Ini menciptakan kondisi insulasi tinggi untuk menghilangkan kehilangan panas melalui konveksi dan radiasi, yang suhunya lebih tinggi daripada untuk kolektor pelat datar dapat dicapai. Varian vakum adalah bahwa tabung dapat menggunakan gas konduktivitas termal rendah seperti xenon. Setiap tabung yang dievakuasi memiliki permukaan penyerap di dalamnya. Tergantung pada mekanisme untuk mengekstraksi panas dari penyerap, kolektor surya tabung-evakuasi jatuh ke dalam aliran langsung atau pipa panas. Klasifikasi karena vakum, titik beku tetap sama (beberapa aditif akan mencegah membeku pada suhu rendah semalam).



Gambar 2.4 Kolektor Surya *Evacuated Tube Collector*

(Kalogirou, 2009)

F. Perpindahan Panas

Pada umumnya perpindahan panas terbagi menjadi tiga proses, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan panas (*Heat Transfer*) adalah perpindahan energi dari suatu daerah ke

daerah lain yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara kedua daerah tersebut, pada dasarnya panas ini akan mengalir dari tempat yang mempunyai temperatur tinggi ke tempat yang mempunyai temperatur rendah sehingga tercapai temperatur yang sama. Satu hal yang harus diketahui yaitu bahwa hukum termodinamika satu dan hukum termodinamika dua mempunyai peran yang penting pada sistem perpindahan panas.

G. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas mengalir dari tempat yang bertemperatur tinggi menuju ke tempat yang bertemperatur rendah dengan media penghantar tetap, media dapat berupa padatan, cairan, maupun gas. Dalam kondisi stabil perpindahan panas melewati tebal dinding Δx itu diantara dua permukaan yaitu permukaan panas (TH) dan Permukaan dingin (TC). Benda yang bertemperatur tinggi memiliki molekul energi yang lebih tinggi juga. Pada proses perpindahan panas, molekul energi yang lebih tinggi akan menabrak molekul yang memiliki energi lebih rendah hal ini terus terjadi sehingga benda tersebut mengalami pemanasan dan terus berlanjut hingga temperatur yang dicapai. konduktivitas termal suatu bahan dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan panas melalui satuan ketebalan bahan per satuan luas per unit perbedaan suhu. Konduktivitas termal suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Nilai tinggi

untuk konduktivitas termal menunjukkan bahwa bahan tersebut merupakan konduktor panas yang baik, dan nilai yang rendah menunjukkan bahwa bahan tersebut merupakan konduktor atau isolator panas yang buruk.

G. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran / sinar / radiasi gelombang elektro-magnetik. Pada perpindahan panas radiasi ini terjadi tanpa media perantara, oleh karenanya proses perpindahan panas secara radiasi dapat mengalir dari benda bersuhu tinggi menuju ke suatu benda yang bersuhu lebih rendah pada ruangan terpisah. Namun faktanya dalam kehidupan sehari-hari, permukaan bukan merupakan pemancar ataupun penyerap yang sempurna dari radiasi termal. Permukaan tersebut ditandai oleh fraksi-fraksi dari jumlah ideal yang dipancarkan (ϵ ,emisivitas) dan diserap (σ ,absorsivitas)..

Perpindahan panas yang terjadi pada alat pemanas air (*water heater*) meliputi perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi. Untuk yang radiasinya yaitu pada permukaan luar dari alat pemanas air tersebut. Radiasi termal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh permukaan sebuah benda berdasarkan dari temperaturnya yang melalui ruangan dengan kecepatan cahaya. Secara umum, radiasi termal dipengaruhi oleh panjang gelombang dan arahnya.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian untuk mengkaji penyerapan panas thermal dari *solar simulator* oleh kolektor yang digunakan untuk memanaskan air. Penelitian ini membutuhkan tempat, waktu, alat, dan bahan penelitian karena bersifat eksperimental.

A. Tempat dan Waktu Penelitian

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

Penelitian dan pengambilan data pengujian dilakukan di Labolatorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pengambilan data serta pembuatan laporan akhir dilakukan pada bulan Juni 2023 sampai dengan September 2023 dengan rencana kegiatan ditunjukan pada tabel 3.1 berikut ini:

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																

a) Studi Literatur

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

b) Persiapan Alat Pengujian

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

c) Pengujian

Melakukan pengujian eksperimental material berubah fasa berupa parafin yang telah menyimpan panas untuk memanaskan air dengan variasi kecepatan aliran air.

d) Penulisan Laporan

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

B. Alat dan Bahan

Penelitian ini bersifat eksperimental sehingga membutuhkan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Alat

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

a) Kolektor Surya Pelat

Kolektor yang digunakan ialah jenis pelat datar dengan dimensi ukuran 50 cm x 80 cm dan menggunakan pipa tembaga tipe ASTM B280 dengan arah aliran paralel, kemudian jarak antar diameter pipa ke pipa satunya sebesar 5 cm dengan ukuran diameter pipa 3/8 inchi. seperti pada Gambar 3.1. Untuk panjang pipa tembaga tipe ASTM B280 yang digunakan dan volume air pada kolektor adalah:

diameter pipa $\frac{3}{8}$ " = 0,9525 cm.

Panjang pipa = 10 x 80 = 800 cm

2 x 45 = 90 cm

2 x 10 = 20 cm

Total panjang = 910 cm

Volume air pada kolektor surya V = $(\pi/4) \times D^2 \times L$

= $(\pi/4) \times 0,9525^2 \times 910$

= 648,427 cm³

= 0.648 liter air



Gambar 3.1 Kolektor surya aliran paralel

b) Data Logger dan Thermocouple

Data Logger dan *Thermocouple* digunakan untuk mengukur :temperature parafin,temperature fluida masuk dan keluar alat penukar panas, temperature fluida masuk dan keluar tabung penyimpanan air. Perubahan temperature direkam dalam *data logger* dan dapat disimpan dalam SD Card. *Thermocouple* dan *data logger* dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Termokopel dan Data logger

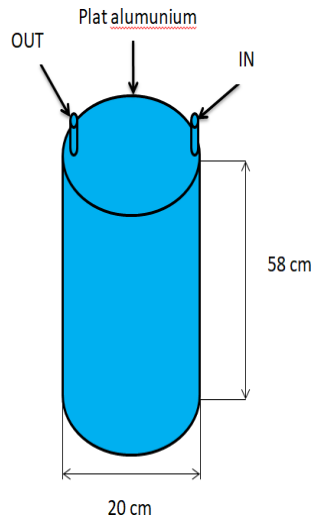
Rincian merk, fungsi dan data-data terkait *Thermocouple* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Spesifikasi termokopel

Merk	LU BTM-4208SD
Fungsi	Mengukur suhu dari -50 s/d 1300 °C
Ketelitian	0.1 °Celcius
Record external	SD card
Maks input	Maksimal 12 saluran

c) Tabung Penyimpanan Air

Tabung ini berfungsi untuk menampung air dengan temperature ruangan yang kemudian dipanaskan oleh parafin yang telah menyimpan panas laten. Tabung penyimpana air ini terbuat dari bahan plat alumunium berbentuk silinder berdiameter 20 cm dengan panjang tabung 58 cm. Bentuk tabung penyimpan air dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3. Tabung penyimpan air panas

d) Pompa Air

Pompa air berfungsi mensirkulasi fluida dari alat penukar panas menuju tabung penyimpanan air dan kembali ke penukar panas hingga perpindahan panas maksimal terjadi. Pompa air yang digunakan adalah pompa air aquairium, seperti pada gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3.4 Pompa air

e) Water Flowmeter Sensor

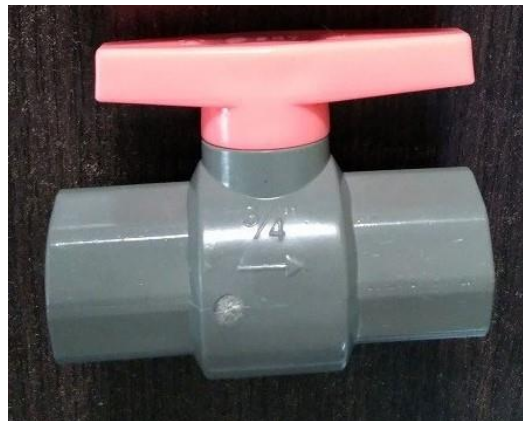
Water flowmeter berfungsi mengukur debit fluida yang mengalir dari penukar kalor ke tabung penampungan air, sehingga besar laju aliran massa fluida dapat diketahui. Satuan laju aliran massa yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kg/s. *Water flowmeter* yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3.5 *Water flow meter*

f) Keran Air

Keran air berfungsi mengontrol jumlah fluida yang mengalir seperti memperbesar dan memperkecil serta memutus aliran fluida dengan cara memutar pegangannya. Penelitian ini menggunakan keran air system putar yang di dalamnya terdapat bola sebagai penutup seperti pada gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3.6 Keran air

g) Pipa Air PVC (Polyvinyl Chloride)

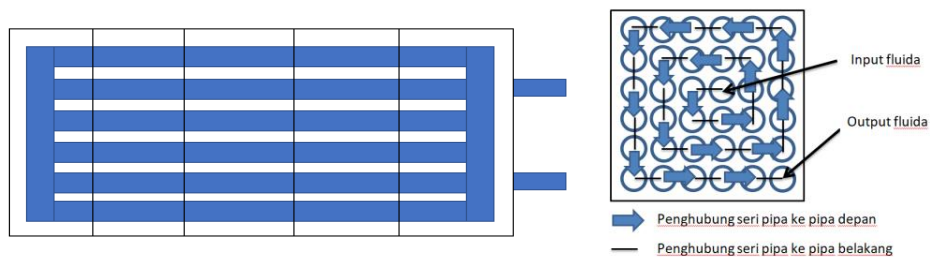
Pipa air yang digunakan dalam penelitian ini adalah PVC dengan diameter 1 inci dengan panjang keseluruhan pipa dari penukar panas ke tabung penyimpanan air adalah 247cm. Rangkaian pipa air PVC dilapisi peredam panas untuk menjaga agar panas tidak terbuang melalui permukaan pipa. Pipa PVC yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini:



Gambar 3.7 Pipa air PVC

h) Alat Penukar Panas

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



Gambar 3.8 Penukar panas

i) Solari meter

Solari meter merupakan alat ukur jenis pyranometer untuk mengukur radiasi matahari langsung ataupun untuk mengukur radiasi dari *solar simulator*. Satuan dalam pengukuran radiasi menggunakan *solarimeter* yaitu W/m^2 .



Gambar 3. 9 Solarimeter

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam kajian pelepasan panas material berubah fasa berupa paraffin terhadap fluida air ini meliputi air dan PCM paraffin:

a) Fluida Air

Air disirkulasikan oleh pompa dari penukar kalor menuju tabung penampungan air kemudian kembali ke penukar kalor. Spesifikasi air dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1) Densitas air | : 998,2 Kg/m ³ |
| 2) Panas Spesifik | : 4.182 J/Kg °C |
| 3) Volume air dalam tabung | : 18,21 liter |
| 4) Volume air dalam pipa aliran | : 1,25 liter |
| 5) Volume air dalam pipa HE | : 9,11 liter |

b) Parafin

Parafin sebagai material berubah fasa yang digunakan berjenis padat atau lilin parafin dengan jumlah volume:

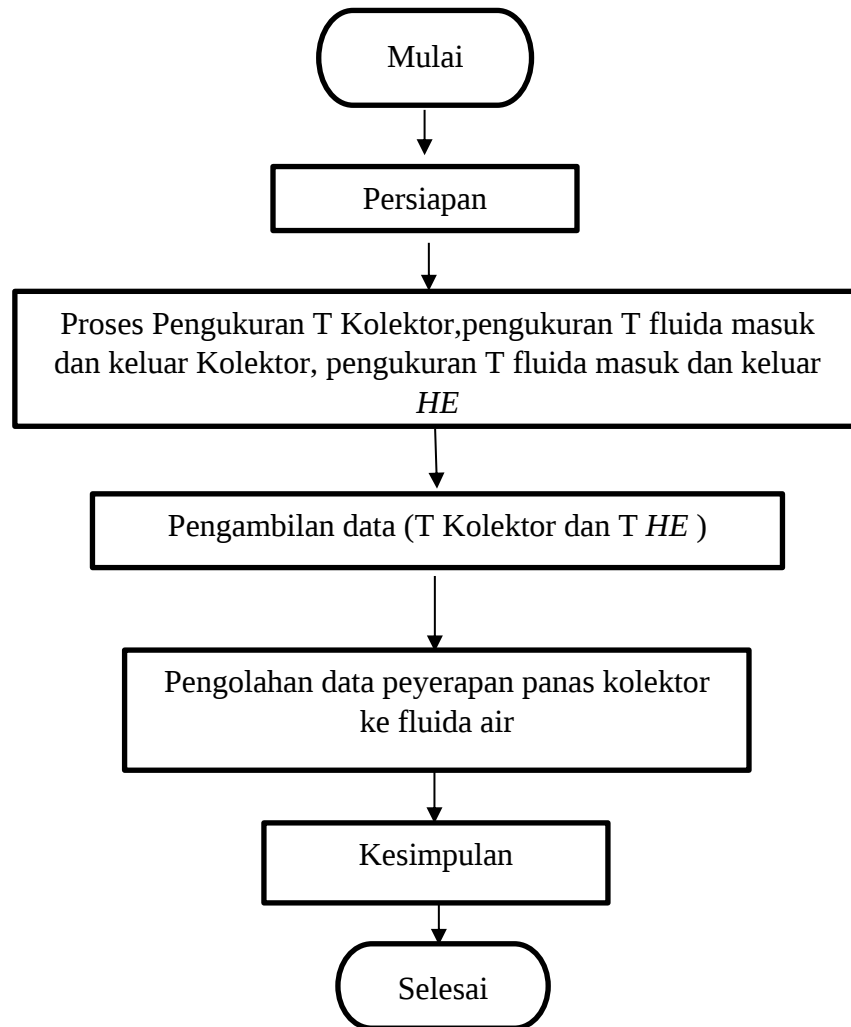
$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah paraffin} &= \text{Volume Plat HE} - \text{Volume pipa HE} \\
 &= (21,5 \times 21,5 \times 58) - (p \times r^2 \times p_j \text{ pipa}) \\
 &= 26.810,5 \text{ cm}^3 - (p \times 1,27^2 \times 1.800) \\
 &= 26.810,5 \text{ cm}^3 - 9.116,1108 \text{ cm}^3 \\
 &= 17.694,4 \text{ cm}^3 = 17,7 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Lilin parafin yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3.10. Parafin padat

C. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.11 Diagram alir penelitian

D. Skema Pengujian

Skema pengujian pada penelitian ini bermula dari parafin yang telah menyimpan panas laten didalam penukar kalor, panasnya dialirkan ke fluida air yang tertampung di dalam tabung penampungan melalui pompa. Kecepatan aliran fluida dapat dikontrol dengan menggunakan keran air serta kecepatan alirannya dapat diketahui melalui *water flow meter sensor*. Temperatur parafin, temperature fluida

masuk dan keluar penukar panas, serta temperature masuk dan keluar tabung penampungan air dapat diketahui melalui *thermocouple* dan *data logger*. Instalasi alat pengujian ini dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut ini:



Gambar 3.11. Skema Pengujian PCM pada HE

Keterangan:

1. Solar simulator
2. Rangka dudukan solar simulator dan kolektor surya
3. Pipa air panas fleksibel
4. Kolektor surya plat datar
5. Water flow meter sensor
6. Keran air (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)
7. Pompa air
8. Alat penukar panas/Heat exchangers
9. Tabung penyimpan air panas

E. Persiapan dan Pengambilan Data

Proses persiapan dan pengambilan data serta penulisan laporan hasil penelitian dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti pompa air, *thermocouple* dan *data logger*, *water flow meter sensor*, tabung penyimpanan air, alat penukar panas, parafin, pipa air PVC, dan keran air.
2. Merangkai alat dan bahan seperti pada gambar 3.12.
3. Melakukan kalibrasi pada alat ukur yang akan digunakan.
4. Melakukan pengisian air pada rangkaian sehingga aliran padat dan terisi penuh.
5. Menghidupkan *data logger* dan memasang *thermocouple*,
6. Merekam data perubahan temperatur pada *data logger* setiap 120 detik.
7. Menghidupkan *water flow meter sensor* untuk melihat kecepatan aliran fluida.
8. Menghidupkan pompa air
9. Mengatur kecepatan aliran sebesar 2 lpm menggunakan keran air A.
10. Menghidupkan solar simulator dengan variasi 8 lampu
11. Memanaskan parafin di dalam penukar panas dengan *solar simulator* melalui kolektor surya hingga temperature parafin 60°C .
12. Menunggu hingga temperatur air di dalam tabung penampungan mengalami pemanasan maksimal dari parafin yang menyimpan panas laten.
13. Mematikan solar simulator , pompa dan flow meter setelah selesai
14. Memasukan data rekaman *data logger* kedalam *MS. Excel*.
15. Mengulangi langkah ke 4 hingga ke 13 dengan mengatur variasi kecepatan 3lpm, dan 4 lpm serta variasi lampu 10 dan 12
16. Melakukan kajian terhadap data yang telah diambil.
17. Membuat kesimpulan hasil penelitian.
18. Selesai.

BAB 5. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh antara variasi laju aliran terhadap temperature masuk dan keluar kolektor serta temperature rata-rata kolektor pada radiasi $997,5 \text{ w/m}^2$, radiasi 1183 w/m^2 dan $1399,8 \text{ w/m}^2$ menunjukan bahwa tidak terjadi perubahan signifikan antara pengaruh aliran terhadap kenaikan temperature temperature masuk dan keluar kolektor serta temperature rata-rata kolektor.
2. Semakin besar radiasi yang diterima kolektor maka semakin cepat pula kenaikan temperature untuk melelehkan PCM.
3. Semakin besar laju aliran maka semakin semakin cepat pula kenaikan temperature untuk melelehkan PCM.
4. Kenaikan Temperature leleh PCM tercepat terjadi yaitu pada radiasi $1399,8 \text{ w/m}^2$ dengan variasi laju aliran 4 lpm dengan lama waktu 290 menit atau sekitar 3 jam lebih 10 menit.

5. Kenaikan temperature leleh PCM terlama terjadi yaitu pada radiasi $997,5 \text{ w/m}^2$ dengan variasi 2 lpm. dengan lama waktu 390 menit atau sekitar 6 jam lebih 30 menit.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian pemanasan air menggunakan material berubah fasa adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan *termocouple* yang digunakan sebaiknya tidak dapat menyerap air karena dapat menyebabkan kebocoran.
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya menggunakan variasi laju aliran yang berbeda untuk mengetahui pengaruh besar laju aliran terhadap kenaikan temperature.
3. Dalam proses pemasangan *termocouple* dalam pipa sebaiknya memperhatikan dengan seksama apakah ujung Termocouple menempel pada pipa atau menggantung pada tengah pipa, serta sebaiknya pada bagian masuk dan keluar baik pada tabung penyimpanan air ataupun HE dipasang lebih dari satu Termocouple sebagai pembanding agar kemungkinan kesalahan pembacaan dapat diminimalisir.
4. Perlu digunakannya pengontrol aliran dengan sistem otomatis sehingga kecepatan aliran dapat dikontrol dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Çengel, Yunus A. "Heat Transfer Second A Practical Approach. 2nd Edition."
- Christos Pagkalos, George Dogkas, Maria K. Koukou*, John Konstantaras, Kostas Lymperis,. "Evaluation of water and paraffin PCM as storage media for use in thermal." *International Journal of Thermofluids* 1-2 (2020) 100006, 2020: 1-7.
- Finansius Gonsales Lumban Raja, dkk. "Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya dan Analisa Pengaruh Sudut." *e-ISSN: 2798-0421*, 2022: 81-86 .
- Gerald Englmaira, Mark Dannemanda, Jakob B. Johansena, Weiqiang Konga, Janne Dragsteda, Simon Furboa, Jianhua Fana. "Testing of PCM heat storage modules with solar collectors as." 2015: 138-144.
- Juan Zhao, Yasheng Ji, Yanping Yuan, Zhaoli Zhang dan Jun Lu. "Energy-Saving Analysis of Solar Heating System with PCM Storage Tank." *Energies* 2018, 11, 237; doi:10.3390/en11010237, 2018: 3-18.
- Kalogirou, Soteris. *Solar Thermal Collectors and Applications*. Cyprus.: Department of Mechanical Engineering. Higher Technical Institute, Nicosia 2152, 2004.

- Rinjani Rakasiwi, Dkk. "KAJIAN EFISIENSI PANAS KOLEKTOR PEMANAS AIR SURYA PADA MOBILE MINI BIODIESEL PLANT." *eISSN 2477-6041 artikel 17*, 2022: 795 – 804.
- Rusadi. "Pengaturan Laju Aliran Fluida Untuk Meningkatkan Laju Perpindahan Panas." *Jurnal ELKHA Vol. 9, No 1, Maret 2017*, 2017 : 8-12.
- S.M. Shalabya, A.E. Kabeelb,*, B.M. Moharrama, A.H. Fleafla. "Experimental study of the solar water heater integrated with shell and." *Journal of Energy Storage 31 (2020) 101628*, 2020: 1-11.
- Sulaeman, Darul Mapasid. "ANALISA EFISIENSI KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR." *Jurnal Teknik Mesin Vol.3, No. 1, April 2013* :29-32 , 2013: 29-32 .
- Widayana, Gede. "PEMANFAATAN ENERGI SURYA." *ISSN 0216-3241*, 2012: 37-46.