



SKRIPSI – ME 141501

**ANALISA KINERJA *PHASE CHANGE MATERIAL* ORGANIK
SEBAGAI PENDINGIN ALTERNATIF *COLD STORAGE***

Taufiqurrahman
NRP. 4212 100 006

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

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



FINAL PROJECT – ME 141501

**PERFORMANCE ANALYSIS OF ORGANIC PHASE CHANGE
MATERIAL AS ALTERNATIVE REFRIGERATION OF COLD
STORAGE**

Taufiqurrahman
NRP. 4212 100 006

Supervisor :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Beny Cahyono, ST., MT

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

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA KINERJA *PHASE CHANGE MATERIAL*
ORGANIK SEBAGAI PENDINGIN ALTERNATIF
*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 :

Taufiqurrahman
NRP 4212 100 006

Disetujui Oleh
Pembimbing Tugas Akhir :

1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 19751006 200212 1003
2. Beny Cahyono, ST., MT.
NIP. 19790319 2008 1 1008



.....
.....

SURABAYA
JULI, 2016

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISA KINERJA *PHASE CHANGE MATERIAL*
ORGANIK SEBAGAI PENDINGIN ALTERNATIF
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 :

Taufiqurrahman
NRP 4212 100 006

Disetujui Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



SURAT PERNYATAAN

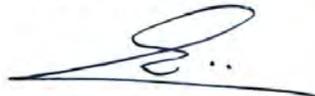
Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

Pada laporan skripsi yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.

Nama : Taufiqurrahman
NRP : 4212100006
Judul Skripsi : Analisa Kinerja *Phase Change Material* Organik Sebagai Pendingin Alternatif *Cold Storage*
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, 28 Juli 2016



Taufiqurrahman

**ANALISA KINERJA *PHASE CHANGE MATERIAL*
ORGANIK SEBAGAI PENDINGIN ALTERNATIF
*COLD STORAGE***

Nama Mahasiswa : Taufiqurrahman

NRP : 4212 100 006

Dosen Pembimbing :

- 1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D**
- 2. Beny Cahyono, S.T., M.T**

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara kaya akan hasil laut baik berupa komoditas ikan, udang maupun rumput laut. Produksi perikanan tangkap tahun 2014 adalah sebanyak 6.200.180 ton atau 102,05 % dari target yang telah ditetapkan. Kemampuan ekspor produksi perikanan laut pada kurun waktu 2010 – 2014 untuk TTC (Tongkol, Tuna, Cakalang) juga meningkat sebesar 18,96% pertahun (KKP,2014).

Melimpahnya hasil produksi ini belum sebanding dengan ketersediaan *cold storage* yang ada di Indonesia. Kemampuan tampung *cold storage* yang ada di Indonesia pada tahun 2014 hanya sebesar 7,2 juta ton pertahun sedangkan produksi mencapai 14 juta ton pertahun (www.industri.kontan.co.id, 2014). Saat ini jenis *cold storage* yang digunakan di Indonesia masih berupa *cold storage* konvensional yang memanfaatkan mesin refrigerasi dengan *refrigerant* berupa CFC dan Freon dalam kadar tertentu. Selain masalah *refrigerant* yang tidak ramah lingkungan, *cold storage* konvensional juga memiliki satu masalah lagi yakni kebutuhan daya yang cukup besar untuk menurunkan temperature ruang muat.

Saat ini salah satu diskusi paling signifikan mengenai penyimpanan energi adalah penggunaan *Phase Change Material (PCM)* untuk penyimpanan energi termal. PCMs mampu menyerap dan melepaskan sejumlah besar kalor laten sesuai dengan peningkatan dan penurunan suhu lingkungan. Penggunaan *Phase Change Material* dan modifikasi aliran udara didalam *cold storage* diharapkan dapat menjaga temperatur tempat penyimpanan sesuai dengan kebutuhan lamanya penyimpanan.

Berdasarkan data hasil percobaan didapatkan kecenderungan bahwa semakin banyak PCM digunakan maka semakin lama pula temperatur rendah bertahan atau dalam kata lain kenaikan temperatur dapat ditahan. Data percobaan menunjukkan lamanya waktu kompressor berhenti untuk percobaan tanpa PCM, 0,5 Kg PCM, 1 Kg PCM, 2 Kg PCM secara berurutan adalah 17 menit, 31 menit, 40 menit, dan 70 menit. Berdasarkan data tersebut dapat dikalkulasikan *cost saving* karena kompressor mati per bulan terbesar adalah Rp. 237.830,91 untuk penggunaan 2 Kg PCM.

Key Words : Cold storage, Cost Saving , PCM

PERFORMANCE ANALYSIS OF ORGANIC PHASE CHANGE MATERIAL AS ALTERNATIVE REFRIGERATION OF COLD STORAGE

Student name : **Taufiqurrahman**

NRP : **4212 100 006**

Supervisor :

1. **Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D**
2. **Beny Cahyono, S.T., M.T**

ABSTRACT

Indonesia is a maritime country that riches in products such as fish, shrimp, and seaweed commodity. Fisheries production in 2014 was as much as 6.200.180 tons or about 102.05 % of the set target. Export capabilities of marine production in the period 2010 – 2014 for *TTC (Tuna, Tongkol, Cakalang)* also increased by 18.96% per year.

The abundance of these production capabilities is not comparable with the availability of the cold storage in Indonesia. The ability of cold storage capacity in Indonesia in 2014 only amounted to 7.2 million tons per year, meanwhile the production had reached 14 million tons per year (www.industri.kontan.co.id, 2014). Nowadays, the type of cold storage used in Indonesia is still a conventional cold storage that uses the refrigeration machine with a refrigerant such as CFC and Freon in a certain degree. In addition, to the problem of environmentally unfriendly refrigerants, the conventional cold storage also has another problem in which it needs a quite large power to produce lower temperature.

Now, the most significant discussion regarding to the energy storage is the use of Phase Change Material (PCM) for thermal energy storage. PCMs are able to absorb and release large amounts of latent heat in accordance to the increment and reduction of the ambient temperature. The use of Phase change Material and modification of the air flow inside the cold storage is expected to keep the temperature of the storage fit in with the needs of storage duration.

Based on the experimental data, it can be found that the more PCM used, the longer the low temperatures can be persisted or in other words the rise of temperature can be held. The experimental data shows the durations of the compressor to stop for the experiment without PCM, 0.5 kg PCM, 1 Kg PCM, 2 Kg PCM respectively are 17 minutes, 31 minutes, 40 minutes, and 70 minutes. Based on these data, it can be calculated the cost saving caused by the use of 2 Kg PCM is 237.830,91 rupiahs per month.

Key Words: Cold storage, Cost Saving , PCM

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GRAFIK.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan.....	3
I.4 Manfaat.....	3
I.5 Tempat Penelitian.....	3
BAB II LANDASAN TEORI dan TINJAUAN PUSTAKA ..	5
II.1 Landasan Teori.....	5
II.2 Penelitian Sebelumnya	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
III.1 Studi Literatur	21
III.2 Studi Empiris	21
III.3 Perhitungan Beban Panas.....	21
III.4 Pemilihan Bahan PCM.....	22
III.5 Desain dan Pembuatan Apparatus.....	22

III.6 Pengetesan dan Kalibrasi	22
III.7 Percobaan	22
III.8 Analisa dan Pengolahan Data	30
BAB IV ANALISA dan PEMBAHASAN	33
IV.1 Pra Percobaan	33
IV.1.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	33
IV.1.2 Perhitungan Beban Panas.....	41
IV.1.3 Kalibrasi.....	44
IV.2 Percobaan.....	47
IV.2.1 Prosedur Pengoperasian <i>Cold Storage</i> Laboratorium Mesin Fluida.....	47
IV.2.2 Prosedur Pengoperasian <i>Data Logger</i>	51
IV.2.3 Jenis dan Variabel Percobaan	57
IV.3 Analisa Hasil Percobaan	58
IV.3.1 Percobaan Tanpa Sirkulasi Udara.....	59
IV.3.2 Percobaan Dengan Sirkulasi Udara	65
IV.3.3 Perhitungan Penghematan Biaya Operasional ...	71
IV.3 Analisa Ekonomis	76
BAB V KESIMPULAN dan SARAN	79
IV.1 Kesimpulan	79
IV.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83
BIODATA PENULIS	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Grafik Vapor – Pressure	5
Gambar II. 2 P - T Diagram	7
Gambar II. 3 Klasifikasi Phase Change Material.....	9
Gambar II. 4 Perpindahan Kalor Menyeluruh	12
Gambar II. 5 Jaringan Tahanan Panas	12
Gambar III. 1 <i>Flow Chart</i> Metodologi Penelitian.....	20
Gambar III. 2 Konsep <i>Cold Storage Hybrid</i>	23
Gambar III. 3 Konsep Percobaan.....	23
Gambar III. 4 Percobaan Tanpa Sirkulasi Udara	26
Gambar III. 5 Percobaan Dengan Sirkulasi Udara.....	27
Gambar III. 6 <i>Flow Chart</i> Metodologi Percobaan.....	31
Gambar IV. 1 <i>Styrofoam Box</i>	33
Gambar IV. 2 <i>Cool box</i> percobaan tanpa sirkulasi udara.....	34
Gambar IV. 3 <i>Cool Box</i> percobaan dengan sirkulasi udara.....	35
Gambar IV. 4 <i>Cold Storage</i>	35
Gambar IV. 5 <i>Thermocouple</i> Tipe K	36
Gambar IV. 6 Data <i>Logger</i> LabJack T7-Pro	37
Gambar IV. 7 PCM RT-4.....	38
Gambar IV. 8 Pengukuran Laju Aliran <i>Fan</i>	39
Gambar IV. 9 <i>Silicone Sealent</i>	40
Gambar IV. 10 <i>Anemometer</i>	40
Gambar IV. 11 Proses Kalibrasi	45
Gambar IV. 12 Pengukuran Laju Aliran Udara <i>Cold Storage</i>	46
Gambar IV. 13 Pengukuran Laju Aliran <i>Fan</i>	47
Gambar IV. 14 Panel Listrik Utama	48
Gambar IV. 15 Panel Kontrol <i>Cold Storage</i>	49
Gambar IV. 16 Cara Melakukan Setting Temperatur Tujuan.	49
Gambar IV. 17 Cara Melakukan Setting Differential	50
Gambar IV. 18 Pemasangan <i>Thermocouple</i> Ke LabJack T7- Pro.....	52
Gambar IV. 19 Tampilan Awal KIPLING.....	52

Gambar IV. 20 Tampilan Menu <i>Analog Inputs</i>	53
Gambar IV. 21 Proses Konfigurasi AIN	53
Gambar IV. 22 Pemilihan Jenis <i>Thermocouple</i>	54
Gambar IV. 23 Pemilihan Metric Temperatur	54
Gambar IV. 24 Pemilihan <i>Cold Junction Location</i>	55
Gambar IV. 25 Tampilan Awal LJLogM.....	55
Gambar IV. 26 Tampilan Setelah Dilakukan Pengaturan	56
Gambar IV. 27 Konsep <i>Hybrid</i>	58
Gambar IV. 28 Desain Aliran Udara didalam <i>Box</i>	70
Gambar IV. 29 Pengukuran <i>High Pressure</i>	71
Gambar IV. 30 Pengukuran <i>Low Pressure</i>	72
Gambar IV. 31 P-h diagram <i>Refrigerant R404A</i>	72

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Konduktifitas Termal Bahan	10
Tabel IV.1 Luas Permukaan Dinding <i>Cool Box</i>	42
Tabel IV.2 Waktu Lamanya Kompresor Mati	63
Tabel IV.3 Waktu Lamanya Kompresor Mati Percobaan2	69
Tabel IV.4 Prediksi Lamanya Kompresor Mati untuk 24 Jam Pengoperasian	74
Tabel IV.5 Penghematan Biaya Listrik	76

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV. 1 Grafik Tanpa PCM	59
Grafik IV. 2 Grafik Penggunaan 0,5 Kg PCM.....	60
Grafik IV. 3 Grafik Penggunaan 1 Kg PCM.....	61
Grafik IV. 4 Grafik Penggunaan 2 Kg PCM.....	62
Grafik IV. 5 Grafik Lama Kompresor Mati Tanpa Sirkulasi udara	63
Grafik IV. 6 Grafik Penggunaan 1 Kg PCM.....	65
Grafik IV. 7 Grafik Penggunaan 0,5 Kg PCM dan <i>Fan</i>	65
Grafik IV. 8 Grafik Penggunaan 1Kg PCM dan <i>Fan</i>	66
Grafik IV. 9 Grafik Penggunaan 2 Kg PCM dan <i>Fan</i>	67
Grafik IV. 10 Grafik Lama Kompresor Mati dengan Sirkulasi udara	69
Grafik IV. 11 Grafik Sebaran Temperatur Penggunaan 2 kg PCM dan <i>fan</i>	70
Grafik IV. 12 Grafik <i>Cost Saving</i> Perbulan	75
Grafik IV. 13 Grafik <i>Cummulative Cashflow</i>	77

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Hasil Percobaan	83
Lampiran 2 Spesifikasi PCM	91
Lampiran 3 Detail Perhitungan Ekonomis	97
Lampiran 4 Foto Kegiatan Percobaan	111

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara kaya akan hasil laut baik berupa komoditas ikan, udang maupun rumput laut. Produksi perikanan tangkap tahun 2014 adalah sebanyak 6.200.180 ton atau 102,05 % dari target yang telah ditetapkan . Kemampuan ekspor produksi perikanan laut pada kurun waktu 2010 – 2014 untuk TTC (Tongkol, Tuna, Cakalang) juga meningkat sebesar 18,96% pertahun (KKP, 2014). Peningkatan ini tentunya membuka peluang besar untuk nasib perikanan Indonesia, akan tetapi kemampuan ekspor ini tentunya perlu didukung oleh teknologi pengiriman yang memadai. Kementerian perdagangan menyebutkan bahwa untuk meningkatkan kemampuan ekspor diperlukan teknologi yang mampu menyediakan pengiriman atau transportasi dengan pengontrolan suhu untuk makanan segar atau beku (Kemendag, 2015).

Melimpahnya hasil produksi ini belum sebanding dengan ketersediaan *cold storage* yang ada di Indonesia. Kemampuan tampung *cold storage* yang ada di Indonesia pada tahun 2014 hanya sebesar 7,2 juta ton pertahun sedangkan produksi mencapai 14 juta ton pertahun (www.industri.kontan.co.id, 2014) . Saat ini jenis *cold storage* yang digunakan di Indonesia masih berupa *cold storage* konvensional yang memanfaatkan mesin refrigerasi dan *refrigerant* berupa CFC dan Freon. Kloroflorokarbon atau (CFC) mengandung klorin (chlorine), fluorin (fluorine) dan karbon (carbon). CFC ini merupakan aktor utama penipisan lapisan ozon. CFCs sangat stabil di troposfer. CFCs yang paling umum adalah CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, dan CFC115 (Cahyono. 2005).

Selain masalah *refrigerant* yang tidak ramah lingkungan, cold storage konvensional juga memiliki masalah lain yakni kebutuhan daya yang cukup besar untuk menurunkan temperature ruang muat. Sebuah *cold storage* dengan luasan 910 m², energi yang dibutuhkan untuk menjadikan *cold storage* ini sebagai penyimpanan bahan makanan beku adalah sebesar 71.1 Kwh/yr/m³ atau 710.6 Kwh/yr/m² (Evans. 2012).

Saat ini salah satu diskusi paling signifikan mengenai penyimpanan energi adalah penggunaan *Phase Change Material* (PCM) untuk penyimpanan energi termal. PCMs mampu menyerap dan melepaskan sejumlah besar kalor laten sesuai dengan peningkatan dan penurunan suhu lingkungan. Penggunaan *Phase Change Material* dan modifikasi udara didalam cold storage diharapkan dapat menjaga temperatur tempat penyimpanan sesuai dengan kebutuhan lamanya penyimpanan. Modifikasi dengan menggunakan PCM ini juga diharapkan dapat menekan jumlah kebutuhan energy dari sebuah cold storage serta ramah lingkungan.

I.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara *phase change material* dapat menurunkan suhu ruang pendingin pada *Cold Storage*?
2. Bagaimana pengaruh sirkulasi udara didalam ruang pendingin pada *Cold Storage* yang menggunakan PCM?
3. Bagaimana hubungan jumlah material pendingin dan sirkulasi udara didalam ruang pendingin pada *Cold Storage*?
4. Bagaimana perbandingan ekonomis antara *cold storage* konvensional dengan *cold storage* menggunakan PCM

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Percobaan hanya dilakukan pada sebuah *Laboratory Scale Cold Storage*.
2. Tidak memperhatikan kesegaran ikan.
3. Tidak membahas COP dari Mesin Refrigerasi

I.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah melakukan studi eksperimental pada *cold storage hybrid* untuk :

1. Mengetahui kinerja PCM sebagai pendingin alternatif pada cold storage .
2. Mengetahui pengaruh sirkulasi udara terhadap pendinginan dengan menggunakan PCM.
3. Mengetahui lama kenaikan suhu ruang pendingin yang dapat ditahan oleh sistem yang dirancang.
4. Mengetahui perbandingan ekonomis antara *cold storage* menggunakan mesin refrigerasi konvensional dan *cold storage* modifikasi

I.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui kinerja dari *Phase Change Material* sebagai modifikasi *Cold Storage*.
2. Mengetahui nilai ekonomis dari penggunaan *Phase Change Material* sebagai modifikasi *Cold Storage*.

I.5 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

BAB II

DASAR TEORI dan TINJAUAN PUSTAKA

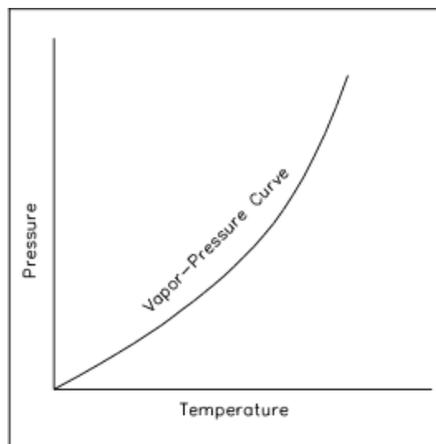
II.1 Landasan Teori

II.1.1 Teori Perubahan Fase

Perubahan fase bahan dalam suatu sistem sangat penting didalam proses termodinamika. Hal ini memungkinkan untuk merancang suatu sistem agar mengambil keuntungan dari perubahan fase antara padat ke cair atau antara cair ke uap untuk meningkatkan kinerja sebuah sistem. Berikut adalah pembahasan beberapa jenis perubahan fase.

A. Saturasi

Saturasi mendefinisikan suatu kondisi di mana campuran uap dan cair dapat eksis bersama-sama pada suhu tertentu dan tekanan tertentu. Suhu di mana penguapan mulai terjadi untuk tekanan yang diberikan disebut suhu saturasi atau titik didih. Tekanan di mana penguapan mulai terjadi untuk temperatur tertentu disebut tekanan saturasi. Semakin tinggi tekanan, semakin tinggi suhu saturasi. Representasi grafis dari hubungan antara suhu dan tekanan pada kondisi jenuh disebut kurva tekanan uap pada gambar II.1.



Gambar II. 1 Grafik Vapor – Pressure
Sumber : US Department of Energy 1992

B. Sublimasi

Sublimasi adalah istilah khusus yang digunakan untuk kasus-kasus di mana transisi antara fase padat dan fase uap terjadi secara langsung, tanpa melalui fase cair. Perpindahan panas lebih lanjut akan menghasilkan superheating uap.

C. Kondensasi

Jika panas dipindahkan pada tekanan konstan dari uap jenuh, kondensasi akan terjadi dan uap akan berubah fase uap menjadi cair. Jadi proses penguapan dan kondensasi adalah kebalikan dari satu sama lain.

D. Penguapan

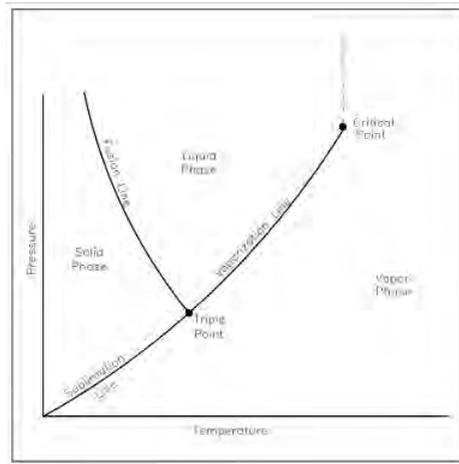
Penguapan merupakan konversi zat dari fasa cair ke fasa gas. Jika kondisi memungkinkan pembentukan gelembung uap dalam cairan, proses penguapan disebut didih. Panas harus dipasok ke fase cair untuk membentuk efek penguapan. Jika lingkungan tidak menyediakan cukup panas, mungkin berasal dari sistem itu sendiri sebagai penurunan suhu.

E. Pencairan

Pencairan adalah sebuah proses perubahan fase dari fase padat ke fase cair. Kondisi ini dikarenakan adanya beberapa kalor laten yang masuk kedalam suatu material sehingga menyebabkan material ini berubah fase dari padat ke cair.

F. Pembekuan

Pembekuan adalah suatu proses perubahan fase dari fase cair ke fase padat. Pada fase ini kalor laten yang ada didalam material akan dilepaskan ke lingkungan. Proses pelepasan kalor ini akan berakibat pada perubahan struktur kimia dari material yang awalnya berupa cair menjadi padat.



Gambar II. 2 P - T Diagram

Sumber : US Department of Energy 1992

II.1.2 Phase Change Material

Phase Change Energy Storage merupakan bentuk dari penyimpanan kalor laten. Prinsip utama dari *Laten Heat Storage (LHS)* adalah ketika panas mengenai sebuah material maka panas akan mengubah fase dari material itu yang semula padat menjadi cair dengan cara menyimpan kalor laten. Sistem penyimpanan kalor laten ini harus memiliki tiga komponen berikut yakni material PCM yang cocok untuk temperature desain, sistem penahan yang baik untuk bahan menyimpan, fluida yang efektif untuk membawa panas dari sumber panas menuju tempat penyimpanan.

Thermal energy storage dapat juga disimpan pada temperature lebih rendah dari lingkungan dan ini disebut dengan *Cold Storage*. Pengembangan dibidang *cold storage* ini lebih ditekankan untuk penghematan daya listrik yang digunakan. Pemilihan *Phase Change Material* yang tepat dapat membantu kita dalam membuat *Cold Storage* yang sesuai dengan kebutuhan.

Phase Change Material secara garis besar terbagi atas tiga kategori yakni *Organic*, *Inorganic*, *Eutatic*. Klasifikasi dari *Phase Change Material* ditunjukkan pada gambar II.3.

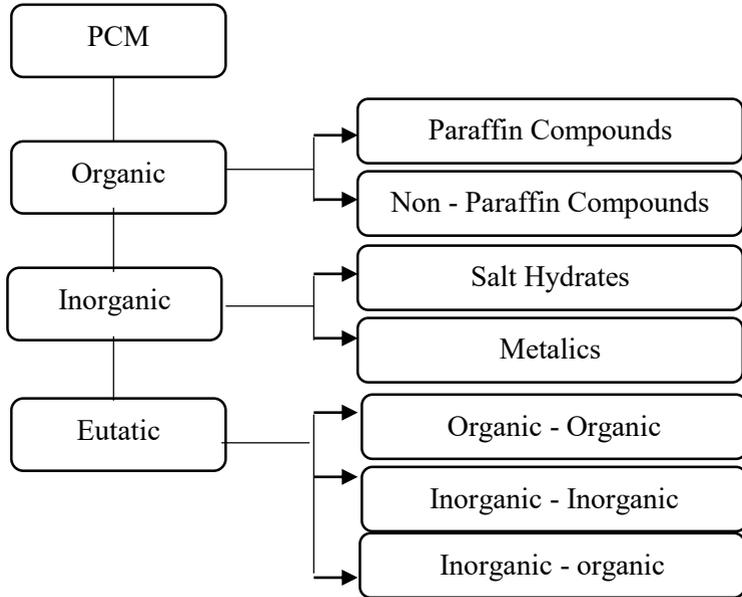
A. Organik

Phase Change Material Organik terbagi atas *Paraffin Compounds* dan *Non-Paraffin Compounds*. Pemilihan bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan *Phase Change Material* adalah berupa bahan yang memiliki titik leleh rendah. *Phase Change Material* berbahan organik banyak digunakan untuk kategori *food grade level* karena diketahui tidak berbahaya. Paraffin adalah ikatan hidrokarbon yang tersusun atas $\text{CH}_2 - \text{CH}_3$. Titik leleh dari paraffin ini akan bertambah tergantung dari panjang rantai dari ikatan CH_2 . Paraffin merupakan bahan yang dikenal aman, murah, dan tidak korosif.

B. Inorganik

Phase Change Material jenis Inorganik secara umum terbagi atas dua yakni *Salt Hydrates* dan *metalics*. *Salt Hydrates* dapat dijadikan *Phase Change Material* karena sifat – sifatnya sebagai berikut :

1. *Salt Hydrate* memiliki kalor latent per unit volume yang tinggi
2. *Salt Hydrate* memiliki konduktifitas termal yang cukup tinggi
3. Ketika mencair hanya berubah dalam volume yang kecil.
4. Non – korosif



Gambar II. 3 *Klasifikasi Phase Change Material*

Sumber : Lalit M. Bal 2010

II.1.3 *Perpindahan Panas*

A. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas karena adanya kontak langsung antar permukaan benda. Cepat atau lambatnya proses konduksi ini tergantung pada jenis bahan yang digunakan. Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas konduksi sebagai berikut :

$$q = -k A \frac{dT}{dx}$$

Persamaan diatas diatas disebut sebagai Hukum Fourier. Berdasarkan persamaan diatas dapat dilihat bahwa laju perpindahan panas (q) merupakan hasil perkalian dari konduktifitas termal bahan (k) dengan luasan dari bahan yang digunakan (A) dan gradient perubahan suhu (dT/dx).

Berdasarkan persamaan diatas menunjukkan bahwa laju perpindahan panas dipengaruhi oleh besarnya konduktifitas termal dari suatu bahan yang digunakan. Semakin besar konduktifitas termal bahan maka semakin lama pula laju perpindahan panas terjadi.

Tabel II.1 Konduktifitas Termal Bahan

No	Nama Bahan	Konduktivitas Termal W/m °C
1	Wol Gelas, 1.5 lb/ft ³	0.038
2	Papan Gabus, 10 lb/ft ³	0.0043
3	Aluminium murni	204

Sumber : Holman. 1997.

B. Konveksi

konveksi adalah perpindahan kalor melalui zat penghantar yang disertai dengan perpindahan bagian – bagian zat itu. Berikut rumus yang digunakan dalam perhitungan konveksi:

$$q = hA (T_w - T_\infty)$$

Berdasarkan rumus diatas, laju perpindahan kalor dihubungkan dengan beda suhu menyeluruh antara dinding dan fluida, dan luas permukaan A.

Besaran h disebut koefisien perpindahan kalor konveksi. Koefisien perpindahan kalor kadang – kadang disebut *konduktans film* karena hubungannya dengan proses konduksi lapisan fluida diam yang tipis pada muka dinding. Konveksi bebas adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh perubahan suhu dan beda rapat serta tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Beberapa contohnya diantaranya yaitu plat panas ada diudara sekitar tanpa ada gerakan dari luar. Sedangkan konveksi paksa adalah perpindahan panas karena adanya tenaga dari luar.

C. Radiasi

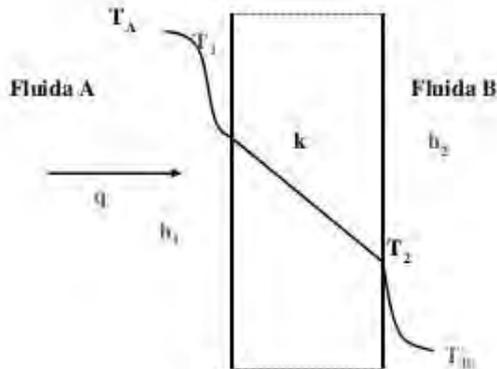
Radiasi merupakan perpindahan panas melalui pancaran atau radiasi elektromagnetik tanpa melalui suatu media. Perpindahan panas ini biasanya menggunakan benda hitam yang memancarkan energy dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolute dan berbanding lurus dengan luasan permukaan. Persamaan ini dapat ditulis sebagai rumus berikut :

$$q = \sigma A T^4$$

σ merupakan konstanta proporsionalitas yang disebut dengan Konstanta Stefan – Boltzman dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Konstanta ini hanya berlaku untuk benda hitam.

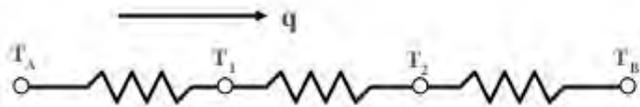
D. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

Aplikasi sederhana dari perpindahan panas ini dapat dilihat pada gambar II.4 dibawah ini. Gambar II.4 ini menunjukkan laju aliran panas q bergerak dari fluida A melewati benda k menuju fluida B. proses perpindahan kalor dapat digambarkan dengan jaringan tahanan seperti pada gambar II.5.



Gambar II. 4 Perpindahan Kalor Menyeluruh

Sumber : Holman. 1997



Gambar II. 5 Jaringan Tahanan Panas

Sumber : Holman. 1997

Perpindahan kalor menyeluruh dihitung dengan jalan membagi beda suhu menyeluruh dengan jumlah tahanan termal sebagai berikut.

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

Aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi bias dinyatakan dengan keofisien perpindahan kalor menyeluruh U yang dirumuskan sebagai berikut

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

Berdasarkan persamaan diatas maka didapatkan persamaan laju perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut

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

II.1.4 Isolasi Panas

Pendinginan suatu benda tidak akan bearti apabila panas tidak diupayakan untuk dicegah masuk kedalam sistem. Isolasi panas merupakan cara yang paling efisien dalam proses pendinginan untuk mengurangi proses masuknya panas dari luar kedalam sistem yang dirancang. Fungsi Isolasi adalah untuk menghambat arus panas dari luar masuk kedalam sistem sehingga penurunan suhu didalam sistem dapat terjadi dengan cepat sesuai dengan yang direncanakan.

Sifat – sifat dari bahan Isolasi Panas sebagai berikut :

- a. Konduktifitas termal rendah
- b. Penyerapan uap air dan permeabilitas terhadap air rendah
- c. Pemindahan uap air rendah dana wet walaupun basah
- d. Tahan terhadap penyebab kebusukan, kerusakan lapuk
- e. Sifat – sifat mekanik yang dimiliki cukup baik
- f. Tahan terhadap bahan – bahan kimia.

II.1.5 Sistem Refrigerasi Uap

Proses pendinginan suatu ruangan dilakukan dengan cara melakukan kontak antara fluida dingin dengan ruangan. Energy dalam bentuk panas berpindah dari ruangan menuju fluida kerja. Proses ini harus dilakukan secara terus menerus hingga didapatkan temperatur sesuai keinginan. Proses secara menerus ini harus dilakukan dengan cara *close cycle* agar tidak ada fluida yang keluar ke lingkungan.

Proses ini secara berurutan dimulai dengan penyerapan panas dari ruangan menuju fluida kerja atau *refrigerant* dan selanjutnya energy panas ini dibuang ke lingkungan. Agar mempermudah proses pelepasan kalor dari fluida kerja ke lingkungan maka fluida kerja harus ditekan sehingga tekanannya naik dan akan menyebabkan naiknya temperatur. Proses penekanan ini membutuhkan energy compressor yang cukup.

Perhitungan daya compressor pada kondisi superheated vapor dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W_{comp} = \dot{m}_{ref} \times (h_2 - h_1)$$

dimana,

$$W_{comp} = \text{daya kompressor [kW]}$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{laju aliran massa refrigeran [Kg/s]}$$

$$h = \text{enthalpy [KJ/Kg]}$$

Perhitungan Q yang masuk kedalam evaporator atau Q_L didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$Q_L = \dot{m}_{ref} \times (h_1 - h_4)$$

dimana,

$$Q_L = Q \text{ evaporator [KJ/s]}$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{laju aliran massa refrigeran [Kg/s]}$$

$$h = \text{entalphy [KJ/Kg]}$$

Perhitungan Q yang keluar dari condenser ke lingkungan atau Q_H didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$Q_H = \dot{m}_{ref} \times (h_2 - h_3)$$

dimana,

$$Q_H = Q \text{ Kondenser [KJ/s]}$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{laju aliran massa refrigeran [Kg/s]}$$

$$h = \text{entalphy [KJ/Kg]}$$

Perhitungan dilanjutkan dengan konsep kesetimbangan energy dimana selisih kalor masuk dan kalor keluar dianggap setimbang dengan besarnya energy yang diserap oleh compressor. Perhitungan kesetimbangan energy didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$(Q_H - Q_L) = W_{compressor}$$

dimana,

$$Q_H = \text{Kalor yang mengalir pada proses kondensasi [W]}$$

$$Q_L = \text{Kalor yang mengalir pada proses Evaporasi [W]}$$

$$W_C = \text{Daya yang diserap kompressor [W]}$$

II.2 Penelitian Sebelumnya

II.2.1 *Sharma, Amandeep et al. 2014. Comparative Study on Phase Changing Material for Refrigeration Effect for milk Chilling. CIGR Journal.*

Phase Change Material adalah sebuah material yang mampu menyimpan kalor latent. Ketika temperature meningkat maka material tersebut akan berubah dari fase padat ke fase cair ini dikarenakan ikatan didalam PCM ini lepas. Papper ini melakukan uji coba pada sebuah cool box untuk menyimpan hasil susu dengan membandingkan penggunaan PCM jenis LDPE (Low Density Polyethylene) dengan Ice Pack biasa.

Selain perbandingan jenis PCM dilakukan juga perbandingan terhadap perlakuan insulasi pada cool box hasil yang didapatkan adalah laju penurunan temperatur didalam cool box juga dipengaruhi oleh insulasi dari cool box , semakin baik insulasi maka semakin cepat penurunan temperatur karena tidak ada panas dari luar yang masuk kedalam system.

II.2.2 *Leducq, D et all . 2014. Phase Change Material for Thermal Protection of Ice Cream During Storage and Transportation.*

Ketika proses penyimpanan dan transportasi sebuah ice cream akan terjadi banyak fluktuasi temperatur. Untuk menanggulangi hal ini maka dilakukan inovasi mengisolasi ice cream dengan menggunakan phase change material . Penggunaan PCM diharapkan dapat menekan biaya ekonomi dari penggunaan refrigerator. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen pada tiga buah cool box dengan perbedaan insulasi.

Hasil yang didapatkan adalah untuk mengurangi variasi suhu produk sensitive seperti es krim selama penyimpanan jangka panjang, material dengan difusivitas rendah dapat digunakan sebagai panel pelindung di sekitar kontainer. Dalam tulisan ini, bahan isolasi (polystyrene) dan PCM (hidrat garam) telah diuji secara eksperimental selama 140 hari penyimpanan. Keuntungan utama dari menggunakan desain PCM ketebalan kecil yang diperlukan untuk mendapatkan sama efek redaman dibandingkan dengan bahan isolasi.

II.2.3 Gin.Benjamin. 2010. Modelling of Phase Change Material Implemented Into Cold Storage Application. Purdue University Purdue e-pubs

Hilangnya daya listrik untuk fasilitas penyimpanan dingin menyebabkan peningkatan suhu dan dapat mengakibatkan hilangnya kualitas dan nilai dari produk yang disimpan. Makalah ini mengusulkan penggunaan sistem pasif terintegrasi ke dinding fasilitas penyimpanan dingin untuk membatasi kenaikan suhu karena kehilangan daya.

Aplikasi eksperimental PCM menjadi freezer menunjukkan bahwa kenaikan suhu selama hilangnya daya. Dengan PCM, suhu udara dijaga konstan pada -8°C selama 7 jam, dibandingkan dengan tanpa PCM mana suhu udara naik terus dan naik di atas -8°C hanya dalam 1 jam. Komputasi dinamika fluida (CFD) hasil menunjukkan kesamaan yang wajar dengan hasil eksperimen. Model CFD kemudian diperpanjang untuk model fasilitas cold storage yang lebih besar untuk menunjukkan PCM yang dapat memiliki efek yang sama membatasi pada aplikasi skala yang lebih besar.

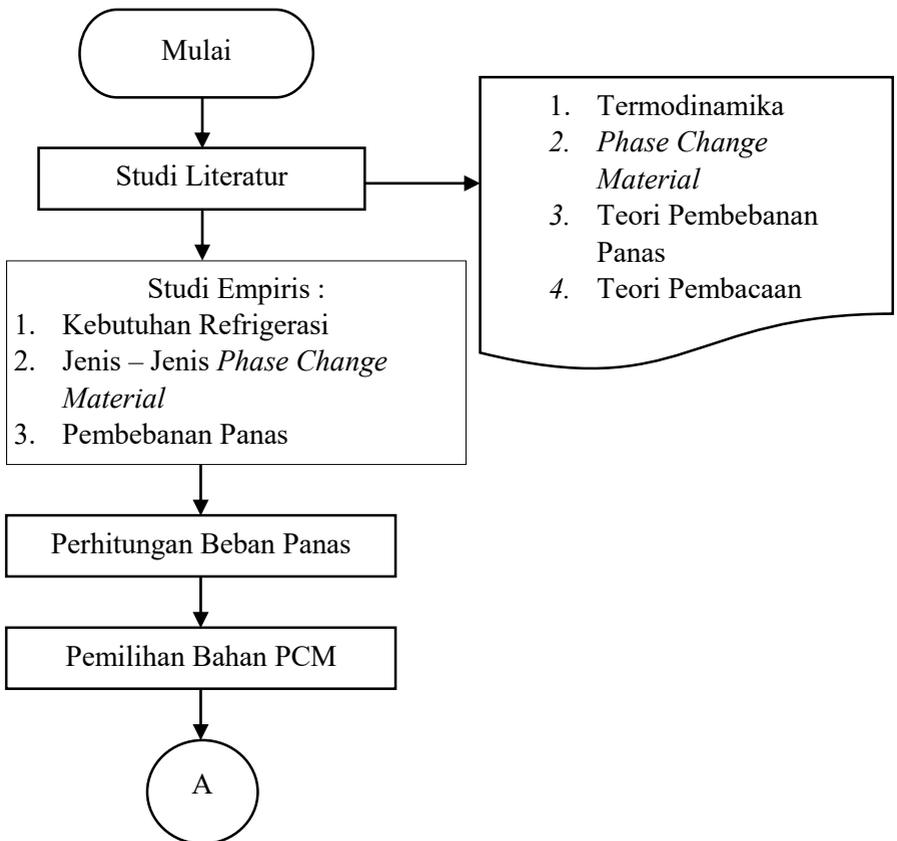
II.2.4 Fang. G.Y. 2003. *Study on Thermal Properties of A New Phase Change Cool Storage Material. International Journal on Architectural Science*

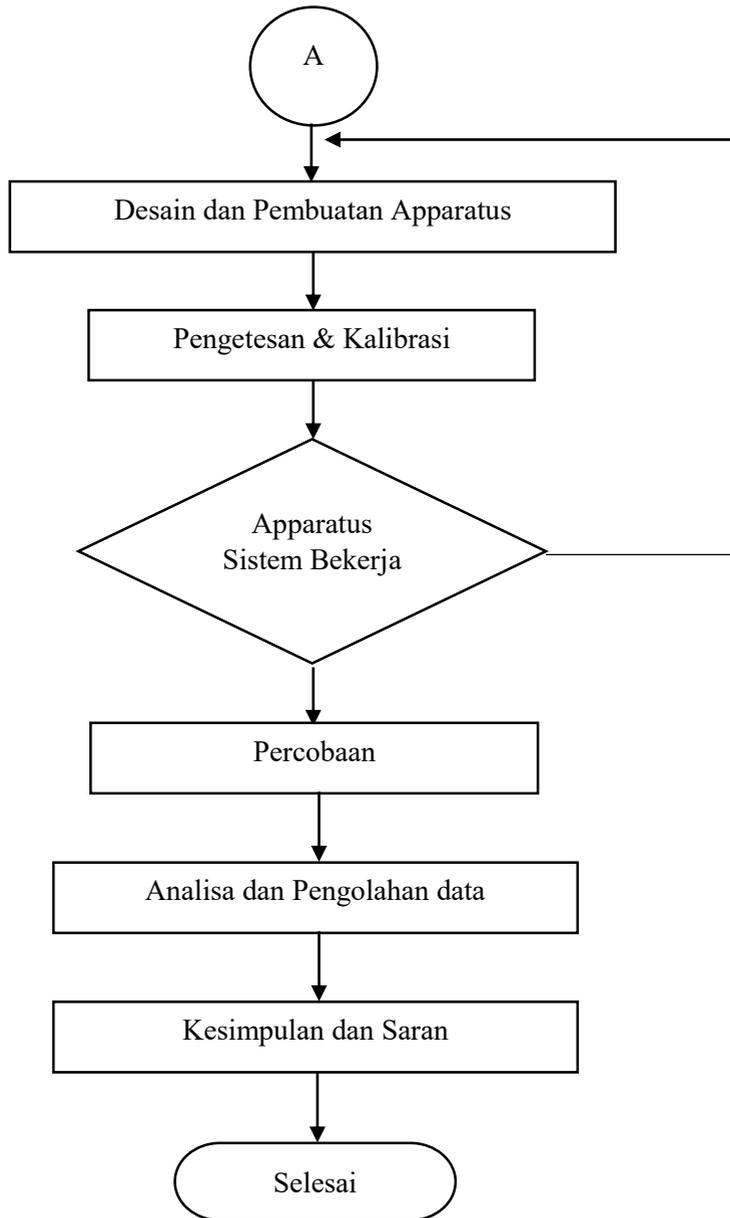
Paper ini menginvestigasi sifat termal Phase Change Cool Storage Material termasuk titik beku, titik leleh, panas fusi, dan stabilitas termal selama proses perubahan fasa. Dalam analisis, Scanning Diferensial Kalorimeter (DSC) digunakan untuk menentukan panas peleburan dari Phase Change Material (PCM), dan sensor suhu digunakan untuk menentukan titik beku dan titik leleh PCM. Hasil yang didapatkan adalah Suhu perubahan fasa dan panas fusi dari PCM yang masing-masing diperoleh pengukuran Termosensor dan analisis DSC.

Temperatur pembekuan PCM diselidiki antara 5.7°C menjadi 3,9 °C dan panas fusi adalah 222,5 kJkg⁻¹. Hasil percobaan menunjukkan bahwa PCM bias digunakan dalam system cool storage karena reaksi panas fusi yang tinggi. Selain itu, dapat mencair kongruen dan membekukan tanpa pendinginan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Proses pemecahan masalah pada tugas akhir ini dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimental. Desain eksperimental dapat dilihat pada *flow chart* dibawah ini. *Flow Chart* dibawah ini terbagi atas *flow chart* metodologi penelitian dan *flow chart* langkah – langkah percobaan.





Gambar III. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian

III.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan mengumpulkan teori – teori dasar yang dapat mendukung kegiatan percobaan modifikasi cold storage ini. Studi literatur dimulai dengan mempelajari konsep dasar Termodinamika dan karakteristik dari phase change material. Hasil dari studi literature ini nantinya akan digunakan sebagai acuan melakukan percobaan dan analisa.

III.2 Studi Empiris

Studi empiris merupakan studi lanjutan berdasarkan percobaan – percobaan yang telah ada dan dipublikasikan. Studi empiris ini terdiri dari kebutuhan refrigerasi, jenis – jenis PCM , perhitungan pembebanan panas. Setelah data – data ini didapatkan maka dapat dibuat draft rancangan cool box yang akan dibuat.

III.3 Perhitungan Beban Panas

Perhitungan beban panas merupakan proses pertama yang dilakukan setelah melakukan studi empiris. Perhitungan beban panas ini digunakan untuk mendapatkan jumlah beban panas yang akan diserap oleh PCM untuk menurunkan temperatur. Pada penelitian ini bahan yang akan dilakukan sebagai produk untuk ditempatkan didalam *cool box* adalah ikan laut. Adapun besarnya kapasitas kalor spesifik (C) dari ikan yang digunakan sebesar 2970 J/KgK (www.engineeringcoolbox.com) dan telah dibekukan terlebih dahulu. *Cool Box* yang digunakan adalah jenis *Cool Box* berbahan insulasi Styrofoam dengan konduktifitas termal $0.002579536 \text{ Kkal/jam m } ^\circ\text{C}$ (Adi Sayogyo, 2006).

III.4 Pemilihan Bahan PCM

Pemilihan bahan PCM adalah kegiatan yang dilakukan untuk menentukan jenis material PCM yang digunakan untuk percobaan. Pemilihan PCM dapat dilakukan dengan dasar karakteristik – karakteristik yang dimiliki oleh bahan PCM yang tersedia. Pemilihan bahan PCM sangat penting dilakukan karena perubahan suhu penyimpanan yang dirancang cukup besar.

III.5 Desain dan Pembuatan Apparatus

Cold storage yang akan dirancang untuk percobaan berupa Laboratory Scale Cool Box berukuran 50 cm x 42 cm x 30 cm. Sistem pendingin yang dirancang terbagi atas dua jenis yakni cool box yang hanya meletakkan PCM di dinding – dinding box dan Cool box menggunakan sirkulasi udara. Nantinya diharapkan didapatkan data berupa perbedaan pengaruh sirkulasi dan tanpa menggunakan sirkulasi udara.

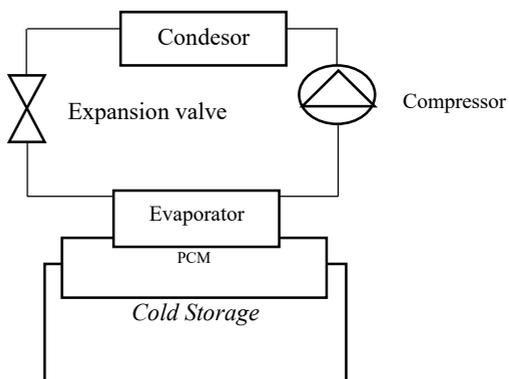
III.6 Pengetesan dan Kalibrasi

Pengetesan dan Kalibrasi adalah langkah uji coba pada cool box yang dirancang. Pada proses ini semua peralatan ditempatkan dan dilakukan uji coba awal untuk mendapatkan keputusan apakah sistem bekerja atau tidak. Jika sistem bekerja maka kegiatan akan dilanjutkan pada tahap percobaan sedangkan jika tidak bekerja maka akan kembali kepada tahap pembuatan apparatus.

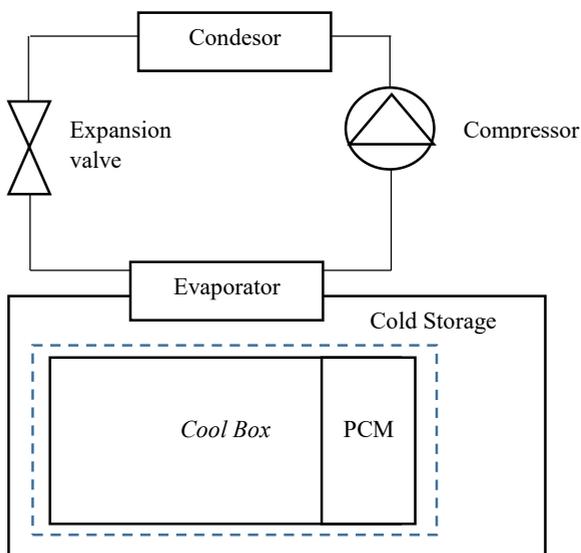
III.7 Percobaan

Percobaan yang dilakukan menggunakan variasi jumlah PCM didalam cool box dan perbedaan sirkulasi udara. Data yang akan didapatkan dari percobaan adalah besarnya temperatur dan waktu di beberapa titik. Pada percobaan ini *cold storage* dianggap menggunakan sistem *hybrid* yakni menggunakan *refrigerator* dan PCM sekaligus sebagaimana tergambar pada gambar III.2 dan III.3.

Sistem yang akan ditinjau pada percobaan ini hanyalah sistem pada *cool box* dan PCM yang ditunjukkan oleh garis putus – putus berwarna biru.



Gambar III. 2 Konsep *Cold Storage Hybrid*
Sumber : Ahmed, 2013



Gambar III. 3 Konsep Percobaan

Adapaun tahapan – tahapan percobaan yang dilakukan sebagai berikut.

III.7.1 Mempersiapkan *Apparatus*

1. PCM organik

Berdasarkan perhitungan pembebanan panas diatas maka dipilih PCM dengan karakteristik sebagai berikut mengacu pada *Technical Data Sheet* produk sebagai berikut.

Kode Produk	: RT – 4
Bahan Dasar	: Paraffin
<i>Melting Area</i>	: -7 bis -3 °C (main peak -4)
<i>Congealing Area</i>	: -4 bis -7 °C
<i>Heat Storage Capacity</i>	: 180 KJ / Kg
<i>Latent Heat Capacity</i>	: 150 KJ/Kg
<i>Specific heat capacity</i>	: 2 Kj / Kg K
<i>Density Solid at -15 °C</i>	: 0,88 Kg/l
<i>Density Liquid at 15 °C</i>	: 0,76 Kg/l
<i>Heat Conductivity</i>	: 0,2 W/m K
<i>Volume Expansion</i>	: 13.63 %
<i>Flash Point</i>	: 96 °C
<i>Max Operation Temp</i>	: 30 °C

2. *Cool Box*

Spesifikasi *cool box* yang digunakan sebagai berikut

Panjang	= 0.5 m
Lebar	= 0.42 m
Tinggi	= 0.3 m
Material	= Styrofoam
Ketebalan	= 0.03 m

3. *Thermocouple*

Thermocouple digunakan sebagai *Temperature measure* untuk membaca penurunan dan kenaikan suhu didalam *cool box*.

III.7.2 Mengatur *Initial Temperature* pada *cool box*.

Mengatur *initial temperatur* pada *cool box* dilakukan karena sistem yang dirancang sesuai dengan tujuan penyimpanan produk beku, dalam hal ini temperatur pada *coolbox* diposisikan pada temperatur -10°C dengan *differential* $\pm 5^{\circ}\text{C}$ artinya mesin refrigerasi akan mempertahankan posisi temperatur -10°C . Mesin akan berhenti bekerja ketika sensor menunjukkan temperatur -10°C dan akan bekerja lagi ketika sensor menunjukkan temperatur -5°C .

III.7.3 Percobaan

III.7.3.1 Konsep Percobaan

A. Percobaan Tanpa PCM

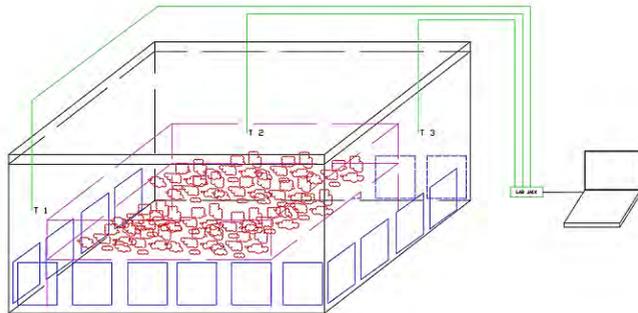
Percobaan tanpa PCM dilakukan dengan cara memasukkan es basah sebagai beban kedalam *cool box* lalu ditempatkan kedalam *cold storage*. Percobaan tanpa PCM ini dilakukan untuk mendapatkan data awal keadaan sistem tanpa menggunakan bantuan PCM untuk selanjutnya dijadikan data pembanding bagi percobaan dengan menggunakan PCM.

B. Percobaan dengan PCM dan Tanpa Sirkulasi udara

Percobaan tanpa sirkulasi udara ini seluruh PCM disusun langsung di dinding – dinding *Cool Box* sebagaimana tergambar pada gambar III.4.

Variable parameter dari percobaan ini adalah jumlah dari PCM dan temperatur *cool box* yang telah di set menjadi -10°C . Proses pengambilan data ini nantinya akan fokus ke beberapa indikator dibawah ini untuk selanjutnya dilakukan analisa.

1. Lamanya temperatur terendah *cool box* bertahan dengan kondisi jumlah PCM 0,5 Kg, 1 Kg, dan 2 Kg.
2. Lamanya jeda waktu antara mesin refrigerasi berhenti sampai dengan menyala kembali dengan kondisi jumlah PCM 0,5 Kg, 1 Kg, dan 2 Kg.



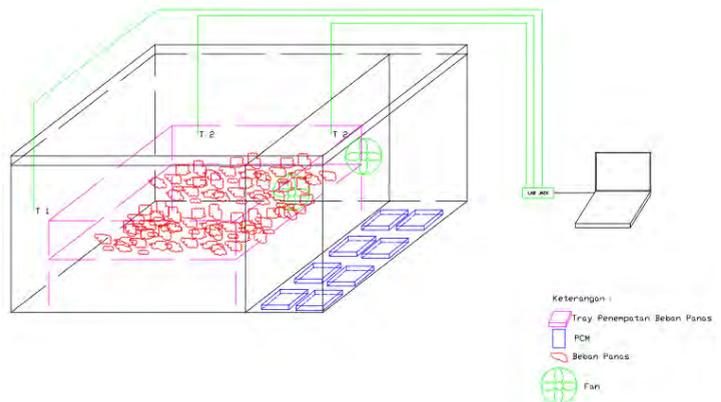
Gambar III. 4 Percobaan Tanpa Sirkulasi Udara

C. Percobaan dengan PCM dan sirkulasi

Percobaan dengan sirkulasi udara ini dilakukan dengan cara seluruh PCM disusun pada tempat terpisah didalam *Cool Box*, bagian ruangan tempat PCM dan *cool box* dihubungkan dengan kipas. sebagaimana tergambar pada gambar III.5. Variable parameter dari percobaan ini adalah jumlah dari PCM dan temperatur *cool box* yang telah di set menjadi -10°C .

Proses pengambilan data ini nantinya akan fokus kebeberapa indikator dibawah ini untuk selanjutnya dilakukan analisa.

1. Lamanya temperatur terendah *cool box* bertahan dengan kondisi jumlah PCM 0,5 Kg, 1 Kg, dan 2 Kg.
2. Lamanya jeda waktu antara mesin refrigerasi berhenti sampai dengan menyala kembali dengan kondisi jumlah PCM 0,5 Kg, 1 Kg, dan 2 Kg.



Gambar III. 5 Percobaan Dengan Sirkulasi Udara

III.7.3.2 Prosedur Percobaan

A. Percobaan *cool box* tanpa PCM

1. Persiapkan *apparatus* berupa *cool box* yang telah terpasang *thermocouple*
2. Masukkan es basah (pengganti ikan beku) sebanyak 5 Kg kedalam *cool box*
3. Tempatkan *cool box* kedalam ruang *freezer* pada *cold storage*. Arahkan sensor suhu pada *freezer* kedalam *cool box*, hal ini dilakukan agar sensor mesin refrigerasi hanya membaca temperatur pada *cool box*.
4. Lakukan konfigurasi pada Labjack di PC yakni pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik.

5. Nyalakan *cold storage* dengan terlebih dahulu menyalakan suplai listrik pada panel MCB.
 6. Set temperatur *freezer* sebesar -10°C dengan differential 5°C pada panel konfigurasi.
 7. Tunggu sampai indikator temperatur menunjukkan -10°C dan mesin refrigerasi mati.
 8. Setelah mesin refrigerasi mati mulai lakukan pengambilan data berupa
 - a. Lamanya jeda antara mesin refrigerasi yang semula mati menjadi nyala kembali dengan menggunakan *stopwatch*
 - b. Perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC
- B. Percobaan *cool box* dengan PCM dan tanpa sirkulasi udara
1. Persiapkan *apparatus* berupa *cool box* yang telah terpasang *thermocouple*
 2. Masukkan 0.5 kg PCM bertemperatur -7°C ke dalam *cool box* dan ditempatkan di dinding – dinding *cool box*
 3. Masukkan es basah (pengganti ikan beku) sebanyak 5 Kg kedalam *cool box*
 4. Tempatkan *cool box* kedalam ruang *freezer* pada *cold storage*. Arahkan sensor suhu pada *freezer* kedalam *cool box*, hal ini dilakukan agar sensor mesin refrigerasi hanya membaca temperatur pada *cool box*.
 5. Lakukan konfigurasi pada Labjack di PC yakni pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik.
 6. Nyalakan *cold storage* dengan terlebih dahulu menyalakan suplai listrik pada panel MCB.
 7. Set temperatur *freezer* sebesar -10°C dengan differential 5°C pada panel konfigurasi.

8. Tunggu sampai indikator temperatur menunjukkan -10°C dan mesin refrigerasi mati.
9. Setelah mesin refrigerasi mati mulai lakukan pengambilan data berupa
 - a. Lamanya jeda antara mesin refrigerasi yang semula mati menjadi nyala kembali dengan menggunakan *stopwatch*
 - b. Perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC
10. Lakukan pengulangan percobaan untuk PCM sebanyak 1 Kg dan 2 Kg.

C. Percobaan *cool box* dengan PCM dan dengan sirkulasi udara

1. Persiapkan *apparatus* berupa *cool box* yang telah terpasang *Fan* dan *thermocouple*
2. Masukkan 0.5 kg PCM bertemperatur -7°C ke dalam *cool box* dan ditempatkan di bagian yang telah disekat pada *cool box*
3. Masukkan es basah (pengganti ikan beku) sebanyak 5 Kg kedalam *cool box*
4. Tempatkan *cool box* kedalam ruang *freezer* pada *cold storage*. Arahkan sensor suhu pada *freezer* kedalam *cool box*, hal ini dilakukan agar sensor mesin refrigerasi hanya membaca temperatur pada *cool box*.
5. Lakukan konfigurasi pada Labjack di PC yakni pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik.
6. Nyalakan *cold storage* dengan terlebih dahulu menyalakan suplai listrik pada panel MCB.
7. Set temperatur *freezer* sebesar -10°C dengan differential 5°C pada panel konfigurasi.
8. Nyalakan *fan* pada *cool box*

9. Tunggu sampai indikator temperatur menunjukkan -5°C dan mesin refrigerasi mati.
10. Setelah mesin refrigerasi mati mulai lakukan pengambilan data berupa
 - a. Lamanya jeda antara mesin refrigerasi yang semula mati menjadi nyala kembali dengan menggunakan *stopwatch*
 - b. Perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC
11. Lakukan pengulangan percobaan untuk PCM sebanyak 1 Kg dan 2 Kg.

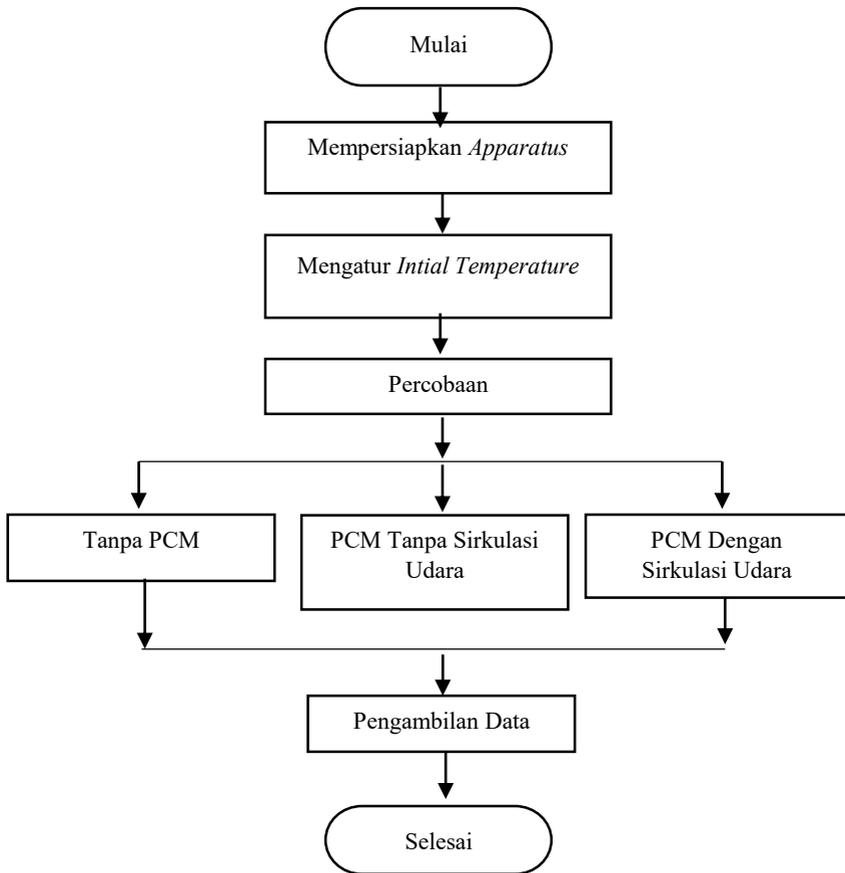
III.7.4 Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan berfokus kepada dua hal dibawah ini

1. Data sebaran temperatur didalam *cool box*. Data ini dilakukan dengan menggunakan *thermocouple* yang ditempatkan pada beberapa titik didalam *cool box* dan dibantu dengan bantuan data logger.
2. Data waktu lamanya jeda antara mesin refrigerasi berhenti menjadi nyala kembali. Data ini didapatkan dengan menggunakan *stop watch*.

III.8 Analisa dan Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan adalah pengolahan data hasil pembacaan *thermocouple* kemudian didapatkan grafik temperatur berbanding waktu. Pengolahan data dibedakan berdasarkan perlakuan udara didalam box yakni dengan sirkulasi udara dan tanpa sirkulasi udara. Analisa dilakukan dengan cara membaca hasil pengolahan data dan mencocokkan dengan dasar teori yang ada. Analisa dapat berupa analisa penurunan suhu dan lamanya temperature terendah bertahan, analisa pengaruh perlakuan udara didalam box dan analisa ekonomis dari penggunaan PCM sebagai media Cold Storage.



Gambar III. 6 Flow Chart Metodologi Percobaan

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

BAB IV

ANALISA dan PEMBAHASAN

IV.1 Pra Percobaan

IV.1.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

1. *Cool Box*

Cool Box merupakan alat yang digunakan dalam penyimpanan bahan makanan segar seperti sayuran, buah – buahan, ikan, dan daging. Bahan – bahan tersebut merupakan bahan yang rentan pembusukan. Oleh sebab itu dalam proses pemindahan dan penyimpanan dibutuhkan temperatur yang cukup untuk menjegah proses terjadinya pembusukan.

Pemilihan *cool box* yang tepat dibutuhkan agar temperatur dapat bertahan cukup lama. Pada percobaan di tugas akhir ini digunakan *cool box* berbahan dasar *Styrofoam* dengan ukuran 0.5 m x 0.42 m x 0.3 m. *Cool box* jenis ini sangat mudah didapatkan karena sering digunakan oleh pengusaha ikan maupun rumah tangga. Penggunaan *cool box* dengan bahan dasar *Styrofoam* diharapkan dapat menahan udara panas yang akan masuk kedalam *cool box* dan tentunya menahan udara dingin didalam *cool box* agar tidak keluar dari dalam *cool box*.



Gambar IV. 1 *Styrofoam Box*

1.1 Modifikasi *cool box* untuk PCM tanpa sirkulasi udara

Pada proses ini dilakukan modifikasi pada dinding – dinding *cool box*. Modifikasi dilakukan guna mendapatkan tempat yang efisien untuk menempatkan PCM. Modifikasi dilakukan dengan cara memberikan dudukan tempat PCM berdiri dan kawat agar PCM tidak berubah posisi. Dudukan PCM ditempatkan agak tinggi karena pada prinsipnya udara dingin memiliki berat yang lebih besar jika dibandingkan dengan udara biasa sehingga diputuskan bahwa letak PCM sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan beban.



Gambar IV. 2 *Cool box* percobaan tanpa sirkulasi udara

1.2 Modifikasi *cool box* untuk PCM dengan sirkulasi udara

Modifikasi *cool box* untuk PCM dengan sirkulasi udara dilakukan dengan cara membagi ruang *cool box* menjadi dua bagian. Ruangan pertama digunakan untuk menampung beban sedangkan ruangan ke dua digunakan untuk menampung PCM. Kedua ruangan ini dihubungkan dengan sekat yang terlebih dahulu ditempelkan dua buah *fan*.

Fan yang terpasang ini memiliki arah aliran udara yang berbeda dimana *fan* pertama menyedot udara dingin diruang PCM sedangkan *fan* kedua menyedot udara didalam ruang beban kemudian dialirkan ke ruang PCM untuk didinginkan oleh PCM



Gambar IV. 3 Cool Box percobaan dengan sikulasi udara

2. *Cold Storage*

Percobaan ini menggunakan *cold storage* karena sistem yang diamati dianggap *hybrid*. *Cold storage* ini nantinya akan ditempatkan *cool box* yang telah berisi PCM untuk dirunkan temperaturnya menjadi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spesifikasi *Cold storage* yang digunakan sebagai berikut:

Panjang :2400 mm
 Lebar :1260 mm
 Tinggi :2500 mm
Refrigerant : R404 A
Compressor : Bitzer 2HC – 1.2 – 40 S
 220 – 240 V 50 Hz
Displacement 6.5 m³/h, 1450 rpm
 Evaporator : Muller MLT 013
Capacity 1345 watt, 4 Coil Rows 1 Fan
Flow Rate 1224 m³/h, 240 V 50 Hz



Gambar IV. 4 *Cold Storage*

3. *Thermocouple*

Thermocouple adalah sebuah alat yang digunakan untuk membaca perubahan temperatur yang berada pada sebuah sistem. *Thermocouple* sering digunakan sebagai alat *measurement* dan kontrol. *Thermocouple* yang digunakan adalah *thermocouple* tipe PT100 untuk FWAS tipe K.



Gambar IV. 5 *Thermocouple* Tipe K

4. *Data Logger*

Data logger adalah suatu alat elektronik yang berfungsi mencatat data dari waktu ke waktu secara kontinu. Beberapa *data logger* menggunakan bantuan perangkat komputer dan *software* sebagai tempat penyimpanan data dan analisa data. Pada percobaan ini *data logger* yang digunakan dengan spesifikasi

Merek	: Labjack
Tipe	: T7-Pro
Analog	: 14 analog
Range	: 10 s/d 0.001 V
Current Output	: 200 μ A.



Gambar IV. 6 *Data Logger LabJack T7-Pro*

5. *Phase Change Material* RT – 4

Phase Change Material (PCM) adalah sebuah material yang mampu menyerap dan menyimpan panas dengan kapasitas yang cukup besar. PCM bekerja dengan cara menyerap sejumlah kalor laten dari lingkungan dan kemudian disimpan di dalam material. Proses penyerapan kalor laten ini menyebabkan perubahan bentuk yang semua padat kemudian menjadi cair.

Proses sebaliknya terjadi ketika kalor laten didalam material dilepas kelingkungan, maka material akan berubah bentuk dari cair ke padat. Pada percobaan ini digunakan PCM berbahan dasar organik yang diproduksi dengan kode produk RT – 4. Karakter dari RT – 4 yang digunakan sebagai berikut

Kode Produk : RT – 4
Melting Area : -7 bis -3 °C (main peak -4)
Congealing Area : -4 bis -7 °C
Heat Storage Capacity: 180 KJ / Kg
Lattent Heat : 150 KJ / Kg
Specific heat capacity : 2 Kj / Kg K
Density Solid at -15 °C: 0,88 Kg/l
Density Liquid at 15 °C: 0,76 Kg/l
Heat Conductivity : 0,2 W/m K
Volume Expansion : 13.63 %
Flash Point : 96 °C
Max Operation Temp : 30 °C



Gambar IV. 7 PCM RT-4

6. *Fan*

Fan yang digunakan pada percobaan ini adalah *fan* pendingin komputer. Pemilihan *fan* komputer dikarenakan dimensi yang memadai untuk dipasang pada *cool box*. *Fan* ini nantinya digunakan hanya sebagai pengalir udara dari ruang penyimpanan PCM menuju ruang muat. Spesifikasi *Fan* yang digunakan adalah

Tipe : DC 10 V , 0,2 A

Laju aliran : 1,387 CMM.



Gambar IV. 8 Pengukuran Laju Aliran *Fan*

7. Es basah (pengganti ikan beku)

Pada percobaan ini ikan beku sebagai muatan diganti dengan menggunakan es basah. Hal ini dilakukan untuk menanggulangi adanya pembusukan pada muatan ketika proses percobaan.

8. *Silicone Sealent*

Silicone sealent adalah sebuah bahan bangunan yang dibuat dengan bahan dasar *silicone*. *Silicone sealent* ini digunakan untuk menutupi celah – celah lubang pada *cold storage* agar tidak ada udara yang masuk atau keluar.



Gambar IV. 9 *Silicone Sealant*

9. *Anemometer*

Anemometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran masa fluida pada sebuah sistem. Proses praktikum menggunakan *Anemometer* untuk mengetahui besarnya laju aliran masa udara yang dihembuskan oleh *blower* pada *cold storage* dan *fan* pada *cool box*. *Anemometer* yang digunakan adalah *anemometer* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merek : Lutron

Tipe : YK – 2005 AH *Hot Wire Anemometer*
tipe K/J



Gambar IV. 10 *Anemometer*

IV.1.2 Perhitungan Beban Panas

Pada penelitian ini bahan yang akan dilakukan sebagai produk untuk ditempatkan didalam *cool box* adalah ikan laut yang telah beku. Adapun besarnya kapasitas kalor spesifik (C) dari ikan beku yang digunakan adalah sebesar 2970 J/KgK (www.engineeringtoolbox.com) dan telah dibekukan terlebih dahulu. *Cool Box* yang digunakan adalah jenis *Cool Box* berbahan insulasi *Styrofoam* dengan konduktifitas termal 0.002579536 Kkal/jam m °C (Adi Sayogyo,2006). Detail perhitungan beban panas dapat dilihat dibawah ini.

A. Kalor Produk

$$\text{Massa} = 5 \text{ Kg}$$

$$T_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C} = 263.15 \text{ K}$$

$$T_2 = -5 \text{ }^\circ\text{C} = 268.15 \text{ K}$$

$$C = 2970 \text{ J/Kg K}$$

$$t = 1 \text{ jam} = 3600 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} Q &= -(m \times C \times \Delta T) \\ &= -\left(5 \text{ Kg} \times 2970 \frac{\text{J}}{\text{KgK}} \times -5\right) \\ &= 74250 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$q = Q/t$$

$$= 74250 \text{ Joule} : 3600 \text{ detik}$$

$$= 20,62 \text{ Joule/detik}$$

B. Kalor Melalui Dinding *Cool Box*

Panjang	= 0.5 m
Lebar	= 0.42 m
Tinggi	= 0.3 m
Material	= Styrofoam
Ketebalan	= 0.03 m
K (konduktifitas)	= 0.002579536 kkal/jam m °C

Tabel IV.1 Luas Permukaan Dinding *Cool Box*

Dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
Dinding 1	0.5	0.3	0.15
Dinding 2	0.5	0.3	0.15
Dinding 3	0.42	0.3	0.126
Dinding 4	0.42	0.3	0.1266
Lantai	0.5	0.42	0.21
Tutup	0.5	0.42	0.21

Perhitungan kalor melalui dinding *cool box* menggunakan rumus perpindahan kalor menyeluruh yang telah dibahas pada Bab II subbab perpindahan panas. Perhitungan kalor melalui dinding *cool box* ini menggunakan asumsi temperature udara luar sebesar 30 °C. Besarnya nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}}$$

Dimana,

f = Koefisien Konveksi Udara = 0.024 kkal/hr m² °C

d = Ketebalan material = 0.03 m

k = Koefisien konduktifitas termal bahan *Cool Box*

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{0.0024} + \frac{0.03}{0.02579536} + \frac{1}{0.0024}} \\
 &= 0.01183483 \text{ Kkal/hr m}^2 \text{ C}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan besarnya koefisien perpindahan kalor. Maka besarnya kalor yang masuk kedalam *cool box* sebagai berikut

B.1 Kalor Melewati Dinding 1

$$\begin{aligned}
 q &= A \times U \times \Delta T \\
 &= 0.15 \times 0.01183483 \times 35 \\
 &= 0.00621 \text{ Kkal/hr} = 0.007221221 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

B.2 Kalor Melewati Dinding 2

$$\begin{aligned}
 q &= A \times U \times \Delta T \\
 &= 0.15 \times 0.01183483 \times 35 \\
 &= 0.00621 \text{ Kkal/hr} = 0.007221221 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

B.3 Kalor Melewati Dinding 3

$$\begin{aligned}
 q &= A \times U \times \Delta T \\
 &= 0.126 \times 0.01183483 \times 35 \\
 &= 0.0529 \text{ Kkal/hr} = 0.0615048 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

B.4 Kalor Melewati Dinding 4

$$\begin{aligned}
 q &= A \times U \times \Delta T \\
 &= 0.126 \times 0.01183483 \times 35 \\
 &= 0.0529 \text{ Kkal/hr} = 0.0615048 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

B.5 Kalor Melewati Lantai

$$\begin{aligned}
 q &= A \times U \times \Delta T \\
 &= 0.21 \times 0.01183483 \times 35 \\
 &= 0.0882 \text{ Kkal/hr} = 0.102508 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

B.6 Kalor Melewati Tutup

$$\begin{aligned}
 q &= A \times U \times \Delta T \\
 &= 0.21 \times 0.01183483 \times 35 \\
 &= 0.0882 \text{ Kkal/hr} = 0.102508 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan bahwa total laju perpindahan panas adalah 0.54109464 Joule/detik. Maka besarnya kalor yang masuk kedalam *cool box* ini adalah 1947.94069 Joule dengan asumsi waktu selama 1 jam . Total beban panas didapatkan dengan cara menjumlahkan panas dari produk dan panas yang masuk kedalam *cool box* sehingga didapatkan sebesar 76197.9407 Joule. Besarnya beban panas ini nantinya dapat digunakan dalam pemilihan jumlah PCM yang akan digunakan untuk menahan kenaikan temperatur dari -10°C menuju -5°C yakni

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{beban}} &= Q_{\text{PCM}} \\
 44947,9407 \text{ Joule} &= M \times L \\
 76197,9407 \text{ Joule} &= M \times 150.000 \text{ Joule/Kg} \\
 M &= 0.508 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

IV.1.3 Kalibrasi

Kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional maupun internasional untuk satuan ukuran dan/atau internasional dan bahan-bahan acuan tersertifikasi.

Proses kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan apakah alat yang kita gunakan sudah sesuai dengan standar yang kita pakai atau belum. Selain itu kalibrasi juga bertujuan untuk menentukan standar deviasi atau penyimpangan pengukuran dari alat ukur yang digunakan. Proses kalibrasi yang dilakukan pada percobaan ini diantaranya mengukur ketelitian pembacaan temperatur oleh *thermocouple* tipe K yang digunakan untuk membaca temperatur. Selain itu juga dilakukan pengukuran laju aliran udara dari fan yang berada di dalam *cold storage* dan fan yang digunakan di dalam *cool box*.

1. Kalibrasi *thermocouple*

Kalibrasi *thermocouple* dilakukan untuk mengetahui kecuratan pembacaan temperatur oleh *thermocouple*. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan temperatur pada bongkahan es oleh *thermocouple* tipe K dengan *thermometer* air raksa. Hasil kalibrasi ini didapatkan bahwa *thermocouple* membaca temperatur bongkahan es sebesar $0.464325\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedangkan *thermometer* air raksa membaca sebesar $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Maka didapatkan selisih pembacaan sebesar $0.464325\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau dalam kata lain *thermocouple* membaca lebih besar $0.464325\text{ }^{\circ}\text{C}$ dibandingkan dengan *thermometer* air raksa.



Gambar IV. 11 Proses Kalibrasi

2. Kalibrasi Laju Aliran Udara *Fan Cold Storage*

Proses kalibrasi laju aliran udara *fan* di *cold storage* bertujuan untuk mengetahui apakah laju aliran udara *fan* masih sama dengan yang tertera pada spesifikasi awal atau tidak. Hal ini dilakukan karena *cold storage* ini telah mengalami modifikasi berupa penambahan box pengarah udara pada *fan*.

Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan bantuan alat *anemometer*. Hasil dari kalibrasi ini didapatkan bahwa laju aliran udara adalah $2.244 \text{ m}^3/\text{m}$ atau $134.64 \text{ m}^3/\text{h}$. Data ini jauh berbeda dari spesifikasi awal dimana disebutkan bahwa *flow rate fan* sebesar $1224 \text{ m}^3/\text{h}$.



Gambar IV. 12 Pengukuran Laju Aliran Udara Cold Storage

3. Kalibrasi *fan cool box*

Proses kalibrasi *fan* pada *cool box* dilakukan untuk mengetahui besarnya laju aliran udara yang dihasilkan oleh *fan*. Proses ini juga dilakukan dengan menggunakan anemometer. Berdasarkan proses kalibrasi didapatkan bahwa besarnya laju aliran udara pada *fan* yang terpasang di *cool box* sebesar $1.38 \text{ m}^3/\text{m}$ atau $82.8 \text{ m}^3/\text{h}$



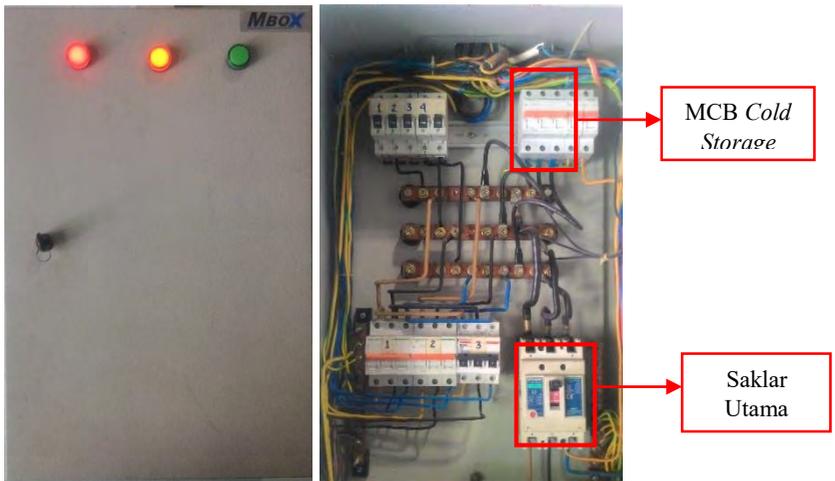
Gambar IV. 13 Pengukuran Laju Aliran Fan

IV.2 Percobaan

IV.2.1 Prosedur Pengoperasian *Cold Storage* Laboratorium Mesin Fluida

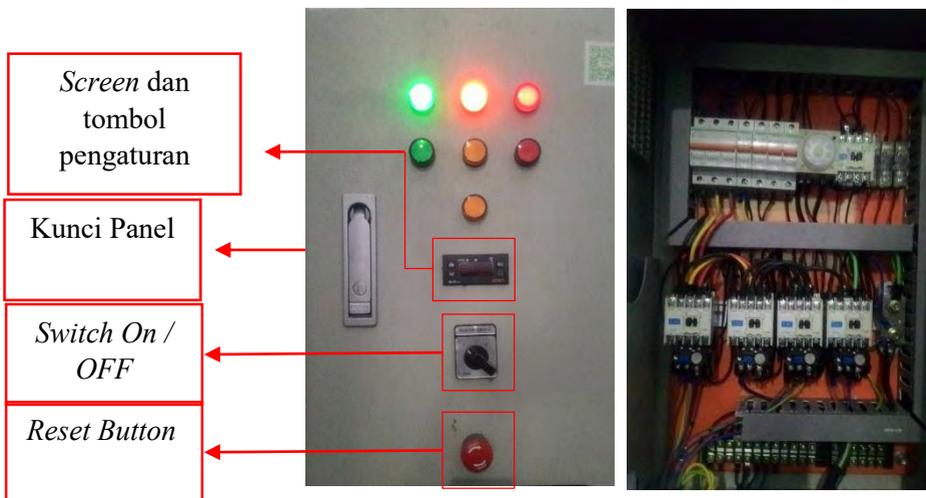
A. Prosedur Penyalaan *cold storage*

1. Membuka kunci pada panel listrik utama
2. Menyalakan saklar utama pada panel listrik utama yang terdapat dipintu masuk ruangan *workshop*.
3. Menyalakan MCB *cold storage* yang terdapat pada panel listrik utama.



Gambar IV. 14 Panel Listrik Utama

4. Membuka kunci panel *control cold storage* yang terdapat disebelah *cold storage*.
5. Menyalakan seluruh MCB yang terdapat di dalam panel *control cold storage*.
6. Menyalakan saklar lampu penerangan ruang muat *cold storage* yang terdapat dibagian depan *cold storage*.
7. Menyalakan *cold storage*. Proses penyalaan *cold storage* dilakukan dengan cara mengubah posisi *switch button* yang semula diposisi 1 menuju posisi 2.



Gambar IV. 15 Panel Kontrol *Cold Storage*

8. Mengatur temperatur tujuan pendinginan.
 - a. Pastikan *screen* telah menunjukkan pembacaan temperatur didalam ruang muat *cold storage*.
 - b. Tekan “*SET*” *button* sebanyak satu kali hingga *screen* menunjukkan tulisan SET
 - c. Tekan “*SET*” *button* sekali lagi hingga *screen* memunculkan angka besarnya temperatur yang akan diatur.
 - d. Atur temperatur tujuan pendinginan.
 - e. Tekan “*FNC*” *button* untuk mengembalikan tampilan *screen* menjadi tampilan awal.



Gambar IV. 16 Cara Melakukan *Setting* Temperatur Tujuan

9. Mengatur *differential temperature*.

Differential temperature adalah rentang temperatur yang harus dijaga oleh sistem otomatis pendingin yang terpasang pada *cold storage*, adapun proses pengaturan *differential temperature* sebagai berikut.

- a. Tekan dan tahan “*SET*” *button* hingga muncul tulisan “*CP*” pada *screen*.
- b. Tekan “*SET*” *button* sekali lagi hingga muncul tulisan “*dif*” pada *screen*.
- c. Tekan “*SET*” *button* sekali lagi hingga muncul angka besarnya *differential* yang akan diatur.
- d. Tekan “*FNC*” *button* untuk mengembalikan tampilan *screen*.



Gambar IV. 17 Cara Melakukan Setting Differential

10. *Cold Storage* siap digunakan.

B. Prosedur Mematikan *cold storage*.

1. Mengubah posisi *switch button* yang semula diposisi 2 menuju posisi 1.
2. Setelah *screen* pada panel sepenuhnya mati, matikan seluruh MCB yang berada didalam *control panel cold storage*.
3. Mengunci kembali *control panel cold storage*.
4. Mematikan saklar lampu penerangan ruang muat *cold storage*.

5. Mematikan MCB *cold storage* yang terdapat pada panel listrik utama.
6. Mematikan saklar utama listrik yang terdapat pada panel listrik utama.

IV.2.2 Prosedur Pengoperasian *Data Logger*

A. Pengaturan *Data Logger*.

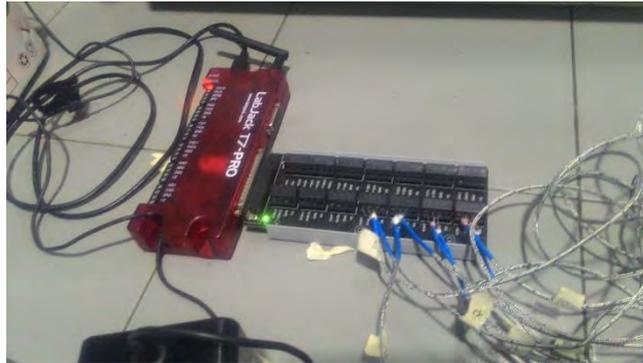
Data logger digunakan sebagai media pengkonversi *analog data* yang dibaca oleh *thermocouple* menjadi *digital data*. *Data logger* memungkinkan praktikan untuk melakukan pencatatan temperatur secara real time sesuai dengan pengaturan. Pada proses percobaan ini *data logger* yang digunakan adalah *data logger Labjack T7-Pro*. Sebelum *data logger Labjack T7-Pro* digunakan perlu dilakukan pengaturan awal agar *data logger* dapat mencatat perubahan temperatur secara baik.

B. Konfigurasi *Data Logger*.

Data logger yang digunakan pada pengambilan data ini menggunakan dua buah *software* yakni *Kipling* sebagai konfigurasi jenis data yang akan dicatat dan *LJlogM* sebagai *software* pencatat data sesuai dengan pengaturan. Berikut adalah langkah – langkah pengaturan *Kipling* dan *LJlogM*.

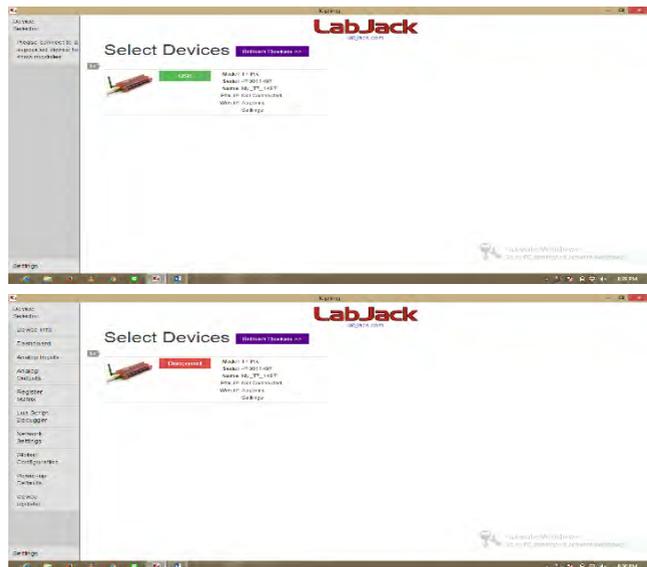
B.1 Pengaturan *Kipling*

1. Pastikan perangkat *Labjack T7-Pro* telah terpasang dengan benar. Hal ini dapat dilihat dari seluruh *thermocouple* telah terpasang ke perangkat dan perangkat telah tersambung dengan komputer.



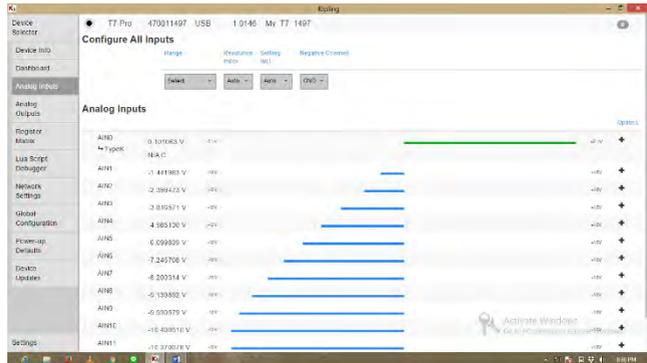
Gambar IV. 18 Pemasangan *Thermocouple* Ke *LabJack T7-Pro*

2. Aktifkan *software Kipling* dan tunggu hingga *software* siap dioperasikan.
3. Pilih koneksi jenis koneksi dari perangkat *Labjack T7-Pro* ke komputer. Pada percobaan ini digunakan koneksi menggunakan USB.



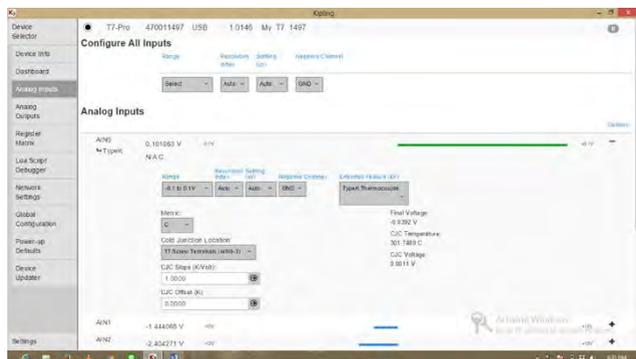
Gambar IV. 19 Tampilan Awal *KIPLING*

4. Lakukan konfigurasi dengan terlebih dahulu memilih menu *analog inputs*.



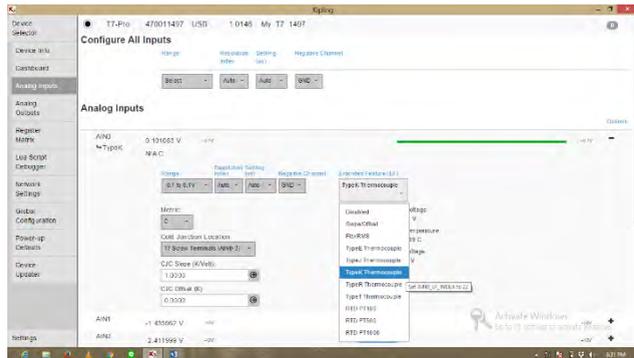
Gambar IV. 20 Tampilan Menu *Analog Inputs*

5. Lakukan pengaturan pada setiap *thermocouple*. Pengaturan ini dilakukan pada pilihan menu AIN dengan cara menekan tombol “+” disetiap pilihan AIN
6. Banyaknya AIN yang dilakukan pengaturan disesuaikan dengan jumlah *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur temperatur.



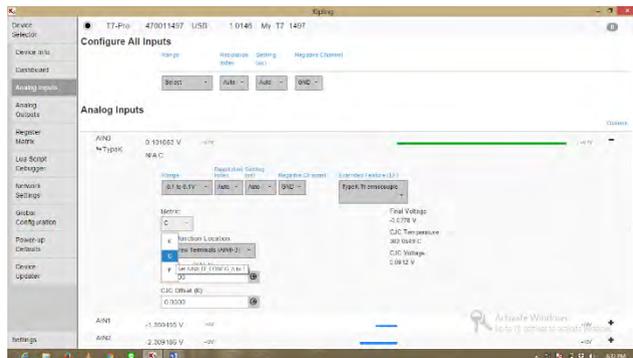
Gambar IV. 21 Proses Konfigurasi *AIN*

7. Pilih jenis *thermocouple* yang digunakan. Pada percobaan ini digunakan *thermocouple* tipe K.



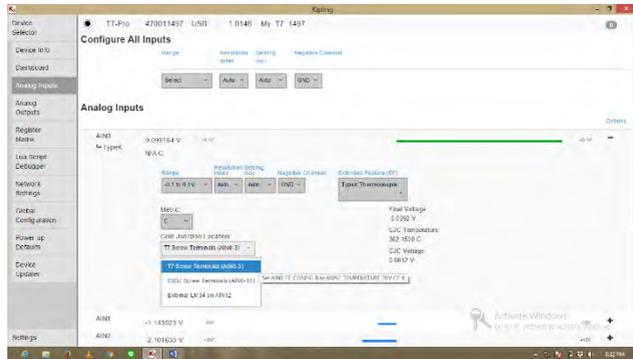
Gambar IV. 22 Pemilihan Jenis *Thermocouple*

8. Pilih *metric* temperatur apakah *celcius*, *kelvin*, atau *fahrenheit*



Gambar IV. 23 Pemilihan *Metric* Temperatur

9. Pilih jenis *cold junction location* tempat *thermocouple* dipasang. Pada percobaan ini *thermocouple* dipasang pada *junction* tambahan jenis *CB 37 Screw Terminals (AIN 0 – AIN 13)*.

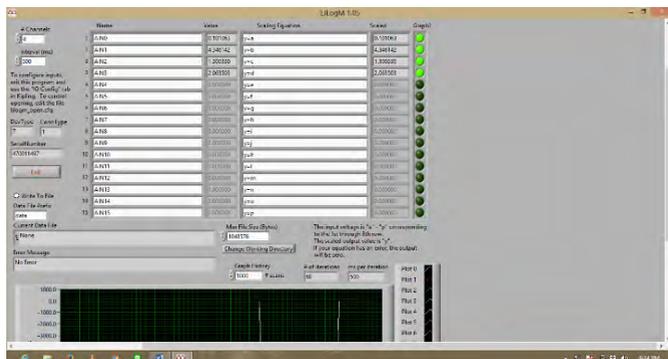


Gambar IV. 24 Pemilihan *Cold Junction Location*

10. Lakukan pengulangan pada setiap menu AIN sebanyak jumlah *thermocouple* yang digunakan.
11. Pastikan seluruh konfigurasi telah dilakukan dengan benar. Kesalahan konfigurasi nantinya akan berpengaruh pada proses pembacaan temperatur.
12. Tutup aplikasi dan aktifkan *software LJLogM*.

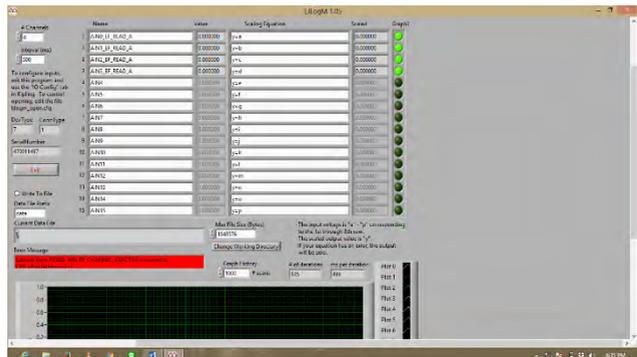
B.2 Konfigurasi *LJLogM*.

1. Aktifkan *software LJLogM*
2. Pastikan tampilan awal *LJLogM* seperti berikut.



Gambar IV. 25 Tampilan Awal *LJLogM*

3. Tentukan banyaknya *channel* yang akan direkam pada kolom *#channel*.
4. Tentukan interval waktu perekaman pada kolom *interval(ms)*. Perlu diingat bahwa konfigurasi bawaan dari *software* ini menggunakan satuan *mili sekon (ms)*.
5. Aktifkan grafik sesuai dengan jumlah *channel* dengan cara menekan tombol pada kolom *graph*.
6. Pastikan *software* telah melakukan pembacaan dalam bentuk *metric* temperatur. Hal ini dilakukan karena konfigurasi bawaan *software* ini adalah pembacaan dalam bentuk voltase bukan temperatur. Jika *software* belum melakukan pembacaan dalam bentuk temperatur maka lakukan pengaturan dengan cara memasukkan kode *_EF_READ_A* pada setiap kolom *name*.
7. Pilih direktori tujuan penyimpanan file
8. Lakukan proses perekaman dengan cara menekan tombol “*write to file*”.
9. Proses perekaman temperatur siap dilaksanakan



Gambar IV. 26 Tampilan Setelah Dilakukan Pengaturan

IV.2.3 Jenis dan Variabel Percobaan

Jenis percobaan yang dilakukan antara lain :

1. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu untuk beban 5 Kg es basah tanpa menggunakan PCM.
2. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu untuk beban 5 Kg es basah dengan variasi masa PCM 0,5 Kg, 1 Kg, dan 2 Kg tanpa sirkulasi udara.
3. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu untuk beban 5 Kg es basah dengan variasi masa PCM 0,5 Kg, 1 Kg, dan 2 Kg dengan sirkulasi udara.

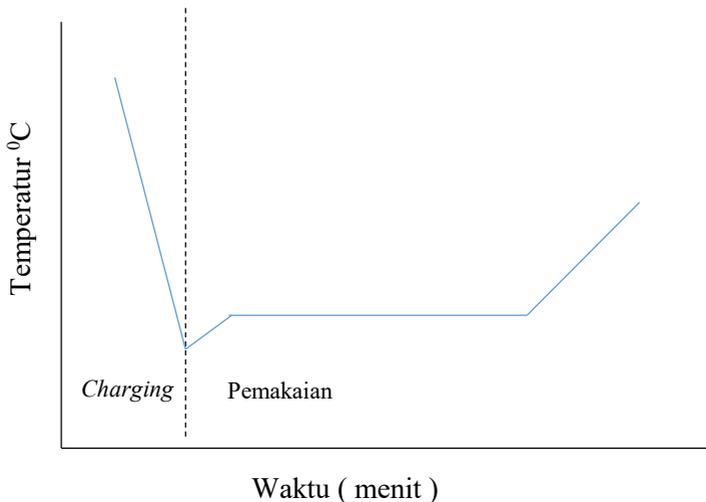
Variabel percobaan yang digunakan :

1. Percobaan Ke – 1
 Variabel bebas : waktu
 Variabel kontrol : Masa beban es basah, peletakan TC (*Thermocouple*)
 Variabel terikat : Perubahan temperatur
2. Percobaan ke – 2
 Variabel bebas : Waktu
 Variabel kontrol : Masa Beban es basah, masa PCM, peletakan TC TC (*Thermocouple*)
 Variabel terikat : Perubahan temperatur
3. Percobaan ke – 3
 Variabel bebas : Waktu
 Variabel kontrol : Masa Beban es basah, masa PCM, Aliran udara, dan peletakan TC TC (*Thermocouple*)
 Variabel terikat : Perubahan temperatur

IV.3 Analisa Hasil Percobaan

Percobaan sistem hybrid yang telah dilakukan terbagi atas dua bagian yakni *Charging* dan Pemakaian. *Charging* adalah proses pembekuan PCM yang dilaksanakan mulai dari temperatur ruangan menuju temperatur -7°C . Temperatur -7°C dipilih sesuai dengan rentang *melting area* dan *congealing area* produk. Pelaksanaan *charging* memakan waktu selama 2 jam.

Bagian kedua adalah proses pemakaian. Proses pemakaian PCM yang telah bertemperatur -7°C dimulai dengan penataan pada *apparatus* sesuai dengan *experimental method* yang telah dijelaskan pada BAB III Skripsi ini. Pada proses pemakaian ini lah aspek nyala dan matinya kompressor diperhatikan untuk selanjutnya di lakukan analisa.

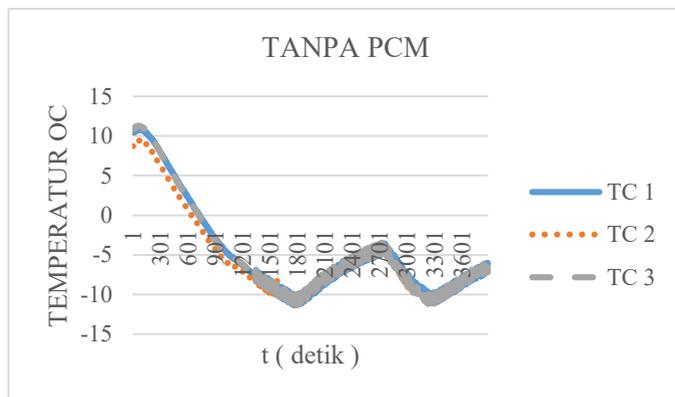


Gambar IV. 27 Konsep Hybrid

IV.3.1 Percobaan Tanpa Sirkulasi Udara

1. Kemampuan Mempertahankan Temperatur

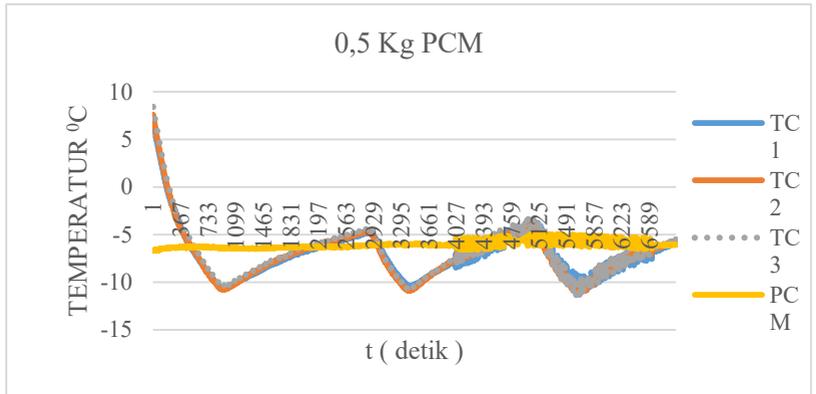
A. Tanpa PCM



Grafik IV. 1 Tanpa PCM

Grafik IV.1 menunjukkan hasil percobaan tanpa menggunakan PCM. Berdasarkan percobaan ini didapatkan bahwa lamanya mesin refrigerasi mencapai temperatur tujuan yakni -10°C dari temperatur awal rata-rata 10°C adalah 28 menit. Setelah mencapai temperatur tujuan yang ingin dicapai maka kompresor mati dan temperatur naik. Kenaikan temperatur dari -10°C menuju -5°C terjadi selama 17 menit. Selanjutnya kompresor menyala kembali mengembalikan temperatur ke temperatur tujuan semula yakni -10°C .

B. 0,5 Kg PCM

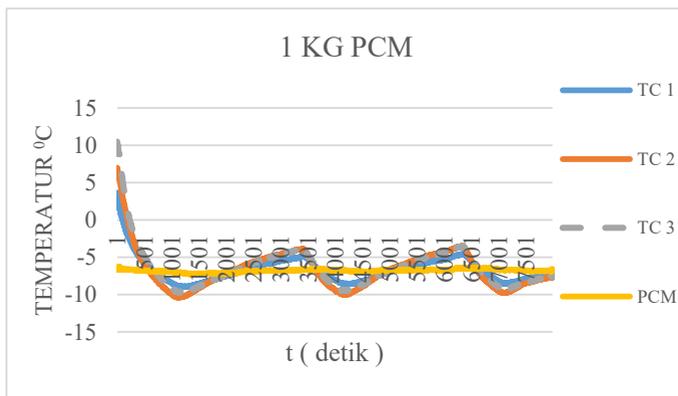


Grafik IV. 2 Penggunaan 0,5 Kg PCM

Grafik IV.2 menunjukkan hasil percobaan dengan menggunakan 0,5 Kg PCM. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa lamanya mesin refrigerasi mencapai temperatur tujuan yakni -10°C dari temperatur awal rata – rata 8°C adalah selama 14 menit. Setelah mencapai temperatur -10°C kompressor mati dan mulai terjadi kenaikan temperatur dari -10°C menuju -5°C .

Kenaikan temperatur ini terjadi selama 31 menit atau 14 menit lebih lama jika dibandingkan dengan tanpa penggunaan PCM. Kemampuan menahan terjadinya kenaikan temperatur ini tentunya akibat dari penggunaan PCM sebanyak 0,5 Kg. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat juga bahwa meskipun PCM menahan terjadinya kenaikan temperatur didalam *cool box* , temperatur PCM ini sendiri tidak mengalami perubahan yang begitu berarti.

C. 1 Kg PCM

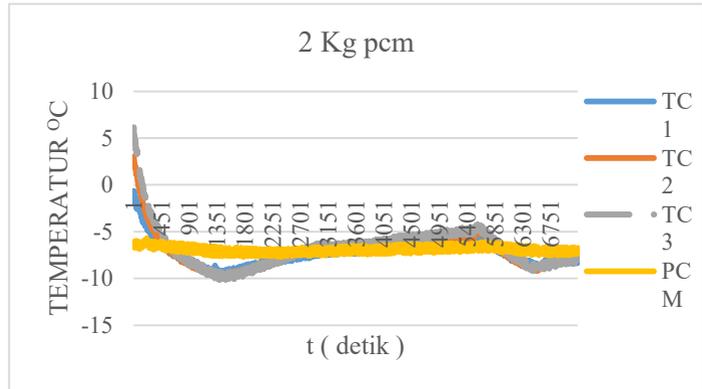


Grafik IV. 3 Penggunaan 1 Kg PCM

Grafik IV.3 menunjukkan hasil percobaan penggunaan 1 Kg PCM. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa lamanya mesin refrigerasi mencapai temperatur tujuan -10°C dari temperatur awal rata – rata 7°C adalah 17 menit. Setelah mencapai temperatur -10°C maka kompresor secara otomatis mati dan mulai terjadi kenaikan temperatur didalam *cool box* .

Kenaikan temperatur didalam *cool box* pada percobaan ini mampu ditahan PCM selama 40 menit atau 9 menit lebih lama dibandingkan dengan penggunaan 0,5 Kg PCM. Jika percobaan ini dibandingkan dengan percobaan tanpa menggunakan PCM maka dengan menggunakan 1 Kg PCM mampu menahan kenaikan temperatur 23 menit lebih lama. Sama seperti percobaan dengan 0,5 Kg PCM, meskipun mampu mempertahankan kenaikan temperatur didalam *cool box*, temperatur PCM tidak mengalami perubahan.

D. 2 Kg PCM



Grafik IV. 4 Penggunaan 2 Kg PCM

Grafik IV.4 menunjukkan percobaan pada penggunaan 2 Kg PCM. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa lamanya mesin refrigerasi mencapai temperatur tujuan -10°C dari temperatur awal rata – rata 4°C adalah 21 menit. Setelah mencapai temperatur tujuan lalu kompresor secara otomatis mati dan mulai terjadi kenaikan temperatur didalam *cool box*.

Kenaikan temperatur didalam *cool box* pada percobaan ini mampu ditahan oleh PCM selama 70 menit. Jika dibandingkan dengan penggunaan PCM sebanyak 1 Kg, 0,5 Kg, dan tanpa PCM maka selisih kemampuan pada penggunaan 2 Kg PCM secara berturut – turut adalah 30 menit, 39 menit, 53 menit. Temperatur PCM pada percobaan ini sama dengan percobaan sebelumnya dimana tidak ada terjadi perubahan temperatur didalam PCM.

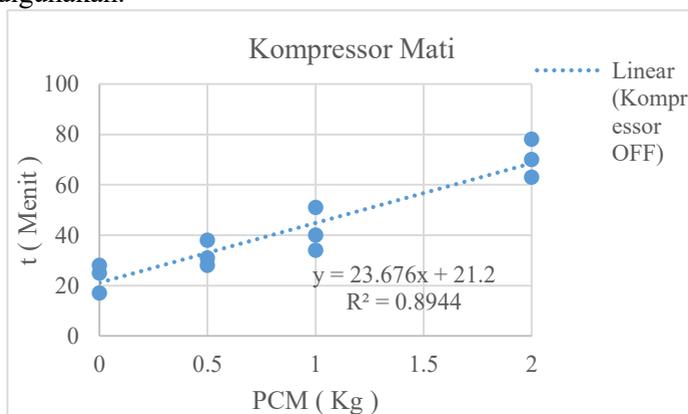
E. Akumulasi

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dengan hanya melakukan variasi jumlah *phase change material*. Didapatkan bahwa kecenderungan kemampuan mempertahankan temperatur meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah *phase change material*. Hal ini dapat dilihat pada tabel IV.2 waktu lamanya kompresor mati.

Tabel IV.2 Waktu Lamanya Kompresor Mati

No	Masa PCM	t (menit)			
		Mati ke -1	Mati ke 2	Mati ke 3	Rata - Rata
1	0 Kg	17	28	25	23.33
2	0,5 Kg	38	31	28	32.33
3	1 Kg	51	40	34	41.66
4	2 Kg	70	78	63	70.33

Kenaikan kemampun mempertahankan temperatur ini terjadi karena semakin banyak kalor latent yang dapat diserap oleh PCM. Hal ini mengakibatkan kenaikan temperatur didalam *coolbox* dapat ditahan. Jika hasil ini digambarkan dengan suatu grafik maka akan didapatkan sebuah garis linear yang artinya kemampuan mempertahankan temperatur berbanding lurus dengan banyaknya jumlah PCM yang digunakan.



Grafik IV. 5 Lama Kompresor Mati Tanpa Sirkulasi udara

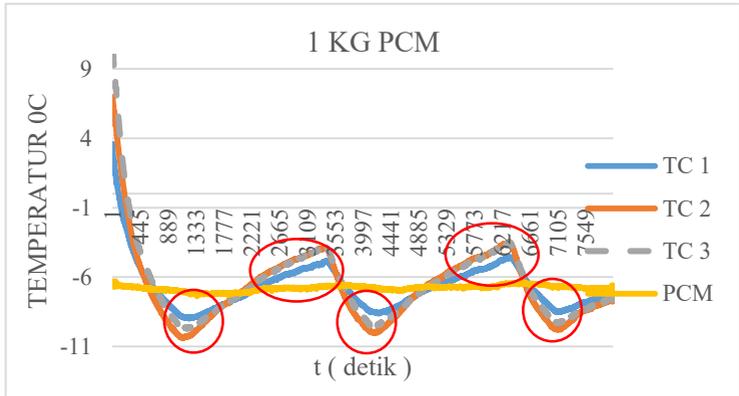
Kemampuan ini tidak sesuai dengan perhitungan awal dimana waktu yang diprediksi adalah 1 jam untuk 0.5 Kg PCM. Hal ini terjadi karena dalam proses percobaan beberapa bagian dinding *cool box* diberi lubang untuk mempercepat *equilibrium* antara temperatur *cool box* dan ruang *freezer*. Penambahan beberapa lubang ini menyebabkan udara dingin didalam *cool box* keluar dan kenaikan temperatur semakin cepat terjadi.

Kenaikan temperatur ini tidak terlalu berpengaruh terhadap temperatur PCM. Berdasarkan hasil dari percobaan temperatur PCM tidak mengalami perubahan yang signifikan. Temperatur PCM turun seiring dengan matinya kompressor karena pada saat ini PCM mulai bekerja menyerap sejumlah kalor latent. Ketika kompressor kembali menyala maka temperatur PCM turun, hanya saja penurunan temperatur PCM ini tidak signifikan.

2. Sebaran Temperatur

Pada percobaan ini posisi *thermocouple* dibuat tetap untuk mengetahui sebaran temperatur didalam *cool box*. Posisi *thermocouple* ditempatkan pada sudut dan tengah box. Berdasarkan hasil percobaan didapatkan bahwa udara dingin tidak menyebar secara merata. *Thermocouple* membaca bahwa temperatur lebih dingin terdapat pada bagian tengah *cool box*.

Grafik IV.6 menunjukkan grafik hasil percobaan untuk penggunaan PCM sebanyak 1 Kg. Dapat kita lihat bahwa temperatur pada *Thermocouple 2* yang ditempatkan pada bagian tengah *cool box* lebih rendah dibandingkan dengan temperatur pada *Thermocouple 1* dan 2. Akan tetapi pada saat temperatur bergerak naik menuju -5°C *thermocouple 2* dan 3 lebih tinggi dari *thermocouple 1*.



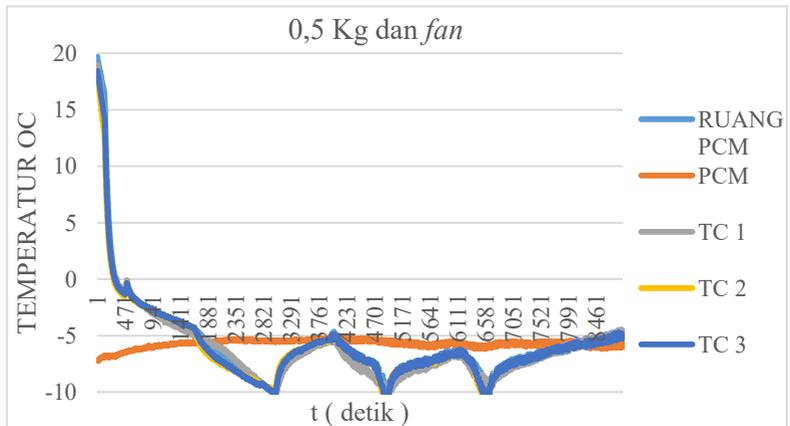
Grafik IV. 6 Penggunaan 1 Kg PCM

Berdasarkan grafik diatas didapatkan bahwa temperatur didalam *cool box* tidak merata. Temperatur terendah berada pada bagian tengah *cool box*. Akan tetapi pada bagian ini pula kenaikan temperatur cepat terjadi. Maka perlu dibuat suatu mekanisme tambahan untuk menghasilkan penyebaran temperatur merata agar dapat lebih efisien.

IV.3.2 Percobaan Dengan Sirkulasi Udara

1. Kemampuan Mempertahankan Temperatur

A. 0,5 Kg PCM dan *fan*

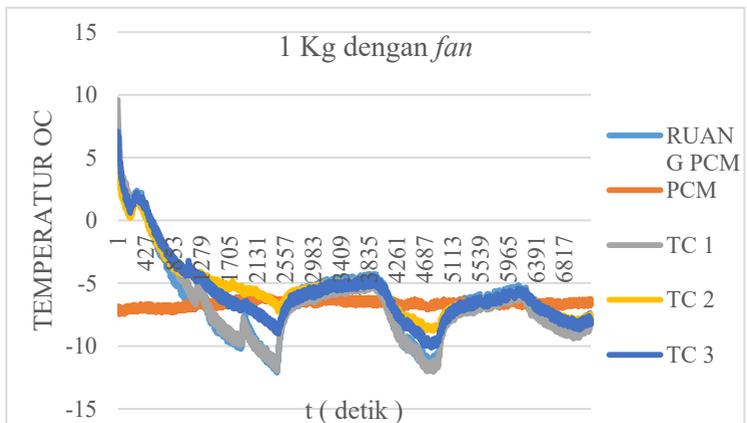


Grafik IV. 7 Penggunaan 0,5 Kg PCM dan *Fan*

Grafik IV.7 merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan sirkulasi udara dengan menggunakan 0,5 Kg PCM. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk ruang tempat PCM dan ruang beban ditempatkan mencapai temperatur -10°C dari temperatur awal ruang PCM 19°C dan ruang beban 18°C adalah selama 49 menit. Hal ini terjadi karena temperatur awal yang cukup tinggi sehingga perlu waktu yang lebih lama untuk menurunkan temperatur bagian – bagian ruangan didalam *cool box* hingga kompresor mati dan kenaikan temperatur dimulai.

Kenaikan temperatur yang dapat ditahan pada sistem ini adalah selama rata – rata 19 menit. Waktu 19 menit sangat kecil jika dibandingkan dengan percobaan 0,5 Kg PCM tanpa sirkulasi udara. Jika pada percobaan tanpa sirkulasi udara tidak terjadi perubahan temperatur, percobaan dengan sirkulasi udara ini PCM mengalami peningkatan temperatur yang semula -7°C menjadi -5°C .

B. 1 Kg PCM dan *fan*

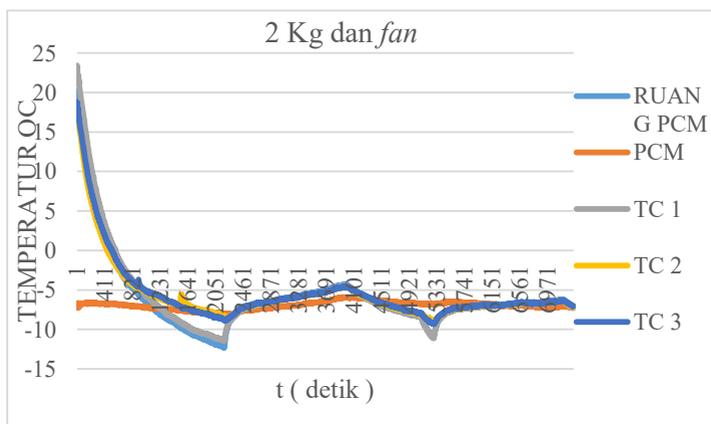


Grafik IV. 8 Grafik Penggunaan 1 Kg PCM dan *Fan*

Grafik IV.8 merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan sirkulasi udara dengan menggunakan 1 Kg PCM. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk ruang tempat PCM dan ruang beban ditempatkan mencapai temperatur -10°C dari temperatur awal ruang PCM 6°C dan ruang beban 7°C adalah selama 40 menit hingga kompresor mati dan kenaikan temperatur dimulai. Proses kenaikan emperatur pada sistem ini bertahan selama rata – rata 23.5 menit.

Proses kenaikan temperatur dari -10°C menuju -5°C pada sistem ini memiliki selisih waktu 4.5 menit jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya yang menggunakan 0,5 Kg PCM. Kenaikan temperatur ini masih tergolong cepat jika dibandingkan dengan percobaan tanpa sirkulasi udara. Sama halnya dengan percobaan 0,5 Kg PCM, temperatur PCM pada percobaan ini mengalami peningkatan dari temperatur awal -7°C menjadi -6°C .

C. 2 Kg PCM dan *fan*



Grafik IV. 9 Penggunaan 2 Kg PCM dan *Fan*

Grafik IV.9 merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan sirkulasi udara dengan menggunakan 1 Kg PCM. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk ruang tempat PCM dan ruang beban ditempatkan mencapai temperatur -10°C dari temperatur awal ruang PCM dan ruang beban 20°C adalah selama 36 menit hingga kompresor mati dan kenaikan temperatur dimulai. Proses kenaikan temperatur pada sistem ini bertahan selama rata – rata 31 menit.

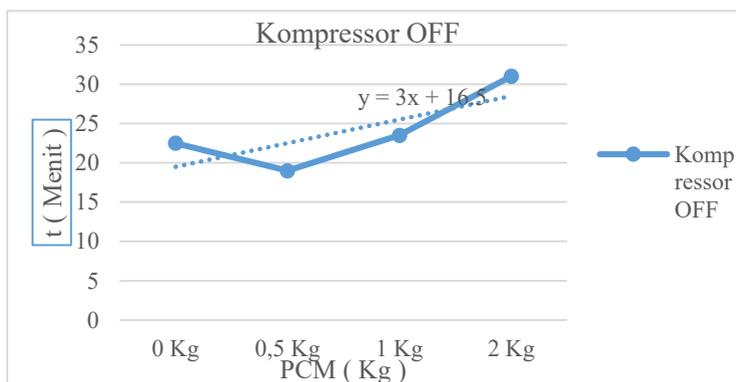
Lama kenaikan temperatur yang dapat ditahan oleh sistem ini jika dibandingkan dengan dua sistem sebelumnya memiliki selisih 7.5 menit penggunaan 1 Kg PCM dan 12 menit penggunaan 0,5 Kg PCM. Jika dibandingkan dengan sistem dengan jumlah PCM yang sama tanpa menggunakan sirkulasi udara, kemampuan sistem pada praktikum ini dapat dikatakan sangat rendah. Adapun temperatur PCM pada praktikum ini mengalami fluktuasi temperatur dari -7°C menuju -6°C pada saat kompresor mati lalu kembali lagi pada temperatur -7°C pada saat kompresor menyala.

D. Akumulasi

Pada percobaan dengan sirkulasi udara ini, kemampuan sistem mengalami kecenderungan meningkat meskipun tidak terlalu maksimal jika dibandingkan dengan percobaan tanpa sirkulasi udara. Hal ini dapat dilihat pada tabel IV.3 dibawah ini. Sama seperti pembahasan sebelumnya pada sub bab IV.3.1 Percobaan Tanpa Sirkulasi Udara pembahasan kemampuan mempertahankan temperatur point E bahwasanya kemampuan mempertahankan temperatur atau mempertahankan kenaikan temperatur terjadi karena PCM menyerap sejumlah kalor latent didalam *cool box* sehingga temperatur rendah bertahan dan kenaikan temperatur dapat tahan.

Tabel IV.3 Waktu Lamanya Kompresor Mati Percobaan 2

No	Masa PCM	t komp mati (menit)		Rata – Rata
		Mati Ke - 1	Mati Ke - 2	
1	0 Kg	17	28	22.5
2	0,5 Kg	16	22	19
3	1 Kg	23	24	23.5
4	2 Kg	30	32	31



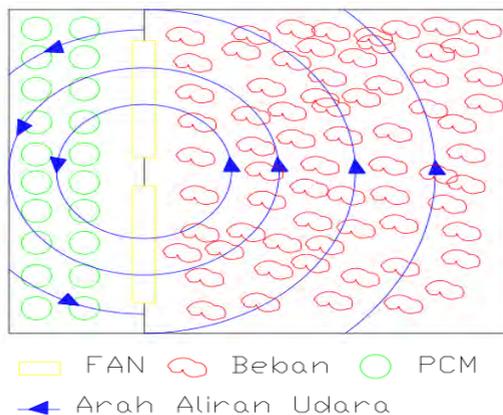
Grafik IV. 10 Lama Kompresor Mati dengan Sirkulasi udara

Kemampuan mempertahankan temperatur yang rendah ini terjadi karena beberapa faktor dari penambahan *fan* didalam sistem. Faktor terbesar yang memperngaruhi adalah *fan* menghasilkan panas pada motornya sehingga panas ini ikut menaikkan temperatur didalam *cool box*. Selain itu sirkulasi udara dengan konsep memutar udara didalam *cool box* ini didapati bahwa udara yang bergerak kemudian bergesekan dengan dinding *cool box*, dinding botol PCM sehingga gesekan ini menghasilkan panas.

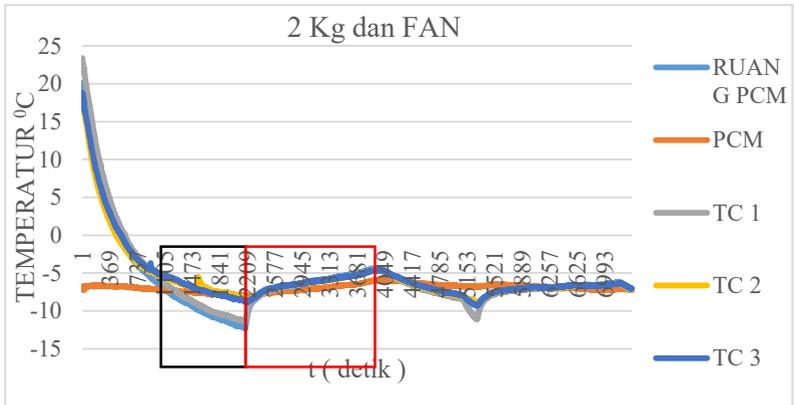
Berbeda dengan percobaan tanpa sirkulasi udara sebelumnya. Pada percobaan dengan sirkulasi udara ini temperatur PCM mengalami perubahan seiring dengan waktu penggunaan. Percobaan dengan menggunakan 0,5 Kg PCM misalnya PCM yang semula bertemperatur -7°C mengalami peningkatan menjadi -5°C begitu juga untuk penggunaan 1 Kg PCM. Temperatur PCM pada percobaan dengan menggunakan 2 Kg PCM mengalami perubahan mengikuti pola nyala dan mati kompresor. Ketika kompresor mati maka temperatur berubah dari -7°C menuju -6°C , sedangkan ketika kompresor menyala kembali maka temperatur kembali turun menuju -7°C .

2. Sebaran Temperatur

Pada percobaan dengan sirkulasi udara ini bagian dalam *cool box* dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama digunakan sebagai penempatan botol – botol PCM sedangkan bagian kedua digunakan sebagai tempat menempatkan beban. Kedua bagian ini dihubungkan oleh dua buah *fan* yang berbeda arahnya. Adapun skema sebaran udara didalam *cool box* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar IV. 28 Desain Aliran Udara didalam *Box*



Grafik IV.11 Sebaran Temperatur pada 2 Kg PCM dan *fan*

Hasil dari percobaan ini didapati bahwa hasil pembacaan temperatur oleh *thermocouple* yang diletakkan pada 3 tempat berbeda menunjukkan angka yang sama. Ketika temperatur di dalam ruang beban mencapai -10°C *fan* mulai menggerakkan udara didalam ruang tempat PCM ditempatkan menuju ruang beban dan sebaliknya. Perbedaan sebaran udara yang sangat signifikan dapat dilihat pada gambar diatas. Kotak berwarna hitam menunjukkan keadaan sebaran temperatur sebelum *fan* dinyalakan, sedangkan kotak berwarna merah menunjukkan keadaan sebaran temperatur setelah *fan* dinyalakan.

IV.3.3 Perhitungan Penghematan Biaya Operasional

1. Perhitungan Laju Aliran Masa *Refrigerant*.



Gambar IV. 29 Pengukuran *High Pressure*



Gambar IV. 30 Pengukuran *Low Pressure*

Data Refrigerant

Tipe : R 404 A

T (inlet comp) : 0 °C

T (outlet comp) : 65 °C

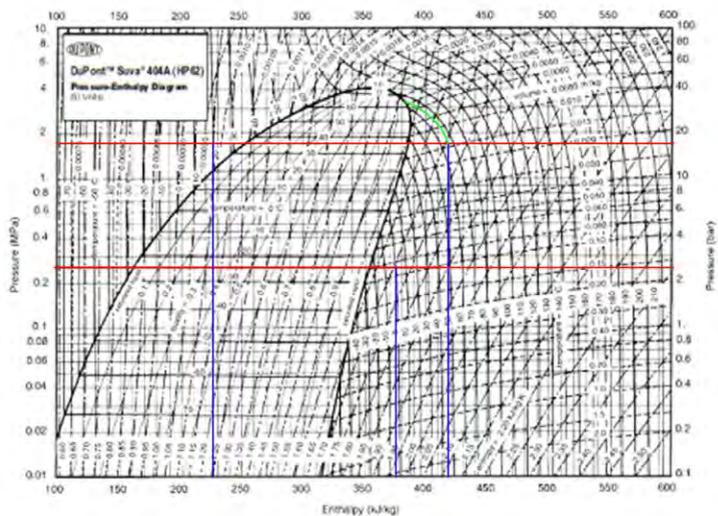
Low Pressure : 2.06 bar

High Pressure : 18.9 bar

T *subcooling* : 20 °C

Cooling capacity : 1.345 KJ/s

T *Freezer Room* : -15 °C



Gambar IV. 31 P-h diagram Refrigerant R404A

Setelah mengetahui beberapa data *refrigerant* selanjutnya mencari besarnya nilai *enthalpy* dari P-h diagram R 404 A yang ditunjukkan pada gambar diatas. Adapun besarnya nilai *enthalpy* yang didapat sebagai berikut

$$\begin{aligned} h_1 &: 380 \text{ KJ/Kg} \\ h_2 &: 420 \text{ KJ/Kg} \\ h_3 &: 227.6 \text{ KJ/Kg} \\ h_4 &: 227.6 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui besarnya nilai *enthalpy* maka selanjutnya mencari nilai laju aliran masa *refrigerant* R404 A.

$$\begin{aligned} Q_L &= \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \\ \dot{m}_{ref} &= \frac{Q_L}{(h_1 - h_4)} \\ \dot{m}_{ref} &= \frac{1.345}{380 - 227.6} \\ \dot{m}_{ref} &= \frac{1.345}{152.4} \\ \dot{m}_{ref} &= 0.00882 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Kebutuhan Energi Kompresor

Setelah diperoleh besarnya laju aliran masa *refrigerant*, data tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya energy yang dikonsumsi oleh sistem refrigerasi. Untuk mendapatkan nilai W dari kompresor diperlukan data *enthalpy* pada kondisi *super heat vapor* . Berdasarkan hasil percobaan dan pembacaan P-h diagram *refrigerant R404 A* maka perhitungan energi kompresor sebagai berikut.

$$W_{comp} = \dot{m}ref (h_2 - h_1)$$

$$W_{comp} = 0.00882 \text{ Kg/s} (402 \text{ KJ/Kg} - 380 \text{ KJ/Kg})$$

$$W_{comp} = 0.353 \text{ Kg/s} = 1270.8 \text{ KJ/h} = 0.356 \text{ KW}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan bahwa besarnya energi yang dibutuhkan kompresor untuk melayani sistem adalah 0.356 KW.

3. Analisa Penghematan Biaya Listrik

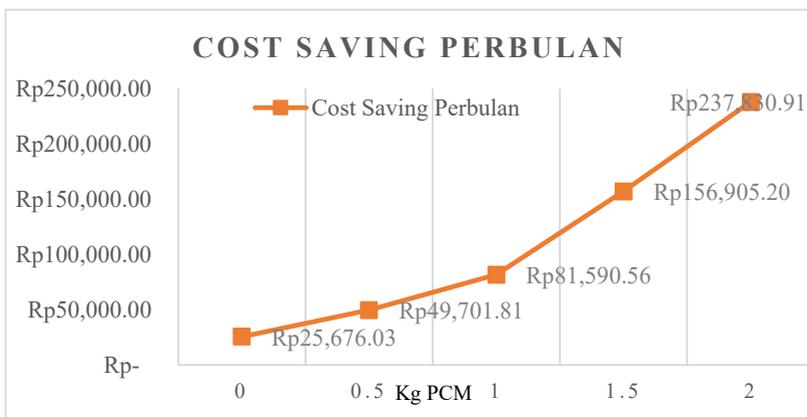
Proses analisa penghematan biaya listrik ini dilakukan dengan asumsi Tarif Dasar Listrik yang dikeluarkan oleh PLN per Juni 2016 adalah Rp. 1.364,00/KWh. Perhitungan ini berdasarkan hasil percobaan dimana lamanya kompresor mati dianggap konstan selama 24 jam. Berdasarkan asumsi tersebut maka didapatkan prediksi lamanya kompresor mati untuk 24 jam peng operasian sebagaimana ditunjukkan tabel IV.3 prediksi lamanya kompresor mati untuk 24 jam pengoperasian.

Tabel IV.4 Prediksi Lamanya Kompresor Mati untuk 24 Jam Pengoperasian

No	PCM (Kg)	menit mati percobaan	% menit mati dalam percobaan	Prediksi untuk percobaan 24 jam	
		menit		menit	Jam
1	0	23	19%	276	4.6
2	0.5	32	27%	384	6.4
3	1	41	34%	492	8.2
4	1.5	57	48%	684	11.4
5	2	70	58%	840	14

Setelah mendapatkan prediksi lamanya kompresor mati untuk 24 jam pengoperasian maka dapat dihitung besarnya penghematan. Besarnya biaya listrik yang dapat disimpan dari matinya kompresor dapat dilihat pada tabel IV.4 Penghematan Biaya Listrik. Berdasarkan tabel IV.4 Penghematan Biaya Listrik, dapat dilihat bahwa penghematan terkecil adalah ketika tidak menggunakan PCM atau dalam kata lain sistem konvensional.

Pada sistem konvensional ini kita hanya dapat menghemat Rp. 25.676,03 perbulan. Jika hal ini dibandingkan dengan percobaan menggunakan PCM maka didapatkan penghematan biaya listrik yang cukup besar. Tren penghematan biaya listrik menggunakan PCM adalah semakin banyak PCM yang digunakan maka semakin banyak pula biaya yang dapat disimpan sebagaimana yang tertera pada grafik IV.12 dibawah ini.



Grafik IV. 12 *Cost Saving* Perbulan

Tabel IV.5 Penghematan Biaya Listrik

No	Masa PCM (Kg)	Jumlah jam Mati Per 24 Jam Operasi	KWh 24 Jam Pengoperasian	penghematan 1 bulan
1	0	4,6	0,63	Rp 25.676,03
2	0,5	6,4	1,21	Rp 49.701,81
3	1	8,2	1,99	Rp 81.590,56
4	1,5	11,4	3,83	Rp 156.905,20
5	2	14	5,81	Rp 237.830,91

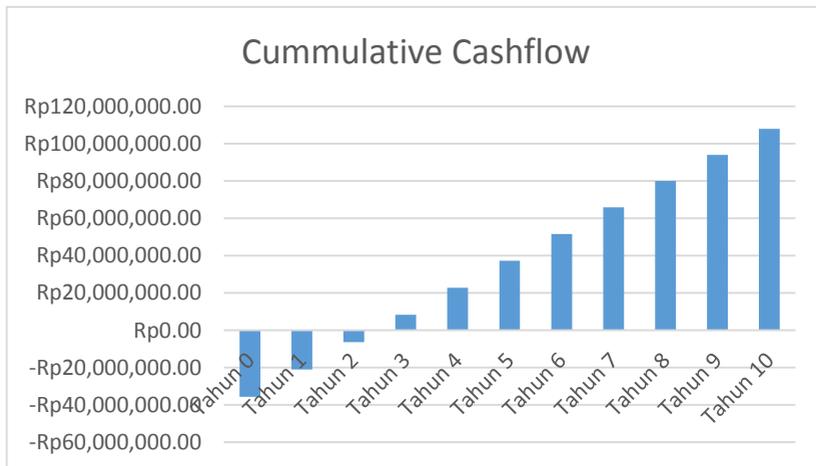
IV.3 Analisa Ekonomis

Analisa ekonomis yang dilakukan merupakan analisa berupa perhitungan ekonomis untuk modifikasi pada sebuah *cold storage*. Proses modifikasi yang dilakukan adalah penambahan sejumlah PCM yang dipasang pada dinding – dinding *cold storage*. *Cold Storage* yang digunakan berukuran panjang 2400 mm, lebar 1260 mm dan tinggi 2500 mm. Proses perhitungan ini mengacu pada hasil percobaan yang telah dilakukan terkait kemampuan PCM mempertahankan temperatur -10°C menuju -5°C .

Adapun kebutuhan banyaknya PCM yang dibutuhkan menggunakan perhitungan besarnya kalor yang harus diserap oleh PCM. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan banyaknya PCM yang dibutuhkan adalah sebesar 198.4 Kg (detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran 3 detail perhitungan ekonomis). Berdasarkan kebutuhan PCM, *packaging* berupa botol berukuran 1000ml dan pembuatan rak penempatan PCM maka didapatkan besarnya CAPEX (*Capital Expenditures*) yang harus dikeluarkan adalah sebesar Rp. 35.695.163,00 sebagai modal awal untuk modifikasi.

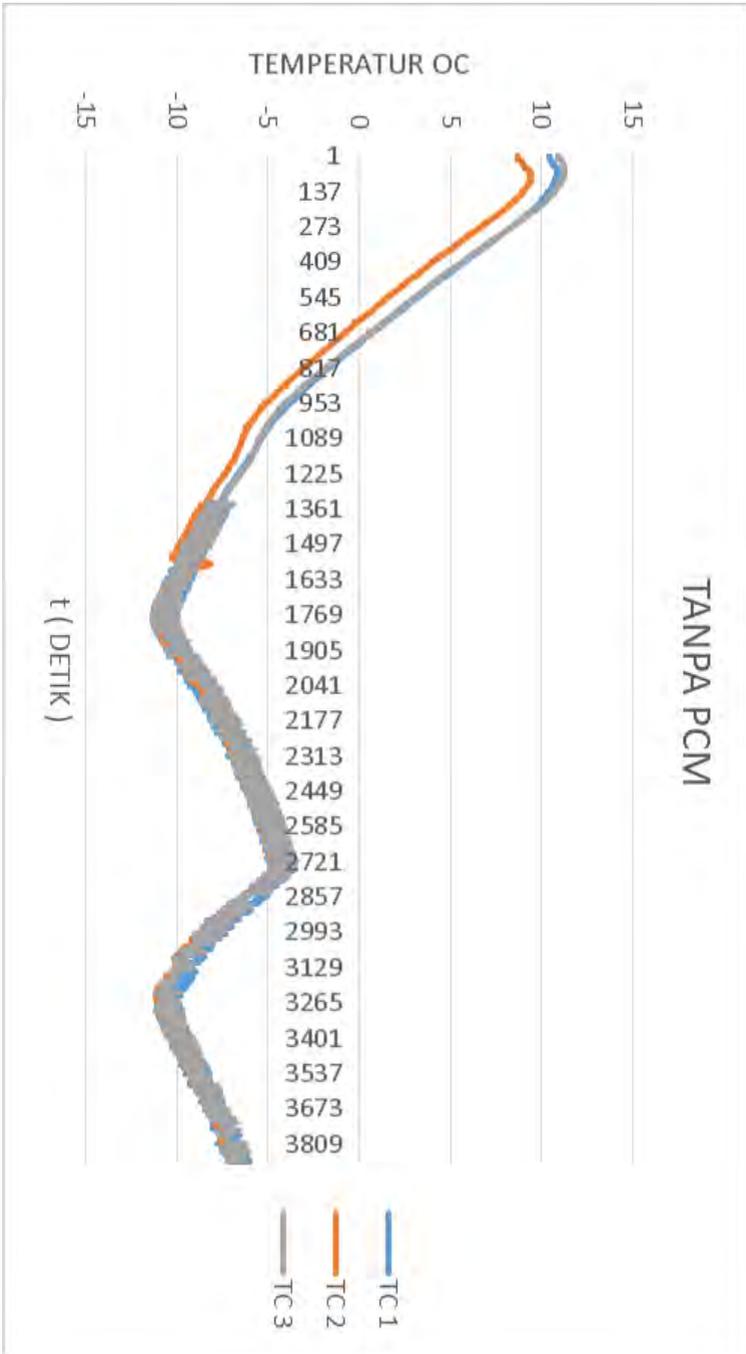
Konsep bisnis yang dilakukan adalah *cold storage* yang telah mengalami modifikasi disewakan pada pihak lain. Besarnya biaya sewa *cold storage* yang akan menjadi *revenue* adalah sebesar Rp. 1.500.00,00 perbulan atau Rp. 18.000.000,00 pertahun. Selanjutnya *revenue* ini digunakan sebagai pembayaran CAPEX, biaya *maintenance* dan OPEX (*operasional Expenditures*) yang terdiri dari biaya listrik dan pembelian *stock* PCM.

Berdasarkan perhitungan ekonomis ini didapatkan bahwa dengan melakukan modifikasi menggunakan PCM maka *pay back period* terjadi pada tahun ke – 3 setelah modifikasi (detail perhitungan pada lampiran 3 detail perhitungan ekonomis). Pada tahun ke – 3 ini akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp. 8.310.083,00 sedangkan untuk proyeksi bisnis pada tahun ke – 10 akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp. 107.942.601,00 sebagaimana yang ditunjukkan pada grafik IV.13 *Cummulative Cashflow* .

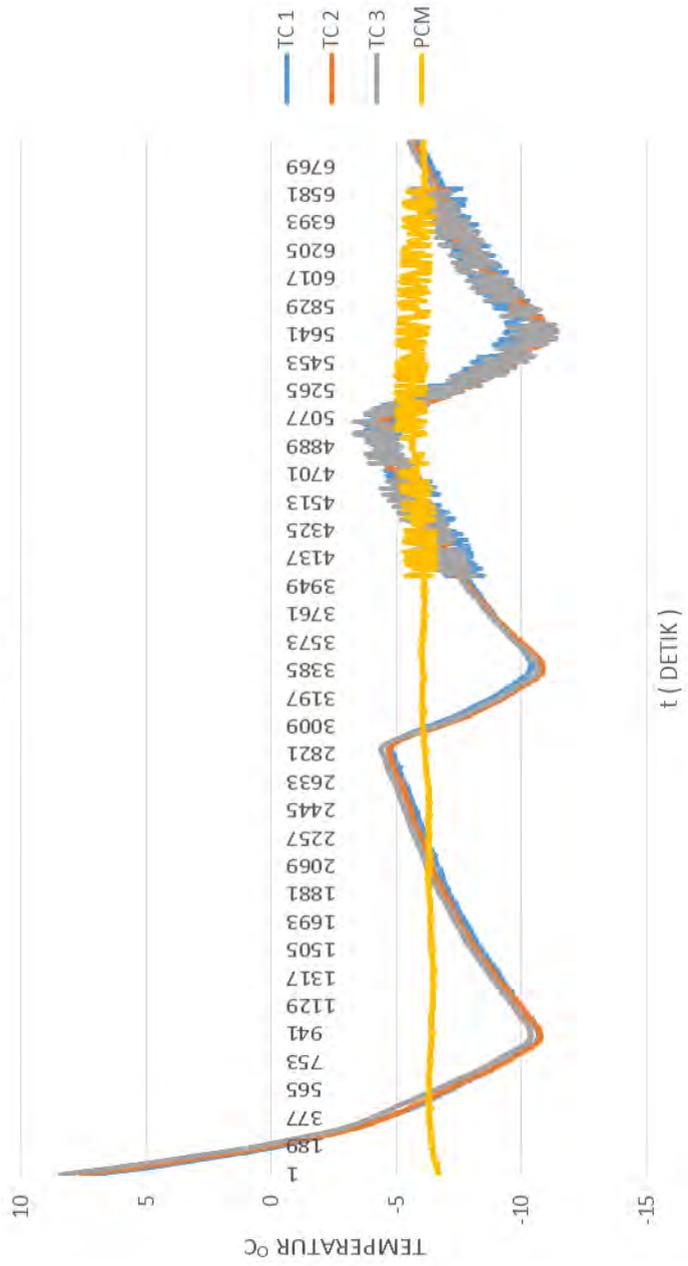


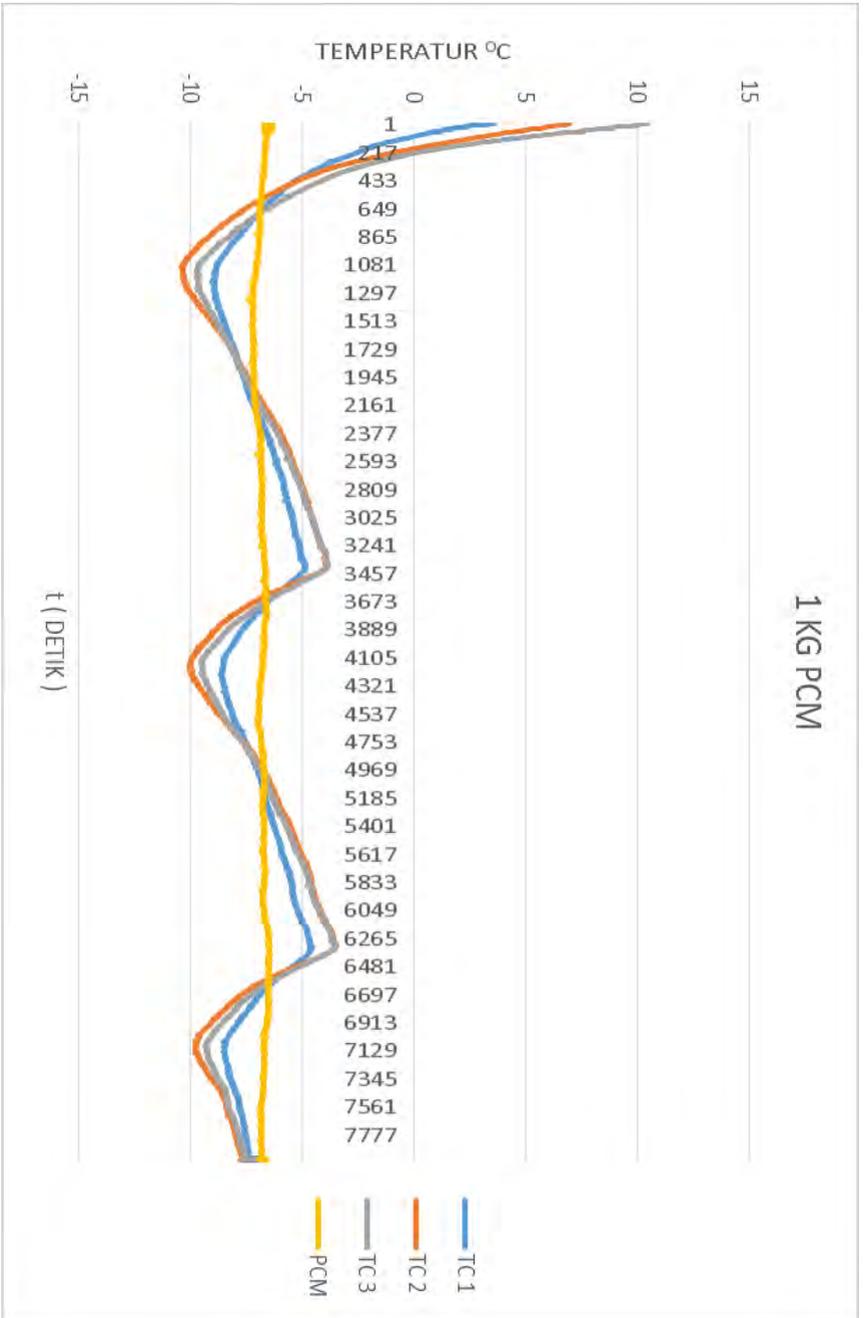
Grafik IV. 13 *Cummulative Cashflow*

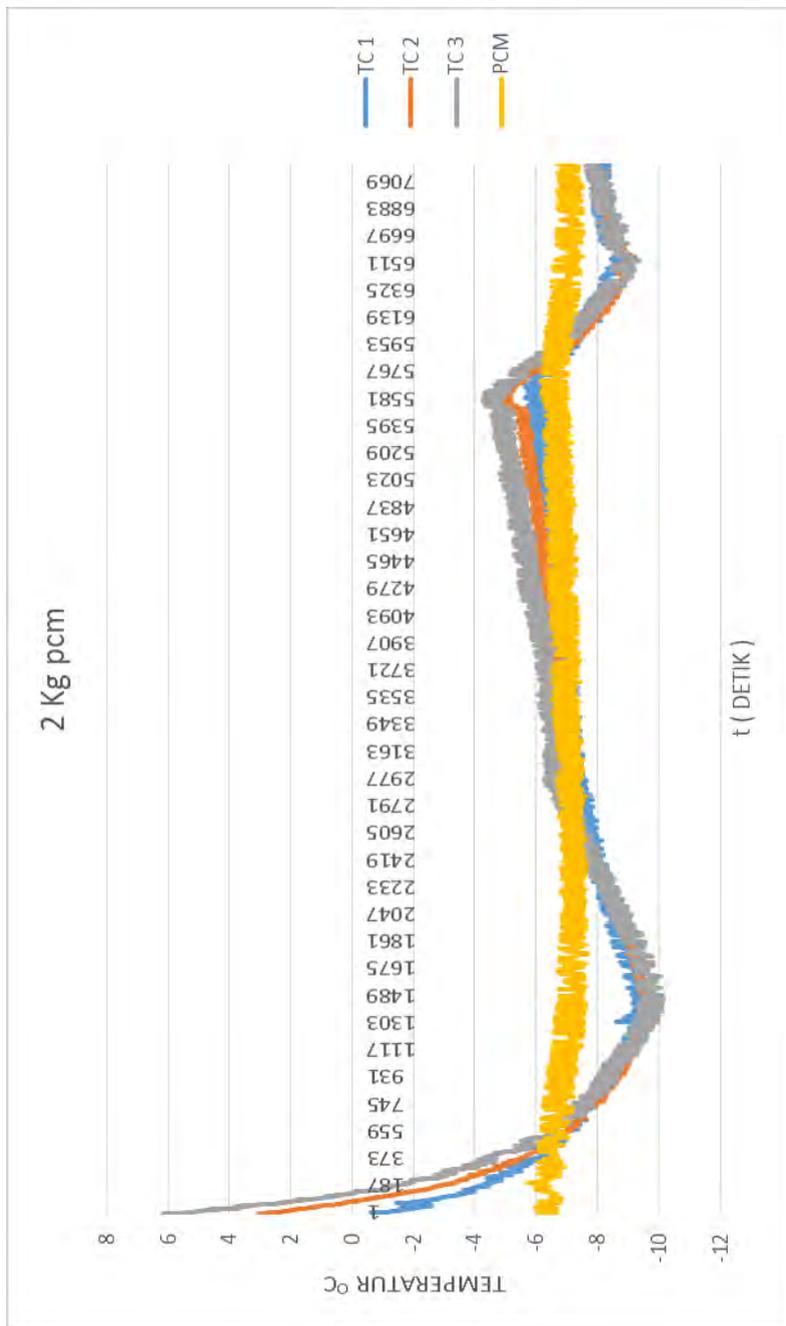
Lampiran 1 Grafik Hasil Percobaan

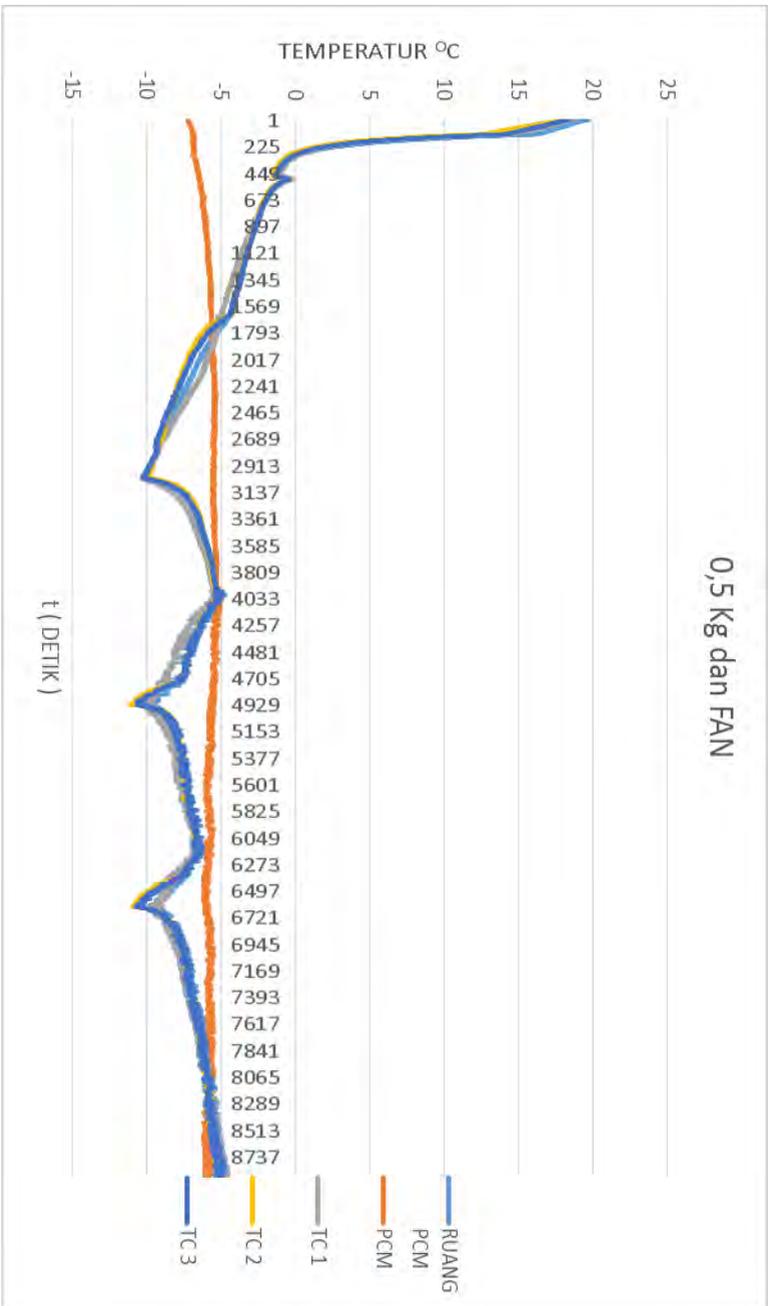


0,5 Kg PCM

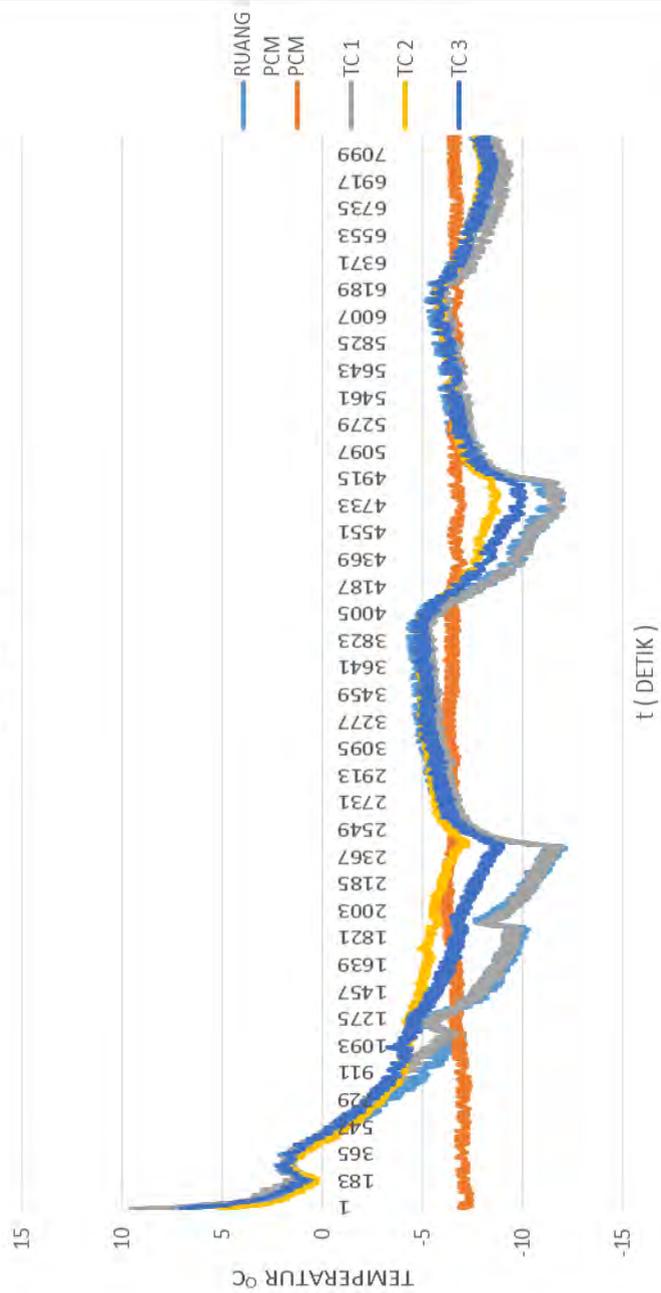


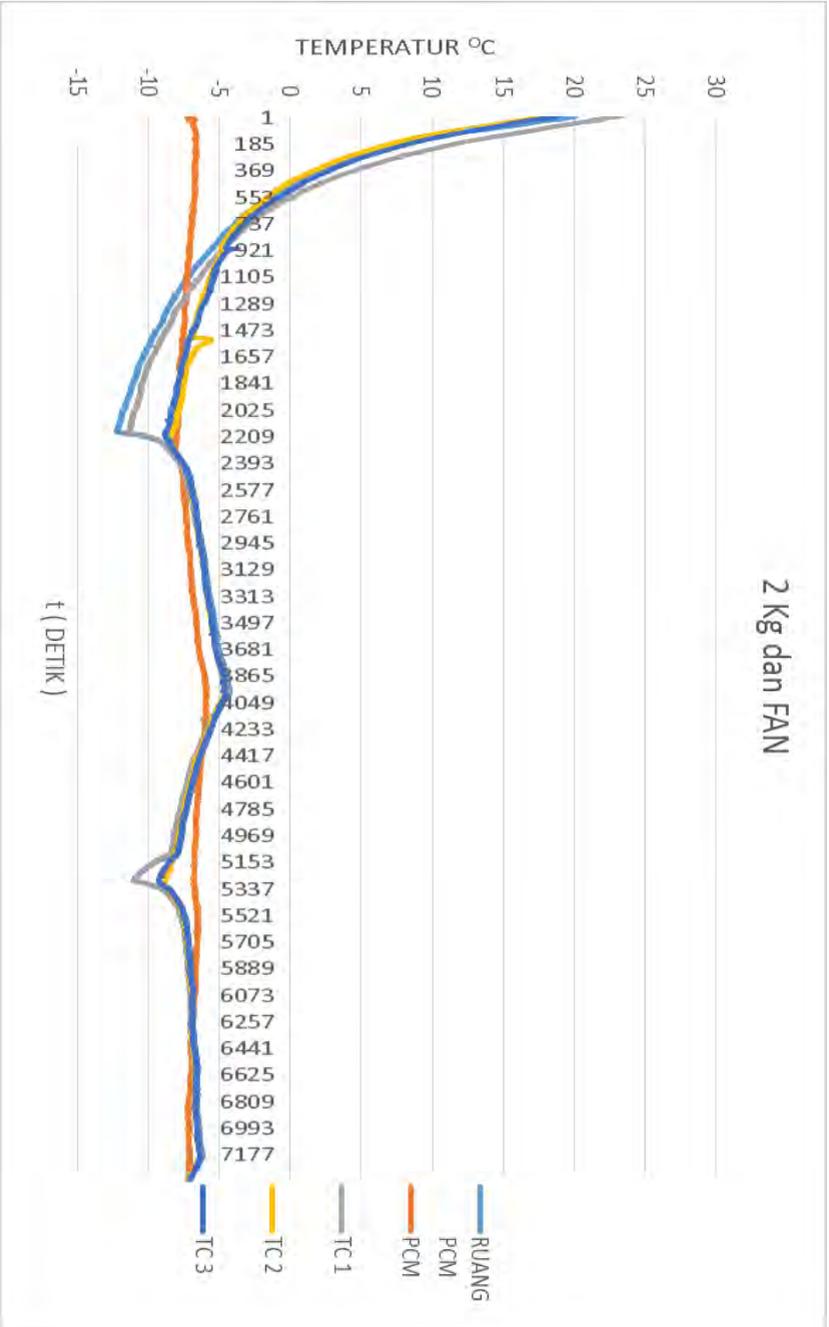






1 Kg dengan FAN





Grafik Pendinginan dan Pencairan RT - 4



“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

Lampiran 2 Spesifikasi PCM

RT-4



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4°C and 100°C

The most important data:

Melting area

Typical Values

-7 bis -3 [$^{\circ}\text{C}$]

main peak: -4

Congeeing area

-4 bis -7 [$^{\circ}\text{C}$]

main peak: -4

Heat storage capacity $\pm 7,5\%$

180 [kJ/kg^*]

Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of -8°C to 7°C .

50 [Wh/kg^*]

Specific heat capacity

2 [$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$]

Density solid

0,88 [kg/l]

at -15°C

Density liquid

0,76 [kg/l]

at 15°C

Heat conductivity (both phases)

0,2 [$\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$]

Volume expansion

13,63 [%]

Flash point (PCM)

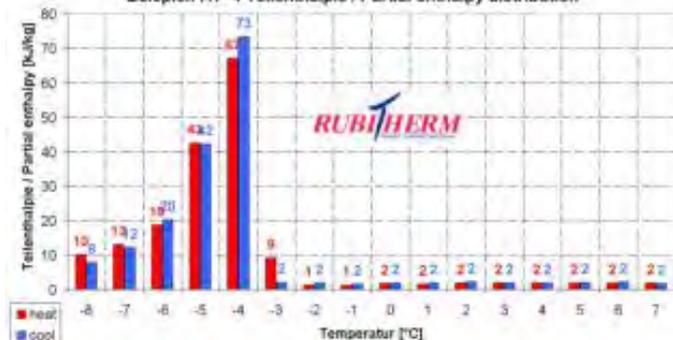
96 [$^{\circ}\text{C}$]

Max. operation temperature

30 [$^{\circ}\text{C}$]



Beispiel: RT-4 Teilenthalpie / Partial enthalpy distribution



*Measured with 3-layer-calorimeter.

Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 5a
D-12277 Berlin
Tel: +49 30 720004-02
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 13.02.2015

SECTION 1: IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY**1.1 Product identifier:**

Product name: RT-4

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture

Application area: latent heat accumulators

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company: Rubitherm Technologies GmbH

Address: Sperrenberg Straße 5a
DE - 12277 Berlin

Phone/Fax/E-Mail: 030 72000462 / 030 72000499 / msds@rubitherm.com

Internet: www.rubitherm.com

1.4 Emergency call number

0049 30 72 00 04 68; Mo-Fr; 8:00-16:00

SECTION 2: HAZARDS IDENTIFICATION**2.1 Classification of the substance or mixture**

Regulation (EC) No 1272/2008

Aspiration hazard, category 1

Regulation 67/548/EWG, 1999/45/EG

R65: Harmful: may cause lung damage if swallowed.

R66: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking

2.2 Label elements

Regulation (EC) Nr.1272/2008



Danger!

Hazard statements

H304 May be fatal if swallowed and enters airways.

Precautionary statements:

P301 + P310 IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER or doctor/physician.

P331 Do NOT induce vomiting.

P405 Store locked up.

Regulation 67/548/EWG bzw. 199/45/EG



Xn, harmful

safety data sheet RT-4

according to: 1907/2006/EG



creation date: 22.12.2012

revised: 19.01.2016

2.3 Other hazards

EUH066: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

Section 3: Composition/Information on Ingredients

3.1 Substances

This product is a substance.

Substance	Paraffin, liquid
CAS.No.	8020-83-5
EG-No.	
Index-No.	
REACH reg.-No.	
EINEC-No.	232-455-8
hazard	
1999/45EG	Xn, R65, R66
1272/2008/EG	Asp.1; H304

For the wording of the listed risk phrases refer to section 16

SECTION4: FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

- General advice:** Due spilled liquids surfaces can become slippery. Take off contaminated clothing immediately. If you feel unwell, seek medical advice (show safety data sheet)
- If inhaled:** In case of inhalation the liquid product, call a physician immediately (H304). In the case of inhalation of aerosol/mist move the person concerned to fresh air. If breathing is irregular or stopped, administer artificial respiration and call a physician. If breathing difficulty persists, consult a physician. If necessary supply them with oxygen. At normal ambient temperatures this product will be unlikely to present an inhalation hazard because of its low volatility. At high temperature aerosol/mist can cause an irritation of the respiratory tract.
- In case of skin contact:** Take off all contaminated clothing. Wash off with soap and plenty of water. If skin irritation persists, call a physician.
- In case of eye contact:** Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician. If eye irritation persists, consult a specialist.
- If swallowed:** Do NOT induce vomiting. Keep respiratory tract clear. Call a physician immediately(H304).

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

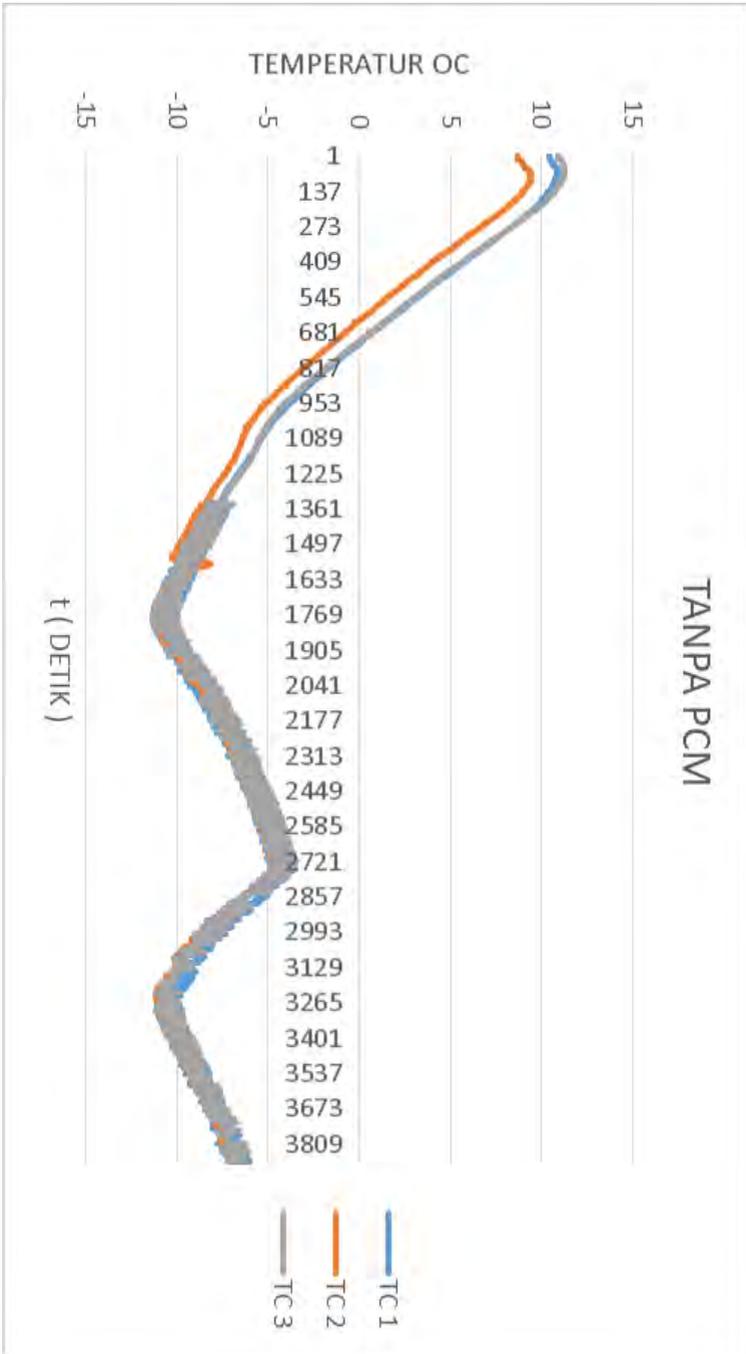
No known symptoms to date.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

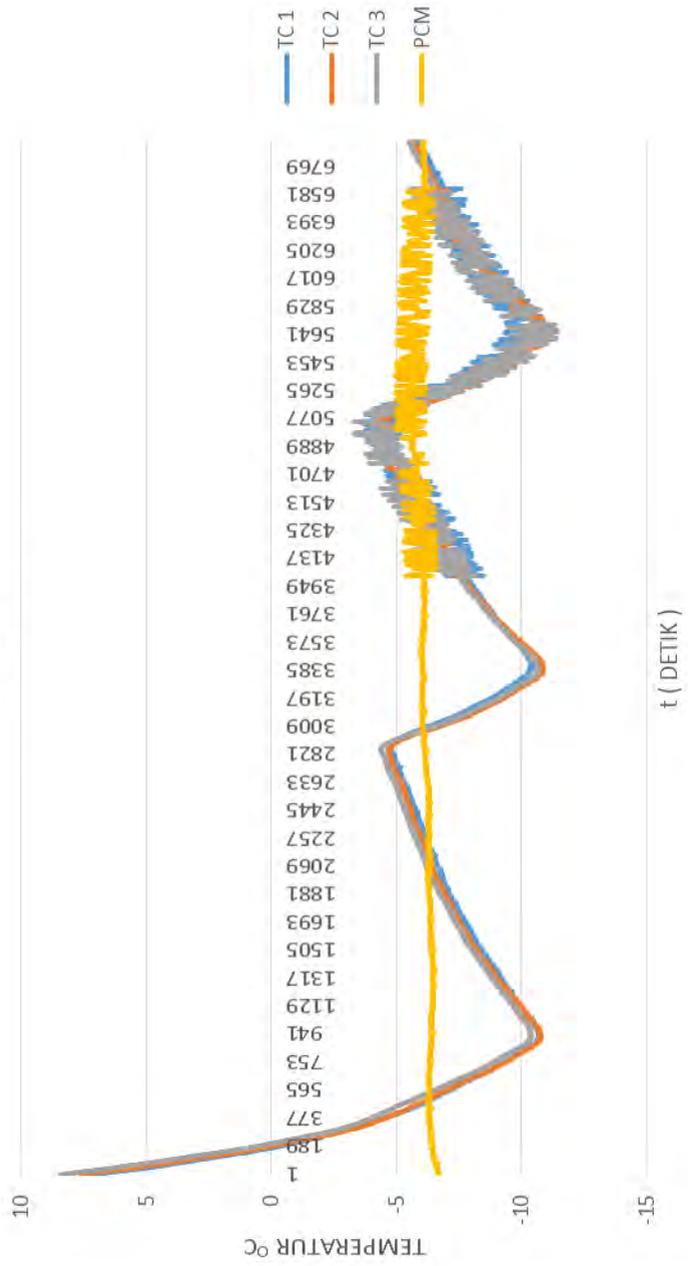
Symptomatic treatment.

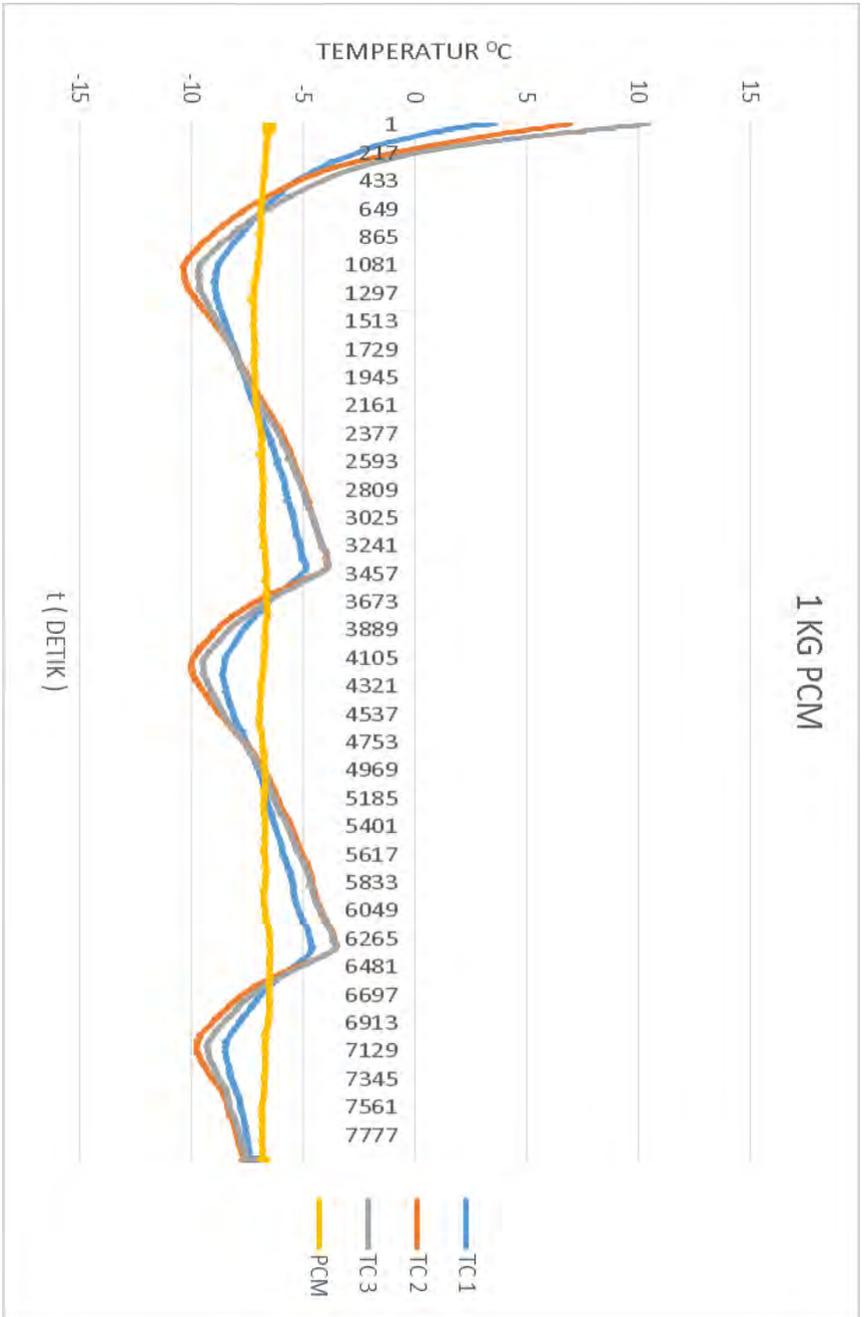
“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

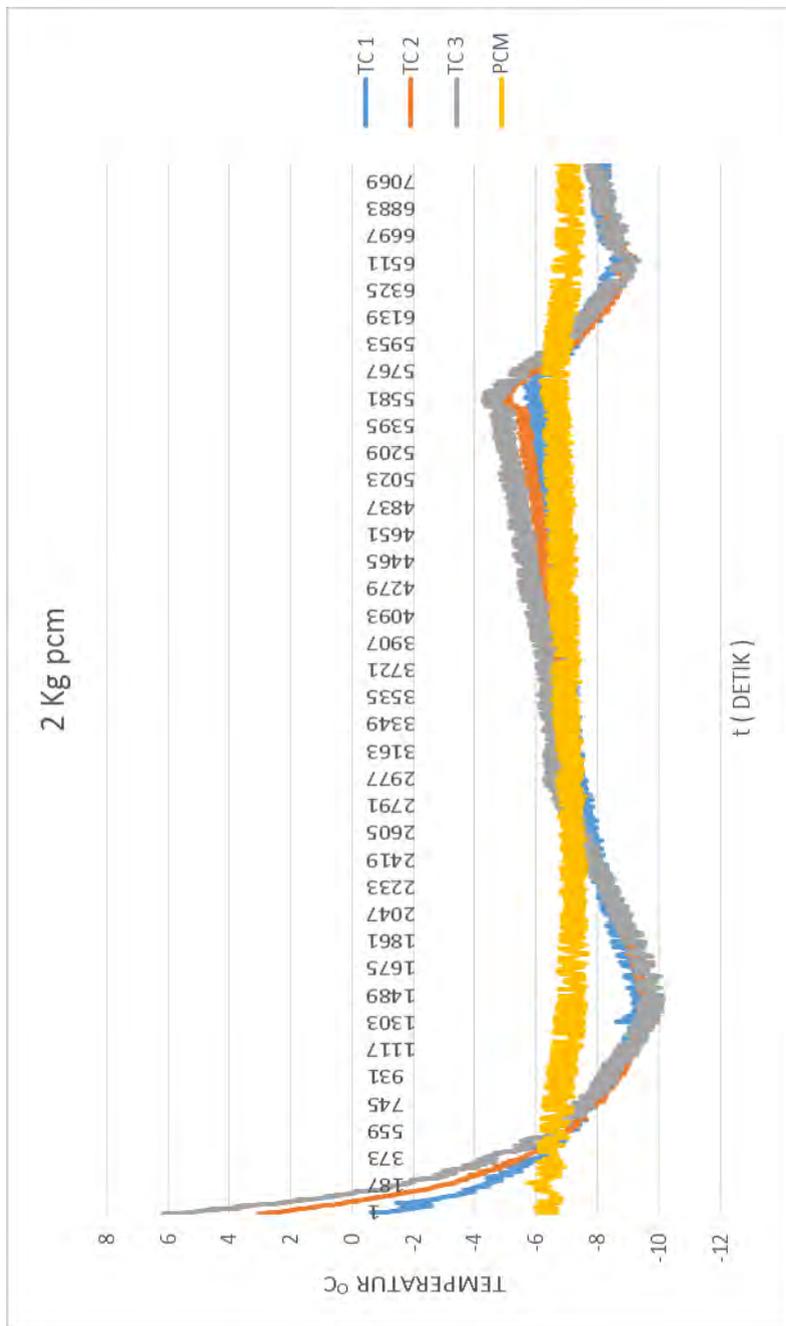
Lampiran 1 Grafik Hasil Percobaan

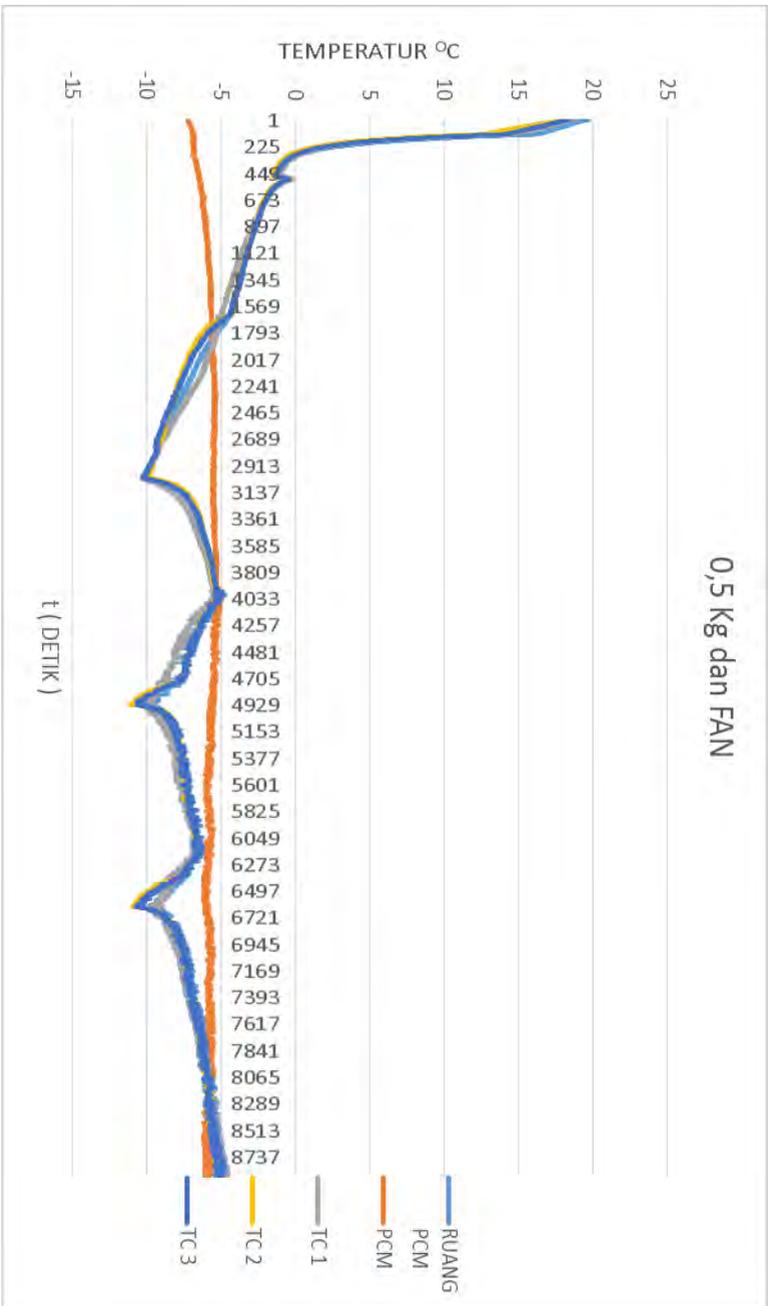


0,5 Kg PCM

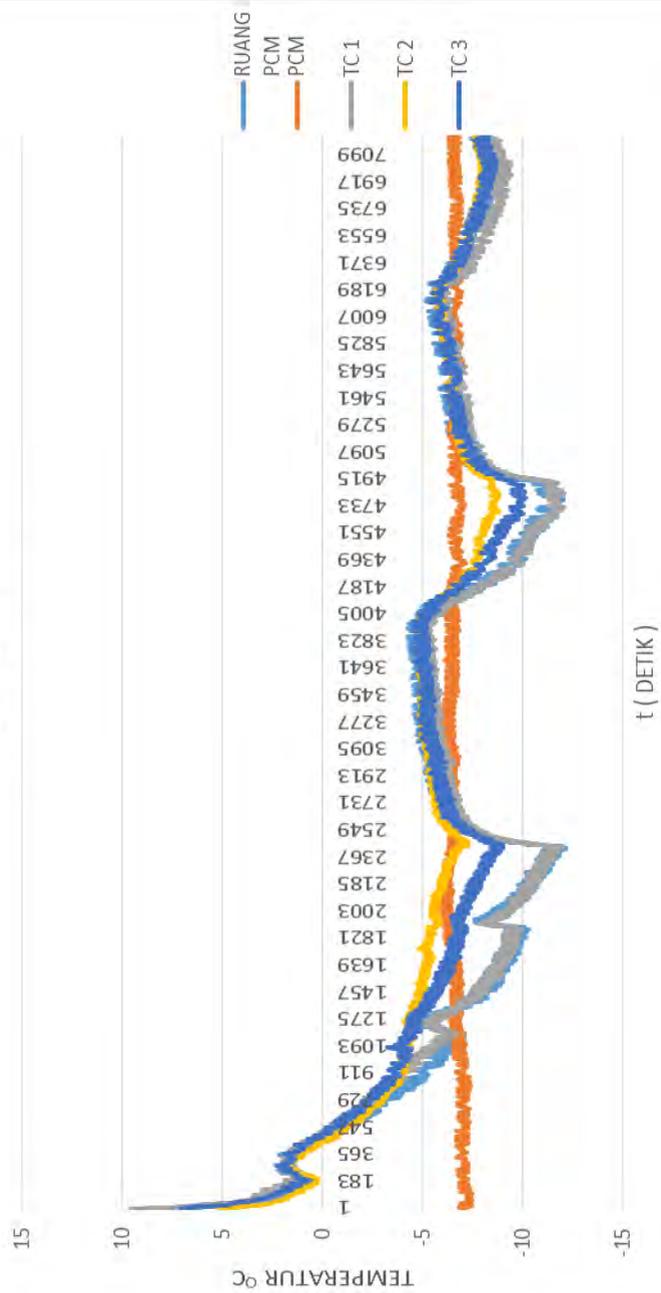


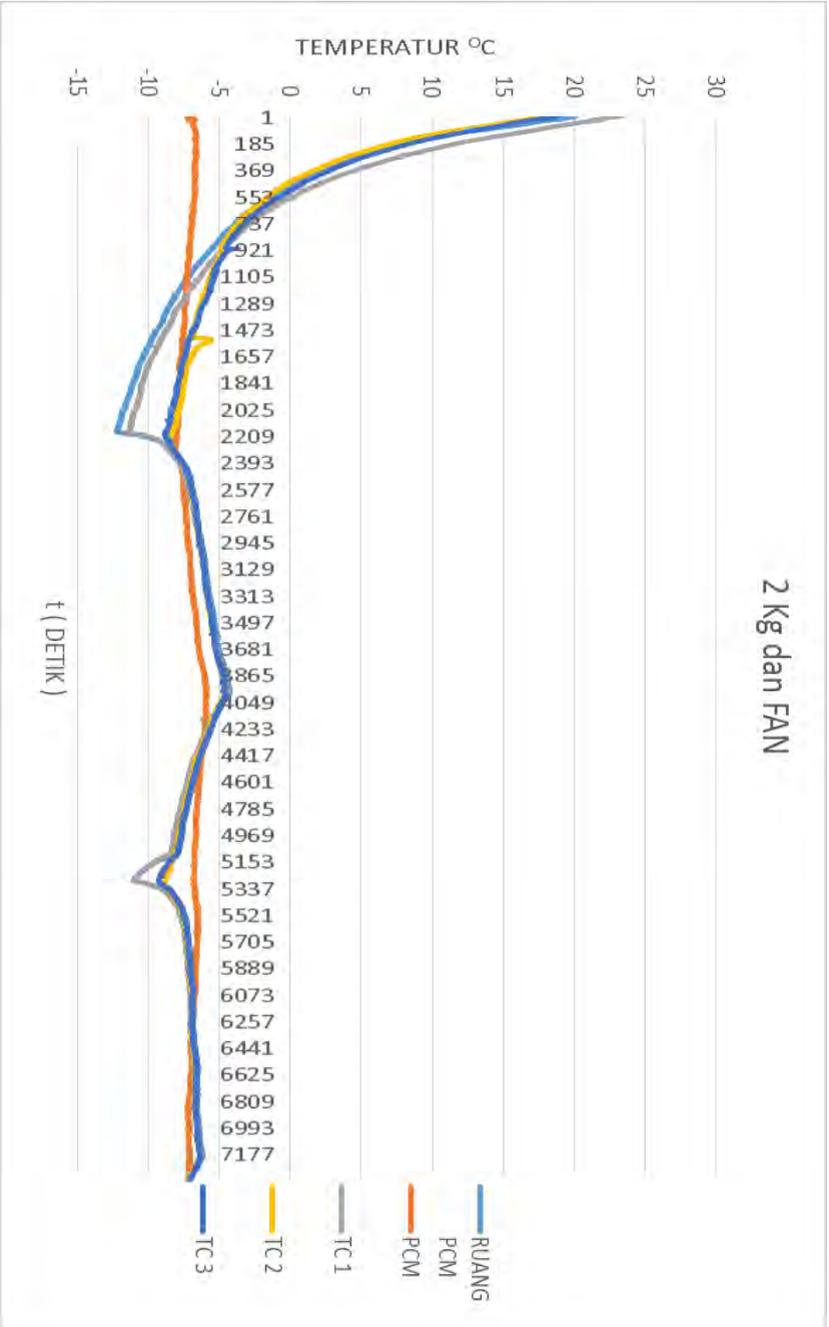






1 Kg dengan FAN





Grafik Pendinginan dan Pencairan RT - 4



“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan “

Lampiran 2 Spesifikasi PCM

RT-4



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4°C and 100°C

The most important data:

Melting area

Typical Values
-7 bis -3 $^{\circ}\text{C}$
main peak: -4

Congeeing area

-4 bis -7 $^{\circ}\text{C}$
main peak: -4

Heat storage capacity $\pm 7,5\%$

180 $[\text{kJ/kg}]^*$

Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of -8°C to 7°C .

50 $[\text{Wh/kg}]^*$

Specific heat capacity

2 $[\text{kJ/kg}\cdot\text{K}]$

Density solid

0,88 $[\text{kg/l}]$

at -15°C

Density liquid

0,76 $[\text{kg/l}]$

at 15°C

Heat conductivity (both phases)

0,2 $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$

Volume expansion

13,63 $[\%]$

Flash point (PCM)

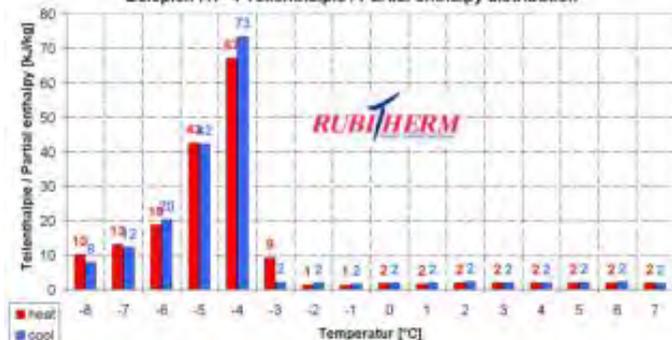
96 $^{\circ}\text{C}$

Max. operation temperature

30 $^{\circ}\text{C}$



Beispiel: RT-4 Teilenthalpie / Partial enthalpy distribution



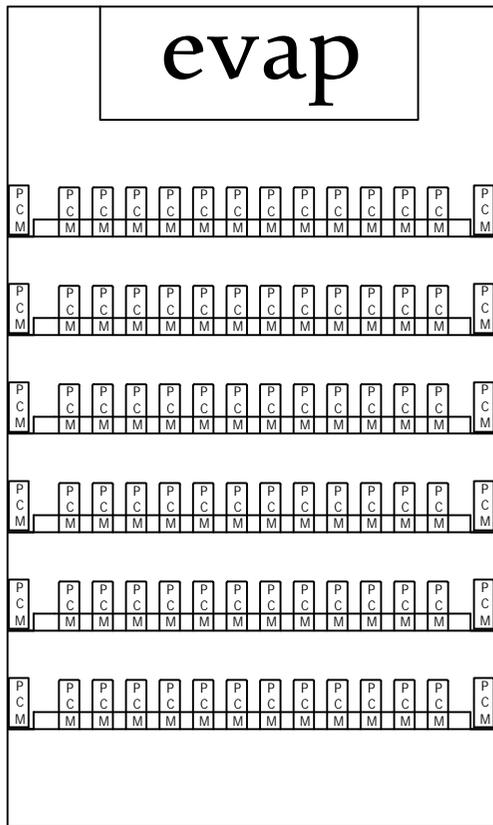
*Measured with 3-layer-calorimeter.

Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 5a
D-12277 Berlin
Tel: +49 30 720004-02
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

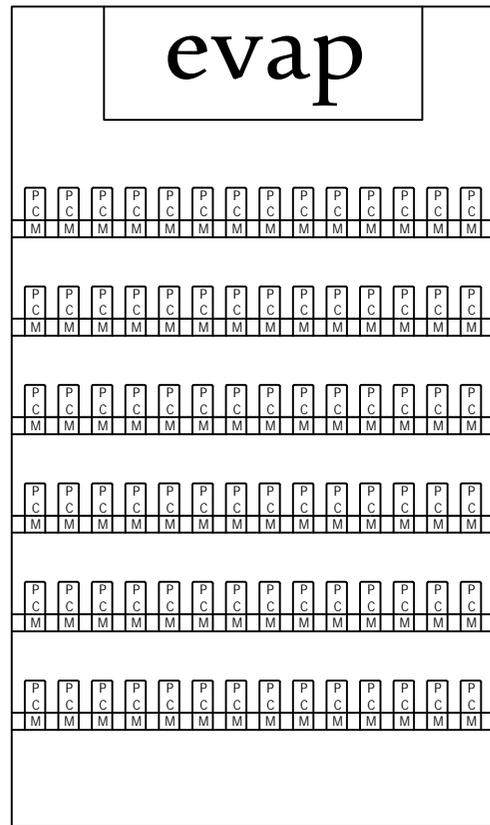
The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 13.02.2015

Lampiran 3 Detail Perhitungan Ekonomis

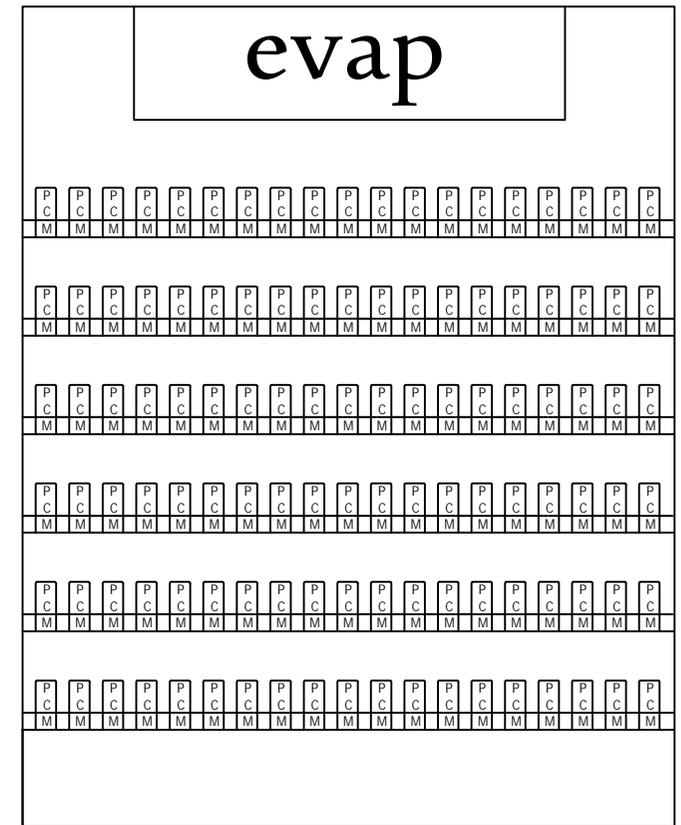
Konfigurasi Peletakan PCM Pada *Cold Storage*



Tampak Depan



Dinding Belakang



Dinding Samping

1. Kalor Produk Ikan

$$\text{masa} = 2000 \text{ kg}$$

$$T_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C} = 263 \text{ K}$$

$$T_2 = -5 \text{ }^\circ\text{C} = 268 \text{ K}$$

$$C = 0.41 \text{ BTU/LbF} = 2970 \text{ J/Kg K (engineeringtoolbox.com)}$$

$$t = 70 \text{ menit} = 4200 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C \cdot \Delta T \\ &= 5 \cdot 2970.5 \\ &= 29700000 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= Q / t \\ &= 74250 / 4200 \\ &= 7071.428571 \text{ Joule/detik} \end{aligned}$$

2. Kalor Melalui Dinding

Ketebalan Material

$$\text{A. polyuerthane} = 0.1 \text{ m}$$

Konduktifitas Termal Bahan

A. polyurthane = 0.023 Kkal/jam m °C

engineeringtoolbox.com

B. Dimensi

Dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
Dinding 1	2.5	1.3	3.25
Dinding 2	2.5	1.3	3.25
Dinding 3	2.5	2.4	6
Dinding 4	2.5	2.4	6
Lantai	2.4	1.3	3.12
Atas	2.4	1.3	3.12

C. Perhitungan

1. Dinding 1

Asumsi temperatur udara luar = 30 °C

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Mencari nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}}$$

f	=	Koef Konveksi Udara
f _i	=	0 kkal/hr m ² °C
f _o	=	0 kkal/hr m ² °C

$$U = \frac{1}{1/0.0024 + 0.1/0.023 + 1/0.0024}$$

$$= 0.011404959 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ °C}$$

$$\begin{aligned}
 q &= A \cdot U \cdot \Delta T \\
 &= 3.25 \times 0.01140496 \times 40 \\
 &= 1.4826446 \text{ kkal/hr} = 6203.4 \text{ Joule/hr} = 1.72316 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

2. Dinding 2

Asumsi temperatur udara luar = 30 °C

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Mencari nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}}$$

f = Koef Konveksi Udara

$$f_i = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_o = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{1}{1/0.0024 + 0.1/0.023 + 1/0.0024}$$

$$= 0.012 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 q &= A \cdot U \cdot \Delta T \\
 &= 3.25 \times 0.012 \times 40 \\
 &= 1.56 \text{ kkal/hr} = 6527 \text{ Joule/hr} = 1.81307 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

3. Dinding 3

Asumsi temperatur udara luar = 30 °C

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Mencari nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}}$$

f = Koef Konveksi Udara

$$f_i = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_o = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{1}{1/0.0024 + 0.1/0.023 + 1/0.0024}$$

$$= 0.012 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 q &= A \cdot U \cdot \Delta T \\
 &= 6 \times 0.012 \times 40 \\
 &= 2.88 \text{ kkal/hr} = 12050 \text{ Joule/hr} = 3.3472 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

4. Dinding 4

Asumsi temperatur udara luar = 30 °C

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Mencari nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}}$$

f	=	Koef Konveksi Udara
f _i	=	0.024 kkal/hr m ² °C
f _o	=	0.024 kkal/hr m ² °C

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{1/0.0024 + 0.1/0.023 + 1/0.0024} \\
 &= 0.012 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ °C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= A \cdot U \cdot \Delta T \\
 &= 6 \times 0.012 \times 40 \\
 &= 2.88 \text{ kkal/hr} = 12050 \text{ Joule/hr} = 3.3472 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

5. Lantai

Asumsi temperatur udara luar = 30 °C

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Mencari nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_o}}$$

f = Koef Konveksi Udara

$$f_i = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_o = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{1}{1/0.0024 + 0.1/0.023 + 1/0.0024}$$

$$= 0.012 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 q &= A \cdot U \cdot \Delta T \\
 &= 3.12 \times 0.012 \times 35 \\
 &= 1.4976 \text{ kkal/hr} = 6266 \text{ Joule/hr} = 1.74054 \text{ Joule/detik}
 \end{aligned}$$

6. Atas

Asumsi temperatur udara luar = 30 °C

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Mencari nilai U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{1}{f_0}}$$

f = Koef Konveksi Udara

$$f_i = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_o = 0.024 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{1}{1/0.024 + 0.1/0.023 + 1/0.024}$$

$$= 0.012 \text{ kkal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} q &= A \cdot U \cdot \Delta T \\ &= 3.12 \times 0.012 \times 40 \\ &= 1.4976 \text{ kkal/hr} = 6266 \text{ Joule/hr} = 1.74054 \text{ Joule/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total } q \text{ melalui dinding} &= q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \\ &= 13.7117172 \text{ Joule/detik} \end{aligned}$$

Maka Q yang melalui dinding jika pendinginan selama $t = 70$ menit adalah 57589.2122 Joule

Total Q sistem rancangan adalah Q produk + Q melalui dinding = 29757589.21 Joule

Jumlah PCM yang digunakan

$$\begin{aligned} Q_{\text{PCM}} &= Q_{\text{Beban} + \text{Sistem}} \\ m \cdot L &= 29757589.21 \text{ Joule} \\ m \cdot 150000 &= 29757589.21 \text{ Joule} \\ m &= 198.3839 \text{ Kg} \end{aligned}$$

1. Perhitungan Kebutuhan PCM untuk Cold Storage

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

$$\text{Kebutuhan PCM} = 198.4 \text{ Kg}$$

2. Perhitungan CAPEX (Capital Expenditures)

No	Keperluan	jmlh	satuan	Harga Satuan	Total
<i>Biaya Modifikasi Cold Storage</i>					
1	<i>Stainless Steel plate</i>	32	m	Rp174,000.00	Rp5,568,000.00
	Jasa Pembuatan dan Pemasangan	1	Set	Rp4,000,000.00	Rp4,000,000.00
	<i>Total biaya modifikasi Cold Storage</i>				Rp9,568,000.00
2	PCM	198	kg	Rp130,000.00	Rp25,789,910.65
3	Botol PET 1000ml	198	buah	Rp1,700.00	Rp337,252.68
Total CAPEX					Rp35,695,163.33

* PCM AU\$ 13 / Kg (1 AU\$ = Rp. 10.000,00)

3. Biaya OPEX (Operasional Expenditures)

No	Keperluan	jmlh	satuan	Total
1	Maintenance Cost	1	kali/tahun	Rp1,784,758.17

* Biaya *Annual* Maintenance tidak boleh lebih 5% dari total biaya invest sumber : Sondalini,2001

No	Keperluan	jmlh	satuan	Total
Operasional				
1	Pembelian stock PCM	2	Kg	Rp260,000.00
2	<i>Perhitungan Biaya Listrik</i>			
	Biaya Listrik / Tahun	1	Tahun	Rp4,183,142.40
	Penghematan / Tahun	1	Tahun	Rp2,971,142.70
Total Biaya Listrik / tahun				Rp1,211,999.70

* Penghematan Karena Kompresor OFF

** Konsep operasional penyewaan tanpa crew, crew disediakan oleh pihak penyewa

No	Tahun	Maintenance	Operasional	Total
1	Tahun 1	Rp1,784,758.17	Rp1,471,999.70	Rp3,256,757.86
2	Tahun 2	Rp1,784,758.17	Rp1,545,599.68	Rp3,330,357.85
3	Tahun 3	Rp1,784,758.17	Rp1,622,879.67	Rp3,407,637.83
4	Tahun 4	Rp1,784,758.17	Rp1,704,023.65	Rp3,488,781.82
5	Tahun 5	Rp1,784,758.17	Rp1,789,224.83	Rp3,573,983.00
6	Tahun 6	Rp1,784,758.17	Rp1,878,686.07	Rp3,663,444.24
7	Tahun 7	Rp1,784,758.17	Rp1,972,620.38	Rp3,757,378.54
8	Tahun 8	Rp1,784,758.17	Rp2,071,251.40	Rp3,856,009.56
9	Tahun 9	Rp1,784,758.17	Rp2,174,813.97	Rp3,959,572.13
10	Tahun 10	Rp1,784,758.17	Rp2,283,554.66	Rp4,068,312.83

*Asumsi inflasi pertahun 5% terjadi pada operasional

4. Revenue

No	Jenis Revenue	Jmlh	Satuan	Harga	Total
1	Persewaan Cold Storage harga Rp. 1.500.000 / bulan	12	Bulan	Rp1,500,000.00	Rp18,000,000.00

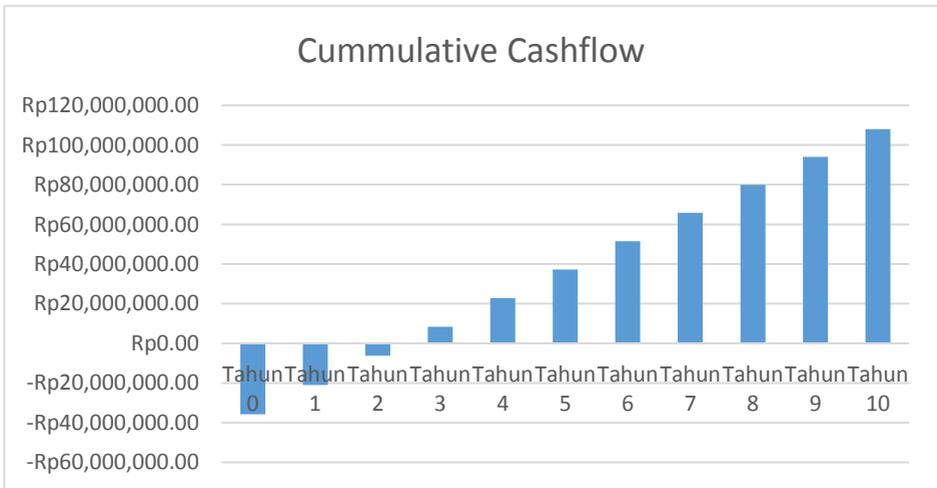
* Harga persewaan *cold storage* mengacu pada harga persewaan yang telah ada dengan ukuran yang sama

5. Perhitungan Cashflow

No	Tahun	CAPEX	OPEX	Revenue
1	Tahun 0	Rp35,695,163.33		
2	Tahun 1		Rp3,256,757.86	Rp18,000,000.00
3	Tahun 2		Rp3,330,357.85	Rp18,000,000.00
4	Tahun 3		Rp3,407,637.83	Rp18,000,000.00

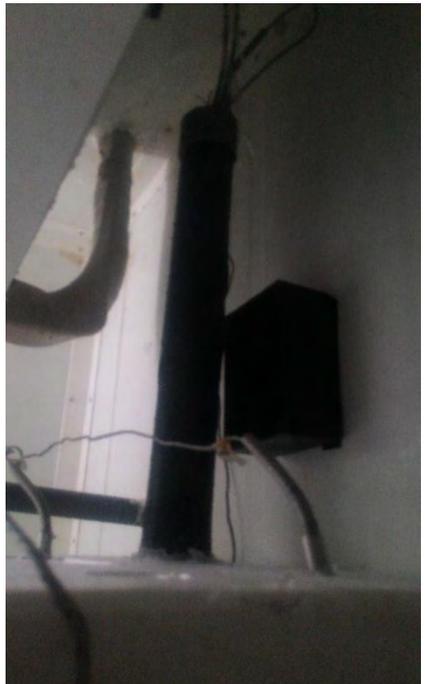
5	Tahun 4		Rp3,488,781.82	Rp18,000,000.00
6	Tahun 5		Rp3,573,983.00	Rp18,000,000.00
7	Tahun 6		Rp3,663,444.24	Rp18,000,000.00
8	Tahun 7		Rp3,757,378.54	Rp18,000,000.00
9	Tahun 8		Rp3,856,009.56	Rp18,000,000.00
10	Tahun 9		Rp3,959,572.13	Rp18,000,000.00
11	Tahun 10		Rp4,068,312.83	Rp18,000,000.00

No	Tahun	Cash Flow	Cummulative Cashflow
1	Tahun 0	-Rp35,695,163.33	-Rp35,695,163.33
2	Tahun 1	Rp14,743,242.14	-Rp20,951,921.19
3	Tahun 2	Rp14,669,642.15	-Rp6,282,279.04
4	Tahun 3	Rp14,592,362.17	Rp8,310,083.13
5	Tahun 4	Rp14,511,218.18	Rp22,821,301.31
6	Tahun 5	Rp14,426,017.00	Rp37,247,318.31
7	Tahun 6	Rp14,336,555.76	Rp51,583,874.07
8	Tahun 7	Rp14,242,621.46	Rp65,826,495.53
9	Tahun 8	Rp14,143,990.44	Rp79,970,485.96
10	Tahun 9	Rp14,040,427.87	Rp94,010,913.83
11	Tahun 10	Rp13,931,687.17	Rp107,942,601.00



Lampiran 4 Foto Kegiatan Percobaan

1. *Set up* Peralatan

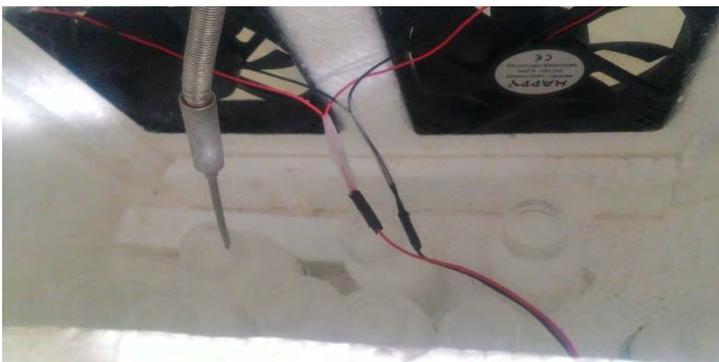


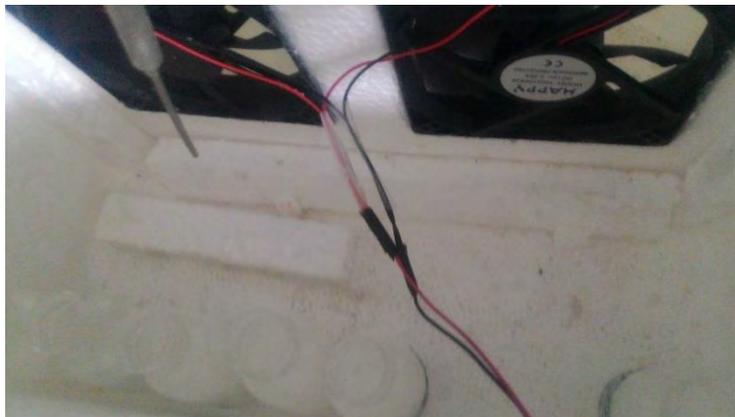
2. Praktikum Tanpa Sirkulasi Udara





3. Praktikum Dengan Sirkulasi Udara





BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

V.1 Kesimpulan

1. *Phase Change Material* menyerap sejumlah kalor latent yang ada didalam *cool box* sehingga kenaikan temperatur didalam *cool box* dapat ditahan. Berdasarkan hasil percobaan semakin banyak jumlah PCM yang digunakan maka kenaikan temperatur didalam *cool box* semakin lama dapat ditahan.
2. Adanya sirkulasi udara didalam sistem membuat kemampuan mempertahankan temperatur menurun. Hasil percobaan lama waktu temperatur naik rata – rata secara berurutan untuk percobaan penggunaan PCM 0,5 Kg, 1 kg, 2 Kg adalah 19 menit, 23,5 menit, dan 31 menit. Hal ini disebabkan penggunaan *fan* yang menghasilkan panas dari motornya dan panas dari udara yang bergesekan.
3. Hubungan jumlah PCM adalah linear yang artinya semakin banyak menggunakan PCM maka semakin lama pula dapat mempertahankan temperatur. Hasil percobaan lama waktu temperatur naik rata – rata secara berurutan untuk percobaan penggunaan PCM 0,5 Kg, 1 kg, 2 Kg adalah 32,33 menit, 41,66 menit, dan 70,33 menit. Akan tetapi jika hanya menggunakan PCM tanpa sirkulasi udara maka temperatur dingin tidak tersebar secara merata.
4. Penggunaan PCM pada percobaan ini membuat biaya penggunaan listrik akibat penyalaan kompressor dapat dilakukan penghematan lebih besar dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem konvensional hanya dapat menghemat Rp. 25.676,03 perbulan sedangkan penggunaan 2 Kg PCM dapat menghemat Rp. 237.830,91 per bulan.

V.2 Saran

1. *Apparatus* perlu dilakukan penambahan *automatic flap window* guna mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Penambahan ini dianggap perlu karena pada percobaan yang telah dilakukan dinding – dinding *cool box* diberikan lubang untuk mempermudah *equilibrium* dengan *cold storage* namun hasilnya tidak maksimal.
2. Karena PCM yang digunakan ini tidak memiliki *data sheet* mengenai ukuran *box* yang sesuai per satuan masa PCM maka dapat dilakukan pula percobaan untuk mengetahui ukuran *box* yang sesuai dengan jumlah PCM.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, MD Mansoor et all. 2013. *Design and Fabrication of Cold Storage Plant Using Phase Change Material (PCM)*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol 2 Issue 9 September 2013.
- Anonim. 2016. *Spesific Heat of Food and Foodstuffs*. www.engineeringtoolbox.com/spesific-heat-capacity-food--d_295.html. 8 Februari 2016 (09.30)
- Cahyono, W Eko. 2005. *Pengaruh Penipisan Ozon Terhadap Kesehatan Manusia*. LAPAN
- Evans, Judith. 2012. *Cold storage of food Review of available information on energy consumption and energy savings options*. <http://www.grimsby.ac.uk/documents/defra/stor-coldstorescasestudy.pdf>
- Fang. G.Y. 2002. *Study on Thermal Properties of A New Phase Change Cool Storage Material*. International Journal on Architectural Science, Volume 4, Number 4, p.147-149, 2003
- Gin.Benjamin. 2010. *Modelling of Phase Change Material Implemented Into Cold Storage Application*. Purdue University Purdue e-pubs , International High Performance Buildings Conference 2010
- Holman, J P. 1986. *Heat Transfer (6th Ed)*. McGraw-Hill, Ltd. Terjemahan Ir. E Jasjfi, M.Sc. 1997. *Perpindahan Panas (6th Ed)*. Erlangga. Jakarta

- Kementrian Kelautan dan Perikanan. 2014. *Laporan Kinerja Kementrian Kelautan dan Perikanan tahun 2014*. KKP Republik Indonesia
- Kementrian Perdagangan. 2015. *Produksi dan perdagangan Indonesia*. http://inatrimis.kemendag.go.id/id/product/detail/produksi-dan-perdaganga_indonesia_191/?market=eu. 07 Desember 2015 (10.00)
- Leducq. D et all . 2014. *Phase Change Material for Thermal Protection of Ice Cream During Storage and Transportation*. international journal of refrigeration 52 (2015) 133e139, 30 August 2014
- M.Bal, lalit et all. 2009. *Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review*. ScienceDirect 8 February 2010
- Ratri, Maria Elga. 2014. *Potensi Besar Bisnis Cold Storage*. <http://industri.kontan.co.id/news/potensi-besar-bisnis-cold-storage>. 07 Desember 2015 (11.00)
- Sayogyo, Adi. 2006. *Studi Media Pendingin Ikan Pada Kapal Ikan Tradisional*. Tugas Akhir S-1, Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya
- Sharma. Amandeep et all. 2014. *Comparative Study on Phase Changing Material for Refrigeration Effect for milk Chilling*. CIGR Journal, Vol. 16, No.3 189 , September, 2014
- US Department of Energy. 1992 . *DOE Fundamentals Handbook Thermodynamics, Heat transfer, and Fluid Flow Volume 1 of 3*. US Department of Energy

Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Parit Benut Kabupaten Karimun Provinsi Kepulauan Riau pada tanggal 18 Agustus 1994. Penulis merupakan anak ke empat dari empat bersaudara. Terlahir dengan nama Taufiqurrahman dari pasangan Saiman dan Hasnah. Penulis menempuh pendidikan formal di SD N 003 Sungai Raya Meral Karimun, SLTP N 2 Tebing Binaan Karimun, SMA N 4 Binaan Karimun. Setelah lulus SMA di tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang keahlian *Marine Machinery and System* (MMS). Selama perkuliahan penulis aktif di beberapa organisasi diantaranya Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Kerukunan Pelajar Mahasiswa Kepulauan Riau – Surabaya, dan Ikatan Pelajar Mahasiswa Kabupaten Karimun – Surabaya. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek selama satu bulan di PT SAIPEM Indonesia Karimun Branch pada tahun 2014 dan PT TIMAH (Persero) Tbk unit Kundur pada tahun 2015.

Taufiqurrahman

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS

Taufiqurrahman180894@gmail.com