

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES
PELELEHAN PCM PARAFIN PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER*
DENGAN SIRIP AKSIAL**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD FARREL GAMA



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES
PELELEHAN PCM PARAFIN PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER*
DENGAN SIRIP AKSIAL**

OLEH:

MUHAMMAD FARREL GAMA

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

PADA

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2023

ABSTRAK

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES PELELEHAN PCM PARAFIN PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER* DENGAN SIRIP AKSIAL

OLEH

MUHAMMAD FARREL GAMA

Air panas sudah menjadi suatu kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari kebutuhan rumah tangga, industri, perhotelan dan rumah sakit. Air panas ini dapat diperoleh menggunakan pemanas air (*water heater*). Energi matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan. Namun energi matahari masih memiliki waktu tertentu untuk dapat dimanfaatkan. Maka diperlukan sebuah media yang dinamakan *phase change material* (PCM) untuk menyimpan energi termal. Salah satu *phase change material* yang dapat digunakan untuk menyimpan energi termal yaitu parafin. Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh variasi kecepatan aliran dan juga variasi jumlah sirip yang digunakan pada saat proses pelelehan PCM parafin. Pengujian dilakukan pada alat penukar kalor jenis *double pipe* dengan ukuran 2 inch untuk pipa luar dengan menggunakan bahan PVC dan untuk pipa bagian dalam menggunakan bahan tembaga dengan ukuran 5/8 inch. Dimana pada penelitian ini juga akan dipasangkan sirip aksial pada sisi luar pipa dalam *double pipe* dengan variasi jumlah sirip 4, 6, dan 8. Dari hasil pengujian didapatkan hasil diantaranya adalah semakin banyak jumlah sirip yang digunakan dan semakin besar aliran air nya maka perpindahan panasnya semakin besar. Waktu dan nilai laju perpindahan terbesar yang didapat untuk mencapai temperatur 63°C ada pada jumlah sirip 8 dengan variasi aliran air 12 l/min dengan waktu 10 menit 40 detik dan nilai laju perpindahan panasnya 356,34 watt.

Kata Kunci: Air panas, energi matahari, PCM, parafin, laju perpindahan panas.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER OF MELTING PROCESS OF PCM PARAFFIN IN DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER WITH AXIAL FIN

BY

MUHAMMAD FARREL GAMA

Hot water has become a necessity in everyday life, starting from the needs of households, industry, hotels and hospitals. This hot water can be obtained using a water heater. Solar energy is a renewable alternative energy source. But solar energy still has a certain time to be utilized. Then we need a medium called phase change material (PCM) to store thermal energy. One of the phase change materials that can be used to store thermal energy is paraffin. The purpose of this research activity was to examine the effect of variations in flow velocity and also variations in the number of fins used during the paraffin PCM melting process. Tests were carried out on a double pipe type heat exchanger with a size of 2 inches for the outer pipe using PVC material and for the inner pipe using copper material with a size of 5/8 inches. Where in this study axial fins will also be installed on the outside of the pipe in a double pipe with variations in the number of fins 4, 6, and 8. From the test results, the results obtained include the more the number of fins used and the greater the water flow, the greater the heat transfer. The time and highest transfer rate value obtained to reach a temperature of 63°C is in the number of fins 8 with a variation of water flow of 12 l/min with a time of 10 minutes 40 seconds and a heat transfer rate value of 356.34 watts.

Keywords: Hot water, solar energy, PCM, paraffin, heat transfer rate.

Judul Skripsi : **KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES PELELEHAN PCM PARAFIN PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER DENGAN SIRIP AKSIAL**

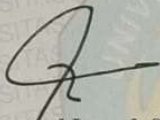
Mahasiswa : **Muhammad Farrel Gama**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1855021006**

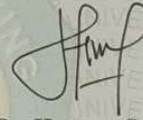
Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing



Dr. Muhammad Irsyad. S.T., M.T.
NIP. 197112142000121001

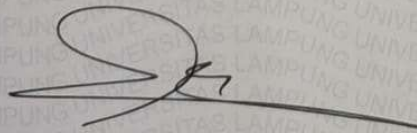


Dr. Harmen S.T., M.T.
NIP. 196906202000031001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan

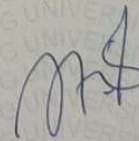
Teknik Mesin



Dr. Amrul. S.T., M.T.
NIP. 197103311999031003

Ketua Program Studi

S1 Teknik Mesin

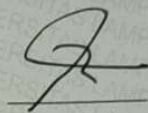


Novri Tanti. S.T., M.T.
NIP. 197011041997032001

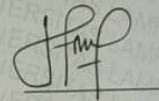
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

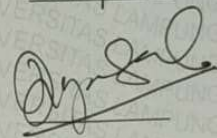
Ketua : **Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Dr. Harmen, S.T., M.T.**



Penguji Utama : **M. Dyan Susila, S.T., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. H. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **10 Februari 2023**

PERNYATAAN PENULIS

Skripsi yang berjudul "KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES PELELEHAN PCM PARAFIN PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER* DENGAN SIRIP AKSIAL" merupakan hasil karya penulis 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, 14 Februari 2023

Pembuat Pernyataan



Muhammad Farrel Gama

NPM 1855021006

MOTO

“Sukses adalah guru yang buruk. Sukses menggoda orang yang tekun ke dalam pemikiran bahwa mereka tidak dapat gagal”

(Bill Gates)

“Jangan terlalu ambil hati dengan ucapan seseorang, kadang manusia punya mulut tapi belum tentu punya pikiran”

(Albert Einstein)

“Menyia-nyiakan waktu lebih buruk dari kematian. Karena kematian memisahkanmu dari dunia, sementara menyia-nyiakan waktu memisahkanmu dari Allah”

(Imam bin Al Qayim)

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 nabi akhir zaman 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 lebih lanjut. 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 Maono dan Ibunda Sainah yang selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan memberikan restu penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku dekan fakultas teknik Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
4. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung
5. Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku dekan 1 fakultas teknik Universitas Lampung dan juga sebagai Dosen Pembimbing utama yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama pelaksanaan tugas akhir dan selama perkuliahan.

6. Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama pelaksanaan tugas akhir dan selama perkuliahan.
7. M. Dyan Susila, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya, terima kasih atas ilmu yang telah kalian berikan. Semoga kelak ilmu yang telah saya dapatkan bermanfaat.
9. Keluarga Lapas, Zikausar, Diyon, Adit, Arip, Waliyan, Kristo dan Nouval yang telah membantu, menyemangati, dan menemani hari-hari penulis sampai dengan penyelesaian skripsi ini, semoga kita dapat bertemu kembali dalam titik yang tertinggi.
10. Teman-teman Angkatan 2018 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat sejak 14 Agustus 2018 menjalin kekeluargaan.

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 Wabarakatuh.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Cirebon, pada tanggal 7 Juni 2000 sebagai anak ketiga, dari pasangan Bapak maono dan Ibu Sainah. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SD Al-Kautsar hingga tahun 2012, lalu dilanjutkan di SMP NEGERI 1 BANDAR LAMPUNG yang diselesaikan tahun 2015 dan SMA YP UNILA yang diselesaikan tahun 2018, hingga pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota. 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 **LIPI UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung** Tanjung Bintang, Lampung Selatan tahun 2021 dengan judul laporan **“ANALISIS KETANGGUHAN RETAK *GLASS-CERAMIC* MENGGUNAKAN METODE PANJANG RETAK *MICROVICKERS*”**

Tahun 2022 penulis melakukan penelitian dengan judul **“KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES PELELEHAN PCM PARAFIN PADA *DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER* DENGAN SIRIP AKSIAL”** dibawah bimbingan Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. dan Dr. Harmen, S.T., M.T.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perpindahan Panas.....	5
2.1.1 Perpindahan Panas secara Konduksi.....	5
2.1.2 Perpindahan Panas secara Konveksi	6
2.1.3 Perpindahan Panas secara Radiasi	7
2.2 Sirip Pada <i>Heat Exchanger</i>	8
2.3 Alat Penukar Kalor (<i>Heat Exchangers</i>).....	8
2.4 Jenis-jenis Alat Penukar Kalor	10
2.5 Material Berubah Fasa.....	12
2.6 Klasifikasi PCM	13
2.6.1 PCM Organik	13
2.6.2 PCM Anorganik	14
2.6.3 PCM Eutektik.....	14
2.7 Parafin	15
2.8 Sifat-Sifat Parafin	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat Pelaksanaan	19
3.2 Waktu Pelaksanaan.....	19
3.3 Alat dan Bahan	19
3.4 Diagram Alir.....	26
3.5 Skema Pengujian	27
3.6 Penempatan Titik Pengukuran.....	28

3.7 Metode Pengambilan Data	29
BAB 4 Hasil dan Pembahasan	31
4.1 Hasil Pengambilan Data	31
4.1.1 Temperatur Air Masuk dan Keluar	31
4.1.2 Temperatur Parafin.....	33
4.1.3 Temperatur Sirip	36
4.1.4 Waktu yang Dibutuhkan Untuk Mencapai 65°C.....	37
4.2 Hasil Perhitungan	40
4.2.1 Laju Perpindahan Panas Air.....	40
4.2.2 Aliran Air	40
4.2.3 Perhitungan Kinerja	44
BAB 5 KESIMPULAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2. 1 Perpindahan panas secara konduksi pada permukaan dinding.....	6
Gambar 2. 2 Perpindahan panas konveksi (a) alami (b) paksa	7
Gambar 2. 3 Profil Temperatur Aliran Co-current.....	9
Gambar 2. 4 Profil Temperatur Aliran Counter-current	10
Gambar 2. 5 Aliran <i>Double pipe heat exchanger</i>	11
Gambar 2. 6 Penukar panas <i>plate and frame</i>	11
Gambar 2. 7 <i>Shell and tube heat exchanger</i>	12
Gambar 2. 8 Klasifikasi PCM	13
Gambar 2. 9 Parafin (a) Parafin padat (b) Parafin cair.	15
Gambar 3. 1 Pemanas air listrik	20
Gambar 3. 2 <i>Thermocouple</i> dan <i>data logger</i>	20
Gambar 3. 3 Pompa air.....	21
Gambar 3. 4 <i>Water flow meter</i>	22
Gambar 3. 5 Selang Pipa Air Panas	22
Gambar 3. 6 Katup air	23
Gambar 3. 7 Alat Penukar Panas Dengan Sirip Aksial.....	24
Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 3. 9 Instalasi alat pengujian	27
Gambar 3. 10 Penempatan Titik Pengukuran	28
Gambar 4. 1 selisih perbandingan rata-rata temperatur air masuk dan air keluar alat penukar kalor.....	32
Gambar 4. 2 Perbandingan temperature rata-rata parafin 4 LPM.....	33
Gambar 4. 3 Perbandingan temperatur rata-rata parafin 8 LPM.....	34
Gambar 4. 4 Perbandingan temperatur rata-rata parafin 12 LPM.....	34
Gambar 4. 5 Perbandingan temperatur parafin pada jumlah sirip 6 dengan laju aliran 4 l/min	35
Gambar 4. 6 perbandingan temperatur sirip bawah dan atas pada jumlah sirip 4 dengan laju aliran 4 LPM.....	36
Gambar 4. 7 perbandingan waktu parafin mencapai temperatur 63°C	38

Gambar 4. 8 perbandingan laju perpindahan panas air 41
Gambar 4. 9 Perbandingan Nilai Atas dan Bawah Energi yang Dilepas Oleh Air49

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2. 1 Titik leleh dan panas peleburan laten parafin	18
Tabel 3. 2 Spesifikasi <i>data logger</i>	21
Tabel 3. 3 Ukuran alat penukar panas	24
Tabel 4. 1 Data Laju Perpindahan Panas	40
Tabel 4. 2 Perhitungan Bilangan Reynolds.....	43
Tabel 4. 3 Energi yang Dilepas	44
Tabel 4. 4 Sifat-sifat <i>Scale Parafin Wax</i>	45
Tabel 4. 5 Massa paraffin cair.....	47
Tabel 4. 6 Energi yang Dilepas Paraffin	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air panas sudah menjadi suatu kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari keperluan rumah tangga seperti mencuci alat dapur hingga untuk kebutuhan mandi. Air panas ini dibutuhkan juga untuk keperluan industri seperti pada boiler, air panas juga digunakan pada rumah sakit yaitu untuk mensterilkan pisau bedah, penyediaan air panas pada kolam renang atau hotel, dan untuk kegiatan proses lainnya. Air panas ini dapat diperoleh dengan cara dimasak ataupun dengan menggunakan pemanas air (*water heater*). Namun pada umumnya alat pemanas air ini masih menggunakan sumber utama berupa bahan bakar fosil sehingga dibutuhkan suatu alat untuk mendapatkan air panas dengan cara yang lebih ekonomis dan juga ramah lingkungan (Ganang, 2018).

Salah satu cara untuk mendapatkan sumber energi yang ekonomis dan ramah lingkungan adalah dengan menggunakan energi alternatif yang bersifat terbarukan. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan. Letak geografis Indonesia berada pada jalur khatulistiwa sehingga kondisi tersebut sangat mendukung ketersediaan energi surya. Karena potensi energi matahari yang tinggi, berlimpah dan berkelanjutan serta tidak berpolusi, energi ini menjadi suatu energi pilihan terbaik. Dengan energi surya atau sinar matahari langsung, kita dapat memanaskan air tanpa menggunakan listrik.

Untuk memanfaatkan energi matahari sebagai pemanas air maka dibutuhkan sebuah perangkat bernama kolektor surya untuk dapat mengumpulkan panas dari energi matahari yang kemudian diubah menjadi energi kalor. Namun energi matahari ini memiliki waktu tertentu untuk dapat dimanfaatkan sedangkan penggunaan dari pemanas air ini harus mempunyai fleksibilitas terhadap waktu. Maka diperlukan sebuah media yang dapat menyimpan energi termal pada sistem pemanas air tenaga surya tersebut.

Salah satu media penyimpanan energi termal adalah *phase change material* (PCM). *Phase change material* sendiri merupakan material yang ketika menyimpan kalor disertai dengan perubahan fasa, biasanya dari fasa padat ke cair, dimana perubahan fase ini terjadi pada temperatur yang relatif konstan (Korawan, 2019). Salah satu *phase change material* yang dapat digunakan untuk menyimpan energi termal yaitu parafin. Parafin sendiri memiliki sifat termal yang baik, dan juga tidak beracun.

Parafin memiliki sifat yang tidak mudah bereaksi dengan wadah penampungan yang akan dipakai. Ketersediaan dari parafin sendiri di alam sangat melimpah, mudah ditemukan, dan harganya terjangkau. Parafin sendiri mempunyai konduktivitas termal sebesar 0,2 W/m.K. dengan titik leleh 51°C sampai 57°C, serta kalor laten 170 kJ/kg. Penggunaan parafin dalam kehidupan sehari-hari dapat ditemukan di beberapa bidang seperti kebutuhan rumah tangga yang digunakan sebagai media penyimpan panas pada *Solar Water Heater* dengan temperatur leleh 51°C, sedangkan dalam bidang kesehatan digunakan untuk keperluan terapi dengan temperatur leleh 45°C.

Terdapat *phase change material* dalam bahan non paraffin, pada PCM ini banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini memiliki sifat khusus yang tidak sama dengan jenis paraffin lainnya. Diantara bahan non paraffin tersebut yang paling banyak adalah jenis asam lemak, alcohol, dan jenis glikol (Sawhney, 1994). Pada penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa penggunaan sirip dapat meningkatkan laju perpindahan panas. Sebagian besar studi hanya terfokus pada jenis *heat exchanger shell and tube* dan juga menggunakan sirip dengan bentuk ulir ataupun delta. Penggunaan *heat exchanger* dengan jenis *double pipe* dan menggunakan sirip aksial masih belum banyak dilaporkan di dalam literatur.

Hal inilah yang melatar belakangi kegiatan penelitian ini yang berjudul **“Kajian Eksperimental Perpindahan Kalor Proses Pelelehan PCM Parafin Pada *Double Pipe Heat Exchanger* Dengan Sirip Aksial”**. Dalam penelitian ini digunakan PCM jenis paraffin dengan RT – 55 (temperatur

leleh 51-57°C) sebagai penyimpan energi termal dimana memiliki sifat-sifat yang baik dan sangat memungkinkan jika dikembangkan lebih lanjut. Pada penelitian ini juga dilakukan pemasangan sirip secara aksial pada pipa bagian dalam *double pipe* untuk mengetahui pengaruh perpindahan panasnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran air serta jumlah sirip pada pipa terhadap temperatur parafin dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 63°C.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran air serta jumlah sirip pada pipa terhadap laju perpindahan panas yang terjadi pada parafin selama proses pemanasan parafin.
3. Mengetahui pengaruh jumlah sirip dan laju aliran terhadap karakteristik perpindahan panas dari proses pelelehan pada PCM parafin.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memudahkan dalam proses penelitian, peneliti membatasi cakupan pembahasan masalah. Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis PCM yang akan digunakan adalah parafin padat atau lilin parafin.
2. Bentuk sirip yang dirancang adalah aksial.
3. Jenis material sirip yang digunakan adalah pelat tembaga dengan variasi jumlah sirip 4, 6, dan 8.
4. Variasi kecepatan aliran air sebesar 4 l/min, 8 l/min, dan 12 l/min.
5. Jenis material pipa luar alat penukar kalor yang digunakan adalah pipa PVC dengan ukuran 2 inch.

6. Jenis material pipa dalam alat penukar kalor yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ukuran 5/8 inch.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. PENDAHULUAN

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

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan landasan teori mengenai hal-hal yang berhubungan dengan penelitian seperti perpindahan panas, material berubah fasa (PCM), parafin, alat penukar kalor dan lainnya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

5. PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan tentang referensi yang digunakan oleh penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Berisikan perlengkapan laporan penelitian.

BAB 2

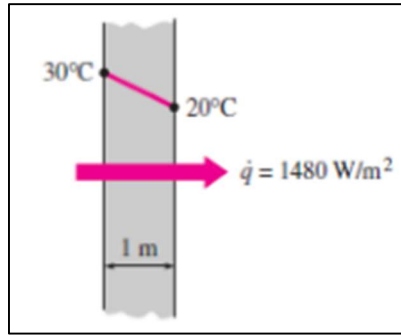
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau perpindahan kalor merupakan berpindahnya suatu kalor dari benda yang dengan suhu tinggi ke benda yang dengan suhu rendah dan terjadi secara alami maupun secara paksa. Perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk 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 sebagai perpindahan panas. Terdapat tiga jenis perpindahan panas yang terjadi, antara lain perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

2.1.1 Perpindahan Panas secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium yang berlainan dan bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi. Dalam aliran panas konduksi, energi panas dapat terjadi karena adanya interaksi molekul yang terjadi secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Kecepatan gerak molekul media perpindahan panas konduksi berupa gas lebih besar dari gerak molekul cairan, namun jarak antar molekul-molekul cairan lebih pendek dari jarak antara molekul pada fasa gas (buchori, 2004). Contoh perpindahan panas konduksi yang terjadi pada permukaan dinding yang dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Perpindahan panas secara konduksi pada permukaan dinding (Cengel, 2003)

Persamaan perpindahan konduksi pada sebuah benda, seperti diperlihatkan pada persamaan berikut:

$$\bar{Q}_{\text{cond}} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Dimana: \bar{Q}_{cond} : Laju perpindahan panas (W)

A : Luas penampang (m^2)

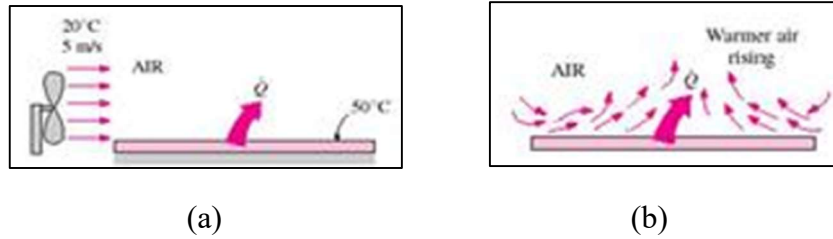
k : Konduktivitas termal (W/m.K)

T : Temperatur (K)

x : Tebal (m)

2.1.2 Perpindahan Panas secara Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas karena adanya gerakan atau aliran pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Perpindahan panas konveksi secara umum dibagi menjadi 2 cara, yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Pada konveksi bebas bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan dan karena perbedaan suhu. Untuk konveksi paksa yaitu perpindahan panas yang alirannya dipengaruhi oleh gaya dari luar atau gaya tambahan. Berikut ini merupakan contoh perpindahan panas konveksi yang dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Perpindahan panas konveksi (a) alami (b) paksa
(Holman, 2010)

Perpindahan panas secara konveksi pada sebuah benda diperlihatkan pada persamaan berikut:

$$\bar{Q}_{\text{conv}} = -h A \Delta T \quad (2.2)$$

- Dimana: \bar{Q}_{conv} : Perpindahan panas konveksi (W)
 h : Koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
 A : Luas penampang (m^2)
 ΔT : Beda temperatur (K)

2.1.3 Perpindahan Panas secara Radiasi

Koestoer (2002) mengemukakan bahwa radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket energi (foton), yang dapat mencapai laju perpindahan panas radiasi, dan perpindahan panas benda dipengaruhi oleh banyak faktor. Laju perpindahan energi tergantung pada beberapa faktor, yaitu suhu permukaan yang memancarkan dan menerima radiasi, emisivitas, refleksi, penyerapan dan transmisi permukaan yang diterangi, dan faktor sudut pandang antara permukaan pemancar dan penerima (Wahyono, 2019). Dengan rumus perpindahan panas secara radiasi adalah sebagai berikut:

$$\bar{Q}_{\text{rad}} = e \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.3)$$

- Dimana: \bar{Q}_{rad} : Perpindahan panas radiasi (W)
 e : Emisivitas
 σ : Konstanta Stefan-bolzmann $5,67 \times 10^{-8}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4$)

2.2 Sirip Pada *Heat Exchanger*

Fin (sirip) pada alat penukar panas (*heat exchanger*) merupakan tambahan yang dipasangkan pada alat penukar dimana bertujuan untuk memperbesar laju perpindahan panas. Ada banyak situasi yang berbeda, termasuk kombinasi efek konveksi-konduksi, tetapi aplikasi yang paling umum adalah di mana luas permukaan yang diperluas secara khusus digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas antara padatan dan cairan yang berdekatan. Permukaan yang diperpanjang seperti itu disebut sirip. Jenis sirip yang dipilih tergantung pada ruang yang tersedia, berat, proses pembuatan, biaya, dan tentunya besar perpindahan panas tambahan yang dapat dihasilkan. Semakin banyak sirip maka mungkin luasnya semakin besar untuk perpindahan panas yang lebih besar, akan tetapi menyebabkan *pressure drop* juga untuk aliran fluida yang melewati sirip. Sirip dipasang ke permukaan primer dengan, menyolder, mengelas, atau dengan cara mengikat perekat dan dihubungkan secara integral ke tabung.

$$L_c = L + \frac{t}{2} \quad (2.4)$$

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (2.5)$$

2.3 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchangers*)

Alat penukar kalor (*Heat Exchangers*) merupakan alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas diantara dua fluida yang memiliki temperatur yang berbeda tanpa mencampurkan kedua fluida tersebut. Alat penukar kalor biasanya digunakan pada aplikasi yang luas, seperti dalam kasus pemanasan dan sistem pengkondisian udara, proses-proses kimia dan proses pembangkitan tenaga. Perpindahan panas pada alat penukar kalor biasanya terdiri dari konveksi di setiap fluida dan konduksi pada dinding yang memisahkan kedua fluida. Pada alat penukar kalor terdapat laju aliran perpindahan panas, persamaan berikut dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (2.6)$$

Dimana: \dot{Q} = Laju perpindahan panas (W)

\dot{m} = Laju aliran (l/min)

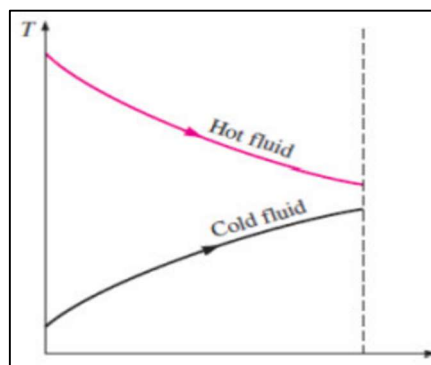
C_p = Panas spesifik (J/Kg °C)

ΔT = Perubahan temperature (°C)

Pada alat penukar kalor terdapat dua aliran yaitu aliran searah dan aliran berlawanan arah yaitu sebagai berikut:

1. Aliran Searah

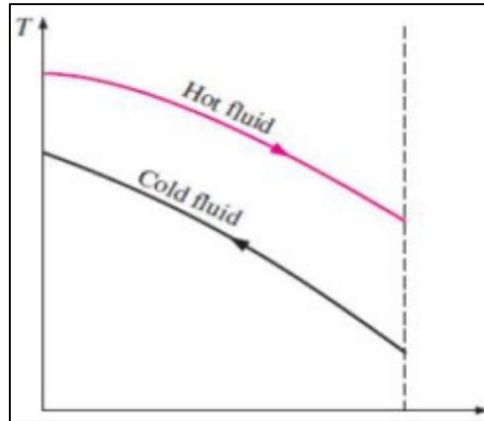
Pada penukaran panas dengan aliran searah, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter penukar panas jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas, sehingga diperlukan media pendingin atau pemanas yang banyak. Gambar 2.3 merupakan profil temperature aliran *Co-current*.



Gambar 2. 3 Profil Temperatur Aliran Co-current (Cengel, 2003)

2. Berlawanan Arah

Berbeda dengan aliran searah yang kedua fluidanya masuk dan keluar pada sisi yang sama. Pada penukar panas berlawanan arah, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar kalor, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah. Gambar 2.4 merupakan contoh dari aliran berlawanan arah.



Gambar 2. 4 Profil Temperatur Aliran Counter-current (Cengel, 2003)

Penukar kalor juga diklasifikasikan berdasarkan proses transfer. Terdapat 2 klasifikasi alat penukar kalor berdasarkan proses transfernya, yaitu alat penukar kalor langsung dan tidak langsung. Alat penukar kalor yang langsung adalah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung (*direct contact*) dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu.

Sedangkan alat penukar kalor yang tidak langsung adalah dimana fluida panas tidak berhubungan secara langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara seperti pipa, plat atau peralatan jenis lainnya.

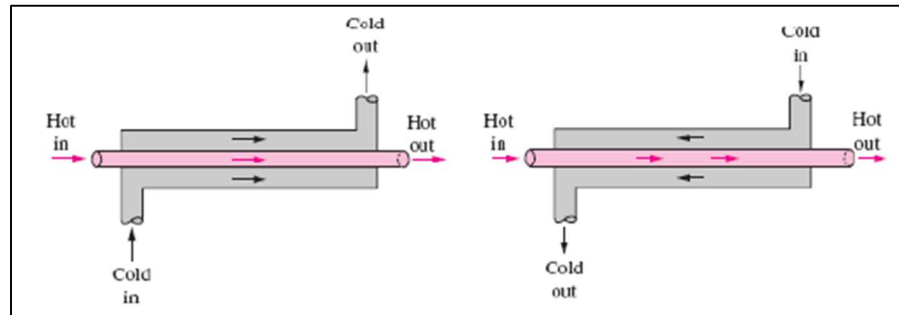
2.4 Jenis-jenis Alat Penukar Kalor

Jenis-jenis heat exchanger dapat dibedakan atas:

1. Tipe pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*)

Double pipe heat exchanger merupakan alat penukar kalor dimana suatu aliran fluida dalam pipa mengalir dari titik sisi satu ke sisi lain, dengan *space* yang mengalir di dalam pipa. Cairan yang mengalir dapat berupa aliran searah atau berlawanan. Alat pemanas ini dapat dibuat dari pipa yang panjang dan dihubungkan satu sama lain. *Double pipe heat exchanger* merupakan alat yang cocok dikondisikan untuk aliran dengan

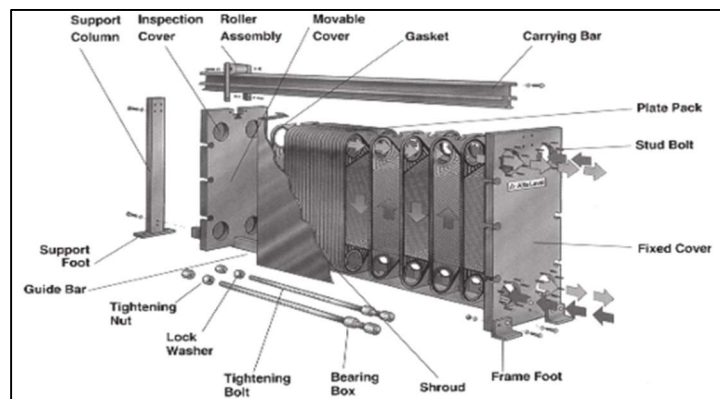
laju aliran yang kecil. Aliran dalam alat penukar kalor ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5 berikut;



Gambar 2. 5 Aliran *Double pipe heat exchanger* (Cengel, 2003)

2. Tipe *plate and frame*

Alat penukar panas jenis ini terdiri dari paket pelat-pelat yang tegak lurus, bergelombang, atau dengan profil lain. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak. Kebanyakan pelat berbentuk segi empat dan terdapat lubang untuk mengalirkan fluida. Melalui dua dari lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang lain, sedangkan untuk fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi di sebelahnya karena terdapat sekat. Gambar 2.6 merupakan contoh dari *heat exchanger tipe plate and frame*.

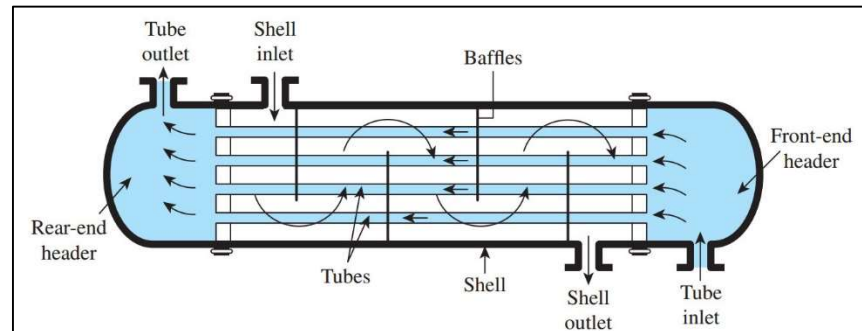


Gambar 2. 6 Penukar panas *plate and frame* (Ricky,2020)

3. Tipe tabung dan pipa (*shell and tube heat exchanger*)

Shell and tube heat exchanger biasanya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi, yang terdiri dari sebuah selongsong yang di

dalamnya disusun suatu *annulus* dengan rangkaian tertentu (untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal). Fluida mengalir di selongsong maupun di *annulus* sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida dengan dinding *annulus* misalnya triangular pitch (pola segitiga) dan square pitch (pola segiempat). Gambar 2.7 merupakan contoh *heat exchanger* dengan tipe *shell and tube*.



Gambar 2. 7 *Shell and tube heat exchanger* (Francesca, 2020)

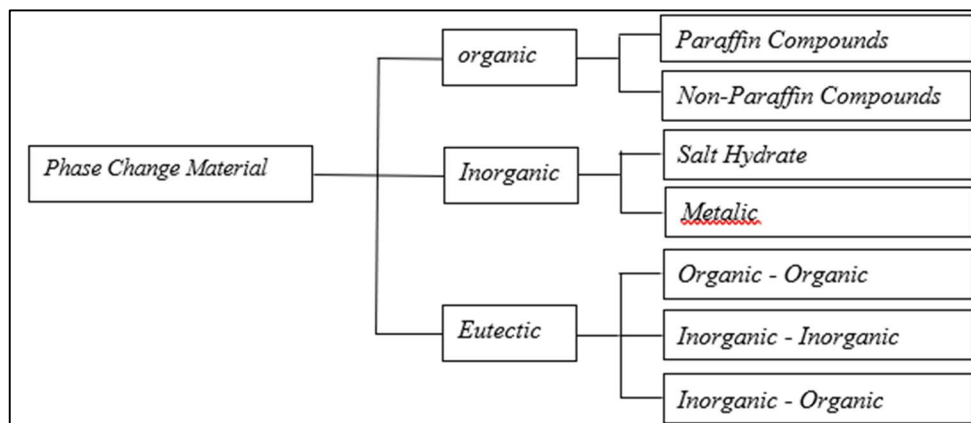
2.5 Material Berubah Fasa

Bahan berubah fasa atau yang biasa disebut dengan *Phase Change Materials* (PCM) dan dikenal sebagai bahan-bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Meng, 2008). Perubahan fasa dapat berupa benda padat yang menjadi cair atau sebaliknya benda cair yang menjadi padat. PCM dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari contohnya yaitu asam lemak, minyak nabati, garam hidrat dan parafin atau yang biasa digunakan sebagai bahan baku lilin. Pada saat temperatur naik, ikatan kimia pada suatu molekul PCM akan lepas. Pada PCM padat-cair material tersebut akan meleleh atau mencair. Dalam perubahan fasa ini terjadi reaksi endotermik. Sebaliknya pada saat temperatur turun maka PCM akan membeku yang diiringi dengan reaksi isotermik, maksudnya adalah terjadinya proses pelepasan kalor hingga proses pembekuan selesai (Kusumah dkk., 2020).

PCM memiliki sifat fisik yaitu keseimbangan fasa, dimana stabilitas fase selama peleburan dan pembekuan akan menguntungkan dalam pengaturan temperatur penyimpan kalor. Kemudian massa jenis material yang tinggi, yang mana akan memperkecil ukuran dari bejana penampung. Serta perubahan volume yang kecil, dan tekanan penguapan yang rendah akan mengurangi masalah dalam penampungan. PCM juga memiliki sifat kimia yaitu tidak beracun dan tidak menimbulkan kebakaran (Korawan, 2019).

2.6 Klasifikasi PCM

Berdasarkan kondisi perubahan fasanya, PCM dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu padat-cair, cair-gas dan padat-gas. Di antara jenis ini, PCM padat-cair adalah PCM yang paling umum digunakan untuk penyimpanan energi panas. Secara umum, PCM padat-cair dibagi menjadi tiga bagian, yaitu PCM komposisi organik, PCM komposisi anorganik dan eutektik (Zhou, 2011). Dapat dilihat pada gambar 2.9 merupakan klasifikasi dari PCM organik, inorganik dan eutectic.



Gambar 2. 8 Klasifikasi PCM (Zhou, 2001)

2.6.1 PCM Organik

Material berubah fasa organik terdiri dari parafin dan non parafin. Bahan organik termasuk bahan yang dapat melebur dan membeku berulang kali tanpa adanya pengurangan volume dan biasanya tidak korosif. Lilin parafin terdiri dari campuran dengan rumus kimia CH_3-

$(\text{CH}_2)_n\text{-CH}_3$. Parafin memenuhi syarat sebagai panas bahan penyimpanan fusi karena ketersediaan mereka dalam berbagai suhu yang besar.

Non-organik parafin adalah yang paling banyak dari bahan fase perubahan dengan sifat yang sangat bervariasi. Masing-masing bahan akan memiliki sifat sendiri tidak seperti parafin, yang memiliki sifat sangat mirip. Hal ini merupakan kategori terbesar bahan kandidat untuk penyimpanan fase perubahan.

2.6.2 PCM Anorganik

PCM anorganik diklasifikasi menjadi metallic dan garam hidrat yang umumnya menggunakan garam-garam alami dari laut, dari endapan mineral atau produk sampingan dari proses yang lain (Kusumah dkk., 2020). PCM anorganik memiliki keunggulan panas laten volumetric tinggi, konduktivitas termal lebih tinggi, fusi termalnya sangat bagus, harga lebih murah, dan ketersediaan melimpah, serta tidak mudah terbakar. Sedangkan kekurangannya yaitu volume yang diubah adalah pendinginan super yang sangat tinggi, dan juga sifatnya yang korosif (Mofijur dkk., 2019).

2.6.3 PCM Eutektik

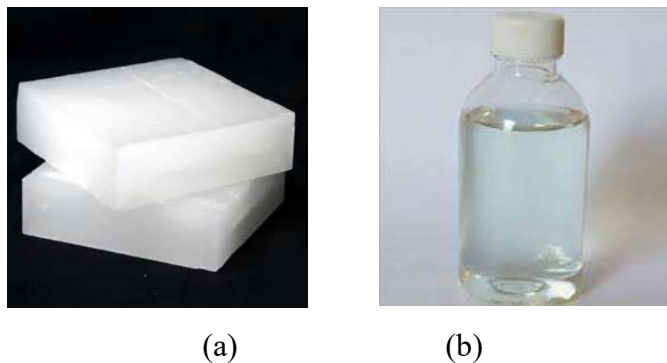
Eutectic merupakan material berubah fasa dari campuran dua PCM baik organik-organik, organik-non organik, ataupun non organik-non organik. Material ini memiliki keunggulan yaitu titik leleh yang tajam dan kepadatan penyimpanan volumetrik tinggi, namun memiliki kelemahan yaitu ketersediaan data termofisik yang rendah (Mofijur dkk., 2019).

syarat penggabungan kedua bahan ini adalah kedua bahan tersebut dapat bercampur (tidak terpisah) secara seimbang. Selain itu, kombinasi kedua bahan tersebut harus memiliki suhu leleh dan suhu

beku yang sama agar kedua bahan tersebut dapat terjadi secara bersamaan saat PCM membeku dan mencair.

2.7 Parafin

Parafin merupakan suatu bagian dari hidrokarbon dengan formula C_nH_{2n+2} yang bentuknya dapat berupa gas tidak berwarna, cairan putih, atau padatan yang memiliki titik cair rendah, yang mana parafin bersumber dari mineral pada minyak bumi mentah (Aminah dkk., 2004). Parafin diperoleh dari hasil penyulingan minyak yang masih banyak mengandung hidrokarbon. Parafin memiliki konsentrasi atom karbon yang berbeda, semakin banyak atom karbon maka semakin panjang rantai karbonnya, sehingga fasa parafin semakin rapat. Parafin dengan kandungan atom C_{14} - C_{32} (Sharma dkk, 2009) merupakan parafin dengan fasa cair. Dapat dilihat pada gambar 2.9 yang merupakan contoh dari paraffin padat dan paraffin cair.



Gambar 2. 9 Parafin (a) Parafin padat (b) Parafin cair.

Parafin padat mempunyai temperatur leleh antara 42-62 °C dan mempunyai panas laten yang cukup tinggi sehingga sering dimanfaatkan sebagai penyimpan energi termal. Hal tersebut disebabkan karena mudah menyerap, menyimpan, dan melepaskan energi termal yang ditandai dengan perubahan fasa dari bentuk padat menjadi cair atau sebaliknya (Gasia et al, 2016).

Penggunaan parafin sebagai penyimpan energi termal memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan parafin merupakan keuntungan bagi penggunaannya, sedangkan kerugian parafin merupakan masalah yang harus diatasi bila digunakan sebagai penyimpan energi panas. Oleh karena itu, pemilihan material PCM untuk penyimpanan energi panas harus

diperhatikan. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan parafin sebagai penyimpan energi termal.

1. Kelebihan

Kelebihan parafin sebagai penyimpan energi panas adalah tidak menunjukkan perubahan sifat termal setelah penggunaan terus menerus, memiliki panas laten yang tinggi, umumnya tidak superdingin, tidak reaktif, tidak berbau, aman lingkungan, tidak beracun, cocok untuk penyimpanan dalam wadah logam dan cocok untuk digunakan dalam penyimpanan energi panas untuk penyimpanan dengan berbagai jenis (Sarier dan Onder, 2012).

2. Kelemahan

Kelemahan parafin sebagai alat penyimpan energi panas adalah memiliki konduktivitas panas yang rendah pada fasa padat, sehingga menjadi masalah ketika digunakan sebagai alat penyimpan panas, namun masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan sirip pada perpindahan panas. . permukaan atau dengan menambahkan bahan logam ke Parafin untuk meningkatkan konduktivitas termal. Selain itu, parafin memiliki sifat mudah terbakar, sehingga desain tangki penyimpanan parafin harus lebih diperhatikan. (Sharma dan Sagara, 2005).

2.8 Sifat-Sifat Parafin

Sifat-sifat paraffin merupakan suatu karakteristik yang terdapat pada paraffin. Karakteristik tersebut juga dapat berupa massa jenis, panas spesifik, konduktivitas termal, panas laten, dan temperatur leleh dari paraffin. Berikut ini dapat dijelaskan sifat-sifat paraffin adalah sebagai berikut:

1. Massa jenis

Massa jenis parafin adalah 880 kg/m³ pada 20 °C. Kepadatan parafin dapat meningkat pada suhu rendah. Peningkatan densitas ini disebabkan oleh

penyusutan parafin, atau peningkatan densitas ruah sehingga volume parafin berkurang. Namun sebaliknya, kerapatan parafin juga dapat menurun pada suhu tinggi. Ini karena parafin mengembang pada suhu tinggi, sehingga volume parafin bertambah (Inouye, 1934).

Oleh karena itu, penggunaan parafin sebagai penyimpan energi termal harus diperhatikan, terutama mengenai volume parafin yang mengembang. Volume penyimpanan parafin harus ditingkatkan sehingga ketika suhu parafin naik, proses pemuaian dapat diantisipasi dengan volume yang besar dan padat.

2. Panas Spesifik

Panas spesifik parafin pada suatu fasa padat yaitu 2 kJ/kg K sedangkan pada fasa cair parafin memiliki panas spesifik sebesar 2,2 kJ/kg K (Data Sheet RT50, 2020). Parafin ketika digunakan sebagai penyimpan energi termal, jumlah panas yang diserap cukup besar sesuai dengan jumlah massa parafin yang digunakan. Namun waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan panas bertambah. Ini karena panas spesifik lebih besar pada fase cair daripada fase padat (Fischer, 2006).

3. Konduktifitas Termal

Konduktifitas termal paraffin memiliki nilai sangat rendah yaitu sebesar 0.2 W/m.K. Dengan ini, laju perpindahan panas selama penyerapan dan pelepasan panas menjadi sangat lambat. Konduktivitas termal parafin dapat ditingkatkan dengan mencampur parafin dan bahan konduktivitas termal yang tinggi.

4. Panas Laten

Parafin adalah bahan perubahan fasa (PCM) dengan panas laten yang relatif tinggi. Nilai panas laten parafin dapat bervariasi tergantung pada jumlah ikatan karbon. Panas laten parafin yang tinggi menguntungkan sebagai penyimpan energi panas, karena pada dasarnya bahan dengan panas laten yang tinggi dapat menyerap dan menyimpan panas lebih banyak dan lebih

baik tanpa perubahan suhu. Panas laten parafin yang berbeda disebabkan oleh jumlah ikatan karbon yang berbeda.

5. Temperatur Leleh

Parafin sendiri memiliki suhu leleh yang bervariasi tergantung dari jumlah ikatan antar atom karbon. Semakin tinggi konsentrasi atom karbon dalam parafin, semakin tinggi titik lelehnya dan sebaliknya. Hal ini dikarenakan jumlah atom karbon dengan banyak ikatan memiliki rantai karbon yang lebih panjang, membentuk molekul yang lurus dan teratur. Akibatnya, kontak antar molekul diperpanjang dan gaya tarik-menarik antar molekul diperkuat, sehingga sejumlah besar energi, yang dapat dicapai pada suhu tinggi, diperlukan untuk mengatasi gaya-gaya ini.. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa parafin dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Titik leleh dan panas peleburan laten parafin (Sharma dkk, 2009)

Nomor atom	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
14	5.5	228
15	10	205
16	16.7	237.1
17	21.7	213
18	28	244
19	32	222
20	36.7	246
21	40.2	200
22	44	249
23	47.5	232
24	50.6	255
25	49.4	238
26	56.3	256
27	58.8	236
28	61.6	253
29	63.4	240
30	65.4	251
31	68	242
32	69.5	170
33	73.9	268
34	75.9	269

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian yang mengkaji suatu perpindahan kalor pada material perubahan fasa berupa parafin di dalam alat penukar kalor sebagai media untuk menyimpan serta memberikan kalor. Bahan baku PCM yang akan digunakan pada penelitian ini adalah parafin. Hal ini disebabkan karena parafin memiliki harga yang ekonomis dan ketersediaannya yang melimpah serta memiliki karakteristik yang baik sebagai *thermal energy storage*. Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah alat penukar kalor dengan tipe *double pipe heat exchanger* dimana pada penelitian ini juga akan dipasangkan sirip aksial pada sisi luar pipa dalam *double pipe* dengan variasi jumlah sirip 4, 6, dan 8. Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan secara eksperimental sehingga membutuhkan waktu dan tempat untuk melakukan pengujiannya. Adapun waktu dan tempat serta hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

3.1 Tempat Pelaksanaan

Pengambilan data Penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.2 Waktu Pelaksanaan

Adapun waktu pelaksanaannya dilakukan dari bulan April 2022 sampai dengan bulan Juli 2022.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

a. Pemanas air

Pemanas air yang digunakan berupa koil pemanas, yaitu perangkat yang digunakan untuk memanaskan air atau udara. Biasanya listrik, koil

pemanas bertindak seperti resistor besar, dan saat arus listrik mengalir melaluinya, ia mulai memanaskan. Koil pemanas yang digunakan mempunyai daya sebesar 600 Watt. Nantinya koil pemanas ini akan dihubungkan dengan listrik dan dicelupkan pada air untuk memanaskan air pada suhu tertentu. Berikut adalah gambar dari pemanas air.



Gambar 3. 1 Pemanas air listrik

b. *Data Logger* dan *Thermocouple*

Data Logger dan *Thermocouple* digunakan untuk mengukur: temperatur parafin, temperatur fluida masuk dan keluar alat penukar panas, temperatur fluida masuk dan keluar tabung penyimpanan air. Perubahan temperatur 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 *Thermocouple* dan *data logger*

Tabel 3.2 berikut ini merupakan spesifikasi dari *data logger* yang digunakan:

Tabel 3. 1 Spesifikasi *data logger*

Merk	LU BTM-4208SD
Suhu <i>min</i> /<i>max</i>	-50° s/d 1300° C
<i>Record external</i>	0,1° C
Ketelitian	SD Card
Maks. <i>input</i>	12 saluran

c. Pompa Air

Pompa air ini berfungsi untuk mensirkulasi air untuk masuk dan keluar dari alar penukar kalor hingga perpindahan panas maksimal terjadi. Pompa air yang dipakai adalah pompa air akuarium, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 berikut.



Spesifikasi:

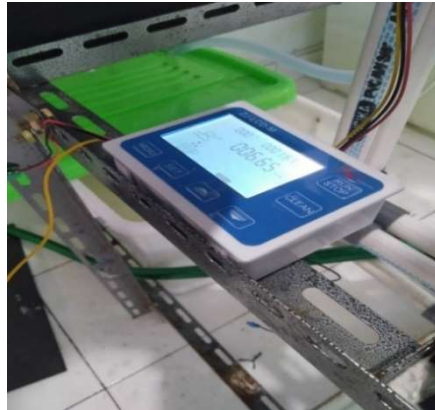
- Daya: 60/85/120 Watt
- Voltase: 220 V
- Temperatur air (maks.): 90°C
- Tekanan sistem (maks.): 10 bar
- Daya dorong (maks.): 9 meter
- Kapasitas (maks.): 1.6 m/h
- Ukuran pipa: 3/4 inch

Gambar 3. 3 Pompa air

d. *Water flow meter*

Water flow meter 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 flow meter* yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini:



Spesifikasi:

- Merk: ZJ-LCD-M
- Satuan: LPM (Liter per menit)
- Rentang tegangan operasi: DC 24V/1A
- Rentang kuantitatif: 1-9999 LPM

Gambar 3. 4 *Water flow meter*

e. Selang Pipa Air Panas

Selang air yang digunakan dalam penelitian ini adalah selang pipa air panas dimana selang ini dikhususkan untuk mengalirkan fluida panas yang digunakan untuk menghubungkan aliran fluida seperti pada skema pengujian. Selang pipa air panas yang digunakan adalah Pipa Westpex R dengan ukuran diameter 16 mm atau 5/8 inch dan ketahanan suhu sampai dengan 110°C seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3. 5 Selang Pipa Air Panas

f. Katup air

Katup air berfungsi mengontrol jumlah fluida yang mengalir seperti memperbesar dan memperkecil serta memutus aliran fluida dengan cara memutar pegangannya. penelitian ini menggunakan keran air sistem putar yang di dalamnya terdapat bola sebagai penutup seperti terlihat pada Gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3. 6Katup air

g. Alat penukar kalor

Alat penukar kalor yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat penukar kalor tipe *double pipe* dimana parafin terletak di bagian luar pipa sedangkan air mengalir di bagian dalam pipa. Bagian dalam pipa menggunakan bahan tembaga dengan diameter 5/8 inch dan pada bagian luar pipa menggunakan kaca akrilik dengan diameter 2 inch. Panjang keseluruhan dari alat penukar kalor ini adalah 50 cm.

Pada penelitian ini dilakukan variasi kecepatan aliran air juga digunakan tambahan sirip pada sisi luar pipa dalam *double pipe* dan dilakukan variasi jarak sirip seperti yang telah di rinci sebagai berikut:

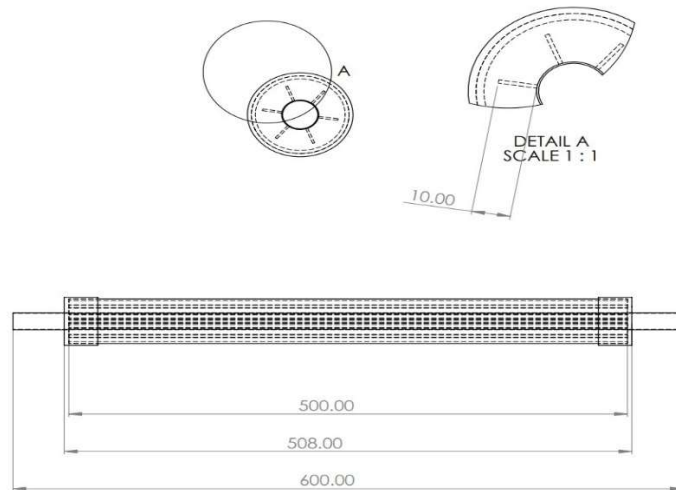
1. Variasi Kecepatan Aliran Air

Kecepatan aliran air yang divariasikan pada penelitian ini adalah 4 l/min, 8 l/min, dan 12 l/min.

2. Variasi Jumlah Sirip

Jumlah antar sirip dapat divariasikan dari 4, 6, dan 8 buah untuk mengetahui pengaruh kerapatan sirip terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh.

Desain alat penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini:



Gambar 3. 7 Alat Penukar Panas Dengan Sirip Aksial

Detail dari desain alat dapat dilihat pada tabel Tabel 3.2 berikut ini:

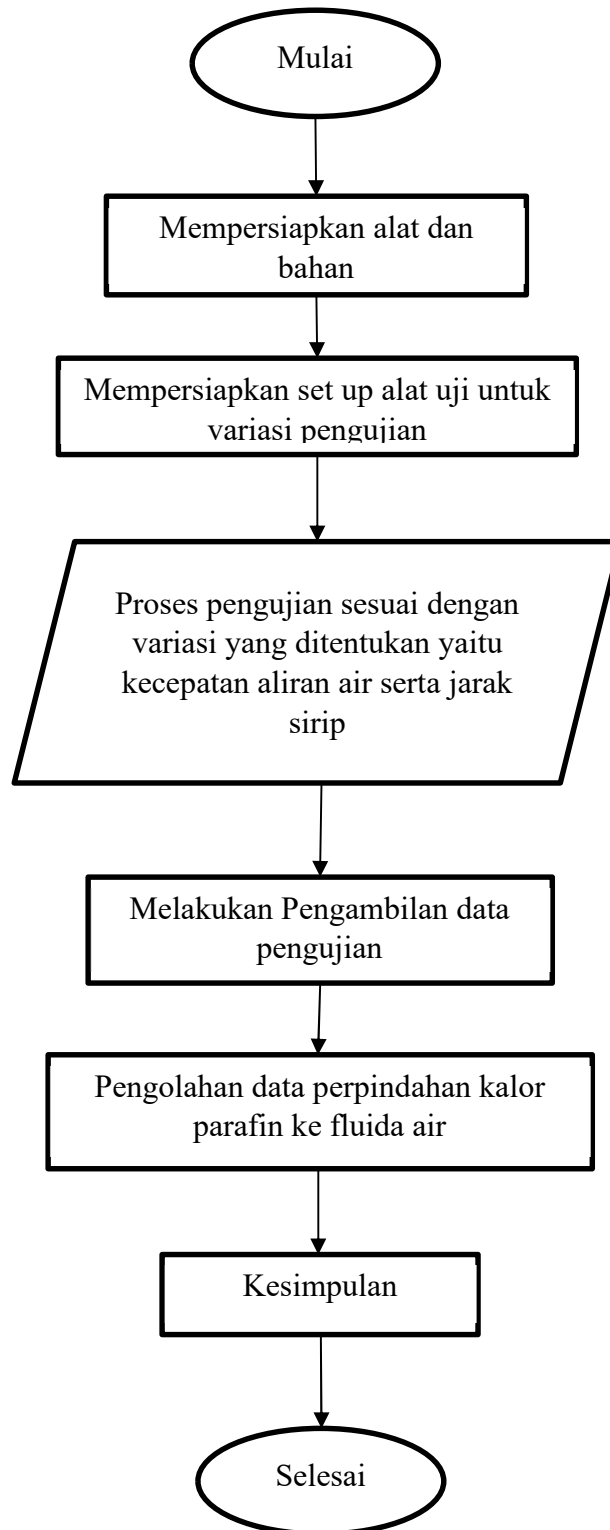
Tabel 3. 2 Ukuran alat penukar panas

Nama	Keterangan
Pipa tembaga	Ukuran: 5/8" Panjang: 60 cm Diameter dalam: 15 mm Diameter luar: 16 mm
Pipa PVC	Ukuran: 2" Panjang: 50 cm Diameter dalam: 56.4 mm Diameter luar: 59 mm
Pipa akrilik	Ukuran: 2" Panjang: 50 cm Diameter dalam: 46 mm Diameter luar: 50 mm
Sirip	Diameter dalam: 16 mm Diameter luar: 36 mm Tinggi: 10 mm L (Jumlah Sirip): 4,6, dan 8

2. Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah air dan parafin. Air disirkulasikan oleh pompa dari penampungan air menuju alat penukar kalor kemudian kembali ke penampungan air. Parafin sebagai material berubah fasa yang digunakan berjenis padat atau lilin parafin yang kemudian diletakkan pada pipa bagian luar *double pipe*.

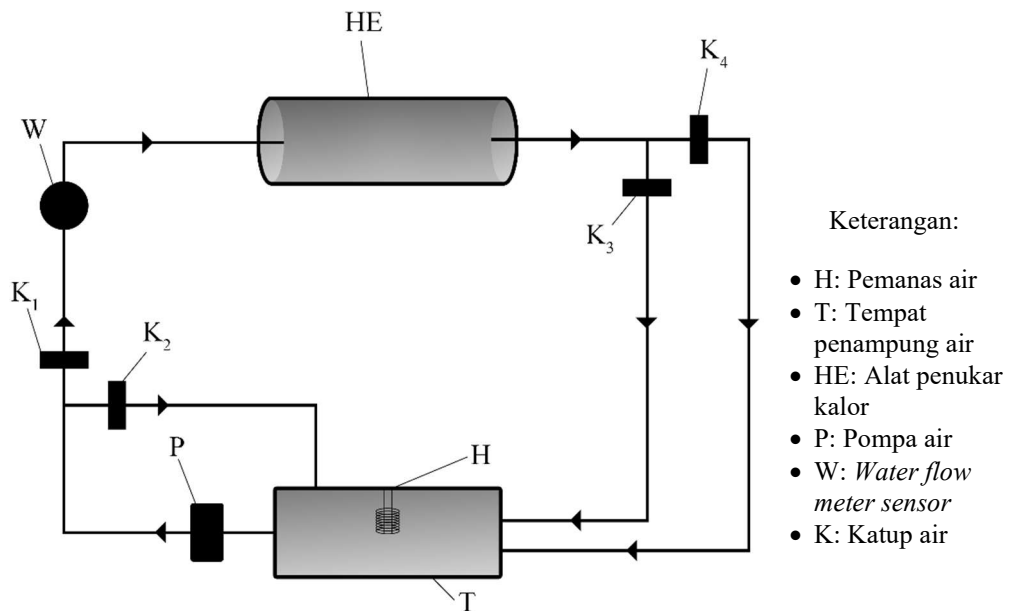
3.4 Diagram Alir



Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian

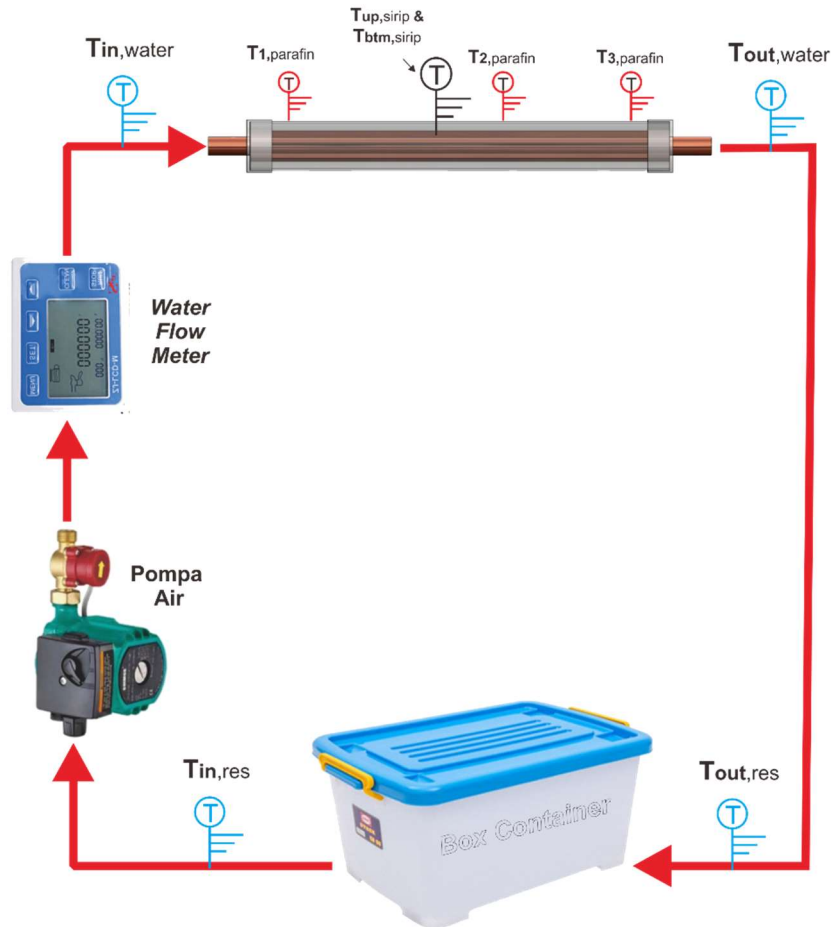
3.5 Skema Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan skema pengujian yang mana bermula dari parafin masih dalam bentuk padat, kemudian fluida berupa air dipanaskan di tempat penampung air panas yang kemudian panasnya dialirkan ke *double pipe* dengan menggunakan pompa hingga parafin mencair. Kecepatan dari aliran air ini dapat dikontrol dengan menggunakan katup air serta kecepatan alirannya dapat dilihat melalui *water flow meter sensor*. Temperatur parafin, temperatur fluida masuk dan keluar penukar panas, serta temperatur masuk dan keluar tempat penampung air dapat diketahui dengan *thermocouple* dan *data logger*. Instalasi alat pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3. 9 Instalasi alat pengujian

3.6 Penempatan Titik Pengukuran



Gambar 3. 10 Penempatan Titik Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran temperatur dan debit aliran air. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel dan pengukuran debit aliran air dengan menggunakan *water flow meter*. Digunakan 9 buah termokopel untuk melakukan pengukuran temperatur.

$T_{in,water}$ merupakan temperatur air sebelum masuk pada *double pipe*, $T_{out,water}$ merupakan temperatur air sesudah keluar dari *double pipe*, $T_{1,parafin}$ merupakan temperatur parafin yang diletakkan 10 cm setelah pangkal pipa, $T_{2,parafin}$ merupakan temperatur parafin yang diletakkan ditengah pipa, $T_{3,parafin}$ merupakan temperatur parafin yang diletakkan 10 cm sebelum ujung pipa, pada $T_{btm,sirip}$ adalah temperatur sirip bawah inner pipe, $T_{up,sirip}$ merupakan temperatur sirip atas inner pipe, $T_{in,res}$ adalah

temperatur air sesudah keluar reservoir, dan $T_{out,res}$ adalah temperatur air sebelum masuk ke reservoir kembali.

Untuk mengukur debit aliran air, *water flow meter* akan disambungkan dengan pipa penghubung diantara double pipe dan katup *bypass*. Pengambilan data temperatur dilakukan setiap 10 detik dengan menggunakan data *logger*. Percobaan dilakukan sebanyak 9 kali dimana terdiri dari 3 variasi debit air (4 l/min, 8 l/min, dan 12 l/min) dan 3 variasi jumlah sirip (4, 6, dan 8).

3.7 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti pompa air, *thermocouple* dan *data logger*, *water flow meter sensor*, pemanas air, tempat penampung air, alat penukar kalor, parafin, pipa air PVC, dan katup air.
2. Merangkai alat dan bahan seperti pada skema pengujian.
3. Menghidupkan data logger dan memasang *thermocouple*, dengan susunan CH 1, dan CH 2 temperatur fluida masuk keluar penukar panas, CH 3, CH 4, CH 5, dan CH 6 adalah temperatur parafin di dalam penukar panas, CH 7, dan CH 8 adalah temperatur fluida masuk dan keluar tempat penampung air.
4. Memanaskan air yang berada pada reservoir sampai temperature yang diinginkan dan temperature dijaga agar tetap konstan.
5. Menghidupkan pompa air.
6. Menghidupkan *water flow meter sensor* untuk melihat kecepatan aliran fluida.
7. Mengatur *stage panel* pompa (I, II, dan III) sesuai dengan kecepatan yang akan diuji
8. Mengatur kecepatan aliran yang telah ditentukan menggunakan katup air (K2).

9. Memanaskan paraffin di dalam alat penukar kalor dengan mengalirkan air panas yang terdapat pada reservoir.
10. Merekam data perubahan temperatur pada data *logger* setiap 10 detik.
11. Memasukkan data hasil rekaman *data logger* kedalam Ms. Excel.
12. Mengulangi langkah 1-11 dengan variasi variasi kecepatan aliran air serta jumlah sirip yang telah ditentukan.
13. Membuat kesimpulan hasil penelitian
14. Selesai.

Pengambilan data ini dilakukan secara langsung dengan melakukan eksperimen pada alat penukar kalor atau *heat exchanger*. Sebelum air dialirkan ke alat uji, terlebih dahulu menentukan kecepatan aliran air dengan jumlah sirip yang akan digunakan untuk penelitian. Setelah air pada tempat penampung mencapai temperatur yang diinginkan dan sudah konstan, kemudian air panas tersebut dapat dialirkan ke dalam pipa bagian dalam. Untuk mengetahui suhu pada parafin dan juga air maka digunakan *thermocouple*, serta untuk mengetahui kecepatan aliran air digunakan *water flow meter*, sehingga akan didapatkan data-data yang diperlukan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data pengujian yang diperoleh serta pengolahan data yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin banyak jumlah sirip yang digunakan dan semakin besar aliran air nya maka perpindahan panas dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 63°C semakin cepat juga. Didapat waktu optimum pada jumlah sirip 8 dengan laju aliran 12 l/min, karena pada jumlah sirip 8 dengan laju aliran 8 l/min hanya berbeda 10 detik saja sehingga efisiensi waktu optimumnya sebesar 98.5%.
2. Semakin besar variasi debit aliran air yang digunakan maka nilai laju perpindahan panasnya semakin besar juga. Nilai laju perpindahan panas terbesar berada pada variasi pengujian dengan debit aliran air 12 l/min dengan variasi jumlah sirip 8, yaitu dengan nilai 356,34 watt. Sedangkan nilai terkecil laju perpindahan panas ada pada variasi debit aliran air 4 l/min dengan variasi jumlah sirip 4, yaitu senilai 82,47 watt.
3. Jumlah sirip 4, 6, 8 dan juga penggunaan laju aliran 4 l/min, 8 l/min, 12 l/min dapat mempengaruhi perpindahan panas. Semakin banyak jumlah sirip yang digunakan maka semakin besar perpindahan panasnya seperti dapat dilihat pada pembahasan bahwa pada jumlah sirip 8 laju perpindahan panasnya sebesar 356,34 watt. Sedangkan untuk laju alirannya, semakin cepat aliran yang digunakan maka semakin cepat juga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 63 °C. Dapat dilihat bahwa waktu yang paling cepat untuk mencapai temperatur 63 °C adalah pada jumlah sirip 8 dengan laju aliran 12 l/min dengan waktu 640 detik.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki penelitian-penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan nilai optimum sebaiknya laju aliran ditambah atau diperbesar.
2. Jika menggunakan diameter yang sama dan juga panjang lintasan alat penukar kalor yang sama, sebaiknya laju aliran diperkecil atau dikurangi sehingga dapat meningkatkan perpindahan panas yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anita ,A, Nene. S, Ramachandran. 2021. Design Analysis of Heat Exchanger for The Solar Water Heating Systems Using Phase Change Materials. CMR Institute of Technology, Bengaluru, India.
- Buchori, Luqman. 2004. Buku Ajar Perpindahan Panas Bagian I. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Cengel & A, Y., 2003. Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition. Mc. Graw- Hill Book. Singapura.
- Ganang, D. 2018. Permodelan Dan Simulasi Pemanas Air Energi Surya Menggunakan Kolektor Pipa Paralel. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta
- Holman Jp. 2010. Heat Transfer Tenth Edition. The Mcgraw-Hill Companies, Inc: New York.
- H. Ismail Chaidier. 2020. Pengaruh Geometri Terhadap Performa *Latent Heat Thermal Energy Storage* (Lh-Tes) Jenis Anulus Dengan Lilin Parafin Sebagai *Phase Change Material* (PCM). Teknik Mesin Unviversitas Pertamina, Jakarta.
- Incopera, Frank. P., Bergman, Theodore. L., Lavine, Andrienne. S., Dewitt, David. P. 2007. Fundamentals Of Heat And Mass Transfer Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc: River Street, Hoboken.
- Inouye, Kuramitsu. 1934. The relation between tensile strength and density of paraffin wax at various temperatures. The University of British Columbia. Columbia.
- Kusumah, Tisna., Tatang Wahyudi., Mohamad Widodo. 2020. Phase Change Material Dari Campuran Parafin Untuk Tekstil Swa-Termoregulasi. Politeknik STTT. Bandung.

- Meng, Q. and Jinlian Hu. (2008). A poly(ethylene glycol)-based smart phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 92: 1260-1268.
- Sarier, N., and Onder, E. 2012. Organic phase change material and their textile application: an overview. *Thermochimica acta* 540(2012) 7-60.
- Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., and Buddhi D. (2007). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (Elsevier)*, 13 (2007) 318–345.
- Sharma, S.D., and Sagara, K. 2005. Latent heat storage material and system: a review. *International journal green energy*. 2: 1-56,2005.
- Yuliani, Ika., Tina Mulya Gantina., Nurlita Yunikasari. 2016. Alat Penyimpan Energi Panas Menggunakan Parafin Sebagai PCM (Phase Change Material) Pada Sistem Pemanas Air Surya. Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung. Bandung
- Zhou, D., Zhao, C.Y., Tian, Y. 2011. Review on thermal energy storage with phase change materials (pcms) in building applications. *Applied Energy* 92 (2012) 593–605