



## **TUGAS AKHIR – ME 141501**

### **ANALISA KINERJA DAN KARAKTERISTIK *PHASE CHANGE MATERIAL* BERBAHAN DASAR PARAFIN DAN *LINOLEIC ACID* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA *COLD STORAGE***

Febriana Tri Ermadhani  
NRP. 4212 100 029

Dosen Pembimbing :  
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D  
Beni Cahyono, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**FINAL PROJECT – ME 141501**

**PERFORMANCE AND CHARACTERISTIC  
ANALYSIS OF PHASE CHANGE MATERIAL WITH  
PARAFIN AND LINOLEIC ACID SUBSTANCE AS  
COOLING SYSTEM IN COLD STORAGE**

Febriana Tri Ermadhani  
NRP. 4212 100 029

Advisor :  
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D  
Beni Cahyono, ST., MT.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISA KINERJA DAN KARAKTERISTIK *PHASE CHANGE MATERIAL* BERBAHAN DASAR PARAFIN DAN *LINOLEIC ACID* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA *COLD STORAGE***



#### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Febriana Tri Ermadhani**  
**NRP : 4212 100 029**

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D (  )  
NIP. 19751006 2002 12 1003
2. Beni Cahyono, ST., MT. (  )  
NIP. 19790319 2008 01 1008

SURABAYA  
JULI 2016

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA KINERJA DAN KARAKTERISTIK *PHASE CHANGE MATERIAL* BERBAHAN DASAR PARAFIN DAN *LINOLEIC ACID* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA *COLD STORAGE*

## SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Febriana Tri Ermadhani**

**NRP : 4212 100 029**

Disetujui oleh :

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

# **ANALISA KINERJA DAN KARAKTERISTIK *PHASE CHANGE MATERIAL* BERBAHAN DASAR PARAFIN DAN *LINOLEIC ACID* SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA *COLD STORAGE***

Nama Mahasiswa : Febriana Tri Ermadhani  
NRP : 4212 100 029  
Dosen Pembimbing 1 : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D  
Dosen Pembimbing 2 : Beni Cahyono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Daging merupakan salah satu makanan yang memerlukan sistem pendinginan agar mutu dan kualitasnya tetap terjaga. Salah satunya dengan menggunakan *cold storage*, namun *cold storage* ini masih memiliki kelemahan yaitu penggunaan refrigerant yang tidak sesuai dengan skala *food grade level*. Untuk mengurangi penggunaan refrigerant ini dapat dilakukan dengan sistem *hybrid*, salah satunya menggunakan *Phase Change Material (PCM)*.

Pada penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengetahui kinerja serta karakteristik PCM *food grade level*. Metode yang digunakan adalah percobaan PCM hingga menganalisa hasil percobaan. PCM yang dibuat berbahan paraffin dan *linoleic acid* karena kedua bahan ini termasuk dalam jenis bahan PCM Organik. PCM dibuat dengan melakukan pencampuran prosentase volume antara paraffin wax dan paraffin *white oil* serta penambahan prosentase volume *linoleic acid* secara berurutan 20ml:70ml dan 10ml:80ml dan 2%, 4%, dan 6%. Karakteristik pencampuran paraffin dan *linoleic acid* sebagai PCM menggunakan pengujian FTIR dan *bomb calorimeter*.

Dari pengujian FTIR dihasilkan gugus fungsi yang terbentuk dari bahan yang diuji cenderung yaitu terdiri dari rantai alifatik yang ditunjukkan oleh puncak pada  $3000 - 2800\text{cm}^{-1}$ , serta gugus

$(\text{CH}_2)_{n>3}$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $730 - 720 \text{ cm}^{-1}$  dan juga gugus  $\text{CH}_3$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $1490 - 1150 \text{ cm}^{-1}$  serta gugus  $\text{C}=\text{O}$  pada  $1870 - 1550 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya *linoleic acid* dalam sampel campuran dengan *linoleic acid*. Sedangkan hasil pengujian *bomb calorimeter* menunjukkan penambahan *linoleic acid* menurunkan nilai kalor jenis PCM. Berdasarkan hasil analisa data dapat ditarik kesimpulan bahwa PCM yang memiliki kinerja maksimal adalah PCM dengan komposisi paraffin wax 10ml, paraffin *white oil* 80ml dan 2% *linoleic acid* dibanding PCM yang lainnya karena memiliki lama waktu *off* kompresor mesin refrigrerasi 23 menit dan lama waktu *on* kompresor mesin refrigrerasi 14 menit.

**Kata Kunci:** *Phase Change Material, food grade level, paraffin, linoleic acid, FTIR, Bomb Calorimeter*



# PERFORMANCE AND CHARACTERISTIC ANALYSIS OF PHASE CHANGE MATERIAL WITH PARAFFIN AND LINOLEIC ACID SUBSTANCE AS COOLING SYSTEM IN COLD STORAGE

*Student Name* : Febriana Tri Ermadhani  
*Reg. Number* : 4212 100 029  
*Advisor 1* : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D  
*Advisor 2* : Beni Cahyono, S.T., M.T.

## ABSTRACT

*Meat is one kind of food that requires refrigeration system to keep the quality maintained. One of them is by using cold storage, but it still has disadvantage that is the using of refrigerants that do not match with the scale of food grade level. To reduce the using of this refrigerant can be done by hybrid systems, one of them is by using Phase Change Material (PCM).*

*This study aims to create and determine the performance characteristics of PCM for food grade level. The method that is used is PCM experiment to analyze the results of the experiment. PCM that is made based paraffin and linoleic acid, it is because both of these materials are included in the type of organic materials of PCM. PCM is made by mixing the volume percentage of paraffin wax and white paraffin oil and the additional volume percentage of linoleic acid with 20ml: 70ml and 10ml: 80ml and 2%, 4% and 6% sequentially. Characteristics of mixing paraffin and linoleic acid as PCM can be obtained by using FTIR testing and bomb calorimeter.*

*FTIR testing results cluster function which is formed from tested materials that consists of aliphatic chain that is indicated by the peak at 3000 - 2800cm<sup>-1</sup>, the cluster of (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> > 3 is indicated by the peak at 730-720 cm<sup>-1</sup>, CH<sub>3</sub> and C = O each of them is*

*indicated by the peak at 1490 - 1150cm<sup>-1</sup> and 1870 - 1550cm<sup>-1</sup> that indicating linoleic acid in the sample mixture with linoleic acid. While the bomb calorimeter test result show that the additional of linoleic acid can lowers the value of the specific heat of PCM. Based on the results of data analysis, it can be concluded that the PCM has the maximum performance is PCM with the composition of 10 ml of paraffin wax, 80 ml paraffin white oil, and 2% of linoleic acid compared with other PCM. It also supported by the off time of refrigeration machine compressor that took time of 23 minutes and 14 minutes for the on time of engines refrigeration compressor.*

***Keywords: Phase Change Material, food grade level, paraffin, linoleic acid***

## DAFTAR ISI

<b>Lembar Pengesahan.....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan.....</b>	<b>iii</b>
<b>Surat Pernyataan.....</b>	<b>v</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>ix</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xix</b>
<b>Daftar Grafik.....</b>	<b>xxi</b>
<b>Daftar Lampiran.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan Tugas Akhir.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
1.6 Tempat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Kalor.....	5
2.1.1.Kalor Sensibel.....	5
2.1.2.Kalor Laten.....	6
2.2 Perpindahan Kalor.....	6
2.2.1 Konduksi.....	6
2.2.2 Konveksi.....	8
2.2.3 Radiasi.....	9
2.2.4 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh....	9

2.3 Insulasi Termal .....	11
2.4 Sistem Refrigerasi Uap.....	12
2.5 <i>Phase Change Material</i> .....	13
2.5.1. Pengenalan <i>Phase Change Material</i> .....	13
2.5.2. Klasifikasi <i>Phase Change Material</i> .....	15
2.6. Penelitian Sebelumnya.....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Metode Penelitian yang Digunakan .....	25
3.2 Peralatan dan Bahan yang Digunakan .....	31
3.3 Prosedur Percobaan.....	34
<b>BAB IV STUDI EMPIRIS.....</b>	<b>45</b>
4.1 Komposisi Pembuatan PCM .....	45
4.2 Pengetesan yang Dilakukan pada PCM .....	46
4.2.1. <i>Bomb Calorimeter</i> .....	46
4.2.2. FTIR ( <i>Fourier Transform Infra Red</i> ).....	47
4.3 Pengetesan Lain yang Bisa Dilakukan pada PCM .....	49
4.3.1. DSC ( <i>Differential Scanning Calorimeter</i> . ..	49
4.3.2. TGA ( <i>Thermo Gravimetric Analyzer</i> ). .....	50
4.3.3. SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> .....	51
4.4 Percobaan PCM .....	53
4.5 Analisis Performa PCM pada Penelitian Sebelumnya.....	54
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>55</b>
5.1. Perhitungan Beban Panas. ....	55
5.2. Pembuatan <i>Phase Change Material</i> . ....	58
5.3. Pengetesan Fisik dan Kimia PCM.....	60
5.3.1. Hasil Pengetesan Fisik PCM.....	60

5.3.2. Hasil Pengetesan Kimiawi PCM.....	64
5.4. Hasil Percobaan.....	68
5.5. Perhitungan Biaya Operasional.....	77
5.6. Tingkat Ekonomis PCM.....	81
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>83</b>
6.1. Kesimpulan.....	83
6.2. Saran.....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

### BAB II

Tabel 2.1. Kalor Spesifik.....	5
Tabel 2.2. Zat Potensial yang Digunakan Sebagai PCM Organik .....	16
Tabel 2.3. Material Non Parafin. ....	19

### BAB III

Tabel 3.1. Alat dan Bahan. ....	31
---------------------------------	----

### BAB IV

Tabel 4.1. Perbandingan Prosentase Parafin dan <i>linoleic acid</i> . ....	45
Tabel 4.2. Pita Absorpsi Infra Merah. ....	48

### BAB V

Tabel 5.1 Perbandinagn Prosentase Parafin wax dan Paafin <i>white oil</i> . ....	59
Tabel 5.2. Perbandingan Prosentase Parafin dan <i>linoleic acid</i> . ....	59
Tabel 5.3. Hasil Pengujian <i>Bomb Calorimeter</i> .....	60
Tabel 5.4. Perbandingan Waktu <i>On/Off</i> Kompresor Mesin Refrigerasi untuk Melihat Kinerja PCM. ....	69
Tabel 5.5. Pengeluaran Biaya Listrik Akibat On Mesin Refrigerasi. ....	80
Tabel 5.6. Penghematan Biaya Listrik Akibat Off Mesin Refrigerasi. ....	80

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

### BAB II

Gambar 2.1	Energi yang Dibutuhkan untuk Merubah Fase dan Temperature. ....	6
Gambar 2.2	Bagan yang Menunjukkan Arah Aliran Kalor ....	7
Gambar 2.3	Perpindahan Kalor secara Konveksi .....	8
Gambar 2.4	Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar.....	10
Gambar 2.5	Jaringan Tahanan Perpindahan Kalor Menyeluruh.....	10
Gambar 2.6	Kurva Temperature <i>Phase Change Material</i> ....	14
Gambar 2.7	Cara Kerja <i>Phase Change Material</i> .....	15
Gambar 2.8	Klasifikasi <i>Phase Change Material</i> .....	15
Gambar 2.9	Struktur Kimia Parafin Wax.....	17
Gambar 2.10	Struktur Kinnia Asam Linoleat . ....	20

### BAB III

Gambar 3.1	Perencanaan Apparatus .....	26
Gambar 3.2	LCD <i>hot plate</i> Menunjukkan OFF .....	34
Gambar 3.3	Setting pada <i>hot plate</i> .....	34
Gambar 3.4	Panel MCB 1 .....	35
Gambar 3.5	Tutup Panel MCB 2. ....	36
Gambar 3.6	Panel MCB 2. ....	36
Gambar 3.7	Proses Mencairkan Paafin Wax.....	37
Gambar 3.8	Proses Pencampuran <i>linoleic acid</i> dan Parafin campuran. ....	38
Gambar 3.9	Pemasangan <i>thermocouple</i> ke data logger. ....	40
Gambar 3.10	Tanda Koneksi data Logger yang Terbaca pada Laptop. ....	40
Gambar 3.11	Pengaturan <i>Analog Input</i> . ....	41



Gambar 3.12	Monitoring Suhu.....	41
Gambar 3.13	Peletakan PCM dan Produk dalam <i>coolbox</i> . ....	42
Gambar 3.14	Peletakan <i>thermocouple</i> dalam <i>Cool box</i> . ....	43

#### **BAB IV**

Gambar 4.1	<i>Bomb Calorimeter</i> . ....	46
Gambar 4.2	<i>Fourier Transform Infra Red</i> .....	47
Gambar 4.3	<i>Bomb Calorimeter</i> .....	47
Gambar 4.4	<i>Thermo Gravimetric Analyzer</i> .....	50
Gambar 4.5	<i>Scanning Electron Microscope</i> .....	52
Gambar 4.6	Peletakan PCM Tampak Atas.....	53
Gambar 4.7	Perencanaan Apparatus. ....	54

#### **BAB V**

Gambar 5.1.	Hasil FTIR Parafin wax. ....	65
Gambar 5.2.	Hasil FTIR Parafin <i>white oil</i> . ....	66
Gambar 5.3.	Hasil FTIR <i>Linoleic Acid</i> .....	66
Gambar 5.4.	Hasil FTIR Campuran Parafin wax 10ml dan Parafin <i>white oil</i> 80ml.....	67
Gambar 5.5.	Hasil FTIR Campuran Parafin wax 10ml dan Parafin <i>white oil</i> 80ml dan 65 <i>linoleic Acid</i> .....	67
Gambar 5.6.	<i>High Pressure</i> . ....	77
Gambar 5.7.	<i>Low Pressure</i> . ....	78
Gambar 5.8.	<i>P-h Diagram Refrigerant R404A</i> . ....	78

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1 Hasil Pengamatan <i>Freezing Point</i> .....	64
Grafik 5.2. Lama Waktu <i>On/Off</i> Kinerja Pembebanan tanpa PCM . .....	70
Grafik 5.3. Lama Waktu <i>On/Off</i> Kinerja Pembebanan dengan PCM Komposisi A. ....	71
Grafik 5.4. Lama Waktu <i>On/Off</i> Kinerja Pembebanan dengan PCM Komposisi B.....	72
Grafik 5.5. Kinerja Pembebanan Menggunakan PCM Komposisi A.....	74
Grafik 5.6. Kinerja Pembebanan Menggunakan PCM Komposisi B.....	76
Grafik 5.7. <i>Cummulative Cashflow</i> PCM A3.....	82
Grafik 5.8. <i>Cummulative Cashflow</i> PCM B1.....	82

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Sheet Parafin Wax
- Lampiran 2 Data Sheet Parafin *white oil*
- Lampiran 3 Data Sheet *Linoleic Acid*
- Lampiran 4 Sertifikat Pengujian *Bomb Calorimeter*
- Lampiran 5 Tabel Pita Absorpsi Infra Merah (Socrates,2001 halaman12)
- Lampiran 6 Perhitungan Biaya Pembuatan PCM
- Lampiran 7 Perhitungan Beban Panas untuk Mengetahui Jumlah PCM yang Dibutuhkan
- Lampiran 8 Perhitungan Ekonomis PCM
- Lampiran 9 Spesifikasi Labjack T7-Pro
- Lampiran 10 Dokumentasi

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Daging merupakan sumber protein yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Terutama pada jaman sekarang, permintaan akan daging segar makin meningkat dan meluas cakupannya. Hal ini menjadikan mutu dan kualitas daging perlu dijaga untuk mengurangi terjadinya kerusakan atau pembusukan selama penyimpanan, pendistribusian dan pemasaran. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah dengan menjaga suhu rendah. Pada daging, suhu rendah ini bertujuan untuk mencegah pertumbuhan mikroba yang dapat dicapai pada  $-12^{\circ}\text{C}$ , sedang untuk menghambat metabolisme selular di jaringan tubuh hewan dapat dicapai pada suhu dibawah  $-18^{\circ}\text{C}$ . Rata – rata suhu penyimpanan daging berada sekitar  $-18^{\circ}\text{C}$  ( Sari Puspitasari A.P, 2012)

Menjaga suhu rendah pada daging biasanya memanfaatkan sistem pendinginan. Sistem pendinginan ini biasanya menggunakan *cold storage*. Saat ini masih banyak *cold storage* yang menggunakan mesin refrigerasi dan juga refrigerant berupa HCFC (*Hydro Chloro Fluoro Carbon*), HFC (*Hydro Fluoro Carbon*),  $\text{NH}_3$  (Amonia), air dan karbondioksida. Meskipun termasuk jenis refrigeran alami, namun HCFC, HFC dan  $\text{NH}_3$  memiliki sifat diantaranya beracun, korosif dan mudah terbakar (Ratiko, 2006) sehingga masih kurang efektif jika digunakan sebagai refrigeran skala *food grade level*.

Untuk mengurangi penggunaan secara terus – menerus refrigeran ini bisa dilakukan dengan sistem *hybrid*. Yakni dengan memanfaatkan penggunaan material berubah fasa atau *Phase Change Material (PCM)* sebagai *switch*nya. Selain bermanfaat mengurangi penggunaan refrigeran secara terus – menerus bisa juga mengurangi penggunaan energy listriknya.

Dewasa ini penggunaan *Phase Change Material (PCM)* sudah banyak dikembangkan untuk penyimpan energi panas, pendingin ruangan, dll. PCM dibagi menjadi dua kelompok, yakni

organik dan anorganik. PCM organik diantaranya meliputi paraffin dan non-paraffin. Non-paraffin biasanya terdiri dari *fatty acid* seperti *capric acid*, *stearic acid*, *lauric acid*, *linoleat acid*, *oleat acid*, dll. PCM anorganik seperti *salt hydrates* (Belen Zalba, 2002).

Pada dasarnya semua material dapat digolongkan sebagai PCM, yang membedakan hanyalah temperatur perubahan fasa. Masing-masing material memiliki temperatur perubahan fasa yang berbeda. Hal yang penting dalam memilih material PCM adalah temperatur berubah fasa yang sesuai dengan range temperatur aplikasinya (Dailami, 2012). Untuk memperoleh PCM yang sesuai dengan media pendingin *food grade level*, diperlukan bahan yang sesuai dengan karakteristik *food grade level* yaitu tidak beracun dan sesuai dengan temperatur yang dibutuhkan. Berdasarkan karakteristik tersebut maka bahan yang dipilih adalah campuran paraffin dan non-paraffin . Kedua bahan tersebut dipilih karena bersifat organik.

Paraffin memiliki titik leleh yang masih tinggi, contohnya paraffin *wax solid*  $\pm 58,2^{\circ}\text{C}$  (*data sheet analysis* PT. Brataco) sehingga masih kurang efektif untuk bahan PCM *food grade level*. Pada non-paraffin bahan yang dipilih adalah *linoleat acid*, karena memiliki titik leleh paling rendah dibandingkan dengan *fatty acid* lainnya yaitu  $\pm -5^{\circ}\text{C}$  (Perry dan Don,1999). Pencampuran kedua bahan tersebut diharapkan mampu mencapai temperatur yang sesuai dengan *food grade level*.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dimuat dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid* yang sesuai dengan *food grade level*?
2. Bagaimana kinerja dan karakteristik PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid* yang sesuai dengan *food grade level*?
3. Bagaimana tingkat keekonomisan PCM?

### 1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini lebih terfokuskan, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Produk yang digunakan sebagai sampel untuk melihat kinerja PCM berbahan parafin dan *linoleic acid* adalah es batu sebagai pengganti daging.
2. Tugas Akhir ini hanya terbatas untuk temperatur yang cocok dengan *food grade level* (dengan range temperature daging  $-12^{\circ}\text{C}$  s/d  $-18^{\circ}\text{C}$ ).
3. Pada tugas akhir ini menggunakan *scale laboratory cold storage*

### 1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini diantaranya adalah :

1. Mendapatkan PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid* yang sesuai dengan *food grade level*
2. Mengetahui kinerja dan karakteristik dari PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid* sebagai media pendingin
3. Mengetahui tingkat ekonomis PCM

### 1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menghasilkan PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid* yang sesuai dengan *food grade level*
2. Mengetahui kinerja dan karakteristik PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid*.
3. Mengetahui tingkat ekonomis PCM.

### 1.6. Tempat Penelitian

Tempat yang direncanakan untuk mendapatkan informasi dan data-data guna mendukung tugas akhir ini adalah :

1. Workshop Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem, Teknik Sistem Perkapalan, FTK – ITS



2. Laboratorium Kimia Material dan Energi, Jurusan Kimia, FMIPA - ITS

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kalor

Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Apabila suatu zat menerima dan melepas kalor maka kemungkinan akan terjadi perubahan temperatur yang dikenal dengan kalor sensibel dan perubahan fase zat yang dikenal dengan kalor laten.

#### 2.1.1. Kalor Sensibel

Kalor sensibel merupakan kalor yang dibutuhkan untuk meningkatkan atau menurunkan temperatur suatu zat tanpa merubah fase zat.

Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q : Energi kalor yang dilepas/ diterima zat (J)

m : massa zat (kg)

C<sub>p</sub> : kalor spesifik (J/kg.K)

ΔT : perubahan temperatur (K)

#### Kalor Spesifik

Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperature satu satuan massa benda sebesar satu derajat.

**Tabel 2.1.** Kalor Spesifik

No	Food	Specific Heat- above Freezing (kJ/kg <sup>0</sup> C)	Specific Heat- below Freezing (kJ/kg <sup>0</sup> C)
1	Apples	3,64	1,76
2	Avocados	3.01	1.55
3	Bananas	3.35	1.67
4	Beef	2.81	1.51
5	Chicken	3.22	1.59

6	Fish	3,6	-
---	------	-----	---

(<http://www.engineeringtoolbox.com/>)

### 2.1.2. Kalor Laten

Kalor laten merupakan kalor yang dibutuhkan untuk merubah fase zat tanpa meningkatkan temperatur suatu zat, jikalau ada peningkatan temperatur yang terjadi sangatlah kecil.

Persamaan kalor laten suatu zat dapat ditulis sebagai berikut:

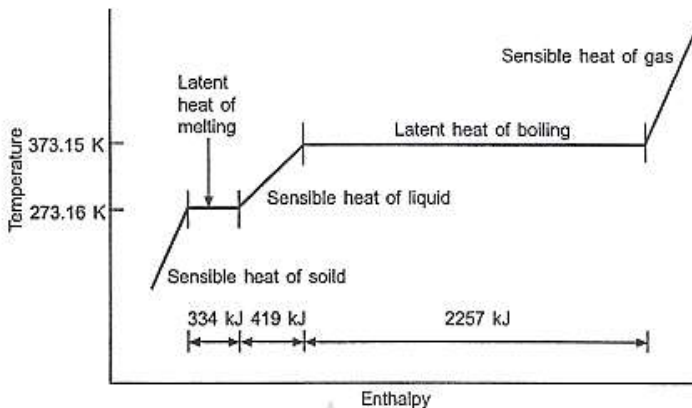
$$Q = m \cdot h_1$$

Dimana :

Q : Energi kalor yang dilepas/ diterima zat (J)

m : massa zat (kg)

$h_1$  : kalor laten (kJ/kg)



**Gambar 2.1.** Energi yang dibutuhkan untuk merubah fase dan temperature (Trot.& Welch, 2000)

### 2.2. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor merupakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material yang dipengaruhi oleh laju perpindahan suatu benda atau material yang terjadi pada kondisi – kondisi tertentu.

### 2.2.1. Konduksi

Konduksi merupakan peristiwa perpindahan panas yang terjadi pada medium yang bersinggungan langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradient suhu maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Persamaan untuk menyatakan perpindahan kalor secara konduksi telah dijelaskan dengan hukum Fourier sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

(Holman, 1997)

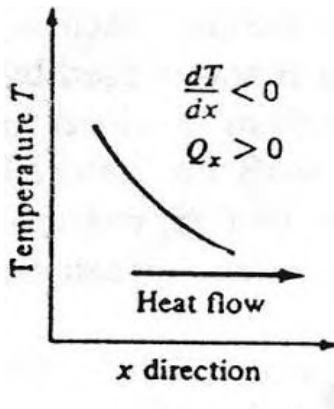
Dimana :

$q$  : laju perpindahan kalor ( W )

$k$  : konduktivitas termal benda ( W/m°C )

$A$  : luas bidang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan kalor ( m<sup>2</sup> )

$\frac{\partial T}{\partial x}$  : gradient suhu ke arah perpindahan kalor ( °C/m )

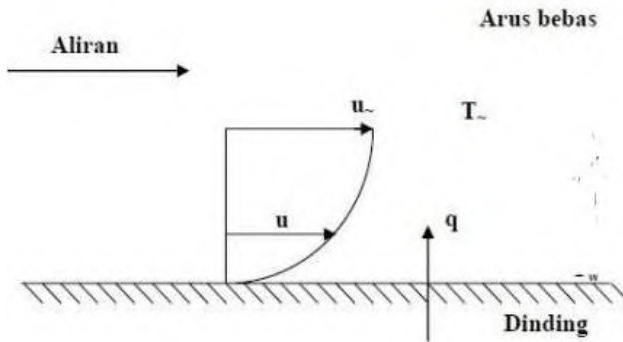


**Gambar 2.2.** Bagan yang menunjukkan arah aliran kalor (Holman, 1997)

Pemberian tanda minus pada persamaan hukum Fourier adalah untuk memenuhi hukum kedua termodinamika, yang menyebutkan bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu.

### 2.2.2. Konveksi

Konveksi merupakan peristiwa perpindahan panas yang terjadi antara permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida yang bergerak atau mengalir dan melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida.



**Gambar 2.3.** Perpindahan kalor secara konveksi  
(Holman, 1997)

Guna menyatakan pengaruh konduksi secara menyeluruh, maka digunakan hukum Newton tentang pendinginan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = hA (T_s - T_f) \quad (\text{Holman, 1997})$$

Dimana :

$q$  : laju perpindahan kalor (W)

$h$  : koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ )

- $A$  : luas penampang ( $m^2$ )  
 $T_s$  : Temperatur plat/benda ( $^{\circ}C$ )  
 $T_f$  : Temperatur fluida yang mengalir dekat permukaan benda ( $^{\circ}C$ )

### 2.2.3 Radiasi

Radiasi merupakan peristiwa perpindahan panas tanpa menggunakan zat perantara melainkan memanfaatkan sinaran atau radiasi elektromagnetik.

Pertukaran radiasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = \varepsilon_1 \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Holman, 1997})$$

Dimana :

- $\varepsilon$  : emisivitas ; sifat radiasi pada permukaan  
 $A$  : luas penampang ( $m^2$ )  
 $\sigma$  : konstanta *Stefan – Boltzman* ( $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )  
 $T_1^4$  : Temperatur absolut permukaan ( $K^4$ )  
 $T_2^4$  : temperature sekitar ( $K^4$ )

### 2.2.4 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Dua fluida yang berbeda temperatur dan dipisahkan oleh dinding datar. Dimana pada satu sisi dinding datar fluida panas A dan satu sisi dinding datar lainnya fluida dingin B. Pada kasus ini dapat pula digambarkan dengan jaringan tahanan. Perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan membagi beda suhu menyeluruh dengan jumlah tahanan *thermal* sebagai berikut :

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}}$$

(Holman, 1997)

Dimana :

$q$  : laju perpindahan kalor ( W )

$T_A$  : Temperatur fluida A (°C)

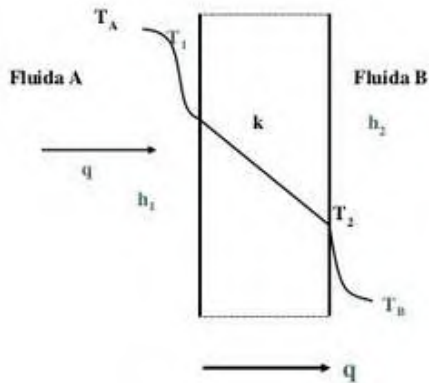
$T_B$  : Temperatur fluida B (°C)

$k$  : konduktivitas termal benda ( W/m°C )

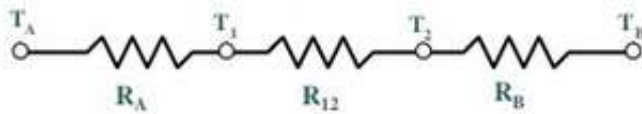
$h$  : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>°C)

$A$  : luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta x$  : ketebalan dinding (m)



**Gambar 2.4.** Perpindahan kalor menyeluruh melalui dinding datar ( Holman, 1997 )



**Gambar 2.5.** Jaringan tahanan perpindahan kalor menyeluruh ( Holman, 1997 )

Aliran kalor menyeluruh merupakan hasil gabungan proses konduksi dan konveksi yang dinyatakan dengan koefisien

perpindahan kalor menyeluruh  $U$  yang dirumuskan sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

(Holman, 1997)

Sehingga untuk menyatakan persamaan laju perpindahan kalor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$q = U A \Delta T_{\text{menyeluruh}}$$

(Holman, 1997)

Dimana :

$U$  : koefisien perpindahan kalor menyeluruh

$A$  : luas bidang aliran kalor

Hubungan antara energi kalor dengan laju perpindahan kalor yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$Q = q \cdot \Delta t$$

Dimana :

$Q$  : Energi kalor yang dilepas/ diterima zat (J)

$q$  : laju perpindahan kalor (Watt)

$\Delta t$  : waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan energi kalor (s)

### 2.3 Insulasi Termal

Insulasi termal merupakan metode yang digunakan untuk menghambat laju perpindahan kalor. Dengan metode ini aliran kalor dapat dikendalikan, disesuaikan dengan sifat bahan yang digunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan kalor ini disebut dengan *isolator* atau *insulator*. Tujuan dari insulasi *thermal* adalah menjaga agar suatu kondisi tertutup dapat terasa lebih hangat atau dingin lebih lama.

Performa suatu insulasi termal suatu bahan dapat diukur dengan menggunakan salah satu nilai sebagai berikut :



konduktivitas termal ( $k$ ), *density* ( $\rho$ ), ataupun kapasitas panas spesifik ( $c$ ).

#### 2.4. Sistem Refrigerasi Uap

Proses pendinginan suatu ruangan membutuhkan energi yang harus dipindahkan, yakni berupa energi dalam bentuk panas dari ruangan menuju fluida kerja. Proses ini dilakukan secara terus – menerus sampai temperature yang diinginkan tercapai. Untuk dapat mencapai proses ini dilakukan dengan cara *close cycle* dimana tidak ada fluida yang keluar ke lingkungan.

Urutan proses *close cycle* dimulai dengan penyerapan panas yang kemudian diserap oleh refrigerant selanjutnya energy dalam bentuk panas ini dibuang ke lingkungan. Proses pembuangan panas ke lingkungan dapat dipermudah dengan menaikkan tekanan fluida kerja yang akan menyebabkan temperature fluida kerja naik pula. Proses menaikkan tekanan ini membutuhkan energy kompresor yang cukup.

Berikut merupakan persamaan daya kompresor pada kondisi *superheated vapor* dapat dirumuskan dengan :

$$W_{comp} = m_{ref} (h_2 - h_1)$$

Dimana :

$W_{comp}$  : daya kompresor (kW)

$m_{ref}$  : laju aliran massa refrigerant (Kg/s)

$h$  : enthalpy (kJ/Kg)

Dan untuk perhitungan  $Q$  yang masuk kedalam evaporator (tekanan rendah) atau  $Q_L$  dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_L = m_{ref} (h_1 - h_4)$$

Dimana :

$Q_L$  : Panas evaporator (kJ/s)

$m_{ref}$  : laju aliran massa refrigerant (Kg/s)  
 $h$  : entalphy (kJ/Kg)

Untuk mendapatkan  $Q$  konensor (tekanan tinggi/0 atau  $Q_h$  dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = m_{ref} (h_2 - h_3)$$

Dimana :

$Q_h$  :  $Q$  kondensor (kJ/s)  
 $m_{ref}$  : laju aliran massa refrigerant (Kg/s)  
 $h$  : entalphy (kJ/Kg)

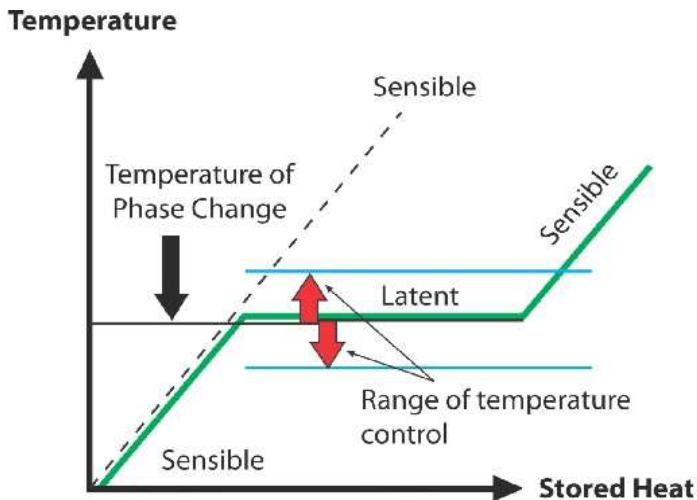
## **2.5. Phase Change Material (PCM)**

### **2.5.1. Pengenalan Phase Change Material**

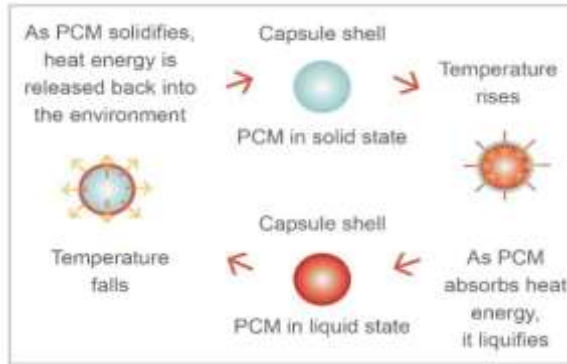
*Phase Change Material* atau material berubah fasa merupakan salah satu jenis penyimpanan energi dalam bentuk panas laten. Sebenarnya penyimpanan energi panas dapat disimpan dalam bentuk panas laten, panas sensible atau keduanya. Namun dengan menggunakan *Phase Change Material* sebagai material penyimpan panas, keuntungannya adalah dengan volume material yang kecil dapat menyimpan panas dalam kapasitas besar dengan proses penyerapan dan pelepasan energi panas yang terjadi pada temperature yang hampir konstan.

Cara kerja dari PCM ialah temperature dari PCM akan meningkat ketika menyerap panas. Ketika PCM mencapai titik lelehnya sehingga berubah fasa menjadi cair (kalor sensible) ,kemudian dilanjutkan proses PCM menyerap panas yang cukup besar tanpa bertambah temperaturnya

(kalor laten). Temperature akan konstan sampai proses pelelehan berakhir. Saat temperature lingkungan turun, maka PCM akan berubah menjadi padatan, pada kondisi ini PCM melepaskan panas. Penyimpanan massa jenis PCM sama dengan 5 – 14 kali penyimpanan massa jenis sensible pada volume yang sama. (Sharma A, 2009)



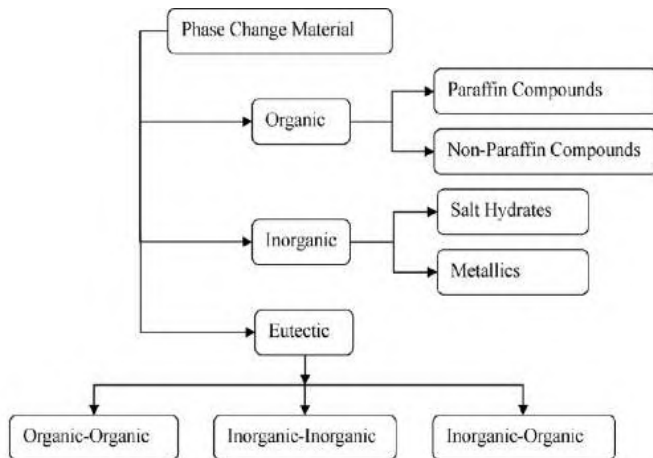
**Gambar 2.6.** Kurva temperature *Phase Change Material*  
( <http://www.rgees.com/technology.php> )



**Gambar 2.7.** Cara Kerja *Phase Change Material*  
[\(http://www.daikinme.com/vrv-iv/continuous heating/\)](http://www.daikinme.com/vrv-iv/continuous_heating/)

### 2.5.2. Klasifikasi *Phase Change Material*

*Phase Change Material* (PCM) yang digunakan sebagai penyimpanan panas laten dapat diklasifikasikan sebagai berikut :



**Gambar 2.8.** Klasifikasi *Phase Change Material*  
 (Bal, 2010)

## 1. PCM Organik

Material PCM Organik memiliki sifat lebih stabil, tidak mengalami fasa pemisahan pada komposisi yang sama antara massa jenis fasa cairan dan massa jenis fasa padatan, tidak terjadi gejala *undercooling* serta tidak ada korosi.

Berikut merupakan zat – zat yang potensial digunakan sebagai bahan PCM Organik adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.2.** Zat Potensial yang Digunakan Sebagai PCM Organik  
(Zalba, 2002)

Compound	Temp. Melting (°C)	Heat of Fusion (kJ/kg)	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Parafin C <sub>16</sub> – C <sub>18</sub>	20 – 22	152	-	-
Polyglycol E600	22	127,2	0,189 (liquid 38,6 <sup>o</sup> C)	1126 (liquid 25 <sup>o</sup> C) 1232 (solid 4 <sup>o</sup> C)
Parafin C <sub>13</sub> - C <sub>24</sub>	22 – 24	189	0,21 ( solid )	0,76 (liquid 70 <sup>o</sup> C) 0,9 (solid 20 <sup>o</sup> C)
I - Dodnecanol	26	200	-	-
Parafin C <sub>18</sub>	28 27,5	244 243,5	0,148 (liquid 40 <sup>o</sup> C) 0,15 ( solid ) 0,358 (solid 25 <sup>o</sup> C)	0,774 (liquid 70 <sup>o</sup> C) 0,814 ( solid 20 <sup>o</sup> C)
I - Tetradecanol	38	205	-	-
Parafin C <sub>16</sub> – C <sub>28</sub>	42 – 44	189	0,21 (solid)	0,765(liquid 70 <sup>o</sup> C) 0,91 (solid 20 <sup>o</sup> C)
Parafin C <sub>20</sub> -C <sub>33</sub>	48 - 50	189	0,21 (solid)	0,765(liquid 70 <sup>o</sup> C) 0,912 (solid 20 <sup>o</sup> C)
Parafin wax	64	173,6 266	0,167 (liquid 63,5 <sup>o</sup> C) 0,346 (solid 33,6 <sup>o</sup> C) 0,339 (solid 45,7 <sup>o</sup> C)	790 (liquid 65 <sup>o</sup> C) 916 (solid 24 <sup>o</sup> C)
Polyglycol E6000	66	190	-	1085 (liquid 70 <sup>o</sup> C) 1212(solid 25 <sup>o</sup> C)
Parafin C <sub>21</sub> -C <sub>50</sub>	66 -68	189	0,21 ( solid )	0,83 (liquid 70 <sup>o</sup> C) 0,93( solid 20 <sup>o</sup> C)
Propionamide	79	168,2	-	-
Erythritol	118	339,8	0,326 (liquid 140 <sup>o</sup> C)	1300 (liquid 140 <sup>o</sup> C)

			0,733( solid 20°C)	1480 (solid 20°C)
--	--	--	--------------------	-------------------

Material PCM organik dibagi menjadi 2 macam yaitu :

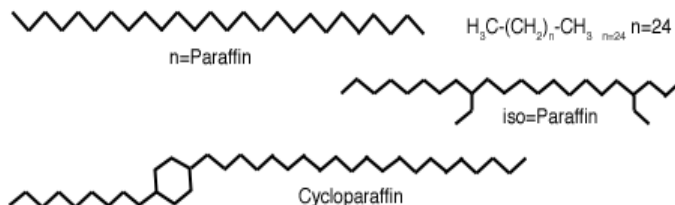
### 1. Parafin

Parafin terdiri dari campuran ikatan alkana yang termasuk dalam hidrokarbon jenuh bersifat non polar. Parafin dihasilkan dari penggabungan  $\text{CH}_2$  berturut – turut. Yang termasuk contoh parafin paling sederhana adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) yang merupakan titik awal untuk pertambahan panjang rantai. Satu karbon dan dua hydrogen kemudian ditambahkan ke molekul yang ada untuk membentuk molekul yang lebih panjang. Paling umum, tambahan  $\text{CH}_2$  ditambahkan untuk membentuk paraffin rantai lurus.

Bentuk paraffin tergantung dari banyaknya kandungan rantai C. Paraffin cair memiliki rantai C sebanyak 5 – 15 sehingga bentuknya berupa cairan pada suhu kamar. Parafin wax memiliki rantai C lebih dari 15 sehingga berupa padatan pada suhu kamar.

#### A. Parafin Wax

Parafin wax termasuk dalam hidrokarbon jenuh yang mengandung lebih dari 16 rantai C dan berada dalam keadaan padat pada suhu kamar (Schmidt, 2010).



**Gambar 2.9** Struktur Kimia Parafin Wax  
 (The International Group Inc., 2010)

Keadaan fisik paraffin wax sangat ditentukan oleh panjang pendeknya rantai alkane. Parafin wax memiliki titik leleh antara  $50^{\circ}\text{C}$  hingga  $70^{\circ}\text{C}$  (Schmidt, 2010). Titik didih paraffin wax dipengaruhi oleh gaya *Van der Wall* dan panjang alkane. Gaya *Van der Wall* meningkatkan titik didih apabila semakin besar gayanya, sedangkan titik didih semakin rendah apabila alkane bercabang semakin meningkat. Untuk titik leleh paraffin dipengaruhi oleh panjang pendeknya alkane, semakin panjang alkane maka semakin tinggi titik lelehnya.

Kepadatan paraffin wax umumnya meningkat dengan meningkatkan massa molekul tetapi masih dibawah  $1\text{ g/m}^3$  yang merupakan massa jenis air. Parafin wax juga bersifat non polar, sehingga paraffin wax tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut minyak non polar contoh seperti benzene, eter dan ester tertentu.

Berikut pengaruh titik leleh, viskositas dan suhu pada kelarutan paraffin wax (Weber dan Dunlap 1928) :

- Kelarutan paraffin wax menurun karena titik leleh tinggi
  - Semakin tinggi titik leleh, gaya antarmolekul lebih kuat dan lebih stabil struktur. Parafin wax yang memiliki titik leleh tinggi membutuhkan energy yang lebih banyak untuk larut dalam air dibanding yang memiliki titik leleh rendah. Maka dari itu, kelarutan paraffin wax berkurang.
- Kelarutan berkurang karena viskositas meningkat
  - Viskositas berhubungan dengan perlawanan fluida untuk mengalir. Peningkatan polimerisasi (penambahan  $\text{CH}_2$ ) meningkatkan berat molar cairan. Peningkatan panjang rantai C juga menyebabkan peningkatan gaya tarik menarik antarmolekul. Peningkatan ini menyebabkan energy yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya antarmolekul lebih banyak.
- Kelarutan meningkat karena suhu meningkat
  - Dengan menambahkan panas akan mempermudah pertikel untuk bergerak, hal ini yang menyebabkan paraffin wax mencair serta menyediakan energy yang

diperlukan untuk melepaskan ikatan dari padatan ke bentuk cairan (Becker, 1997).

## B. Parafin Cair ( White Oil )

Parafin cair adalah minyak mineral yang terdiri dari campuran hidrokarbon cair yang dihasilkan dari minyak bumi. Minyak ini merupakan cairan bening, tidak berwarna, tidak larut dalam alkohol atau air, tidak berbau dan tidak berasa namun jika dipanaskan sedikit berbau minyak tanah. Minyak mineral berfungsi sebagai pelarut dan penambah viskositas dalam fase minyak. Parafin cair memiliki titik lebur sekitar 50°C sampai 61°C (Enno NH, 2014). Parafin cair ini juga tidak menyebabkan toksin atau racun. (M. Haqqi B, 2008).

### 1. Non Parafin

Material organik Non-Paraffin sering disebut juga dengan *fatty acids* merupakan PCM dengan jumlah variasi paling banyak. Masing - masing material ini memiliki sifat-sifat tersendiri, tidak seperti material paraffin yang rata-rata memiliki sifat yang hampir sama. Jenis material ini adalah material penyimpan panas yang paling sering digunakan. Beberapa material organik non paraffin ini memiliki sifat-sifat yaitu :

1. Kalor jenis latent yang tinggi
2. Titik nyala kecil
3. Termal konduktivitas yang rendah
4. Tidak mudah terbakar
5. Tidak terlalu berbahaya

**Tabel 2.3.** Material Non Parafin  
(Bal 2010)

Material	Formula	Melting Point (°C)	Latent Heat (kJ/kg)
Acetic Acid	CH <sub>3</sub> COOH	16,7	184
Polyethyleneglycol 600	H(OC <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> OH	20 – 25	146



Capric Acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	36	152
Eladic Acid	$\text{C}_8\text{H}_7\text{C}_9\text{H}_{16}\text{COOH}$	47	218
Lauric Acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	49	178
Tristearin	$(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})\text{C}_3\text{H}_5$	56	191
Stearic Acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69,4	199
Acetamide	$\text{CH}_3\text{CONH}_2$	81	241

### A. *Linoleic Acid*

*Linoleic acid* merupakan asam lemak tidak jenuh jamak yang tersusun dari rantai lurus 18 atom karbon serta bersifat nonpolar. Sebagai senyawa hidrokarbohidrat, asam lemak pada umumnya tidak larut dalam air akan tetapi akan mudah larut dalam pelarut organik. Pada dasarnya suatu bahan akan mudah larut dalam pelarut yang sama polaritasnya, dimana bahan yang bersifat polar akan mudah larut dalam pelarut polar dan juga sebaliknya.

*Linoleic acid* yang banyak mengandung asam lemak tidak jenuh lebih mudah larut dalam pelarut yang non-polar seperti heksana, benzena atau sikloheksana dan sedikit larut dalam pelarut polar seperti kloroform. *Linoleic acid* termasuk dalam asam lemak esensial, yaitu asam lemak yang tidak dapat dibentuk dalam tubuh sehingga harus mengonsumsi melalui makanan (Harison,2006).



**Gambar 2.10.** Struktur Kimia Asam Linoleat

(<http://himitepa.lk.ipb.ac.id/asam-lemak-omega-mengapa-asam-oleat-bukan-termasuk-asam-lemak-esensial/>)

Asam ini dapat diperoleh melalui beberapa minyak, diantaranya minyak safflower (78%), minyak biji opium (70%), minyak rami (50-70%), minyak kacang kenari, minyak zaitun, minyak kelapa, minyak wijen dan minyak biji anggur (Perry's, 1999).

Sifat – sifat kimia dan fisika *linoleate acid* adalah sebagai berikut :

- a. Sifat kimia :
  - Larut dalam pelarut organik
  - Bersifat hidrolisis
  - Tidak stabil pada suhu kamar
  - Rumus kimia :  $C_{18}H_{32}O_2$
- b. Sifat Fisika :
  - Berat molekul : 280, 44548(1724) g/mol
  - Titik leleh :  $-5^{\circ}C$
  - Titik didih :  $229^{\circ}C$
  - Tidak larut dalam air
  - Mudah terhidrogenasi
  - Tidak berwarna

( Perry's, 1999 )

## 2. PCM Inorganik

PCM non-organik dapat di klasifikasikan menjadi dua jenis, yakni :

### 1. *Salt Hydrates*

*Salt Hydrates* memiliki beberapa sifat yang dapat dikategorikan menjadi *Phase Change Material* yaitu :

- Memiliki panas latent yang tinggi per satuan volume.
- Memiliki konduktivitas termal yang cukup tinggi.
- Perubahan volume yang kecil ketika mencair.

- Tidak korosif, tingkat racun kecil dan tidak bereaksi dengan plastik.

## 2. *Metallics*

Kategori logam yang termasuk dalam *metallics* adalah logam dengan titik leleh yang rendah dan logam *eutectics*. Bahan *metallics* ini masih jarang dipakai sebagai PCM karena kerugian pada jumlah/berat bahan yang diperlukan. Seperti diketahui, besarnya energi *thermal* yang bisa disimpan itu berbanding lurus dengan volume. Perbedaan dengan PCM lainnya ialah *metallics* memiliki konduktivitas termal yang tinggi.

### 2.6. Penelitian Sebelumnya

#### A. *Performance Of The Capric and Lauric Acid Mixture with Additives as Cold Storage Materials for High Temperature Cooling Application.*

(X.L. Wang, X.Q.Zhai, T. Wang, H.X.Wang, Y.L. Yin, 2013. Institute of Refrigeration and Cryogenics. Shanghai Jian Tong University : China).

Pada penelitian ini dilakukan pencampuran antara asam capric dan asam lauric dengan prosentase berurutan sebagai berikut ; 55:45, 60:40, 65:35, 70:30, 75:25 dan 80:20. Titik beku yang terjadi pada pencampuran asam didapatkan secara berurutan sebagai berikut: 21.33<sup>0</sup>C, 21.48<sup>0</sup>C, 20.54<sup>0</sup>C, 18.01<sup>0</sup> C, 18.34<sup>0</sup>C dan 18.76<sup>0</sup>C. Temperature *eutectic* dari campuran ini adalah 18.01<sup>0</sup>C yang terjadi pada prosentase 70:30. Temperature *eutectic* ini masih lebih tinggi dibanding PCM untuk aplikasi pendingin temperature tinggi (15<sup>0</sup>C). Sehingga perlu ditambahkan zat additive untuk menurunkan temperature *eutectic* ini. Zat additive ini diantaranya adalah asam

capric, ethyl benzoate, methyl salicylate, asam oleic, tetradecane, dan hexadecane. Dari zat additive ini yang dipilih adalah asam oleic karena pertimbangan temperature yang dihasilkan mendekati dengan target aplikasi pendingin temperature tinggi yaitu  $14,96^{\circ}\text{C}$ . Selain itu asam oleic juga memiliki sifat tidak beracun dan tidak korosif.

B. *Preparation and Characterization of Stearic Acid/ Olive Pomace Powder Composite as form-Stable Phase Change Material.*

(Dihia Djefel, dkk. 2015. Mouloud Mammeri University : Algeria).

Penelitian ini terdiri dari persiapan, karakteristik dan sifat termal dari pencampuran antara asam stearic/olive pomace powder dan asam stearic/olive pomace powder/graphite sebagai bentuk stabil PCM baru. Graphite sebagai zat additive yang berguna menurunkan titik beku dari campuran bahan. Prosentase yang dipakai pada penelitian ini adalah 50:50 dan 50:50+graphite 7%. Dari prosentase ini didapatkan titik beku secara berurutan sebagai berikut :  $51,38^{\circ}\text{C}$  dan  $49,25^{\circ}\text{C}$ , panas laten saat pembekuan secara berurutan sebagai berikut :  $109,85\text{J/g}$  dan  $98,34\text{J/g}$ . Sedang untuk titik leleh didapatkan hasil secara berurutan sebagai berikut :  $55,44^{\circ}\text{C}$  dan  $57,03^{\circ}\text{C}$ , panas laten saat meleleh secara berurutan didapatkan sebagai berikut :  $111,10\text{J/g}$  dan  $98,25\text{J/g}$ . Dan konnduktivitas termal secara berurutan sebagai berikut :  $0,2346\text{ W/mK}$  dan  $0,3451\text{W/mK}$ .

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Metodologi Penelitian**

Metode penelitian yang dipakai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah dengan melakukan percobaan pencampuran antara paraffin dan *linoleic acid*.

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

##### **1. Studi Literatur**

Dilakukan dengan mencari, mempelajari, serta memahami paper, jurnal, dan buku-buku yang berkaitan dengan tema tugas akhir. Terutama melakukan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan perpindahan panas, *Phase Change Material*, paraffin, zat organik.

##### **2. Studi Empiris**

Pada tahapan ini dilakukan studi tentang *Phase Change Material* dan pencampuran dengan *Linoleic Acid* serta komposisi pencampuran yang dapat dipengaruhi untuk percobaan. Pada tahapan ini juga mengidentifikasi konfigurasi percobaan untuk PCM serta komponen – komponen yang diperlukan. Termasuk *basic* uji kinerja dan karakteristik fisika dan kimiawi.

##### **3. Perencanaan Apparatus**

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan desain *cool box* yang cocok dengan percobaan PCM yang akan dilakukan. PCM yang akan diujikan adalah PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid*  
Ketentuan *cool box* yang digunakan :

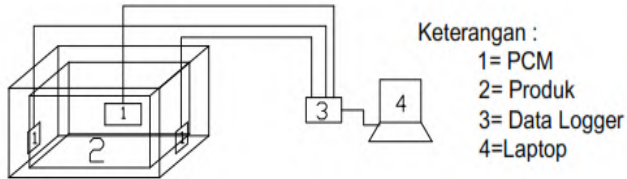
Bahan : styerofoam

Dimensi :

- Panjang : 30 cm
- Lebar : 25 cm
- Tinggi : 20 cm

- Ketebalan : 3 cm

Berikut desain apparatus yang dipakai pada penelitian ini



**Gambar 3.1.** Perencanaan Apparatus

Langkah awal sebelum melakukan percobaan untuk melihat kinerja PCM yang dibuat adalah menentukan letak – letak *thermocouple* pada *cool box*. Ketentuan peletakan *thermocouple* tidak ada acuan khususnya, namun untuk melihat sebaran udara dalam *cool box* maka secara umum peletakan *thermocouple* berada pada sisi – sisi *cool box*.

Pada desain apparatus ini, rencana peletakan *thermocouple* untuk pengambilan data adalah dengan meletakkan 3 *thermocouple* dalam *cool box* pada titik – titik dengan ketentuan :

- Dua *thermocouple* untuk melihat sebaran suhu dalam *cool box*.
- Satu *thermocouple* diletakkan dalam PCM guna melihat temperature PCM Baru.

#### 4. Perhitungan Beban Panas

Pada tahapan ini akan dianalisa dan dihitung beban panas yang di dihasilkan *cool box* dan produk. *Cool box* menghasilkan panas dari lingkungan yang masuk melalui dinding – dinding *cool box*, sedangkan beban panas produk dihasilkan oleh produk.

#### 5. Pembuatan *Phase Change Material* (PCM)

Pada tahapan ini dilakukan pencampuran bahan antara paraffin dan *linoleic acid*. Tahapan ini dilakukan di Laboraturium Kimia Material dan Energi, Jurusan Kimia, FMIPA – ITS.

## 6. Tes Fisik dan Kimiawi untuk *Food Grade Level*

Dilakukan dengan melihat perubahan – perubahan karakteristik yang terjadi pada PCM baik secara fisik maupun kimia untuk *food grade level*. Diharapkan hasil dari tahapan ini berupa karakteristik PCM.

Dengan melakukan kegiatan sebagai berikut :

- Pengetesan fisik  
Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat *bomb calorimeter* dan *freezing point*. *Bomb calorimeter* guna mengetahui kalor spesifik PCM sedangkan *freezing point* dilakukan dengan melihat trendline grafik dari pendinginan salah satu sampel PCM di *cold storage* untuk mengetahui titik beku PCM.
  
- Pengetesan kimiawi  
Pengamatan dilakukan dengan melakukan pengujian menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada PCM.

## 7. Percobaan PCM

Setelah PCM terbentuk dan beban panas yang dihasilkan oleh *cool box* dan produk diketahui. Langkah berikutnya melihat kinerja PCM dengan melakukan percobaan menggunakan apparatus yang telah direncanakan sebelumnya serta menggunakan sampel produk berupa es batu sebagai beban. Range setting temperature yang digunakan adalah  $-12^{\circ}\text{C}$  s/d  $-18^{\circ}\text{C}$  untuk melihat kinerja PCM.

Percobaan PCM dilakukan selama 2 jam, dimulai saat temperature dalam *cool box* telah mencapai  $-18^{\circ}\text{C}$ .



## 8. Pengolahan Data dan Analisa

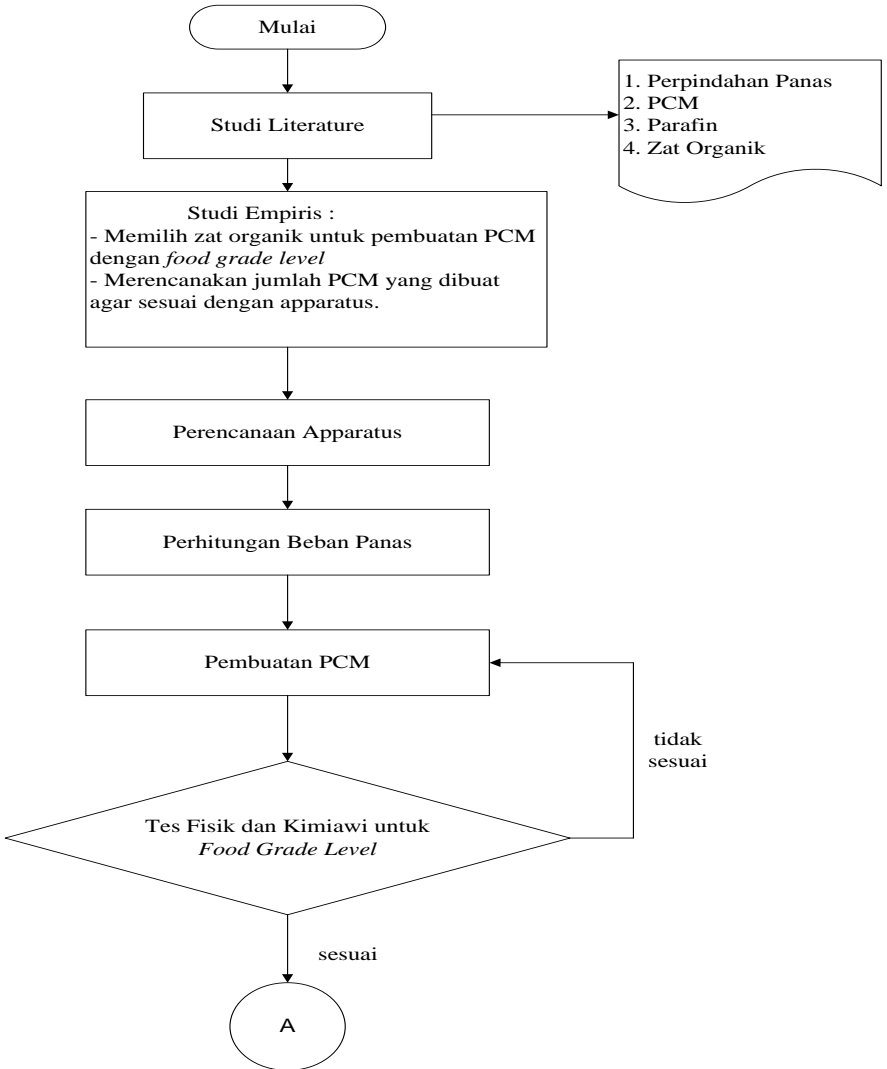
Pada tahap ini dilakukan kegiatan sebagai berikut :

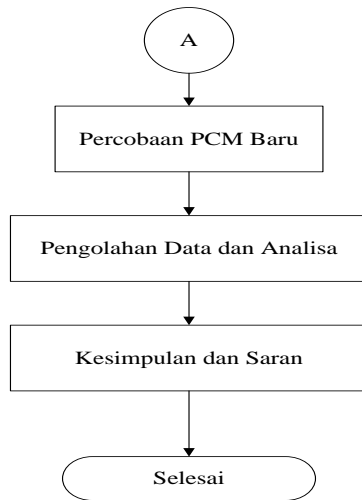
- Pengolahan data dilakukan dengan membaca hasil yang *terrecord* oleh data logger yang kemudian menghasilkan data berupa :
  1. Grafik perbandingan nilai temperature PCM terhadap lama waktu pengoperasian *cold storage*.
  2. Selisih waktu mati hidup pengoperasian *cold storage* dengan sistem *hybrid* menggunakan PCM.
- Analisa dilakukan dengan cara membaca hasil pengolahan data berupa analisa selisih waktu penurunan atau kenaikan temperature PCM yang berkaitan dengan dasar teori tentang PCM.

## 9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dapat diambil berdasarkan permasalahan yang telah direncanakan dengan mengaitkannya dengan analisa hasil percobaan. Saran diberikan untuk percobaan selanjutnya agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Secara sistematis, tugas akhir ini dilakukan dalam tahapan-tahapan berikut:



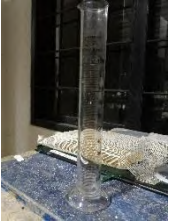


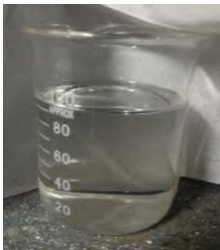









### 3.2. Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Pada penelitian kali ini diperlukan beberapa peralatan dan bahan sebagai penunjang pengerjaan tugas akhir ini. Berikut merupakan peralatan dan bahan yang digunakan :

**Tabel 3.1.** Alat dan Bahan

No	Nama Alat/ Bahan	Gambar	Keterangan
1.	<i>Hot Plate</i>		Merk : <i>Cimarec</i>
2.	<i>Magnetic Stiring Bar</i>		Digunakan untuk mengaduk bahan di dalam gelas beker memanfaatkan medan magnet antara <i>hot plate</i> dengan <i>magnetic stiring bar</i> .
3.	Gelas Ukur		Merk : Pyrex Class A In 20 <sup>0</sup> C ISO Ukuran : 100ml Range selisih : 1.0 ml

4.	Gelas Beker		Merk : GG – 17 Ukuran : 100ml Range selisih : 20ml
5.	Pipet		Digunakan untuk mengambil bahan kimia cair ukuran sedikit
6.	Spatula Laboraturium		Digunakan untuk mengaduk bahan campuran dan mengambil <i>magnetic stiring bar</i> dalam gelas beker
7.	<i>Cool box</i>		Bahan : styerofoam Dimensi : Panjang: 30 cm Lebar : 25 cm Tinggi : 20cm Ketebalan : 3 cm

8.	<i>Cold Storage</i>		<p>Dimensi :</p> <p>P = 2400mm</p> <p>L = 1260mm</p> <p>T = 2500mm</p> <p>Ruang : 2 (<i>freezer</i> dan <i>chiller</i>)</p>
9.	<i>Thermocouple</i>		<p>PT100 T/C tipe K untuk analisa temperature <i>cool box</i></p>
10.	<i>Data logger</i>		<p>14 analog input. Analog input range : 10 s/d 0.001 V</p> <p>Current output : 200<math>\mu</math>A</p>
11.	<i>Silicone Sealent</i>		<p><i>Medium silicone sealent</i> sebagai penutup celah/ lubang</p>

### 3.3. Prosedur Percobaan

Pada penelitian kali ini, akan dilakukan beberapa percobaan. Tiap percobaan memiliki prosedurnya masing – masing. Berikut merupakan beberapa tahapan prosedur pada tiap percobaan.

#### 3.3.1. Prosedur Pengoperasian *Hot Plate* ( di Laboraturium Kimia Material dan Energi, Jurusan Kimia, FMIPA, ITS)

- a. Prosedur menghidupkan *hot plate*
  1. Mencolokkan stopkontak *hotplate*. Kemudian muncul OFF pada LCD *hotplate*.



Gambar 3.2. LCD *hot plate* menunjukkan OFF

2. Mengatur *temperature* pada panel ‘HEAT’ sesuai dengan *temperature* yang dibutuhkan hingga muncul angka pada LCD *hot plate*.

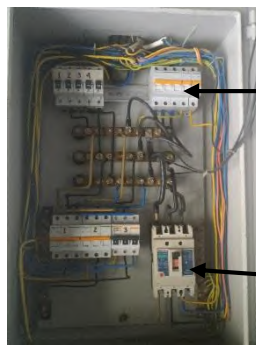


Gambar 3.3. Setting pada *hot plate*

3. Mengatur kecepatan *magnetic stirrer* pada panel ‘STIR’ sesuai dengan kecepatan yang dibutuhkan. Skala pada STIR adalah 1 : 100. Apabila kecepatan disetting 6 akan sama dengan 600rpm.
- b. Prosedur mematikan *hot plate*
1. Menurunkan kecepatan *magnetic stirrer* pada panel ‘STIR’ secara perlahan hingga mencapai 0/OFF.
  2. Menurunkan *temperature hot plate* pada panel ‘HEAT’ secara perlahan hingga tertera pada LCD *hot plate* 0/OFF.
  3. Melepas colokan *hot plate*.

### 3.3.2. Prosedur Pengoperasian *Cold Storage* ( di Workshop Laboraturium Mesin Fluida )

- a. Prosedur menyalakan *cold storage*
1. Menyalakan saklar utama pada MCB 1.



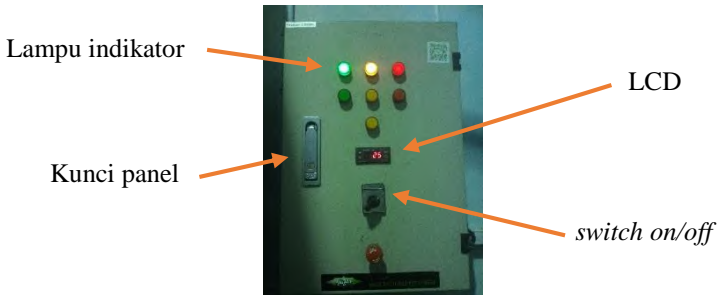
kontrol listrik untuk  
*cold storage*

saklar utama

**Gambar 3.4.** Panel MCB 1

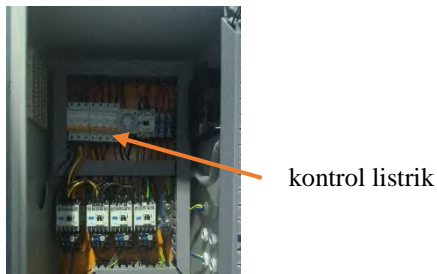
2. Menyalakan kontrol listrik *cold storage* pada MCB 1 (ke arah atas).
3. Membuka panel MCB 2
4. Menyalakan kontrol listrik *cold storage* pada MCB 2 (ke arah atas).





**Gambar 3.5.** Tutup Panel MCB 2

5. Menyalakan *switch on/off cold storage* dari angka 1 ke 2 hingga LCD menyala.
  6. Mengatur *temperature* yang diinginkan (pengaturan dapat dilakukan pada LCD yang terdapat pada MCB 2).
  7. Mengatur *temperature* diferensial
  8. *Cold Storage* siap dioperasikan
- b. Prosedur mematikan *cold storage*
1. Mengubah *switch on/off cold storage* dari angka 2 ke 1 pada MCB 2.
  2. Setelah LCD mati, kemudian mematikan kontrol listrik *cold storage* yang terdapat di bagian dalam MCB 2 (kearah bawah).



**Gambar 3.6.** Panel MCB 2

3. Mengunci kembali panel MCB 2.

4. Mematikan kontrol *cold storage* yang terdapat dibagian dalam MCB 1 ( kearah bawah )

### 3.3.3. Prosedur Pembuatan *Phase Change Material* (PCM)

#### a. Tahap Awal Pembuatan *Phase Change Material*

1. Mempersiapkan peralatan berupa : *hotplate*, *magnetic stirring bar*, gelas ukur, gelas beker, dan spatula laboratorium
2. Mempersiapkan bahan berupa : paraffin wax dan paraffin cair (*white oil*).
3. Memasukkan paraffin cair ke dalam gelas ukur sebanyak 70ml.
4. Memasukkan paraffin wax ke dalam gelas beker sebanyak 20ml.
5. Meletakkan gelas beker diatas *hot plate*. *Hot plate* disetting dengan suhu  $180^{\circ}\text{C}$  untuk mencairkan paraffin wax.



**Gambar 3.7.** Proses mencairkan paraffin wax

6. Menuangkan paraffin cair 70ml kedalam gelas beker berisi paraffin wax 20ml yang telah mencair.
7. Memasukkan *magnetic stirring bar* ke dalam gelas beker.

8. Mensetting kecepatan aduk pada *hot plate* sebesar 600rpm. Tunggu hingga paraffin wax dan paraffin cair tercampur seluruhnya.
9. Mengambil *magnetic stiring bar* menggunakan spatula laboratorium. Dan menuangkan paraffin campuran ke gelas beker yang telah disiapkan.
10. Ulangi langkah nomor 3 hingga nomor 9. Apabila sampel paraffin cair 70ml dan paraffin wax 20ml telah selesai. Maka pada langkah nomor 3 parafin cair diubah menjadi 80ml dan langkah nomor 4 diubah menjadi 10ml.

b. Tahap Akhir Pembuatan *Phase Change Material* (PCM)

1. Mempersiapkan peralatan berupa : *hotplate*, *magnetic stiring bar*, gelas ukur, gelas beker, dan spatula laboratorium
2. Mempersiapkan bahan berupa : paraffin\* sebanyak 90ml dan *linoleic acid*
3. Memasukkan paraffin campuran dalam gelas beker.



**Gambar 3.8.** Proses pencampuran *linoleic acid* dan paraffin campuran.

4. Meletakkan gelas beker di atas *hot plate*. *Hot plate* disetting dengan suhu 180°C untuk mempermudah pencampuran

5. Memasukkan *magnetic stirring bar* ke dalam gelas beker.
6. Menyetting kecepatan aduk pada *hot plate* sebesar 600rpm.
7. Ambil *linoleic acid* sesuai prosentase 2%, 4%, dan 6% dari volume paraffin\*<sup>n</sup> menggunakan pipet kemudian tuangkan ke dalam gelas beker berisi paraffin\* secara perlahan.
8. Tunggu hingga paraffin dan *linoleic acid* tercampur sempurna.
9. Ulangi langkah nomor 3 hingga nomor 8 dengan prosentase *linoleic acid* yang ditentukan. Sampai sampel yang dibutuhkan tercukupi.

Note :

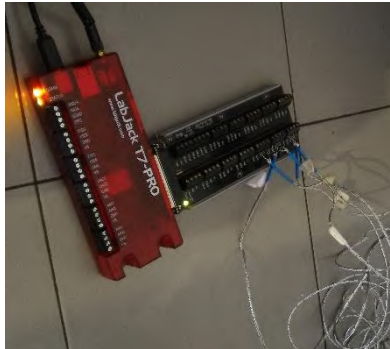
\* : paraffin campuran antara paraffin wax dan paraffin cair (*white oil*) dengan total volume campuran 90ml ( pada tahap awal pembuatan *Phase Change Material* )

### 3.3.4. Prosedur Penggunaan *Data Logger*

*Data Logger* berfungsi untuk mengkonversikan data *analog* menjadi data *digital*. Setelah *thermocouple* ditempatkan pada titik yang ditentukan, *thermocouple* dihubungkan dengan *data logger*. Pada percobaan ini digunakan *data logger Lab Jack T7-Pro*.

1. Memasang *thermocouple* ke *data logger Lab Jack T7-Pro*. Untuk pemasangan kabel, ada 2 kabel di dalam isolator *thermocouple*, kabel putih dipasang pada slot GND sedangkan kabel lainnya dipasang pada slot AIN.
2. Mengoneksikan *data logger* dengan laptop yang telah terinstall aplikasi *kipling* untuk *data logger Lab Jack T7-Pro* menggunakan kabel USB atau menggunakan sinyal WiFi. Setelah *data logger*

tersambung dengan laptop. Kemudian menjalankan aplikasi *kipling*. Kemudian pilih USB.



**Gambar 3.9.** Pemasangan *thermocouple* ke *data logger*

3. Kemudian pilih USB. Maka akan muncul gambar sebagai berikut pada aplikasi *kipling* untuk *data logger Lab Jack T7-Pro* :



**Gambar 3.10.** Tanda koneksi *data logger* yang terbaca pada laptop

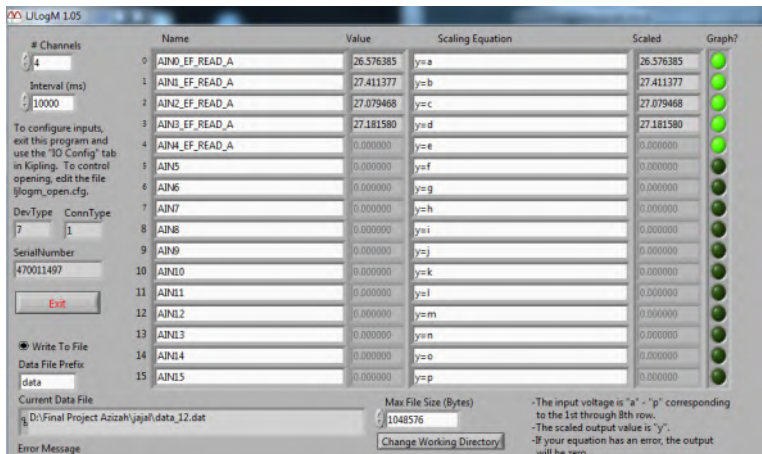
4. Pilih *analog input*. Kemudian atur satuan *temperature* dan pilih *thermocouple* tipe K. Satuan *temperature* dan tipe slot labjack yang digunakan.

Atur sesuai dengan jumlah *thermocouple* yang digunakan pada *data logger*



Gambar 3.11. Pengaturan analog input

- Menjalakan aplikasi LJ LogM dan menutup aplikasi *kipling*. Aplikasi LJ LogM membantu pembacaan hasil praktikum berupa data analog dan grafik perubahan *temperature*. Pada aplikasi ini diaktifkan *thermocouple* sesuai dengan jumlah *thermocouple* yang digunakan.

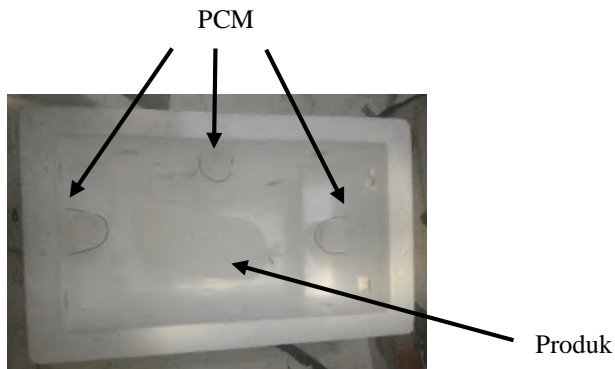


Gambar 3.12. Monitoring Suhu

6. Pada tabel channel, tuliskan jumlah *thermocouple* yang digunakan untuk merecord data yang diambil. Untuk mengatur interval pengambilan data seperberapa detik atur pada tabel interval. Tabel interval pada *data logger lab jack T7-Pro* memiliki satuan *millisecond*.
7. Setelah itu pilih *Change Writing Directory* untuk menentukan file hasil *record* ditempatkan dimana. Kemudian ketik nama data yang diambil pada *Enter File Name*. Lalu centang *write to file* untuk menyimpan data yang terecord.

### 3.3.5. Prosedur Percobaan PCM

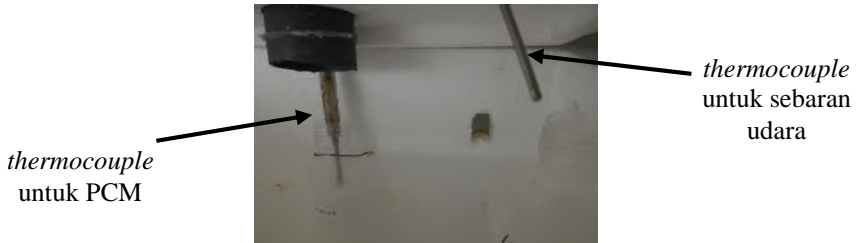
1. Memasukkan produk berupa es batu 1 kg ke dalam *cool box*.
2. Masukkan PCM dalam *cool box* pada titik - titik yang telah ditentukan pada *cool box*.



**Gambar 3.13.** Peletakan PCM dan Produk dalam *cool box*

3. Meletakkan 2 *thermocouple* di dalam *cool box* untuk melihat sebaran udara dalam *cool box*. Dan

meletakkan 1 *thermocouple* ke dalam PCM untuk melihat *temperature* PCM.



**Gambar 3.14.** Peletakan *thermocouple* dalam *cool box*

4. *Setting* sensor di *cold storage* dengan *range temperature*  $-18^{\circ}\text{C}$  hingga  $-12^{\circ}\text{C}$ . Apabila telah mencapai  $-18^{\circ}\text{C}$  mesin refrigerasi mati dan apabila mencapai  $-12^{\circ}\text{C}$  mesin refrigerasi hidup kembali untuk menurunkan *temperature* hingga  $-18^{\circ}\text{C}$ .
5. Kemudian dilakukan pengamatan dan pengambilan data menggunakan *data logger labjack T7-Pro* selama 2 jam dengan mulai pengambilan data saat *temperature* dalam *cool box* adalah  $-18^{\circ}\text{C}$ .



*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB IV STUDI EMPIRIS

Studi empiris pada tugas akhir ini menjelaskan tentang proses percobaan dan penggunaan jenis pengujian yang digunakan untuk dapat melihat kinerja dan karakterisasi PCM.

### 4.1. Komposisi Pembuatan PCM

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh X.L. Wang, dkk. 2013 pembuatan PCM dilakukan dengan mencampurkan antar *fatty acid* yaitu asam capric dan asam lauric dengan prosentase berurutan; 55:45; 60:40; 65:35; 70:30; 75:25 dan 80:20. Karena titik beku yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan maka perlu ditambahkan zat *additive* untuk menurunkan *temperaturnya*. Zat *additive* yang ditambahkan haruslah mendekati dengan target aplikasi *temperature* yang diinginkan.

Pada tugas akhir ini mengacu pada komposisi pada penelitian sebelumnya, maka komposisi yang digunakan untuk pembuatan PCM adalah 70:20 dan 80:10 dengan penambahan *linoleic acid* sebesar 2%, 4% dan 6% yang bertujuan mendapatkan titik beku yang diinginkan yaitu sekitar 0°C sampai dengan -30°C.

**Tabel 4.1.** Perbandingan Prosentase Parafin dan *linoleic acid*

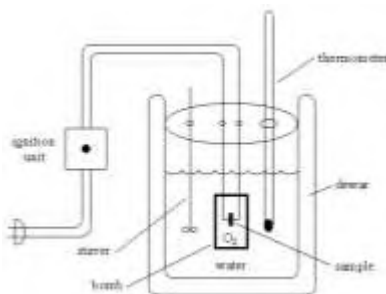
No	PCM Baru	Perbandingan Prosentase (ml)		
		Parafin <i>white oil</i>	Parafin wax	<i>Linoleic Acid</i>
1	PCM A	70ml	20ml	-
2	PCM A 1	70ml	20ml	2% = 1,8ml
3	PCM A 2	70ml	20ml	4% = 3,6ml
4	PCM A 3	70ml	20ml	6% = 5,4ml
5	PCM B	80ml	10ml	-
6	PCM B 1	80ml	10ml	2% = 1,8ml
7	PCM B 2	80ml	10ml	4% = 3,6ml
8	PCM B 3	80ml	10ml	6% = 5,4ml

## 4.2. Pengetesan yang Dilakukan pada PCM

Pengetesan yang dilakukan pada tugas akhir ini untuk melihat karakterisasi dari PCM. Beberapa pengetesan yang dilakukan pada tugas akhir ini diantaranya sebagai berikut :

### 4.2.1. *Bomb Calorimeter*

*Bomb calorimeter* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui jumlah kalor yang terkandung dalam suatu bahan padat dan cair pada pembakaran sempurna. Pengukuran ini dilakukan dalam kondisi volume konstan tanpa aliran atau reaksi pembakaran tanpa menggunakan nyala api tetapi menggunakan gas oksigen sebagai pembakar dengan volume yang konstan. Prinsip kerjanya adalah sampel yang akan diukur ditempatkan pada tabung beroksigen kemudian dicelupkan dalam bejana berisi air kemudian sambungkan dengan kawat pemantik untuk membakar sampel.



**Gambar 4.1.** *Bomb Calorimeter*  
(<http://www.chem.hope.edu>)

Alat – alat yang diperlukan saat pengetesan *bomb calorimeter* adalah sebagai berikut :

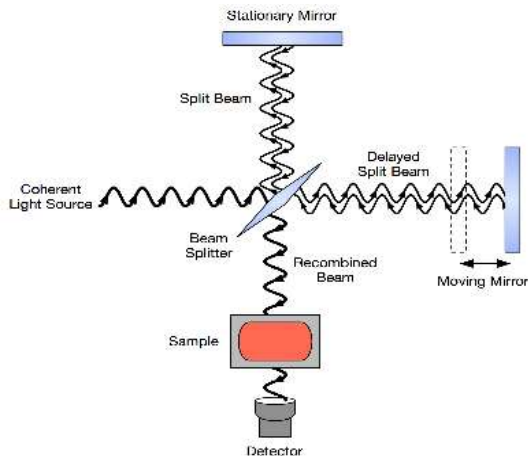
- Thermometer* digunakan untuk mengukur suhu
- Pengaduk digunakan mengaduk air pendingin
- Katup oksigen digunakan memasukkan oksigen dari tabung
- Bejana digunakan meletakkan bahan/sample yang akan dibakar

- e. Kawat pemantik digunakan membakar sample/bahan
- f. *Bomb* digunakan sebagai tempat terjadinya pembakaran

Prosedur penggunaan *Bomb Calorimeter*

1. Zat yang akan diuji ditempatkan dalam *bomb*.
2. Letakkan kawat pemantik bersentuhan langsung dengan zat yang akan diuji.
3. Tutup *bomb* dengan kencang, kemudian diisi oksigen dalam bom hingga tekanan kira – kira mencapai 25 atm
4. Kemudian *bomb* yang berisi oksigen bertekanan diletakkan ke dalam bejana yang berisi air
5. Kemudian alirkan aliran listrik ke kawat pemantik dan setelah terjadi pembakaran, kenaikan suhu diukur.

#### 4.2.2. FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)



**Gambar 4.2.** *Fourier Transform Infra Red*

([https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier\\_transform\\_infrared\\_spectroscopy](https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform_infrared_spectroscopy))

FTIR atau yang dikenal dengan *Spektroskopi Fourier Transform Infra Red* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsi suatu molekul. Pengujian ini didasari pada vibrasi suatu molekul yang menitikberatkan pada interaksi molekul menggunakan radiasi elektromagnetik yang menggunakan inframerah yang memiliki panjang gelombang rentang frekuensi  $10 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ . Setiap molekul memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi inframerah tergantung dari jenis ikatan yang terjadi atau terbentuk yang akan memberikan informasi tentang gugus fungsional suatu molekul.

Prinsip kerja dari FTIR ini adalah menganalisa vibrasi yang dihasilkan oleh suatu molekul. Atom – atom di dalam suatu molekul tidak dapat diam melainkan bervibrasi (bergerak). Ikatan kimia yang menghubungkan dua atom ibaratkan seperti dua bola yang dihubungkan oleh pegas. Bila radiasi infra merah dilewatkan melalui cuplikan, maka molekul dapat mengabsorpsi energi dan terjadilah transisi ditingkat vibrasi dan tingkat vibrasi tereksitasi. Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi dengan FTIR, yang memplot jumlah radiasi inframerah yang ditruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi radiasi. Plot inilah yang disebut dengan spectrum infra merah yang memberikan informasi mengenai gugus fungsional suatu molekul. (Susila, 2015)

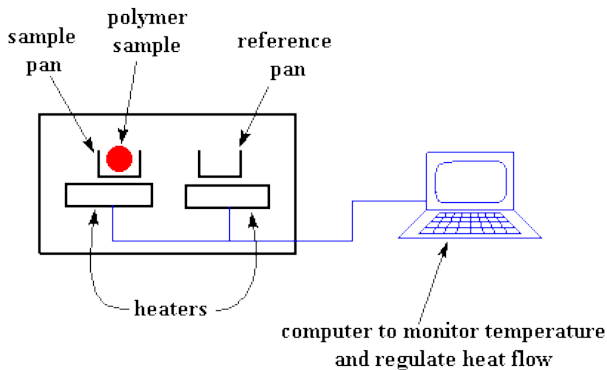
**Tabel 4.2.** Pita Absorpsi Infra Merah  
(Pavia, 2001)

Gugus	Senyawa	Frekuensi ( $\text{cm}^{-1}$ )
C-H	<i>Alkanes</i>	3000-2850
C=C	<i>Alkane</i>	1680-1600
	<i>Aromatic</i>	1600 dan 1475
C≡C	<i>Alkyne</i>	2250-2100
C-O	<i>Ketone</i>	1725-1705
	<i>Ester</i>	1750-1730
O-H	<i>Carboxylic acids</i>	3400-2400

### 4.3. Pengetesan Lain yang Bisa Dilakukan pada PCM

Beberapa pengetesan yang dapat dilakukan untuk melihat karakterisasi PCM berdasarkan dari beberapa literature. Beberapa pengetesan yang bisa dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut:

#### 4.3.1. DSC (*Differential Scanning Calorimeter*)

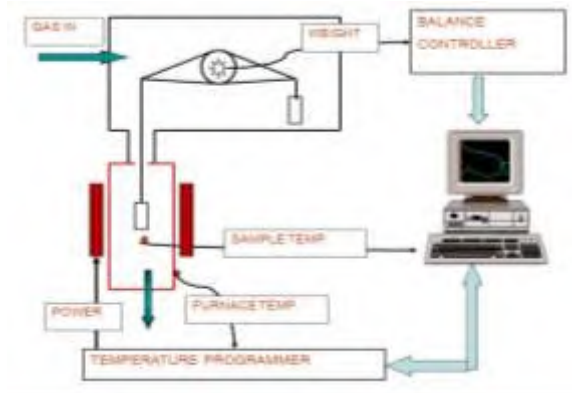


**Gambar 4.3.** *Differential Scanning Calorimeter*  
<http://pslc.ws/macrog/dsc.htm>

*Differential Scanning Calorimeter* merupakan salah satu alat yang digunakan untuk analisis *thermal* yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu serta bisa juga untuk mengetahui kapasitas panas dan *enthalpi*, titik leleh, kalor peleburan, kalor laten, persen kristalinitas, dan suhu transisi dari suatu bahan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dihia Djefel,dkk,2015, DSC dilakukan untuk melihat panas laten dan temperature bahan yang digunakan sebagai PCM dan PCM selama proses meleleh dan membeku. Analisis ini menggunakan dua wadah sampel dan perbandingan yang identik dan umumnya terbuat dari aluminium.

Sampel dan pembanding bergantung pada penambahan suhu secara terus – menerus dan dilakukan seperlunya, hal ini untuk mempertahankan agar suhu keduanya selalu sama. Penambahan panas dicatat pada *recorder*, panas ini digunakan untuk mengganti kekurangan atau kelebihan sebagai akibat dari reaksi eksoterm atau endoterm yang terjadi pada sampel pada hampir seluruh percobaan. Prinsip kerja DSC ialah bila sampel mengalami transformasi fisik seperti transisi fase. Panas yang mengalir pada sampel dan pembanding berguna untuk mempertahankan keduanya pada suhu yang sama. Panas yang mengalir pada sampel bisa lebih atau kurang tergantung proses endoterm atau eksoterm. Dengan mengamati perbedaan aliran panas antara sampel dan pembanding, DSC mampu mengukur jumlah panas yang diserap atau dilepas selama proses transisi fase tersebut.

#### 4.3.2. TGA (*Thermo Gravimetric Analyzer*)



**Gambar 4.4.** *Thermo Gravimetric Analyzer*  
(<http://slideplayer.com/slide/2928694/>)

*Thermo Gravimetric Analyzer* merupakan salah satu alat yang digunakan untuk analisis *thermal* terutama mengukur berkurangnya massa suatu bahan ketika dipanaskan dari suhu

kamar sampai suhu tinggi biasanya sekitar 900<sup>0</sup>C. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dihia Djefel,dkk,2015, TGA dilakukan untuk melihat stabilitas *thermal* dari bahan yang digunakan sebagai PCM dan PCM. TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga perubahan kecil pada massa sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam tampilan grafik. Pemanasan yang kontinu dari suhu kamar, maka pada suhu – suhu tertentu bahan akan kehilangan cukup banyak dari massanya. Kehilangan massa pada suhu tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji.

Posedur penggunaan TGA :

1. Material berupa serbuk dimasukkan kedalam cawan kecil. Pemilihan bahan cawan perlu disesuaikan dengan bahan uji, hal ini untuk menghindari terjadinya reaksi antara cawan dengan bahan uji saat dipanaskan.
2. Masukkan alumina dalam cawan sebagai standar. Ini dibutuhkan sebagai referensi penyeimbang dari timbangan mikro.
3. Kemudian dipanaskan. Pemanasan bisa dilakukan dengan mengatur panas sampel sampai 110<sup>0</sup>C dan ditahan 10 menit kemudian diberi panas dengan cepat sampai 900<sup>0</sup>C kemudian diturunkan menjadi 600<sup>0</sup>C dan ditahan sekitar 30 menit. Suhu dan kecepatan pemanasan bisa diprogram tergantung kebutuhan dan tipe alat.

#### **4.3.3. SEM (*Scanning Electron Miroscope*)**

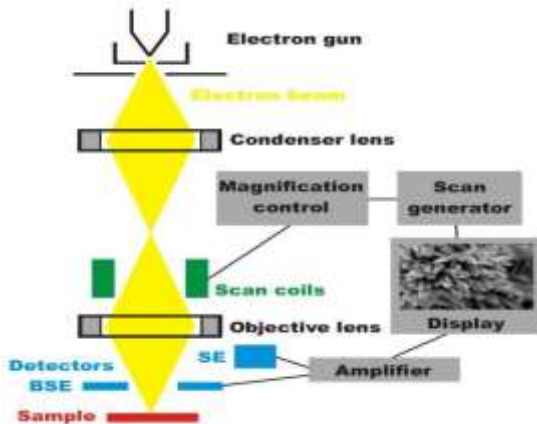
*Scanning Electron Microscope* merupakan salah satu jenis yang digunakan untuk menggambarkan bentuk permukaan dari bahan yang dianalisa memanfaatkan berkas *electron*. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dihia Djefel,dkk,2015, SEM dilakukan untuk melihat *morphology* dan *microstructure* dari bahan yang digunakan sebagai PCM. SEM memanfaatkan berkas



*electron* yang dihasilkan oleh permukaan objek untuk kemudian diambil gambarnya.

Alat – alat yang terdapat pada SEM :

1. *Electron gun* berupa filament yang terbuat dari unsur yang mudah melepas *electron*
2. Lensa magnetis untuk memfokuskan *electron* menuju ke sampel
3. Detektor berfungsi menangkap hamburan *electron* dan memberikan informasi.
4. *Sample holder* untuk meletakkan sampel yang akan dianalisis dengan SEM

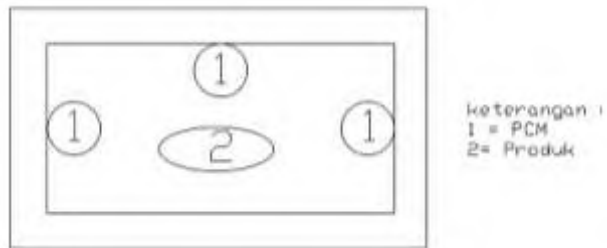


**Gambar 4.5.** *Scanning Electron Microscope*  
<http://www.microscopy.ethz.ch/sem.htm>

Prinsip kerja dari SEM adalah *electron gun* menghasilkan sinar *electron* yang difokuskan menuju ke sampel dengan lensa magnetis. Sinar *electron* yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika *electron* mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan *electron* baru yang akan diterima oleh *detector* dan dikirim ke monitor.

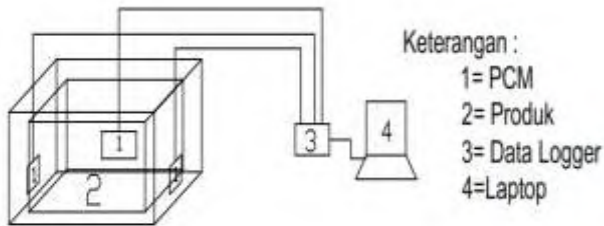
#### 4.4. Percobaan PCM

Pada tugas akhir ini, percobaan PCM dilakukan untuk melihat kinerja PCM dengan langkah awal merencanakan konfigurasi peletakan PCM dalam *cool box* yang bertujuan untuk melihat pengaruh sebaran udara dalam *cool box* yang dipengaruhi oleh PCM. PCM diletakkan pada dinding bagian atas *cool box* dengan tujuan panas yang dihasilkan produk dapat diserap oleh PCM secara cepat, hal ini disesuaikan dengan prinsip kerja udara panas dimana udara panas lebih ringan dibanding udara dingin.



**Gambar 4.6.** Peletakan PCM Tampak Atas

Untuk bisa melihat pengaruh PCM terhadap sebaran udara dalam *cool box*, maka perlu menggunakan *thermocouple* untuk dapat melihat sebaran udara dalam *cool box* dan melihat kinerja suhu PCM. Maka dari itu *thermocouple* difokuskan pada suhu dalam *cool box* dan PCM. Dengan ketentuan penggunaan *thermocouple* sebagai berikut : 2 *thermocouple* digunakan untuk melihat sebaran udara dalam *cool box* dan 1 *thermocouple* digunakan untuk melihat temperature PCM.



**Gambar 4.7.** Perencanaan Apparatus

#### 4.5. Analisis Performa PCM pada Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh X.L. Wang, dkk, 2013, untuk melihat kinerja *charging and discharging* PCM menggunakan *storage ball*. PCM diletakkan dalam *storage ball* kemudian untuk melihat temperature PCM saat *charging and discharging*, ditempatkan 4 thermometer dalam *storage ball* dengan jarak antara ujung thermometer dengan titik pusat *storage ball* secara berurutan 0mm, 10mm, 20mm, dan 30mm. Setelah ditutup rapat *storage ball* dicelupkan dalam HTF (*heat transfer fluid*) *homothermal circulator* untuk mensimulasikan proses *charging and discharging*. Temperature awal *storage ball* adalah 25°C kemudian didinginkan oleh HTF *homothermal circulator* menjadi 13°C, lalu dipanaskan menjadi 21°C. Temperature *storage ball* selama proses *charging and discharging* direkam secara kontinyu.

Hasil dari analisis performa ialah, variasi temperature pada ke 4 posisi thermometer menunjukkan terjadinya penurunan temperature yang sangat cepat pada 10 menit pertama saat *sensible heat period* pada fase *liquid*. Berangsur –angsur temperature mencapai 13°C dan berubah fase menjadi *solid*. Selama proses *discharging* temperature meningkat secara perlahan pada 10 menit pertama hingga mulai meleleh. Sebelumnya temperature naik perlahan selama  $\pm 175$  menit dan berangsur – angsur mencapai temperature 21°C. Secara berurutan waktu yang dibutuhkan untuk *charging and discharging* adalah 340 menit dan 230 menit.

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Perhitungan Beban Panas

#### A. Perhitungan Beban Panas yang dihasilkan Dinding Cool box.

Dengan ketentuan sebagai berikut :

Bahan : styerofoam

$k_{\text{styerofoam}}$ : 0.02579536 Kkal/jam m<sup>2</sup>°C

$h$  : 0.024 Kkal/jam m<sup>2</sup>°C

$T_1$  : 30°C

$T_2$  : -18°C

$\Delta x$  : 0.03 m

$\Delta t$  : 1 jam ~ 3600 second

(waktu yang dibutuhkan kalor dari lingkungan masuk ke sistem)

Dimensi *cool box* :

No.	Dinding	Lebar(m)	Panjang(m)	Luas(m <sup>2</sup> )
1	Dinding 1	0,3	0,25	0,075
2	Dinding 2	0,3	0,25	0,075
3	Dinding 3	0,2	0,3	0,06
4	Dinding 4	0,2	0,3	0,06
5	Alas	0,2	0,25	0,05
6	Atap/ Tutup	0,2	0,25	0,05

Perhitungan :

1. Dinding 1 dan 2

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0.024} + \frac{0.03}{0.02578536} + \frac{1}{0.024}}$$

$$= 0.01183 \text{ Kkal/jam m}^{2\circ\text{C}}$$

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,01183 \times 0,075 \times (30^{\circ}\text{C} - (-18^{\circ}\text{C})) \\ &= 0,01183 \times 0,075 \times 48^{\circ}\text{C} \\ &= 0,042588 \text{ kkal/jam} \\ &= 178,188 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

Sehingga dinding 1 dan 2 menghasilkan laju perpindahan panas sebesar  $= 2 \times 178,188 \text{ Joule/jam}$

$$= 356,376 \text{ Joule/jam}$$

2. Dinding 3 dan 4

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{\frac{1}{0.024} + \frac{0.03}{0.02578536} + \frac{1}{0.024}} \\ &= 0.01183 \text{ Kkal/jam m}^{2\circ\text{C}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,01183 \times 0,06 \times (30^{\circ}\text{C} - (-18^{\circ}\text{C})) \\ &= 0,01183 \times 0,06 \times 48^{\circ}\text{C} \\ &= 0,034 \text{ kkal/jam} \\ &= 142,55 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

Sehingga dinding 3 dan 4 menghasilkan laju perpindahan panas sebesar  $= 2 \times 142,55 \text{ Joule/jam}$

$$= 285,1 \text{ Joule/jam}$$

3. Dinding alas dan tutup

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0.024} + \frac{0.03}{k \cdot 0.02578536} + \frac{1}{0.024}}$$

$$= 0.01183 \text{ Kkal/jam m}^2\text{C}$$

$$q = U A \Delta T_{\text{menyeluruh}}$$

$$= 0,01183 \times 0,05 \times (30^{\circ}\text{C} - (-18^{\circ}\text{C}))$$

$$= 0,01183 \times 0,05 \times 48^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,028392 \text{ kkal/jam}$$

$$= 118,792128 \text{ Joule/jam}$$

Sehingga dinding alas dan tutup menghasilkan laju perpindahan panas sebesar  $= 2 \times 118,792128 \text{ Joule/jam}$

$$= 237,584256 \text{ Joule/jam}$$

Sehingga jumlah laju perpindahan panas yang melalui dinding sebesar

$$q_{\text{total}} = 356,376 \text{ J/jam} + 285,1 \text{ J/jam} + 237,584256 \text{ J/jam}$$

$$= 879,060256 \text{ Joule/jam}$$

Maka energi kalor yang masuk kedalam styerofoam selama 1 jam adalah sebagai berikut :

$$Q_1 = q \cdot \Delta t$$

$$Q_1 = 879,060256 \text{ Joule/jam} \times 1 \text{ jam}$$

$$Q_1 = 879,060256 \text{ Joule}$$

### B. Perhitungan Beban Panas yang dihasilkan Produk

Dengan ketentuan sebagai berikut:

Jenis Produk : daging

Massa produk : 1 kg

Kalor spesifik : 2,81 kJ/kg<sup>0</sup>C

T<sub>1</sub> : -18<sup>0</sup>C

T<sub>2</sub> : -12<sup>0</sup>C

Perhitungan :

Untuk mengetahui beban panas yang dihasilkan produk dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_2 &= m \text{ Cp} \cdot \Delta T \\ &= 1 \times \text{Cp} \times (-12^{\circ}\text{C} - -18^{\circ}\text{C}) \\ &= 1 \text{ kg} \times 2,81 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times 6^{\circ}\text{C} \\ &= 16,86 \text{ kJ} \\ &= 16860 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan beban panas diatas, maka didapatkan total Q total sistem yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{ts} &= Q_1 + Q_2 \\ &= 879,060256 + 16860 \\ &= 17739,060256 \text{ Joule} \\ &= 17,739060256 \text{ kJ} \end{aligned}$$

### 5.2. Pembuatan *Phase Change Material* (PCM)

Pada penelitian ini, pembuatan *phase change material* dilakukan dengan mencampur paraffin dan *linoleic acid*. Pencampuran dilakukan 2 tahap, yaitu :

1. Pencampuran antara paraffin wax dan paraffin cair (*white oil*).

Pencampuran ini dilakukan karena titik leleh paraffin wax sangat tinggi 58,2<sup>0</sup>C (terlampir) sehingga untuk menurunkan titik leleh paraffin wax dicampur dengan paraffin *white oil*.

Berikut perbandingan prosentase paraffin wax dan paraffin *white oil*

**Tabel 5.1.** Perbandingan Prosentase Parafin Wax dan Parafin *white oil*

No	Nama PCM	Perbandingan Prosentase(ml)	
		Parafin <i>white oil</i>	Parafin wax
1.	PCM A	70 ml	20 ml
2.	PCM B	80 ml	10 ml

2. Pencampuran antara paraffin\* dengan *linoleic acid*

Pencampuran ini dilakukan agar dihasilkan bahan campuran yang memiliki titik leleh minus. *Linoleic acid* memiliki titik leleh  $-5^{\circ}\text{C}$  (Perry's,1999). Banyaknya *linoleic acid* yang dicampurkan dalam paraffin campuran diambil dari prosentase volume paraffin\*.

Note :

- Volume paraffin\* adalah 90ml tiap sampelnya.  
Banyaknya *linoleic acid* yang dicampurkan sebesar 2%, 4% dan 6% dari volume paraffin\*  
Berikut perbandingan prosentase paraffin\* dan *linoleic acid*.

**Tabel 5.2.** Perbandingan Prosentase Parafin\* dan *Linoleic Acid*

No	PCM Baru	Perbandingan Prosentase (ml)		
		Parafin <i>white oil</i>	Parafin wax	<i>Linoleic Acid</i>
1	PCM A	70ml	20ml	-
2	PCM A 1	70ml	20ml	2% = 1,8ml
3	PCM A 2	70ml	20ml	4% = 3,6ml
4	PCM A 3	70ml	20ml	6% = 5,4ml
5	PCM B	80ml	10ml	-
6	PCM B 1	80ml	10ml	2% = 1,8ml
7	PCM B 2	80ml	10ml	4% = 3,6ml
8	PCM B 3	80ml	10ml	6% = 5,4ml



### 5.3. Pengetesan Fisik dan Kimia PCM

#### 5.3.1. Hasil Pengetesan Fisik PCM

##### a. *Bomb Calorimeter*

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah kalori yang terkandung dalam suatu bahan. Maka pada tugas akhir ini memanfaatkan pengetesan *bomb calorimeter* untuk mengetahui nilai kalor jenis dari PCM berbahan paraffin dan *linoleic acid*. Nilai dari kalor jenis ini digunakan untuk mengetahui berapa banyak massa PCM yang diperlukan untuk mengcover beban panas yang terdapat pada sistem (*cool box*). Pengetesan ini dilakukan di Laboraturium Energi – LPPM ITS. Berikut merupakan hasil pengujiannya (terlampir) :

Tabel 5.3. Hasil Pengujian *Bomb Calorimeter*

No	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	PCM A	Kalori	11.012	Cal/gr	Bomb Kalorimeter
2	PCM A3		10.992		
3	PCM B		11.129		
4	PCM B3		11.015		

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai kalori PCM. Untuk mendapatkan nilai kalor jenis PCM dan massa PCM yang dapat mengcover  $Q_{total}$  sistem dapat menggunakan persamaan kalor sensibel sebagai berikut :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

##### ➤ Perhitungan Kalor Jenis :

Untuk mendapatkan nilai  $C_p$  bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan dari kalor sensible. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q/m = C_p \cdot \Delta T$$

Diketahui :

$$T_1 = -18^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = -12^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 6^{\circ}\text{C}$$

a). Kalor Jenis PCM A

$$Q/m = 11.012 \text{ Cal/gr}$$

$$Q/m = C_p \cdot \Delta T$$

$$11.012 = C_p \cdot 6$$

$$\begin{aligned} C_p &= 1.8353 \text{ Cal/gr}^0\text{C} \\ &= 7.6821 \text{ J/gr}^0\text{C} \end{aligned}$$

b). Kalor Jenis PCM A3

$$Q/m = 10.992 \text{ Cal/gr}$$

$$Q/m = C_p \cdot \Delta T$$

$$10,992 = C_p \cdot 6$$

$$\begin{aligned} C_p &= 1.832 \text{ Cal/gr}^0\text{C} \\ &= 7.668 \text{ J/gr}^0\text{C} \end{aligned}$$

c). Kalor Jenis PCM B

$$Q/m = 11,129 \text{ Cal/gr}$$

$$Q/m = C_p \cdot \Delta T$$

$$11.129 = C_p \cdot 6$$

$$\begin{aligned} C_p &= 1.854 \text{ Cal/gr}^0\text{C} \\ &= 7.76 \text{ J/gr}^0\text{C} \end{aligned}$$

d). Kalor Jenis PCM B3

$$Q/m = 11,015 \text{ Cal/gr}$$

$$Q/m = C_p \cdot \Delta T$$

$$11.015 = C_p \cdot 6$$

$$\begin{aligned} C_p &= 1.8358 \text{ Cal/gr}^0\text{C} \\ &= 7.6823 \text{ J/gr}^0\text{C} \end{aligned}$$

Note :

$$1 \text{ cal} = 4.1858 \text{ Joule}$$

➤ Perhitungan Massa PCM

Untuk mendapatkan nilai  $C_p$  bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan dari kalor sensible. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$m = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T}$$

Diketahui :

$$T_1 = -18^\circ\text{C}$$

$$T_2 = -12^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 6^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{total sistem}} = 17,739060256 \text{ kJ}$$

a). Massa PCM A

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$17,739060256 \text{ kJ} = m \times 7.6821 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}$$

$$m = \frac{17739,060256 \text{ J}}{7.6821 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}}$$

$$m = 384,857 \text{ gram}$$

b). Massa PCM A3

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$17,739060256 \text{ kJ} = m \times 7.668 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}$$

$$m = \frac{17739,060256 \text{ J}}{7.668 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}}$$

$$m = 385,56 \text{ gram}$$

c). Massa PCM B

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$17,739060256 \text{ kJ} = m \times 7.76 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}$$

$$m = \frac{17739,060256 \text{ J}}{7.76 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}}$$

$$m = 380,99 \text{ gram}$$

d). Massa PCM B3

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$17,739060256 \text{ kJ} = m \times 7.6823 \text{ J/gr}^\circ\text{C} \times 6^\circ\text{C}$$

$$m = \frac{17739,060256 \text{ J}}{7.6823 \text{ J/gr}^{\circ}\text{C} \times 6^{\circ}\text{C}}$$

$$m = 384,846 \text{ gram}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui massa PCM yang efektif digunakan untuk bisa mengcover Q total sistem. Pada percobaan PCM, volume PCM yang digunakan berturut – turut dari PCM A/B – PCM A3/B3 sebesar 90ml; 91,8ml; 93,6ml; 95,4ml dalam masing – masing botol.

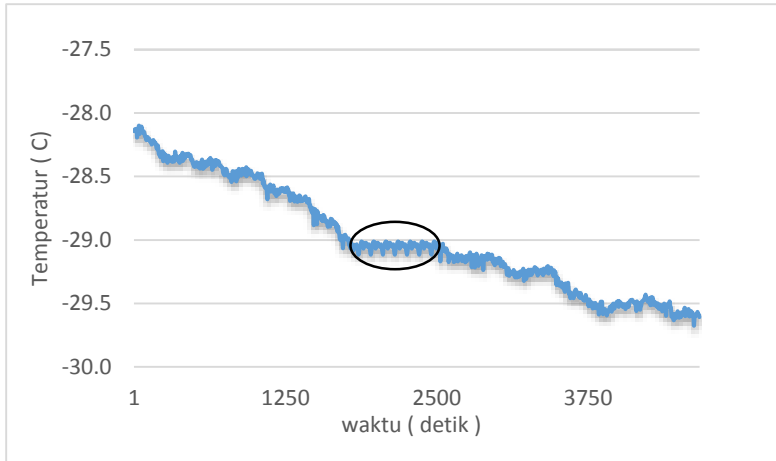
$$\begin{aligned} \text{Massa PCM A/B pada 90ml} &= \text{massa total PCM dalam} \\ &\quad \text{botol - massa botol.} \\ &= 0,03\text{kg} - 0,0015\text{kg} \\ &= 0,0285\text{kg} \\ &= 28,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa PCM A3/B3 pada 95,4ml} &= \text{massa total PCM dalam} \\ &\quad \text{botol - massa botol.} \\ &= 0,035\text{kg} - 0,0015\text{kg} \\ &= 0,0335\text{kg} \\ &= 33,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dalam percobaan untuk melihat kinerja PCM menggunakan 3 botol PCM tiap percobaannya dengan isi volume yang telah disebutkan diatas.

#### **b. Pengamatan *Freezing Point***

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui pada *temperature* berapa suatu PCM membeku. Berikut merupakan hasil pengamatan *Freezing Point* pada campuran paraffin wax 20ml dan paraffin *white oil* 70ml dan 2% *linoleic acid* (PCM A1) yang dilakukan dalam *cold storage*.



**Grafik 5.1.** Hasil Pengamatan *Freezing Point*

Untuk mengetahui pada *temperature* berapa suatu bahan membeku salah satunya adalah dengan melihat trendline yang terbentuk. Trendline yang memiliki nilai konstan dianggap sebagai titik beku suatu bahan tersebut. Dari grafik 5.1 diatas dapat diketahui pada *temperature* sekitar  $-29^{\circ}\text{C}$  PCM mulai membeku.

### 5.3.2. Hasil Pengetesan Kimiawi PCM

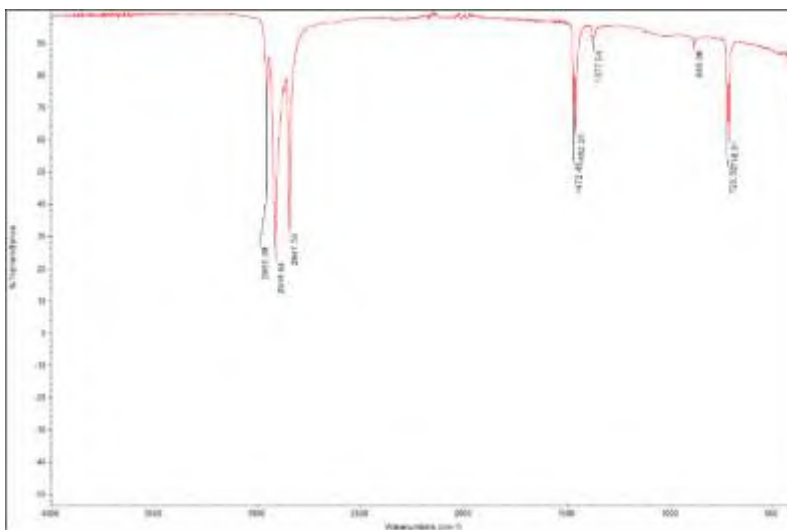
Pada tugas akhir ini, pengetesan kimia dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat intrinsik dalam bahan PCM yang terbentuk. Dimana dari sifat kimiawi, PCM Organik harus memiliki sifat antara lain kestabilan kimiawi yang lama, cocok untuk material konstruksi, tidak beracun dan tidak memiliki bahaya kebakaran dan tidak mudah meledak untuk keamanannya.

Salah satu pengetesan kimia yang dilakukan adalah dengan pengujian menggunakan FTIR (*Fourier ransfrom Infra Red*). Pengujian ini didasari pada vibrasi suatu molekul yang menitikberatkan pada interaksi molekul menggunakan radiasi elektromagnetik yang menggunakan inframerah yang memiliki panjang gelombang rentang frekuensi  $10\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ . Maksud  $\text{cm}^{-1}$

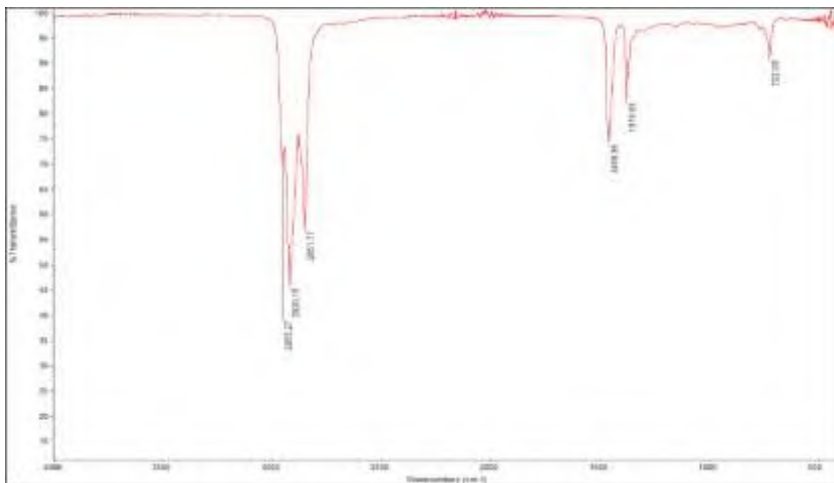
adalah *wavenumber* ( $1/\text{wavelength}$ ) merupakan ukuran unit frekuensi. Setiap molekul memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi inframerah tergantung dari jenis ikatan yang terjadi atau terbentuk yang akan memberikan informasi tentang gugus fungsional suatu molekul.

Berikut merupakan hasil pengujian FTIR yang dilakukan :

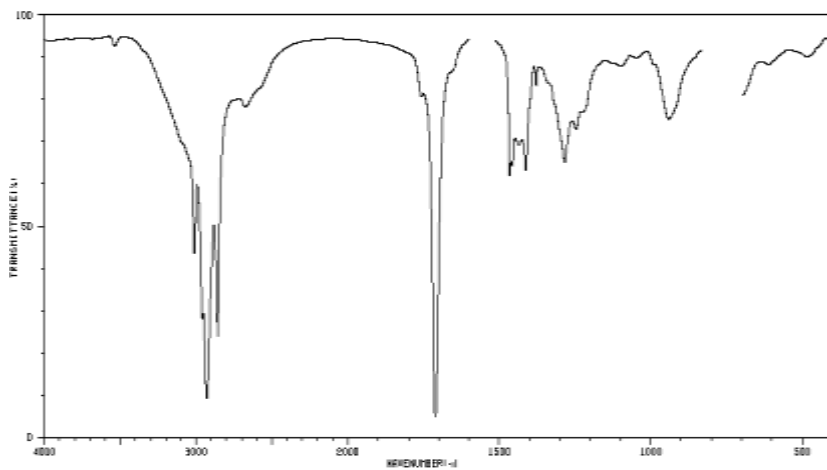
### 1. Parafin wax



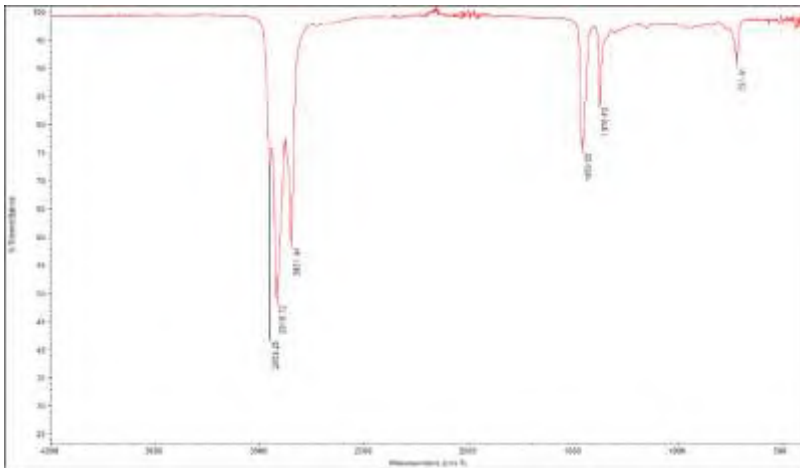
**Gambar 5.1.** Hasil FTIR Parafin wax

2. *Parafin White Oil*

Gambar 5.2. Hasil FTIR Parafin white oil

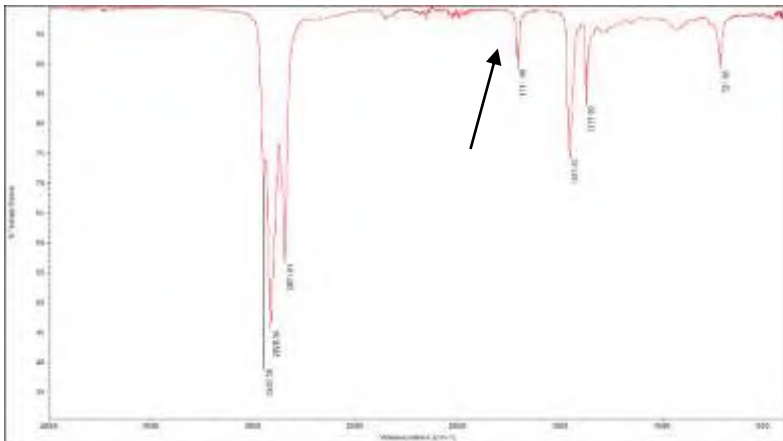
3. *Linoleic Acid*Gambar 5.3. Hasil FTIR *Linoleic Acid*

4. Campuran Parafin wax 10ml dan Parafin *white oil* 80ml.



**Gambar 5.4.** Hasil FTIR Campuran Parafin wax 10ml dan Parafin *white oil* 80ml.

5. Campuran Parafin wax 10ml dan Parafin *white oil* 80ml dan 6% *linoleic acid*.



**Gambar 5.5.** Hasil FTIR Campuran Parafin wax 10ml dan paraffin *white oil* 80ml dan 6% *linoleic acid*



Dari hasil pengujian FTIR beberapa sampel dapat diketahui beberapa informasi, diantaranya adalah :

1. Pada Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.4 diketahui bahwa paraffin wax, paraffin *white oil* dan campuran paraffin wax dan paraffin *white oil* memiliki rantai alifatik yang ditunjukkan oleh puncak pada  $3000 - 2800\text{cm}^{-1}$ , serta gugus  $(\text{CH}_2)_{n>3}$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $730 - 720\text{cm}^{-1}$  dan juga gugus  $\text{CH}_3$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $1490 - 1150\text{cm}^{-1}$ .
2. Pada Gambar 5.5. puncak yang ditunjukkan oleh panah merupakan gugus  $\text{C}=\text{O}$  pada  $1870 - 1550\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya *linoleic acid* dalam sampel. Keberadaan gugus tersebut membuktikan bahwa pencampuran yang dihasilkan tersusun dari paraffin dan *linoleic acid* hal ini sesuai dengan yang diungkapkan Socrates (2001), bahwa paraffin dicirikan dengan dengan rantai alifatik yang ditunjukkan oleh puncak pada  $3000 - 2800\text{cm}^{-1}$ , serta gugus  $(\text{CH}_2)_{n>3}$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $730 - 720\text{cm}^{-1}$ , gugus  $\text{CH}_3$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $1490 - 1150\text{cm}^{-1}$

#### 5.4. Hasil Percobaan

Berikut akan dijelaskan hasil percobaan yang dilakukan untuk mengetahui kinerja PCM.

##### 1. Analisa Perbandingan Waktu *On/Off* Kompresor Mesin Refrigerasi untuk Pengamatan Kinerja PCM

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk *on/off* kompresor mesin refrigerasi selama percobaan sehingga dapat diketahui perbandingan waktu *on/off* kompresor mesin refrigerasi tiap – tiap PCM. Berikut data waktu *on/off* kompresor mesin refrigerasi tiap – tiap PCM yang ditampilkan pada tabel dibawah ini.

**Tabel 5.4.** Perbandingan Waktu *On/Off* Kompresor Mesin Refrigerasi untuk Melihat Kinerja PCM

-	Tanpa PCM	PCM A	PCM A1	PCM A2	PCM A3	PCM B	PCM B1	PCM B2	PCM B3
Off Kompresor Mesin Refrigerasi	16	19	19	14	15	21	23	21	22
On Kompresor Mesin Refrigerasi	12	20	17	15	14	21	14	13	16
Off Kompresor Mesin Refrigerasi	16	22	21	18	18	24	24	24	23
On Kompresor Mesin Refrigerasi	12	19	18	15	13	17	13	15	14
Off Kompresor Mesin Refrigerasi	16	23	23	21	21	24	25	26	25
On Kompresor Mesin Refrigerasi	12	17	20	14	12	13	11	12	15
Off Kompresor Mesin Refrigerasi	16		2	19	22		10	9	5
On Kompresor Mesin Refrigerasi	12			4	5				
Off Kompresor Mesin Refrigerasi	8								
% Off	60%	53,3%	54,2%	60%	63,3%	57,5%	68,3%	66,7%	62,5%
% On	40%	46,7%	45,8%	40%	36,7%	42,5%	31,7%	33,3%	37,5%

**Note :**

Satuan angka : menit

% *on/ff* : menunjukkan prosentase perbandingan untuk dapat mengetahui kinerja

PCM yang optimum

PCM A : Campuran Parafin wax 20ml + paraffin *white oil* 70ml

PCM A1 : Campuran paraffin wax 20ml + paraffin *white oil* 70ml + *linoleic acid* 2%

PCM A2 : Campuran paraffin wax 20ml + paraffin *white oil* 70ml + *linoleic acid* 4%

PCM A3 : Campuran paraffin wax 20ml + paraffin *white oil* 70ml + *linoleic acid* 6%

PCM B : Campuran paraffin wax 10ml + paraffin *white oil* 80ml

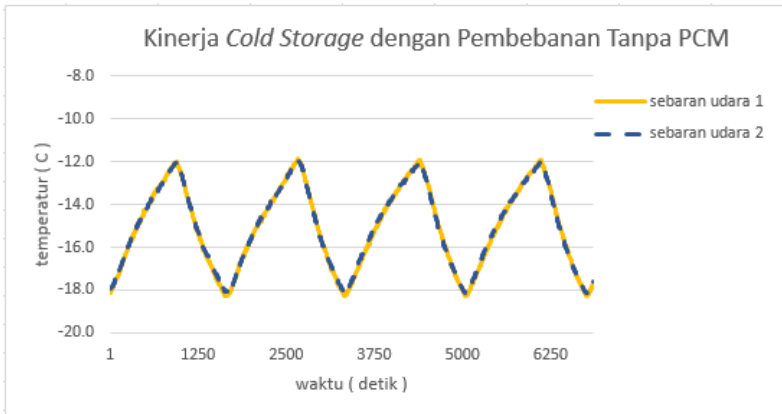
PCM B1 : Campuran paraffin wax 10ml + paraffin *white oil* 80ml + *linoleic acid* 2%

PCM B2 : Campuran paraffin wax 10ml + paraffin *white oil* 80ml + *linoleic acid* 4%

PCM B3 : Campuran paraffin wax 10ml + paraffin *white oil* 80ml + *linoleic acid* 6%

Berdasarkan data waktu yang didapatkan dari percobaan PCM yang ditunjukkan pada tabel 5.4. Dapat dilihat bahwa semua percobaan yang menggunakan PCM memiliki kecenderungan yang hampir sama yaitu semakin lama waktu *off* kompresor mesin refrigerasi pada siklus selanjutnya sehingga konsep *hybrid* efektif dibanding tanpa menggunakan PCM. Dari kesemuanya itu PCM yang bagus untuk untuk tiap jenis PCM baik jenis A maupun B yang dapat mempertahankan waktu *off* kompresor mesin refrigerasi adalah PCM A3 dan PCM B1. Ini menunjukkan semakin banyak penambahan paraffin *white oil* berpengaruh pada tingkat kemampuan PCM untuk dapat mempertahankan keadaan *off* kompresor mesin refrigerasi yang berhubungan dengan kapasitas kalor yang dapat diserap oleh PCM.

## 2. Analisa Lama Waktu *On/Off* Kinerja Pembebanan tanpa PCM

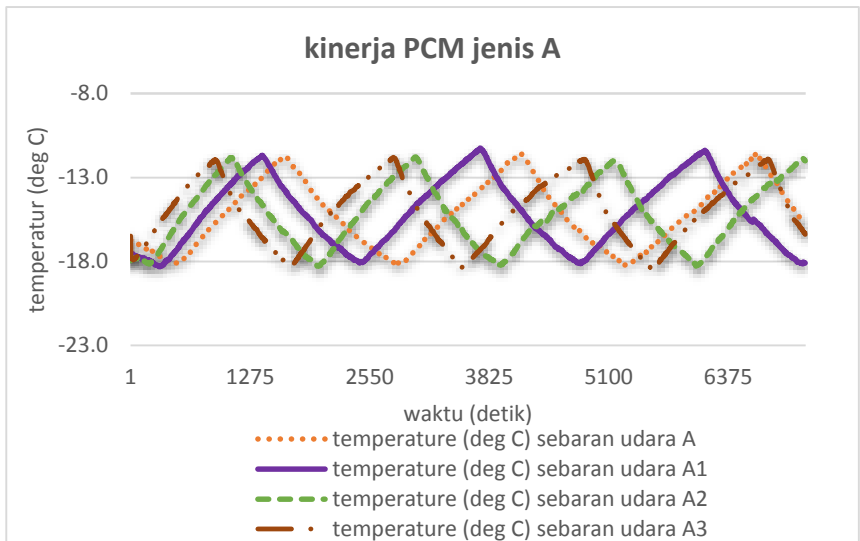


**Grafik 5.2.** Lama Waktu *On/Off* Kinerja Pembebanan tanpa PCM

Berdasarkan grafik 5.2 diatas diketahui bahwa sebaran udara 1 dan sebaran udara 2 cenderung sama. Hal ini dikarenakan dalam *cool box* tidak ada faktor lain yang mempengaruhi suhu dalam *cool box*. Berdasarkan tabel 5.1. menyatakan bahwa lama waktu yang dibutuhkan untuk *on* kompresor mesin refrigerasi agar bisa

mencapai range temperature yang diinginkan ( $-12^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $-18^{\circ}\text{C}$ ) adalah 16 menit untuk *off* kompresor mesin refrigerasi dan 12 menit untuk *on* kompresor mesin refrigerasi.

### 3. Analisa Lama Waktu *On/Off* Kinerja Pembebanan dengan PCM Komposisi A

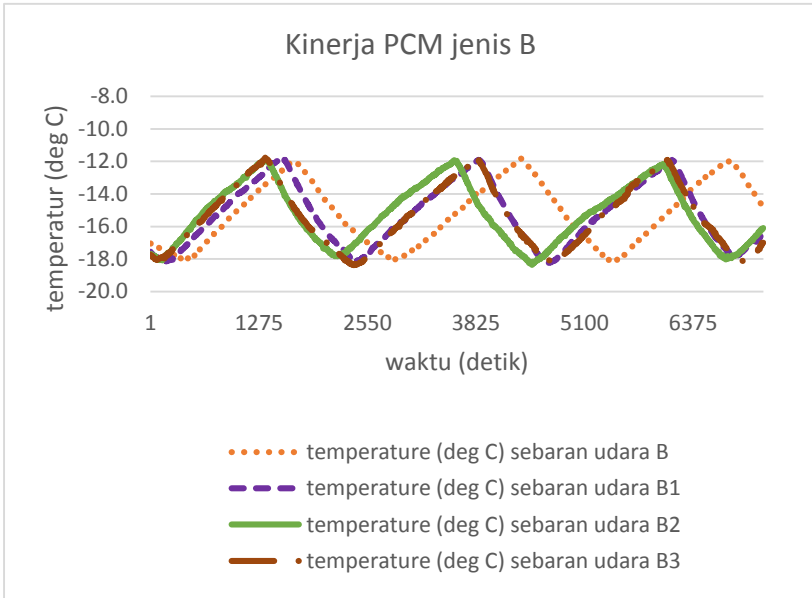


**Grafik 5.3.** Lama Waktu *On/Off* Kinerja Pembebanan dengan PCM Komposisi A

Dari ke empat grafik 5.3 diatas menunjukkan kinerja PCM guna melihat seberapa lama PCM komposisi A mampu mempertahankan temperature sistem (*cool box*). Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan dan didapatkan seperti pada Tabel 5.1 dapat diambil kesimpulan bahwasanya sifat dari ke empat PCM adalah sama yaitu lama waktu *off* kompresor mesin rigererasi lebih lama dan lama waktu *on* kompresor mesin rigererasi semakin sebentar. Bila dibanding dengan ke empat PCM komposisi A, yang bagus dalam hal lama waktu *on/off* kompresor mesin rigererasi adalah PCM A3 karena lebih stabil dalam peningkatan lama waktu

*on/off* kompresor mesin refrigerasi dibandingkan dengan PCM jenis A lainnya.

#### 4. Analisa Lama Waktu *On/Off* Kinerja Pembebanan dengan PCM Komposisi B



**Grafik. 5.4.** Lama Waktu *On/Off* Kinerja Pembebanan dengan PCM Komposisi B

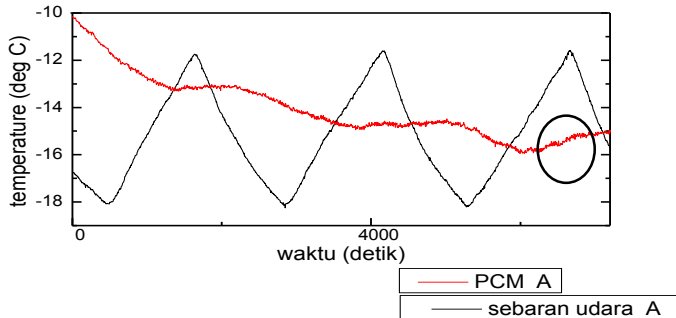
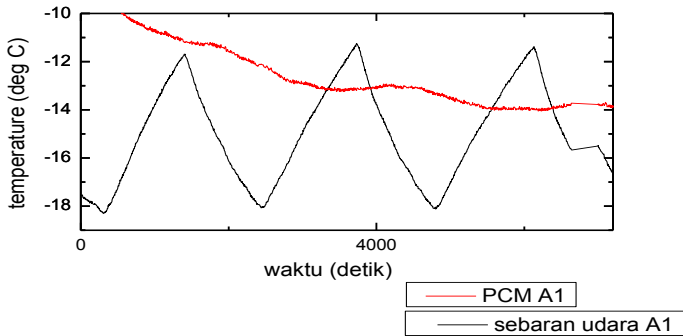
Dari ke empat grafik 5.4 diatas menunjukkan kinerja PCM guna melihat seberapa lama PCM komposisi B mampu mempertahankan temperature sistem (*cool box*). Berdasarkan hasil pengamatan yang didapatkan dari Tabel 5.1 dapat diambil kesimpulan bahwasanya sifat dari ke empat PCM adalah sama yaitu lama waktu *off* kompresor mesin refrigerasi lebih lama dan lama waktu *on* kompresor mesin refrigerasi semakin sebentar. Bila dilihat dari lama waktu *off* kompresor mesin refrigerasi dan sebetulnya waktu *on* kompresor mesin refrigerasi PCM B1

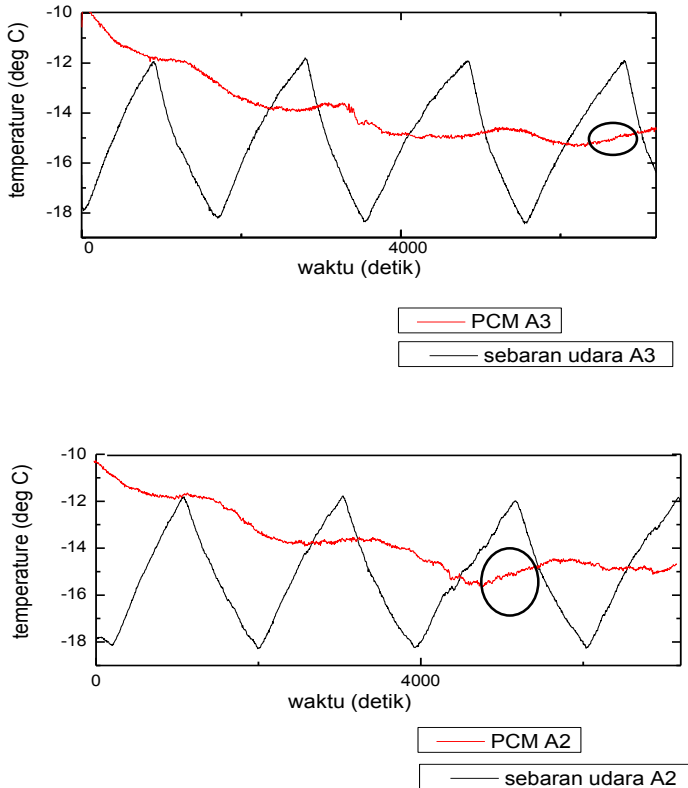
memiliki kestabilan yang baik dibanding PCM jenis B yang lainnya.

## 5. Analisa Kinerja PCM Menggunakan Pembebanan

Pada perbandingan pembebanan ini yang diamati adalah kemampuan menyerap panas PCM yang dilakukan dengan pendekatan menggunakan kalor jenis yang dimiliki masing – masing PCM.

### 1. PCM Komposisi A



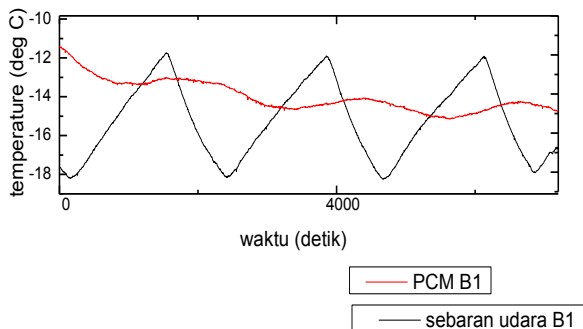
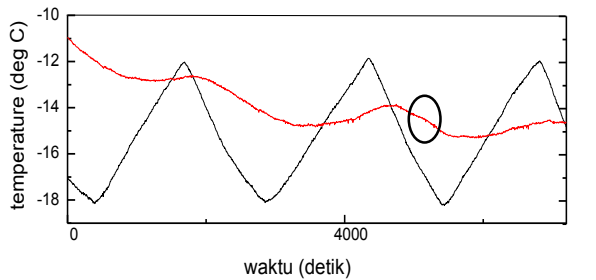


**Grafik 5.5.** Kinerja Pembebanan Menggunakan PCM Komposisi A

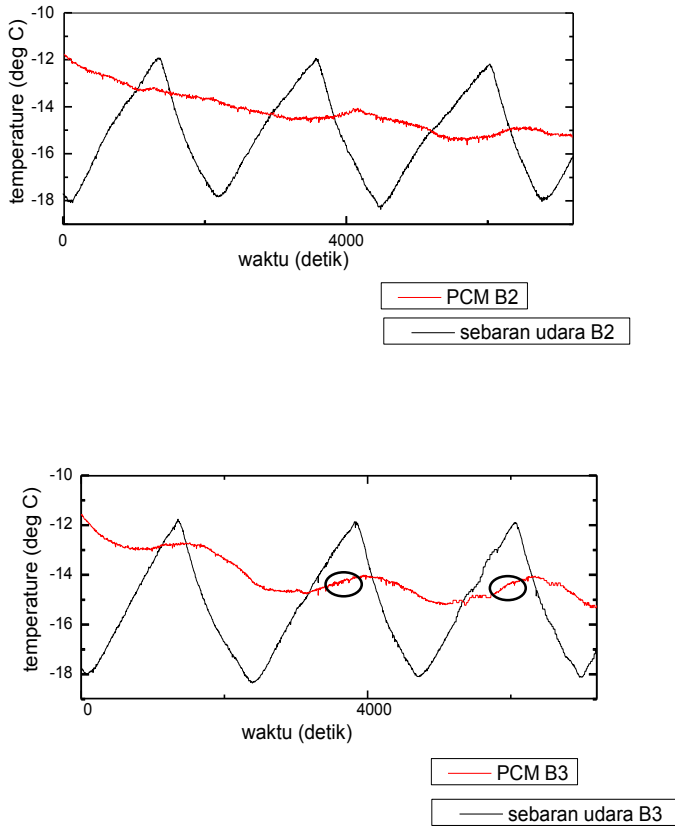
Pada ke empat grafik 5.5 diatas menunjukkan kinerja PCM jenis A saat dilakukan pembebanan. Dari hasil pengamatan pada PCM jenis A cenderung menunjukkan sifat yang sama, yakni temperature PCM konstan saat terjadi peningkatan temperature pada *cool box*. Hal ini terjadi karena PCM menyerap panas dan PCM bekerja untuk mempertahankan temperature sistem (*cool box*), sehingga pada saat kondisi seperti ini temperature PCM cenderung konstan.

Pada penurunan temperature sistem (*cool box*), temperature PCM juga turun. Hal ini dikarenakan PCM melepas panas, sehingga temperature PCM turun mengikuti temperature sistem yang turun pula. Pada PCM A, A2 dan A3 terdapat kejadian saat temperature sistem meningkat, temperature PCM A dan A2 ikut meningkat. Hal ini dikarenakan PCM A, A2 dan A3 menyerap panas yang berlebih melebihi kemampuan serap panas PCM A, A2 dan A3.

## 2. PCM Komposisi B







**Grafik 5.6.** Kinerja Pembebanan Menggunakan PCM Komposisi B

Dari ke empat grafik 5.6 diatas menunjukkan kinerja PCM jenis B saat dilakukan pembebanan. Dari hasil pengamatan pada PCM jenis B menunjukkan kecenderungan sifat yang sama pada awal peningkatan temperature sistem (*cool box*), yakni temperature PCM cenderung konstan saat peningkatan temperature sistem (*cool*

*box*). Hal ini karena usaha PCM untuk menyerap panas sekaligus mempertahankan temperature sistem (*cool box*).

Pada PCM B dan B3 terjadi kenaikan temperature PCM saat peningkatan temperature sistem (*cool box*). Hal ini terjadi karena beban panas yang diserap melebihi dari kemampuan menyerap panas PCM B dan B3, sehingga temperature PCM B dan B3 meningkat. Pada PCM B2 terjadi penurunan temperature PCM pada saat peningkatan temperature sistem (*cool box*). Hal ini terjadi karena panas yang dihasilkan oleh produk sangat kecil sehingga tidak berpengaruh pada daya serap panas PCM B2 sehingga temperature PCM B2 mengalami penurunan.

## 5.5. Perhitungan Biaya Operasional

### 1. Perhitungan Laju Aliran Masa *Refrigerant*

#### Data Refrigerant

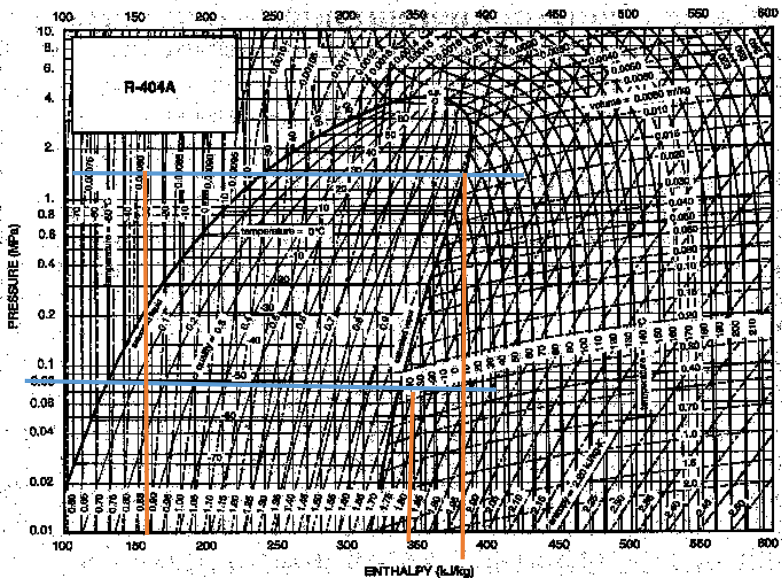
Tipe	: R404A
T (inlet comp.)	: 0°C
T (outlet comp.)	: 63°C
<i>Low Pressure</i>	: 0.6 Bar ~ .06 MPa
<i>High Pressure</i>	: 16.2 Bar ~ 1.62 MPa
T <i>subcooling</i>	: 20°C
<i>Cooling Capacity</i>	: 1.345 kJ/s
T <i>Freezer Room</i>	: -18°C



Gambar 5.6. *High Pressure*



Gambar 5.7. Low Pressure



Gambar 5.8. P-h Diagram Refrigerant R404A

Kemudian mencari nilai *enthalpy* dari P-h diagram R404A seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas. Adapun nilai *enthalpy* yang didapat adalah sebagai berikut :

h1	: 370 kJ/Kg
h2	: 415 kJ/Kg
h3	: 180 kJ/Kg
h4	: 180 kJ/Kg

Selanjutnya mencari nilai laju aliran massa *refrigerant* R404A dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_L = m_{ref} (h_1 - h_4)$$

$$m_{ref} = \frac{Q_L}{(h_1 - h_4)}$$

$$m_{ref} = \frac{1.345}{(370 - 180)}$$

$$m_{ref} = 0.007078947 \text{ Kg/s}$$

## 2. Perhitungan Kebutuhan Energi Kompresor

Untuk mendapatkan besarnya energi kompresor yang dibutuhkan, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_{comp} = m_{ref} (h_2 - h_1)$$

$$W_{comp} = 0.007078947 \text{ Kg/s} (415 \text{ kJ/Kg} - 370 \text{ kJ/Kg})$$

$$W_{comp} = 0.318552632 \text{ kJ/s}$$

$$W_{comp} = 1146.7895 \text{ kJ/h}$$

$$W_{comp} = 0.3211 \text{ kW}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui besarnya energi kompresor yang dibutuhkan adalah 0,3211 kW untuk bisa melayani sistem.

## 3. Perhitungan Biaya Listrik

Biaya listrik disesuaikan dengan Tarif Dasar Listrik yang dikeluarkan oleh PLN per Juli 2016 adalah Rp1412/kWh. Sehingga

dapat diprediksi pengeluaran dan penghematan yang dapat dilakukan dengan menggunakan PCMadalah sebagai berikut :

a. Pengeluaran Biaya Listrik Akibat On Mesin Refrigerant

**Tabel 5.5.** Pengeluaran Biaya Listrik Akibat On Mesin Refrigerasi

No	Nama PCM	t ( on ) per 1 kali pengoperasian (menit)	KWh per 1 kali pengorpesaian	KWh dalam 24 jam pengoperasian	Biaya perhari
1	PCMA	19	0.10	2.44	Rp 3,445.80
2	PCMA1	18	0.10	2.31	Rp 3,264.44
3	PCMA2	12	0.06	1.54	Rp 2,176.29
4	PCMA3	11	0.06	1.41	Rp 1,994.94
5	PCMB	17	0.09	2.18	Rp 3,083.08
6	PCMB1	12	0.06	1.54	Rp 2,176.29
7	PCMB2	13	0.07	1.67	Rp 2,357.65
8	PCMB3	15	0.08	1.93	Rp 2,720.37
9	Tanpa PCM	12	0.06	1.54	Rp 2,176.29

\*Waktu yang digunakan merupakan rata – rata waktu on mesin Refrigerasi

b. Penghematan Biaya Listrik Akibat Off Mesin refrigerasi

**Tabel 5.6.** Penghematan Biaya Listrik Akibat Off Mesin Refrigerasi

No	Nama PCM	t ( off ) per 1 kali pengoperasian (menit)	KWh per 1 kali pengorpesaian	KWh dalam 24 jam pengoperasian	Biaya perhari
1	PCMA	21	0.11	2.70	Rp 3,808.52
2	PCMA1	16	0.09	2.06	Rp 2,901.73
3	PCMA2	18	0.10	2.31	Rp 3,264.44
4	PCMA3	19	0.10	2.44	Rp 3,445.80
5	PCMB	23	0.12	2.95	Rp 4,171.23
6	PCMB1	20.5	0.11	2.63	Rp 3,717.84
7	PCMB2	20	0.11	2.57	Rp 3,627.16
8	PCMB3	18.75	0.10	2.41	Rp 3,400.46
9	Tanpa PCM	14.4	0.08	1.85	Rp 2,611.55

\*Waktu yang digunakan merupakan rata – rata waktu off mesin refrigerasi

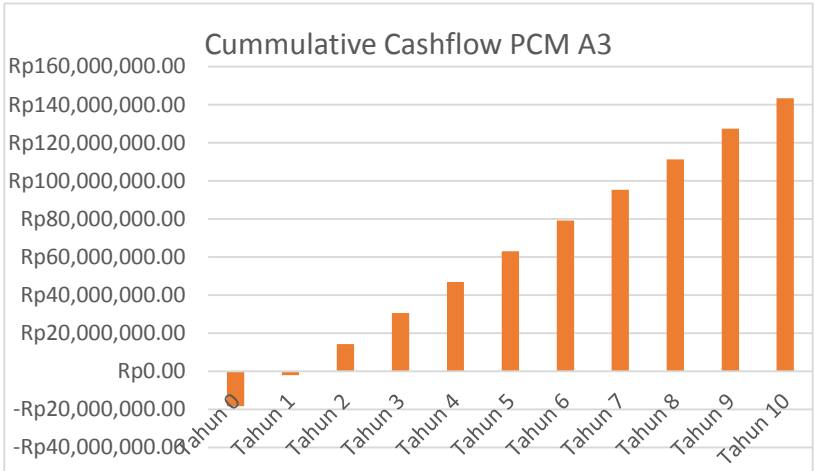
Berdasarkan prediksi diatas dapat diketahui pengeluaran biaya listrik terkecil pada PCM komposisi A ada pada PCM A3 dan pada PCM komposisi B adalah PCM B1. Meskipun pengeluaran biaya listrik PCM B1 sama dengan kondisi mesin refrigerasi tanpa PCM. Tetaplah untung menggunakan PCM B1, karena bila dilihat dari waktu *off* nya mesin refrigerasi, PCM B1 lebih lama dibanding dengan yang tanpa PCM.

### **5.6. Tingkat Ekonomis PCM**

Sebelumnya untuk mengetahui kebutuhan PCM yang digunakan dalam *cold storage* adalah dengan menentukan produk yang dimuat serta kapasitas muatannya dalam *cold storage*. Dimensi *cold storage* adalah 2,4m x 2,5m x 1,2m. Pada perhitungan tingkat ekonomis ini jenis produknya adalah daging dengan kapasitas muat *cold storage* adalah 2000kg sehingga kebutuhan PCM bekisar  $\pm 224,8$ kg. Kemudian menentukan CAPEX (*capital expenditure*) yang memuat tentang biaya modifikasi *cold storage*, harga perengkapan PCM. Jumlah CAPEX sebesar Rp18.410.750,00. Selanjutnya memprediksi OPEX (*Operational Expenditure*) yang terdiri dari *maintenance cost* dan biaya listrik. Didapatkan jumlah OPEX sebesar Rp1.638.714,68. Karena OPEX merupakan biaya yang akan dikeluarkan tiap tahunnya, maka diprediksi akan terjadinya inflasi 5% tiap tahunnya. Agar bisa mengembalikan modal, maka rencana *cod storage* disewakan dengan biaya sewa Rp1.500.000,00 tiap bulannya. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan pada tahun keberapa mulai balik modal dan semakin mendapat keuntungan.

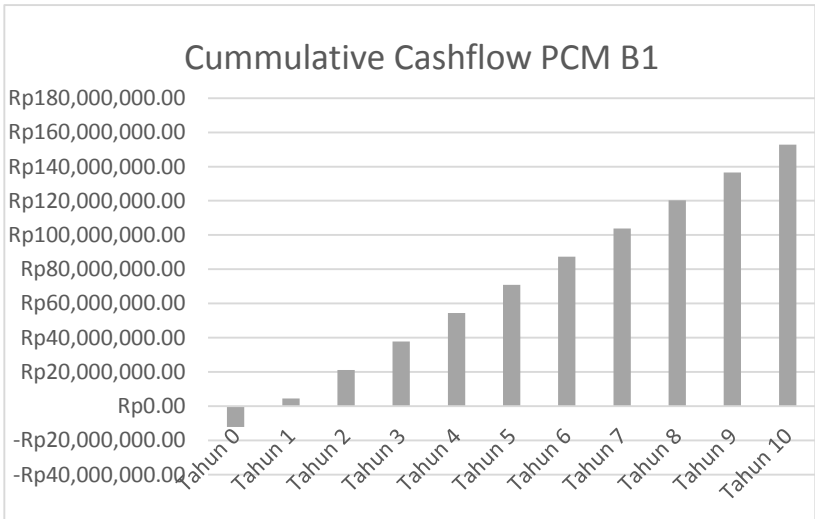
Berdasarkan grafik 5.10 yang merupakan tingkat ekonomis PCM A3 dapat diketahui jika balik modal terjadi pada tahun ke dua. Sedangkan pada grafik 5.11 yang merupakan tingkat ekonomis PCM B1 balik modal terjadi pada tahun pertama.

**PCM A3**



**Grafik 5.7.** Cummulative Cashflow PCM A3

**PCM B1**



**Grafik 5.8.** Cummulative Cashflow PCM B1

# Lampiran 1

## Data Sheet Parafin Wax

Certificate Of Analysis		
Inv. No.	15033 JK	
Inv. Date	7 May 2015	
<i>Detail of goods</i>		
Goods	Fully Refined Paraffin Wax 58/60 Deg. C ex Fushun	
Quantity	100MT	
Production date	22 Apr 2015	
This is to certify that the above-mentioned goods have been analyzed with results as follows:		
Item	Specification	Result
Lot No.		201504221415FS
Melting point °C	58 - 60	58.2
Oil content wt %	1.5 max	0.45
Color / Saybolt	+ 27 min	+ 29
Light stability	4 max	4
Needle penetration (25°C) 1/10mm	19 max	18
Odor	Nil	Nil
Mechanical impurity & water	Nil	Nil
Water soluble acid & alkali	Nil	Nil
<p>PT. BRATACO Agustina Pratiwi, S.Si., Apt. 19800626 SIK-35.78/2014/2269</p>		




## Lampiran 2

### Data Sheet Parafin *White Oil*

TAIDAS INTERNATIONAL (HK) LIMITED  
 FLAT 301 1501 (28F) 15/F SPA CENTRE  
 53-57 LOCKHART ROAD HONGKONG

## CERTIFICATE OF ANALYSIS


COA NO.	: COA1510039	 Taidas International (HK) Limited 1501/F SPA CENTRE 1501/F SPA CENTRE 53-57 LOCKHART ROAD HONGKONG TEL: 852 2500 2269
DATE	: OCT. 29, 2015	
MANUFACTURING DATE	: OCT. 29, 2015	
EXPIRED DATE	: OCT. 29, 2016	
LOT NO.	: 44081D-15-10-039	
BUYERS P/O NO.	: PTB-4456/11/15	

---

DESCRIPTION OF GOODS	: WHITE OIL, GRADE A NO. 15	<b>PT. BRATACO</b> Agustina Prafiwi, S.Si., Apt. 19600625 SIKAS-95.78/2014/2269
QUANTITY	: 47.62 MTG (288 DREMS, 3X20" FCL)	
LOADING PORT	: SHUDONG, CHINA	
DELIVERY	: BY SEA	
DISCHARGE PORT	: JAKARTA, INDONESIA	


WE HEREBY CERTIFY THAT THE ABOVE MENTIONED GOODS HAS BEEN ANALYZED WITH THE RESULT AS FOLLOWS:

KINEMATIC VISCOSITY (40 °C), MM <sup>2</sup> /S	: 15.35
FLASH POINT, (COCL), °C	: 150
FOUR POINT, °C	: -15
SAYBOLL COLOUR	: +90
CORROSION TEST (100°C, 3hr), GRADE	: -1
WATER %	: NIL
MECHANICAL IMPURITIES	: NIL
WATER-SOLUBLE ACID & ALKALI	: NIL

TAIIDAS INTERNATIONAL (HK) LIMITED  
 For and on behalf of  
 TAIIDAS INTERNATIONAL (HK) LIMITED  
 泰益士有限公司 董事 梁志強  
  
 Director

# Lampiran 3

## Data Sheet *Linoleic Acid*



for fine cosmetics - since 1926

CLR - Postfach 41 04 80 - 12114 Berlin - Germany

Chemisches Laboratorium Dr. Kurt Richter GmbH  
 Bernigsenstraße 25  
 12159 Berlin  
 Germany  
 Tel +49 (0) 30 85 10 28-0  
 Fax +49 (0) 30 85 10 28-66  
 info@clr-berlin.com  
 www.clr-berlin.com

### Certificate of Analysis

#### Vitamin F forte

Article	950	Customer	30720
Lot	3128458	Order No.	78235
Production Date	18.11.2015	Expiry Date	14.11.2016
Remark			

Remark	Method	Specification	Result	Unit
<b>General Parameters</b>				
Refractive index (nD20)	CLR-pa001ch	1,4650 - 1,4880	1,4694	
Density (20°C)	CLR-pa002ch	0,8970 - 0,9010	0,8997	g/ml
Acid value	CLR-pa014ch	200,0 - 210,0	200,2	
Iodine value (Hanus)	CLR-pa018ch	140,0 - 150,0	149,9	
<b>Fatty acid distribution</b>				
< C18	CLR-pa042ch	2,0 - 10,0	6,3	%
C18-0	CLR-pa042ch	0,0 - 5,0	2,6	%
C18-1	CLR-pa042ch	12,0 - 16,0	14,9	%
C18-2	CLR-pa042ch	70,0 - 80,0	75,3	%
C18-3	CLR-pa042ch	0,0 - 3,0	0,1	%
> C18	CLR-pa042ch	0,0 - 2,0	0,8	%
<b>Microbiological tests</b>				
Colony forming units			<100/ml	
Pathogenic germs			Not detectable	

12159 Berlin, 08.12.2016

**W. Reinhold**  
(Director Quality Assurance)

The above data are the results of our quality control. They do not release the customer from carrying out his own quality check upon receipt of goods and are not intended to guarantee a certain property of the material or its suitability for a particular purpose.  
 This certificate of analysis is an automated printout and therefore bears no signature.

2012/81817

Commerzbank AG - Sort Code 100 800 00 - Account No. 1100 002 00 - BIC: DRESDEFF33 - IBAN: DE3910080000110000200  
 Postbank Berlin - Sort Code 100 100 10 - Account No. 8135-107 - BIC: PBNKDEFF - IBAN: DE41100100100008135107  
 HRB 5348 B - Amtsgericht Charlottenburg - Sitz: Berlin - USt-IdNr. DE 136763182 - Geschäftsführer: Dr. Stefan Borchert

## Lampiran 4

### Sertifikat Pengujian *Bomb Calorimeter*

#### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Febriana Tri Ermadhani  
Alamat Pemilik : Sistem Perkapalan ITS  
Nama Contoh : **Parafin** Tanggal Terima : 28 Juni 2016  
Deskripsi : **Bentuk** : ~~Bekas Cair/Gas~~ Tanggal Pengujian : 12 Juli 2016  
Contoh : **Volume** : - Tanggal Selesai  
**Kemasan** : botol Pengujian : 14 Juli 2016  
Kode Contoh : EI-0423 Jumlah Contoh : 3

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPMITS.

#### Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	80:10	<b>Kalori</b>	11.129	Cal/gr	<b>Bomb Kalorimeter</b>
2	80:10 + 6%		11.015		
3	20:70		11.012		
4	20:70 + 6%		10.992		

#### Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,  
Manajer Teknis

Vita vuliana, S.Si  
NIPH. 914014001

## Lampiran 5

Tabel Pita Absorbsi Infra Merah (Socrates,2001 halaman 12)

**Table 1.2** Negative spectral interpretation table

Absorption band absent in region		Type of vibration responsible for bands in this region	Type of group or compound absent
cm <sup>-1</sup>	µm		
4000–3200	2.50–3.13	O–H and N–H stretching	Primary and secondary amines, organic acids and phenols
3310–3300	3.02–3.03	C–H stretching (unsaturated)	Alkynes
3100–3000	3.23–3.33	C–H stretching (unsaturated)	Aromatic and olefinic compounds
3000–2800	3.33–3.57	C–H stretching (aliphatic)	Methyl, methylene, methyne groups
2500–2000	4.00–5.00	X≡Y, X=Y=Z stretching <sup>†</sup>	Alkynes <sup>†</sup> , allenes <sup>†</sup> , cyanate, isocyanate, nitrile, isocyanides, azides, diazonium salts, ketenes, thiocyanates, isothiocyanates
1870–1550	5.35–6.45	C=O stretching	Esters, ketones, amides, carboxylic acids and their salts, acid anhydrides
1690–1620	5.92–6.17	C=C stretching	Olefinic compounds <sup>‡</sup>
1680–1610	5.92–6.21	N=O stretching	Organic nitrite compounds
1655–1610	6.04–6.21	–O–NO <sub>2</sub> asymmetric stretching	Organic nitrate compounds (the symmetric –O–NO <sub>2</sub> stretching vibration occurs at 1300–1255 cm <sup>-1</sup> (7.69–7.97 µm))
1600–1510	6.25–6.62	–NO <sub>2</sub> asymmetric stretching	Organic nitro-compounds (the symmetric –NO <sub>2</sub> stretching vibration occurs at 1385–1325 cm <sup>-1</sup> (7.22–7.55 µm))
1600–1450	6.25–6.90	C=C stretching	<b>Aromatic ring system (normally four bands)</b>
1490–1150	6.71–8.70	H–C–H bending	Methyl, methylene
1420–990	7.04–10.10	S=O stretching	Sulphoxides, sulphates, sulphites, sulphonic acids or esters, sulphones, sulphonyl halides
1310–1020	7.63–9.80	C–O–C stretching	Ethers (aromatic, olefinic or aliphatic)
1225–1045	8.16–9.67	C=S stretching	Thioesters, thioureas, thioamides pyrothiones
1000–780	10.00–12.82	C=C–H deformation	Aliphatic unsaturation
900–670	11.11–14.93	C–H deformation	<b>Substituted aromatics</b>
850–500	11.76–20.00	C–X stretching <sup>‡</sup>	Organohalogens
730–720	13.70–13.90	(CH <sub>2</sub> ) <sub>n&gt;3</sub>	Four or more consecutive methylene groups

<sup>†</sup> X, Y, and Z may represent any of the atoms C, N, O and S.

<sup>‡</sup> Band may be absent in the infrared due to symmetry of functional group but is a strong band in Raman.

## Lampiran 6

### Perhitungan Biaya Pembuatan PCM

No	Nama Bahan	Komposisi (ml)			Harga Tiap Komposisi			Jumlah
		Parafin Wax	Parafin <i>white oil</i>	<i>Linoleic Acid</i>	Parafin Wax	Parafin <i>white oil</i>	<i>Linoleic Acid</i>	
1	PCM A	20	70	-	Rp500	Rp2,800		Rp3,300
2	PCM A1	20	70	1.8	Rp500	Rp2,800	Rp14,130	Rp17,430
3	PCM A2	20	70	3.6	Rp500	Rp2,800	Rp28,260	Rp31,560
4	PCM A3	20	70	5.4	Rp500	Rp2,800	Rp42,390	Rp45,690
5	PCM B	10	80	-	Rp250	Rp3,200		Rp3,450
6	PCM B1	10	80	1.8	Rp250	Rp3,200	Rp14,130	Rp17,580
7	PCM B2	10	80	3.6	Rp250	Rp3,200	Rp28,260	Rp31,710
8	PCM B3	10	80	5.4	Rp250	Rp3,200	Rp42,390	Rp45,840

#### Harga Bahan :

- Parafin wax (1L) = Rp25.000,-
- Parafin *white oil* (1L) = Rp40.000,-
- *Linoleic Acid* (100ml) = Rp785.000,-

## Lampiran 8

### Perhitungan Ekonomis PCM

#### PCM A3

#### 1 Perhitungan Kebutuhan PCM untuk Cold Storage

Kebutuhan PCM didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan banyaknya kalor yang harus diserap oleh PCM

Kebutuhan PCM = 224.8 kg

#### A Perhitungan CAPEX ( Capital Expenditure )

No	Keperluan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
Modifikasi Cold Storage					
1	<i>Stainless Steel Plate</i>	32	m	Rp 174,000.00	Rp 5,568,000.00
	Jasa Pemasangan	1	set	Rp 2,000,000.00	Rp 2,000,000.00
Total Biaya Modifikasi <i>Cold Storage</i>					Rp 7,568,000.00
2	Botol PET 1000ml	225	botol	Rp2,500.00	Rp562,500.00
3	PCM A3	225	botol	Rp45,690.00	Rp10,280,250.00
Total CAPEX					Rp18,410,750.00

Modifikasi Cold Storage: dibuat rak pada dinding cold storage sebagai peletakan botol PCM

#### B Perhitungan OPEX ( Operational Expenditure)

No	Keperluan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Maintenance Cost	1	kali/tahun	Rp920,537.50	Rp920,537.50
Operasional					
2	Biaya Listrik	1	tahun	Rp 718,177.18	Rp718,177.18
					Rp1,638,714.68

Biaya listrik : listrik yang digunakan untuk menghidupkan mesin refrigerasi

Asumsi terjadi inflasi 5% per tahun pada operasional

No	Tahun	Maintenance	Operasional	Total
1	Tahun 1	Rp920,537.50	Rp718,177.18	Rp1,638,714.68
2	Tahun 2	Rp920,537.50	Rp754,086.04	Rp1,674,623.54
3	Tahun 3	Rp920,537.50	Rp791,790.34	Rp1,712,327.84
4	Tahun 4	Rp920,537.50	Rp831,379.86	Rp1,751,917.36
5	Tahun 5	Rp920,537.50	Rp872,948.85	Rp1,793,486.35
6	Tahun 6	Rp920,537.50	Rp916,596.29	Rp1,837,133.79
7	Tahun 7	Rp920,537.50	Rp962,426.11	Rp1,882,963.61
8	Tahun 8	Rp920,537.50	Rp1,010,547.41	Rp1,931,084.91
9	Tahun 9	Rp920,537.50	Rp1,061,074.78	Rp1,981,612.28
10	Tahun 10	Rp920,537.50	Rp1,114,128.52	Rp2,034,666.02

#### C Revenue

No	Jenis Revenue	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Persewaan	12	bulan	Rp1,500,000.00	Rp18,000,000.00

Harga persewaan *Cold Storage* dibuat lebih murah untuk bisa bersaing dengan PCM yang sudah ada dipasaran

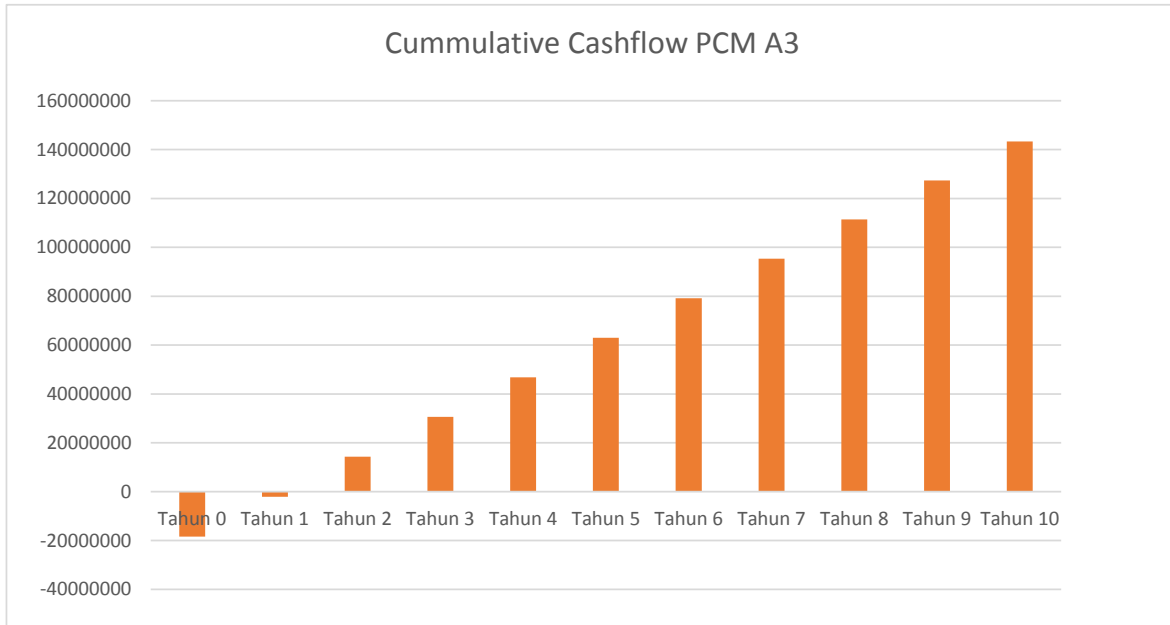
#### D Perhitungan Cashflow

No	Tahun	CAPEX	OPEX	Revenue
1	Tahun 0	Rp18,410,750.00		
2	Tahun 1		Rp1,638,714.68	Rp18,000,000.00
3	Tahun 2		Rp1,674,623.54	Rp18,000,000.00

4	Tahun 3		Rp1,712,327.84	Rp18,000,000.00
5	Tahun 4		Rp1,751,917.36	Rp18,000,000.00
6	Tahun 5		Rp1,793,486.35	Rp18,000,000.00
7	Tahun 6		Rp1,837,133.79	Rp18,000,000.00
8	Tahun 7		Rp1,882,963.61	Rp18,000,000.00
9	Tahun 8		Rp1,931,084.91	Rp18,000,000.00
10	Tahun 9		Rp1,981,612.28	Rp18,000,000.00
11	Tahun 10		Rp2,034,666.02	Rp18,000,000.00

No	Tahun	Cash Flow	Cummulative Cashflow
1	Tahun 0	-Rp18,410,750.00	-Rp18,410,750.00
2	Tahun 1	Rp16,361,285.32	-Rp2,049,464.68
3	Tahun 2	Rp16,325,376.46	Rp14,275,911.78
4	Tahun 3	Rp16,287,672.16	Rp30,563,583.94
5	Tahun 4	Rp16,248,082.64	Rp46,811,666.58
6	Tahun 5	Rp16,206,513.65	Rp63,018,180.23
7	Tahun 6	Rp16,162,866.21	Rp79,181,046.44
8	Tahun 7	Rp16,117,036.39	Rp95,298,082.83
9	Tahun 8	Rp16,068,915.09	Rp111,366,997.92
10	Tahun 9	Rp16,018,387.72	Rp127,385,385.63
11	Tahun 10	Rp15,965,333.98	Rp143,350,719.61





Grafik 1. *Cummulative Cashflow* PCM A3

### PCM B1

#### 1 Perhitungan Kebutuhan PCM untuk Cold Storage

Kebutuhan PCM didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan banyaknya kalor yang harus diserap oleh PCM

Kebutuhan PCM = 224.8 kg

#### A Perhitungan CAPEX ( Capital Expenditure )

No	Keperluan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
	Modifikasi Cold Storage				
1	<i>Stainless Steel Plate</i>	32	m	Rp 174,000.00	Rp 5,568,000.00
	Jasa Pemasangan	1	set	Rp 2,000,000.00	Rp 2,000,000.00
	Total Biaya Modifikasi <i>Cold Storage</i>				Rp 7,568,000.00
2	Botol PET 1000ml	225	botol	Rp2,500.00	Rp562,500.00
3	PCM B1	225	botol	Rp17,580.00	Rp3,955,500.00
	Total CAPEX				Rp12,086,000.00

Modifikasi Cold Storage: dibuat rak pada dinding cold storage sebagai peletakan botol PCM

#### B Perhitungan OPEX ( Operational Expenditure)

No	Keperluan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Maintenance Cost	1	kali/tahun	Rp604,300.00	Rp604,300.00
	Operasional				
2	Biaya Listrik	1	tahun	Rp 783,466.00	Rp783,466.00
					Rp1,387,766.00

Biaya listrik : listrik yang digunakan untuk menghidupkan mesin refrigerasi

Asumsi terjadi inflasi 5% per tahun pada operasional

No	Tahun	Maintenance	Operasional	Total
1	Tahun 1	Rp604,300.00	Rp783,466.00	Rp1,387,766.00
2	Tahun 2	Rp604,300.00	Rp822,639.30	Rp1,426,939.30
3	Tahun 3	Rp604,300.00	Rp863,771.27	Rp1,468,071.27
4	Tahun 4	Rp604,300.00	Rp906,959.83	Rp1,511,259.83
5	Tahun 5	Rp604,300.00	Rp952,307.82	Rp1,556,607.82
6	Tahun 6	Rp604,300.00	Rp999,923.21	Rp1,604,223.21
7	Tahun 7	Rp604,300.00	Rp1,049,919.37	Rp1,654,219.37
8	Tahun 8	Rp604,300.00	Rp1,102,415.34	Rp1,706,715.34
9	Tahun 9	Rp604,300.00	Rp1,157,536.11	Rp1,761,836.11
10	Tahun 10	Rp604,300.00	Rp1,215,412.91	Rp1,819,712.91

#### C Revenue

No	Jenis Revenue	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Persewaan	12	bulan	Rp1,500,000.00	Rp18,000,000.00

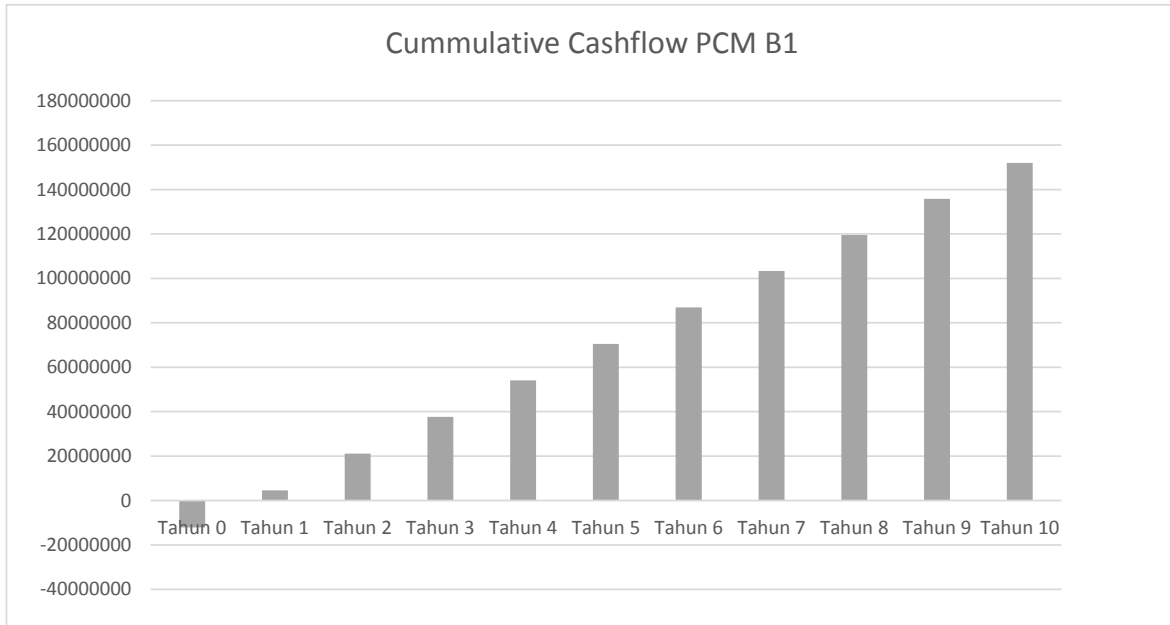
Harga persewaan *Cold Storage* dibuat lebih murah untuk bisa bersaing dengan PCM yang sudah ada dipasaran

#### D Perhitungan Cashflow

No	Tahun	CAPEX	OPEX	Revenue
1	Tahun 0	Rp12,086,000.00		
2	Tahun 1		Rp1,387,766.00	Rp18,000,000.00
3	Tahun 2		Rp1,426,939.30	Rp18,000,000.00

4	Tahun 3		Rp1,468,071.27	Rp18,000,000.00
5	Tahun 4		Rp1,511,259.83	Rp18,000,000.00
6	Tahun 5		Rp1,556,607.82	Rp18,000,000.00
7	Tahun 6		Rp1,604,223.21	Rp18,000,000.00
8	Tahun 7		Rp1,654,219.37	Rp18,000,000.00
9	Tahun 8		Rp1,706,715.34	Rp18,000,000.00
10	Tahun 9		Rp1,761,836.11	Rp18,000,000.00
11	Tahun 10		Rp1,819,712.91	Rp18,000,000.00

No	Tahun	Cash Flow	Cummulative Cashflow
1	Tahun 0	-Rp12,086,000.00	-Rp12,086,000.00
2	Tahun 1	Rp16,612,234.00	Rp4,526,234.00
3	Tahun 2	Rp16,573,060.70	Rp21,099,294.70
4	Tahun 3	Rp16,531,928.74	Rp37,631,223.44
5	Tahun 4	Rp16,488,740.17	Rp54,119,963.61
6	Tahun 5	Rp16,443,392.18	Rp70,563,355.79
7	Tahun 6	Rp16,395,776.79	Rp86,959,132.58
8	Tahun 7	Rp16,345,780.63	Rp103,304,913.21
9	Tahun 8	Rp16,293,284.66	Rp119,598,197.87
10	Tahun 9	Rp16,238,163.89	Rp135,836,361.76
11	Tahun 10	Rp16,180,287.09	Rp152,016,648.85



Grafik 1. *Cummulative Cashflow* PCM B1

## Lampiran 9

### Spesifikasi Labjack T7-Pro



#### Core Features :

##### Analog I/O

14 Analog Inputs (16-18+ Bits Depending on Speed)  
Single-Ended Inputs (14) or Differential Inputs (7)  
Instrumentation Amplifier Inputs  
Software Programmable Gains of x1, x10, x100, and x1000  
Analog Input Ranges of  $\pm 10$ ,  $\pm 1$ ,  $\pm 0.1$ , and  $\pm 0.01$  Volts  
2 Analog Outputs (12-Bit,  $\sim 0-5$  Volts)

##### Digital I/O

23 Digital I/O  
Supports SPI, I2C, and Asynchronous Serial Protocols (Master Only)  
Supports Software or Hardware Timed Acquisition  
Maximum Input Stream Rate of 100 kHz (Depending on Resolution)  
Capable of Command/Response Times Less Than 1 Millisecond

##### Digital I/O Extended Features

Simple PWM Output (1-32 bit)  
PWM Output w/ phase control  
Pulse Output w/ phase control  
Positive edge capture  
Negative edge capture  
PWM measure  
Edge capture & compare  
High speed counter (TBD  $\sim 40$  MHz)  
Software counter (TBD  $\sim 200$  kHz)

##### Other highlights

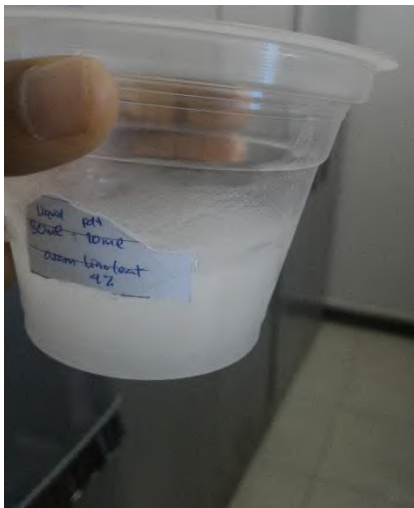
Built-In CJC Temperature Sensor  
Watchdog system  
Field Upgradable Firmware  
Programmable Startup Defaults  
LJTick Compatible

##### Fixed Current Outputs

200  $\mu$ A 10  $\mu$ A

## Lampiran 10

Dokumentasi



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Semua PCM cocok untuk skala *food grade level* karena terbuat dari bahan organik dan temperature sesuai kebutuhan *food grade level* yang kebanyakan pengaplikasiannya pada temperature minus.
2. Kinerja dari PCM yang menonjol dibanding dengan PCM lainnya, adalah PCM B1. Karena PCM B1 mampu mempertahankan lama waktu *off* kompresor mesin refrigerasi lebih lama dibandingkan yang lainnya.
3. Berdasarkan hasil FTIR, gugus fungsi parafin yang terbentuk cenderung sama, yaitu terdiri dari rantai alifatik yang ditunjukkan oleh puncak pada  $3000 - 2800\text{cm}^{-1}$ , serta gugus  $(\text{CH}_2)_{n>3}$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $730 - 720\text{cm}^{-1}$  dan juga gugus  $\text{CH}_3$  yang ditunjukkan oleh puncak pada  $1490 - 1150\text{cm}^{-1}$  serta gugus  $\text{C}=\text{O}$  pada  $1870 - 1550\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya *linoleic acid* dalam sampel campuran dengan *linoleic acid*.
4. Berdasarkan hasil kalkulasi dari *bom calorimeter*, penambahan *linoleic acid* pada campuran paraffin wax dan paraffin *white oil* memberi pengaruh pada penurunan kalor jenisnya.
5. Berdasarkan hasil percobaan kinerja PCM. Penggunaan PCM mampu meningkatkan lama waktu *off* kompresor mesin refrigerasi dibanding jika tidak menggunakan PCM.

### 6.2.Saran

Demi tercapainya hasil yang lebih baik pada penelitian-penelitian berikutnya, berikut saran-saran untuk penelitian berikutnya:



1. Perlu dilakukan pengkajian ulang terkait penambahan *fatty acid* yang sesuai agar didapatkan temperature yang sesuai dengan yang diharapkan.
2. Perlu adanya variasi *linoleic acid* agar didapatkan kinerja PCM yang maksimal.
3. Perlu adanya variasi volume *cool box* yang digunakan untuk percobaan kinerja PCM

## DAFTAR PUSTAKA

- A.P, Sari Puspita. 2012. *Pengawetan Suhu Rendah pada Ikan dan Daging*. Semarang : Jurusan Ilmu Gizi Universitas Diponegoro Semarang. Makalah Ilmu Teknologi Pangan.
- Bal, Lalit M. 2010. *Solar Dryer With Thermal Energy Storage System for Drying Agricultural Food Products : A Review*. New Delhi : Indian Institute of Technology.
- Becker JR. 1997. Crude oil waxes, emulsions and asphaltenes. Tulsa, OK, USA: Penn Well Publishing Company.
- Budiman, M. Haqqi. 2008. Uji Stabilitas Fisik dan Aktivitas Antioksidan Sediaan Krim yang Mengandung Serbuk Ekstrak Tomat (*Solanum Lycopersium L.*). Jakarta : Perpustakaan Universitas Indonesia. Skripsi.
- Dailami, dkk.2012. *Karakteristik Perpindahan Panas Peleburan Parafin-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai Material Penyimpan Panas*. Proceeding Seminar Nasional Energi Terbarukan dan Produksi Bersih. Bandar Lampung.
- Dihia Djefel,dkk.2015. *Performance Of The Capric and Lauric Acid Mixture with Additives as Cold Storage Materials for High Temperature Cooling Application*. Algeria : Mouloud Mammeri University.
- Haris, Enno Nurhayati. 2014. Formulasi dan Evaluasi Fisik Sediaan Krim dari Mikrokapsul Ekstrak Kedelai (*Glycine max L.Merr*) Hasil Fermentasi. Makasar : Program Studi Farmasi Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Holman, J.P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.  
<http://www.chem.hope.edu/~polik/Chem3452000/bombcalorimetry.htm>. Diakses pada tanggal 14 Juli 2016 pukul 18.47 WIB.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier\\_transform\\_infrared\\_spectroscopy](https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform_infrared_spectroscopy). Diakses pada tanggal 26 Juli 2016 pukul 01.21 WIB  
<http://www.engineeringtoolbox.com>. Diakses pada tanggal 27 Desember 2015 pukul 20:43 WIB.  
[http://www.daikinme.com/vrv-iv/continous\\_heating/](http://www.daikinme.com/vrv-iv/continous_heating/). Diakses pada tanggal 2 Januari 2016 pukul 15:32 WIB.

- <http://himitepa.lk.ipb.ac.id/asam-lemak-omega-mengapa-asam-oleat-bukan-termasuk-asam-lemak-esensial/>. Diakses pada tanggal 23 Januari 2016 pada pukul 11:23 WIB
- <http://www.microscopy.ethz.ch/sem.htm>. Diakses pada tanggal 26 Juli 2016 pukul 04.34 WIB
- <http://pslc.ws/macrog/dsc.htm>. Diakses pada tanggal 26 Juli 2016 pukul 02.10 WIB
- <http://www.rgees.com/technology.php> . Diakses pada tanggal 2 Januari 2016 pukul 19.23 WIB.
- <http://slideplayer.com/slide/2928694/>. Diakses pada tanggal 26 Juli 2016 pukul 03.19 WIB
- [IGI] The International Group Inc. c2010. Wax over view. International Group Inc Wax Basics [Internet]. [cited 2010 Nov 26];
- Pavia, Donald L, dkk. 2001. *Introduction To Spectroscopy A Guide for Students of Organic Chemistry*. Western Washington University : Bellingham, Washington.
- Perry, Robert H and Don W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineers Handbook Seventh Edition*. University of Kansas : The McGraw-Hill Companies.
- Ratiko. 2006. *Studi Teknik Pendingin Untuk Instalasi Dekontaminasi Elektrolitik Bermediator Ag<sup>2+</sup>*. Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR. Batan.
- Schmidt L. 2010. *CBU technical training: paraffin wax and asphaltene fundamentals and paraffin wax treatment for oil wells*. Calgary, AB, Canada: Champion Technologies Power Point presentation.
- Socrates, George. 2001. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*. England : John Wiley&Sons Ltd.
- Trot, A.R and T. Welch. 2000. *Refrigeration and Air-Conditioning Third Edition*. Great Britain : Butterworth – Heinemann.
- X.L.Wang, dkk. 2013. *Performance Of The Capric and Lauric Acid Mixture with Additives as Cold Storage Materials for High Temperature Cooling Application*. China : Institute of Refrigeration and Cryogenics. Shanghai Jian Tong University.

Zalba, Belen dkk. 2002. *Review on Thermal Energy Storage with Phase Change : Material, Heat Transfer Analysis and Application*. Germany.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lumajang, Jawa Timur, pada tanggal 26 Februari 1994, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Terlahir dengan nama Febriana Tri Ermadhani dari pasangan Edy Subiyanto dan Suliarsih. Penulis yang akrab disapa Febriana telah menempuh pendidikan formal diantaranya TK Mutiara Ujung Berung Bandung, SDN 04 Pandanwangi, SMPN 01 Tempeh, SMAN 01 Tempeh. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi. Diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – FTK – ITS jenjang Strata 1 (S1). Penulis mengambil konsentrasi bidang keahlian *Marine Machinery and System* (MMS). Selama perkuliahan, penulis aktif pada kegiatan yang sifatnya akademis dan non akademis. Penulis aktif di organisasi mahasiswa (Himasiskal) sebagai Sekretaris Departemen Riset dan Teknologi periode 2013 – 2014 serta tergabung dalam tim Barunastra ITS sebagai Sekretaris Tim Nala – Evo.

### **Febriana Tri Ermadhani**

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

[febrianatri@gmail.com](mailto:febrianatri@gmail.com)