

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

**(SKRIPSI)**

**OLEH:**

**MUHAMMAD THARIQ WALIYYAN SARRO**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

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

**OLEH:**

**MUHAMMAD THARIQ WALIYYAN SARRO**

**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  
BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## ABSTRAK

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

OLEH

MUHAMMAD THARIQ WALIYYAN SARRO

*Solar Water Heater* merupakan penghasil air panas termurah dalam segi produksi dan efektif untuk kebutuhan rumah tangga dan komersial dibandingkan dengan pemanas air dengan sumber energi yang lain teknologi ini juga merupakan konversi energi matahari yang cukup efektif, namun belum cukup ekonomis dalam segi investasi. Melalui pancaran tenaga surya / paparan sinar matahari langsung ini juga kita dapat memperoleh pemanasan air tanpa harus menggunakan energi listrik maka diperlukan sebuah media yang dapat menyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan tenaga surya tersebut dengan PCM atau *Phase Charge Material*. Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh variasi kecepatan aliran, variasi jumlah sirip, dan karakteristik perpindahan panas dari proses pembekuan 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 menunjukkan bahwa pada ketiga variasi jumlah sirip maka besar selisih nilai temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor serta waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 32°C hampir sama, semakin besar variasi debit aliran air yang digunakan maka nilai laju perpindahan panas semakin besar, dan penambahan jumlah sirip tidak mempengaruhi perpindahan panas.

Kata Kunci : *Phase Change Material*, Energi Matahari, Laju Perpindahan Panas

## **ABSTRAK**

### ***EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER IN THE FREEZING PROCESS OF PCM PARAFFIN IN DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER WITH AXIAL FIN***

**OLEH**

**MUHAMMAD THARIQ WALIYYAN SARRO**

*Solar Water Heater is the cheapest hot water producer in production and is effective for household and commercial needs compared to water heaters with other energy sources. This technology is also a relatively effective conversion of solar energy, but not economical enough in terms of investment. Through the emission of solar power/exposure to direct sunlight, we can also get water heating without using electrical energy, so we need a medium that can store thermal energy in the solar water heating system with PCM or Phase Change Material. This research activity aimed to examine the effect of variations in flow velocity, variations in the number of fins, and heat transfer characteristics of the paraffin PCM freezing 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. 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. The test results show that for the three variations in the number of fins, the difference in the temperature values of the inlet and outlet water of the heat exchanger and the time needed for paraffin to reach a temperature of 32oC is almost the same, the greater the variation of the water flow rate used, the greater the heat transfer rate, and the different number of fins does not affect heat transfer.*

**Kata Kunci :** *Phase Change Material, Solar Energy, Heat Transfer Rate*

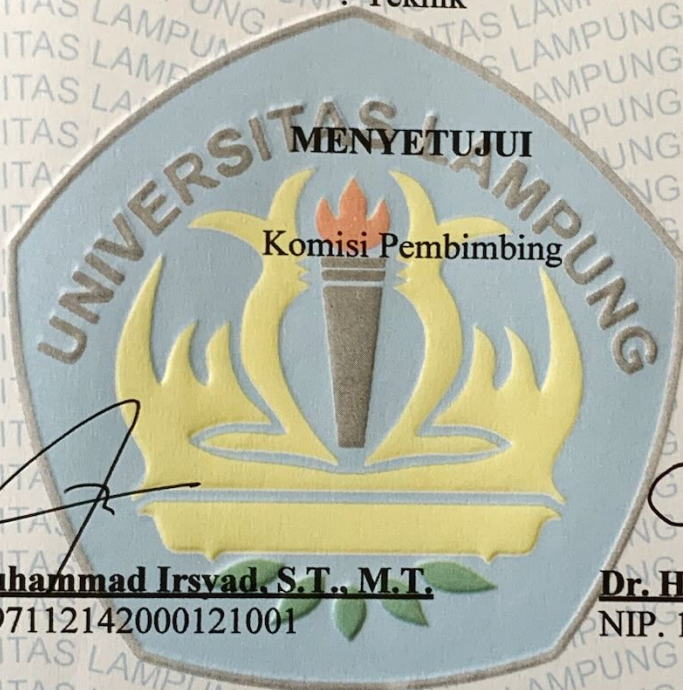


Judul Skripsi : **KAJIAN EKSPERIMENTAL  
PERPINDAHAN KALOR PROSES  
PEMBEKUAN PCM PARAFIN PADA  
DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER  
DENGAN PENAMBAHAN SIRIP AKSIAL**

Mahasiswa : **Muhammad Thariq Waliyyan Sarro**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815021060**

Fakultas : **Teknik**



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

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

**MENGETAHUI**

**Ketua Jurusan**  
**Teknik Mesin**

**Ketua Program Studi**  
**S1 Teknik Mesin**

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

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



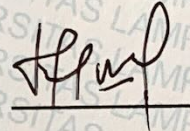
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

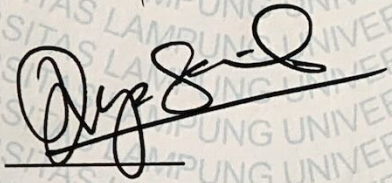
**Ketua : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**



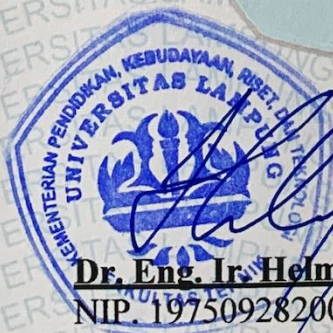
**Anggota Penguji : Dr. Harmen, S.T., M.T.**



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



**2. Dekan Fakultas Teknik**



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

**NIP. 197509282001121002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 14 Maret 2023**



## PERNYATAAN PENULIS

Skripsi yang berjudul “KAJIAN EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN KALOR PROSES PEMBEKUAN PCM PARAFIN PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER DENGAN PENAMBAHAN 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 Maret 2023

Pembuat Pernyataan



**Muhammad Thariq Waliyyan Sarro**  
NPM 1815021060

## **MOTO**

*“A Dream Will Always Be A Dream Until You Wake Up, And Make It Happen”*

(Josseph Simmons)

*“You try, you fail, you try, you fail again, but the only real failure is when you stop trying”*

(Madam Leota)

*“I done gave up so much free time knowing time ain't free”*

(Big Sean)



## SANWACANA

### *Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh*

Puji syukur kehadiran 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 Tamrin Sarro dan Ibunda Nuraida 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. Sahabat Lapas, Zikausar, Diyon, Adit, Arip, Farrel, Christo 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 Bandar Lampung, pada tanggal 20 Agustus 2000 sebagai anak kelima, dari pasangan Bapak Tamrin Sarro dan Ibu Nuraida. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SD Negeri 1 Pengajaran hingga tahun 2012, lalu dilanjutkan di SMP Negeri 9 Bandar Lampung yang diselesaikan tahun 2015 dan SMA Negeri 10 Bandar Lampung yang diselesaikan tahun 2018, hingga pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin

Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Organisasi Eksternal AIESEC sebagai Wakil Ketua Presiden. Selain aktif dalam AIESEC, penulis pernah menjadi bagian himpunan mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai kepala divisi Komunikasi dan Informasi (Kominfo)

Penulis pernah melakukan Kerja Praktek (KP) di **PT PLN**, Sebalang, Lampung Selatan tahun 2021 dengan judul laporan “**ANALISIS PERFORMA PADA *HIGH PRESSURE FLUIDIZED FAN* DI PLTU SEBALANG**”

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



## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Perpindahan Panas .....	5
2.2 Heat Exchanger.....	10
2.3 Material Berubah Fasa (Phase Change Material).....	14
2.4 Klasifikasi PCM.....	15
2.5 PCMs Organik .....	16
3 METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1 Tempat Pelaksanaan .....	19
3.2 Alat dan Bahan .....	19
3.3 Metode Pelaksanaan .....	27
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	28
3.5 Skema Pengujian .....	29

3.6	Penempatan Titik Pengukuran .....	30
3.7	Metode Pengambilan Data.....	31
4	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1	Hasil Pengambilan Data.....	33
4.2	Hasil Perhitungan.....	43
5	PENUTUP .....	52
5.1	Kesimpulan .....	52
5.2	Saran .....	53
	DAFTAR PUSTAKA .....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perpindahan Panas Secara Konduksi .....	6
Gambar 2. 2 Perpindahan Panas Konveksi .....	8
Gambar 2. 3 <i>Double Pipe Heat Exchanger</i> .....	11
Gambar 2. 4 <i>Shell and Tube heat exchanger (one shell pass and two tube passes)</i> ...	11
Gambar 2. 5 <i>Shell and Tube heat exchanger(two shell passes and four tube passes)</i> 11	
Gambar 2. 6 <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> .....	11
Gambar 2. 7 <i>Plate Heat Exchanger</i> .....	11
Gambar 2. 8 Parafin (a) Parafin Padat (b) Parafin Cair .....	11
Gambar 3. 1 Pompa Air .....	20
Gambar 3. 2 Katup Air .....	21
Gambar 3. 3 <i>Data Logger</i> dan <i>Thermocouple</i> .....	11
Gambar 3. 4 <i>Water flow meter</i> .....	23
Gambar 3. 5 Selang Pipa Air Panas .....	23
Gambar 3. 6 Alat penukar panas dengan sirip sejajar.....	24
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 3. 8 Instalasi Alat Pengujian .....	29
Gambar 3. 9 Penempatan Titik Pengukuran .....	30
Gambar 4. 1 Selisih Perbandingan Nilai Rata-Rata Temperatur Air Masuk dan Keluar Alat Penukar Kalor .....	34
Gambar 4. 2 Perbandingan Temperatur Rata-rata Parafin Debit Aliran Air 4 LPM..	36
Gambar 4. 3 Perbandingan Temperatur Rata-rata Parafin Debit Aliran Air 8 LPM..	36
Gambar 4. 4 Perbandingan Temperatur Rata-rata Parafin Debit Aliran Air 12 LPM	37
Gambar 4. 5 Perbandingan Temperatur Parafin .....	38
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Temperatur Sirip Bawah dan Sirip Atas.....	39
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Waktu Parafin Mencapai Temperatur 32°C .....	41
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas Air .....	44



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat termal PCM Potensial Digunakan Untuk Mendinginkan Ruangan ..	15
Tabel 2. 2 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis parafin .....	18
Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Data Logger</i> .....	22
Tabel 3. 2 Spesifikasi Thermocouple .....	22
Tabel 3. 3 Ukuran Alat Penukar Panas .....	26
Tabel 4. 1 Data Laju Perpindahan Panas .....	43
Tabel 4. 2 Perhitungan Bilangan Reynolds .....	47
Tabel 4. 3 Energi yang Diserap Air .....	48
Tabel 4. 4 Sifat-sifat <i>Scale Paraffin Wax</i> .....	49

# 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Solar Water Heater merupakan penghasil air panas termurah dan efektif untuk kebutuhan rumah tangga dan komersial dibandingkan dengan pemanas air dengan sumber energi yang lain teknologi ini juga merupakan konversi energi matahari yang cukup efektif, namun belum cukup ekonomis. Hal tersebut dikarenakan SWH masih menggunakan pemanas listrik pada tangki, untuk menjaga temperatur air agar tetap konstan ketika sistem tidak cukup menerima energi matahari, dan menyebabkan biaya operasional yang cukup besar. (Gesi, 2021)

Penggunaan Pemanas Air Tenaga Surya/Solar Water Heater (SWH) di dunia saat ini berkembang sangat pesat. Potensi energi panas matahari di Indonesia sekitar 4,8 KWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112 ribu (GWp). Namun saat ini energi matahari yang sudah dimanfaatkan hanya sekitar 10 (MWp). Ini berarti, potensi energi matahari yang sudah dimanfaatkan masih jauh dari angka 1%.

Menurut Robert (2007), *double pipe heat exchanger* merupakan jenis alat penukar panas yang terdiri dari pipa konsentris. Satu fluida mengalir melalui *inner pipe* dan yang lain mengalir melalui *outer pipe*. Untuk meningkatkan performa dari *double pipe heat exchanger* maka harus meningkatkan transfer panas pada *double pipe heat exchanger*.

Hal ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan menambahkan variasi kombinasi bentuk *twisted* tape pada *inner pipe* sebagai turbulensi aliran. Dengan potensi yang cukup besar, jumlah yang melimpah bahkan sifat yang terus menerus serta non polutif dari matahari yang setiap hari

hadir di kehidupan manusia menjadikan energi ini sebagai alternatif unggulan dibidang energi. Melalui pancaran tenaga surya / paparan sinar matahari langsung ini juga kita dapat memperoleh pemanasan air tanpa harus menggunakan energi listrik maka diperlukan sebuah media yang dapat menyimpan energi termal pada sistem pemanas air menggunakan tenaga surya tersebut dengan PCM atau *Phase Charge Material* yang menjadi sebuah solusi karena PCM dapat mengalami proses reversibel dari proses peleburan (melting) maupun pembekuan (solidifikasi) yang dapat dimanfaatkan untuk mempertahankan suhu konstan selama periode waktu tertentu, sehingga dapat dimanfaatkan pada aplikasi penyimpanan panas laten. Salah satu phase change material yang dapat digunakan untuk menyimpan energi termal yaitu berupa paraffin yang memiliki sifat termal yang baik, dan juga tidak beracun serta tidak mudah bereaksi dengan wadah penampungan yang akan dipakai (Yuliani, 2016).

Hal inilah yang melatar belakangi kegiatan penelitian ini yang berjudul Kajian Proses Perpindahan Kalor *Double Pipe Heat Exchanger* Berisi PCM Parafin Dengan Penambahan Sirip Tembaga Aksial Pada Proses Pembekuan. Dalam penelitian ini digunakan PCM jenis parafin sebagai penyimpan energi termal dimana memiliki sifat-sifat yang baik dan sangat memungkinkan jika dikembangkan lebih lanjut.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran air serta jumlah sirip pada pipa terhadap temperatur parafin dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 32°C.



2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran air serta jumlah sirip pada pipa terhadap laju perpindahan panas yang terjadi pada parafin saat proses pembekuan parafin.
3. Mengetahui pengaruh jumlah sirip dan laju aliran terhadap karakteristik perpindahan panas dari proses pembekuan pada PCM parafin.

### **1.3 Batasan Masalah**

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

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

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

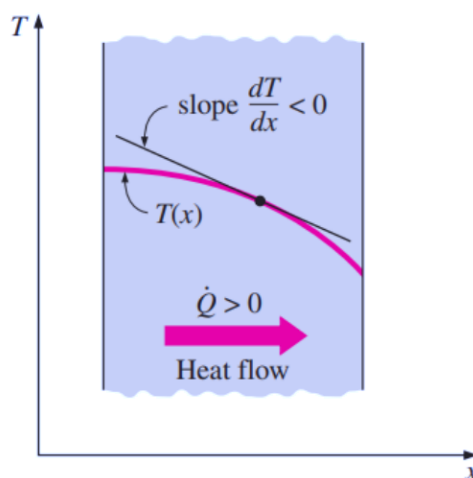
### 2.1 Perpindahan Panas

Panas merupakan salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Pada suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Proses terjadinya perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan untuk secara tidak langsung, yaitu jika diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. Perbedaan temperatur merupakan potensi utama terjadinya perpindahan energi dalam bentuk panas yang sering atau lebih populer disingkat dengan perpindahan panas. Dari studi pustaka diperoleh bahwa ada 3 (tiga) cara perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Selain ketiga cara itu ada pula cara perpindahan panas gabungan (Supriyadi,1987).

Dalam praktek terlalu sulit untuk membuktikan bahwa perpindahan panas hanya berlangsung dengan satu cara yang tersebut diatas. Perpindahan panas akan berlangsung bersamaan, sebagai contoh misalnya perpindahan panas pada pipa steam yang terisolasi, maka perpindahan panas tersebut akan berlangsung baik dari dinding dalam pipa ke permukaan isolasi maupun dari permukaan luar isolasi keudara sekitarnya, dimana perpindahan panas berlangsung secara konduksi, konveksi dan radiasi.

### 2.1.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ketempat yang suhunya rendah, dengan media penghantar panas tetap (tanpa diikuti oleh gerak dari penghantar panas) sehingga jelas bahwa perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang dihantarkan oleh benda padat.



Gambar 2. 1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

(Sumber: Cengel & A, 2003)

Perpindahan panas secara konduksi dasar Hukum Fourier dapat dinyatakan dengan persamaan : (Cengel & A, 2003)

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Dimana :

$Q_{\text{cond}}$  = Laju perpindahan kalor (W)

- k = Konduktivitas Thermal ( $\text{Wm}^2/^\circ\text{C}$ )
- A = Luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perindahan kalor ( $\text{m}^2$ )
- $\Delta T/\Delta X$  = Gradient temperatur dalam arah x ( $^\circ\text{C}$ )

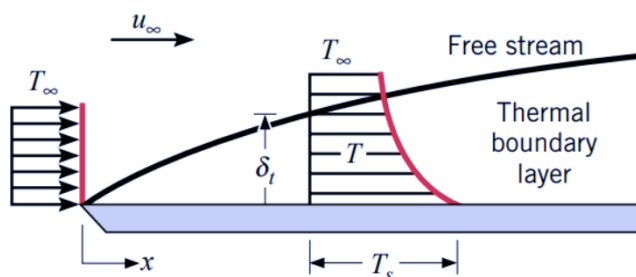
### 2.1.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas yang dihantarkan melalui zat alir dari suatu pergerakan molekulmolekul yang dapat berupa zat cair atau gas. Perpindahan panas secara konveksi ada dua macam :

- a. Konveksi bebas, dimana perpindahan panasnya secara alamiah, sebagai akibat beda massa jenis yang timbul akibat adanya perbedaan atau gradien temperatur pada fluida.
- b. Konveksi paksaan, dimana perpindahan panasnya secara cepat karena adanya tenaga penggerak dari luar, apabila gerakan fluida ini disebabkan oleh paksaan peralatan dari luar seperti pompa, blower dan lain-lainnya. Mekanisme perpindahan panas secara konveksi ada beberapa tahap, yaitu:
  1. Panas mengalir secara konduksi dari permukaan padat ke partikel partikel fluida yang didekatnya.
  2. Panas ini menaikkan temperatur fluida dan energi dalamnya. Kemudian partikel-partikel yang bertemperatur tinggi bergerak ke arah partikel-partikel yang bertemperatur lebih rendah sehingga mereka akan saling bercampur dan energi berpindah pula pada saat pencampuran ini.



3. Dengan demikian timbul aliran fluida dan energi secara simultan. Energi sebenarnya disimpan pula dalam partikel-partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut. Laju perpindahan panas konveksi dari sebuah permukaan benda padat ke fluida yang berada di sekelilingnya.



Gambar 2. 2 Perpindahan Panas Konveksi

(Sumber: Incropera, 2007)

Perpindahan panas secara konveksi dasar hukum Newton dapat dinyatakan dengan persamaan (Cengel & A, 2003)

$$Q_{\text{conv}} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

Dimana :

$Q_{\text{conv}}$  = laju perpindahan panas konveksi (W)

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{Wm}^2/\text{°C}$ )

$A$  = luas permukaan perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )

$T_s$  = temperatur permukaan padat ( $\text{°C}$ )

$T_\infty$  = temperatur fluida yang jauh dari permukaan benda padat ( $\text{°C}$ )

### 2.1.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi terjadi karena pancaran / sinaran / radiasi gelombang elektromagnetik tanpa melalui media (tanpa melalui molekul). Suatu energi dapat dihantarkan dari suatu tempat ke tempat lainnya (dari benda panas ke benda yang dingin) dengan pancaran gelombang elektromagnetik (sinar kosmik, sinar gama, sinar x, sinar ultra violet, sinar infra merah dll) dimana tenaga elektromagnetik ini akan berubah menjadi panas jika terserap oleh benda yang lain. Perpindahan panas secara Radiasi dasar Hukum Stefan – Boltzman dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2.3)$$

Dimana :

$Q_r$	= Laju perpindahan panas Radiasi (W)
$T$	= Suhu permukaan benda ( $^{\circ}\text{K}$ )
$A$	= Luas permukaan ( $\text{m}^2$ )
$\delta$	= Ketentuan Stefan – Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )
$\varepsilon$	= Koefisien emisivitas ( $0 < \varepsilon < 1$ )

### 2.1.4 Proses Pembekuan Dari Padat ke Cair

Perubahan wujud zat disebut juga perubahan fisika. Perubahan fisika ini terkandung dalam perubahan sementara sifat-sifat suatu benda, karena perubahan wujud benda dapat dikembalikan ke bentuk semula tanpa menimbulkan materi baru. Variasi bentuk suatu benda dapat dibagi menjadi beberapa kategori, tergantung dari bentuk benda itu sendiri. Salah satu perubahan wujud zat adalah membeku.

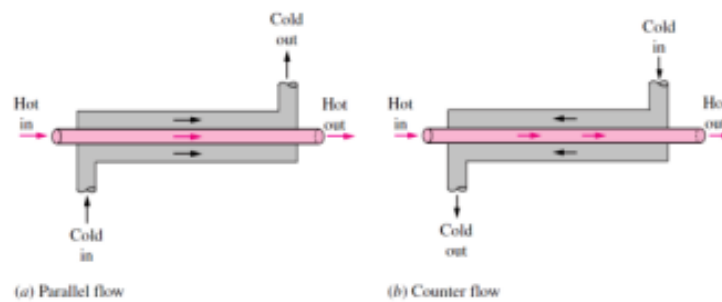
Membeku (disebut pembekuan) adalah proses yang menyebabkan perubahan fasa suatu zat dari cair menjadi padat. Ketika suatu zat menjadi padat, energi internal padatan menurun hingga suhu tertentu (disebut titik beku). Setiap benda memiliki titik beku yang berbeda. Jadi beberapa benda dapat membeku dengan mudah dan beberapa tidak. Contohnya adalah parafin, jika didinginkan sampai titik beku sekitar  $48^{\circ}\text{C}$  maka akan menjadi padat.

## 2.2 Heat Exchanger

Penukar Kalor merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menurunkan dan atau meningkatkan temperatur sebuah sistem dengan memanfaatkan suatu media pendingin atau pemanas sehingga kalor dapat berpindah dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ada beberapa jenis penukar kalor, seperti *Shell and Tube*, *Double Pipe*, dan *Compact Heat Exchanger*.

### 2.2.1 Double Pipe

*Double pipe heat exchanger* adalah alat penukar kalor dimana suatu aliran fluida dalam pipa mengalir dari titik sisi satu ke sisi lain, dengan *space* berbentuk U 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 sehingga membentuk 'U'. *Double pipe heat exchanger* merupakan alat yang cocok dikondisikan untuk aliran dengan laju aliran yang kecil.

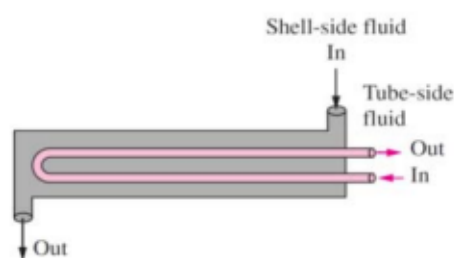


Gambar 2. 3 Double Pipe Heat Exchanger

(Sumber: Cengel & A, 2002)

### 2.2.2 Shell and Tube

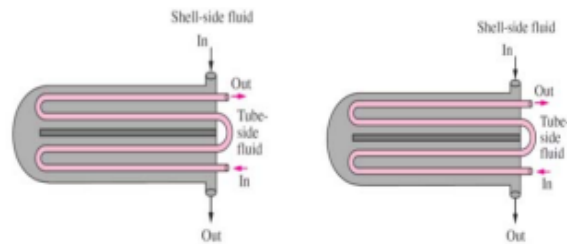
*Shell and Tube* merupakan jenis penukar kalor yang terdiri dari sebuah tabung (*Shell*) yang di dalamnya tersusun berkas pipa (*Tube*). Pada jenis alat penukar kalor ini, fluida panas mengalir di dalam tube sedangkan fluida dingin mengalir di luar tube atau di dalam shell atau sebaliknya. Karena kedua aliran fluida melintasi penukar kalor hanya sekali, maka susunan ini disebut penukar kalor satu lintas (*single-pass*). Jika kedua fluida itu mengalir dalam arah yang sama, maka penukar kalor ini bertipe aliran searah (*parallel flow*). Jika kedua fluida itu mengalir dalam arah yang berlawanan, maka penukar kalor ini bertipe aliran berlawanan. Penukar kalor *Shell and Tube* memiliki beberapa variasi dan diberi nama sesuai dengan konfigurasi pipa dan tabungnya seperti berikut:



Gambar 2. 4 *Shell and Tube heat exchanger (one shell pass and two tube passes)*

(Sumber: Cengel & A, 2002)

Dalam penukar kalor kita mengenal koefisien perpindahan panas total atau biasa dituliskan dengan  $U$  dan ini identik dengan koefisien perpindahan panas konveksi  $h$  dimana sama-sama memiliki satuan  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ :

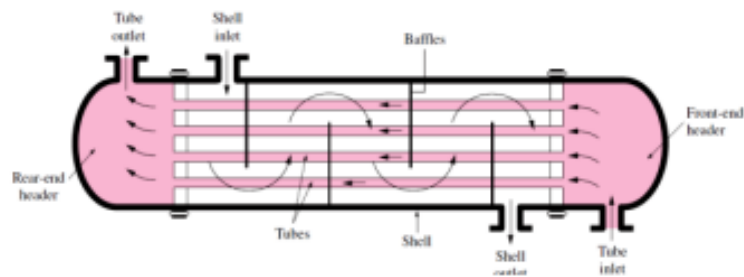


Gambar 2. 5 Shell and Tube heat exchanger (two shell passes and four tube passes)

(Sumber: Cengel & A, 2002)

*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).



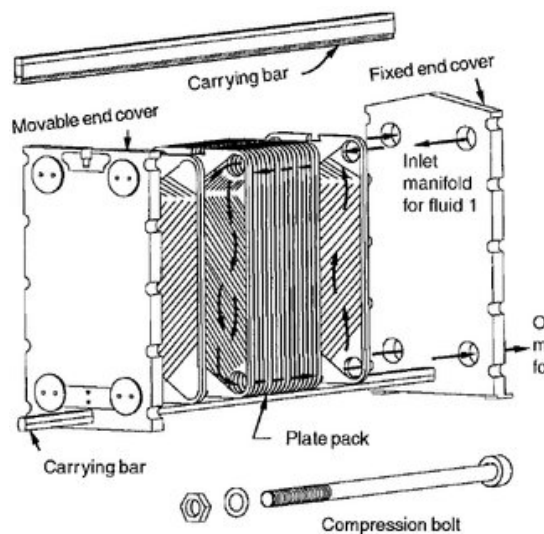


Gambar 2.6 Shell and Tube Heat Exchange

(Sumber: Cengel & A, 2002)

### 2.2.3 Plate

Penukar panas jenis *plate* adalah alat yang digunakan untuk mempertukarkan panas secara kontinu dari suatu medium ke medium lainnya dengan membawa energi panas. Secara umum ada 2 tipe penukar panas, yaitu:



Gambar 2. 7 Plate Heat Exchanger

(Sumber: Subasgar Kumareswaran, 2002)

### 2.3 Material Berubah Fasa (Phase Change Material)

Bahan-bahan berubah fasa atau selanjutnya dikenal sebagai *Phase Change Materials* (PCM) yang juga seringkali disebut 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 tersebut dapat berupa benda padat menjadi cair atau sebaliknya. PCM sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari misalnya asam lemak, minyak nabati, garam hidrat dan parafin atau yang biasa digunakan sebagai bahan baku lilin. Saat temperatur naik, ikatan kimia pada 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 reaksi isotermik, artinya terjadi proses pelepasan kalor hingga proses pembekuan selesai (Kusumah dkk. 2020).

PCM merupakan satu cara penyimpanan energi panas yang paling efisien. PCM dapat digunakan untuk penyimpanan energi dan kontrol suhu. PCM menjadi menarik karena mempunyai kelebihan yaitu perbandingan yang cukup tinggi antara panas yang dilepaskan dengan variasi suhu. PCM dapat melepaskan panas lebih 4-5 kali setiap satuan volume dibandingkan bahan penyimpan energi konvensional seperti air atau batu (Sharma dkk. 2009). Kelebihan lainnya dari PCM adalah harga yang ekonomis, mudah ditemukan, dan dapat digunakan secara terus menerus selama struktur materialnya tidak berubah (Amin dkk. 2016). PCM sebagai penyimpan energi termal memanfaatkan panas laten pada proses perubahan fasa untuk menyerap panas maupun melepaskan panas. Energi yang diserap oleh PCM pada range temperatur perubahan fasa jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan memanfaatkan panas sensibel.

Potensi udara dingin malam hari perlu dimanfaatkan untuk membantu pendinginan ruangan dengan menggunakan alat penukar kalor yang berisi PCM. Untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas dan kinerja alat penukar kalor perlu dilakukann penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur dan laju aliran udara terhadap waktu pembekuan PCM. Data ini sangat penting untuk optimasi menggunakan udara dingin pada malam hari. Manfaat penelitian ini adalah membantu mengurangi konsumsi energi bangunan (Irsyad, 2018).

**Tabel 2.1** Sifat termal PCM yang potensial digunakan untuk mendinginkan ruangan

<b>Material</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>L<sub>f</sub> (kJ/Kg)</b>	<b>k (W/m.K)</b>
Paraffin C13–C24	51-58	170	0,21 (s)
Capric–lauric acid (45%–55%)	21	143	-
Dimethyl sabacate	21	120-135	-
E23	23	155	0,43
Minyak Kelapa	22-24	103,2	0,62

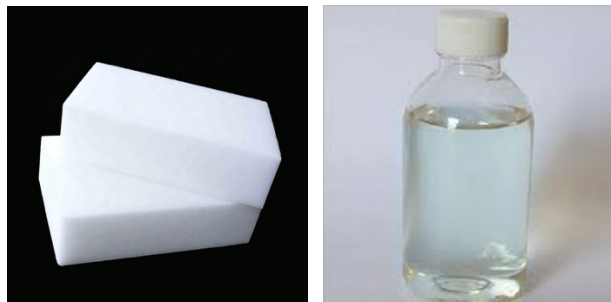
## 2.4 Klasifikasi PCM

Secara luas PCMs diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu organik dan anorganik. Pengelompokan ini didasarkan pada titik leleh dan panas peleburan laten. Namun karena tidak ada satu bahan yang dapat memenuhi seluruh sifat yang diinginkan, maka dikembangkan juga PCMs yang merupakan kombinasi antara 2 kelompok bahan (Sharma dkk. 2009).

## 2.5 PCMs Organik

PCMs organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya PCMs organik mempunyai rentang suhu rendah. PCMs organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar PCMs organik mudah terbakar di alam. PCMs organik dapat dibedakan sebagai parafin dan non parafin.

Parafin merupakan bagian dari hidrokarbon alkana dengan formula  $C_nH_{2n+2}$ . Paraffin didapatkan dari proses destilasi minyak bumi yang mana hasil destilasinya masih banyak mengandung hidrokarbon. Parafin memiliki kandungan atom C yang berbeda-beda, semakin banyak kandungan atom C maka rantai karbonnya akan semakin panjang sehingga fasa parafin akan semakin padat. Parafin dengan kandungan atom  $C_5-C_{15}$  merupakan parafin dengan fasa cair, sedangkan parafin dengan kandungan atom karbon lebih dari  $C_{15}$  merupakan parafin dengan fasa padat atau yang biasa disebut parafin wax seperti yang terlihat pada gambar 2.11



(a) (b)

Gambar 2.8 Parafin (a) Parafin Padat (b) Parafin Cair

Parafin padat mempunyai temperatur leleh antara 53-59 °C dan mempunyai panas laten yang cukup tinggi sebesar 160 kJ/kg 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 dkk, 2016). Penggunaan parafin sebagai penyimpan energi termal memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan parafin merupakan keuntungan bagi pengguna, sedangkan kekurangan dari pada parafin merupakan masalah yang harus diatasi ketika digunakan sebagai penyimpan energi termal. Oleh sebab itu, pemilihan material PCM sebagai penyimpanan energi termal perlu dipertimbangkan. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan parafin sebagai penyimpan energi termal.

Kelebihan parafin sebagai penyimpan energi termal yaitu tidak menunjukkan adanya perubahan thermal properties setelah digunakan terus menerus, memiliki panas laten yang tinggi, cenderung tidak mengalami proses supercooling, non-reaktif, tidak berbau, secara ekologi tidak berbahaya, tidak beracun, cocok disimpan di dalam kontainer logam, serta cocok diaplikasikan sebagai penyimpan energi termal dengan berbagai tipe (Sarier dkk, 2012).

Kekurangan parafin sebagai penyimpan energi termal yaitu memiliki konduktivitas termal yang rendah pada saat fasa padat sehingga menjadi masalah jika digunakan sebagai penyimpan energi termal, akan tetapi masalah ini dapat diatasi dengan penambahan fin pada permukaan perpindahan kalor atau dengan menambahkan material logam pada parafin untuk meningkatkan konduktivitas termal. Selain itu parafin mempunyai sifat yang mudah terbakar sehingga perancangan kontainer sebagai penyimpan parafin harus lebih diperhatikan (Sharma dkk, 2005).

Parafin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$ . Kristalisasi dari rantai  $\text{(CH}_2\text{)-}$  melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh



rentang suhunya yang cukup luas. Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten parafin.

**Tabel 2.2** Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis parafin (Sharma, dkk, 2009)

<b>Jumlah atom C</b>	<b>Titik leleh (°C)</b>	<b>Panas peleburan laten (kJ/Kg)</b>
14	5,5	228
15	10	205
16	16,7	237,1
17	21,7	213
18	28,0	244
19	32,0	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44,0	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,4	256

### 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian yang mengkaji karakteristik perpindahan kalor pada material berubah fasa berupa parafin di dalam alat penukar kalor sebagai media untuk menyimpan serta memberikan kalor. Bahan baku PCM yang digunakan pada penelitian ini yaitu parafin. Hal ini disebabkan karena parafin memiliki harga yang ekonomis dan ketersediaannya yang melimpah di Indonesia serta memiliki karakteristik yang baik sebagai *thermal energy storage*. Alat utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat penukar kalor dengan tipe *double pipe heat exchanger*. Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan secara eksperimentasi sehingga membutuhkan waktu dan tempat untuk melakukan pengujiannya. Maka 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 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

##### 1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

##### a. 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 3.1 berikut



Gambar 3.1 Pompa Air

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:  $\frac{3}{4}$  inch

b. 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 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2 Katup Air

c. *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 3.3 berikut ini



Gambar 3.3 *Data Logger dan Thermocouple*

Tabel 3.1 Spesifikasi *data logger*

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

Tabel 3.2 Spesifikasi Thermocouple

Diameter Kabel	2 x 0.5mm
Panjang Kabel	1 meter
Layer	Blue Teflon Temperature (ptfe)
TemperaturUkur	-200°C s/d 600°C
Ketelitian	0,1°C

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

Pada penelitian ini digunakan selang westpex, dimana selang ini digunakan untuk menghubungkan aliran fluida seperti pada skema pengujian. Selang westpex yang digunakan memiliki ukuran diameter 16mm atau 5/8 inch dan memiliki ketahanan suhu hingga 110°C seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini:

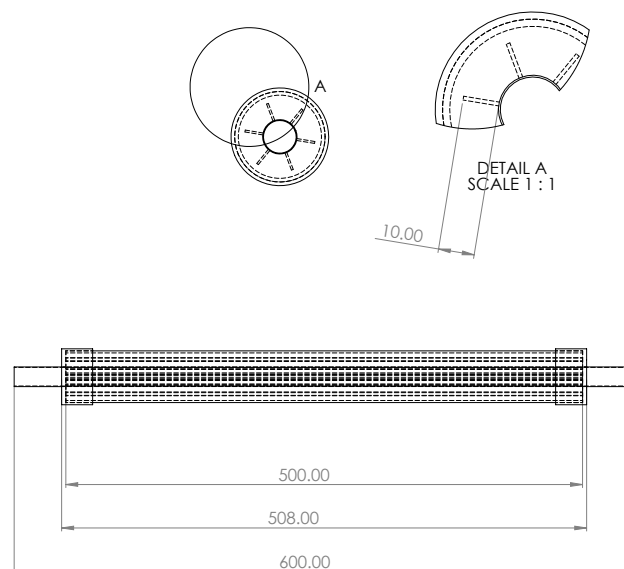


Gambar 3.5 Selang Pipa Air Panas

f. 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 pipa PVC dengan diameter 2 inch, Selain itu pada penelitian ini di bagian luar pipa alat penukar kalor juga digunakan pipa PVC untuk melihat fenomena yang terjadi pada parafin selama proses pengujian. Panjang keseluruhan dari alat penukar kalor ini adalah 50 cm.

Pada penelitian ini juga digunakan tambahan sirip pada sisi luar pipa dalam dan dilakukan variasi jumlah sirip yaitu dari 4, 6, dan 8 sirip untuk mengetahui pengaruh kerapatan sirip terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Desain alat penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3.6 Alat penukar panas dengan sirip sejajar



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. Untuk pengukuran temperatur, digunakan 9 buah termokopel (CH 1 – CH 9).

CH 1 adalah temperatur air sebelum masuk double pipe, CH 2 adalah temperatur air sesudah keluar dari double pipe, CH 3 adalah temperatur parafin yang diletakkan 10 cm setelah pangkal pipa, CH 4 adalah temperatur parafin yang diletakkan ditengah pipa, CH 5 adalah temperatur parafin yang diletakkan 10 cm sebelum ujung pipa, CH 6 adalah temperatur sirip bawah inner pipe, CH 7 adalah temperatur sirip atas inner pipe, CH 8 adalah temperatur air sesudah keluar reservoir, dan CH 9 adalah temperatur air sebelum masuk ke reservoir kembali.

Untuk mengukur debit aliran air, water flow meter disambungkan dengan pipa penghubung diantara double pipe dan katup *bypass*. Pengambilan data temperatur dilakukan setiap 30 detik dengan menggunakan data logger. Percobaan dilakukan sebanyak 9 kali dimana terdiri dari 3 variasi debit air (4 LPM, 8 LPM, dan 12 LPM) dan 3 variasi jumlah sirip (4, 6, dan 8).

Detail dari desain alat dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini:

**Tabel 3.3 Ukuran Alat Penukar Panas**

Nama	Keterangan
Pipa Tembaga	Ukuran: 5/8" Panjang: 600 mm Diameter dalam: 15 mm Diameter luar: 16 mm
Pipa PVC	Ukuran: 2" Panjang: 500 mm Diameter dalam: 56,4 mm Diameter luar: 59 mm
Pipa Akrilik	Ukuran: 2" Panjang: 500 mm Diameter dalam: 46 mm Diameter luar: 50 mm
Sirip	Tinggi: 10 mm Panjang: 600 mm

## 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*.

### 3.3 Metode Pelaksanaan

#### 1. Studi Literatur

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

#### 2. Persiapan Alat Pengujian

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

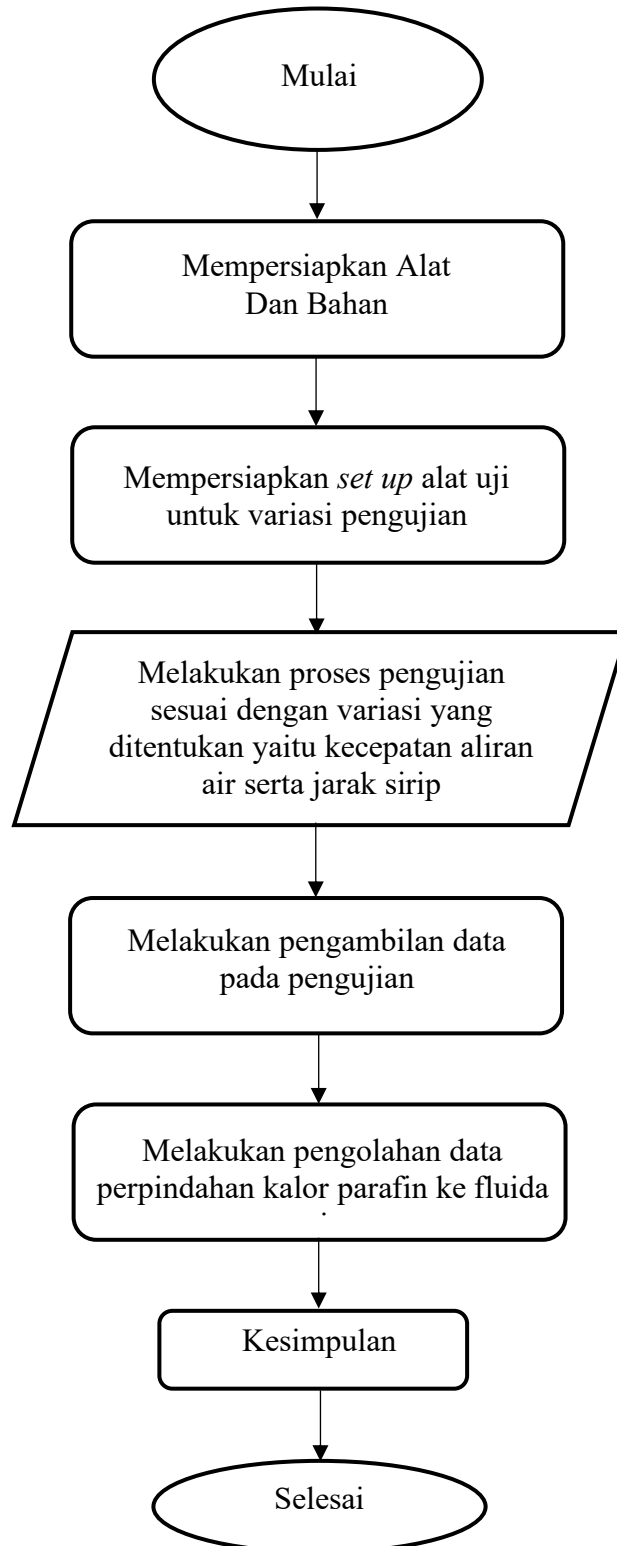
#### 3. Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan variasi sirip pada pipa dalam alat penukar kalor *double pipe* berdasarkan batasan masalah yang telah ditentukan.

#### 4. Penulisan Laporan

Penulisan laporan merupakan tahapan akhir dari penelitian ini. Penulisan laporan ditujukan untuk melaporkan hasil penelitian yang telah dilakukan

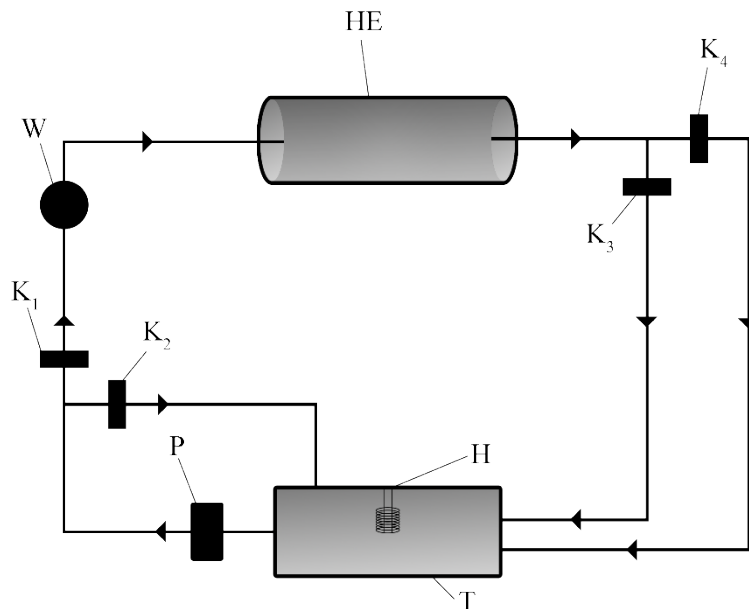
### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Skema Pengujian

Dalam penelitian ini dilakukan skema pengujian diawali dari PCM parafin yang sudah memiliki panas laten didalam alat penukar kalor jenis *double pipe*, setelah itu panasnya dialirkan ke fluida air yang tertampung di dalam tempat penampung air dengan menggunakan pompa. Untuk kecepatan yang berasal dari aliran air ini dapat dikendalikan dengan menggunakan *water valve* serta kecepatan alirannya dapat diketahui dengan *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 3.8 berikut ini:



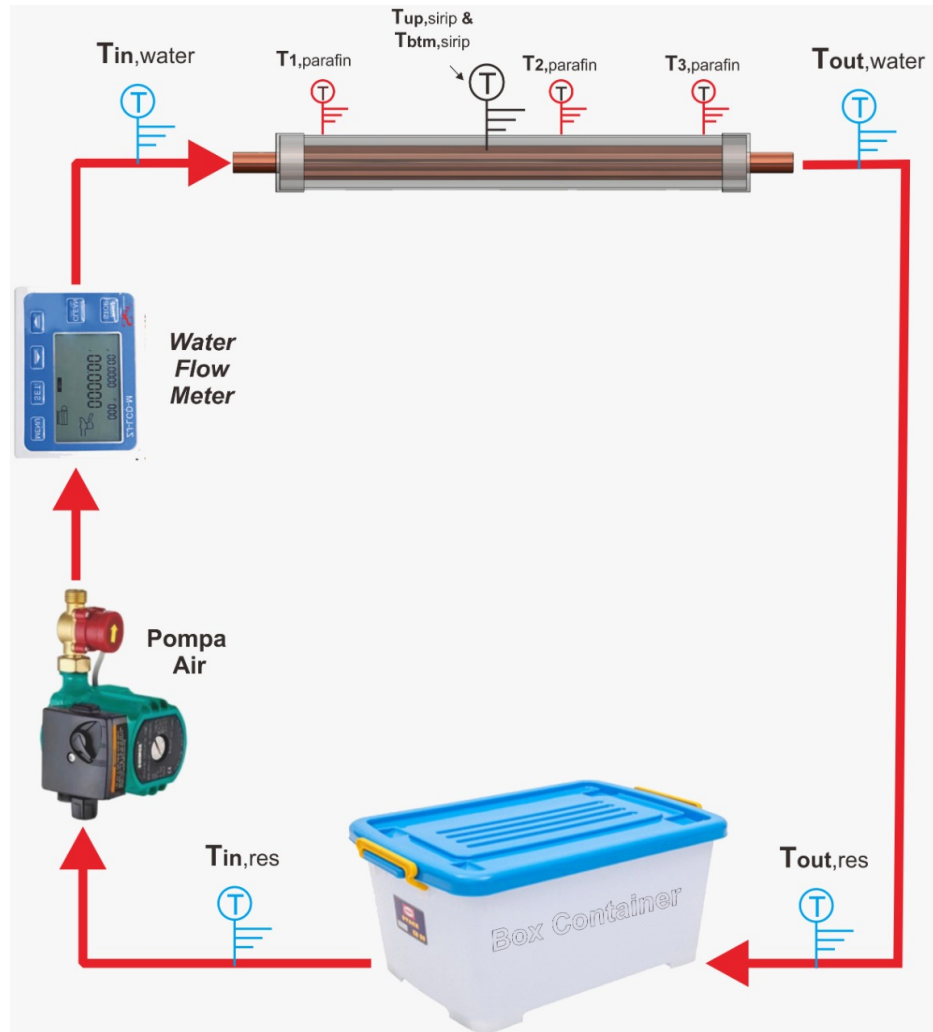
Gambar 3.8 Instalasi Alat Pengujian

Keterangan:

- T: Tempat penampung air
- HE: Alat penukar kalor
- P: Pompa air

- W: *Water flow meter sensor*
- K: Katup air

### 3.6 Penempatan Titik Pengukuran



Gambar 3.9 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*. Untuk pengukuran temperatur, digunakan 9 buah termokopel (CH 1 – CH 9).

CH 1 adalah temperatur air sebelum masuk *double pipe*, CH 2 adalah temperatur air sesudah keluar dari *double pipe*, CH 3 adalah temperatur parafin yang diletakkan 10 cm setelah pangkal pipa, CH 4 adalah temperatur parafin yang diletakkan ditengah pipa, CH 5 adalah temperatur parafin yang diletakkan 10 cm sebelum ujung pipa, CH 6 adalah temperatur sirip bawah *inner pipe*, CH 7 adalah temperatur sirip atas *inner pipe*, CH 8 adalah temperatur air sesudah keluar *reservoir*, dan CH 9 adalah temperatur air sebelum masuk ke *reservoir* kembali.

Untuk mengukur debit aliran air, *water flow meter* disambungkan dengan pipa penghubung diantara *double pipe* dan katup *bypass*. Pengambilan data temperatur dilakukan setiap 30 detik dengan menggunakan *data logger*. Percobaan dilakukan sebanyak 9 kali dimana terdiri dari 3 variasi debit air (4 lpm, 8 lpm, dan 12 lpm) 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*, tempat penampung air, alat penukar kalor, parafin, pipa air PVC, dan katup air,
2. Merangkai alat dan bahan seperti pada skema pengujian,
3. Menyalakan *data logger* dan memasang *thermocouple*, dengan susunan CH 1 merupakan temperatur air setelah keluar dari *double pipe*, CH 2 temperatur air setelah keluar dari *double pipe*, CH 3, CH 4, CH 5 merupakan temperatur parafin (berurut dari pangkal ke ujung), CH 6 adalah temperatur sirip bawah pada tembaga, CH 7 adalah temperatur sirip tembaga atas, CH 8 adalah temperatur air keluar tempat penampung air (*reservoir*), dan CH 9 adalah temperatur pada air yang masuk kembali ke dalam *reservoir*,
4. Menyalakan keran air,

5. Menyalakan pompa air,
6. Mengaktifkan *water flow meter sensor* untuk melihat kecepatan aliran air,
7. Menyesuaikan *stage panel* pada pompa (I, II, dan III) sesuai kecepatan yang akan diuji,
8. Mengatur kecepatan aliran yang telah ditentukan menggunakan katup air ( $K_2$ ),
9. Memanaskan parafin menggunakan hingga mencapai  $80^{\circ}\text{C}$ ,
10. Merekam data perubahan temperatur pada *data logger* setiap 30 detik,
11. Memasukkan data hasil rekaman *data logger* kedalam Ms. Excel,
12. Membuat kesimpulan hasil penelitian,
13. Selesai

Pengambilan data ini dilakukan secara langsung dengan melakukan eksperimen pada alat penukar kalor. 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 dikehendaki dan sudah konstan, kemudian air panas tersebut dialirkan ke dalam pipa bagian dalam (*tube*). 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.



## 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh data dan juga pengolahan data yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari ketiga variasi pada percobaan ini menunjukkan bahwa variasi jumlah sirip yang digunakan maka besar selisih nilai temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor serta waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 32°C hampir sama. Semakin kecil variasi debit aliran air maka semakin besar selisih nilai temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor namun waktu yang dibutuhkan parafin untuk mencapai temperatur 32°C semakin lama. Dengan waktu tercepat yaitu 12 menit 50 detik pada jumlah sirip 8 variasi 12
2. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jumlah sirip yang digunakan tidak mempengaruhi nilai laju perpindahan panas dan semakin besar variasi debit aliran air yang digunakan maka nilai laju perpindahan panas semakin besar. Nilai laju perpindahan panas terbesar ada pada variasi pengujian debit aliran air 12 lpm variasi jumlah sirip 4, yaitu senilai 76,40 watt sedangkan nilai terkecil ada pada variasi pengujian debit aliran air 4 lpm variasi jumlah sirip 6, yaitu senilai 14,53 watt.
3. Penambahan jumlah sirip tidak mempengaruhi perpindahan panas sedangkan laju aliran dapat mempengaruhi perpindahan panas. Semakin banyak jumlah sirip yang digunakan maka besar perpindahan panasnya

kurang lebih sama. Sedangkan untuk laju alirannya, semakin cepat aliran yang digunakan maka semakin cepat juga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 32°C

## 5.2 Saran

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

1. Pada pengaplikasiannya untuk alat penukar kalor dengan ukuran diameter yang tidak terlalu besar sebaiknya digunakan lintasan yang panjang sehingga perpindahan panas yang terjadi akan lebih maksimal.
2. Sebaiknya dilakukan pengukuran temperatur dengan titik pengukuran yang lebih banyak lagi seperti pada bagian dalam maupun luar pipa tembaga, bagian dalam maupun luar pipa akrilik, serta titik pengukuran parafin yang lebih banyak di setiap bagiannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel & A, Y., 2003. Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition. Mc. Graw- Hill Book. Singapura.
- Cengel, Yunus A dan M.A, Boles. 2005. Thermodynamics and Engineering Approach 5th Edition. McGraw-Hill Collage. Boston
- 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.
- Irsyad, Muhammad., Natal A. H. L. Tobing., M. Dyan Susila. 2020. Pemanfaatan Material Fasa Berubah untuk Mempertahankan Kesegaran Sayuran. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Jefri, Nanda., Sutjahjono, Hary., dan Djumhariyanto, Dwi. 2018. Analisa Thermal Kolektor Surya Pelat Datar Yang Dilengkapi PCM Campuran Parafin Dengan Bahan Berbasis Minyak. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember. Jember
- Jufrizal, Farel H., dan Ambarita, Himsar. 2014. Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar Dengan Penambahan Thermal Energy Storage. Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara. Medan
- Ma'a, Mustaza. 2013. Karakteristik Perpindahan Panas Pada *Double Pipe Heat Exchanger* Perbandingan Aliran Parallel Dan *Counter Flow*. Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik Caltex Riau. Riau

Prianto, Gesi Oktaviani., Amaliyah., Kirom, Ramdhan. 2021. Analisis Pemanfaatan Pemanfaatan Parafin Di Thermal Energy Storage Pada Solar Water Heater. Universitas Telkom. Bandung

Rokhadi, Akhyar Wahyu. 2010. Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Dari Sirip-Sirip Pin Ellips Susunan Selang-Seling Dalam Saluran Segiempat. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret. Surakarta

Rosyadi, Ahmad Adib., Wibowo, Arif., Djumhariyanto, Dwi., 2019. Pengaruh *Glass Tube* Terhadap Performa Kolektor Tabung Pemanas Air Dengan Campuran Parafin – Minyak Jarak. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Jember. Jember

Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R. dan Buddhi, D. 2009. Review on thermal energy storage with phase change material and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13, 318-345.

Sharma, S.D., and Sagara, K. 2005. Laten 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