



**SKRIPSI - ME184834**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN EUTECTIC PHASE  
CHANGE MATERIAL OLEH PENGARUH MEDAN MAGNET**

**Atfal Afandi  
NRP. 04211540000068**

**Dosen Pembimbing  
Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**





SKRIPSI - ME184834

**STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN *EUTECTIC PHASE CHANGE* MATERIAL OLEH PENGARUH MEDAN MAGNET**

Atfal Afandi  
NRP 04211540000068

Dosen Pembimbing  
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D.  
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**BACHELOR THESIS - ME184834**

**EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING EUTECTIC PHASE  
CHANGE MATERIAL BY EFFECTS OF MAGNETIC FIELDS**

Atfal Afandi  
NRP 04211540000068

Supervisor  
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D..  
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENDINGINAN *EUTECTIC PHASE CHANGE MATERIAL* OLEH PENGARUH MEDAN MAGNET**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**Atfal Afandi**

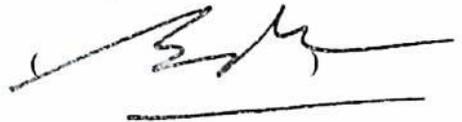
NRP. 0421154000068

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:

Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D.



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI EKSPERIMENTAL PENGINGINAN *EUTECTIC PHASE CHANGE MATERIAL* OLEH PENGARUH MEDAN MAGNET

#### SKRIPSI

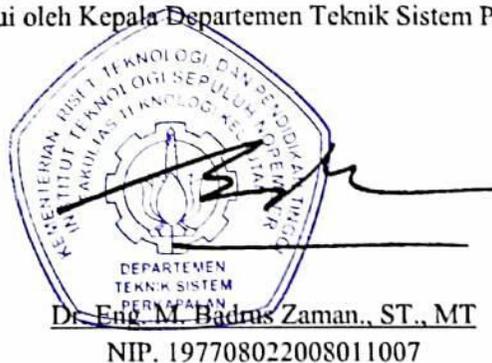
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery System (MMS)*  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Atfal Afandi**

NRP. 04211540000068

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## Studi Eksperimental Pendinginan Eutectic Phase Change Material Oleh Pengaruh Medan Magnet

**Nama Mahasiswa** : Atfal Afandi  
**NRP** : 0421154000068  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D  
**Dosen Pembimbing 2** : Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

### Abstrak

Perhitungan besaran konsumsi energi menyatakan “*Air Conditioner* merupakan komponen yang menyumbang emisi gas rumah kaca. Dari sebuah gedung vertikal, 70% konsumsi energi disumbang oleh *Air Conditioner*”. Begitu juga dengan penyerapan energi listrik di Kapal penumpang hampir 75% energi listrik digunakan untuk sistem *Air Conditioning*. Sistem pendingin menggunakan *Phase Change Material* tipe *eutectic salt water* dipengaruhi medan magnet pada penelitian ini diharapkan mampu menjadi alternatif lain dari *sistem refrigan* dan *Air Conditioning* sehingga dapat memberikan solusi pada penghematan energi dan pengurangan dampak negatif bagi keberlangsungan hidup lingkungan sekitar. Eksperimen sederhana diharapkan mampu menunjang data data yang dibutuhkan untuk menjawab tujuan penelitian ini. Dari hasil studi eksperimen menunjukkan bahwa medan elektromagnetik dengan variasi kuat arus memberikan pengaruh pada temperatur Eutectic Phase Change Material. Temperatur titik beku *Eutectic Phase Change Material* mengalami kenaikan sesuai dengan penambahan kuat arus disetiap konsentrasi *Eutectic Phase Change Material* yang digunakan. Hal ini terjadi karena adanya kalor yang dihasilkan oleh elektromagnetik, kalor terjadi karena energi yang dihasilkan oleh inti besi dan kumparan yang telah mengubah sebagian energi listrik yang dihasilkan menjadi energi panas.

Kata kunci: *Phase Change Material*, Listrik, dan Medan Magnet

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Experimental Study of Cooling Eutectic Phase Change Material by Effects of Magnetic Fields**

**Name of Student** : Atfal Afandi  
**NRP** : 0421154000068  
**Departement** : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
**Supervisor 1** : Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D  
**Supervisor 2** : Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

### Abstract

Regarding the amount of energy consumption states "Air Conditioner is a component that contributes to greenhouse gas emissions. From a vertical building, 70% of energy consumption is contributed by Air Conditioners ". Likewise, with the absorption of electrical energy in passenger ships, almost 75% of electrical energy is used for the Air Conditioning system. A cooling system using Phase Change Eutectic saltwater type material influenced by magnetic fields is expected to be an alternative to refreshing and air conditioning systems so that it can provide solutions to energy savings and reduction of negative impacts for the survival of the surrounding environment. Simple experiments are expected to be able to support the data's needed to answer the purpose of this study. From the results of experimental studies showing that electromagnetic fields with strong currents variations influence the temperature of the Eutectic Phase Change Material The freezing point temperature of the Eutectic Phase Change Material has increased according to the increase in current strength of each Eutectic Phase Change Material concentration used. This occurs because of the heat produced by electromagnetic energy, heat occurs because of the energy produced by iron cores and coils that have transformed some of the electricity produced into heat energy.

*Keywords: Phase Change Material, Electricity, and Magnetic Field*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT karena atas karuniaNya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Studi Eksperimental Pendinginan Eutectic Phase Change Material Oleh Pengaruh Medan Magnet** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dan dorongan dari pihak lain rasanya sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Adik dan seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberi dukungan, motivasi, dan saran membangun dalam melewati masa perkuliahan.
2. Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 yang selalu memberi bimbingan, nasihat, dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan dan selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberi arahan dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST.,M,Sc selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan nasehat mengenai perkuliahan.
5. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc. selaku kepala Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem yang telah memberikan tempat dalam pengerjaan tugas akhir.
6. Rekan-Rekan MMS dan MPP yang selalu menjadi penghibur dan pendukung dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Salvage 15 yang selalu memberi masukan dan dukungan selama masa perkuliahan serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaah. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat di harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. akhirnya penulis berharap semoga apa yang telah penulis selesaikan ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 11 Juli 2019

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Struktur Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
1.1 Definisi <i>Phase Change Material</i> (PCM) .....	5
1.1.1 Klasifikasi PCM .....	5
1.1.2 PCM <i>Eutectic Salt Water</i> .....	11
1.1.3 Fenomena <i>Supercooling</i> .....	14
1.2 Definisi Listrik.....	15
1.3 Definisi Medan Magnet .....	16
1.4 Ringkasan Paper .....	22
1.4.1 Effect of magnetic field on the physical properties of water.....	22
1.6.1 Magnetically stirring enhanced thermal performance of phase change material.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	27
3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	27
3.2 Methodology Explanation.....	28
3.2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	28
3.2.2 Studi Literatur.....	28
3.2.3 Pengumpulan Data.....	28
3.2.4 Studi Empiris.....	28
3.2.5 Perancangan Sistem Eksperimental Aparatus .....	28
3.2.6 Pengambilan Data.....	30
3.2.7 Kesesuaian Desain.....	30
3.2.8 Analisa Data .....	30
3.2.9 Kesimpulan dan Saran.....	31

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1 Pembuatan Spesimen Uji .....	33
4.1.1 Pembuatan <i>Phase Change Material Eutectic Salt Water</i> .....	33
4.1.2 Perancangan Aparatus .....	36
4.1.3 Eksperimen Pendinginan Eutectic Phase Change Material Oleh Pengaruh Medan Magnet .....	38
4.2 Hasil Uji Larutan.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	45
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 PCM Parafin .....	6
Gambar 2. 2 Garam .....	9
Gambar 2. 3 Gallium.....	10
Gambar 2. 4 Eutectic salt water.....	12
Gambar 2. 5 diagram fasa larutan eutectic air garam.....	13
Gambar 2. 6 Pengaruh supercooling pada penyimpanan panas .....	15
Gambar 2. 7 Kaidah Kotrex Maxwell .....	16
Gambar 2. 8 Kaidah Tangdan Kanan Maxwell .....	17
Gambar 2. 9 Garis Gaya Magnet.....	17
Gambar 2. 10 Reaksi Gaya Bio-Savart.....	18
Gambar 2. 11 Arah Gaya Lorenz .....	21
Gambar 2. 12 Diagram skema rencana percobaan .....	23
Gambar 2. 13 Diagram skematik prinsip sistem kerja SDT-Q600.....	23
Gambar 2. 14 Diagram skema rencana percobaan .....	25
Gambar 2. 15 Grafik Perubahan suhu .....	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	27
Gambar 3. 2 Rencana Desain Eksperimen .....	29
Gambar 3. 3 skema pengambilan data Phase Change Material tanpa perlakuan .....	29
Gambar 3. 4 skema pengambilan data Phase Change Material dengan perlakuan .....	30
Gambar 4. 1 Larutan garam berbgai macam konsentrasi .....	33
Gambar 4. 2 Massa Garam.....	35
Gambar 4. 3 Air dalam Gelas ukur.....	35
Gambar 4. 4 Campuran Air dan Garam .....	35
Gambar 4. 5 Wadah Phase Change Material dalam freezer .....	36
Gambar 4. 6 eutectic salt water dalam fase es.....	36
Gambar 4. 7 eksperimen aparatus .....	37
Gambar 4. 8 pengambilan data.....	38
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan titik beku data eksperimen dengan data pembanding.....	39
Gambar 4. 10 Grafik Temperatur eutectic phase change material .....	40
Gambar 4. 11 Grafik temperatur larutan pada arus 0A .....	41
Gambar 4. 12 Grafik temperatur larutan pada arus 72mA .....	41
Gambar 4. 13 Grafik temperatur larutan pada arus 188mA .....	42
Gambar 4. 14 Grafik temperatur larutan pada arus 349mA .....	42
Gambar 4. 15 Grafik Temperatur ruangan box tanpa perlakuan.....	43
Gambar 4. 16 Grafik Temperatur ruangan box pada arus 349mA .....	44

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Titik leleh dan panas pelebaran laten beberapa jenis paraffin.....	6
Tabel 2. 2 Titik leleh dan panas pelebaran laten beberapa non paraffin .....	7
Tabel 2. 3 Titik leleh dan panas pelebaran laten beberapa asam lemak.....	7
Tabel 2. 4 Titik leleh dan panas pelebaran laten beberapa hidrat garam .....	9
Tabel 2. 5 Titik leleh dan panas pelebaran laten beberapa metallic.....	10
Tabel 2. 6 Daftar PCM kombinasi organic – anorganik.....	11
Tabel 2. 7 Sifat termokimia pada Natrium Clorida (NaCl) .....	13
Tabel 2. 8 Temperature titik beku Natrium Clorida (NaCl).....	14
Tabel 4. 1 Massa Natrium Clorida (NaCl) tiap – tiap konsentrasi .....	34
Tabel 4. 2 Kekuatan medan magnet pada setiap arus.....	38
Tabel 4. 3 Perbandingan titik beku data eksperimen dengan data pembanding .....	39
Tabel 4. 4 Temperatur eutectic phase change material setiap larutan pada tiap-tiap kuat arus.....	40

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Konsumsi energi telah menjadi aspek penting dalam kehidupan yang semakin mengandalkan alat bantu mesin. Biaya energi dan masalah mental lingkungan telah menjadikan optimisasi energi sebagai masalah kritis. Oleh karena itu, efisiensi energi adalah aspek utama dalam mengurangi biaya dan juga emisi pemanasan global. Perhitungan besaran konsumsi energi disampaikan Prof Ari Darmawan Pasek, ahli refrigerasi dan energi biomassa menyatakan “Air Conditioner merupakan komponen yang menyumbang emisi gas rumah kaca. Dari sebuah gedung vertikal, 70% konsumsi energi disumbang oleh Air Conditioner”. Begitu juga dengan penyerapan energi listrik di Kapal penumpang hampir 75% energy listrik digunakan untuk sistem Air Conditioning. Oleh karena itu, jika Air Conditioner tidak hemat energi, sulit untuk bisa benar-benar meredam Emisi gas rumah kaca yang dapat mengancam terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. Emisi gas rumah kaca dari sektor komersial diperkirakan sekitar 0,7% (3,8 juta ton CO<sub>2</sub>) dari emisi total sebesar 540 juta ton CO<sub>2</sub> (Sugiyono, et al., 2014). Teknologi refrigerasi bertanggung jawab 15% dari seluruh listrik yang dikonsumsi di dunia (Coulomb, 2018) dan sekitar 72% dampak pemanasan global dari sistem refrigerasi adalah karena konsumsi energi (Cowan, et al., 2010). Kedua bentuk ancaman ini akan memperburuk lingkungan kehidupan manusia dan membahayakan kesehatan serta memperpendek keberlangsungan kehidupan manusia. Dalam konteks ini, para peneliti terus berusaha mencari teknologi alternatif baru untuk menghemat kebutuhan energi pada Air Conditioner baik dengan meminimalkan kerja dari Air Conditioning hingga mencapai energi yang efisien, seperti menggunakan sistem hybrid dengan penambahan material lain, dan mengganti bahan CFC dengan senyawa kimia lain seperti Hydrocarbon Refrigerant (Natural Refrigerant). Selain itu beberapa penelitian menyebutkan potensi medan magnet sebagai alternatif pendinginan yang dapat diteliti lebih mendalam lagi.

Medan magnet adalah suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menyebabkan munculnya gaya di muatan listrik yang bergerak lainnya dan memberikan beberapa effect yang akan mempengaruhi keadaan disekitarnya. Beberapa makalah melaporkan bahwa medan magnet dapat mengubah sifat fisikokimia air. ketika air dilewati oleh medan magnet ada beberapa sifat air yang mengalami perubahan, seperti meningkatnya konduktivitas, mengurangi tegangan permukaan air, mengurangi koefisien gesek dan lain sebagainya.

Dalam study ini Medan magnet akan dilewatkan pada larutan air dengan garam atau bisa disebut dengan Phase Change Material tipe eutectic salt water yang merupakan material yang dapat menyimpan energi baik energi panas atau dingin yang paling efisien. PCM dapat digunakan untuk penyimpanan energi dan mengontrol suhu. PCM menjadi menarik karena mempunyai kelebihan yaitu perbandingan yang cukup tinggi antara panas yang dilepaskan dengan variasi suhu.

PCM untuk aplikasi freezer bisa dari bahan parafin, larutan garam, atau material yang berbahan dasar air (Dan, et al., 2012). Untuk PCM dari larutan garam, titik beku dan titik leburnya dapat diturunkan dengan meningkatkan konsentrasi larutannya. Tetapi makin rendah titik leburnya maka makin korosif dan kalor latennya semakin rendah dibandingkan dengan air (Oró, et al., 2012). Sampai saat ini sudah mulai banyak diteliti penggunaan bahan minyak sayur sebagai nucleating agents yang dilarutkan ke dalam air dan mampu menurunkan titik beku di bawah 0°C.

Sistem pendingin menggunakan Phase Change Material tipe eutectic salt water dipengaruhi medan magnet pada penelitian ini diharapkan mampu menjadi alternatif lain dari sistem refrigen dan Air Conditioning sehingga dapat memberikan solusi pada penghematan energi dan pengurangan dampak negatif bagi keberlangsungan hidup lingkungan sekitar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang skripsi ini, penulis dapat menyatakan beberapa masalah seperti di bawah ini:

1. Bagaimana pengaruh medan magnet pada Phase Change Material (PCM)?
2. Berapa tingkat perubahan suhu pada Phase Change Material (PCM) akibat medan magnet?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat untuk menentukan batasan penelitian yang jelas, agar ruang lingkup penelitian ini lebih fokus penulis telah menetapkan batasan penelitian yang akan ditetapkan:

1. Phase Change Material (PCM) yang digunakan adalah eutectic salt water yang merupakan campuran air dengan garam dapur dengan berbagai macam konsentrasi
2. Menggunakan garam dapur yang memiliki senyawa Natrium Clorida (NaCl) dengan kandungan 95%
3. Magnet yang digunakan adalah elektromagnetik

## 1.4 Tujuan Penelitian

Dari masalah yang telah dinyatakan dalam tesis sarjana ini, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh medan magnet pada *Phase Change Material* (PCM) *eutectic salt water*
2. Mengetahui tingkat penurunan/penambahan temperatur pada *Phase Change Material* (PCM) *eutectic salt water* akibat medan magnet

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kelebihan dan kekurangan sistem yang dibuat
2. Mengetahui adanya energi alternatif lain untuk penelitian selanjutnya.
3. Mengurangi penggunaan energi yang berlebih.

## **1.6 Struktur Penulisan**

Penulisan skripsi ini disusun berdasarkan beberapa bab untuk memudahkan pemahaman terhadap maksud dari laporan tugas akhir ini. Adapun sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang informasi umum yaitu latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan, tujuan, manfaat penelitian, dan struktur penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKAN DAN LANDASAN TEORI**

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan definisi yang diambil dari kutipan buku yang berkaitan dengan penyusunan laporan skripsi serta beberapa literature review yang berhubungan dengan penelitian.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan gambaran tentang masalah pada pemborosan energi, studi literatur yang membahas pemecahan masalah, pengumpulan data dari buku referensi ataupun internet, perancangan alat aperture untuk perlakuan percobaan, pemilihan bahan percobaan serta analisa hasil desain.

### **BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan analisa teknis dari data yang diambil dari percobaan dengan berbagai variasi yang dilakukan, dalam hal ini dilakukannya variasi bahan percobaan menggunakan Phase Change Material eutectic material dengan berbagai macam konsentrasi. Dan juga dilakukannya pembahasan secara lebih detail untuk diperoleh hasil yang sesuai dengan hipotesa yang ada.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan analisa dan optimalisasi berdasarkan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 Definisi *Phase Change Material* (PCM)**

Bahan-bahan berubah fasa atau selanjutnya dikenal sebagai Phase Change Material (PCM) yang juga seringkali disebut sebagai bahan-bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Meng & Jinlian, 2008). Perpindahan energi panas terjadi saat bahan berubah bentuk dari padat ke cair atau cair ke padat. Hal ini dinamakan perubahan bentuk atau perubahan fasa. Awalnya pada PCM padat-cair ini terjadi hal seperti bahan penyimpan konvensional dimana energi yang dilepaskan sesuai panas yang diserap. Tidak seperti halnya bahan penyimpan energi konvensional, PCM dapat menyerap dan melepaskan panas mendekati suhu konstan. PCM dapat melepaskan panas lebih 4-5 kali setiap satuan volume dibandingkan bahan penyimpan energi konvensional seperti air atau batu (Sharma, 2009).

##### **1.1.1 Klasifikasi PCM**

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

##### **PCM organik**

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

Paraffin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)-CH<sub>3</sub>. Kristalisasi dari rantai (CH<sub>3</sub>)- melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas paraffin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan

oleh rentang suhunya yang cukup luas. Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten parafin dapat dilihat pada Tabel 2.1.

*Tabel 2. 1 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis paraffin*

Jumlah Atom (C)	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan
14	5,5	228
15	10	205
16	16,7	237,1
17	21,7	213
18	28,0	244
19	32,0	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44,0	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,3	236
28	61,6	253

(Sharma, 2009)



*Gambar 2. 1 PCM Paraffin*

PCM dari bahan non parafin merupakan PCM yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti parafin yang mempunyai sifat hampir sama. Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari PCM. Di antara bahan-bahan non paraffin tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis-jenis glikol (Abbat, 1981) (Buddhi & Sawhney, 1994). Kelompok ini seringkali dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik nonparafin lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat nyala dan bahan pengoksidasi. Gambaran dari PCM non parafin dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan PCM asam lemak dapat dilihat pada Tabel 3.

*Tabel 2. 2 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non paraffin*

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan
Formic acid	7,8	247
Caprylic acid	16,3	149
Glycerin	17,9	198,7
a-Lactic acid	26	184
Methyl palmitate	29	205
Phenol	41	120
Bee wax	61,8	177
Gyolic acid	63	109
Azobenzene	67,1	121
Acrulyc acid	68,0	115
Glutaric acid	97,5	156
Catechol	104,3	207
Quenon	115	171
Benzoic acid	124	167
benzamide	127,2	169,4
Oxalate	54,3	178
Alpha naphtol	96	163

(Sharma, 2009)

*Tabel 2. 3 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak*

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan
Acetic acid	16,7	184
Poly ethylene glycol	20-25	146
Capric acid	36	152

Eladic acid	47	218
Lauric acid	49	178
Pentadecanoic acid	52,5	178
Tristearin	56	190
Mirystic acid	58	199
Palmitic acid	56	163
Stearic acid	69,4	199
aceamide	81	141

(Sharma, 2009)

### PCM anorganik

PCM anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat (salt hydrate) garam dan logam (metallic). PCM jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran.

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk padatan kristal tertentu dari formula umum  $AB \cdot nH_2O$ . Perubahan bentuk padat-cair dari hidrat garam merupakan sebuah proses dehidrasi dari hidrasi garam. Hidrat-hidrat garam biasanya meleleh menjadi sebuah hidrat garam dengan mol air yang sangat kecil.



atau menjadi bentuk anhidrat,

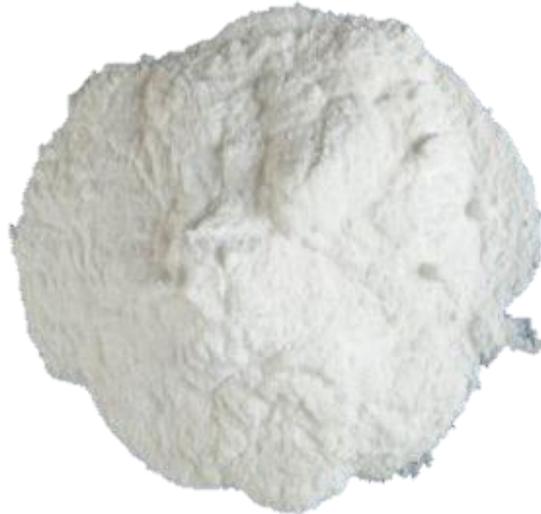


Pada titik lelehnya, kristal-kristal hidrat terpecah menjadi garam anhidrat dan air atau ke dalam hidrat yang lebih rendah dan air. Hidrat-hidrat garam merupakan jenis PCM yang paling penting dan banyak dipelajari pada sistem penyimpanan energi. Sifat-sifat yang paling menonjol dari PCM jenis ini adalah: panas peleburan laten per-satuan volume tinggi, konduktivitas panas relatif tinggi (hampir dua kali parafin) dan perubahan volume selama meleleh kecil. PCM jenis ini juga tidak terlalu korosif, kompatibel dengan plastik dan hanya beberapa jenis yang beracun. Banyak jenis hidrat garam yang harganya tidak terlalu mahal untuk digunakan sebagai penyimpan panas. Pada Tabel 4 dapat dilihat beberapa jenis PCM dari hidrat garam.

*Tabel 2. 4 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa hidrat garam*

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan
$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	14,0	109
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	21,0	105
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	25,5	148
$CaCl_2 \cdot 12H_2O$	27,0	174
$LiNO_3 \cdot 2H_2O$	29,8	296
$LiNO_3 \cdot 3H_2O$	30,0	267
$Na_2O_3 \cdot 10H_2O$	30,0	241
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32,0	173
$KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	32,4	138
$CaBR_2 \cdot 6H_2O$	33	124
$LiBr_2 \cdot 2H_2O$	34	134
$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	36,1	223

(Sharma, 2009)



*Gambar 2. 2 Garam*

Logam (Metallic) Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. PCM jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Di samping itu mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat. Daftar beberapa bahan metallic dapat dilihat pada Tabel 2.5.

*Tabel 2. 5 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa metallic*

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan
Galium-galium	29,8	-
Antimonic eutectic	,29.8	-
Gallium	30	80,3
Cerrolow eutectic	58	90,9
Bi-Cd-In eutectic	61	25
Cerrobend eutectic	70	32,6
Bi-Pb-Ib eutectic	70	29
Bi-Ib eutectic	72	25
Bi-Pb-tin eutectic	96	-
B-Pb eutectic	125	-

(Sharma, 2009).



*Gambar 2. 3 Gallium*

### **PCM kombinasi**

PCM kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi (George 1989). PCM jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen-komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan.

*Tabel 2. 6 Daftar PCM kombinasi organik – anorganik*

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O+CaBr <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	14,4	140
Triethylethane+water+urea	13,4	160
CaCl <sub>2</sub> +MgCl <sub>2</sub> +6H <sub>2</sub> O	25	65
NH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub> +NH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	27	163
Naphtalene+benzoid acid	67	123,4
Freezer salt 1	-50	325
Freezer salt 2	-23	330
Freezer salt 3	-16	330

(Sharma, 2009)

### 1.1.2 PCM *Eutectic Salt Water*

Sistem eutektik merupakan campuran senyawa kimia atau unsur-unsur yang memiliki komposisi kimia tunggal yang membeku pada suhu yang lebih rendah daripada komposisi lain yang dibuat dari bahan yang sama. Campuran eutektik terdiri dari dua atau lebih komponen dimana masing-masing komponen tersebut saling melebur atau membeku secara kongruen membentuk suatu campuran yang kemudian membentuk kristal selama proses kristalisasi.

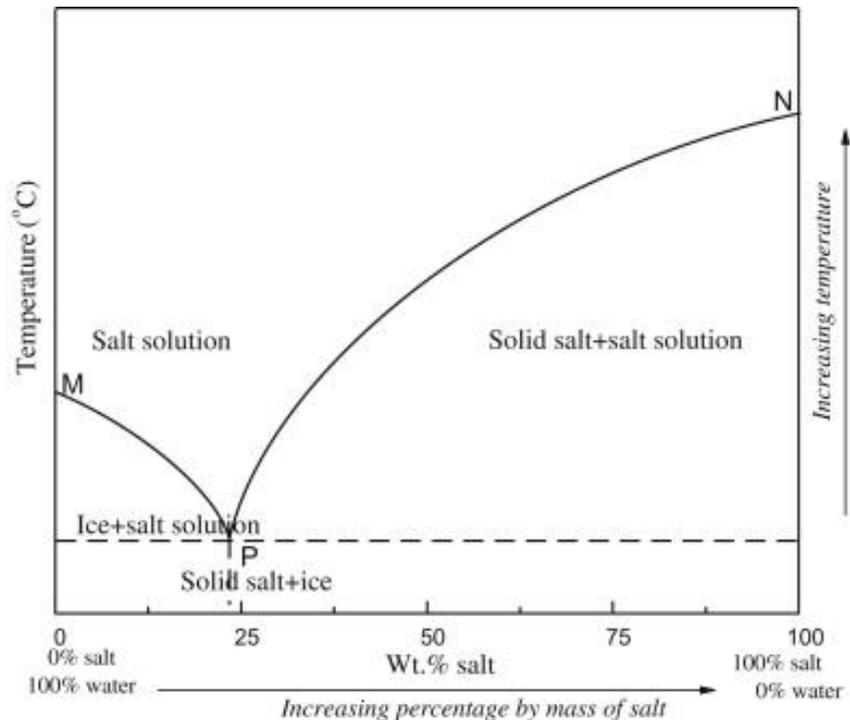
Campuran eutektik terdiri dari dua atau lebih komponen dimana masing-masing komponen tersebut saling melebur atau membeku secara kongruen membentuk suatu campuran yang kemudian membentuk kristal selama proses kristalisasi. Biasanya, eutektik melebur dan membeku tanpa segregasi. Selama proses peleburan, kedua komponen melebur pada saat yang bersamaan tanpa ada kemungkinan pemisahan (Milisic, 2013). Campuran eutektik akan membentuk campuran dengan titik lebur yang rendah. Campuran ini menawarkan substansi untuk mengembangkan material terampil dan biasanya lebih murah tanpa mengkonsumsi waktu bila dibandingkan dengan pengembangan material baru. Titik lebur dari campuran ini akan lebih rendah dari masing-masing titik lebur komponennya. Sebagai contoh, perubahan material seperti timah dan timbal menjadi eutektik logam adalah cara umum untuk membuat titik leburnya lebih rendah dibanding bila menggunakan soldering (Kanchanomai, et al., 2002). Contoh lain campuran eutektik adalah Natrium Klorida dan air yang memiliki titik eutektik -21,20C (Chen, et al., 2005). Campuran ini digunakan untuk memproduksi es dengan temperature yang lebih rendah. Campuran eutektik lebih sederhana untuk disiapkan. Komponennya dapat dengan mudah dicampurkan dan dikonversi tanpa proses

purifikasi. Baru-baru ini, campuran eutektik digunakan untuk memproduksi cairan ion yang dapat digunakan sebagai green solvent (Hou, et al., 2008).



*Gambar 2. 4 Eutectic salt water*

Mayoritas riset PCM difokuskan pada larutan eutektik air dan garam karena larutan ini memiliki panas fusi yang tinggi dan jangkauan perubahan temperatur fasanya yang sesuai. Secara umum, titik beku dari air akan turun ketika garam ditambahkan pada air. Dengan tambahan garam, titik bekunya akan semakin turun, tetapi larutan eutektik air dan garam tidak akan membeku dari kondisi cairan murni menjadi kondisi padat. Untuk menjelaskan hal ini, diagram fasa dari larutan ini ditunjukkan pada Gambar 2.5. Titik beku pada  $0^{\circ}\text{C}$  ketika komposisinya adalah 100 % air. Dengan tambahan garam, titik beku larutan air dan garam akan berkurang. Di bawah situasi ini, hanya air murni saja yang membeku sedangkan garam akan tersisa pada larutan. Dengan tambahan garam, titik beku akan menurun hingga titik eutektik (titik P). Titik eutektik adalah titik beku terendah yang dapat dicapai. Pada titik ini, baik garam dan air akan membeku dan komposisi dari material beku ini adalah sama dengan larutannya. Dengan tambahan garam, temperatur beku larutan akan mulai bertambah dan presipitat garam anhidrous akan keluar pada pembekuan. Di bawah konsentrasi garam tertentu (titik P), larutan akan membeku dan meleleh secara sempurna dari cairan/padatan menjadi padatan/cairan pada temperatur konstan (titik P) sementara proses pelepasan dan penyimpanan sejumlah besar energi terjadi. Jenis PCM yang demikian disebut sebagai larutan eutektik air dan garam (Gang, et al., 2013).



Gambar 2. 5 diagram fasa larutan eutectic air garam  
(Gang, et al., 2013)

Garam NaCl (Natrium Klorida) berbentuk kristal granular atau serbuk. Kristal besarnya tidak berwarna, transparan dan berstruktur kubik. Bahan ini juga memiliki indeks refraksi 1,5422, densitas 2,165 g/cm<sup>3</sup>, titik lebur pada 801oC, menguap pada 1413oC, larut dalam air (batas kelarutan 35,7 gram/100 mL pada 0oC dan 39,1 gram/100 mL pada 100oC) larut dalam gliserol, larut dalam etilen glycol dan membentuk asam. Dalam methanol memiliki kelarutan 1,49 gram/100 mL), pada amonia cair memiliki kelarutan 2,15 gram/100 mL) dan tidak larut dalam asam hidroklorida. Natrium Klorida memiliki sifat termokimia sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Sifat termokimia pada Natrium Clorida (NaCl)

Sifat termokimia	Nilai
$\Delta H_f^\circ$ (cry)	-98,27 kkal/mol
$\Delta H_f^\circ$ (gas)	-42,22 kkal/mol
$G_f^\circ$ (cry)	-91,82 kkal/mol
$G_f^\circ$ (gas)	-47,00 kkal/mol
$S^\circ$ (cry)	17,24 kal/°mol

$S^0$ (gas)	54,90 kal/°mol
$C_p$ (cry)	12,07 kal/°mol
$C_p$ (gas)	8,55 kal/°mol

(Patnaik, 2002)

Banyak penelitian mengenai *Phase Change Material* yang menggunakan bermacam – macam larutan dengan campuran berbagai jenis garam. Garam yang mudah didapatkan dipasaran adalah garam NaCl berupa garam dapur dengan kandungan NaCl sebanyak 95% dan KCl yang berupa potassium chloride. Tabel 2.8. menunjukkan hasil dari penelitian sebelumnya mengenai peninjauan material perubahan fasa (PCM) untuk aplikasi penyimpanan energi panas dingin yang berupa temperatur titik beku berbagai macam konsentrasi larutan NaCl.

*Tabel 2. 8 Temperature titik beku Natrium Clorida (NaCl)*

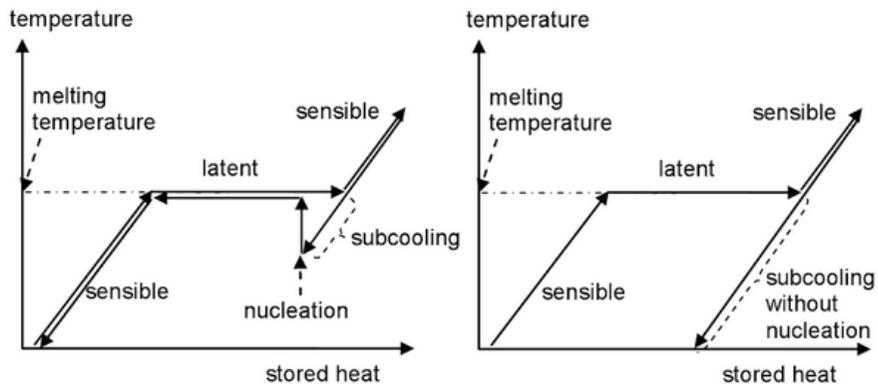
<b>Kosentrasi (%)</b>	<b>Titik Beku (°C)</b>
5	-3,87/-4,27
10	-7,60/-7,70
15	-15,19/-15,29
20	-18,22/-17,92
21	-18,46/-18,36
22	-21,95/-21,85
23	-20.89/-21.39
24	-20,19/*19,79

(Patnaik, 2002)

### 1.1.3 Fenomena *Supercooling*

Beberapa PCM tidak mengalami solidifikasi secara langsung ketika pendinginan mencapai titik di bawah temperatur leburnya, tetapi kristalisasi hanya terjadi setelah temperatur di bawah titik meltingnya tercapai. Efek ini dinamakan subcooling atau supercooling. Sebagai contoh, cairan air bisa didinginkan hingga temperatur di bawah 00C, bila sejumlah cairan dalam kondisi murni dan kuantitas yang kecil bahkan bisa mencapai -150C. Pada Gambar 2.9 di bawah ini, ditunjukkan efek dari supercooling pada penyimpanan panas. Selama terjadi pemberian panas, tidak ada perbedaan pada PCM yang menunjukkan terjadinya supercooling atau tidak. Selama ekstraksi panas pun panas laten tidak dilepaskan ketika temperatur lebur dicapai berdasar supercooling. Efek dari supercooling ini membuatnya perlu untuk menurunkan temperatur dibawah temperatur perubahan fasanya untuk memulai kristalisasi dan untuk melepaskan panas laten yang disimpan pada material. Bila nukleasi tidak terjadi pada keseluruhan, panas laten tidak akan dilepaskan secara keseluruhan pula, dan

material hanya menyimpan sensible heat. Dalam aplikasi teknis PCM, peristiwa ini bisa menjadi masalah serius (Mehling & Cabeza, 2008).



Gambar 2. 6 Pengaruh supercooling pada penyimpanan panas

Penanganan dari masalah ini adalah dengan mengurangi temperaturnya hingga di bawah temperatur perubahan fasa. Penanganan ini dilakukan agar material PCM dapat memulai kristalisasi dan untuk melepaskan panas laten yang disimpan oleh material tersebut. Tetapi bila nukleasi tidak terjadi, panas laten tidak bisa dilepaskan dan material hanya menyimpan sensible heat. Masalah supercooling bisa dicegah dengan cara berikut: 1) menambahkan agen nukleasi, 2) pengadukan mekanis, 3) penambahan metode pemurnian, 4) teknik cold finger, 5) memberikan enkapsulasi pada PCM (Gao & Deng, 2013)

## 1.2 Definisi Listrik

Di dalam kelistrikan akan dihasilkan listrik statis yang dibangkitkan dengan menggosokkan sebatang gelas, anggaplah ia sebagai barang ajaib dari benda kemudian banyak teori yang tumbuh dan sekarang teori itu diterima dan disebut "teori elektron" yang timbul sekitar tahun 1900. Diakhir abad kedelapan belas ketika pertama kali sumber listrik ditemukan oleh Volta Galvani sehingga mungkin untuk dipelajari efek kelistrikannya diatur oleh hukum tertentu sehingga mungkin untuk dihitung efeknya. Listrik dapat menimbulkan.

### Efek panas

Suatu kawat bila dilalui arus akan menjadi panas. Pada teknologi kendaraan bermotor efek panas ini digunakan misalnya pada busi pijar untuk motor diesel, pemanas listrik jendela belakang kendaraan, kumparan pemanas rokok dan di dalam lampu pijar dimana filament dipanaskan sampai satu temperatur yang tinggi sehingga dapat mengeluarkan cahaya terang.

### Efek magnet listrik

Arus listrik yang mengalir melalui suatu konduktor menimbulkan lapangan magnet di sekeliling konduktor, kejadian ini dimanfaatkan pada komponen kendaraan, misalnya : regulator, relai stater, koil penyalaan dan sebagainya.

### Efek kimia listrik

Arus listrik menyebabkan reaksi bila mengalir melalui suatu elektrolit, misalnya cairan zat asam atau garam. Baterai pada kendaraan adalah suatu komponen dikarenakan oleh efek kimia listrik, pada baterai arus listrik disebabkan oleh reaksi kimia.

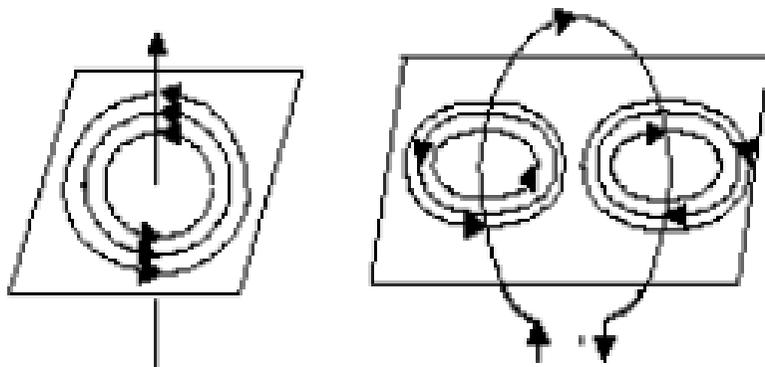
## 1.3 Definisi Medan Magnet

Medan magnet adalah suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menyebabkan munculnya gaya di muatan listrik yang bergerak lainnya. Menurut percobaan Oersted tentang medan magnet oleh arus listrik bahwa magnet yang berada dekat dengan suatu penghantar yang dialiri arus listrik akan merubah kedudukannya.

### Kaidah tangan kanan Ampere

Kalau suatu kompas ditempatkan diatas telapak tangan yang kemudian terdapat arus listrik ( $I$ ) dari pergelangan menuju ke ujung jari maka ujung kutub utara kompas akan menyimpang serarah dengan ibu jari.

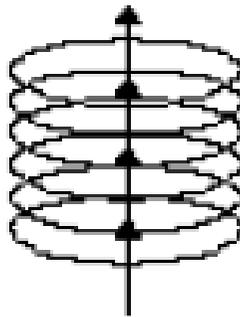
### Kaidah Kotrex Maxwell



*Gambar 2. 7 Kaidah Kotrex Maxwell*

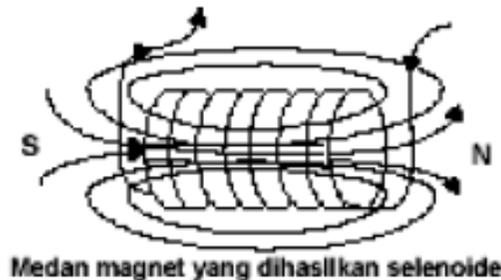
Jika arah arus listrik menunjukkan arah maju kotrex, maka arah garis gaya magnet yang ditimbulkan menunjukkan arah putar kotrex. Jika arah arus menunjukkan arah putar kotrex, maka arah garis gaya magnet yang ditimbulkan menunjukkan arah maju kotrex. Kaidah Maxwell dapat pula ditentukan dengan kaidah tangan kanan yaitu sebagai berikut:

“ Arah ibu jari menggambarkan arah arus listrik. dan arah lipatan keempat jari lainnya menunjukkan arah putaran gaya magnet”



Gambar 2. 8 Kaidah Tangan Kanan Maxwell

Jika kaidah kotrex Maxwell yang dinyatakan pada gambar 2.6 dengan jumlah kawat beraraskan banyak sekali dikenal dengan selenoida akan terjadi elektromagnet, sebab memiliki sifat-sifat magnet yaitu salah satu ujungnya menyerap garis gaya magnet yang berfungsi sebagai kutub selatan (S) sedang kutub ujung lainnya memancarkan garis gaya yang berfungsi sebagai kutub utara (U).

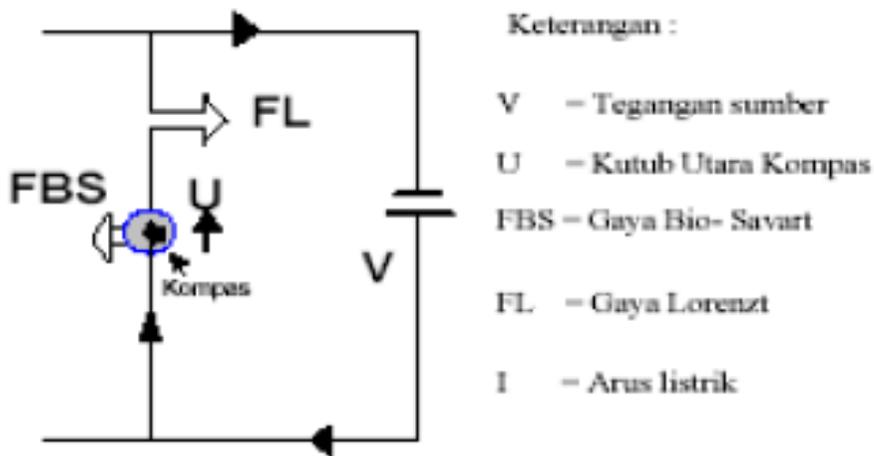


Gambar 2. 9 Garis Gaya Magnet

Gaya yang dialami kutub magnet karena pengaruh arus listrik di sebut gaya Bio-Savart. Sebaliknya suatu kawat berarus listrik ditempatkan di dalam medan magnet, ternyata kawat berarus itu ada kemungkinan dipengaruhi gaya yang di sebut gaya Lorenzt. Jadi gaya Lorenz ini merupakan reaksi gaya Bio-Savart. Kekuatan dan arah dari medan magnetik di sekitar arus listrik dinyatakan dengan besaran induksi magnetik (B). Besarnya induksi magnetik pada suatu titik di sekitar penghantar berarus diberikan oleh;

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

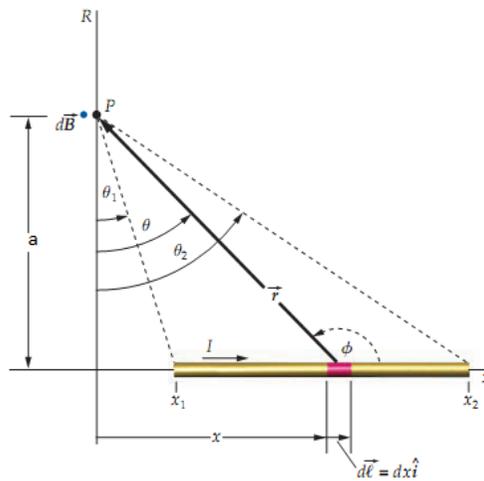
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Idl \sin\theta}{r^2} \quad (2.1)$$



Gambar 2. 10 Reaksi Gaya Bio-Savart

**Induksi Magnetik**

1. Induksi Magnetik di Sekitar Penghantar Lurus Berarus

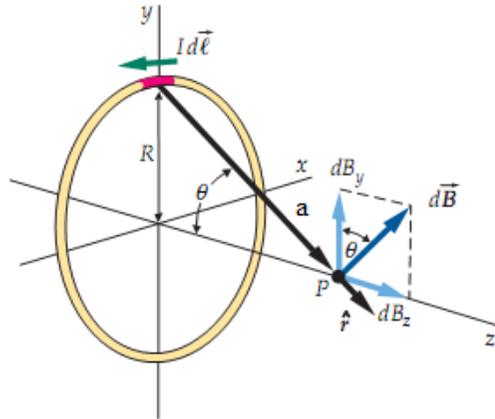


$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \tag{2.2}$$

Keterangan:

- B = induksi magnetic ( $Wb/m^2$  atau T)
- $\mu_0$  = permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} WbA^{-1}m^{-1}$ )
- I = kuat arus yang melalui penghantar (A)
- a = jarak dari titik ke penghantar (m)

## 2. Induksi Magnetik di Pusat Penghantar Lingkaran Berarus



$$B = N \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$B$  = induksi magnetik ( $\text{Wb}/\text{m}^2$  atau T)

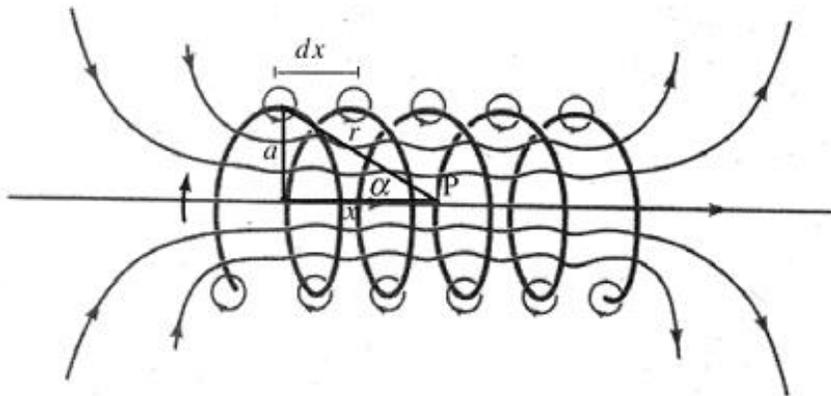
$\mu_0$  = permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$ )

$I$  = kuat arus yang melalui penghantar (A)

$a$  = jarak dari titik ke penghantar (m)

$N$  = jumlah lilitan kawat

## 3. Induksi Magnetik di Pusat dan di Ujung Solenoida



$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} \quad (2.4)$$

Induksi magnetic di ujung solenoida

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2L} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$B$  = induksi magnetic ( $Wb/m^2$  atau T)

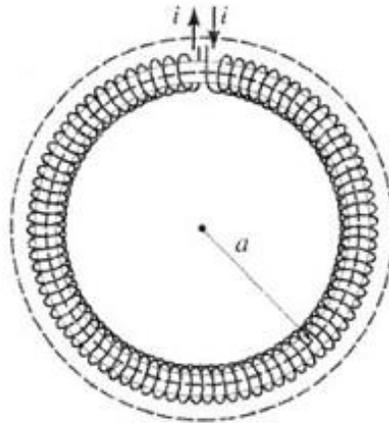
$\mu_0$  = permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} WbA^{-1}m^{-1}$ )

$I$  = kuat arus yang melalui penghantar (A)

$L$  = panjang solenoida (m)

$N$  = jumlah lilitan Solenoida

#### 4. Induksi Magnetik di Sumbu Toroida



$$B = N \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$B$  = induksi magnetic ( $Wb/m^2$  atau T)

$\mu_0$  = permeabilitas udara/vakum ( $4\pi \times 10^{-7} WbA^{-1}m^{-1}$ )

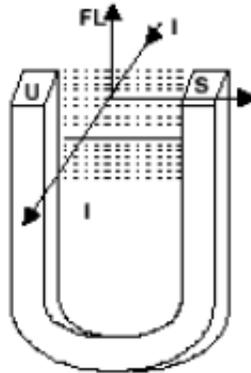
$I$  = kuat arus yang melalui penghantar (A)

$a$  = jarak dari titik ke penghantar (m)

$N$  = jumlah lilitan kawat

Jika kawat AB dipatrikan pada titik A dan B dan kutub magnet utara (U) diberi kebebasan bergerak maka jika kawat AB berarus seperti pada gambar kutub utara (U) yang berada di bawah kawat AB akan bergerak ke kiri karena pengaruh gaya Bio-Savart. Atau sebaliknya. Jadi gaya Lorentz adalah gaya yang timbul pada suatu arus listrik yang berada pada suatu medan magnet. Arah gaya Lorentz ditentukan dengan kaidah tangan kiri sebagai berikut :

“Jika suatu arus berada diantara suatu kutub utara magnet dan tapak tangan kiri sedangkan arus listrik seakan-akan berjalan dari pergelangan ke jari-jari tangan, maka arah gaya Lorentz ini mengarah ke ibu jari tangan kiri”. Arah gaya Lorentz dapat juga ditentukan dengan tiga jari tangan kiri (ibu jari) telunjuk dan jari tengah yang dibentangkan saling tegak lurus satu sama lain.



Gambar 2. 11 Arah Gaya Lorentz

- Arah gaya Lorentz ditunjukkan oleh ibu jari
- Arah medan magnet ditunjukkan oleh jari telunjuk
- Arah arus listrik ditunjukkan oleh jari tengah.

Suatu benda bermuatan listrik akan menimbulkan medan listrik disekitarnya. Pengaruh medan listrik disuatu titik dinyatakan oleh besaran vektor Kuat Medan Listrik (E), dengan satuan N/C.

$$E = \frac{kQ}{R^2} \quad (2.7)$$

Jika suatu benda lain bermuatan  $Q'$  ditempatkan di titik tersebut, maka benda bermuatan tersebut akan mengalami GAYA ELEKTROSTATIK F (disebut juga GAYA COULOMB).

$$F = Q E = \frac{k Q Q'}{R^2} \quad (2.8)$$

Keterangan:

F = Gaya tarik/tolak (dalam Newton)

R = jarak muatan Q dan  $Q'$  (dalam meter)

k = tetapan =  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm/coul}$

$\epsilon_0$  = permitivitas vakum =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ coul}^2/\text{Nm}$

$Q, Q'$  = muatan listrik (Coulomb)

### **Pengaruh medan magnet terhadap muatan bergerak**

Sebuah partikel bermassa  $m$  bermuatan listrik  $q$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  di dalam medan magnet dengan induksi magnetic  $B$ . akan mengalami Gaya Lorentz  $F$  sebesar:

$$F = q v B \sin \alpha \quad (2.9)$$

Keterangan:

$\alpha$  = sudut yang dibentuk oleh arah gerak muatan dengan arah induksi magnetic

Bila  $\alpha = 90^\circ$  ( $v \perp B$ ) maka  $F = q v B$ . Karena  $F$  selalu tegak lurus terhadap  $v$ . maka lintasan partikel bermuatan merupakan lingkaran dengan jari-jari  $R$  sebesar:

$$R = mv/q.B$$

dengan  $v = \omega R$  &  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$

### **Pengaruh Medan Magnet Terhadap Kawat Berarus**

Melalui kawat lurus yang terletak di sumbu-y mengalir arus  $I$ . Bila kecepatan muatan-muatan positif adalah  $v$  dan jumlah muatan yang mengalir adalah  $q$  selama waktu  $t$ , maka Gaya Lorentz  $F$ :

$$F = L I B \sin \alpha \quad (2.10)$$

Penentuan arah gaya Lorentz mengikuti kaidah tangan kanan. Jika keempat jari dikepalakan dari arah  $v$  ke  $B$  atau dari arah  $I$  ke  $B$ . maka ibu jari menunjukkan arah gayanya.

## **1.4 Ringkasan Paper**

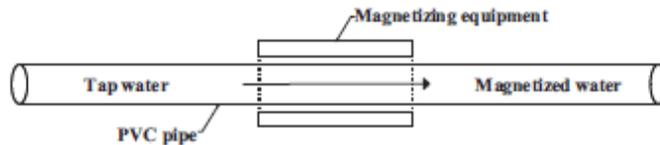
Ringkasan paper ditujukan untuk memberikan informasi, gambaran, atau gagasan dalam penulisan penelitian ini, digunakan paper baik local maupun internasional demi menunjang pengerjaan penulisan penelitian lebih terarah dan valid. Berikut paper yang digunakan penulis dalam penelitian ini

### **1.4.1 Effect of magnetic field on the physical properties of water**

Sejumlah makalah melaporkan bahwa medan magnet (MF) bias mengubah sifat fisikokimia air sejak beberapa dekade. Ketika air melewati MF, itu menjadi air bermagnet (MW). Han et al. menyelidiki sifat optik air yang di antara dua magnet kuat, mereka menemukan bahwa sifat penyerapan inframerah MW berubah

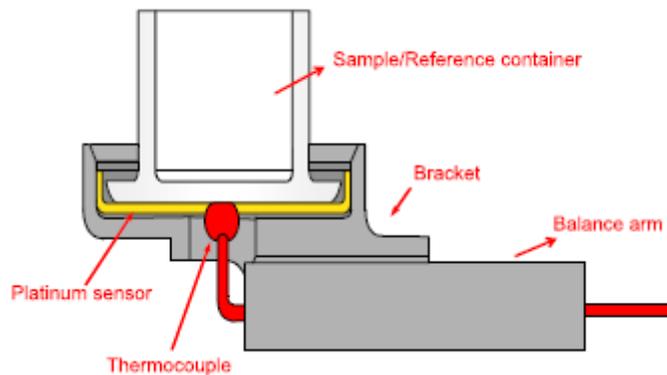
Meskipun banyak sifat air yang dipengaruhi oleh MF telah dilaporkan dari banyak penelitian, beberapa pekerjaan fokus pada panas spesifik, jumlah penguapan dan titik didih MW, dan sifat-sifat ini sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem kondensasi, tenaga termal dan lainnya. bidang. Tujuan

dari pekerjaan ini adalah untuk menyelidiki efek MF pada sifat-sifat air ini, kami mempelajari panas spesifik, jumlah penguapan (pemanasan dari suhu kamar sampai sampel mendidih), titik didih MW dan TW. Selain itu, dibahas juga pengaruh MFS pada efek magnetisasi



Gambar 2. 12 Diagram skema rencana percobaan

MFS dikendalikan dengan menyesuaikan jarak antara 2 alur bentuk-U, 4 jenis MFS (100 mT, 200 mT, 300 mT, 400 mT) dipilih untuk persiapan MW, dan sampel dikelompokkan sebagai MW-1 (100 mT), MW-2 (200 mT), MW-3 (300 mT) dan MW-4 (400 mT). Pipa PVC berada di tengah 2 lekukan berbentuk U, dan diameternya 8 mm. Sebagian pipa PVC ( $l = 52$  cm) dimasukkan di antara peralatan magnetisasi MWD-1, yang merupakan panjang MF. Ketika TW mengalir melalui pipa PVC, itu berubah menjadi MW. Semua sampel yang diuji kecuali TW beredar pada laju aliran 0,8 m / s selama 5 menit dalam peralatan magnetisasi MWD-1. Diagram skematis dari magnetisasi ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 2. 13 Diagram skematik prinsip sistem kerja SDT-Q600

DSC (Differential Scanning Calorimetry) adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur panas spesifik cairan dalam beberapa tahun terakhir, dapat menunjukkan perilaku termal yang berbeda selama proses pemanasan dan merekam aliran panas sampel sebagai fungsi waktu [13â€“16] Sebuah Synchronous Thermal Analyzer, SDT-Q600 (TA Instruments Inc., Amerika), digunakan untuk mengukur panas spesifik TW dan MW, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3 dan Gambar. 4. Suhu operasi peralatan adalah dari suhu kamar hingga 1500 C, kapasitas sampel wadah adalah 200 mg. Dalam proses pengujian sensor platinum dan termokopel memungkinkan

untuk mendeteksi hampir semua perubahan (aliran panas, suhu dan parameter lainnya).

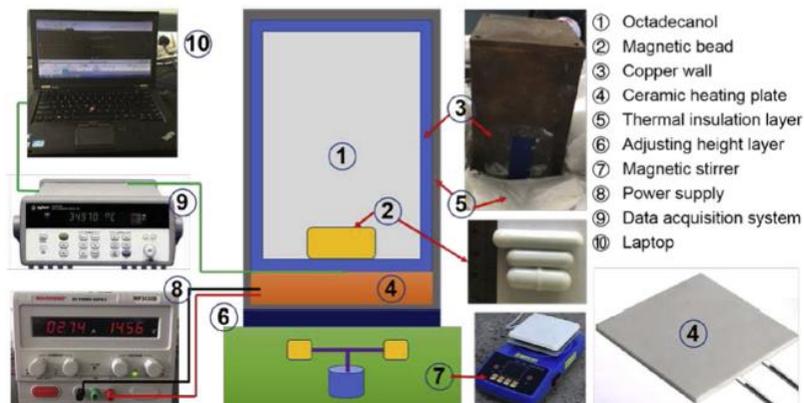
Artikel ini telah meneliti efek MF pada bagian sifat fisik air, perlakuan MF mengubah panas spesifik, jumlah penguapan dan titik didih air, dan kondisi magnetisasi optimal ditentukan sebagai MFS 300 mT. Hasil dalam penelitian ini sangat membantu dalam penerapan MW untuk meningkatkan pendinginan dan efisiensi pembangkit listrik di industry. (Wang, et al., 2018)

### **1.6.1 Magnetically stirring enhanced thermal performance of phase change material.**

Teknologi penyimpanan energi berbasis perubahan fase bahan (PCM), yang digunakan dalam penyimpanan energi panas laten dan bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara pasokan energi dan permintaannya, telah banyak diterapkan di berbagai bidang untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem. Berbagai kategori telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja termal PCM, yang terutama dibagi menjadi dua jenis, termasuk metode untuk meningkatkan konduktivitas termal PCM dan optimisasi jalur perpindahan panas melalui desain struktur wadah yang diisi dengan PCM.

Panas laten PCM jauh lebih besar daripada panas yang masuk akal dari bahan konvensional seperti air, yang dengan demikian memiliki keuntungan menarik dari kepadatan penyimpanan termal yang tinggi dengan variasi suhu yang kecil. Namun, sebagian besar PCM memiliki konduktivitas termal yang rendah, dengan pengecualian PCM berbasis logam, seperti 0,1-0,7 W/m °C untuk bahan organik dan 0,5-1,5 W/m °C untuk hidrat garam, yang secara drastis mempengaruhi termal kinerja selama proses pertukaran panas

Prinsipnya adalah untuk menyebarkan partikel nano atau mengisi bahan berpori dengan konduktivitas termal yang tinggi ke dalam PCM. Di sini kami melaporkan metode aktif untuk meningkatkan kinerja termal bahan perubahan fasa (PCM) berdasarkan metode pengadukan magnetis. Manik-manik magnet dengan ukuran kecil tertanam di wadah diisi dengan octadecanol, didorong untuk memutar dengan memutar medan magnet, dan menginduksi perpindahan panas konvektif paksa dari octadecanol cair. Kami menyelidiki dampak dari rotasi kecepatan magnetik, ukuran manik magnet, jarak antara manik magnet dan berputar magnet permanen pada suhu permukaan pelat pemanas simulasi.

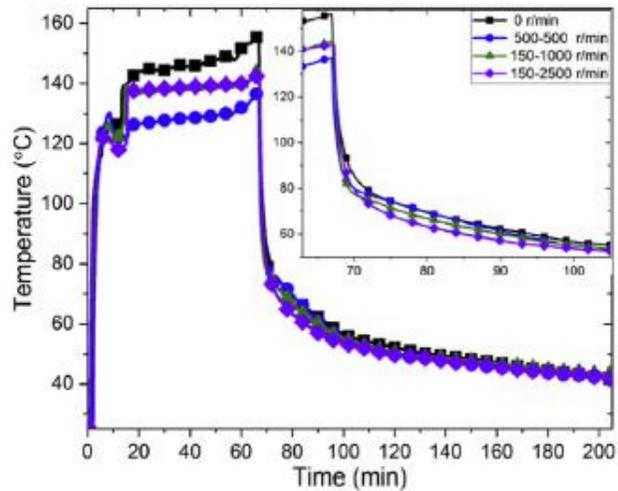


Gambar 2. 14 Diagram skema rencana percobaan

Diagram skematis dari pengaturan eksperimental ditunjukkan pada Gambar 2.13. Sebuah prototipe tembaga penyimpanan panas prototipe berbentuk persegi panjang dengan dimensi luar  $68\text{mm} \times 68\text{mm} \times 105\text{mm}$  dan dinding ketebalan 5 mm. Octadecanol (dibeli dari Shanghai Macklin Biokimia Co, Ltd) dipilih di sini sebagai PCM dan ditutup dalam wadah tembaga dengan volume tetap sekitar 357 mL. Titik lebur octadecanol adalah sekitar  $55,6^\circ\text{C}$ , dan panas laten volumetriknya adalah  $214,3\text{ MJ} / \text{m}^3$ , kepadatan sekitar  $894\text{ kg} / \text{m}^3$  untuk fase padat, dan konduktivitas termal sekitar  $0,273\text{ W} / \text{m}^\circ\text{C}$  untuk fase padat dan  $0,175\text{ W} / \text{m}^\circ\text{C}$  untuk fase cair.

Pelat pemanas keramik dengan ukuran  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 2\text{mm}$  digunakan sebagai heat sink simulasi, yang disuplai oleh daya DC. Wadah tembaga dan pelat pemanas dikompres dengan kuat dan permukaannya yang diolesi dengan pelumas silikon untuk mengurangi resistansi kontak termal. Dua termokopel tipe-T ditempatkan di tengah antarmuka yang dihubungi antara wadah tembaga dan pelat pemanas untuk memantau suhu permukaan pelat pemanas. Data suhu diperoleh oleh Keysight 34970A akuisisi data dan disimpan di laptop. Seluruh wadah tembaga dan pelat pemanas dikemas dengan bahan isolasi termal asbes untuk menghilangkan perpindahan panas dari lingkungan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengadukan secara magnetis jelas meningkatkan perpindahan panas dari fase cair ke fase padat octadecanol dan membuat sumber panas yang disimulasikan menjaga platform suhu yang lebih rendah dan lebih halus. Kami juga menemukan bahwa titik kondisi terbaik dapat ditentukan dengan mencocokkan kecepatan rotasi untuk ukuran manik magnet yang diberikan. Hasil ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang desain dan optimalisasi sistem penyimpanan energi panas termal laten.



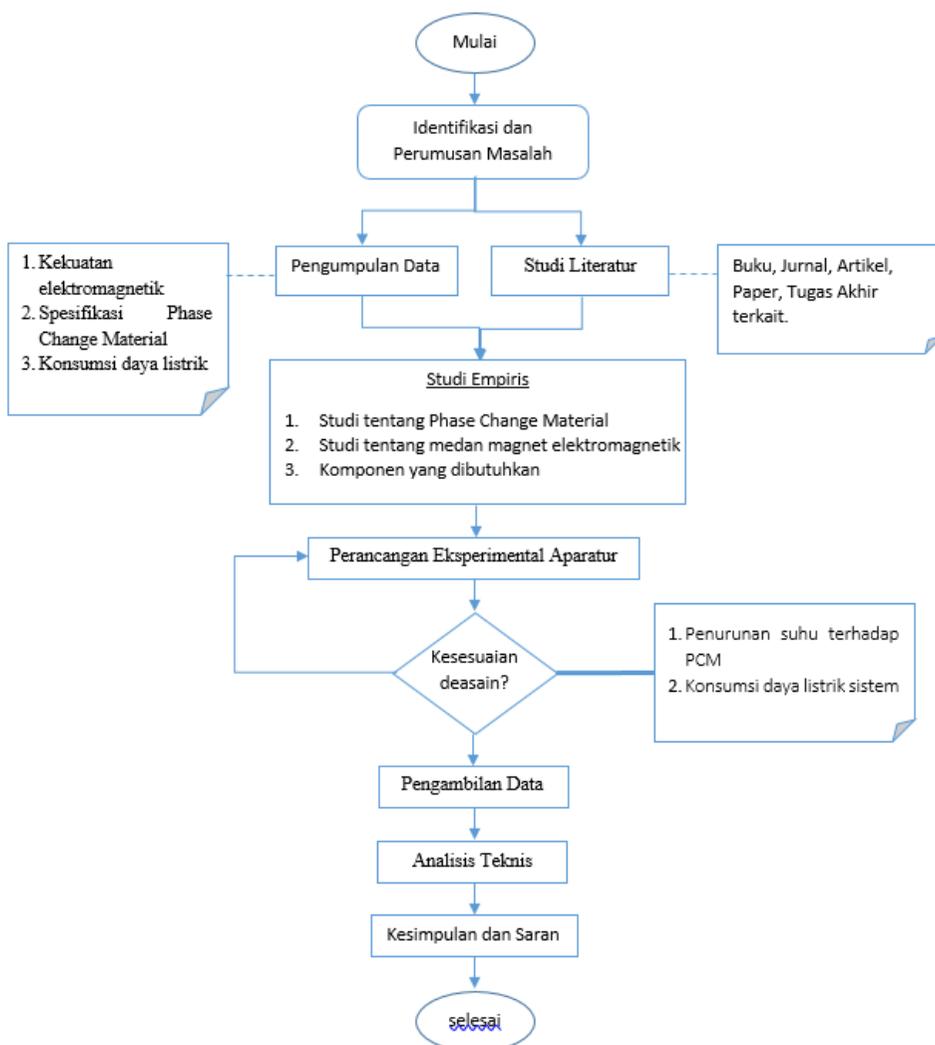
Gambar 2. 15 Grafik Perubahan suhu

Gambar 2.15 menunjukkan evolusi suhu di pusat permukaan pelat selama proses pemanasan dan pendinginan untuk No. 3 manik magnet dan daya pemanasan 60 W. Pengadukan magnet menginduksi suhu yang lebih rendah pada proses pemanasan, sementara itu mempercepat proses pendinginan. Kecepatan memutar medan magnet lebih rendah dari 500 r / mnt hampir tidak berpengaruh pada proses pendinginan. Metode yang dioptimalkan adalah memilih kecepatan tinggi medan magnet yang berputar, seperti 2500 r / mnt untuk proses pendinginan dan 150 r / mnt untuk proses pemanasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. (Sun, et al., 2018)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Untuk menyelesaikan dan menjawab masalah yang telah dinyatakan pada bab pertama, penulis akan menggunakan metode eksperimental untuk mengumpulkan data. Akan ada tiga percobaan yang akan diambil dalam penelitian ini seperti: sifat oli pelumas, kinerja mesin, dan emisi mesin. Bagan alur metodologi ini adalah seperti pada gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2 Methodology Explanation

Analisa teoritis dan sistematis terhadap metode yang digunakan merupakan hal yang penting dalam analisa ini. Kegiatan ini dan pelaporannya mampu menjadi indikator yang valid dari suatu penelitian. Langkah-langkah yang akan dilakukan penulis adalah:

#### 3.2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dalam Perumusan masalah terdapat latar belakang atau masalah yang akan dikaji. Tahap ini merupakan tahapan awal dalam pelaksanaan tugas akhir, dimana ini merupakan permasalahan yang harus dicari solusi untuk menjadi bahan dalam sebuah tugas akhir. Dengan cara mencari permasalahan yang ada dan materi-materi yang pernah dipelajari dan dialami dapat merumuskan nantinya tujuan yang akan dicapai dari perumusan masalah, pada tugas akhir ini akan dicari kemampuan medan magnet untuk menurunkan suhu pada *Phase Change Material*.

#### 3.2.2 Studi Literatur

Permasalahan yang sudah dirumuskan perlu bahan studi ilmiah seperti studi literatur agar dalam menganalisa dan pengolahan data nantinya lebih mudah, bahan untuk studi literatur dalam tugas akhir ini diantaranya buku, jurnal, tugas akhir, dan dari internet. Untuk mempelajari teori-teori yang relevan untuk topik kajian, membutuhkan metode dalam tugas akhir sebelumnya, teori yang dibutuhkan seperti desain sistem, dan komponen yang mendukung dalam sistem.

#### 3.2.3 Pengumpulan Data

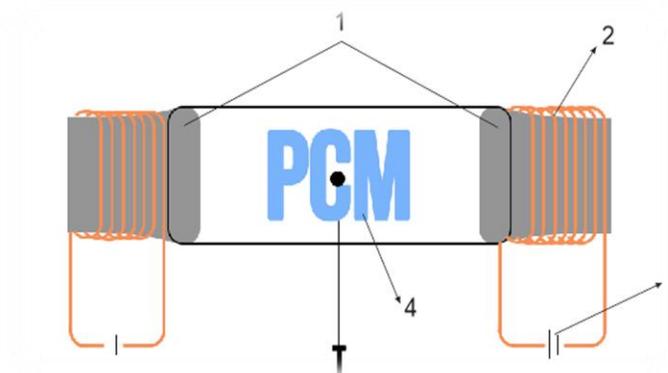
Pada tahap pengumpulan data dilakukan pada objek yang ada, dalam tugas akhir ini menggunakan referensi dari penelitian sebelumnya yang didapat dari penarikan kesimpulan studi literature dan juga menggunakan perhitungan perancangan. Data yang dibutuhkan diantaranya, dimensi desain sistem, spesifikasi *Phase Change Material*, spesifikasi sistem.

#### 3.2.4 Studi Empiris

Untuk mempersiapkan bahan dan data yang akan dipakai dalam menganalisa pembebanan, desain sitem yang akan dibandingkan, dengan metode perhitungan yang ada saat ini akan memudahkan untuk memperoleh hasil perhitungan

#### 3.2.5 Perancangan Sistem Eksperimental Aparatus

Dalam merencanakan sistem apa yang akan dibuat, maka perlu sistem dasar dari sistem ini yang akan dipakai sebagai bahan ataupun data untuk menganalisa penurunan suhu, akan dibuat desain sitem sederhana:

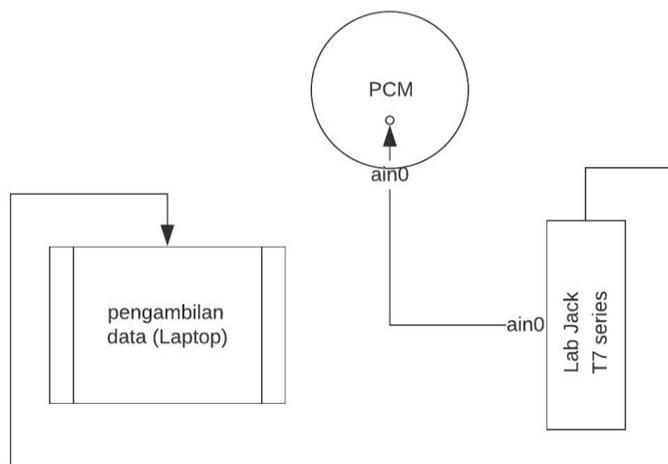


Gambar 3. 2 Rencana Desain Eksperimen

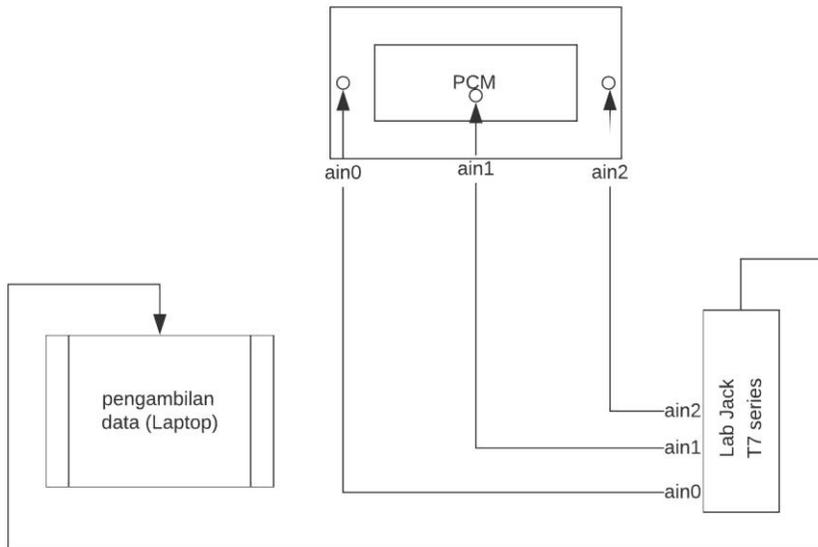
Keterangan:

1. Batang Besi
2. Lilitan Kabel
3. Sumber Listrik
4. Tabung
5. *Phase Change Material*

Skema pengambilan data pada eksperimen digambarkan pada skema gambar 3.3 dan gambar 3.4. Skema gambar 3.3 menunjukkan bahwa pengujian PCM dilakukan dengan tidak adanya perlakuan dalam hal ini perlakuan oleh medan magnet yang dihasilkan dari aparatus. Sedangkan pada skema gambar 3.4 pengujian PCM diberi perlakuan medan magnet disela sela rencana desain eksperimen dan PCM sserta di dalam PCM itu sendiri.



Gambar 3. 3 skema pengambilan data Phase Change Material tanpa perlakuan



Gambar 3. 4 skema pengambilan data Phase Change Material dengan perlakuan

### 3.2.6 Pengambilan Data

Percobaan dilakukan menggunakan beberapa lauratan garam atau *eutectic slat water* dengan berbagai macam konsentrasi. Data yang diambil berupa penurunan suhu pada bahan dengan selang waktu tertentu. Diukur suhu awal dan suhu akhir bahan.

### 3.2.7 Kesesuaian Desain

Setelah memperoleh data dan bahan yang cukup, serta desain sistem yang akan dibandingkan sudah siap, maka akan dilakukan perhitungan dari data yang ada dan sistem yang akan dirancang selanjutnya dilakukan penghitungan dan simulasi untuk menghasilkan perhitungan yang diharapkan, jika belum dapat diterima untuk hasil simulasi akan dilakukan perancangan desain sistem lagi.

### 3.2.8 Analisa Data

Hasil simulasi dan perhitungan yang sudah memenuhi kebutuhan, maka akan dilakukan analisa teknis untuk mencapai dari rumusan masalah dan tujuan yakni pengaruh medan magnet terhadap PCM dan tingkat penurunan suhu yang menjadi pokok inti dari tugas akhir ini.

### **3.2.9 Kesimpulan dan Saran**

Setelah setiap tahap telah dilakukan sepenuhnya, penulis akan dapat menemukan kesimpulan akhir dari percobaan dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya. Penulis sangat berharap bahwa percobaan ini akan menjawab dan memberikan solusi terbaik untuk masalah yang dinyatakan dan mencapai tujuan dari tesis sarjana ini. Penulis juga kemungkinan akan memberikan rekomendasi berdasarkan evaluasi proses dalam pembuatan tesis sarjana ini dan saran untuk mencapai kesempurnaan tesis sarjana ini.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembuatan Spesimen Uji

#### 4.1.1 Pembuatan *Phase Change Material Eutectic Salt Water*

Dalam pengujian ini menggunakan eutectic salt water dengan berbagai macam variasi campuran dan konsentrasi. Pembuatan larutan ini dibuat didalam cetakan yang terbuat potongan botol yang telah disesuaikan ukurannya.



Gambar 4. 1 Larutan garam berbagai macam konsentrasi

Larutan uji pada gambar 4.1 merupakan eutectic salt water dengan berbagai macam konsentrasi. Dalam hal ini larutan uji menggunakan campuran aquades dengan garam dengan variasi jumlah garam yang digunakan juga bergantung pada berapa besar konsentrasi yang ingin dibuat. Dalam pembuatan larutan ini terdapat 6 sampel larutan untuk menunjang perbandingan data yang dibutuhkan.

Proses pembuatan larutan uji volume air yang digunakan sebanyak 150mL, pada proses pembuatannya larutan harus diaduk sampai garam benar benar terlarut. Komposisi garam tergantung dari konsentrasi larutan yang dimulai dari 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5% 15%. Ketika campuran sudah membentuk larutan ditandai dengan tidak adanya endapan garam, larutan dimasukkan dalam freezer untuk pembentukan es. Larutan *eutectic salt water* yang dibuat dari *Aquades* dengan campuran garam pada setiap konsentrasi yang dibutuhkan memiliki komposisi sebagai berikut:

Massa air ditentukan dari volume air yang dibutuhkan. Massa garam tiap konsentrasi dapat diperoleh dari massa air dan konsentrasi yang dibutuhkan.

#### Perhitungan massa air

$$\begin{aligned} m_a &= V \times \rho \\ &= 0,15 \times 1000 \\ &= 150 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### Perhitungan massa garam NaCl (100%)

$$\begin{aligned} M\% &= \frac{m}{m_a + m} \times 100\% \\ m &= \frac{M \times m_a}{100 - M} \\ &= \frac{2,5 \times 150}{100 - 2,5} \\ &= 3,8 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### Perhitungan massa garam NaCl (95%)

Garam yang digunakan pada pembuatan larutan ini menggunakan garam dapur dengan kandungan NaCl 95%. Massa garam akan ada penambah 5 % dari massa NaCl 100% sesuai konsentrasi.

$$\begin{aligned} m &= 3,8 + (5\% \times 3,8) \\ &= 4,0 \text{ gram} \end{aligned}$$

Tabel 4. 1 Massa Natrium Clorida (NaCl) tiap – tiap konsentrasi

Konsentrasi (%)	Massa NaCl 100% (g)	Massa NaCl 95% (g)
2,5	3,8	4,0
5,0	7,9	8,3
7,5	12,2	12,8
10,0	16,7	17,5
12,5	21,4	22,5
15,0	26,5	27,8

Proses pembuatan *phase change material eutectic salt water*

- 1) Menyiapkan air pada gelas ukur sebanyak 150 mL.
- 2) Menimbang masa garam sesuai kebutuhan.
- 3) Mencampurkan garam dengan air dan mengaduk hingga membentuk larutan.
- 4) Memasukan dalam wadah yang telah disiapkan.
- 5) Memasukan wadah kedalam freezer

Berikut merupakan foto hasil pembuatan larutan



Gambar 4. 3 Air dalam Gelas ukur



Gambar 4. 2 Massa Garam



Gambar 4. 4 Campuran Air dan Garam





*Gambar 4. 5 Wadah Phase Change Material dalam freezer*



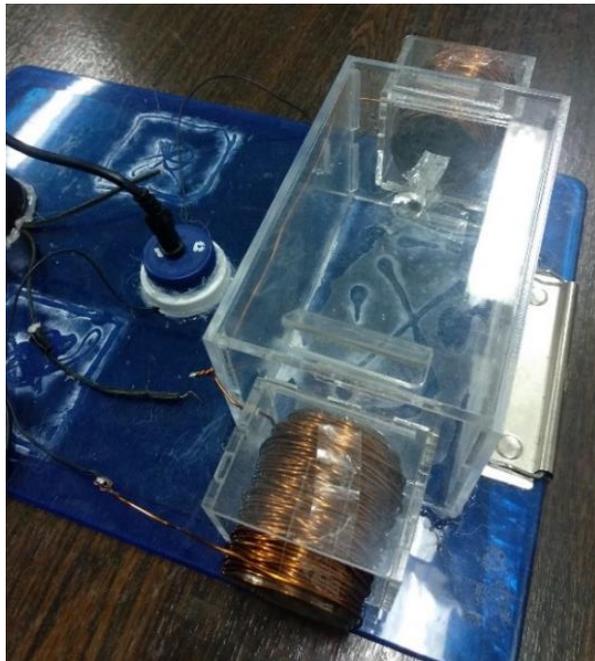
*Gambar 4. 6 eutectic salt water dalam fase es*

#### **4.1.2 Perancangan Aparatus**

Berdasarkan rencana perancangan eksperimen aparatus, bahan akrilik dipilih menjadi wadah/box eksperimen paratus. Akrilik (Acrylic) merupakan plastik yang menyerupai kaca, namun memiliki sifat-sifat yang membuatnya lebih unggul dari pada kaca dalam banyak cara salahsatunya dari perbedaan sifatnya

yaitu dari kelenturan dari akrilik (Acrylic) itu sendiri. Di butuhkan suhu dari 250 derajat fahrenheit hingga 300 derajat fahrenheit (dari 121 derajat celcius sampai 149 derajat celcius) yang diperlukan untuk membengkokkan dan membentuk plastik akrilik (Acrylic).

Elektromagnetik merupakan prosesor berubahnya benda magnet karena aliran listrik mengalir melalui kumparan maka pada kumparan akan membentuk Medan magnet, semakin besar listrik saat ini semakin kuat medan magnet yang dihasilkan. Bahan besi yang digunakan menggunakan dua besi alloy dengan diameter 38 mm dan panjang 50 mm yang dipasang pada kedua sisi wadah/box yang telah disediakan, kumparan menggunakan kawat tembaga dengan jumlah kumparan 100 lilitan pada tiap – tiap besi , sedangkan sumber arus listrik dihasilkan dari DC adapter dengan variasi arus mulai dari dari 0mA; 72mA; 188mA; 349mA.



*Gambar 4. 7 eksperimen aparatus*

Spesifikasi eksperimen aparatus:

Dimensi box = 180 mm x 80 mm x 80 mm

Lilitan (N) = 100 per besi alloy

Arus (I) = dari 0mA; 72mA; 188mA; 349mA.

Panjang besi = 5 cm

$$\text{Induksi} = \frac{\mu_0 NI}{2L}$$

$$\text{Magnet (B)} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 0,349}{2 \times 0,05}$$

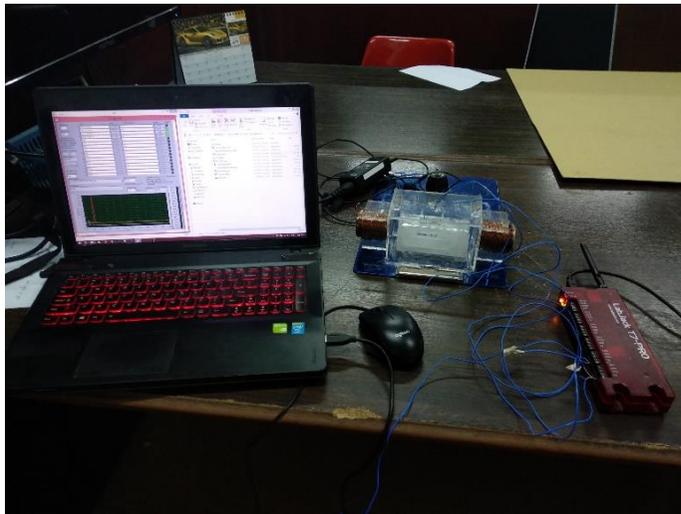
$$B = 0,00044 \text{ T}$$

Tabel 4. 2 Kekuatan medan magnet pada setiap arus

No.	Arus (A)	Kuat Medan Magnet (T)
1.	0	0,00000
2.	72	0,00003
3.	188	0,00024
4.	349	0,00044

### 4.1.3 Eksperimen Pendinginan Eutectic Phase Change Material Oleh Pengaruh Medan Magnet

Larutan *eutectic salt water* yang mengalami perubahan fase dari cair menjadi padat (es) yang kemudian disebut *Phase Change Material eutectic salt water* dilakukan pengujian temperatur dengan menggunakan sensor Labjack T7 series.



Gambar 4. 8 pengambilan data

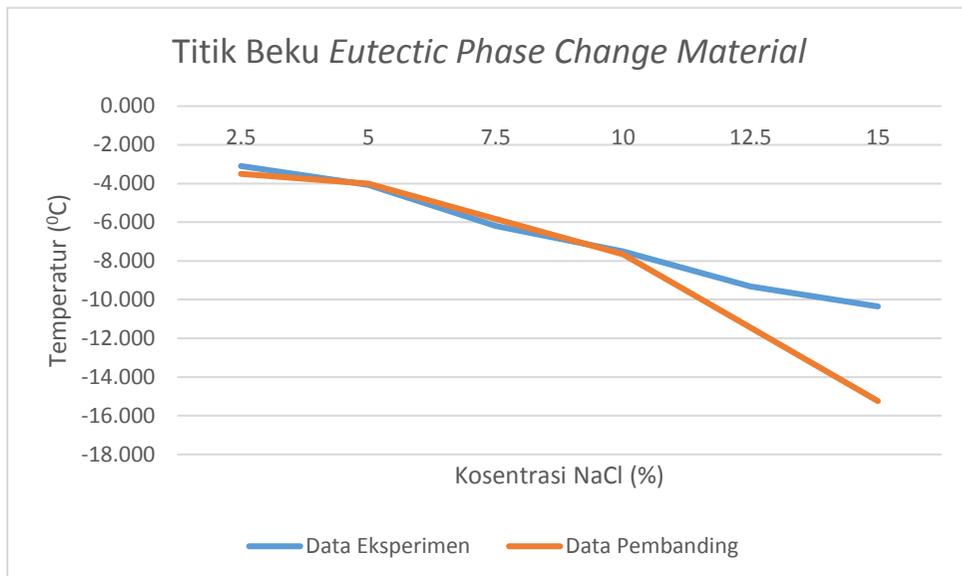
### 4.2 Hasil Uji Larutan

Pengujian *Phase Change Material Eutectic Salt Water* pada beberapa variasi sumber arus yang masuk dalam sistem untuk mengetahui pengaruh medan magnet terhadap *Phase Change Material Eutectic Salt Water*. dan divariasikan juga dengan konsentrasi *Eutectic Salt Water* untuk mengetahui berapa penambahan atau pengurangan temperatur yang terjadi setelah diberi perlakuan.

Temperatur *Phase Change Material Eutectic Salt Water* dengan variasi sumber arus mulai dari 0mA; 72mA; 188mA; 349mA, ditampilkan pada Tabel 4.3 yang kemudian dijadikan grafik dalam Gambar 4.8 untuk mempermudah pembacaan dalam analisa.

Tabel 4. 3 Perbandingan titik beku data eksperimen dengan data pembanding

kosentrasi	Data Eksperimen ( $^{\circ}\text{C}$ )	Data Pembanding ( $^{\circ}\text{C}$ )
2.5	-3,097	
5	-4,079	-3,87/-4,27
7.5	-6,197	
10	-7,501	-7,60/-7,70
12.5	-9,319	
15	-10,353	-15,19/-15,29

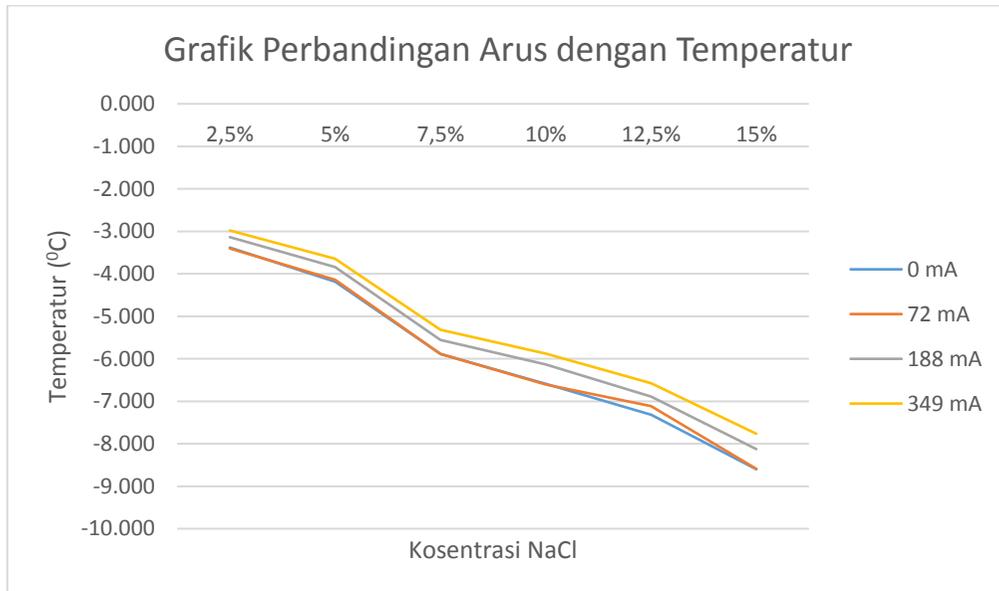


Gambar 4. 9 Grafik perbandingan titik beku data eksperimen dengan data pembanding

Terjadi penurunan titik beku mulai pada kosentrasi 12,5% dan 15% terlihat pada grafik 4.9, hal ini terjadi karena kemampuan maximum alat pendinginan yang kurang memadai dan dapat juga disebabkan oleh campuran air dan garam tidak merata sehingga tidak menjadi larutan sempurna. Penurunan titik beku yang diperoleh dari eksperimen yang telah dilakukan hanya mencapai  $-10,353^{\circ}\text{C}$  pada *eutectic phase change material* dengan kosentrasi 15%, kondisi ini sangat jauh dari temperatur titik beku dari data pembanding pada komposisi yang sama mencapai  $-15,19^{\circ}\text{C}$  hingga  $-15,29^{\circ}\text{C}$ .

Tabel 4. 4 Temperatur eutectic phase change material setiap larutan pada tiap-tiap kuat arus

Arus (I)	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%
0 mA	-3,382	-4,187	-5,887	-6,593	-7,256	-8,601
72 mA	-3,404	-4,144	-5,888	-6,608	-7,112	-8,591
188 mA	-3,137	-3,839	-5,558	-6,136	-6,889	-8,126
349 mA	-2,979	-3,645	-5,319	-5,880	-6,574	-7,766

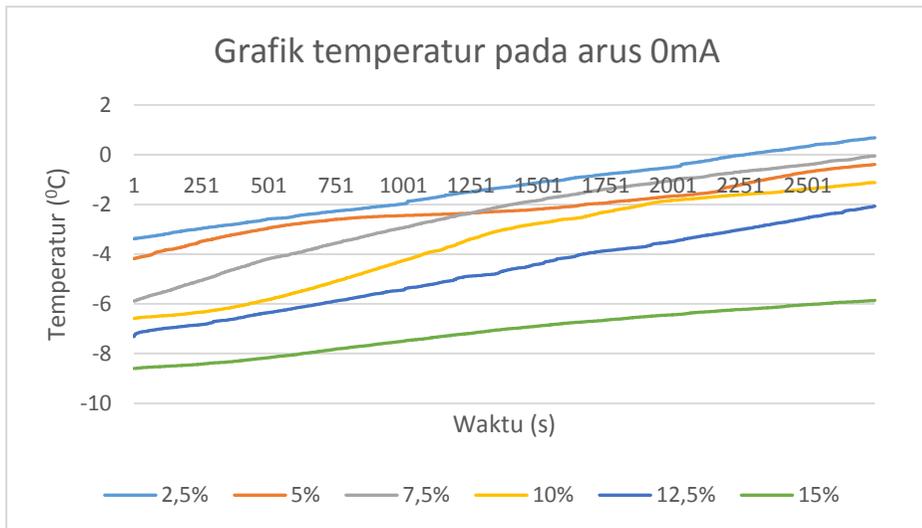


Gambar 4. 10 Grafik Temperatur eutectic phase change material

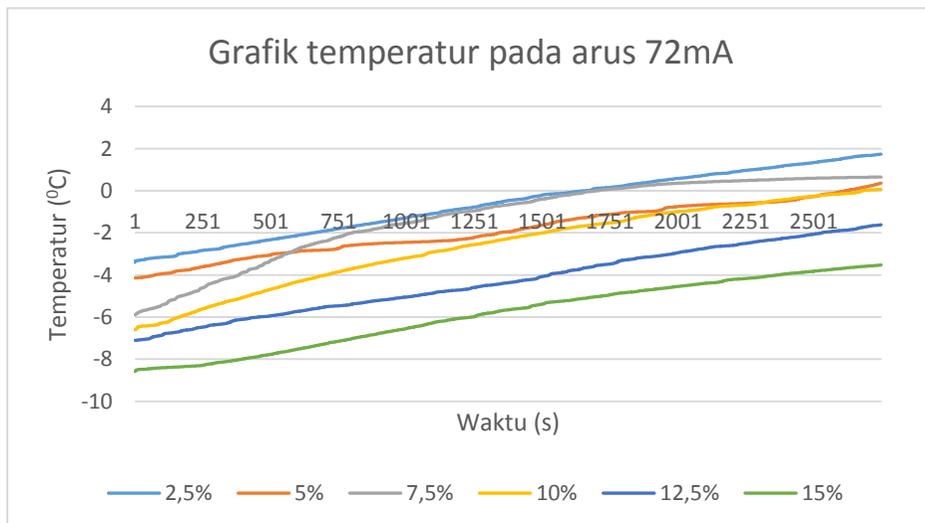
Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan temperatur titik beku pada setiap arus listrik mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi *eutectic salt water*. *Eutectic salt water* yang dialiri arus listrik 0 ampere atau *eutectic salt water* yang tidak diberi perlakuan memiliki temperatur paling rendah dan bertambah pada setiap adanya perlakuan pertambahan arus.

Hal ini terjadi karena adanya kalor yang dihasilkan oleh elektromagnetik, kalor terjadi karena energi yang dihasilkan oleh inti besi dan kumparan yang telah mengubah sebagian energi listrik yang dihasilkan menjadi energi panas. Dapat dilihat dari grafik 4.10 menunjukkan perbedaan temperatur yang relatif meningkat karena perbedaan kuat arus, semakin besar kuat arus semakin besar pula temperatur yang dihasilkan. Pada kuat arus 24 mA tidak terjadi kenaikan yang signifikan karena arus tidak menghasilkan panas pada saat pengambilan data sehingga tidak banyak memberikan pengaruh pada *eutectic salt water* hal ini diketahui bahwa ada temperatur titik beku yang menyamai bahkan melebihi temperature titik beku *eutectic salt water* tanpa perlakuan. Dilihat pada tabel

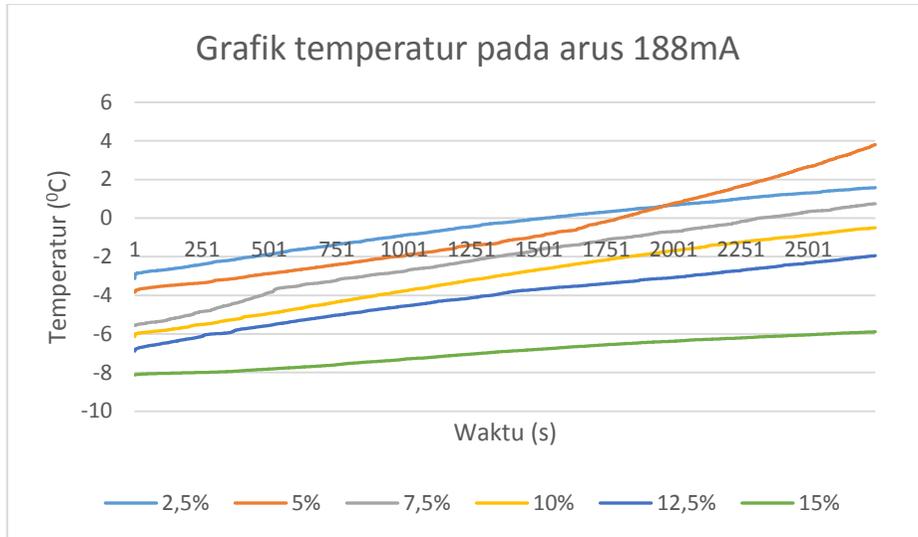
4.3 terdapat pada konsentrasi *eutectic salt water* 7,5% dengan kuat arus 72 mA yang memiliki titik beku  $-5,888\text{ }^{\circ}\text{C}$  sedangkan pada konsentrasi yang sama di arus 0 ampere memiliki titik beku  $-5,887\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan juga pada konsentrasi *eutectic salt water* 2,5% dengan kuat arus 72 mA yang memiliki titik beku  $-3,404\text{ }^{\circ}\text{C}$  sedangkan pada konsentrasi yang sama di arus 0 ampere memiliki titik beku  $-3,382\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



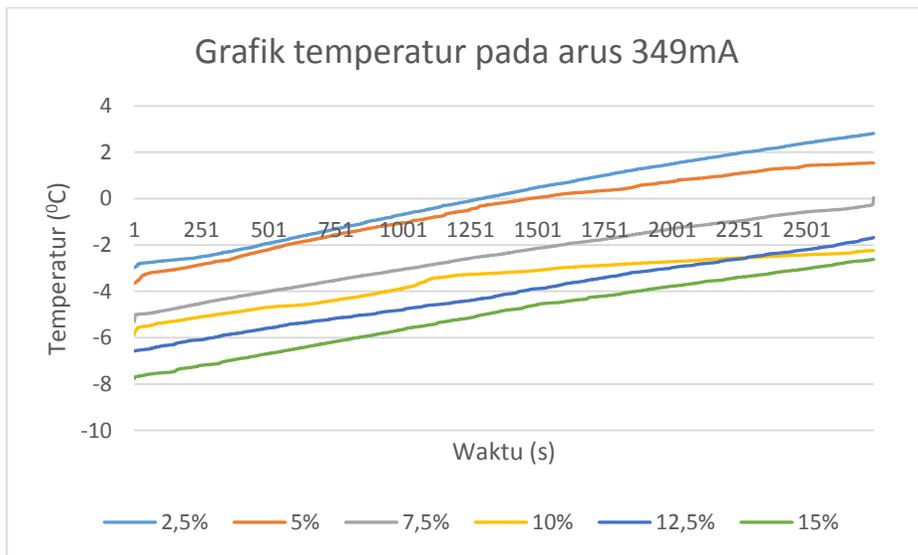
Gambar 4. 11 Grafik temperatur larutan pada arus 0A



Gambar 4. 12 Grafik temperatur larutan pada arus 72mA



Gambar 4. 13 Grafik temperatur larutan pada arus 188Ma

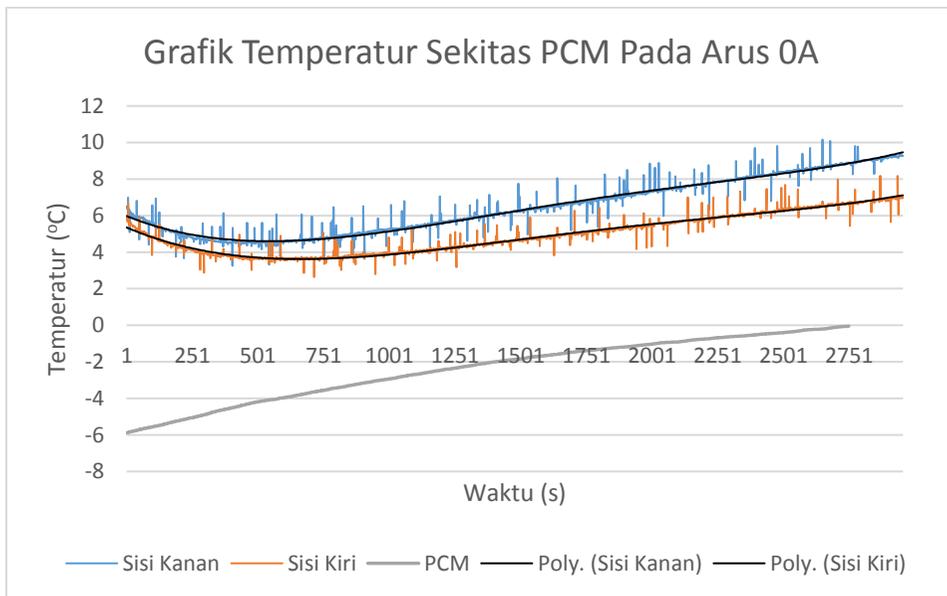


Gambar 4. 14 Grafik temperatur larutan pada arus 349mA

Mendukung analisa data Gambar 4.10 pada Gambar 4.11 sampai dengan Gambar 4.14 dibuat dengan 2750 iterasi yang merupakan grafik temperatur terhadap waktu untuk setiap kosentrasi *eutectic phase change material* yang digunakan menunjukkan bahwa temperatur pada setiap penambahan arus mengalami kenaikan. Dan juga pada kosentrasi rendah dibawah 7,5% mengalami kenaikan temperature yang cukup signifikan dibandingkan dengan kenaikan temperature denga kosentrasi tinggi. Hal ini menandakan bahwa pada temperatur *eutectic phase change material* dengan kosentrasi tinggi

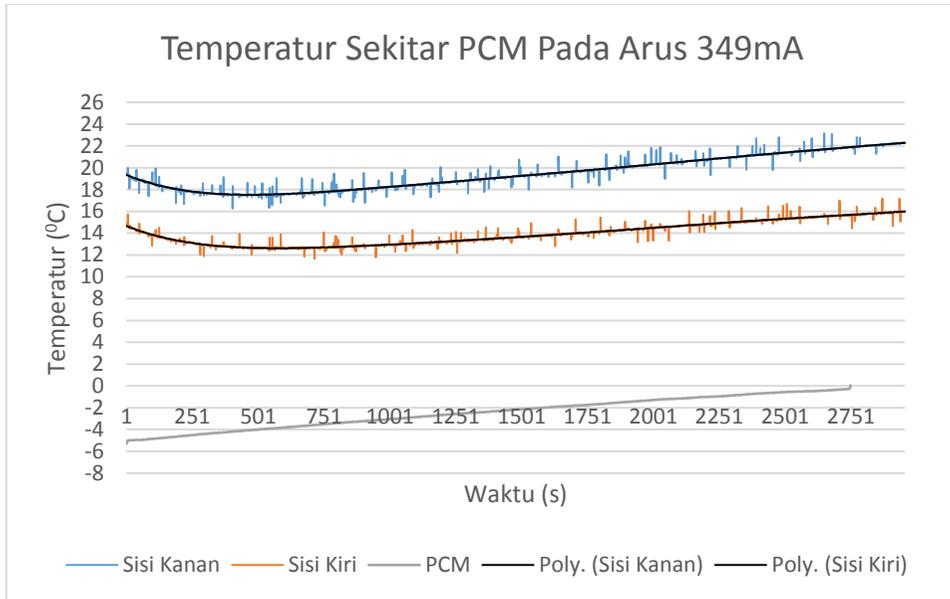
memiliki kestabilan temperatur yang baik dibanding dengan *eutectic phase change material* yang memiliki konsentrasi rendah. Dapat juga dikatakan semakin bertambahnya konsentrasi *eutectic phase change material* kemampuan penyimpanan energi *eutectic phase change material* lebih kuat.

Pertukaran panas yang terjadi juga dapat dilihat pada temperatur yang ada di sekitar PCM dengan variasi arus. Secara keseluruhan sesuai dengan sifat listrik yang memiliki efek kelistrikan. Dari literatur dan hukum-hukum tertentu sehingga mungkin untuk dihitung efeknya yang dapat menimbulkan efek panas (Sutrisno, 1979). Suatu kawat bila dilalui arus akan menjadi panas. Pada teknologi kendaraan bermotor efek panas ini digunakan misalnya pada busi pijar untuk motor diesel, pemanas listrik jendela belakang kendaraan, kumparan pemanas rokok dan di dalam lampu pijar dimana filament dipanaskan sampai satu temperatur yang tinggi sehingga dapat mengeluarkan cahaya terang.



Gambar 4. 15 Grafik Temperatur ruangan box tanpa perlakuan

Berdasarkan Grafik 4.15 dapat diketahui kondisi di sekitar juga mengalami penurunan temperatur dibandingkan dengan temperatur ruang yang memiliki temperatur sekitar 27°C sampai 30°C. Untuk menyamakan temperaturnya dengan temperatur dalam box aparatus, *eutectic phase change material* tersebut perlu menyerap kalor. Hal itu berarti bahwa jumlah panas di dalam box aparatus kini berkurang, karena ada sebagian panas yang diambil *eutectic phase change material* dalam proses pencairannya. Ruang box aparatus kini mendingin karena jumlah kalor yang ada telah berkurang karena diambil oleh *eutectic phase change material*.



Gambar 4. 16 Grafik Temperatur ruangan box pada arus 349mA

Diambil data pada arus 0mA dan 348mA digunakan untuk perbandingan karena keseluruhan grafik temperatur di sekitar PCM *eutectic salt water* didalam box aparatus mengalami penurunan di awal yang kemudian akan mengalami kenaikan bersamaan dengan naiknya temperatur PCM *eutectic salt water*. Penurunan temperatur pada awal perlakuan terjadi karena efek dari PCM yang terlalu dingin mencapai temperatur  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $-8^{\circ}\text{C}$  yang dapat menurunkan temperatur kamar  $27^{\circ}\text{C}$  sampai  $30^{\circ}\text{C}$  menjadi lebih rendah mencapai temperature  $3^{\circ}\text{C}$  tergantung dari temperatur PCM *eutectic salt water* yang digunakan. Temperatur yang naik terjadi karena adanya titik kritis pada *eutectic salt water* sehingga temperatur tidak bisa lagi lebih rendah dari titik kritis yang ada. Meskipun ada pengaruh panas dari elektromagnetik dapat dilihat juga adanya delta temperatur sekitar PCM dengan arus 349mA yakni  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  yang lebih rendah dari pada delta temperatur sekitar PCM dengan arus 0mA yakni  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ . Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin kuat medan yang diberikan, pendinginan temperatur disekitar PCM berlangsung lama.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Studi eksperimental pendinginan *eutectic phase change material* oleh pengaruh medan magnet sudah dilakukan. Hasil dari studi menunjukkan bahwa:

1. Temperatur *Eutectic Phase Change Material* mengalami kenaikan sesuai dengan pertambahan kuat arus disetiap konsentrasi *Eutectic Phase Change Material* yang digunakan. Hal ini terjadi karena adanya kalor yang dihasilkan oleh elektromagnetik, kalor terjadi karena energi yang dihasilkan oleh inti besi dan kumparan yang telah mengubah sebagian energi listrik yang dihasilkan menjadi energi panas.
2. Delta temperatur sekitar PCM dengan arus 349mA yakni  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  lebih rendah dari pada delta temperatur sekitar PCM dengan arus 0mA yakni  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ . Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin kuat medan yang diberikan, pendinginan temperatur disekitar PCM berlangsung lama.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan studi eksperimental tersebut, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam eksperimen, yaitu:

1. Pemilihan magnet dapat diganti menggunakan magnet tetap dengan berbagai variasi kuat medan magnet (Gauss) untuk mengetahui pengaruh lebih lanjut dari medan magnet tanpa adanya kalor yang terlibat.
2. Pemilihan wadah *eutectic phase change material* menggunakan bahan konduktor seperti besi, aluminium dan seng. Dan juga bisa tanpa menggunakan wadah supaya medan magnet mengenai langsung terhadap *eutectic phase change material*.
3. Menggunakan alat pendinginan yang kemampuan maksimal pendinginannya dapat mencapai  $30^{\circ}\text{C}$  atau dapat mencapai temperatur titik beku larutan paling rendah di setiap konsentrasi larutannya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

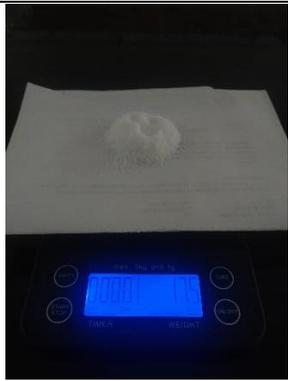
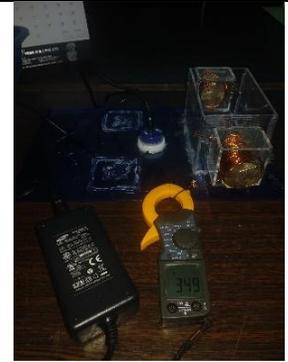
## DAFTAR PUSTAKA

- Abbat, A., 1981. *Development of Modular heat exchanger with an integrated latent heat storage*, Bonn: Germany Ministry of Science and Technology.
- Bachdar, S., 2016. *Pabrikasi AC Mulai Banjiri Pasar dengan Produk Hemat Energi*. [Online] Available at: <http://marketeers.com/pabrikasi-ac-mulai-banjiri-pasar-dengan-produk-hemat-energi/>
- Buddhi, D. & Sawhney, R., 1994. *Proceedings on Thermal energy storage and energy conversion*, Indore. India.: School of Energy and Environmental Studies.
- Chen, N., Morikawa, J. & Hasimoto, T., 2005. *Effect of Cryoprotectants on Eutectic of NaCl-2H<sub>2</sub>O/ice and KCl/Ice Studied by Temperature Wave Analysis and Differential Scanning Calorimetry.*, 431, 106-112: *Thermochimica Acta*.
- Chen, X. H., 2012. China, Patent No. CN2012105444283A.
- Coulomb, D., 2018. Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 29, pp. 413-417.
- Cowan, D. et al., 2010. Reducing refrigerant emissions and leakage - An overview and feedback from two EU projects. *Proc. Sustainable Refrigeration and Heat Pump Conference*, p. 16.
- Dan, Z., Changying, Z. & Tian, Y., 2012. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy*, Volume 92, pp. 593-605.
- Gang, L., Hwang, Y., Radermacher, R. & Chun, H. H., 2013. *Review Of Cold Storage Materials For Subzero Applications*, 51 (2013) 1-17: *Journal of Energy*.
- Gao, D. & Deng, T., 2013. Energy Storage: Preparations And Physicochemical Properties Of Solidliquid Phase Change Materials For Thermal Energy Storage. *Material and Processes for Energy: Communication Current Research and Technological Development*.
- Hou, Y. et al., 2008. *Novel Binary Eutectic Mixtures Based On Imidazole*, 143, 154-159: *Journal of Molecular Liquids*.
- Mehling, H. & Cabeza, L. F., 2008. *Heat and cold storage with PCM – An up to date introduction into basics and applications*. Berlin: Springer.
- Meng, Q. & Jinlian, H., 2008. A poly(ethylene glycol)-based smart phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, pp. 92: 1260-1268.
- Milisic, E., 2013. *Modelling of Energy Storage Using Phase Change Material (PCM Material)*, Norwegia: Norwegia University.
- Oró, E., Gracia, A. d., Farid, M. & Cabeza, L. F., 2012. Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications. *Applied Energy*, Volume 99, pp. 513-533.

- Patnaik, P., 2002. *Handbook of Inorganic Chemicals*, Amerika Serikat: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pudjiastuti, W., 2011. *Jenis-Jenis Bahan Perubah Fasa dan Aplikasinya*, Jakarta Timur: Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementrian Perindustrian.
- Sharma, A., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and application. *Renewable and sustainable Energy review* , pp. 13: 318-345.
- Sugiyono, A., Anindhita, Boedoyo, M. S. & Adiarso, 2014. Center for Energy Resources Development Technology Agency. In: *Indonesia energy outlook 2014*. Jakarta: s.n., p. 117.
- Sun, D.-. Y., Yan, S.-X. & He, Z.-Z., 2018. Case Studies in Thermal Engineering. *Magnetically stirring enhanced thermal performance of phase*, pp. 312-318.
- Sutrisno, 1979. *Seri Fisika Dasar (Fisika Listrik dan Magnet)*. Bandung: ITB Press Bandung.
- Wang, Y., Wei, H. & Li, Z., 2018. Effect of magnetic field on the physical properties of water. *Results in Physics*, pp. 262-267.
- Zalba, B. & J, M. M., 2003. Review on thermal energy storage with phas change materials, heat transfer analysis and application. *Applied Thermal Engineering*, pp. 23: 251-283.

## LAMPIRAN

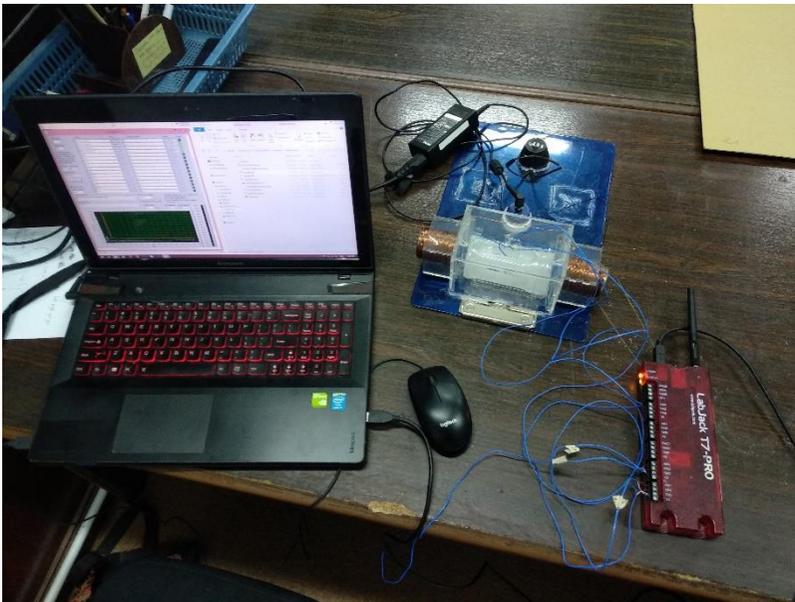
### 1. Eksperimen

a. Massa Garam		
 <p>Konsentrasi 2,5%</p>	 <p>Konsentrasi 5%</p>	 <p>Konsentrasi 7,5%</p>
 <p>Konsentrasi 10%</p>	 <p>Konsentrasi 12,5%</p>	 <p>Konsentrasi 15%</p>
b. Kuat Arus		
 <p>72 mA</p>	 <p>188 mA</p>	 <p>349 mA</p>

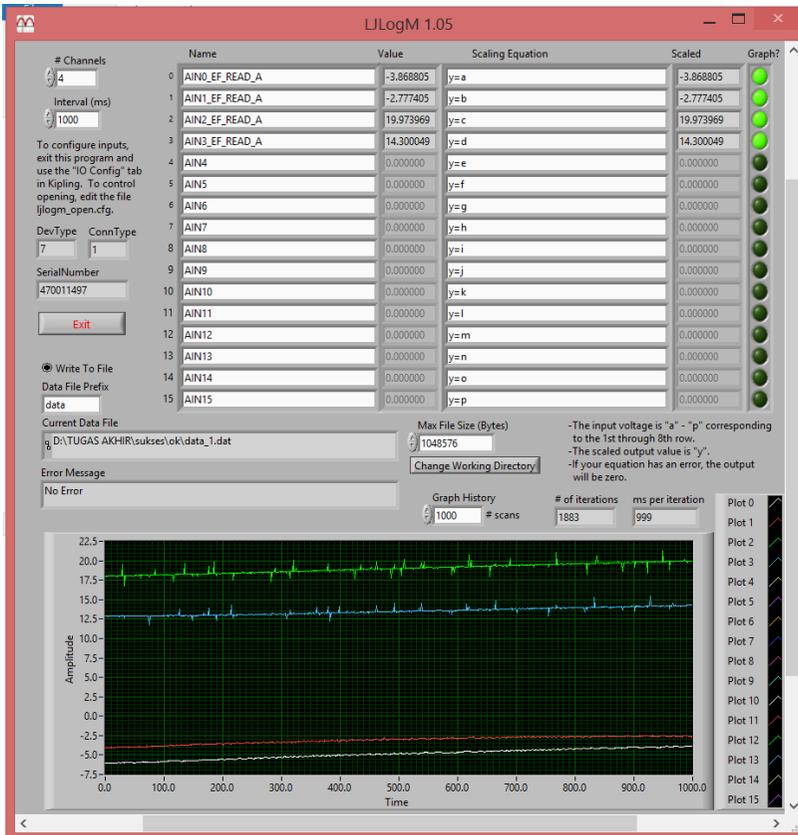
c. Pengambilan Data



Labjack T-series



Rangkaian



Software Labjack

## 2. Tabel Hasil Percobaan

## a. Eksperimen pada kuat arus 0 mA

Iterasi	Kosentrasi Larutan					
	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%
1	-3.38244	-4.18693	-5.88743	-6.59305	-7.31924	-8.60077
80	-3.26061	-3.92856	-5.61442	-6.50617	-7.0382	-8.53586
160	-3.10804	-3.76246	-5.34618	-6.43693	-6.93557	-8.48908
240	-2.98264	-3.52729	-5.07918	-6.33988	-6.84753	-8.43576
320	-2.86496	-3.32374	-4.7975	-6.22538	-6.68103	-8.35864
400	-2.76082	-3.15598	-4.51845	-6.06702	-6.54516	-8.28311
480	-2.62764	-2.99973	-4.24596	-5.87421	-6.38003	-8.18475
560	-2.54182	-2.84418	-4.059	-5.67173	-6.24817	-8.08808
640	-2.40164	-2.72858	-3.85322	-5.44434	-6.09686	-7.98157
720	-2.30255	-2.63849	-3.63533	-5.19239	-5.93951	-7.86694
800	-2.21877	-2.55472	-3.42973	-4.93391	-5.79712	-7.75043
960	-2.02933	-2.46213	-3.01848	-4.39838	-5.48257	-7.552
1040	-1.84466	-2.43314	-2.83336	-4.12846	-5.33331	-7.44492
1120	-1.72282	-2.40256	-2.64043	-3.87726	-5.18542	-7.34027
1280	-1.44333	-2.33033	-2.27339	-3.31333	-4.85888	-7.13522
1440	-1.21352	-2.23887	-1.92555	-2.86606	-4.54464	-6.95874
1520	-1.08052	-2.17304	-1.79964	-2.73032	-4.36966	-6.86694
1600	-1.00425	-2.10016	-1.65083	-2.59281	-4.15451	-6.78195
1680	-0.87747	-1.99415	-1.49592	-2.47224	-3.97833	-6.71423
1760	-0.77346	-1.93006	-1.38151	-2.28638	-3.85282	-6.64475
1840	-0.69655	-1.83848	-1.25609	-2.12589	-3.75836	-6.56601
1920	-0.58552	-1.75351	-1.15452	-1.94721	-3.63587	-6.49262
2080	-0.31609	-1.59101	-0.92567	-1.76557	-3.3226	-6.35449
2160	-0.1794	-1.49204	-0.79695	-1.68787	-3.185	-6.29227
2240	-0.03248	-1.23691	-0.70003	-1.61307	-3.03147	-6.23111
2320	0.083493	-1.04876	-0.60835	-1.55448	-2.88901	-6.17838
2400	0.187168	-0.89145	-0.51787	-1.48911	-2.73386	-6.11936
2480	0.311564	-0.72616	-0.42348	-1.39606	-2.57742	-6.04126
2560	0.431688	-0.61056	-0.30665	-1.32026	-2.42288	-5.98807
2640	0.539269	-0.50604	-0.2136	-1.23066	-2.25556	-5.93002
2720	0.641906	-0.42148	-0.08088	-1.13837	-2.12705	-5.88532
2750	0.688979	-0.3912	-0.04993	-1.11912	-2.07135	-5.86209

## b. Eksperimen pada kuat arus 72mA

Iterasi	Kosentrasi Larutan					
	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%
1	-3.40402	-4.14427	-5.88819	-6.60768	-7.1119	-8.5906
80	-3.17706	-3.97957	-5.53477	-6.37145	-6.9038	-8.42526
160	-3.00671	-3.80254	-5.02366	-6.00655	-6.70574	-8.36853
240	-2.85192	-3.63261	-4.63935	-5.65642	-6.49331	-8.30929
320	-2.71869	-3.43449	-4.22471	-5.35384	-6.33483	-8.14538
400	-2.52551	-3.22587	-3.87422	-5.06044	-6.10165	-7.98746
480	-2.36184	-3.08211	-3.44068	-4.75347	-5.97295	-7.81531
560	-2.20462	-2.9453	-2.98478	-4.46721	-5.82522	-7.62848
640	-2.04101	-2.84401	-2.59834	-4.19435	-5.64877	-7.43198
720	-1.85998	-2.79854	-2.3036	-3.9522	-5.48623	-7.21292
800	-1.70568	-2.58906	-2.0023	-3.71108	-5.38131	-7.02356
880	-1.54278	-2.51213	-1.82438	-3.4894	-5.23489	-6.82956
1040	-1.18661	-2.43458	-1.44947	-3.10649	-4.97695	-6.43997
1120	-1.04827	-2.38798	-1.20475	-2.86437	-4.80605	-6.21554
1200	-0.86572	-2.30865	-1.01469	-2.6679	-4.71066	-6.0535
1280	-0.68618	-2.13513	-0.86665	-2.48998	-4.52392	-5.86041
1360	-0.50384	-1.96441	-0.69261	-2.31029	-4.39001	-5.67599
1520	-0.16378	-1.58209	-0.36033	-1.95226	-4.03031	-5.31061
1600	-0.08657	-1.38608	-0.20222	-1.77477	-3.79389	-5.20901
1680	0.027684	-1.24814	-0.03428	-1.63304	-3.62656	-5.06509
1760	0.177708	-1.10861	0.085043	-1.51659	-3.45746	-4.92065
1840	0.323033	-1.00983	0.18514	-1.29134	-3.23664	-4.80176
2000	0.587742	-0.74878	0.356985	-0.99352	-2.94263	-4.54797
2080	0.696721	-0.67825	0.403768	-0.89391	-2.77082	-4.42996
2160	0.82462	-0.63772	0.447317	-0.73833	-2.63489	-4.32391
2240	0.956975	-0.60055	0.481771	-0.67974	-2.51438	-4.18097
2400	1.201726	-0.48233	0.555257	-0.40773	-2.24588	-3.94571
2480	1.301091	-0.30783	0.586782	-0.28383	-2.10395	-3.84726
2560	1.440678	-0.13928	0.611745	-0.18053	-1.94547	-3.74731
2640	1.586735	0.055606	0.630056	-0.11376	-1.84714	-3.64261
2720	1.694035	0.259769	0.648336	0.046857	-1.65204	-3.56091
2750	1.738652	0.359439	0.653799	0.06593	-1.61969	-3.52832

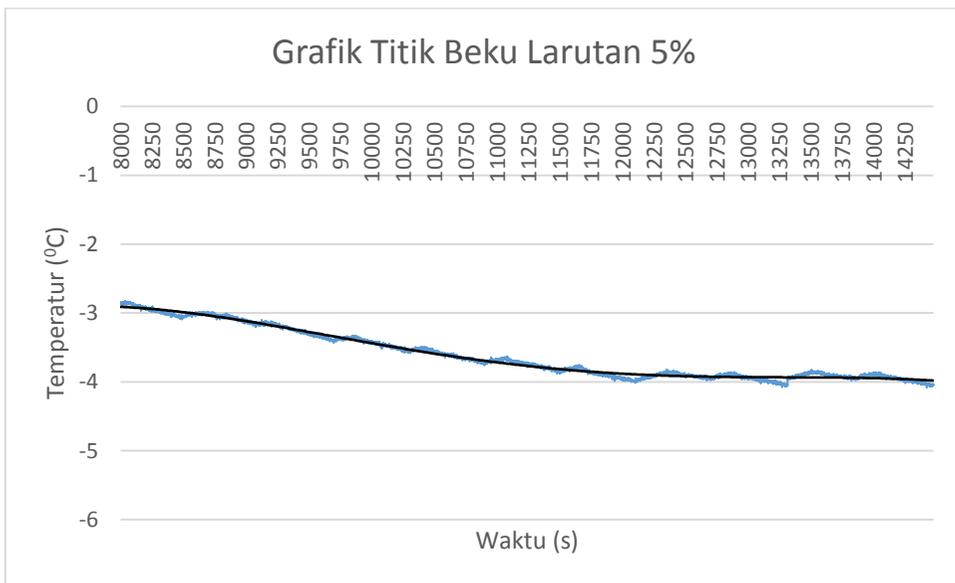
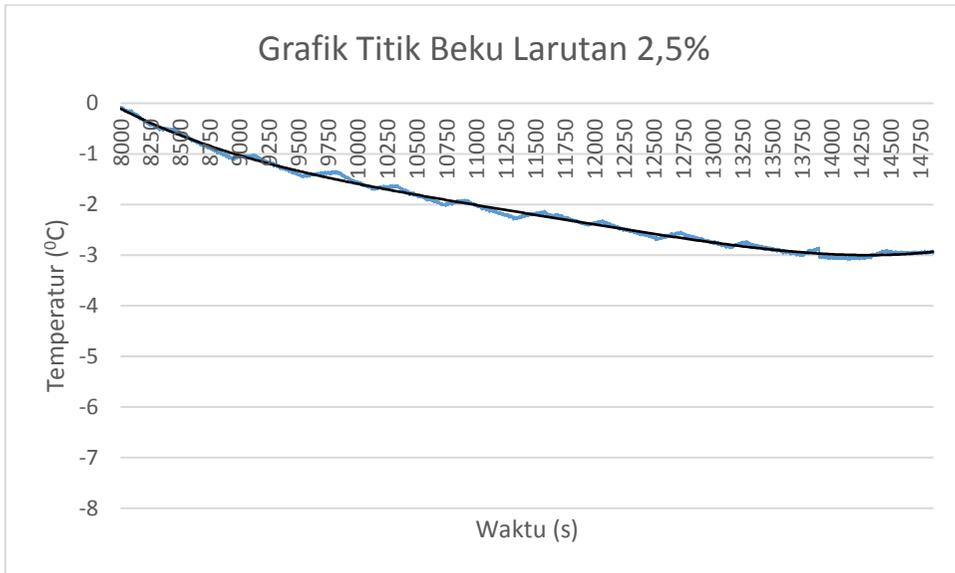
## c. Eksperimen pada kuat arus 188mA

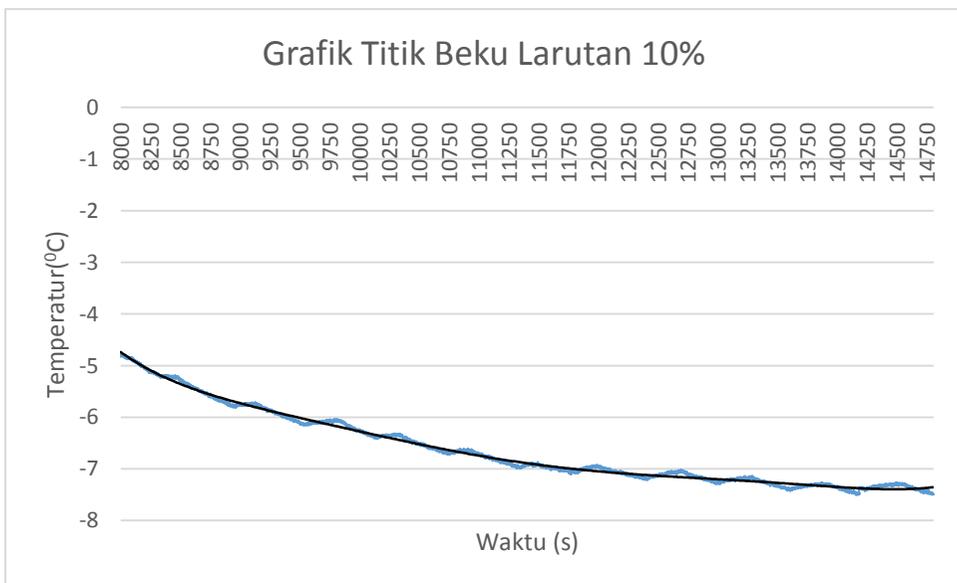
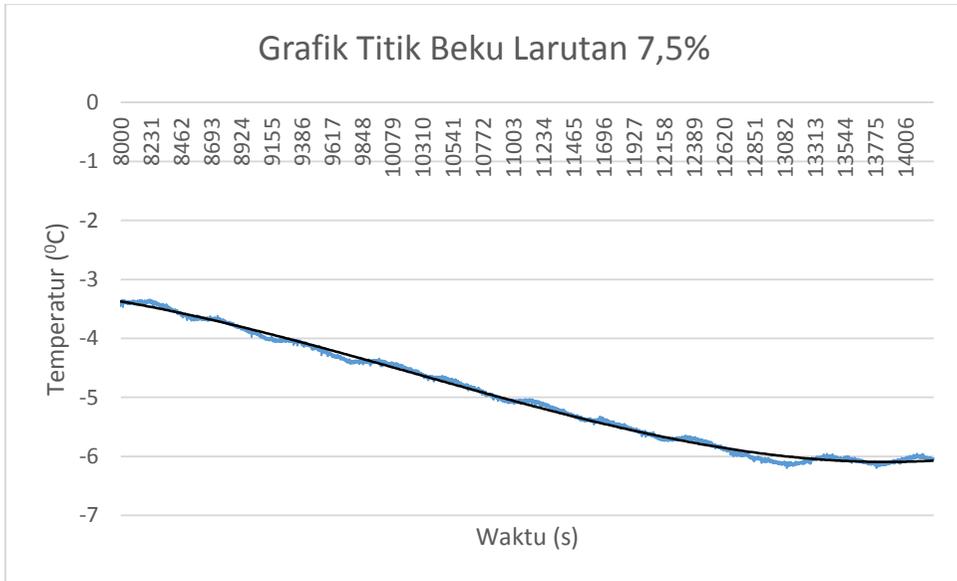
Iterasi	Kosentrasi Larutan					
	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%
1	-3.13701	-3.83944	-5.55829	-6.13602	-6.88937	-8.12633
80	-2.72539	-3.5584	-5.37964	-5.85577	-6.55187	-8.05126
160	-2.58617	-3.45577	-5.15098	-5.71439	-6.35464	-8.02227
240	-2.42436	-3.36773	-4.85895	-5.51425	-6.15676	-7.99376
320	-2.23012	-3.20123	-4.6055	-5.34277	-5.97634	-7.96669
400	-2.06618	-3.06536	-4.30283	-5.15286	-5.74182	-7.90551
480	-1.91029	-2.90023	-3.95304	-4.98782	-5.59423	-7.83376
560	-1.73699	-2.76837	-3.58146	-4.79849	-5.4201	-7.76552
640	-1.57262	-2.61706	-3.41419	-4.60477	-5.24517	-7.69722
720	-1.43678	-2.45971	-3.29313	-4.41989	-5.08593	-7.62917
800	-1.26689	-2.31732	-3.09955	-4.23135	-4.92712	-7.51726
880	-1.11592	-2.14724	-2.93607	-4.05164	-4.76736	-7.44017
1040	-0.83019	-1.85351	-2.64066	-3.67023	-4.49926	-7.26751
1120	-0.67958	-1.70562	-2.49793	-3.50076	-4.32665	-7.18657
1200	-0.51116	-1.48733	-2.318	-3.32629	-4.21203	-7.09334
1280	-0.38924	-1.37908	-2.12821	-3.14874	-4.06652	-7.00716
1360	-0.24175	-1.24349	-1.9564	-2.97037	-3.90673	-6.91616
1440	-0.12654	-1.06484	-1.8032	-2.7916	-3.74603	-6.85167
1600	0.11061	-0.67471	-1.43079	-2.46277	-3.56045	-6.69789
1680	0.229598	-0.40713	-1.28675	-2.29785	-3.48104	-6.6252
1760	0.335708	-0.1481	-1.09223	-2.13406	-3.37469	-6.54876
1840	0.447494	0.153998	-0.98142	-1.98038	-3.28021	-6.48845
1920	0.543655	0.451361	-0.81638	-1.82874	-3.15466	-6.42235
2000	0.675125	0.763648	-0.69309	-1.68497	-3.07516	-6.3738
2080	0.769576	1.035163	-0.53458	-1.55469	-2.9479	-6.3022
2160	0.864486	1.318366	-0.39057	-1.37885	-2.84597	-6.26216
2320	1.107406	1.923163	0.007424	-1.134	-2.59704	-6.14922
2400	1.210616	2.231757	0.116799	-1.0116	-2.47625	-6.10845
2480	1.290939	2.591406	0.284829	-0.90524	-2.36544	-6.05782
2560	1.39299	2.913153	0.392068	-0.77771	-2.24099	-6.00454
2640	1.46556	3.250617	0.563119	-0.64566	-2.10726	-5.94979
2720	1.553115	3.639929	0.709817	-0.53687	-1.98565	-5.90419
2750	1.577255	3.801795	0.747262	-0.49973	-1.94647	-5.88707

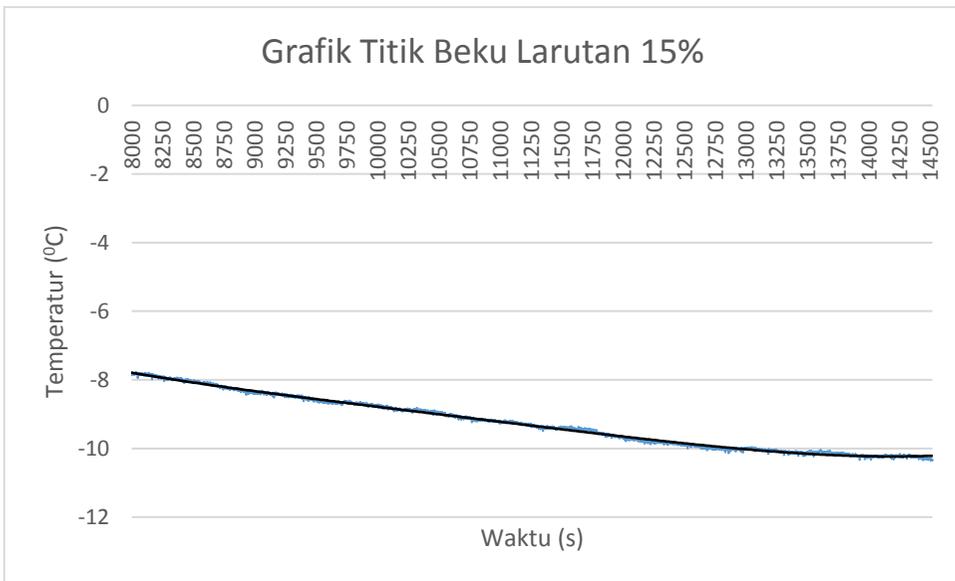
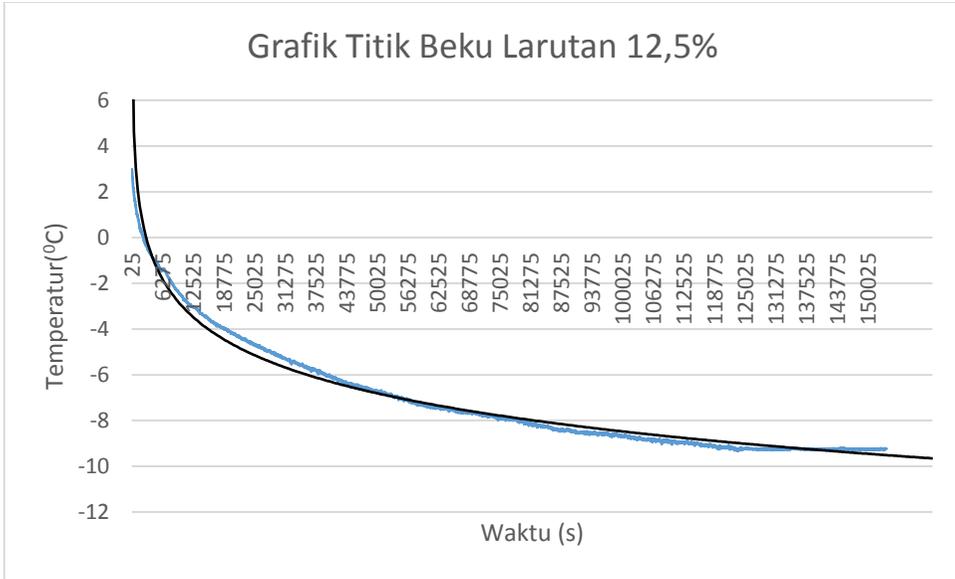
## d. Eksperimen pada kuat arus 349mA

Iterasi	Kosentrasi Larutan					
	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%
1	-2.97946	-3.64537	-5.31889	-5.87976	-6.57352	-7.76551
80	-2.71445	-3.16633	-4.89695	-5.39868	-6.41287	-7.53855
160	-2.63226	-3.04057	-4.72205	-5.26746	-6.23093	-7.3682
240	-2.52814	-2.85863	-4.5395	-5.1127	-6.09906	-7.21342
320	-2.36481	-2.68638	-4.35349	-4.97784	-5.92822	-7.08018
400	-2.17294	-2.47377	-4.19349	-4.85809	-5.78491	-6.887
480	-1.96573	-2.24589	-4.04554	-4.71628	-5.61713	-6.72333
560	-1.79178	-2.0146	-3.8899	-4.62799	-5.46723	-6.56611
640	-1.57257	-1.82472	-3.73866	-4.56561	-5.33847	-6.4025
720	-1.38531	-1.63722	-3.57703	-4.4339	-5.22608	-6.22147
800	-1.17328	-1.44728	-3.40949	-4.28723	-5.10413	-6.06718
880	-0.95645	-1.27183	-3.27473	-4.13632	-4.99368	-5.90427
960	-0.77389	-1.11668	-3.11347	-3.96005	-4.84696	-5.73521
1040	-0.56976	-0.94514	-2.98316	-3.76282	-4.70108	-5.5481
1120	-0.40301	-0.78468	-2.82011	-3.42374	-4.57913	-5.40977
1200	-0.21347	-0.57225	-2.66306	-3.30673	-4.46268	-5.22721
1280	-0.01593	-0.35698	-2.51707	-3.25375	-4.33068	-5.04767
1360	0.15589	-0.19438	-2.40128	-3.20407	-4.17208	-4.86533
1520	0.52912	0.076158	-2.11503	-3.0686	-3.86605	-4.52528
1600	0.67716	0.212572	-1.97562	-2.97192	-3.68044	-4.44807
1760	1.02945	0.358904	-1.7266	-2.87054	-3.37755	-4.18378
1840	1.20325	0.461046	-1.58219	-2.81177	-3.22591	-4.03846
1920	1.35974	0.619402	-1.43998	-2.76031	-3.10738	-3.9014
2000	1.49781	0.732134	-1.29166	-2.71594	-2.97918	-3.77375
2080	1.65351	0.852922	-1.18961	-2.67551	-2.87478	-3.66477
2160	1.79483	0.951616	-1.07084	-2.61139	-2.76061	-3.53687
2240	1.94474	1.074785	-0.97791	-2.5614	-2.61059	-3.40452
2400	2.21347	1.298815	-0.70747	-2.47348	-2.34713	-3.15977
2480	2.36359	1.367784	-0.59715	-2.43277	-2.21947	-3.0604
2560	2.51111	1.456987	-0.52277	-2.39639	-2.09493	-2.92081
2640	2.62882	1.488298	-0.44679	-2.3591	-1.92535	-2.77476
2720	2.76313	1.531755	-0.31431	-2.25622	-1.74905	-2.66746
2750	2.81189	1.542253	0.046806	-2.23837	-1.67895	-2.62284

## 3. Grafik Hasil Percobaan









Penulis bernama Atfal Afandi, merupakan putra pertama dari 3 bersaudara. Ayah dari penulis merupakan seorang guru Bahasa Inggris di salah satu SMA Negeri ini beliau bernama Dadik Wiji Santoso dan Ibu dari penulis bernama Tri Has Tutik. Kelahiran 1998 tanggal 12 bulan januari di Sidoarjo, Jawa Timur membuat jiwa reformasi sedikit mengalir dalam diri penulis. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar di SDN Slamparejo 01 Malang, jenjang menengah pertama di MTs. Surya Buana Malang, jenjang menengah atas di MAN Insan Cendekia Gorontalo, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Marine Fluid Machinery and System (MMS)*. Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Orela Shipyard, Geresik dan PT. Pertama RU IV, Cilacap. Selain ktivitas akademis, Penulis pernah bergabung falam Himpunan Teknik Sistem Perkapalan sebagai Kepala Biro Kewirausahaan pada tahun 2018. Selain itu, Penulis juga menjadi panitia Marine Icon di divisi Pubdekdok serta Nasional Symposium di divisi Staff tahun 2017. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan seperti Latihan Keterampilan Menejemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar, Pelatihan Lidership Camp, Pelatihan MHMMD. Dalam kehidupan pribadi penulis memiliki tujuan utama yakni selalu meningkatkan Ilmu Pengetahuan Teknologi (IPTEK), Iman dan Taqwa (IMTAQ), serta Berakhlak Mulia. Penulis dapan dihubungi melalui [atfalafandi@gmail.com](mailto:atfalafandi@gmail.com) atau 085850933856.