

**EFEKTIVITAS PERUBAHAN FASE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O  
SEBAGAI SISTEM PENDINGIN IKAN LAUT**

**SKRIPSI**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2023**

**EFEKTIVITAS PERUBAHAN FASE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O  
SEBAGAI SISTEM PENDINGIN IKAN LAUT**

**SKRIPSI**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dari Universitas Andalas**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2023**

SKRIPSI

EFEKTIVITAS PERUBAHAN FASE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O  
SEBAGAI SISTEM PENDINGIN IKAN LAUT

disusun oleh:  
IQBAL ALIEF  
1810442021

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 13 Juni 2023


Tim Penguji

Pembimbing Utama



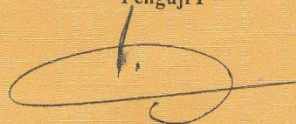
Astuti, M.Si  
NIP. 198108142005012002

Pembimbing Pendamping



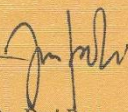
Sri Rahayu Alfitri Usna, M.Si  
NIP. 198905252019032020

Penguji I




Drs. Alimin Mahyudin, M.Si  
NIP. 196106031989011001

Penguji II



Dr. Dwi Purvanti  
NIP. 196904191997022001

Penguji III



Dr. Ramacos Fardela  
NIP. 198904042022031004

# EFEKTIVITAS PERUBAHAN FASE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O SEBAGAI SISTEM PENDINGIN IKAN LAUT

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas material berubah fase (*phase change material*, PCM) KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan. KCl/H<sub>2</sub>O merupakan PCM eutektik garam hidrat yang memiliki temperatur lebur -10,7 °C dan entalpi 273 kJ/kg. Sampel yang diuji adalah ikan laut Kuwe dengan massa 1 kg (4 ekor) dan kotak penyimpanan ikan jenis *styrofoam* berukuran 40×26,5×15 cm<sup>3</sup> dan tebal 2 cm. Variasi massa ikan terhadap KCl/H<sub>2</sub>O adalah 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 ; dan 1:3. Proses perubahan temperatur sistem pendingin ikan setiap waktu diukur menggunakan sensor temperatur DS18B20. Berdasarkan hasil penelitian, secara teknis KCl/H<sub>2</sub>O efektif menurunkan temperatur ikan sebesar -0,22 °C/menit. Penggunaan 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O efektif mempertahankan temperatur ikan pada rentang temperatur 0 °C hingga 5 °C selama 20 jam dan penggunaan 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O baik dalam mempertahankan temperatur ikan dalam rentang temperatur lebih rendah yaitu -5 °C hingga 0 °C selama 16 jam. Dari uji organoleptik, agar kondisi fisik ikan tetap terjaga pasca penyimpanan selama 24 jam dianjurkan menggunakan minimal 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O. Dari segi ekonomi, biaya penanganan proses pendinginan ikan menggunakan KCl/H<sub>2</sub>O enam kali lebih besar dibandingkan pendinginan konvensional, sehingga sistem ini kurang direkomendasikan.

Kata kunci: ikan Kuwe, KCl/H<sub>2</sub>O, PCM, pendingin ikan

# THE EFFECTIVENESS OF PHASE CHANGE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O AS A MARINE FISH COOLING SYSTEM

## ABSTRACT

This study aims to determine the effectiveness of phase change material (PCM) KCl/H<sub>2</sub>O as a fish cooling system. KCl/H<sub>2</sub>O is a eutectic PCM of hydrate salts that has a melting temperature of -10,7 °C and an enthalpy of 273 kJ/kg. The samples tested were Kuwe marine fish with a mass of 1 kg (4 heads) and a styrofoam type fish storage box measuring 40×26,5×15 cm<sup>3</sup> and 2 cm thick. The variation in fish mass to KCl/H<sub>2</sub>O is 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 ; and 1:3. The process of changing the temperature of the fish cooling system every time is measured using the DS18B20 temperature sensor. Based on the results of the study, technically KCl/H<sub>2</sub>O is effective in reducing fish temperature by -0,22 °C/minute. The use of 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O is effective in maintaining fish temperature in the temperature range of 0 °C to 5 °C for 20 hours and the use of 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O is good in maintaining fish temperature in the lower temperatur range of -5 °C to 0 °C for 16 hours. From organoleptic tests, so that the physical condition of the fish is maintained after storage for 24 hours, it is recommended to use at least 2 kg of KCl/H<sub>2</sub>O. In terms of economy, the cost of handling the fish cooling process using KCl/H<sub>2</sub>O six times greater than conventional cooling, so this system is less recommended.

Keywords: Kuwe fish, KCl/H<sub>2</sub>O, PCM, fish cooler

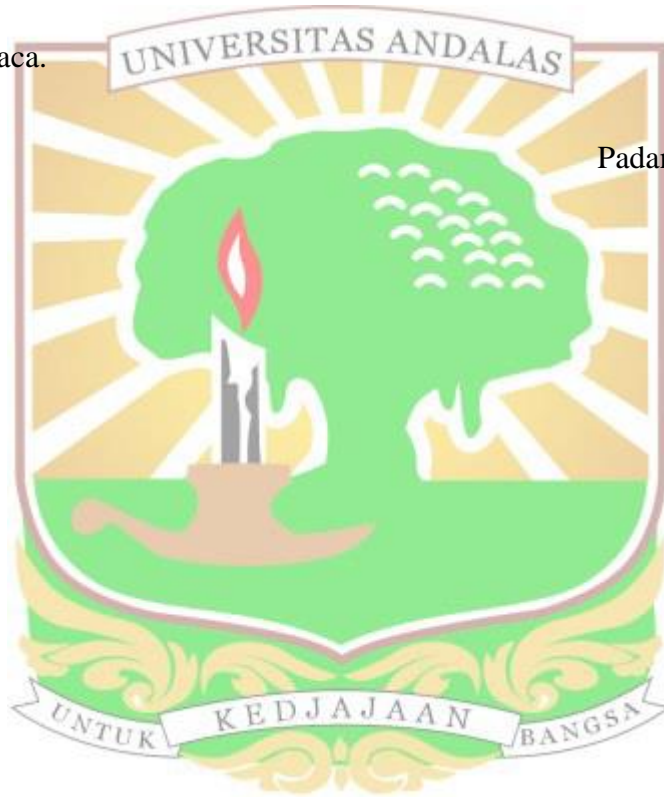
## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Efektivitas Perubahan Fase Material KCl/H<sub>2</sub>O sebagai Sistem Pendingin Ikan Laut”**. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Selesaiannya penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Astuti M.Si dan Ibu Sri Rahayu Alfitri Usna M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan serta arahan dalam melaksanakan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Alimin Mahyudi, M.Si, Bapak Dr. Ramacos Fardela, dan Ibu Dr. Dwi Puryanti selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan, arahan, dan saran untuk kebaikan skripsi ini.
3. Ketua Departemen Fisika dan seluruh staf pengajar yang telah berbagi ilmu, pemahaman, dan pengalamannya serta seluruh pegawai akademis di lingkungan Departemen Fisika atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan.
4. Orang tua yang telah membesarkan ananda dengan tulus dan kasih sayang mendidik dan memotivasi penulis selama berlangsungnya perkuliahan.

5. Dan semua pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan studi di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurna. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.



Padang, 13 Juni 2023

Iqbal Alief

# DAFTAR ISI

halaman

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian .....	4
<b>BAB II      LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Termodinamika .....	5
2.1.1 Sistem dan Lingkungan .....	5
2.1.2 Keseimbangan Termodinamika .....	6
2.1.3 Besaran-Besaran Termodinamika .....	7
2.2 Jenis-jenis Energi .....	10
2.2.1 Energi Radiasi .....	10
2.2.2 Energi Kimia .....	10
2.2.3 Energi Potensial .....	10
2.2.4 Energi Termal.....	10
2.3 Penyimpanan Energi Termal .....	11
2.3.1 Termokimia .....	11
2.3.2 Termofisika .....	12
2.4 <i>Phase Change Material (PCM)</i> .....	14
2.5 Kalium Klorida (KCl)/H <sub>2</sub> O sebagai PCM Eutetik.....	16
2.6 PCM sebagai Sistem Pendingin .....	17

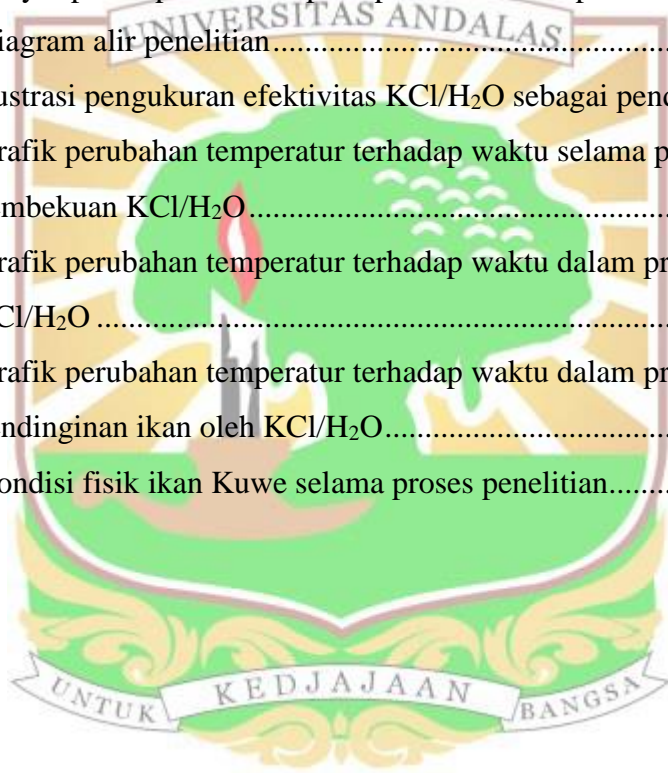


2.7	Penanganan Ikan Laut di Atas Kapal.....	17
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian .....	19
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.2.1	Alat Penelitian .....	19
3.2.2	Bahan Penelitian.....	20
3.3	Teknik Penelitian .....	20
3.4	Prosedur Penelitian .....	21
3.4.1	Pengujian Karakteristik Termal PCM KCl/H <sub>2</sub> O.....	22
3.4.2	Pengujian Efektivitas KCl/H <sub>2</sub> O sebagai Sistem Pendingin Ikan.....	23
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1	Karakteristik Termal PCM KCl/H <sub>2</sub> O.....	25
4.2	Efektivitas KCl/H <sub>2</sub> O sebagai Sistem Pendingin Ikan .....	28
4.2.1	Efektivitas dari Segi Teknis .....	28
4.2.2	Efektivitas dari Segi Ekonomi .....	33
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
5.1	Kesimpulan .....	35
5.2	Saran .....	36
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>37</b>
	<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR GAMBAR

halaman

Gambar 2.1 Jenis-jenis sistem: (a) sistem terbuka, (b) sistem tertutup, dan (c) sistem terisolasi .....	5
Gambar 2.2 Metode penyimpanan energi panas (TES) .....	11
Gambar 2.3 Hubungan temperatur terhadap penyimpanan energi panas sensibel	12
Gambar 2.4 Penyimpanan panas laten pada perubahan fase pada ke cair .....	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	21
Gambar 3.2 Ilustrasi pengukuran efektivitas KCl/H <sub>2</sub> O sebagai pendingin ikan...	24
Gambar 4.1 Grafik perubahan temperatur terhadap waktu selama proses pembekuan KCl/H <sub>2</sub> O .....	25
Gambar 4.2 Grafik perubahan temperatur terhadap waktu dalam proses peleburan KCl/H <sub>2</sub> O .....	27
Gambar 4.3 Grafik perubahan temperatur terhadap waktu dalam proses pendinginan ikan oleh KCl/H <sub>2</sub> O .....	28
Gambar 4.4 Kondisi fisik ikan Kuwe selama proses penelitian.....	31



## DAFTAR TABEL

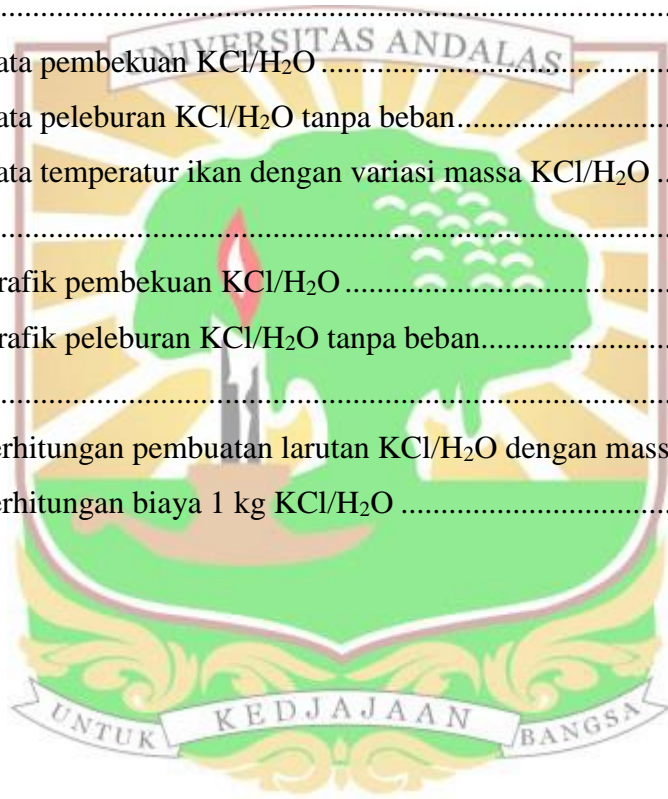
halaman

Tabel 2.1 Karakteristik PCM KCl/H <sub>2</sub> O .....	16
Tabel 2.2 Pengaruh temperatur ikan terhadap mutu simpan ikan .....	18
Tabel 3.1 Pembuatan larutan variasi massa KCl/H <sub>2</sub> O .....	22
Tabel 4.1 Efektivitas KCl/H <sub>2</sub> O dalam menurunkan temperatur 1 kg ikan Kuwe.	29
Tabel 4.2 Efektivitas KCl/H <sub>2</sub> O dalam mempertahankan temperatur 1 kg ikan Kuwe.....	30
Tabel 4.3 Penjelasan kondisi fisik ikan Kuwe pasca pendinginan dengan KCl/H <sub>2</sub> O selama 24 dan 48 jam.....	32



## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran A .....	39
A. 1 Alat penelitian .....	39
A. 2 Bahan penelitian .....	39
Lampiran B Susunan ikan dan KCl/H <sub>2</sub> O di dalam kotak pendingin.....	40
Lampiran C.....	41
C. 1 Data pembekuan KCl/H <sub>2</sub> O .....	41
C. 2 Data peleburan KCl/H <sub>2</sub> O tanpa beban.....	45
C. 3 Data temperatur ikan dengan variasi massa KCl/H <sub>2</sub> O .....	49
Lampiran D .....	51
D. 1 Grafik pembekuan KCl/H <sub>2</sub> O .....	51
D. 2 Grafik peleburan KCl/H <sub>2</sub> O tanpa beban.....	53
Lampiran E.....	55
E. 1 Perhitungan pembuatan larutan KCl/H <sub>2</sub> O dengan massa 1 kg KCl ..	55
E. 2 Perhitungan biaya 1 kg KCl/H <sub>2</sub> O .....	55



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Ikan adalah hewan vertebrata berdarah dingin yang hidup di air, umumnya bernafas dengan insang, dan bergerak seimbang menggunakan sirip (Burhanuddin, 2014). Kandungan kadar air merupakan komponen terbesar pada ikan, sehingga kandungan kadar air (70-80%) dapat menjadi substrat yang baik bagi pertumbuhan mikroba pembusuk. Perlu penanganan khusus sejak proses penangkapan hingga pengolahan baik di industri maupun tingkat rumah tangga (Nugroho dkk., 2016). Ada beberapa cara untuk menjaga kualitas ikan, salah satunya dengan menggunakan temperatur rendah atau proses pendinginan (Lubis dkk., 2019).

Kapal ikan tradisional biasanya menggunakan pendinginan dengan es balok sebagai tempat penyimpanan ikan pasca ditangkap. Namun es balok hanya dapat mempertahankan temperatur rendah dalam waktu yang singkat (Setyowidodo, 2016). Penggunaan es balok untuk penanganan 78 kg ikan dapat menjaga temperatur dari  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 35 jam (Aziz, 2012). Salah satu solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan ini yaitu dengan menggunakan material berubah fase atau *phase change material* (PCM) dalam sistem pendingin. PCM merupakan material yang mengalami perubahan fase ketika menyerap (*charging*) dan melepaskan (*discharging*) kalor (Pudjiastuti dkk., 2015). Cara kerja PCM yaitu dapat menyerap/melepaskan panas laten dari lingkungan dan menjaga temperatur sistem tetap stabil (Haryowidagdo, 2017).

Pudjiastuti dkk. (2015) memanfaatkan PCM komersial dengan titik lebur -4 °C hingga -12 °C yang diproduksi oleh KITECH sebagai sistem pendingin produk makanan laut. PCM disimpan pada kotak *expanded* polistirena (EPS) sebagai kontainer berinsulasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan kotak EPS yang menggunakan PCM dapat memperpanjang waktu suhu simpan dan mencapai suhu yang lebih rendah dibandingkan sistem pendingin konvensional. Hasil uji mikrobiologi membuktikan tidak terjadinya perubahan pada kualitas produk.

Taufiqurrahman (2016) melakukan penelitian tentang analisis kinerja PCM organik sebagai sistem pendingin alternatif *cold storage* yang dapat dimanfaatkan sebagai sistem pendingin ikan. Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah PCM parafin yang memiliki titik lebur -7 °C sampai -4 °C dan disimpan di dalam *cool box*. *Cool box* diatur dalam dua sistem, yaitu dengan sirkulasi udara (dari lingkungan) dan tanpa sirkulasi udara (tertutup rapat). Hasil yang diperoleh menunjukkan kemampuan mempertahankan temperatur meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah PCM, baik pada *cool box* dengan sistem sirkulasi udara maupun pada sistem tanpa sirkulasi udara.

Sukoco dkk. (2020) melakukan penelitian tentang penggunaan PCM kalium klorida (KCl) dalam kotak penyimpanan ikan (*storage box*). Percobaan ini membandingkan performa termal dan kualitas ikan antara penggunaan PCM KCl dan es batu yang biasa digunakan oleh nelayan tradisional untuk menjaga kesegaran ikan saat dikirim ke pasar. Performa termal menunjukkan bahwa PCM KCl yang disimpan di dalam kantong aluminium mampu menurunkan temperatur ruang kotak yang mulai stabil pada -2,8 °C, suhu kotak meningkat perlahan

mencapai 2,1 °C setelah 24 jam. Sementara es batu bekerja secara stabil pada temperatur 0 °C lebih tinggi dibanding temperatur KCl. Uji Kesegaran ikan dilihat dari hasil uji organoleptik, dan menunjukkan bahwa PCM KCl bekerja lebih baik dalam menjaga kesegaran ikan dibanding penggunaan es batu sebagai sistem pendingin ikan.

Pada penelitian ini diuji efektivitas PCM KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan laut pasca tangkapan. Variasi massa larutan KCl(19,5%)/H<sub>2</sub>O yaitu 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, dan 3 kg masing-masing sampel dibagi dalam 3 wadah plastik bening dan dibekukan hingga berubah jadi padatan. Kotak penyimpanan ikan yang digunakan jenis *styrofoam* dengan ukuran 40×26,5×15 cm<sup>3</sup> dan tebal 2 cm. Ikan yang akan diuji yaitu ikan Kuwe 1 kg yang berisi 4 ekor ikan dengan ukuran seragam. Ikan beserta PCM KCl/H<sub>2</sub>O yang telah dibekukan disusun sedemikian rupa di dalam kotak penyimpanan ikan dengan perbandingan PCM KCl/H<sub>2</sub>O terhadap ikan adalah 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 ; dan 1:3. Perubahan temperatur setiap waktu pada PCM KCl/H<sub>2</sub>O, ikan, temperatur ruang kotak penyimpanan ikan, serta temperatur lingkungan diamati dengan menggunakan sensor temperatur DS18B20.

## 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan karakteristik termal (pembekuan dan peleburan KCl/H<sub>2</sub>O).
2. Menentukan efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O secara teknis dalam menurunkan dan mempertahankan temperatur ikan Kuwe.

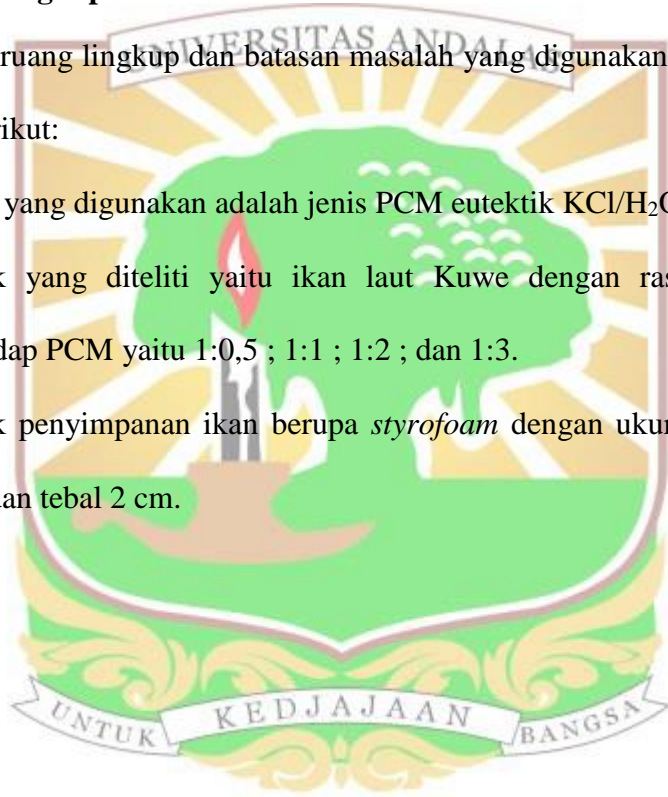
3. Menentukan efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O secara ekonomi sebagai sistem pendingin ikan Kuwe.

Adapun manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu menghasilkan sebuah sistem pendingin ikan yang dapat dimanfaatkan oleh nelayan tradisional dalam penyimpanan ikan pasca tangkap.

### 1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Adapun ruang lingkup dan batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. PCM yang digunakan adalah jenis PCM eutektik KCl/H<sub>2</sub>O.
2. Objek yang diteliti yaitu ikan laut Kuwe dengan rasio massa ikan terhadap PCM yaitu 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 ; dan 1:3.
3. Kotak penyimpanan ikan berupa *styrofoam* dengan ukuran 40×26,5×15 cm<sup>3</sup> dan tebal 2 cm.



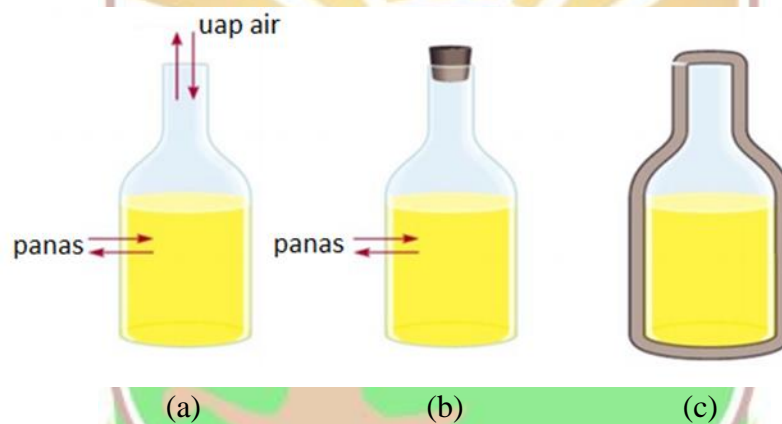


## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Termodinamika

#### 2.1.1 Sistem dan Lingkungan

Bagian dari alam semesta selain dari sistem yang ditinjau disebut sebagai lingkungan. Antara lingkungan dan sistem dibatasi oleh dinding pembatas. Dari sifat dinding pembatas sistem dan lingkungan, sistem dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jenis-jenis sistem: (a) sistem terbuka, (b) sistem tertutup, dan (c) sistem terisolasi  
(Sumber: Chang, 2004)

Adapun penjelasan untuk Gambar 2.1 sebagai berikut:

- Sistem terbuka (*open system*) dapat mempertukarkan massa dan energi (biasanya dalam bentuk kalor) dengan lingkungan. Contoh: sistem terbuka terdiri dari sejumlah air dalam wadah terbuka.
- Sistem tertutup (*closed system*) yang memungkinkan perpindahan energi (kalor) tetapi massanya konstan.

- c. Sistem terisolasi (*isolated system*) dengan menempatkan air dalam wadah yang disekat seluruhnya, yang tidak memungkinkan perpindahan massa maupun energi (Chang, 2004).

### 2.1.2 Keseimbangan Termodinamika

Interaksi antar sistem dengan sistem atau antar sistem dengan lingkungan cenderung menuju keseimbangan. Ada empat jenis keseimbangan yang merupakan komponen dari keseimbangan termodinamika (Pitzer, 1995), yaitu:

1. Keseimbangan mekanis, terjadi jika resultan gaya dalam sistem sama dengan resultan gaya pada lingkungan.
2. Keseimbangan kimiawi, terjadi jika tidak adanya difusi, kondensasi, pelarutan, zat, serta reaksi kimia dengan komposisi dan konsentrasi tetap.
3. Keseimbangan termal, terjadi jika dua sistem dengan temperatur yang berbeda dipertemukan maka terjadi pertukaran kalor hingga temperatur kedua sistem menjadi sama (setimbang). Keseimbangan termal juga dicapai jika tidak ada perubahan spontan pada koordinat sistem dalam keseimbangan mekanik dan kimia saat sistem dipisahkan dari lingkungan pada dinding termal.
4. Keseimbangan termodinamika, terjadi jika ketiga jenis keseimbangan di atas terpenuhi.

Jika keempat jenis keadaan setimbang ini tidak terpenuhi, maka sistem disebut berada dalam keadaan tidak setimbang (*non equilibrium*). Berdasarkan perilaku yang disebabkan oleh interaksi sistem dengan lingkungan maka sistem

dibedakan dalam dua bentuk, yaitu sistem mikroskopik dan sistem makroskopik. Karakteristik sistem mikroskopik diperlihatkan oleh pendekatan-pendekatan pada skala molekular atau skala mikro. Sistem makroskopik ditandai dengan pendekatan-pendekatan pada skala besar atau skala manusia yang melibatkan sifat dasar dari pengukuran pada sebuah sistem (Linder, 2004; Pitzer, 1995).

### 2.1.3 Besaran-Besaran Termodinamika

Termodinamika merupakan ilmu yang mempelajari sifat material pada saat setimbang sehingga dapat dilihat dari perubahan temperatur, tekanan, volume, serta komposisi dari sifat kimia tersebut. Komposisi sifat kimia meliputi entalpi, energi bebas gibbs, entropi, energi dalam sistem, dan energi bebas helmholtz.

#### 1. Temperatur ( $T$ )

Temperatur menjelaskan tentang energi panas yang terkandung dalam suatu zat, baik itu cairan, gas, maupun padatan. Temperatur dikenal juga dengan istilah suhu, yang menunjukkan nilai derajat panas yang dimiliki suatu benda. Alat untuk mengukur temperatur yaitu termometer dan sensor temperatur. Termometer yang paling umum digunakan yaitu air raksa, sementara sensor temperatur terbuat dari material piranti elektronika. Ada empat jenis satuan termometer yang digunakan, yaitu celcius, fahrenheit, kelvin, dan reamur dengan perbandingan perbandingan  $C : R : (F-32) = 5 : 4 : 9$  dan Kelvin ( $K$ ) =  $^{\circ}C + 273$ .

## 2. Tekanan ( $P$ )

Tekanan merupakan salah satu properti yang terpenting dalam termodinamika dan didefinisikan sebagai gaya tekan suatu fluida (cair atau gas) pada satu satuan unit luas area. Istilah tekanan pada benda padat disebut tegangan (*stress*). Satuan tekanan adalah Pa (Pascal), yang didefinisikan sebagai  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ .

Karena satuan Pascal terlalu kecil, maka dalam analisis termodinamika sering digunakan satuan kilopascal ( $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ ) atau megapascal ( $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ ). Satuan tekanan yang cukup dikenal adalah bar (*barometric*) atau atm (*standard atmosphere*).  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$ ,  $1 \mu\text{bar} = 10^{-1} \text{ Pa} = 1 \text{ dyn/cm}^2$ .

## 3. Volume ( $V$ )

Volume disebut juga sebagai kapasitas yang menggambarkan kemampuan suatu ruang untuk ditempati oleh suatu objek. Pada volume dikenalkan istilah volume spesifik yang merupakan volume per satuan massa benda dan volume molar yang menyatakan volume dari satu molar unsur atau senyawa kimia pada temperatur dan tekanan tertentu.

## 4. Entalpi ( $H$ )

Entalpi adalah energi yang dikandung oleh suatu bahan sesuai dengan temperatur dan massa bahan tersebut. Entalpi tidak bisa diukur tetapi bisa dilihat dari perubahannya. Perubahan entalpi adalah jumlah kalor yang diberikan atau diambil dalam tiap satuan massa melalui proses tekanan konstan.

## 5. Entropi ( $S$ )

Entropi adalah pola distribusi energi total sistem dikalangan atom-atom penyusunnya. Makin luas distribusinya, makin kurang teratur strukturnya, sehingga tingkat ketersediaan energi untuk melakukan usaha semakin rendah. Entropi dapat juga dikaitkan dengan tingkat ketidakteraturan sistem. Pada sistem terisolasi  $dS = 0$ , yang berarti tidak ada perubahan entropi. Sebaliknya dalam proses spontan  $dS > 0$  yang berarti entropi meningkat terus sampai mencapai harga maksimum pada kesetimbangan.

## 6. Energi bebas Gibbs ( $G$ )

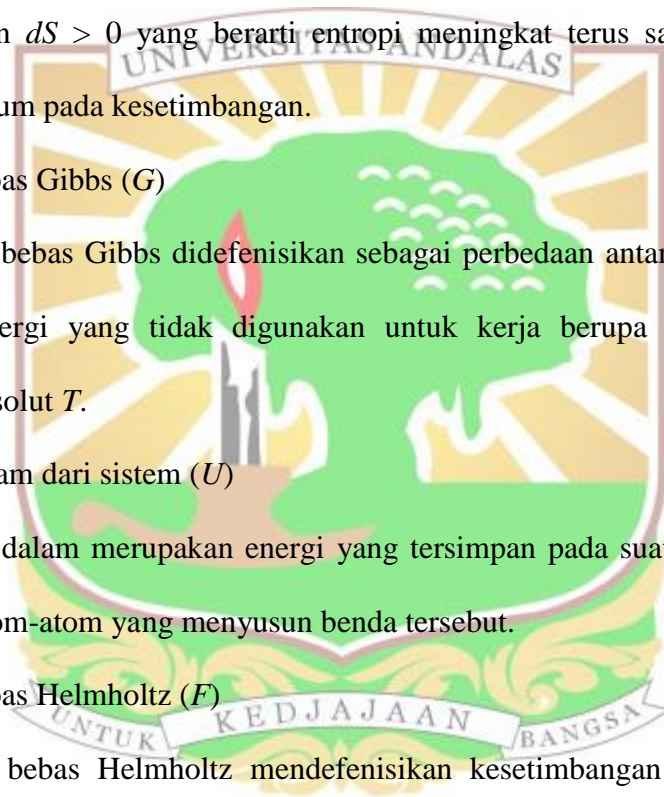
Energi bebas Gibbs didefinisikan sebagai perbedaan antara energi entalpi  $H$  dengan energi yang tidak digunakan untuk kerja berupa entropi  $S$  pada temperatur absolut  $T$ .

## 7. Energi dalam dari sistem ( $U$ )

Energi dalam merupakan energi yang tersimpan pada suatu benda karena pergerakan atom-atom yang menyusun benda tersebut.

## 8. Energi bebas Helmholtz ( $F$ )

Energi bebas Helmholtz mendefinisikan kesetimbangan termodinamika yang dikarakteristik dari sistem pada temperatur dan volume tetap (Usna dkk., 2015).



## 2.2 Jenis-jenis Energi

### 2.2.1 Energi Radiasi

Energi radiasi atau energi matahari, berasal dari matahari dan merupakan sumber energi utama dari bumi. Energi matahari memanaskan atmosfer dan permukaan bumi, merangsang pertumbuhan tanaman melalui proses yang dikenal sebagai fotosintesis, dan mempengaruhi iklim dunia.

### 2.2.2 Energi Kimia

Energi kimia (*chemical energy*) tersimpan dalam satuan struktur zat kimia, besarnya ditentukan oleh jenis dan susunan atom-atom penyusunnya. Ketika zat-zat terlibat dalam reaksi kimia, energi kimia dilepaskan, disimpan, atau diubah menjadi bentuk energi lainnya.

### 2.2.3 Energi Potensial

Energi potensial dikaitkan dengan gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda sedemikian rupa sehingga usaha total yang dilakukan oleh gaya-gaya ini hanya bergantung pada posisi awal dan akhir benda dalam suatu ruang. Gaya-gaya ini, yang disebut gaya konservatif, dapat direpresentasikan di setiap titik dalam ruang dengan vektor yang dinyatakan sebagai gradien dari fungsi skalar tertentu yang disebut potensial (Saroja, 2017).

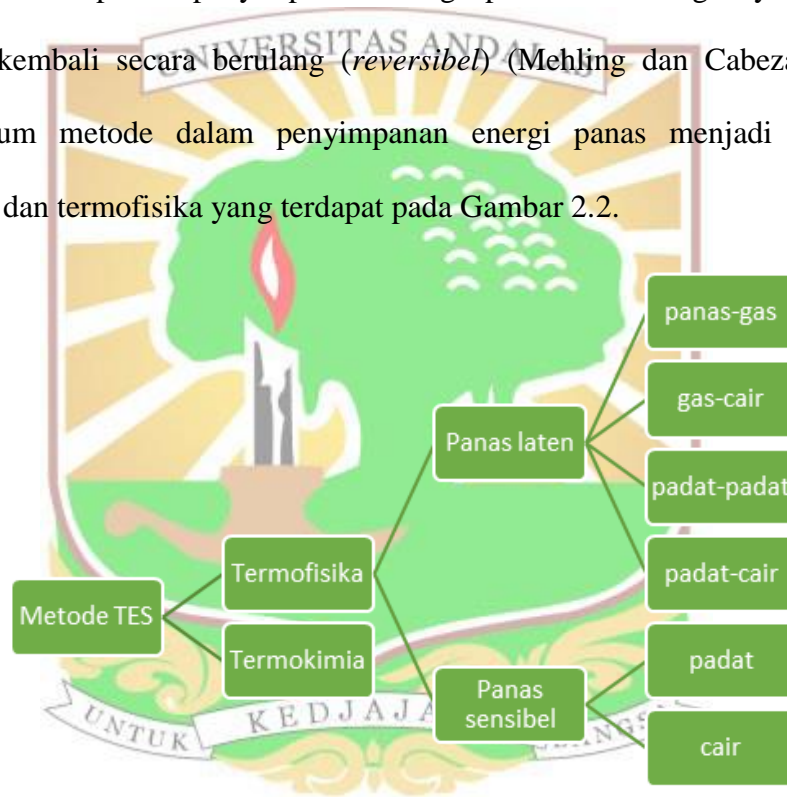
### 2.2.4 Energi Termal

Energi termal adalah energi yang berkaitan dengan gerak acak atom dan molekul. Secara umum, energi termal dapat dihitung dari pengukuran temperatur.

Makin kuat gerakan atom dan molekul dalam suatu materi, makin panas dan makin besar energi termal materi tersebut (Chang, 2004).

### 2.3 Penyimpanan Energi Termal

Energi panas dapat disimpan dalam bentuk panas laten dan panas sensibel. Metode penyimpanan energi termal disebut juga sebagai *thermal energy storage* (TES). TES merupakan penyimpanan energi panas atau dingin yang dapat digunakan kembali secara berulang (*reversibel*) (Mehling dan Cabeza, 2008). Secara umum metode dalam penyimpanan energi panas menjadi 2 yaitu, termokimia dan termofisika yang terdapat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Metode penyimpanan energi panas (TES)

#### 2.3.1 Termokimia

Hampir semua reaksi kimia menyerap atau menghasilkan (melepaskan) energi, umumnya dalam bentuk kalor. Kalor (*heat*) adalah perpindahan energi termal antara dua benda yang temperaturnya berbeda (aliran kalor) dari benda

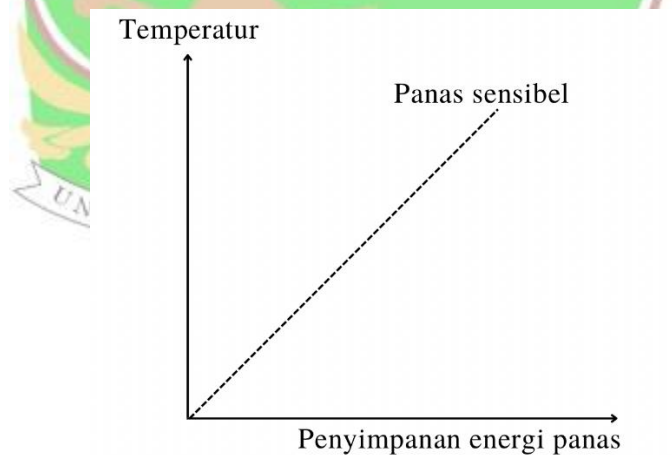
panas ke benda dingin. Ilmu yang mempelajari perpindahan kalor yang menyertai reaksi kimia disebut termokimia (Chang, 2004).

### 2.3.2 Termofisika

Energi panas secara termofisika disimpan dalam bentuk panas internal yang dikandung oleh material, baik itu panas sensibel, panas laten, maupun panas termokimia (gabungan dari panas sensibel dan panas laten).

#### 1. Penyimpanan panas sensibel

Penyimpanan panas sensibel merupakan penyimpanan panas yang sering kali dilakukan layaknya penyimpanan panas secara konvensional. Selama proses penyerapan energi panas, temperatur material atau medium penyimpanan mengalami perubahan (Mehling dan Cabeza, 2008). Dimana secara umum jumlah energi panas yang tersimpan atau dilepaskan sebanding dengan perubahan temperatur dari material seperti yang diilustrasikan pada grafik Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan temperatur terhadap penyimpanan energi panas sensibel

Metode penyimpanan panas ini dikenal dengan penyimpanan panas sensibel (dapat diukur). Secara umum energi panas dapat disimpan oleh material



penyimpanan panas sensibel tergantung pada kapasitas panas material tersebut, yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1.

$$Q = C \Delta T = m c \Delta T \quad (2.1)$$

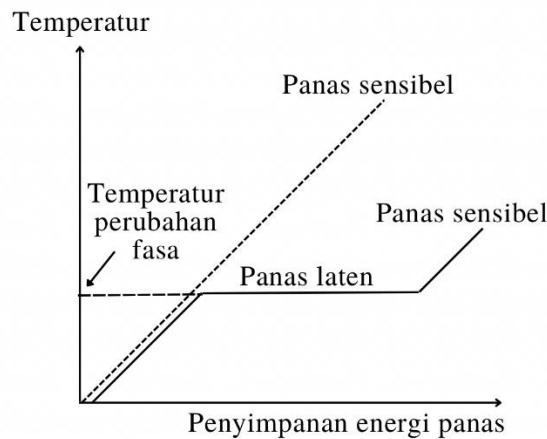
dengan  $Q$  adalah banyaknya kalor yang diterima atau dilepas oleh suatu benda (J),  $m$  adalah massa benda yang menerima atau melepaskan kalor (kg),  $c$  adalah kalor jenis zat (J/ kg<sup>o</sup>C), dan  $\Delta T$  adalah perubahan temperatur (°C).

Material padatan yang sering digunakan untuk menyimpan panas sensibel yaitu batu dan bata, sedangkan untuk cairan adalah air. Untuk fase gas, penyimpanan panas sensibel belum dapat diaplikasikan karena sifat gas yang memiliki kapasitas panas volumetrik yang sangat rendah (Usna dkk., 2015).

## 2. Penyimpanan panas laten

Penyimpanan panas laten ditandai dengan perubahan fase material saat energi panas diserap atau dilepaskan tanpa adanya perubahan temperatur material tersebut. Perubahan fase yang terjadi dapat berupa padat ke cair (mencair), cair ke gas (menguap), padat ke padat lainnya, dan sebaliknya.

Berbeda dengan penyimpanan panas sensibel, penyimpanan energi panas oleh material penyimpanan panas laten berlangsung pada temperatur yang konstan dengan diikuti perubahan fase seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Penyimpanan panas laten pada perubahan fase padat ke cair

Nilai temperatur akan tetap konstan hingga seluruh material penyimpanan panas laten benar-benar melebur. Karena proses pencairan berlangsung pada temperatur konstan, maka energi panas yang disimpan tidak dapat dideteksi secara langsung dari perubahan temperatur, apabila tekanan konstan maka dapat disimpulkan bahwa perubahan entalpi sama dengan perubahan temperatur dari material tersebut.

#### 2.4 *Phase Change Material (PCM)*

*Phase change material (PCM)* merupakan suatu bahan yang memanfaatkan perubahan fase untuk menyerap dan melepaskan sejumlah energi. PCM mempunyai energi penyerapan yang tinggi, sehingga PCM akan menyerap panas dari lingkungan dan membuat temperatur sekitar tetap konstan, sehingga PCM baik dalam mempertahankan temperatur suatu ruang. Prinsip kerja PCM tergolong dalam penyimpanan panas laten, membuat PCM dengan jumlah sedikit namun dapat menyimpan panas dalam jumlah yang cukup besar.

PCM digunakan sebagai sebagai penyimpanan laten, dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

### 1. PCM Organik

PCM organik banyak dipakai sebagai penyimpanan panas laten karena lebih stabil secara kimia. PCM organik tidak mengandung bahan korosif, mempunyai panas laten yang tinggi, dan tidak ada *subcooling* selama proses solidifikasi. Namun PCM organik memiliki konduktivitas termal yang kecil, harganya relatif mahal, dan mudah terbakar. Contoh bahan PCM organik yang paling umum adalah parafin dan *fatty acid* (Usra, 2018).

### 2. PCM Anorganik

PCM anorganik memiliki sifat konduktivitas termal yang baik dan tidak mudah terbakar. Kadar air pada PCM anorganik tergolong tinggi sehingga harganya lebih murah dibanding PCM organik. PCM anorganik memiliki kekurangan diantaranya membutuhkan temperatur yang sangat rendah untuk proses solidifikasi. Pada PCM anorganik kelompok garam hidrat, terjadi dekomposisi yaitu pengendapan garam akibat perbedaan massa jenis campuran. Selain itu, PCM anorganik bersifat korosif yang cukup tinggi.

### 3. PCM Eutetik

PCM Eutetik merupakan peleburan dari komposisi dua atau lebih komponen, yang masing-masing mencair dan membeku secara kongruen membentuk campuran komponen kristal selama proses kristalisasi. Eutetik hampir selalu mencair dan membeku tanpa segregasi karena komposisinya membeku menjadi campuran kristal yang padu, sehingga sedikit peluang untuk terjadinya

pemisahan komponen. Disaat mencair, kedua komponen mencair secara bersamaan. Pada proses ini juga tidak memungkinkan terjadinya pemisahan antar komponen atau fase (Sharma dkk., 2009).

## 2.5 Kalium Klorida (KCl)/H<sub>2</sub>O sebagai PCM Eutetik

PCM KCl/H<sub>2</sub>O eutektik memiliki temperatur lebur di bawah 0 °C, karena penambahan garam mengurangi temperatur lebur dan meningkatkan nilai konduktivitas termal. KCl adalah garam yang berwarna putih yang dihasilkan dari reaksi netralisasi antara asam klorida dengan larutan kalium hidroksida. Sifat kimia dari KCl yaitu senyawa polar yang dapat larut dalam pelarut polar. KCl dalam air terionisasi menjadi ion K<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> (Daintith, 2004). KCl/H<sub>2</sub>O berpotensi sebagai PCM karena memiliki nilai panas laten yang tinggi dan konduktivitas termal yang baik, yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik PCM KCl/H<sub>2</sub>O

Sifat	KCl (19, 5 %)/ H <sub>2</sub> O
Temperatur lebur	-10,7 °C
Panas laten	283 kJ/kg
Densitas fase padat (kg/m <sup>3</sup> )	1126 kg/m <sup>3</sup> ( <i>liquid</i> ), 1105 kg/m <sup>3</sup> ( <i>solid</i> )

(Sumber: Mehling dan Cabeza, 2008)

Larutan KCl/H<sub>2</sub>O terdiri dari dua komponen yaitu garam dan air, yang masing-masing komponen meleleh dan membeku secara bersamaan. Selama fase kristalisasi campuran komponen terbentuk dan bertindak sebagai komponen tunggal. Komponen membeku menjadi campuran kristal yang menjadi satu kesatuan dan meleleh secara bersamaan tanpa pemisahan fase.

## 2.6 PCM sebagai Sistem Pendingin

Bila panas diberikan pada suatu zat pada tekanan konstan, maka biasanya akan menghasilkan kenaikan temperatur zat. Namun, kadang-kadang zat dapat menyerap panas dalam jumlah yang besar tanpa mengalami perubahan apa pun pada temperaturnya. Hal ini terjadi selama perubahan fase dimana zat tersebut berubah dari satu bentuk menjadi bentuk lain. Jenis perubahan fase adalah pembekuan (pendinginan), penguapan, dan sublimasi (Tipler, 1998).

1. Pembekuan, merupakan perubahan fase cairan menjadi padatan.
2. Penguapan, merupakan perubahan fase cairan menjadi uap atau gas.
3. Sublimasi, merupakan perubahan fase padatan menjadi uap atau gas.

## 2.7 Penanganan Ikan Laut di Atas Kapal

Ikan memerlukan penanganan yang tepat, cepat, dan cermat untuk mempertahankan mutunya, karena merupakan komoditas yang mudah busuk. Pendinginan merupakan perlakuan yang paling umum dalam mempertahankan mutu hasil perikanan terutama dalam tahap penanganan. Dalam penanganan ikan segar diupayakan temperatur rendah mendekati 0 °C. Tingkat kesegaran ikan akan semakin cepat menurun atau ikan akan mudah menjadi busuk pada temperatur tinggi dan sebaliknya pembusukan dapat dihambat dengan menurunkan temperatur (Deni, 2015).

Tingkat kesegaran ikan akan menurun drastis seiring dengan waktu jika tidak segera ditangani secara benar. Berbagai macam faktor mempengaruhi tingkat kesegaran dan kecepatan penurunan mutu ikan, baik secara internal

maupun secara eksternal. Faktor internal yaitu jenis dan kondisi biologi ikan, sedangkan faktor eksternal yaitu proses kematian, waktu, cara penanganan, dan fasilitas penanganan ikan. Penurunan mutu ikan dapat terjadi mulai dari saat penangkapan dan terus berlangsung hingga ke tangan konsumen (Metusalach dkk., 2014). Salah satu cara penanganan ikan yang baik yaitu, dengan penyimpanan pada temperatur rendah untuk menghambat aktivitas enzim dan mikroba, seperti yang ditampil pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pengaruh temperatur ikan terhadap mutu simpan ikan

No	Temperatur	Mutu Ikan
1	15 °C hingga 20 °C	Ikan dapat disimpan selama 2 hari.
2	5 °C	Ikan dapat disimpan selama 5-6 hari
3	0 °C	Ikan dapat disimpan selama 9-14 hari

(Sumber: Diyantoro, 2007)

Penyimpanan pada temperatur yang paling sering dan umum dilakukan adalah dengan penggunaan es. Es merupakan media pendingin yang memiliki keunggulan yaitu kapasitas pendinginan yang besar, tidak beracun, lebih cepat mendinginkan ikan, harganya relatif murah, dan mudah dalam penggunaannya (Sofyan, 1983). Karakteristik termal membuat PCM KCl/H<sub>2</sub>O dapat mendinginkan ikan pada temperatur lebih rendah dibandingkan sistem konvensional yang menggunakan es batu dari air dengan temperatur lebur 0 °C (FAO, 2019).

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2022-Januari 2023 di Laboratorium Fisika Material, Departemen Fisika, Universitas Andalas.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Sensor temperatur

Piranti elektronika digunakan untuk mengamati perubahan temperatur terhadap waktu. Sensor temperatur yang digunakan yaitu DS18B20 berbasis arduino uno.

2. Arduino uno

Arduino uno digunakan sebagai pemroses sinyal *input* elektronik menjadi sinyal *output* elektronik terhadap perubahan temperatur.

3. Kotak *styrofoam*

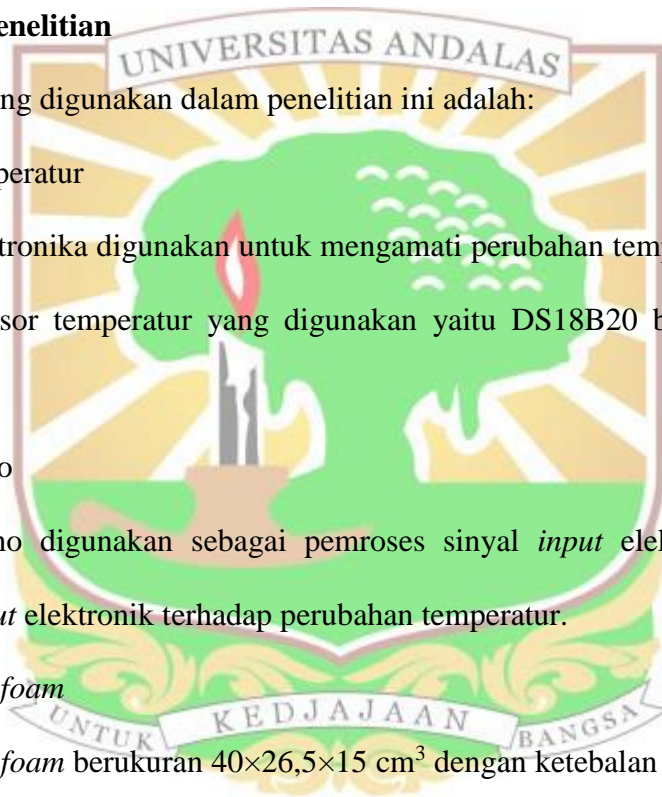
Kotak *styrofoam* berukuran  $40 \times 26,5 \times 15 \text{ cm}^3$  dengan ketebalan 2 cm digunakan sebagai kotak adiabatik penyimpanan ikan.

4. *Freezer*

*Freezer* (merek sharp nano deodorizer) untuk membekukan PCM KCl/H<sub>2</sub>O.

5. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan sebagai mengukur massa larutan aquades dan KCl.



### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Kalium klorida (KCl)

KCl  $\pm$  5 kg sebagai sampel uji sistem pendingin ikan laut.

2. Aquades (H<sub>2</sub>O)

Aquades (H<sub>2</sub>O) sebanyak 6 liter sebagai pelarut KCl.

3. Ikan laut Kuwe

Ikan laut Kuwe massa 6 kg sebagai objek yang akan diuji.

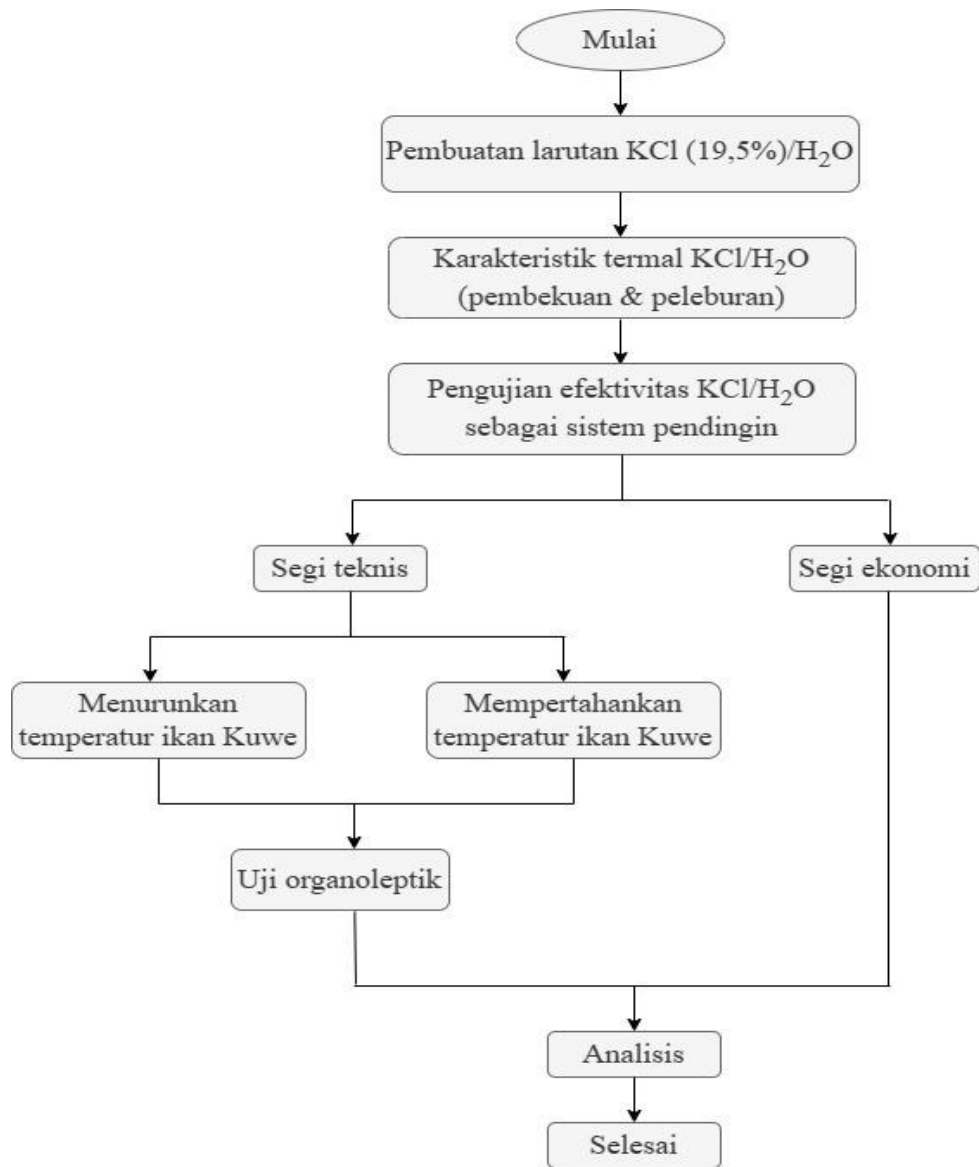
4. Plastik bening

Plastik bening berukuran 2 kg dan 3 kg sebagai wadah PCM KCl/H<sub>2</sub>O.

### 3.3 Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan awal pembuatan larutan 19,5% massa KCl/H<sub>2</sub>O. Selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik termal KCl/H<sub>2</sub>O (pembekuan larutan KCl/H<sub>2</sub>O dan peleburan PCM KCl/H<sub>2</sub>O) dan efektifitas KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin. Hasil pengujian berupa data perubahan temperatur yang diukur oleh sensor temperatur DS18B20 setiap satu jam, keluaran data perubahan temperatur ditampilkan dalam *software* Arduino uno. Setelah data perubahan temperatur diperoleh lalu diplot menggunakan *software* OriginPro 2018 dan dianalisis. Adapun diagram alir dari penelitian ini diperlihatkan oleh Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### a. Pembuatan Larutan KCl (19,5%)/H<sub>2</sub>O

Tahapan awal penelitian yaitu pembuatan larutan KCl (19,5%)/H<sub>2</sub>O dengan variasi massa 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, dan 3 kg. Adapun prosedur pembuatan

sampel larutan KCl (19,5%)/H<sub>2</sub>O pada tiap variasi massa dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pembuatan larutan variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O

Variasi Massa	Prosedur Pembuatan Larutan KCl (19,5%)/H <sub>2</sub> O
0,5 kg KCl/H <sub>2</sub> O	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. KCl ditimbang sebanyak 79,5 g.</li> <li>2. Aquades (H<sub>2</sub>O) disiapkan sebanyak 402,5 ml.</li> <li>3. KCl dan aquades dicampur, lalu diaduk hingga larut.</li> </ol>
1 kg KCl/H <sub>2</sub> O	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. KCl ditimbang sebanyak 195 g.</li> <li>2. Aquades disiapkan sebanyak 805 ml.</li> <li>3. KCl dan aquades dicampur, lalu diaduk hingga larut.</li> </ol>
2 kg KCl/H <sub>2</sub> O	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. KCl ditimbang sebanyak 390 g.</li> <li>2. Aquades disiapkan sebanyak 1610 ml.</li> <li>3. KCl dan aquades dicampur, lalu diaduk hingga larut.</li> </ol>
3 kg KCl/H <sub>2</sub> O	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. KCl ditimbang sebanyak 585 g.</li> <li>2. Aquades disiapkan sebanyak 2415 ml.</li> <li>3. KCl dan aquades dicampur, lalu diaduk hingga larut.</li> </ol>

#### 3.4.1 Pengujian Karakteristik Termal PCM KCl/H<sub>2</sub>O

##### a. Pembekuan Larutan KCl/H<sub>2</sub>O

1. Larutan 0,5 kg KCl/H<sub>2</sub>O beserta sensor temperatur DS18B20 dimasukkan ke dalam wadah plastik bening.
2. Selanjutnya larutan dibekukan dalam *freezer* selama 24 jam hingga seluruh larutan berubah menjadi beku. Selama proses pembekuan, perubahan temperatur PCM KCl/H<sub>2</sub>O, *freezer*, dan lingkungan diamati.

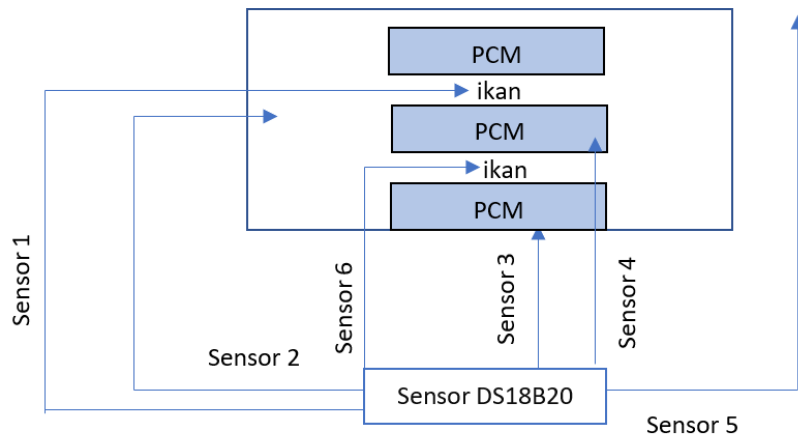
3. Selanjutnya proses pembekuanlarutan KCl/H<sub>2</sub>O dengan variasi massa 1 kg, 2 kg, dan 3 kg dilakukan dengan cara yang sama.

b. Peleburan PCM KCl/H<sub>2</sub>O

1. PCM KCl/H<sub>2</sub>O yang sudah berbentuk beku dipindahkan ke dalam kotak *styrofoam* (kotak penyimpanan ikan).
2. PCM KCl/H<sub>2</sub>O dibiarkan melebur secara alami hingga fase PCM KCl/H<sub>2</sub>O seluruhnya berubah menjadi cairan selama 24 jam. Perubahan temperatur PCM KCl/H<sub>2</sub>O, dalam *styrofoam*, dan lingkungan selama proses peleburan diamati.

**3.4.2 Pengujian Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O sebagai Sistem Pendingin Ikan**

1. PCM KCl/H<sub>2</sub>O sebanyak 0,5 kg dibagi dalam 3 wadah plastik dan sensor temperatur DS18B20 juga dimasukkan ke dalam wadah tersebut.
2. PCM KCl/H<sub>2</sub>O dibekukan dalam *freezer* selama 24 jam.
3. Empat ekor ikan Kuwe segar disiapkan dengan massa total yaitu 1 kg.
4. Sensor temperatur DS18B20 dimasukkan ke dalam mulut ikan, ditempatkan di dalam dan luar kotak penyimpanan ikan seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 3.2.
5. Selama pengujian efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O, perubahan temperatur PCM KCl/H<sub>2</sub>O, ikan Kuwe, dalam *styrofoam*, dan lingkungan yang diamati.
6. Penelitian dilakukan kembali dengan cara yang sama untuk perbandingan massa ikan:massa PCM 1:1; 1:2; dan 1:3.



Gambar 3.2 Ilustrasi pengukuran efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O sebagai pendingin ikan

Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan Kuwe secara teknis diamati dalam dua aspek, yaitu kemampuan dalam menurunkan temperatur ikan dan kemampuan dalam mempertahankan temperatur ikan pada temperatur penyimpanan yang direkomendasikan yaitu 0 °C. Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur ikan ditinjau dari perubahan temperatur ikan ( $\Delta T$ ) tiap menit ( $\Delta t$ ) saat disimpan dalam *styrofoam* yang berisi KCl/H<sub>2</sub>O. Dari definisi ini, maka dapat dibuat persamaan efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur ikan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1 berikut.

$$Efektivitas = \frac{\Delta T_{ikan} (^{\circ}C)}{\Delta t (menit)} \quad (3.1)$$

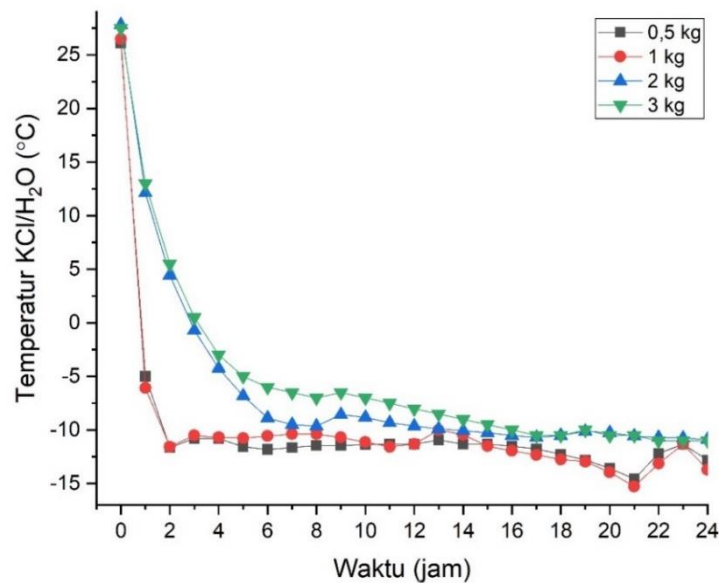
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Termal PCM KCl/H<sub>2</sub>O

#### a. Pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O

Pada temperatur ruang, KCl/H<sub>2</sub>O dalam bentuk fase cair sehingga diperlukan proses pendinginan atau pelepasan kalor agar KCl/H<sub>2</sub>O membeku (fasenya berubah menjadi padatan) yaitu pada temperatur lebur -10,7 °C.

Karakteristik termal KCl/H<sub>2</sub>O dapat diamati dari perubahan temperatur terhadap waktu selama proses pembekuan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik perubahan temperatur terhadap waktu selama proses pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa 0,5 dan 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O memiliki karakteristik pembekuan yang hampir sama. KCl/H<sub>2</sub>O yang semula berada pada fase cair dalam temperatur ruang dimasukkan ke dalam *freezer* sehingga nilai

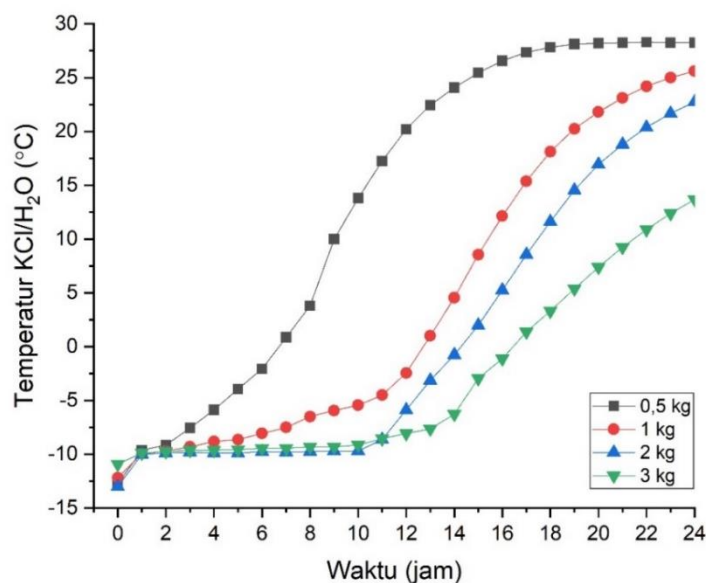
temperatur turun menuju temperatur beku (pelepasan panas sensibel) selama  $\pm 2$  jam. Perubahan fase 0,5 kg KCl/H<sub>2</sub>O dari cair ke padat berlangsung selama  $\pm 14$  jam yang ditandai oleh perubahan temperatur yang cenderung konstan, sementara perubahan fase 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O dari cair ke padat berlangsung selama  $\pm 16$  jam. Nilai rata-rata temperatur pembekuan 0,5 kg KCl/H<sub>2</sub>O secara eksperimen yaitu -11,37 °C. Nilai temperatur beku yang diperoleh secara eksperimen ini berbeda cukup jauh dibandingkan dengan nilai temperatur beku 19,5% KCl/H<sub>2</sub>O secara literatur yaitu -10,7 °C (Mehling dan Cabeza, 2008; Sukoco, 2020). Pada proses pembekuan 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O nilai temperatur beku rata-rata yang ditunjukkan yaitu -10,89 °C. Nilai ini sudah cukup mendekati nilai peleburan KCl/H<sub>2</sub>O literatur, dengan kata lain sistem yang bekerja cukup stabil. Selama perubahan fase cair ke padat maka energi panas yang bekerja pada sistem disebut panas laten. Selanjutnya temperatur mulai turun di bawah temperatur beku yang mengindikasikan kalor sensibel kembali bekerja pada KCl/H<sub>2</sub>O.

Proses pembekuan 2 kg dan 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O juga menunjukkan karakteristik termal yang hampir serupa, dimana untuk menurunkan temperatur KCl/H<sub>2</sub>O agar menuju temperatur beku dibutuhkan waktu berturut-turut 16 jam dan 17 jam. Waktu ini jauh lebih lama dibandingkan waktu yang dibutuhkan 0,5 kg dan 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O agar temperaturnya turun menuju titik lebur. Hal ini disebabkan karena semakin banyak massa sistem yang digunakan maka semakin besar energi kalor yang harus dilepaskan atau diserap agar sistem dapat berubah fase (Pitzer, 1995). Nilai temperatur peleburan rata-rata 2 kg dan 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O berdasarkan Gambar

4.1 yaitu  $-10,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nilai ini sudah cukup mendekati nilai temperatur lebur  $19,5\%$  KCl/H<sub>2</sub>O secara literatur.

b. Peleburan PCM KCl/H<sub>2</sub>O

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah massa KCl/H<sub>2</sub>O maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk berubah fase dari padat ke cair. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Usrah (2018) menyatakan jumlah PCM akan mempengaruhi temperatur kotak ikan, dimana semakin banyak jumlah PCM maka proses pendinginan menjadi lebih baik karena jumlah panas di dalam kotak penyimpanan ikan yang diserap lebih banyak. Grafik perubahan temperatur setiap waktu pada proses peleburan KCl/H<sub>2</sub>O dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik perubahan temperatur terhadap waktu dalam proses peleburan KCl/H<sub>2</sub>O

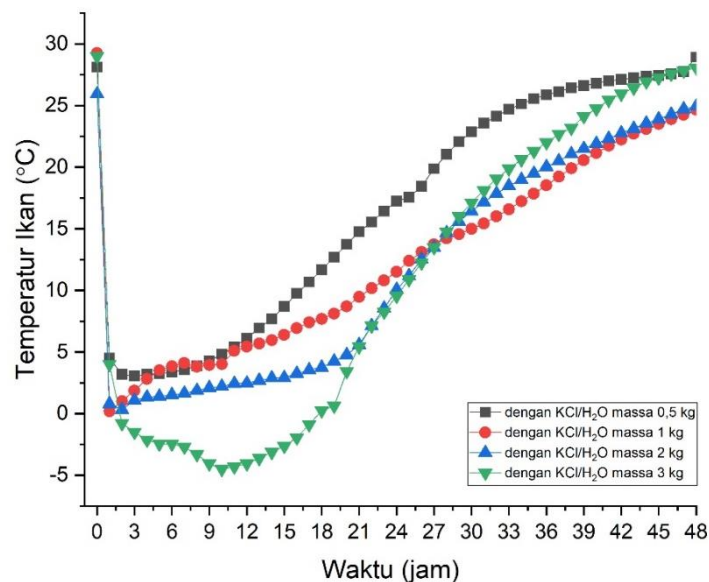
Pada proses peleburan empat variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O menunjukkan nilai temperatur lebur rata-rata yaitu  $-9,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nilai ini tidak sama persis dengan nilai

temperatur lebur 19,5% KCl/H<sub>2</sub>O secara literatur yaitu -10,7 °C. Hal ini dapat disebabkan karena kebocoran termal pada kotak *styrofoam* yang digunakan sebagai ruang isolasi termal. Semakin banyak KCl/H<sub>2</sub>O yang digunakan maka semakin banyak kalor laten yang dibutuhkan untuk berubah fase dari padat ke cair, sehingga durasi waktu latennya juga semakin lama. KCl/H<sub>2</sub>O massa 0,5 kg menunjukkan perubahan fase terjadi selama 1 jam, sementara KCl/H<sub>2</sub>O massa 3 kg menunjukkan perubahan fase terjadi selama 10 jam.

## 4.2 Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O sebagai Sistem Pendingin Ikan

### 4.2.1 Efektivitas dari Segi Teknis

Karakteristik termal KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan Kuwe diamati berdasarkan perubahan temperatur ikan dan KCl/H<sub>2</sub>O yang dimasukkan ke dalam kotak *styrofoam* selama 48 jam. Adapun hasil yang diperoleh ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik perubahan temperatur terhadap waktu dalam proses pendinginan ikan oleh KCl/H<sub>2</sub>O



Berdasarkan Persaman 3.1, nilai efektivitas tiap variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur 1 kg ikan Kuwe dapat dinyatakan pada Tabel 4.1. Secara umum, variasi massa PCM tidak signifikan mempengaruhi nilai efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur ikan. Hal ini bisa dilihat dari nilai efektivitas variasi massa berkisar -0,20 °C hingga -0,24 °C. Nilai ini mengindikasikan bahwa KCl/H<sub>2</sub>O efektif menurunkan temperatur ikan sebesar -0,24 °C setiap menit.

Tabel 4.1 Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur 1 kg ikan Kuwe

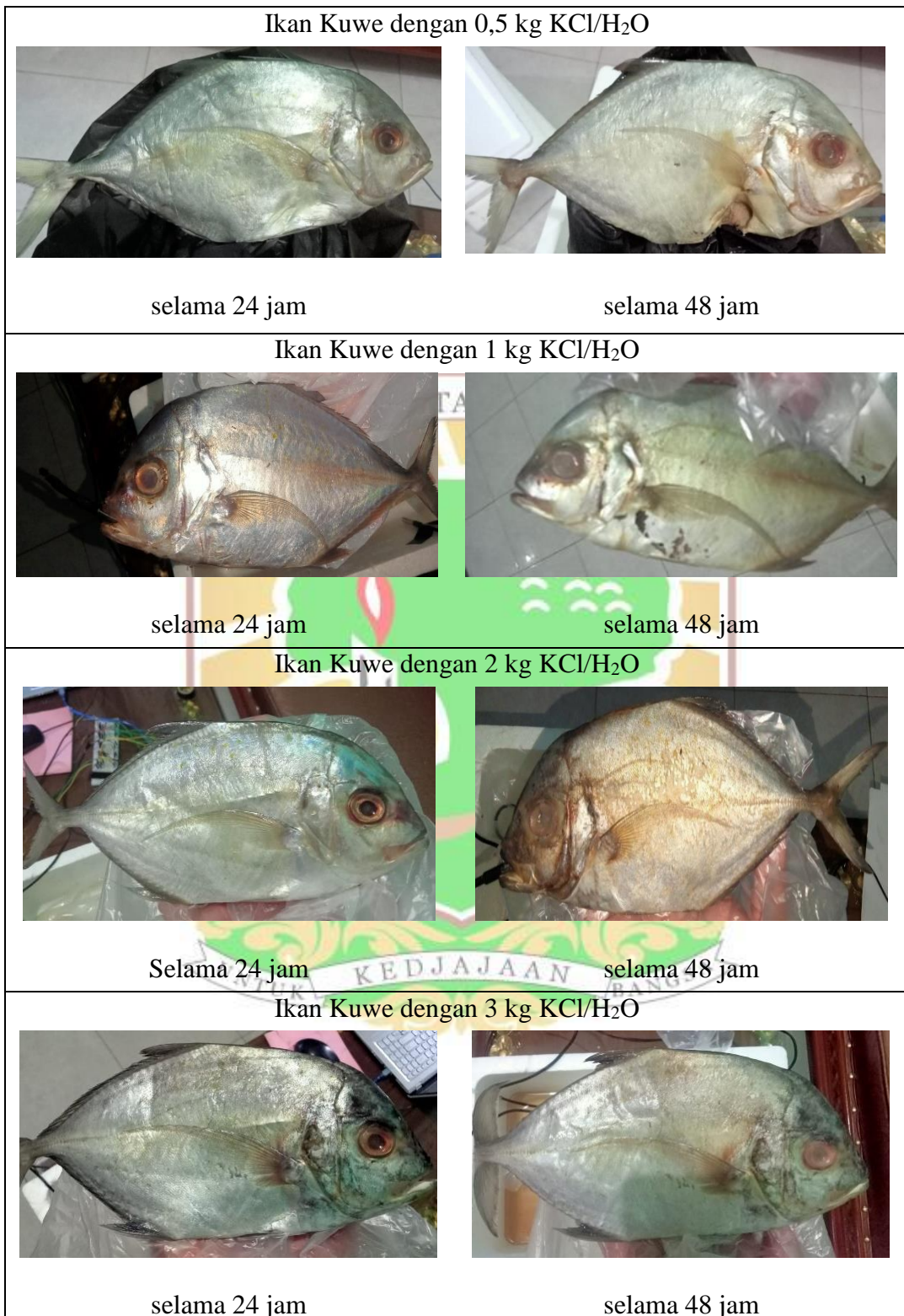
Massa KCl/H <sub>2</sub> O (kg)	Temperatur ikan (°C)			$\Delta t$ (menit)	Efektivitas (°C)
	$T_{awal}$	$T_{akhir}$	$\Delta T (T_{akhir} - T_{awal})$		
0,5	28,12	3,19	-24,93	120	-0,20
1	29,26	1,01	-28,25	120	-0,23
2	25,94	0,33	-25,61	120	-0,21
3	29	-0,8	-29,8	120	-0,24

Menurut Diyantoro (2007) penyimpanan ikan pada temperatur 5 °C dapat menjaga mutu ikan hingga 6 hari, ikan yang disimpan pada temperatur 0 °C dapat menjaga mutu ikan hingga 14 hari, sementara ikan yang disimpan pada temperatur -1 °C hingga -2 °C dapat menjaga mutu ikan selama 20 hari (Sofyan, 1983). Berdasarkan informasi ini, maka efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dikaji dari durasi waktu dalam mempertahankan temperatur penyimpanan/pendinginan ikan yang dibagi dalam 2 rentang data yaitu -5 °C hingga 0 °C dan 0 °C hingga 5 °C. Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam mempertahankan temperatur ikan dinyatakan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam mempertahankan temperatur 1 kg ikan Kuwe

Massa KCl/H <sub>2</sub> O (kg)	Rentang temperatur (°C)		Waktu (jam)
	<i>T<sub>awal</sub></i>	<i>T<sub>akhir</sub></i>	
0,5	-5	0	0
	0	5	10
1	-5	0	0
	0	5	10
2	-5	0	0
	0	5	20
3	-5	0	16
	0	5	3

Tabel 4.2 menyatakan bahwa pada variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O 0,5 kg, 1 kg, dan 2 kg belum dapat menjaga temperatur ikan dalam rentang temperatur -5 °C hingga 0 °C, sementara penggunaan 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O dapat mempertahankan temperatur ikan pada rentang suhu tersebut selama 16 jam. Pada rentang temperatur 0 °C hingga 5 °C, variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O 0,5 kg dan 1 kg dapat mempertahankan temperatur ikan selama 10 jam, variasi massa 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O dapat mempertahankan temperatur ikan selama 20 jam, sementara variasi massa 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O dapat mempertahankan temperatur ikan selama 3 jam. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O baik dalam mempertahankan temperatur ikan pada rentang temperatur 0 °C hingga 5°C, sementara penggunaan 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O baik dalam mempertahankan temperatur ikan dalam rentang temperatur lebih rendah yaitu -5 °C hingga 0 °C.



Gambar 4.4 Kondisi fisik ikan Kuwe selama proses penelitian

Gambar 4.4 memperlihatkan kualitas ikan secara fisik atau berdasarkan tes organoleptik dari hasil pendinginan ikan menggunakan KCl/H<sub>2</sub>O. Tes organoleptik atau uji indera merupakan cara pengujian dengan menggunakan indera manusia sebagai alat utama untuk mengukur kualitas mutu produk. Tes organoleptik pada ikan dapat dilihat dari segi mata, daging, dan kulitnya (Wahyuningtias, 2010). Adapun penjelasannya dapat dirangkum dalam bentuk Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Penjelasan kondisi fisik ikan Kuwe pasca pendinginan dengan KCl/H<sub>2</sub>O selama 24 dan 48 jam

Ikan Kuwe	Selama 24 jam	Selama 48 jam
dengan 0,5 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Mata ikan mulai memerah, daging ikan masih utuh, dan kulit ikan mulai kering.	Mata ikan sudah memerah, daging ikan sudah rusak, dan kulit ikan sudah kering.
dengan 1 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Mata ikan sudah memerah, daging ikan masih utuh, dan kulit ikan belum kering.	Mata ikan merah dan pucat, daging ikan mulai rusak, dan kulit ikan mulai terkelupas.
dengan 2 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Mata ikan masih awet, daging ikan masih utuh, dan kulit ikan belum kering.	Mata ikan tidak utuh dan memerah, daging ikan masih utuh dan memerah, dan kulit ikan mulai kering.
dengan 3 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Mata ikan masih awet, daging ikan masih utuh, dan kulit ikan belum kering.	Mata ikan memerah dan pucat, daging ikan masih utuh, dan kulit ikan mulai kering.

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat disimpulkan 0,5 kg dan 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O kurang direkomendasikan sebagai sistem pendingin ikan karena kondisi fisik ikan yang terlihat tidak segar (mulai mengarah pembusukan) setelah 24 jam penyimpanan. Kondisi fisik ikan sudah membusuk dan tidak layak dikonsumsi setelah penyimpanan selama 48 jam. Penggunaan KCl/H<sub>2</sub>O dengan variasi massa 2 kg dan 3 kg sebagai pendingin ikan kuwe pasca 24 jam memperlihatkan kondisi fisik ikan yang masih segar, setelah penyimpanan selama 48 jam kondisi fisik ikan mulai mengarah ke proses pembusukan.

#### 4.2.2 Efektivitas dari Segi Ekonomi

Efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan juga dikaji secara ekonomi, yaitu dari segi biaya yang harus dikeluarkan oleh nelayan dalam penyimpanan ikan pasca tangkap. KCl/H<sub>2</sub>O dibuat dengan cara melarutkan 19,5% massa KCl ke dalam 80,5% air (aquades/ air pdam/ air sumur/ air tanah). KCl berbentuk serbuk dapat dibeli dari toko kimia ataupun pasar *online* dengan harga rata-rata Rp25.000,00/kg. Satu kg KCl bisa menghasilkan sebanyak 5,13 kg larutan KCl/H<sub>2</sub>O, sehingga biaya untuk memperoleh 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O sekitar Rp5.000,00 (perhitungan dapat dilihat pada Lampiran E.2). Jika dianalogikan dengan penggunaan es batu yang terbuat dari air biasa sebagai sistem pendingin ikan, biasanya 1 kg es batu dijual dengan harga Rp1.000,00. Dari harga es batu ini, maka dapat ditaksir harga KCl/H<sub>2</sub>O dalam bentuk es (beku) setidaknya dijual dengan harga Rp5.000,00. Harga KCl/H<sub>2</sub>O beku ini lima kali lebih mahal dibandingkan harga es batu, sehingga biaya dalam pendinginan ikan akan

meningkat enam kali lebih besar dibanding penggunaan es batu sebagai sistem pendingin ikan konvensional. Oleh karena itu, secara ekonomi penggunaan KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan kurang direkomendasikan. Namun tingginya biaya penggunaan KCl/H<sub>2</sub>O sebagai sistem pendingin ikan dapat diantisipasi dengan penggunaan KCl/H<sub>2</sub>O secara berulang.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Pada proses pembekuan, KCl/H<sub>2</sub>O massa 0,5 kg dan 1 kg menunjukkan nilai temperatur beku lebih rendah dibanding literatur, sementara KCl/H<sub>2</sub>O massa 2 kg dan 3 kg memperlihatkan nilai temperatur beku yang sudah mendekati nilai literatur dengan kata lain sistem KCl/H<sub>2</sub>O massa 2 kg dan 3 kg bekerja lebih stabil. Pada proses peleburan, empat variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O menunjukkan nilai temperatur lebur rata-rata yaitu -9,86 °C.
2. Variasi massa PCM tidak signifikan mempengaruhi nilai efektivitas KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur ikan. Nilai efektivitas rata-rata dari ke empat variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O dalam menurunkan temperatur ikan Kuwe yaitu -0,22 °C/menit.
3. Penggunaan 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O efektif dalam mempertahankan temperatur ikan Kuwe pada rentang temperatur 0 °C hingga 5 °C selama 20 jam, sementara penggunaan 3 kg KCl/H<sub>2</sub>O baik dalam mempertahankan temperatur ikan dalam rentang temperatur lebih rendah yaitu -5 °C hingga 0 °C selama 16 jam.
4. Dari uji organoleptik, agar kondisi 1 kg ikan Kuwe tetap terjaga pasca penyimpanan selama 24 jam dianjurkan menggunakan minimal 2 kg KCl/H<sub>2</sub>O.

5. Dari segi ekonomi, biaya penanganan proses pendinginan ikan menggunakan KCl/H<sub>2</sub>O enam kali lebih besar dibandingkan pendinginan konvensional, sehingga sistem ini kurang direkomendasikan.

## 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan jenis PCM lain dengan harga yang lebih terjangkau agar biaya pendinginan ikan tidak bertambah. Selain itu bisa juga digunakan jenis PCM dengan nilai temperatur lebur/beku yang lebih rendah dengan nilai panas laten yang lebih tinggi sehingga efektivitas dalam menurunkan temperatur ikan lebih besar.





## DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, A. A., 2012, Desain Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional dengan Menggunakan Es Kering, *Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Burhanuddin, A. I., 2014, *Ikhtologi, Ikan dan Segala Aspek Kehidupannya* (edisi ke-1st), Publikasikan.
- Chang, R., 2004, *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti*, Edisi Ketiga Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Daintith, J., 2004, *The Facts on File Dictionary of Inorganic Chemistry*, Market House Books Ltd., New York.
- Deni, S., 2015, Karakteristik Mutu Ikan Selama Penanganan Ikan Kapal KM, Cakalang, *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 8(2), 72-80.
- Diyantoro, 2007, *Pengaruh Lama Penyimpanan yang Berbeda dalam Campuran Air Laut dan Es terhadap Kemunduran Mutu Kesegaran Ikan Nila*, *Food Technology*, 13: 146-148.
- FAO, 2009, *Makanan yang Berasal dari Bioteknologi Modern* (2. ed), Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa.
- Haryowidagdo, H., 2017, Kajian Teknis dan Ekonomis Perancangan Reefer Container Berbasis Teknologi Phase Change Material untuk Aplikasi di Kapal, *Disertasi*, PD ITS, Surabaya.
- Linder, B., 2004, *Thermodynamics and Introductory Statistical Mechanics*, USA: John Wely and Sons.
- Lubis, R. E., Yulianti, N. L., dan Widia, I. W, 2020, Studi Beban Pendinginan Ikan Menggunakan Brine dengan Jenis Garam dan Konsentrasi Berbeda, *Jurnal Beta (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 8(1), 71-78.
- Mehling, H., dan Cabeza, L. F, 2008, Heat and Cold Storage with PCM, *Heat and mass transfer*, 11-55.
- Metusalach, M., Kasmiasi, K., dan Jaya, I., 2014, Pengaruh Cara Penangkapan, Fasilitas Penangan dan Cara Penanganan Ikan terhadap Kualitas Ikan yang Dihasilkan. *Jurnal Ipteks Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 1(1).
- Nugroho, T. A., Kiryanto, K., dan Adietya, B. A, 2016, Kajian Eksperimen Penggunaan Media Pendingin Ikan Berupa Es Basah dan Ice Pack sebagai

Upaya Peningkatan Performance Tempat Penyimpanan Ikan Hasil Tangkapan Nelayan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4).

Pitzer, K. S., 1995, *Thermodynamics*, Third Edition, Singapore: McGraw-Hill.

Pudjiastuti, W., Listyarini, A., dan Riyanto, A., 2015, Application of Phase Change Materials (Pcm's) to Preserve The Freshness of Seafood Products, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 37.1 (2015): 61-66.

Saroja, G., dan Sakti, S. P., 2017, *Mekanika I*, Universitas Brawijaya Press.

Setyowidodo, F., 2016, Analisa Penggunaan Campuran Es dan Garam sebagai Pendingin Ikan di Atas Kapal Ikan Tradisional untuk Nelayan di Pulau Sapudi, Madura, *Skripsi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., dan Buddhi, D., 2009, Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318-345.

Sofyan, I., 1983, Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan, *Teknik Pendinginan Ikan*, CV. Paripurna, Jakarta.

Sukoco, R. K., Indartono, Y.S., dan Mujahidin, D., 2020, Eutetic Potassium Chloride (KCl) Solution as Phase Change Material (PCM) for Fish Cold Storage, *ION Publishing*, Material Science and Engineering, Institut Teknologi Bandung.

Taufiqurrahman, 2016, Analisa Kinerja Phase Change Material Organik sebagai Pendingin Alternatif Cold Storage, *Skripsi*, PS ITS, Surabaya.

Tipler, A. P., 1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1*, Penerbit Erlangga: Jakarta.

Usna, S. R. A., Sutjahja, I. M., dan Kurnia, D., 2015, Studi Efektivitas PCM  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan Pengaruh Penambahan Nukleator  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan Pengental HEC terhadap Efek Supercooling dan Efek Pemisahan Fase, *Tesis*, PPs ITB, Bandung..

Usrah, A. J., 2018, Analisa Pengaruh Penambahan Phase Change Material (PCM) terhadap Pendinginan Ruang Muat Kapal Ikan, *Disertasi*, PD ITS, Surabaya.

Wahyuningtias, D, 2010, Uji Organoleptik Hasil Jadi Kue Menggunakan Bahan Non Instant dan Instant, *Binus Business Review*, 1(1), 116-125.

## LAMPIRAN-LAMPIRAN

### Lampiran A

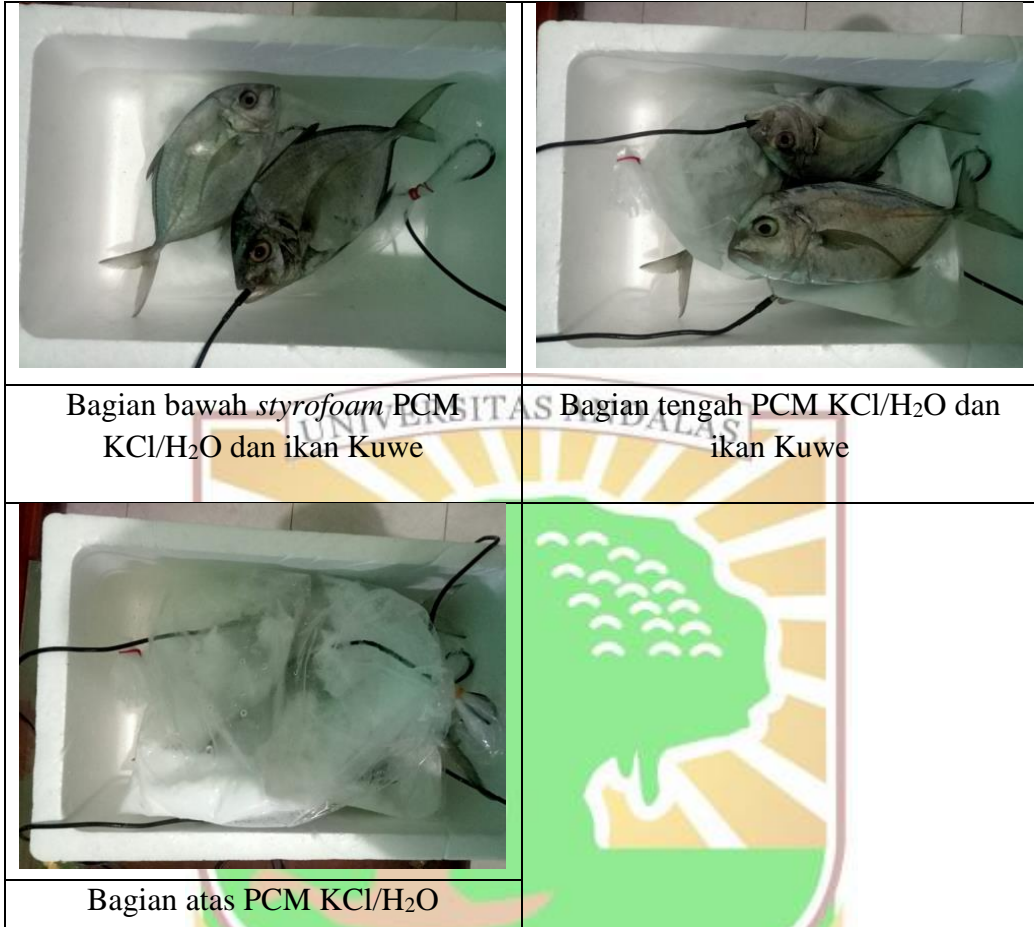
#### A. 1 Alat penelitian

		
Sensor temperatur	Kotak <i>styrofoam</i> ukuran 40×26,5×15 cm <sup>3</sup>	<i>Freezer</i>

#### A. 2 Bahan penelitian

			
Aquades (H <sub>2</sub> O)	Plastik bening ukuran 2 kg dan 3 kg	Ikan Kuwe massa 4 kg	Kalium klorida (KCl)

**Lampiran B Susunan ikan dan KCl/H<sub>2</sub>O di dalam kotak pendingin**



## Lampiran C

### C. 1 Data pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O

#### 1. Pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 0,5 kg

Waktu (jam)	Lingkungan	Freezer	KCl/H <sub>2</sub> O 0,5 kg
0	26.44	26.5	26.12
1	26.37	-15.38	-5
2	26.31	-17.5	-11.63
3	25.12	-1.5	-10.81
4	26.44	-10.25	-10.81
5	26.19	-13	-11.56
6	26.19	-13.94	-11.81
7	26.06	-15.56	-11.63
8	25.94	-16.69	-11.44
9	25.94	-17.69	-11.44
10	25.69	-18.5	-11.38
11	25.62	-19.12	-11.31
12	25.31	-16.12	-11.31
13	26.56	-6.56	-10.94
14	26.87	-11.94	-11.31
15	27.56	-13	-11.31
16	28	-14.94	-11.5
17	28.75	-16	-11.75
18	28.75	-17.25	-12.25
19	28.56	-17.62	-12.81
20	28.25	-19.12	-13.56
21	27.69	-20.56	-14.56
22	26.69	-3.88	-12.19
23	27.56	-10.38	-11.31
24	27.87	-12.88	-12.81

2. Pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 1 kg

Waktu (jam)	Lingkungan	Freezer	KCl/H <sub>2</sub> O 1 kg
0	26.44	26.5	26.5
1	26.37	-15.38	-6.06
2	26.31	-17.5	-11.56
3	25.12	-1.5	-10.5
4	26.44	-10.25	-10.69
5	26.19	-13	-10.75
6	26.19	-13.94	-10.56
7	26.06	-15.56	-10.38
8	25.94	-16.69	-10.38
9	25.94	-17.69	-10.69
10	25.69	-18.5	-11.13
11	25.62	-19.12	-11.56
12	25.31	-16.12	-11.31
13	26.56	-6.56	-10
14	26.87	-11.94	-10.44
15	27.56	-13	-11.5
16	28	-14.94	-11.94
17	28.75	-16	-12.31
18	28.75	-17.25	-12.75
19	28.56	-17.62	-12.94
20	28.25	-19.12	-13.94
21	27.69	-20.56	-15.25
22	26.69	-3.88	-13.13
23	27.56	-10.38	-11.31
24	27.87	-12.88	-13.69

### 3. Pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 2 kg

Waktu (jam)	Lingkungan	Freezer	KCl/H <sub>2</sub> O 2 kg
0	27.75	27.56	27.81
1	29.25	-6.06	12.13
2	28.69	-9.06	4.44
3	28.44	-11.31	-0.69
4	28.37	-12.81	-4.25
5	28.19	-13.69	-6.81
6	28.12	-14.44	-8.88
7	28.12	-14.5	-9.5
8	27.25	-12.88	-9.63
9	28.44	-6.25	-8.56
10	28.94	-11.44	-8.81
11	28.75	-12.88	-9.31
12	28.94	-13.88	-9.63
13	29.81	-14.56	-9.88
14	30.5	-15	-10.06
15	30.06	-15.38	-10.25
16	30.81	-15.88	-10.5
17	30.5	-16.37	-10.69
18	28.94	-6.56	-10.5
19	30.31	-10.56	-10.13
20	30.12	-12.13	-10.25
21	29.87	-13.81	-10.56
22	29.81	-14.88	-10.69
23	29.69	-15.06	-10.75
24	29.75	-15.75	-10.88

4. Pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 3 kg

Waktu (jam)	Lingkungan	Freezer	KCl/H <sub>2</sub> O 3 kg
0	27.75	27.56	27.5
1	29.25	-6.06	13
2	28.69	-9.06	5.5
3	28.44	-11.31	0.5
4	28.37	-12.81	-3
5	28.19	-13.69	-5
6	28.12	-14.44	-6
7	28.12	-14.5	-6.5
8	27.25	-12.88	-7
9	28.44	-6.25	-6.5
10	28.94	-11.44	-7
11	28.75	-12.88	-7.5
12	28.94	-13.88	-8
13	29.81	-14.56	-8.5
14	30.5	-15	-9
15	30.06	-15.38	-9.5
16	30.81	-15.88	-10
17	30.5	-16.37	-10.5
18	28.94	-6.56	-10.5
19	30.31	-10.56	-10
20	30.12	-12.13	-10.5
21	29.87	-13.81	-10.5
22	29.81	-14.88	-11
23	29.69	-15.06	-11
24	29.75	-15.75	-11



## C. 2 Data peleburan KCl/H<sub>2</sub>O tanpa beban

### 1. Peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 0,5 kg

Waktu (jam)	Lingkungan	Styrofoam	KCl/H <sub>2</sub> O 0,5 kg
0	27.75	28.19	-12.75
1	27.31	11.25	-9.63
2	26.87	12.44	-9.13
3	26.62	13.31	-7.56
4	26.5	14	-5.88
5	26.31	14.75	-3.94
6	26.12	15.31	-2.06
7	26.12	16	0.88
8	25.62	16.75	3.81
9	25.56	19.37	10
10	26.25	21.69	13.81
11	26.87	23.56	17.25
12	26.87	25.19	20.19
13	27.69	26.69	22.44
14	27.87	27.62	24.06
15	27.81	28.44	25.44
16	27.37	29	26.56
17	27.06	29.44	27.37
18	26.44	29.44	27.81
19	26.44	29.37	28.12
20	26.12	29.12	28.19
21	26.06	29	28.25
22	26.31	29.06	28.31
23	26.31	28.81	28.25
24	26.06	28.75	28.25

2. Peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 1 kg

Waktu (jam)	Lingkungan	<i>Styrofoam</i>	KCl/H <sub>2</sub> O 1 kg
0	27.75	28.87	-12.19
1	27.31	4	-9.94
2	26.87	5.19	-9.69
3	26.62	6.19	-9.31
4	26.5	6.81	-8.81
5	26.31	7.44	-8.63
6	26.12	7.94	-8.06
7	26.12	8.5	-7.5
8	25.62	8.81	-6.5
9	25.56	9.5	-5.94
10	26.25	10	-5.44
11	26.87	10.81	-4.5
12	26.87	11.88	-2.44
13	27.69	13.38	1
14	27.87	15.88	4.56
15	27.81	18.62	8.56
16	27.37	21	12.13
17	27.06	22.81	15.38
18	26.44	24.25	18.12
19	26.44	25.25	20.25
20	26.12	26	21.81
21	26.06	26.69	23.12
22	26.31	27.19	24.19
23	26.31	27.56	25
24	26.06	27.75	25.62

3. Peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 2 kg

Waktu (jam)	<i>Styrofoam</i>	Lingkungan	KCl/H <sub>2</sub> O 2 kg
0	29.06	29.22	-13
1	0.19	28.37	-10
2	0.63	28.19	-9.88
3	1	28	-9.81
4	1.44	27.75	-9.88
5	1.81	27.62	-9.88
6	1.94	27.5	-9.75
7	1.94	27.31	-9.81
8	2.25	26.56	-9.75
9	2.94	27.12	-9.69
10	3.94	27.56	-9.69
11	5.13	28.06	-8.63
12	7	28.81	-5.88
13	9.13	29.56	-3.13
14	10.94	29.87	-0.75
15	12.25	30.12	2
16	13.63	30.44	5.25
17	15.44	30.69	8.56
18	17.37	30.37	11.63
19	18.87	30.12	14.56
20	20.06	29.44	16.94
21	21.44	29.69	18.81
22	22.5	29.62	20.37
23	23.31	28.87	21.69
24	24.06	29.31	22.75

4. Peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 3 kg

Waktu (jam)	<i>Styrofoam</i>	Lingkungan	KCl/H <sub>2</sub> O 3 kg
0	28.19	28.56	-10.93
1	3.25	29	-9.88
2	3.81	29.12	-9.75
3	4.31	29.06	-9.63
4	4.75	29	-9.63
5	4.75	28.5	-9.56
6	4.63	28.25	-9.44
7	4.56	28.12	-9.44
8	4.44	27.56	-9.31
9	4.69	28.06	-9.31
10	5	28	-9.13
11	5.25	27.75	-8.56
12	5.69	27.69	-8.06
13	6.31	27.56	-7.63
14	7.63	27.37	-6.25
15	9.19	27.37	-2.94
16	10.69	27.19	-1.12
17	11.75	26.94	1.37
18	13.06	26.69	3.31
19	14.31	27	5.38
20	15.56	27.37	7.38
21	16.62	27.5	9.25
22	17.62	27	10.88
23	18.37	27.12	12.38
24	19.19	27.37	13.69

### C. 3 Data temperatur ikan dengan variasi massa KCl/H<sub>2</sub>O

Waktu (jam)	Ikan dengan 0,5 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Ikan dengan 1 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Ikan dengan 2 kg KCl/H <sub>2</sub> O	Ikan dengan 3 kg KCl/H <sub>2</sub> O
0	28.12	29.26	25.94	29.00
1	4.50	0.20	0.79	4.00
2	3.19	1.01	0.33	-0.80
3	3.06	1.87	1.10	-1.50
4	3.19	2.83	1.35	-2.13
5	3.25	3.51	1.41	-2.44
6	3.38	3.85	1.54	-2.44
7	3.56	4.12	1.66	-2.69
8	3.88	3.81	1.88	-3.31
9	4.31	3.95	2.10	-4.06
10	4.81	4.01	2.22	-4.50
11	5.44	5.10	2.44	-4.31
12	6.13	5.45	2.47	-4.06
13	6.94	5.70	2.69	-3.63
14	7.69	5.97	2.91	-3.13
15	8.69	6.39	2.91	-2.63
16	9.75	6.93	3.25	-1.94
17	10.69	7.41	3.56	-0.88
18	11.69	7.68	3.75	0.25
19	12.69	8.12	4.26	0.63
20	13.75	8.70	4.79	3.44
21	14.75	9.47	5.60	5.44
22	15.56	10.18	7.13	7.13
23	16.44	10.80	8.57	8.25
24	17.25	11.51	10.07	9.56
25	17.56	12.39	11.19	10.88
26	18.44	13.12	12.54	12.25
27	19.87	13.72	13.47	13.50
28	21.06	14.22	14.66	14.75
29	22.06	14.58	15.60	16.00
30	22.87	14.99	16.44	17.12
31	23.56	15.43	17.19	18.12
32	24.12	16.01	17.87	19.06
33	24.69	16.58	18.50	19.87
34	25.12	17.24	19.00	20.62
35	25.56	17.85	19.50	21.31
36	25.87	18.53	20.03	22.00

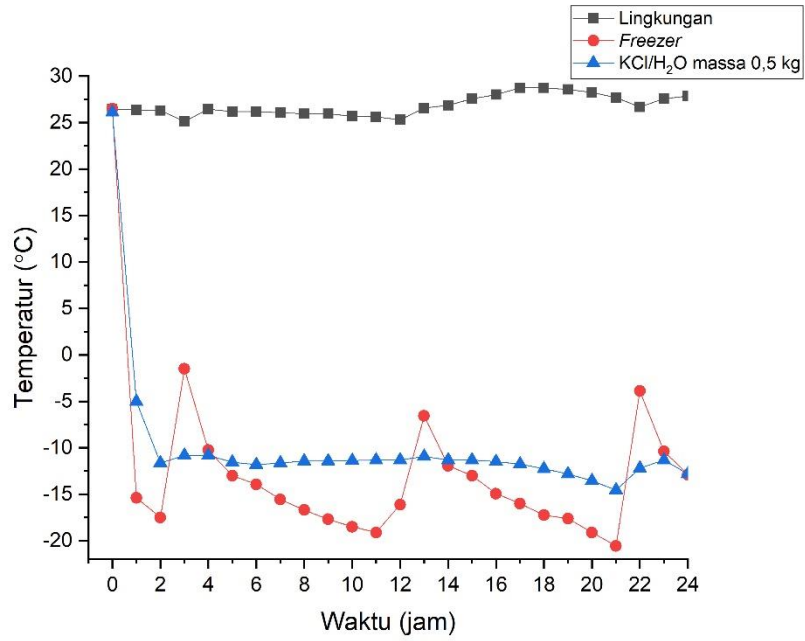
37	26.12	19.22	20.50	22.69
38	26.44	19.91	21.07	23.19
39	26.62	20.57	21.50	24.12
40	26.81	21.16	21.91	24.75
41	27.00	21.74	22.31	25.44
42	27.12	22.24	22.78	25.94
43	27.25	22.72	23.13	26.44
44	27.37	23.09	23.56	26.94
45	27.44	23.51	23.91	27.25
46	27.56	23.89	24.28	27.56
47	27.75	24.26	24.72	27.81
48	28.94	24.66	24.96	28.06



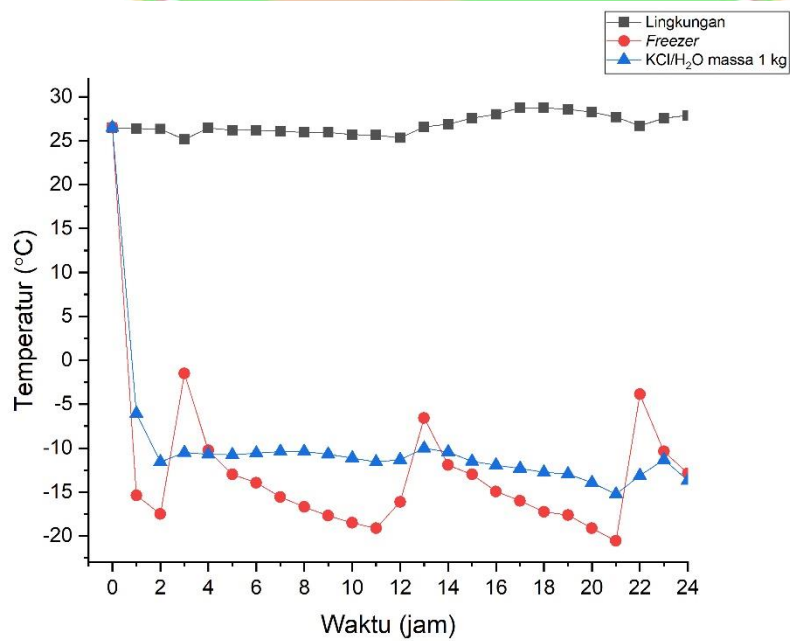
## Lampiran D

### D. 1 Grafik pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O

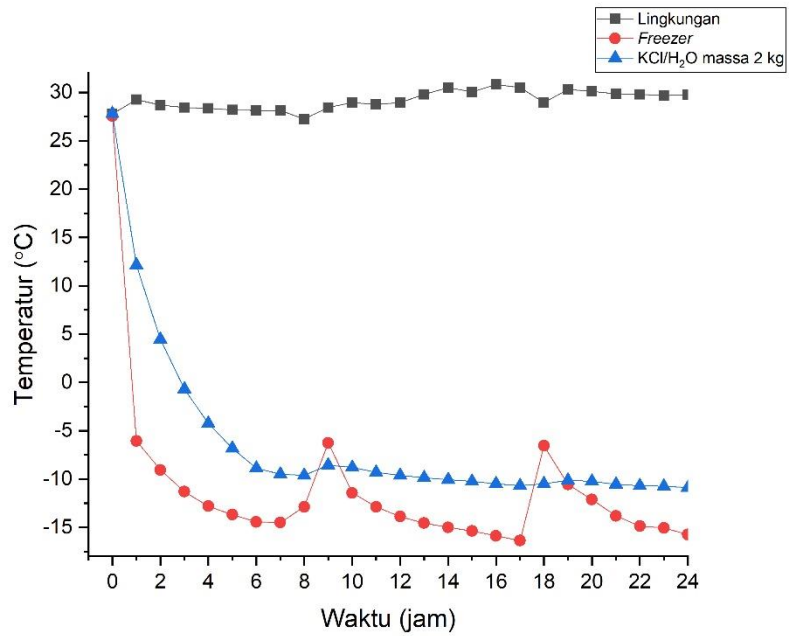
#### 1. Grafik pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 0,5 kg



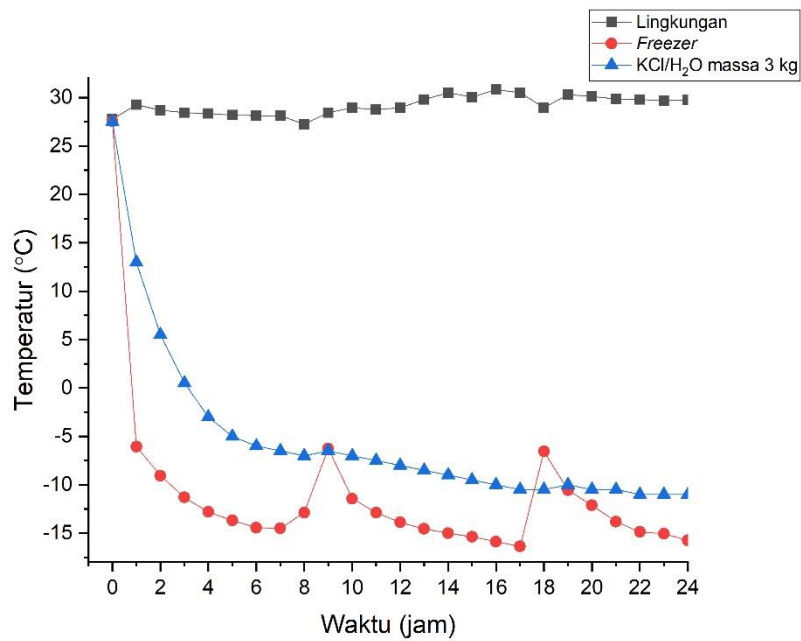
#### 2. Grafik pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 1 kg



### 3. Grafik pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 2 kg



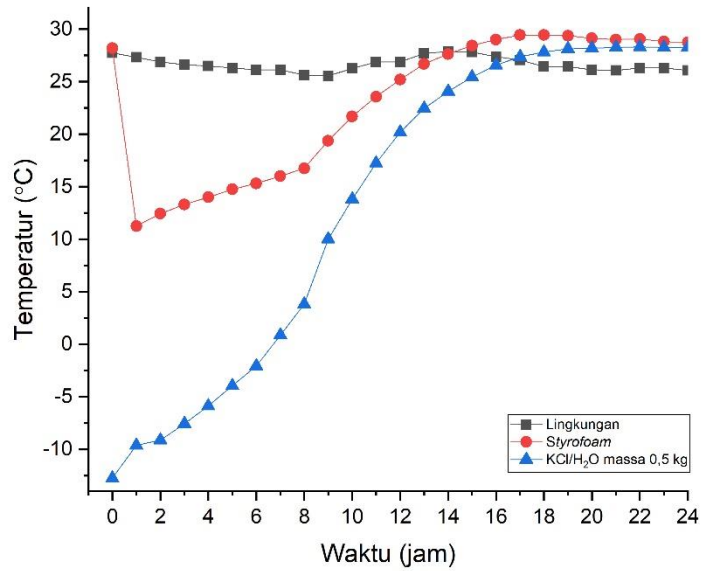
### 4. Grafik pembekuan KCl/H<sub>2</sub>O massa 3 kg



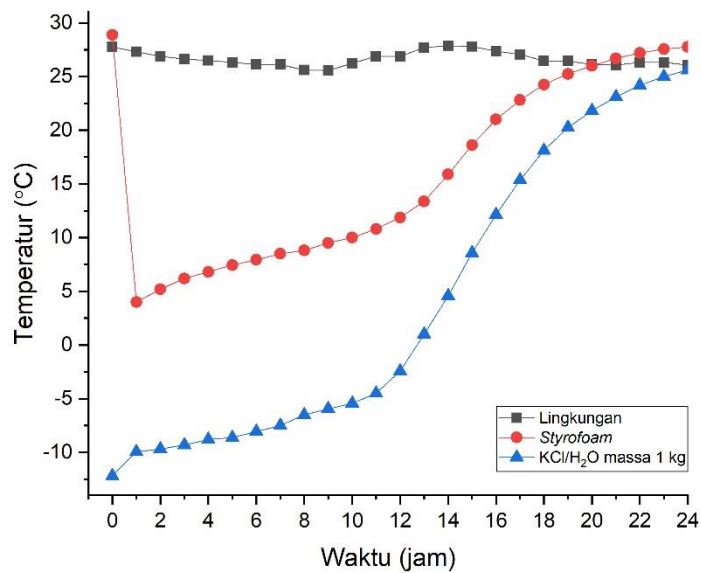


## D. 2 Grafik peleburan KCl/H<sub>2</sub>O tanpa beban

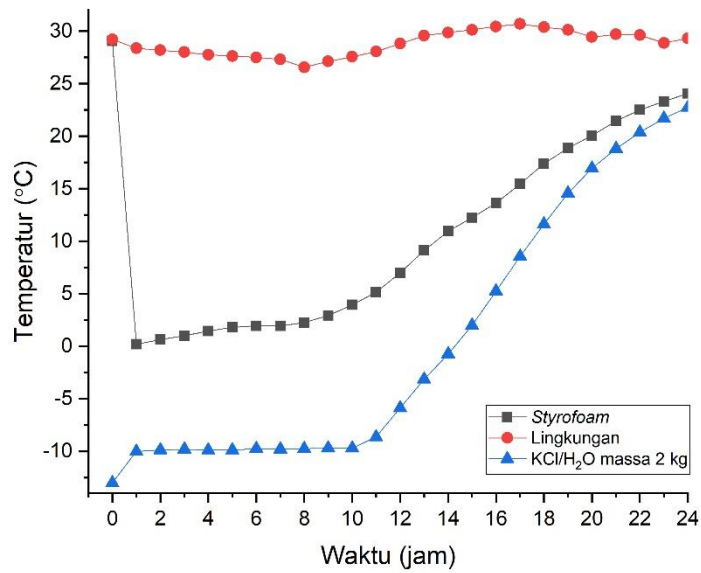
### 1. Grafik peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 0,5 kg



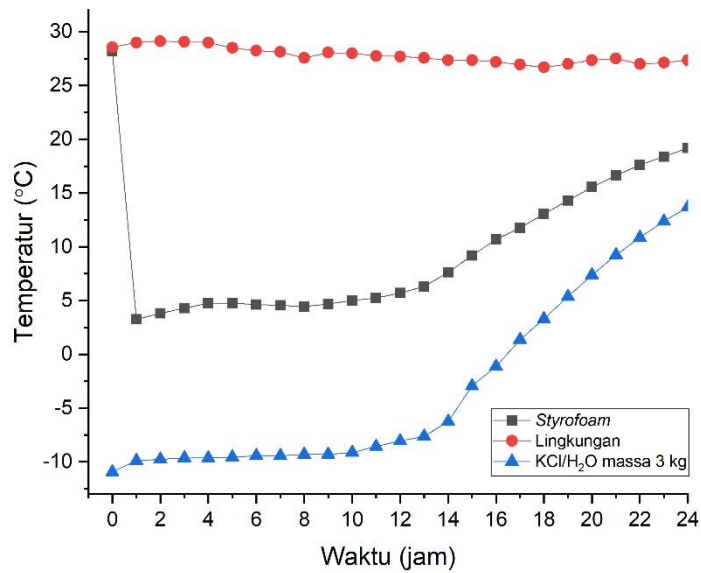
### 2. Grafik peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 1 kg



### 3. Grafik peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 2 kg



### 4. Grafik peleburan KCl/H<sub>2</sub>O massa 3 kg



## Lampiran E

### E. 1 Perhitungan pembuatan larutan KCl/H<sub>2</sub>O dengan massa 1 kg KCl

Diketahui: % massa KCl = 19,5%

$$\text{massa KCl} = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

Ditanya: massa KCl/H<sub>2</sub>O?

Jawab:

$$\text{massa KCl} = \% \text{ massa KCl} \times \text{massa KCl/H}_2\text{O}$$

$$1000 \text{ g} = \frac{19,5}{100} \times \text{massa KCl/H}_2\text{O}$$

$$1000 \text{ g} = 0,195 \times \text{massa KCl/H}_2\text{O}$$

$$\text{massa KCl/H}_2\text{O} = \frac{1000 \text{ g}}{0,195}$$

$$\text{massa KCl/H}_2\text{O} = 5128,2 \text{ g} = 5,13 \text{ kg}$$

### E. 2 Perhitungan biaya 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O

Diketahui: harga 1 kg KCl = Rp25.000,00

$$\text{massa KCl/H}_2\text{O} = 5,13 \text{ kg}$$

Ditanya: biaya 1 kg KCl/H<sub>2</sub>O?

Jawab:

$$\text{biaya 1 kg KCl/H}_2\text{O} = \frac{\text{harga 1 kg KCl}}{\text{massa KCl/H}_2\text{O}}$$

$$\text{biaya 1 kg KCl/H}_2\text{O} = \frac{\text{Rp}25.000,00}{5,13 \text{ kg}}$$

$$\text{biaya 1 kg KCl/H}_2\text{O} = \frac{\text{Rp}25.000,00}{5,13 \text{ kg}}$$

$$\text{biaya 1 kg KCl/H}_2\text{O} = \text{Rp}4.870,00 \approx \text{Rp}5.000,00$$



# EFEKTIVITAS PERUBAHAN FASE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O SEBAGAI SISTEM PENDINGIN IKAN LAUT

*by Iqbal Alief*

---

**Submission date:** 02-Aug-2023 11:06AM (UTC+0800)

**Submission ID:** 2140239985

**File name:** TA\_2\_Iqbal\_Alief\_final.pdf (2.06M)

**Word count:** 10123

**Character count:** 54628

# EFEKTIVITAS PERUBAHAN FASE MATERIAL KCl/H<sub>2</sub>O SEBAGAI SISTEM PENDINGIN IKAN LAUT

## ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	3%
2	<a href="https://repository.unhas.ac.id">repository.unhas.ac.id</a> Internet Source	1%
3	<a href="https://eprints.uny.ac.id">eprints.uny.ac.id</a> Internet Source	1%
4	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="https://www.pakarkimia.com">www.pakarkimia.com</a> Internet Source	1%
6	<a href="https://repository.ub.ac.id">repository.ub.ac.id</a> Internet Source	1%
7	<a href="https://scholar.unand.ac.id">scholar.unand.ac.id</a> Internet Source	1%
8	Submitted to Universitas Andalas Student Paper	1%
9	<a href="https://repository.ung.ac.id">repository.ung.ac.id</a> Internet Source	1%

10

[dwirahmawati41.blogspot.com](http://dwirahmawati41.blogspot.com)

Internet Source

1 %

---

Exclude quotes  On

Exclude matches  < 1%

Exclude bibliography  On