

**ANALISIS *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* LARUTAN EUTEKTIK
AIR-GARAM NATRIUM KLORIDA SEBAGAI PENDINGIN *COLD*
STORAGE IKAN SEGAR**

(Skripsi)

Oleh:

Riko Eriyadi

1415021072



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

ABSTRAK

ANALISIS *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* LARUTAN EUTEKTIK AIR-GARAM NATRIUM KLORIDA SEBAGAI PENDINGIN *COLD STORAGE* IKAN SEGAR

Oleh:

RIKO ERIYADI

Ikan dan kerang merupakan bahan yang mudah busuk dan rusak. Proses pembusukan diakibatkan oleh reaksi metabolisme dan pertumbuhan bakteri. Proses ini dapat dihambat dengan menggunakan sistem penyimpanan suhu rendah. Penelitian ini mengembangkan penyimpanan ikan (*Cold Storage*) berbasis PCM untuk aplikasi suhu rendah. Material PCM yang paling sering digunakan adalah Air karena memiliki sifat termal yang cukup baik. Namun air tidak cocok untuk aplikasi temperatur rendah karena memiliki titik beku 0°C. Berdasarkan sifat koligatif larutan, titik beku air akan turun jika ditambahkan zat terlarut. Zat terlarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah Natrium klorida (NaCl). NaCl ditambahkan kedalam air sebesar 3%, 6%, dan 9%wt NaCl hingga membentuk larutan eutektik air-garam. Analisis termal dilakukan dengan metode *T-History* dan perhitungan. Hasil analisis termal menunjukkan bahwa penambahan 3%, 6%, dan 9% wt NaCl ke dalam air menyebabkan penurunan titik beku, penurunan panas laten, kenaikan massa jenis, dan kenaikan derajat *supercooling*. Selanjutnya larutan eutektik 9% wt NaCl dipilih sebagai media pendingin karena memiliki titik beku -5,8°C dan sifat termal yang mirip dengan air. Penggunaan 5,6 kg larutan eutektik 9% wt NaCl sebagai media pendingin mampu menurunkan dan menjaga temperatur 5 kg ikan pada 0°C selama 24,3 jam dari temperatur awal 28,4°C dengan temperatur terendah -0,7°C. Ikan hasil penyimpanan memiliki nilai organoleptik 8 dengan tingkat kepercayaan 95%.

Kata Kunci : Ikan, PCM, *T-History*, Air, Larutan air-garam, NaCl, *Cold Storage*, Organoleptik.

ABSTRACT

EUTECTIC SODIUM CHLORIDE (NaCl) SOLUTION AS PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) FOR FISH COLD STORAGE

Oleh:

RIKO ERIYADI

Fish and shellfish are perishable. The decay process is caused by metabolic reactions and bacterial growth. This process can be inhibited by using a low temperatures storage system. This research developed a PCM-based cold storage system for low temperature applications. The most frequently used PCM material is Water because it has good thermal properties. However, water is not suitable for low temperature applications because it has a freezing point of 0°C. Based on the colligative properties of the solution, the freezing point of water will decrease if a solute is added. The solute used in this research is sodium chloride (NaCl). The addition of NaCl into water of 3%, 6%, and 9% wt NaCl to form a eutectic salt solution. Thermal analysis was carried out by T-History method and calculation. The results of the thermal analysis indicated that the addition of 3%, 6%, and 9% wt NaCl to the water cause a salt, latent heat reduction, increase in density, and increase in the degree of supercooling. Furthermore, the eutectic solution of 9% wt NaCl was chosen as the cooling medium because it has a freezing point of -5.8°C and thermal properties similar to water. The use of 5.6 kg of 9% wt NaCl eutectic solution was able to reduce and maintain the temperature of 5 kg of fish at 0°C for 24.3 hours from the initial temperature of 28.4°C with the lowest temperature of -0.7°C. The stored fish had an organoleptic value of 8 with a 95% confidence level.

Keywords: Fish, PCM, T-History, Water, Water-salt solution, NaCl, Cold Storage, Organoleptic.

**ANALISIS *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* LARUTAN EUTEKTIK
AIR-GARAM NATRIUM KLORIDA SEBAGAI PENDINGIN *COLD*
STORAGE IKAN SEGAR**

**Oleh:
Riko Eriyadi**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

**Pada
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi

**ANALISIS *PHASE CHANGE MATERIAL*
(PCM) LARUTAN EUTEKTIK AIR-
GARAM NATRIUM KLORIDA SEBAGAI
PENDINGIN *COLD STORAGE* IKAN
SEGAR**

Nama Mahasiswa

Riko Eriyadi

Nomor Pokok Mahasiswa

1415021072

Program Studi

Teknik Mesin

Fakultas

Teknik



Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.

A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.

NIP 19711214 200012 1 002

NIP 19760715 200812 1 006

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Ketua Program Studi S1 Teknik
Mesin**

Dr. Amrul, S.T., M.T.

Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP 19710331 199903 1 003

NIP 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Anggota Penguji

: A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.

Penguji Utama

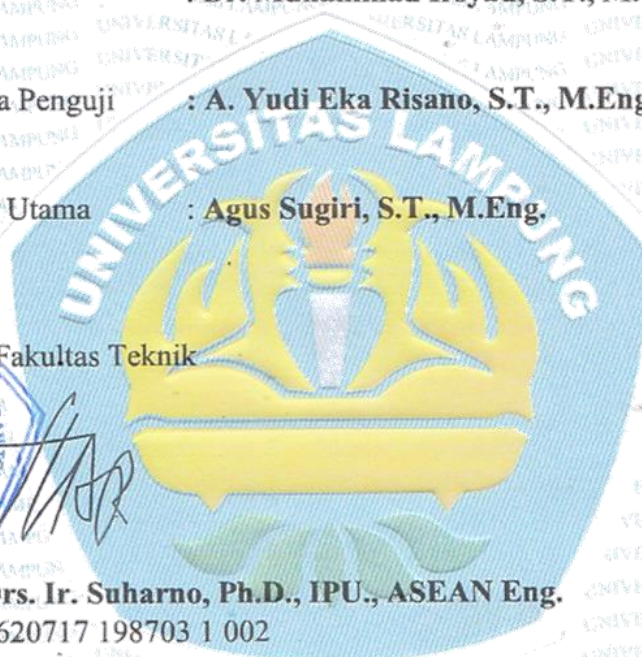
: Agus Sugiri, S.T., M.Eng.

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 9 Agustus 2021



PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Riko Eriyadi
NPM : 1415021072
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiarisme sebagaimana diatur dalam Pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor No: 06 Tahun 2016.

Bandar Lampung, 9 Agustus 2021

Yang Menyatakan



Riko Eriyadi

1415021072

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Mataram, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu pada tanggal 12 Maret 1997. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Suparyadi dan Ibu Erna Wati.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 Mataram pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMPN 3 Gadingrejo pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Gadingrejo pada tahun 2014.

Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung (HIMATEM). Pada Tahun 2018, penulis melakukan kerja praktek di PT Perkebunan Nusantara VII Unit Pabrik Karet Pematang Kiwah dengan judul “Konsumsi Energi pada Proses Produksi Karet Remah (*Crumb Rubber*) *Standard Indonesian Rubber 20* (SIR 20) di PTPN VII Unit Usaha Pematang Kiwah, Lampung”.

MOTTO

“BE SOMEONE ELSE”

(Penulis)

PRAKATA

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya Skripsi ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul “*Analisis Phase Change Material (PCM) Larutan Eutektik Air-Garam Natrium Klorida Sebagai Pendingin Cold Storage Ikan Segar*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Suharno, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung;
4. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung;
5. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I;
6. Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II;
7. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembahas;

8. Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
9. Seluruh Dosen dan Staff administrasi Teknik Mesin Unila;
10. Teman-teman teknik mesin 2014.

Bandar Lampung, 9 Agustus 2021

Penulis

RIKO ERIYADI

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Kualitas dan Mutu Ikan	6
B. Laju Pembusukan Ikan	8
C. Penyimpanan Ikan	10
D. Wadah Ikan	16
E. Beban Pendinginan	21
1. Beban produk.....	23
2. Beban transmisi.....	24
3. Beban infiltrasi.....	25
F. Kemampuan Media Pendingin	25
G. <i>Thermal Energy Storage</i>	26
1. Penyimpanan panas sensibel	26
2. Penyimpanan panas laten	27
H. Material Penyimpanan Panas Laten	27
I. Kriteria Pemilihan Bahan PCM	30
1. Sifat termofisik.....	30
2. Sifat kinetik.....	30
3. Sifat kimia	31
4. Sifat ekonomi	31
5. Sifat lingkungan	31

J. PCM Untuk Temperatur Rendah	31
K. Larutan Eutektik Garam-H ₂ O.....	33
III. METODOLOGI PENELITIAN	38
A. Waktu dan Tempat Penelitian	38
B. Tahapan Penelitian	38
1. Identifikasi masalah	38
2. Studi literatur	38
3. Persiapan alat dan bahan	39
4. Pengujian.....	39
5. Analisi data	39
6. Penulisan laporan	39
C. Alat dan Bahan.....	39
1. Alat.....	39
2. Bahan	41
D. Prosedur Pengujian	43
1. Preparasi larutan PCM NaCl.....	43
2. Uji <i>T-History</i>	43
3. Uji <i>cold storage</i>	44
4. Uji organoleptik	44
E. Diagram Alur Penelitian	45
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
A. Analisis Hasil <i>T-History</i>	46
1. Hasil <i>T-History</i> H ₂ O.....	46
2. Hasil <i>T-History</i> larutan 3% wt NaCl.....	48
3. Hasil <i>T-History</i> larutan 6% wt NaCl.....	50
4. Hasil <i>T-History</i> larutan 9% wt NaCl.....	51
B. Pengujian <i>Cold storage</i>	56
C. Uji Organoleptik	66
V. SIMPULAN DAN SARAN	69
A. Kesimpulan.....	69
B. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 faktor intrinsik (Shawyer & Medina Pizzali, 2003).....	9
Tabel 2. 2 Laju pertumbuhan bakteri	10
Tabel 2. 3 perbandingan teknik pendinginan dan Teknik pembekuan.....	11
Tabel 2. 4 Sifat fisik es (Myers, 1981).....	13
Tabel 2. 5 Material penyusunan ikan (Shawyer & Medina Pizzali, 2003)	19
Tabel 2. 6 Sifat termofisik material untuk <i>cold storage</i>	32
Tabel 2. 7 Titik beku larutan air/ NaCl atau KCl (Kumano et al., 2009).....	34
Tabel 3. 1 Spesifikasi Serbuk NaCl	42
Tabel 3. 2 Spesifikasi Air.....	42
Tabel 3. 3 Komposisi Proksimat ikan lele (<i>Clarias sp.</i>)	42
Tabel 4. 1 Hasil <i>T-History</i> dan Perhitungan.....	52
Tabel 4. 2 Hasil Uji Organoleptik	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Penurunan Kualitas Ikan (Myers, 1981)	9
Gambar 2. 2 Penyimpanan ikan curah di atas es.....	13
Gambar 2. 3 <i>Air-blast freezing</i>	15
Gambar 2. 4 Wadah ikan tradisional.....	18
Gambar 2. 5 Wadah Ikan <i>styrofoam</i> dengan rangka kayu	20
Gambar 2. 6 Konduksi	22
Gambar 2. 7 Hubungan fraksi air terhadap temperatur pendinginan ikan (Graham dkk, 1992)	23
Gambar 2. 8 metode <i>Thermal Energy Storage</i> (Mehling & Cabeza, 2008)	26
Gambar 2. 9 Prinsip penyimpanan panas laten (Gao dkk, 2013).....	28
Gambar 2. 10 Klasifikasi <i>Phase Change Material</i>	29
Gambar 2. 11 Jenis-jenis PCM beserta tipe temperatur dan entalpi lebur (Mehling & Cabeza, 2008).....	29
Gambar 2. 12 Diagram fasa larutan Garam-H ₂ O (Li et al., 2013).....	34
Gambar 4. 1 Hasil <i>T-History</i> H ₂ O.....	46
Gambar 4. 2 Hasil <i>T-History</i> 3% wt NaCl	48
Gambar 4. 3 Hasil <i>T-History</i> 6% wt NaCl	50
Gambar 4. 4 Hasil <i>T-History</i> 9% wt NaCl	51
Gambar 4. 5 Perbandingan Hasil <i>T-History</i>	53
Gambar 4. 6 Perbandingan Titik Beku Larutan	54
Gambar 4. 7 Perbandingan Derajat <i>Supercooling</i> Larutan	54
Gambar 4. 8 Perbandingan Panas Laten Fusi Larutan	55
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian <i>Cold storage</i>	62

DAFTAR NOTASI

A	= Luas Penampang (m^2)
c_i	= Panas Spesifik Es (Ice) ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)
c_{pf}	= Kalor Spesifik Produk ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)
c_w	= Panas Spesifik Air (<i>Water</i>)
D_t	= Decimal Portion
h_i	= Entalpi Spesifik Udara Luar (kJ/kg)
h_r	= Entalpi Spesifik Udara Ruangan (kJ/kg)
L	= Kalor Lebur (kJ/kg)
L_e	= Kalor Lebur Efektif (kJ/kg)
L_{ice}	= Kalor Lebur Es (kJ/kg)
m_f	= Massa Produk (kg)
m_i	= Massa Ice (kg)
P	= Jumlah Pintu
P_{ini}	= IPF Awal
$\dot{Q}_{X \text{ konduksi}}$	= Perpindahan Panas Konduksi (Watt)
Q_d	= Penurunan Entalpi Akibat Penurunan Titik Beku Larutan (kJ)
Q_{dil}	= Kalor Akibat Pelelehan (Dillution) (kJ)
Q_f	= Beban Produk (kJ)

Q_{inf}	= Beban Infiltrasi (kJ)
Q_{laten}	= Panas Laten (kJ)
$Q_{sensibel}$	= Panas Sensibel (kJ)
Q_{trans}	= Beban Transmisi (kJ)
R	= Tingkat Pembusukan Relatif
T	= Temperatur (°C)
T_e	= Temperatur Keseimbangan (Equilibrium) (°C)
U	= Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (W/m.K)
V	= Kecepatan Udara (m/s)
X	= Persentase zat terlarut (%)
k	= Koefisien Perpindahan Panas Konduksi (W/m.K)
x	= Ketebalan (m)
X_{fin}	= Konsentrasi Awal Larutan (%)
X_w	= Fraksi Air (%)
θ_0	= Waktu Pintu Terbuka (menit)
θ_d	= Waktu Operasi (jam)
θ_p	= Waktu Untuk Membuka-Menutup Pintu (detik)
ρ_r	= Massa Jenis Udara (kg/m ³)
ΔH	= Perubahan Entalpi (kJ)
ΔQ	= Perubahan Kalor (kJ)

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki sekitar 13.466 pulau. Setiap pulau-pulau yang ada di Indonesia dikelilingi oleh lautan yang luas. Adapun luas perairan Indonesia sebesar 3.257.483 km² sedangkan luas daratan hanya sebesar 1.992.570 km² (Agnas Setiawan, 2018). Berdasarkan luas perairan tersebut, Indonesia memiliki potensi yang cukup besar dalam bidang kelautan dan perikanan baik dari segi kualitas, kuantitas, dan diservitas. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pantai yang panjang dan daratan yang luas juga memiliki potensi besar untuk budidaya perikanan.

Melihat kontribusi perikanan tangkap dunia, data menunjukkan bahwa perikanan tangkap dunia menurun sebesar 46,38% dari total produksi perikanan dunia pada tahun 2016 (Kusdiantoro dkk, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa perikanan dunia sudah mengalami *levelling off* sehingga sulit untuk ditingkatkan, sedangkan produksi perikanan tangkap Indonesia semakin meningkat. Hal ini diutarakan oleh Direktur Jenderal Perikanan Tangkap Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) bahwa produksi perikanan tangkap Indonesia meningkat sebesar 17% pada tahun 2019. Sehingga Indonesia memiliki potensi yang baik sebagai produsen perikanan dunia.

Namun pada saat ini, kementerian kelautan dan perikanan (KKP) menyatakan bahwa sekitar 90% kapal nelayan Indonesia terdiri dari kapal dengan skala kecil. Jika dilihat dari jenis kapal yang digunakan, berdasarkan data BPS yang bersumber dari Direktorat Jendral Perikanan Tangkap pada tahun 2016. Jenis kapal yang digunakan oleh nelayan Indonesia terdiri dari jenis perahu tanpa motor dengan jumlah 117.776 unit, 63.855 unit perahu motor tempel, dan 1.508 unit kapal motor (BPS, 2016). Berdasarkan data-data tersebut, hampir seluruh nelayan Indonesia menggunakan kapal dengan skala kecil yang memiliki teknologi yang kurang memadai. Bahkan untuk wadah ikan biasanya menggunakan wadah dengan bahan buluh, bambu, tebu atau rumput, hingga bahan kayu. Akibatnya, hasil tangkapan ikan banyak yang mengalami kerusakan dan memiliki kualitas serta mutu yang kurang baik. Penurunan kualitas dan mutu ikan hasil penangkapan juga terjadi karena kerusakan autolitik dan pertumbuhan mikro-organisme yang terjadi pada ikan. Salah satu langkah yang dapat diambil untuk menghambat penurunan kualitas dan mutu ikan adalah dengan penyimpanan pada suhu rendah. Setiap penurunan suhu 8 °C dapat menghambat setengah dari laju reaksi metabolisme pada ikan. Sehingga semakin rendah temperatur ikan maka semakin memperlambat penurunan kualitas dan mutu ikan.

Penggunaan wadah ikan dengan isolasi termal merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk nelayan Indonesia. Wadah isolasi dengan bahan *expanded polystyrene* atau *styrofoam* bisa menjadi solusi bagi nelayan Indonesia yang hampir seluruhnya menggunakan kapal dengan kapasitas kecil karena *styrofoam* memiliki kemampuan isolasi yang cukup baik dan dari sisi ekonomi juga cukup murah. Berdasarkan penelitian, *styrofoam* memiliki kemampuan isolasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan material isolasi kayu maupun *fiber*. Wadah ikan berbahan *styrofoam* juga telah banyak digunakan di negara Philipina, dengan ditambahkan rangka kayu atau besi galvanis untuk memudahkan dalam penanganan dan memperkuat wadah. Sedangkan untuk mempertahankan kualitas dan mutu ikan dengan teknik penyimpanan temperatur rendah (Yusuf et dkk., 2013).

Penelitian tentang teknik penyimpanan temperatur rendah telah beberapa kali dilakukan dengan menggunakan media pendingin yang berbeda-beda. Anam pada tahun 2020 telah melakukan penelitian tentang pengaplikasian PCM Parafin sebagai media pendingin ikan. PCM parafin mampu menurunkan temperatur ikan hingga 21,3 °C (Anam, 2020). Penelitian selanjutnya yaitu penggunaan *ice gel propylene glycol* sebagai media pendingin ikan. Temperatur pendinginan beban terendah yang dicapai adalah 12,2 °C (Saputra, 2017). Selain itu, media pendingin yang banyak digunakan oleh masyarakat adalah es. Berdasarkan penelitian, penggunaan es sebagai media untuk mendinginkan ikan mas dengan berat 0,6 kg dengan berat es 1,2 kg hanya mampu menurunkan temperatur ikan mas dari 30°C hingga 5,7°C (Anam, 2020). Mengingat air merupakan salah satu PCM terbaik, maka dalam penelitian ini, air akan digunakan sebagai bahan dasar PCM. Untuk menurunkan temperatur air dapat digunakan bahan tambahan berupa garam hingga membentuk larutan air-garam. Penambahan beberapa gram garam dapat menurunkan titik beku larutan. Penurunan titik beku larutan akan maksimal ketika telah mencapai titik eutektik. Pada titik eutektik ini, temperatur beku larutan -21,2 °C (Chen et al., 1998). PCM larutan air-garam dipilih untuk menghasilkan suhu penyimpanan dibawah 0°C sehingga mampu mempertahankan temperatur ikan disekitar 0 °C

Berdasarkan beberapa permasalahan tersebut, untuk menjaga kualitas dan mutu ikan hasil tangkapan nelayan Indonesia yang sebagian besar menggunakan kapal dengan skala kecil, dibuat wadah ikan yang berbahan dasar *styrofoam* dengan rangka kayu sebagai penguat dan mempermudah penanganan. Sedangkan untuk menurunkan temperatur ikan digunakan media pendingin berupa larutan PCM air-garam yang dimasukkan kedalam wadah *ice pack* berbahan dasar plastik untuk menghindari kontak langsung produk perikanan dengan larutan PCM.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui sifat termal H₂O, larutan 3%, 6%, dan 9% wt NaCl
2. Mengetahui pengaruh penambahan persentase garam ke larutan air
3. Mengetahui kinerja larutan PCM % wt NaCl sebagai media pendingin *cold storage* untuk mendinginkan ikan segar
4. Mengetahui nilai organoleptik ikan segar yang disimpan menggunakan *cold storage*.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Penelitian dilakukan hanya wadah yang terbuat dari *styrofoam* berukuran 33,5 x 24,5 x 30,0 cm
2. Garam yang digunakan hanya NaCl
3. Larutan air-garam eutektik dibuat dengan konsentrasi 3%, 6%, dan 9%wt NaCl

D. Sistematika Penulisan Laporan

penelitian ini disusun menjadi lima bab, adapun sistematikanya adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

berisikan tentang latar belakang masalah dengan jelas, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung pembahasan tentang masalah yang diambil.

III. METODELOGI PENELITIAN

Berisikan tentang hal-hal yang berkaitan dengan dilakukan penelitian baik berupa informasi tempat penelitian, waktu penelitian, alat bahan yang digunakan, serta proses pengambilan data pada saat pengujian.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang data pengamatan yang diperoleh, hasil perhitungan dan pembahasan.

V. PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran yang menjelaskan hasil dari tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka memuat buku-buku referensi yang menunjang dalam penyusunan penelitian ini.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan foto dan data-data lain yang mendukung penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kualitas dan Mutu Ikan

Ikan dengan kualitas dan mutu yang baik dapat diperoleh dari ikan yang segar, yang mana ikan segar dapat diartikan sebagai ikan yang baru ditangkap atau dipanen dan belum sempat dilakukan proses pengawetan atau penyimpanan. Kesegaran dalam ikan memiliki arti ekonomis yang tinggi, karena kesegaran ikan akan menentukan kualitas dan mutu ikan yang kemudian akan berdampak pada harga jual ikan itu sendiri. Produk ikan segar merupakan ciri ikan dengan mutu dan kualitas yang tinggi, ikan ini layak konsumsi dan mampu diolah menjadi produk makanan dengan mutu tinggi. Faktor-faktor yang menjadi penentu kesegaran ikan antara lain: jenis dan ukuran ikan, cara tangkap atau panen, dan lingkungan.

Ikan memiliki sifat yang mudah rusak dan cepat membusuk. Tubuh ikan memiliki kadar air yang tinggi serta pH yang hampir mendekati netral, kondisi ini merupakan tempat terbaik untuk pertumbuhan bakteri maupun organisme lain. Proses penurunan kualitas dan mutu ikan secara cepat terjadi setelah ikan mati yang ditunjukkan dengan perubahan secara fisik, kimiawi, juga organoleptik yang mengakibatkan ikan menjadi busuk. Perubahan kualitas dan mutu ikan tersebut terjadi karena adanya aktivitas enzim, mikro-organisme, juga karena oksidasi oksigen.

Cara yang paling mudah untuk mengetahui kesegaran ikan adalah dengan pengamatan indrawi pada bagian tubuh ikan, cara ini biasa disebut dengan ektik organoleptik. Pengamatan ini dilakukan pada beberapa bagian tubuh ikan yang sensitif terhadap perubahan kualitas dan mutu ikan. Organ-organ tubuh tersebut antara lain: warna tubuh, sisik ikan, warna mata ikan, serta insang. Pemerintah Indonesia telah menentukan standar dan ciri ikan segar yang dimuat dalam aturan SNI 01-2346-2006 tentang ikan segar yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) adapun ciri tersebut antarlain (BSN, 2013):

a. Mata

Ikan yang segar memiliki bentuk bola mata yang cembung, kornea dan pupil yang jernih serta mengkilap, serta warna mata yang sesuai dengan warna spesifik ikan tersebut. Sementara ikan yang tidak segar memiliki bola mata yang sangat cekung, kornea yang sangat keruh, pupil abu-abu dan tidak mengkilap.

b. Insang

Ikan yang segar memiliki ciri insang yang cemerlang dan berwarna merah tua atau cokelat kemerahan serta sedikit sekali terdapat lapisan lendir yang transparan. Sementara ikan yang tidak segar memiliki insang yang tidak cemerlang dan berwarna abu-abu atau cokelat keabu-abuan, serta terdapat lendir cokelat bergumpal.

c. Lendir permukaan tubuh

Ikan yang segar memiliki lapisan lendir yang berada dipermukaan tubuh, lapisan ini terlihat jernih, transparan, mengkilap cerah diseluruh tubuh ikan. Sementara ikan yang tidak segar memiliki lapisan tebal menggumpal dan telah berubah warna.

d. Daging

Daging dari ikan yang segar memiliki jaringan daging yang sangat kuat, sayatan yang sangat cermelang serta spesifik jenis. Sementara ikan yang tidak segar memiliki sayatan daging yang sangat kusam serta jaringan daging yang telah rusak.

e. Bau

Ikan yang segar memiliki bau yang sangat segar spesifik dengan jenis ikan masing-masing. Sementara ikan yang tidak segar memiliki bau busuk yang sangat kuat.

f. Tekstur

Tekstur daging ikan segar sangatlah padat, kompak, dan sangat elastis jika disentuh. Sementara ikan yang tidak segar memiliki tekstur daging yang lunak sehingga ketika disentuh dengan jari akan meninggalkan bekas jari.

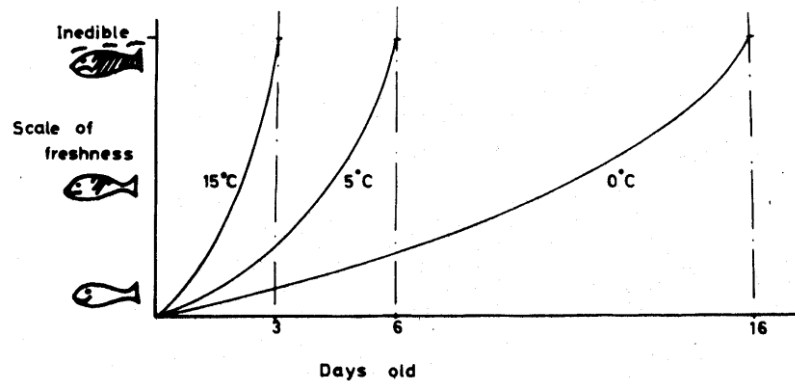
B. Laju Pembusukan Ikan

Untuk menjaga mutu dan kualitas ikan terutama dari proses pembusukan perlu memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi laju pembusukan pada ikan. Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pembusukan pada ikan (Shawyer & Medina Pizzali, 2003).

a. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi pembusukan pada ikan, temperatur yang tinggi akan mempercepat laju pembusukan pada ikan, sebaliknya temperatur yang rendah akan menurunkan laju pembusukan pada ikan. Oleh karena itu jika temperatur dari ikan segar rendah maka penurunan kualitas dan mutu ikan akan terjadi secara perlahan. Semakin cepat penurunan suhu selama proses pendinginan maka akan semakin cepat pula laju pembusukan ikan terhambat. Umumnya, ikan kehilangan kualitas saat disimpan dalam es (0°C) digunakan sebagai perbandingan masa penyimpanan dengan menggunakan media pendinginan yang berbeda. Hubungan antara umur simpan ikan pada 0°C dan pada $t^{\circ}\text{C}$ dikenal sebagai *Relatif Rate Of Spoilage* (RRS) pada $t^{\circ}\text{C}$. Sebuah pengembangan dari persamaan laju reaksi Arrhenius memungkinkan kita untuk menghitung 'tingkat pembusukan relatif' untuk ikan dan kerang untuk suhu di atas 0°C (Gorga et al., 1988).

$$R = (1 + 0,1T)^2 \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.1 Grafik Penurunan Kualitas Ikan (Myers, 1981)

b. Kerusakan Fisik

Ikan memiliki tubuh yang lunak dan mudah rusak, Oleh karena itu penanganan yang kasar dan memar menyebabkan kontaminasi daging ikan dengan bakteri dan memungkinkan pelepasan enzim, menaikkan tingkat pembusukan. Sebagai tambahan, Penanganan yang ceroboh bisa meledakkan isi perut dan menyebarkan isinya ke dalam daging ikan

c. Faktor intrinsik

Baktor intrinsik yang mempengaruhi laju pembusukan pada ikan selama proses pendinginan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.1 faktor intrinsik (Shawyer & Medina Pizzali, 2003)

Faktor intrinsik	Laju pembusukan	
	Lambat	Cepat
Bentuk	Pipih	Bundar
Ukuran	Besar	Kecil
Kandungan lemak	Spesies kurus	Spesies gemuk
Karakteristik kulit	Kulit tebal	Kulit tipis

C. Penyimpanan Ikan

Ikan dan kerang dianggap sebagai bahan makanan yang paling mudah rusak, bahkan ketika disimpan dalam kondisi dingin kualitasnya dengan cepat menurun. Umumnya, ikan dan kerang sebaiknya dikonsumsi sesegera mungkin setelah penangkapan untuk menghindari rasa yang tidak diinginkan dan penurunan kualitas akibat aksi mikroba.

Kehilangan kualitas ikan pada awalnya disebabkan oleh kerusakan autolitik karena aksi enzim yang ada di usus dan daging ikan. Ini diikuti dengan pertumbuhan mikro-organisme di permukaan ikan, yang memanifestasikan dirinya sebagai lendir yang berkembang di permukaan. Bakteri kemudian menyerang daging ikan, menyebabkan kerusakan jaringan dan kerusakan umum pada produk. Umumnya, tingkat pembusukan autolitik dan mikroba tergantung pada suhu di mana ikan disimpan. Proses yang merusak akan terhambat pada suhu yang berkurang dan, jika suhu cukup rendah, pembusukan hampir dapat dihentikan. Setiap penurunan suhu pada ikan sebesar 8°C dapat menghambat kecepatan laju reaksi metabolisme sebesar setengah dari seluruh reaksi metabolisme. Laju pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada tabel berikut (Hall, 1997):

Tabel 2.2 Laju pertumbuhan bakteri

Temperatur (°C)	Waktu pertumbuhan (Jam)
33	0,5
22	1
12	2
10	3
5	6
2	10
0	20
-3	60

Kebusukan dan kerusakan pada ikan yang disebabkan oleh pertumbuhan mikroba pada ikan dapat ditangani dengan pengawetan ikan pada suhu rendah yang memiliki prinsip dasar untuk memperlambat kecepatan reaksi metabolisme dan memperhambat pertumbuhan mikroba. Setiap penurunan suhu pada ikan sebesar 8°C dapat menghambat kecepatan laju reaksi metabolisme sebesar setengah dari seluruh reaksi metabolisme. Dengan kata lain, semakin rendah temperatur ikan maka akan semakin memperlambat penurunan kualitas dari ikan.

Prinsip ini akan semakin efektif jika sebelum dilakukan penurunan suhu pada ikan, terlebih dahulu ikan dibersihkan. Hal ini dimaksudkan agar ikan berpeluang besar terbebas dari kontaminan awal seperti mikroba golongan psikofilik yang tahan terhadap suhu rendah. Proses pengawetan dengan suhu rendah secara garis besar terdiri dari dua teknik yaitu pendinginan (*cooling*) dan pembekuan (*freezing*). Perbedaan terbesar antara kedua teknik ini adalah terletak pada suhu penyimpanan. Teknik pendinginan memiliki suhu penyimpanan berisar antara -2°C hingga 10°C. Sedangkan Teknik pembekuan memiliki suhu penyimpanan berkisar antara -12 hingga -24°C. Daya tahan ikan yang disimpan berdasarkan kedua metode tersebut pun berbeda. Proses pendinginan menyebabkan daya tahan ikan hanya dapat bertahan beberapa hari saja hingga satu bulan. Sedangkan proses pembekuan, ikan dapat disimpan hingga bulanan bahkan sampai tahunan. Berikut dapat dilihat pada tabel karakteristik penyimpanan menggunakan teknik pendinginan (*colling*) dan teknik pembekuan (*freezing*).

Tabel 2.3 Perbandingan teknik pendinginan dan Teknik pembekuan

Pendinginan	Pembekuan
Penyimpanan jangka pendek (Maksimal 1 bulan untuk beberapa spesies)	Penyimpanan jangka panjang (Satu tahun atau lebih untuk spesies tertentu)
Penyimpanan dengan temperatur 0°C	Penyimpanan dengan temperatur dibawah 0°C. Contoh -20°C

Pendinginan	Pembekuan
Relatif lebih murah	Relatif lebih mahal
Produk berupa ikan segar	Dapat berdampak buruk pada ikan jika penanganan kurang baik
Relatif berteknologi rendah	Relatif berteknologi tinggi
Tidak membutuhkan skill tinggi	Membutuhkan skill tinggi
Pendinginan portable	Umumnya beroperasi secara statis

Penurunan suhu dibawah suhu minimum yang dibutuhkan untuk memperpanjang waktu generasi mikroba dan menghambat proses perkembangbiakannya. Berdasarkan pada kisaran suhu pertumbuhan mikroba dibedakan menjadi tiga yaitu termofilik (35-55°C) mesofilik (10-40°C) dan psikofilik (-5-15°C) (Ilyas 1983 dalam Saputra, 2017).

Berdasarkan hal ini, proses pendinginan pada ikan hanya akan menghambat pertumbuhan mikroba termofilik dan mesofilik, sehingga pertumbuhan bakteri psikofilik masih dapat berkembang. Bakteri psikofilik dapat menyebabkan terjadinya kebusukan pada ikan, tetapi bakteri jenis ini tidak bersifat patogenik sehingga tidak menimbulkan penyakit. Sehingga proses pendinginan pada rentang suhu 5-7°C dilakukan untuk menghambat bakteri yang bersifat patogenik. Selain menghambat pertumbuhan bakteri patogen, proses pendinginan juga mengurangi kecepatan perubahan enzimatik dan mikrobiologik. Berikut ini adalah beberapa metode dalam pendinginan ikan

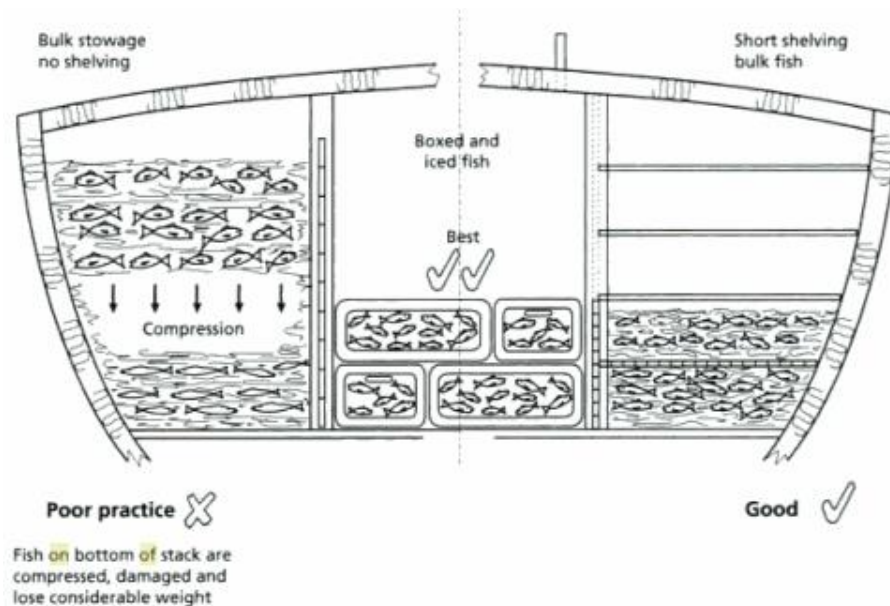
a. Metode Pendinginan

Metode pengesan merupakan metode pendinginan yang paling sederhana dan paling umum digunakan karena dengan metode pengesan ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri termofilik dan mesofilik. Teknik pengesan menggunakan es tawar sebagai media pendingin. Es memiliki kualitas yang baik untuk penyimpanan yang bersih, lembab, dan berudara. Es tidaklah berbahaya dan dapat dipindahkan dengan mudah dan juga harganya tidak mahal. Es juga memiliki peranan yang

penting dalam mencegah dehidrasi ikan selama penyimpanan. Es mampu menurunkan temperatur dengan cepat tanpa banyak mempengaruhi keadaan ikan (Afrianto dan Liviawaty 1989 dalam (Jurita, 2018)). Es kebanyakan dibuat dengan menggunakan air tawar dan selebihnya terbuat dari air laut yang diproduksi secara langsung pada kapal ikan. (Adawyang 2007 dalam (Jurita, 2018)). Berikut ini adalah sifat fisik es

Tabel 2.4 Sifat fisik es (Myers, 1981)

Sifat	Unit
Titik Leleh	0°C
Densitas pada 0°C	0.92 t/m ³
Panas spesifik pada 0°C	0.49 Kkal/Kg°C
Panas spesifik pada -20°C	0.46 Kkal/Kg°C
Panas Laten	80 Kkal/Kg
Konduktivitas termal pada 0°C	1.91 KKal/m.jam°C
Konduktivitas termal pada -10°C	1.99 KKal/m.jam°C
Konduktivitas termal pada -20°C	2.08 KKal/m.jam°C



Gambar 2.2 Penyimpanan ikan curah di atas es

Metode pengesan ikan dapat dilakukan dengan tiga teknik sesuai yang terlihat pada gambar 2.2, tiga teknik tersebut antarlain:

1) Pengesan Langsung (*Bulk storage*)

Teknik pengesan langsung biasa digunakan jika hasil tangkapan yang akan didinginkan dalam jumlah yang banyak dan terdiri dari jenis-jenis ikan yang agak besar, seperti ikan cangkalang atau tuna. Secara umum teknik pengesan langsung dilakukan dengan mencampurkan gundukan es secara langsung terhadap tubuh ikan. Supaya pendinginan lebih efisien, pengesan dilakukan dengan menggunakan wadah yang relatif besar yang diberi lapisan es yang lebih tebal pada bagian bawah dan diikuti lapisan ikan, kemudian lapisan es lagi diikuti lapisan ikan hingga memenuhi box dan diakhiri dengan lapisan es dengan ketebalan yang lebih sebagai penutup.

2) Pendinginan dengan sekat horizontal (*Shelfing*)

Teknik ini biasa dilakukan dikapal-kapal penangkapan ikan yang besar dengan palka yang cukup besar. Ruangan-ruangan palka disekat-sekat secara horizontal dan jarak antara sekat berkisar 80-90 cm. ikan yang tertangkap dimasukkan diantara dua sekat yang telah diberi tumpukan es, diusahakan permukaan tumpukan es dan ikan tidak menyentuh sekat diatasnya.

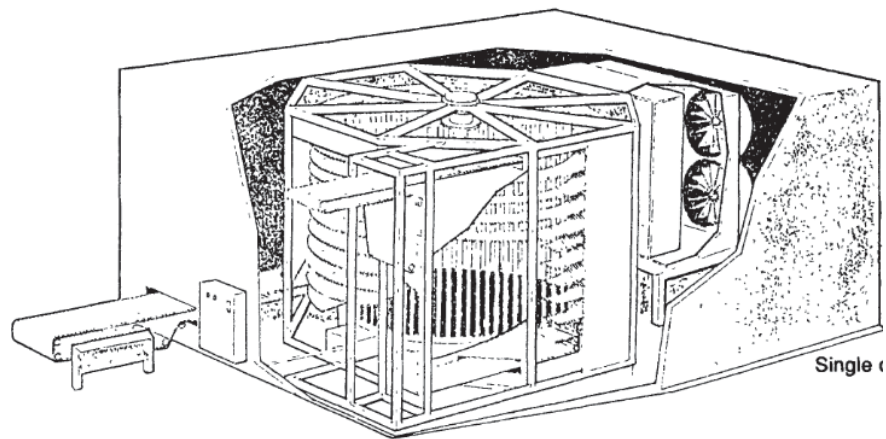
3) Pendinginan dengan peti (*Boxing*)

Pada teknik pendinginan dengan peti, biasanya peti yang digunakan berasal dari peti kayu tipis dengan permukaan yang kasar atau anyaman bambu. Keranjang bambu biasa digunakan untuk pengiriman bandeng segar yang diberi es dan dilapisi dengan daun pisang segar dibagian luarnya dan untuk pengiriman kakap merah biasanya peti hanya dilapisi dena bekas kertas semen bekas secukupnya. Hal terpenting dalam Teknik pendinginan dengan peti adalah jumlah es yang digunakan.

b. Metode Pembekuan

Ada tiga metode dasar yang tersedia untuk pembekuan ikan, pilihannya akan tergantung pada biaya, fungsi, dan kelayakan yang diatur oleh faktor lokasi dan jenis produk. Ketiga metode tersebut adalah:

- 1) *Air-blast freezing*, di mana aliran udara dingin yang terus menerus melewati produk. Keuntungan utama dari alat pembeku ledakan udara adalah keserbagunaannya. Namun, seringkali digunakan secara tidak tepat dan tidak efisien. Teknik ini cocok untuk makanan yang bentuknya tidak beraturan, ukuran berbeda, dan tidak dapat diubah bentuk.



Gambar 2.3 *Air-blast freezing*

- 2) *Plate or contact freezing*, di mana produk ditempatkan dalam kontak langsung dengan pelat berongga, logam, *freezer*, yang melaluinya fluida dingin dilewatkan. *Plate freezer* digunakan untuk membekukan ikan menjadi balok tetapi tidak begitu serbaguna seperti *blast freezer*. Mereka tersedia dari tipe vertikal atau horizontal, sesuai dengan pengaturan pelat. Pelat sekarang dibuat dari aluminium ekstrusi dalam penampang melintang, menunjukkan saluran yang dilalui refrigeran cair. Perpindahan panas terjadi melalui permukaan atas dan bawah pelat, dan pembekuan dilakukan dengan kontak langsung antara pelat dingin dan produk. Tekanan yang diterapkan pada pelat di setiap sisi produk akan meningkatkan

kontak. Dengan cara ini, meningkatkan koefisien perpindahan panas antara pelat dan produk. Tekanan yang diterapkan adalah antara 1 dan 10 bar menggunakan tekanan hidrolik untuk menahan pelat tertutup.

- 3) *Spray or immersion freezing*, produk ditempatkan dalam kontak langsung dengan refrigeran fluida. Penggunaan *freezer* imersi memastikan kontak yang erat antara permukaan ikan dan media pembekuan, sehingga terlihat seperti memastikan perpindahan panas yang baik. Media pembekuan yang digunakan biasanya air garam natrium klorida, yang memiliki titik eutektik - 21,2 ° C. Karena itu, suhu air asin sekitar -15 ° C digunakan dalam proses pembekuan. Penurunan suhu harus dicapai dengan memindahkan produk ke penyimpanan dingin.

D. Wadah Ikan

Wadah ikan digunakan untuk mengangkut ikan dan media pendingin. Wadah ikan dibuat dari berbagai jenis bahan yang paling sederhana yaitu keranjang dari buluh, bambu, tebu, atau rumput, hingga bahan yang terbuat dari kayu, logam, dan plastik untuk mengurangi laju pencairan dari media pendingin. Pemilihan bahan wadah bergantung pada kondisi ekonomi dan juga jenis ikan. Kenyataannya pada saat ini banyak dijumpai ikan-ikan yang dibuang karena telah rusak dan juga terjadi pembusukan selama selang waktu penangkapan hingga penjualan di darat. Semakin meningkatnya pengembangan tentang peningkatan kemampuan dan kapasitas wadah penyimpanan ikan yang penggunaannya secara luas baik pada perahu atau kapal kecil diharapkan dapat menurunkan tingkat kerusakan dan pembusukan pada ikan terutama pada produk perikanan skala kecil.

Untuk negara tropis seperti Indonesia, biaya dan ketersediaan media pendingin merupakan faktor yang sangat menghambat nelayan skala kecil dibandingkan dengan biaya wadah berinsulasi. Disamping keterbatasan teknologi pendingin yang berada di daerah tropis seperti Indonesia, terdapat ruang lingkup yang besar untuk pengembangan desain dan konstruksi wadah berinsulasi yang terbuat dari bahan-bahan lokal yang pada akhirnya lebih mudah tersedia dan cukup murah untuk nelayan kecil. Adapun fungsi utama dari wadah ikan berinsulasi pada perahu milik nelayan kecil adalah

- a. Untuk mempermudah penanganan ikan (mengurangi frekuensi penanganan ikan secara per biji) dan melindungi ikan dari resiko kerusakan fisik.
- b. Menjaga kualitas ikan dengan memastikan pendinginan yang memadai dan mengurangi tingkat pencairan media pendingin akibat berkurangnya infiltrasi panas melalui dinding container
- c. Untuk meningkatkan penanganan ikan dengan demikian mampu menghasilkan kualitas ikan yang lebih baik di daratan, membuat pelayaran mencari ikan lebih lama dan menghasilkan produk perikanan dengan harga yang lebih baik bagi para nelayan.

Untuk memperoleh wadah dengan kemampuan insulasi yang optimal diperlukan bentuk, ukuran, serta jenis material yang digunakan dalam spesifikasi yang baik. Hal ini tentu berimbas pada harga material serta biaya produksi yang tinggi. Sudah banyak wadah ikan yang diproduksi oleh pabrik namun harga yang ditawarkan masih cukup mahal. Hingga ujung-ujungnya nelayan masing menggunakan wadah ikan tradisional yang terbuat dari jerami, bambu, atau kayu guna menyiasati biaya wadah ikan pabrikan yang sangat mahal. Namun penggunaan wadah ikan tradisional ini memiliki banyak kekurangan seperti dari material kayu dan bambu yang susah dibersihkan serta masa pakainya yang lebih pendek dibandingkan dengan material lain seperti HDPE dan aluminium.



Gambar 2.4 Wadah ikan tradisional

Material lain yang sering digunakan sebagai bahan wadah ikan adalah logam yang berasal dari alumunium dan plastik yang berasal dari *Thermoplastic High Density Polythylene* (HDPE). Bahan alumunium dan bahan plastik memiliki berat yang ringan dan mudah dibersihkan. Namun bahan alumunium menimbulkan kebisingan jika digunakan didalam kapal dan juga mudah penyok jika terkena benturan.

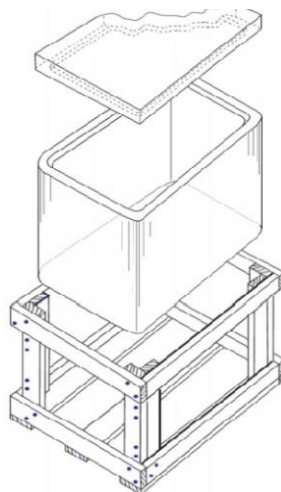
Wadah yang berbahan dasar alumunium atau plastik bisa dipakai selama 6-10 tahun, sedangkan wadah dari bahan kayu hanya berkisar 2 tahun. Kerusakan yang biasanya terjadi akibat peletakan pada ruang muat kapal. Proses bongkar muat juga dapat mempengaruhi masa pakai wadah penyimpanan ikan karena penggunaan kren, kait, atau penumpukan-penumpukan wadah. Berikut ini adalah beberapa karakteristik material penyusun dari wadah penyimpanan ikan

Tabel 2.5 Material penyusunan ikan (Shawyer & Medina Pizzali, 2003)

Tipe Material	Densitas (Kg/m ³)	Konduktivitas thermal (W/m.Jam.°C)	Kekuatan material (kg/mm ²)	
			<i>Tensile strength</i>	<i>Bending strenght</i>
Kayu Lunak	350–740	0.11–0.16	5–8	8–12
Kayu Keras	370– 1,100	0.11–0.255	8–14	10–15
<i>Plywood</i>	530	0.14	3.5–9.3	variable
<i>Alumunium Alloy</i>	2740	221	20–30	30–40
<i>Mild Steel</i>	7800	45.3	24–43	20–28
<i>Fiberglass Reinforeced Plastic</i>	64–144	0.036	20–50	30–100
<i>High Density polytilene (HDPE)</i>	960	0.5	5–10	13–15
Eel Grass diantara kertas kaku	73.6	0.036	-	-
Eel grass dalam serat goni	215	0.049	-	-
Serat rami atau goni	107	0.036	-	-
Lembar <i>polyethylene</i> , 2 lapis karung goni (rami), kain, lembar <i>polyethylene</i> (tdk dikompresi)	500	0.054	-	-

Tipe Material	Densitas (Kg/m ³)	Konduktivitas thermal (W/m.Jam.°C)	Kekuatan material (kg/mm ²)	
			<i>Tensile strength</i>	<i>Bending strenght</i>
Lembar <i>polyethylene</i> , 4 lapis karung goni (rami), kain, lembar <i>polyethylene</i> (tdk dikompresi)	580	0.046	-	-
Insulasi serat tebu (tdk dikompresi)	216	0.048	-	-

Dewasa ini penggunaan *expanded polystyrene* atau *styrofoam* sebagai material alternatif untuk wadah penyimpanan ikan telah banyak digunakan di negara Philipina. Umumnya *styrofoam* yang digunakan berkapasitas 30-40 kg. wadah dari *styrofoam* ini banya digunakan untuk nelayan dengan perahu atau kapal dengan kapasitas yang kecil sebagai sarana distribusi dan pemasaran. Untuk mempermudah penanganan dan memperkuat wadah, digunakan kayu atau besi galvanis sebagai rangka di bagian luar (Shawyer & Medina Pizzali, 2003).



Gambar 2.5 Wadah Ikan *styrofoam* dengan rangka kayu

Yusuf et al pada tahun 2013 melakukan penelitian tentang performa wadah penyimpanan ikan dengan beberapa material isolasi yang berbeda. Bahan isolasi yang digunakan berasal dari kayu, fiber, dan *styrofoam*. Hasil penelitian tersebut menghasilkan bahwa wadah penyimpanan ikan yang menggunakan material *styrofoam* yang dengan rangka kayu memiliki penurunan temperatur yang lebih rendah dibandingkan material kayu dan fiber. Akhirnya wadah penyimpanan ikan dengan bahan dasar *styrofoam* dan rangka kayu dipilih sebagai wadah penyimpanan ikan karena kemampuan isolasinya yang cukup baik dan dari sisi ekonomi yang cukup murah (Yusuf et al., 2013).

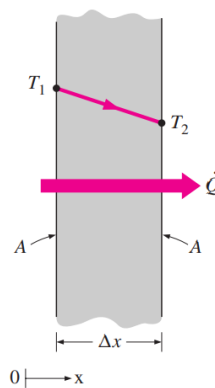
E. Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan pada wadah penyimpanan ikan sangat penting untuk diketahui untuk mengetahui jumlah dan jenis media pendingin yang digunakan untuk pendinginan ikan, serta kapasitas ikan yang mampu ditampung sehingga mampu menghambat penurunan kualitas dan mutu pada ikan. Faktor utama yang menjadi perhatian dalam pemilihan media pendingin adalah perpindahan panas yang terjadi dari lingkungan ke dalam wadah penyimpanan dan juga panas yang berasal dari beban produk ikan. Berdasarkan hukum termodinamika, panas mengalir dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah melalui 3 mekanisme yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Namun dalam perpindahan panas yang terjadi pada wadah penyimpanan ikan umumnya hanya konduksi.

Konduksi adalah transfer energi dari partikel yang lebih energik dari suatu zat ke yang berdekatan dan memiliki partikel yang kurang energik sebagai hasil dari interaksi antar partikel. Konduksi dapat terjadi pada benda dengan fasa padat, cair, atau gas. Dalam fasa gas dan cairan, konduksi terjadi karena tumbukan dan difusi molekul selama gerakan acaknya. Dalam padatan, ini disebabkan oleh kombinasi getaran molekul dalam kisi dan transpor energi oleh elektron bebas. Minuman kaleng dingin di ruangan yang hangat, misalnya,

akhirnya menghangat hingga mencapai suhu ruangan sebagai akibat perpindahan panas dari ruangan ke minuman melalui kaleng aluminium secara konduksi.

Laju perpindahan panas konduksi melalui medium bergantung pada geometri medium, ketebalannya, dan material medium, serta perbedaan suhu di seluruh medium. Kita tahu bahwa membungkus tangki air panas dengan wol kaca (bahan isolasi) mengurangi laju kehilangan panas dari tangki. Semakin tebal isolasi, semakin kecil kehilangan panasnya. Kita juga tahu bahwa tangki air panas akan kehilangan panas pada tingkat yang lebih tinggi ketika suhu ruangan yang menampung tangki diturunkan. Selanjutnya, semakin besar tangki, semakin besar luas permukaan dan dengan demikian laju kehilangan panas.



Gambar 2.6 Konduksi

laju perpindahan panas konduksi melalui lapisan bidang sebanding dengan perbedaan suhu di seluruh lapisan dan luas perpindahan panas, tetapi berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan.

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

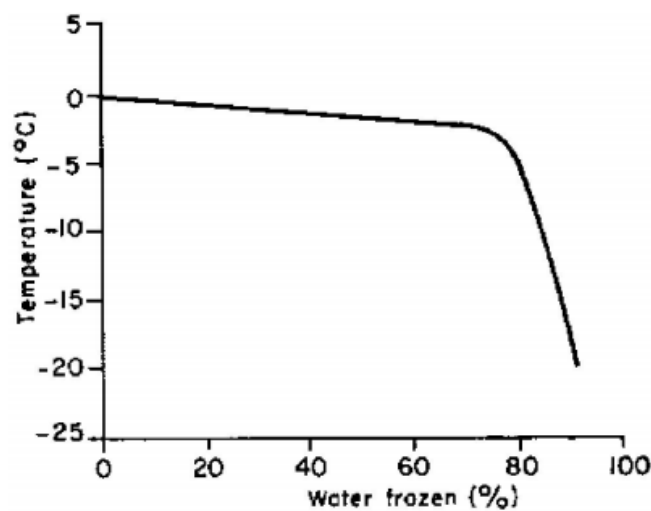
Sumber panas yang berasal dari dalam dan luar dari sistem pendingin harus dikeluarkan atau diserap untuk memenuhi kapasitas pendinginan disebut dengan beban pendingin. Beban-beban tersebut dibedakan menjadi beban produk, beban infiltrasi, dan beban transmisi.

1. Beban Produk

Beban produk merupakan panas spesifik yang harus dibuang untuk menurunkan temperatur ikan hingga temperatur penyimpanan. Panas dilepaskan oleh ikan ke ruangan wadah penyimpanan hingga terjadi temperatur yang setimbang. Beban produk dapat dihitung dengan (Engineers, 2010)

$$Q_f = m_f c_p (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Pada ikan, panas spesifik dan panas laten ikan sangat dipengaruhi oleh kandungan air pada tubuh ikan. Secara umum, ikan berlemak rendah (*Lean fish*) memiliki kandungan 80% air dan memiliki panas spesifik sebesar 0.9 kkal/kg°C. Pada temperatur -1°C ikan akan mulai membeku (Myers, 1981). Berikut ini adalah grafik fraksi air pada tubuh ikan dan temperatur pendinginan ikan.



Gambar 2.7 Hubungan fraksi air terhadap temperatur pendinginan ikan
(Graham dkk, 1992)

Panas spesifik (c) adalah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 kg massa sebesar 1°C. Proses pembekuan dan pendinginan pada ikan akan terjadi jika seluruh panas yang berada pada tubuh ikan dapat dihilangkan. Perhitungan panas spesifik ikan diatas titik beku (C_{p1})

dan panas spesifik ikan dibawah titik beku (C_{p2}) dapat dihitung menggunakan formula Siebel (1982) dalam (Hall, 1997)

$$C_{p1} = 0.837 + 3.349 X_w \dots\dots\dots(2.3)$$

$$C_{p2} = 0.837 + 3.349 X_w \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Beban Transmisi

Beban transmisi adalah beban yang timbul karena adanya perpindahan panas dari lingkungan menuju sistem atau ruang wadah penyimpanan. Perpindahan panas ini terjadi karena adanya perbedaan temperatur lingkungan yang lebih tinggi dengan temperatur sistem yang lebih rendah. Dalam perhitungan perpindahan panas akibat beban transmisi ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu jenis material, luas permukaan dan perbedaan suhu. Beban transmisi dapat dihitung dengan persamaan (Engineers, 2010)

$$Q_{trans} = U A \Delta T \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dapat dihitung menggunakan persamaan (Holman, 1898)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{k_i} + \frac{1}{h_1}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Selain menggunakan persamaan tersebut, koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari Boeri et al. (1985) dalam (Hall,1997)

$$U = \frac{L (M_{i0} - M_i)}{A (t_s - t_i) t} \dots\dots\dots(2.7)$$

3. Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi adalah beban yang diakibatkan perpindahan panas dari udara luar yang masuk kedalam wadah penyimpanan ketika wadah penyimpanan dibuka, udara yang masuk ini berpengaruh terhadap temperatur sistem dan juga kelembapan udara. Panas dan kelembapan udara yang masuk ini mempengaruhi temperatur penyimpanan pada sistem sehingga temperatur sistem naik (Ilyas, 1983 dalam Saputra, 2017). Besarnya beban infiltrasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{inf} = 60 \cdot V \cdot A \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_r \dots\dots\dots(2.8)$$

Decimal Portion (Dt) dari waktu pintu terbuka adalah

$$D_t = \left[\frac{p\theta_p + 60\theta_0}{3600 \theta_d} \right] \dots\dots\dots(2.9)$$

F. Kemampuan Media Pendingin

Pendinginan ikan yang paling umum digunakan adalah es. Es biasa digunakan karena kemampuannya dalam mendinginkan ikan yang cukup baik, selain itu penggunaan es juga sangat simpel, mudah didapatkan, mudah diproduksi, dan relatif lebih ekonomis dibandingkan dengan media pendingin yang lainnya. Es dapat menyerap panas sebesar 80 kkal hingga mencapai suhu titik leleh es yaitu 0°C. Menurut persamaan dari FAO tahun 1992, jumlah es yang dibutuhkan untuk mendinginkan suatu beban dapat dihitung dengan (Hall, 1997)

$$m_i = \frac{c_{p1} t_1}{L} m_f \dots\dots\dots(2.10)$$

Media pendingin mampu menyerap panas melalui dua metode penyerapan panas yaitu panas sensibel dan panas laten. Panas sensibel ($Q_{sensibel}$) adalah panas yang diserap atau dilepas untuk menaikkan atau menurunkan temperatur media pendingin tanpa adanya perubahan wujud. Sedangkan panas laten (Q_{laten}) adalah panas yang digunakan untuk merubah wujud media pendingin. Sehingga pada panas laten, tidak terjadi kenaikan atau penurunan temperatur pada media pendingin (Temperatur mendekati konstan).

$$Q_{sensibel} = m c_{p1} (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (2.11)$$

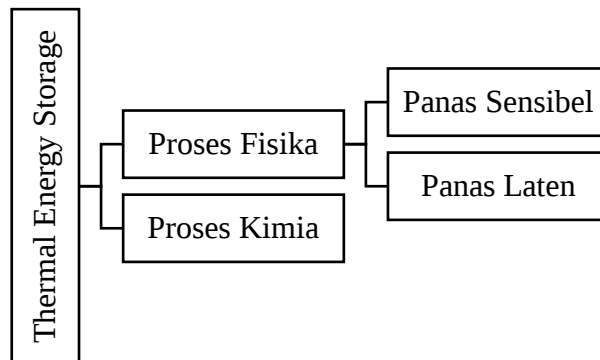
$$Q_{laten} = m.L \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan demikian, Jumlah panas yang mampu diserap media pendingin melalui panas sensibel dan panas laten adalah sebagai berikut

$$Q_r = Q_{laten} + Q_{sensibel} \dots \dots \dots (2.13)$$

G. Thermal Energy Storage

Thermal Energy Storage (TES) atau biasa disebut dengan *heat and cold storage*, merupakan teknologi yang menggunakan prinsip penyimpanan energi panas dalam bentuk panas atau dingin yang dapat digunakan untuk mendinginkan atau memanaskan. Ada beberapa metode yang digunakan untuk *Thermal Energy Storage* (TES) yang bersivat reversible yaitu dengan proses fisika dan kimia seperti gambar berikut



Gambar 2.8 Metode *Thermal Energy Storage* (Mehling & Cabeza, 2008)

1. Penyimpanan panas sensibel

Prinsip yang digunakan pada penyimpanan panas sensibel adalah dari energi termal dengan perubahan temperatur dalam keadaan padat atau cair. Panas diserap atau dilepaskan melalui mekanisme radiasi, konveksi atau konduksi. Pada saat menyerap panas, temperatur zat menjadi naik dan zat menjadi

hangat. Panas yang disimpan atau diserap berupa kemampuan panas sensibel zat. Panas proses penyerapan atau pelepasan panas terjadi tanpa perubahan fasa zat (Pielichowska & Pielichowski, 2014).

2. Penyimpanan panas Laten (*Latent Heat Thermal Energy Storage*)

Prinsip penyimpanan panas laten adalah menyimpan energi panas pada panas laten suatu zat, proses pelepasan atau penyerapan panas terjadi tanpa adanya perubahan temperatur, panas yang diserap atau yang dilepaskan digunakan untuk merubah fasa zat. Energi panas yang diserap selama proses pelelehan kemudian disimpan sebagai panas laten pembentukan dan dilepaskan pada saat proses pembekuan (Berera, 2006). penyimpanan panas laten lebih efisien dalam menyimpan energi termal.

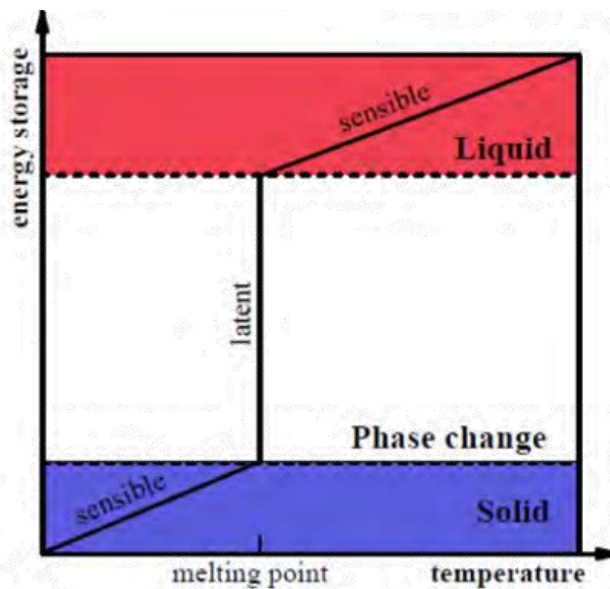
Penyimpanan panas sensibel relatif lebih murah jika dibandingkan dengan penyimpanan panas laten. Namun, secara umum material penyimpanan panas sensibel memiliki kepadatan energi yang lebih rendah (tiga atau empat kali lebih rendah jika bandingkan dengan media penyimpanan panas laten) sehingga membuat penyimpanan panas sensibel membutuhkan volume yang lebih besar (Yanshan et al., 2014). Penyimpanan panas laten (LHTES) memiliki kepadatan penyimpanan yang besar dan perubahan temperatur yang relatif kecil pada saat penyerapan atau pelepasan energi panas jika dibandingkan dengan penyimpanan panas sensibel (Paris et al., 1993). Namun LHTES memiliki kelemahan ketika metode panas laten diterapkan. Hal ini dikarenakan konduktivitas bahan penyimpan panas laten yang rendah, perubahan dalam kepadatan, stabilitas sifat termal dan *supercooling*.

H. Material Penyimpanan Panas Laten

Phase Change Material (PCM) adalah material yang digunakan untuk penyimpanan panas laten. Panas laten adalah panas yang digunakan untuk merubah fasa suatu zat. Perubahan fasa adalah reaksi endotermik yaitu proses menyerap atau melepas panas yang dilakukan oleh suatu zat. Setelah

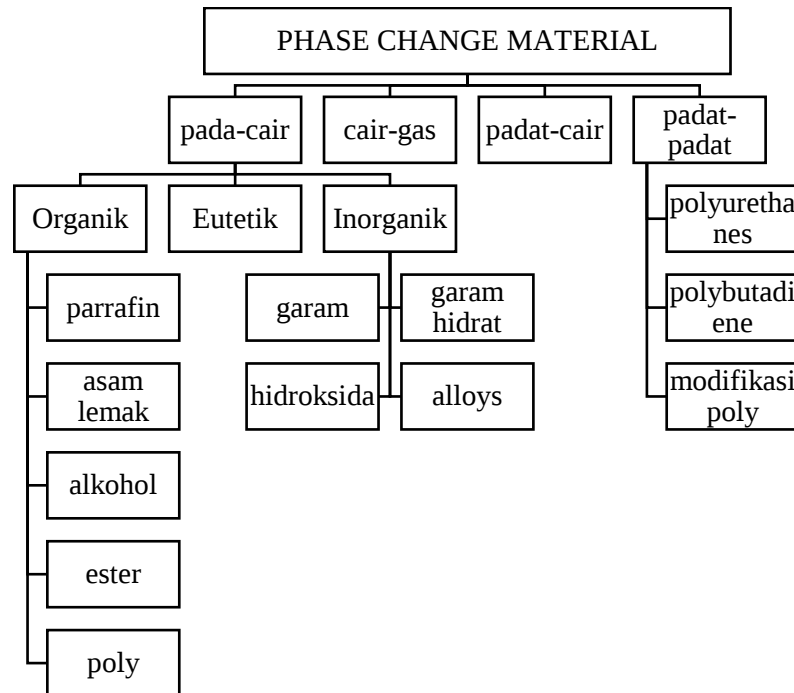
terjadinya proses penyerapan atau pelepasan panas, kemudian zat akan berubah fasa ketika suhu perubahan fasa tercapai. Selanjutnya suhu akan tetap konstan selama terjadinya perubahan fasa akibat panas yang diserap atau dilepaskan digunakan untuk merubah fasa zat tersebut.

Berdasarkan gambar 2.9, energi panas sensibel melakukan penyerapan dan pelepasan energi panas yang menyebabkan perubahan temperatur. Sedangkan pada penyimpanan panas laten, material menyerap atau melepas panas terjadi pada temperatur konstan (Mehling & Cabeza, 2008).



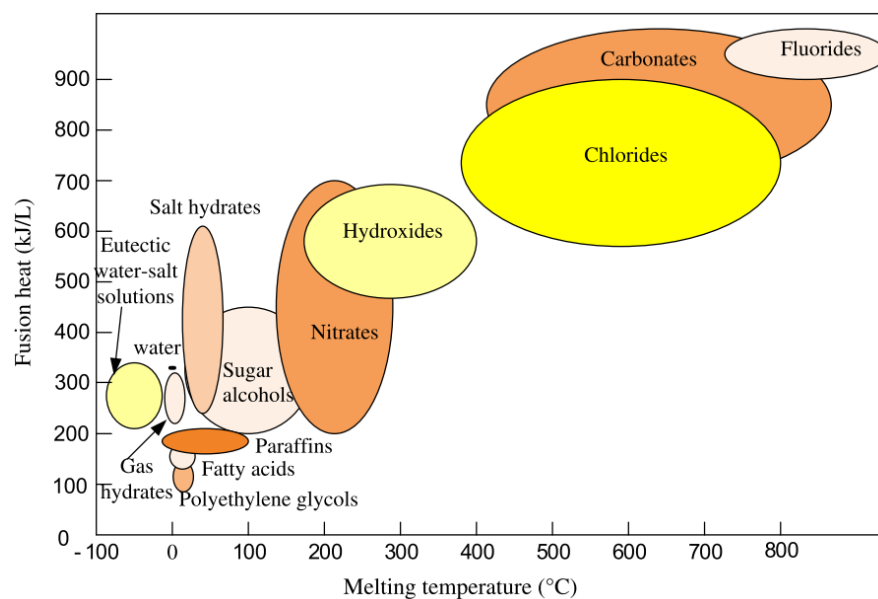
Gambar 2.9 Prinsip penyimpanan panas laten (Gao dkk, 2013)

Phase Change Material (PCM) merupakan bahan umum yang digunakan untuk penyimpanan panas laten (LHTES). Umumnya, PCM dibagi menjadi tiga kategori yaitu PCM organik, anorganik dan eutektik. Secara komprehensif, Abhat pada tahun 1993 memberikan klasifikasi PCM seperti yang ditunjukkan gambar berikut



Gambar 2.10 Klasifikasi *Phase Change Material*

Setiap klasifikasi PCM memiliki temperatur leleh dan entalpi leleh yang berbeda. Untuk pemilihan bahan PCM dipilih temperatur yang sesuai dengan aplikasi yang diperlukan. Klasifikasi material PCM beserta tipe temperatur leleh dan entalpi leleh ditampilkan dalam gambar berikut



Gambar 2.11 Jenis-jenis PCM beserta tipe temperatur dan entalpi lebur (Mehling & Cabeza, 2008)

I. Kriteria Pemilihan Bahan PCM

Kriteria utama dalam pemilihan bahan PCM adalah harus memiliki titik leleh/titik beku sesuai dengan temperatur aplikasi dan harus memiliki panas laten dan konduktivitas termal yang tinggi. Selain itu, seperti yang telah disarankan oleh banyak penulis, bahan PCM yang akan digunakan untuk penyimpanan panas laten (LHTES) pasif harus memiliki sifat termofisik, kinetik, kimia, dan sifat ekonomis, serta lingkungan yang diinginkan. (Tyagi & Buddhi, 2007), (Kenisarin & Mahkamov, 2007), (Sharma et al., 2009), (Agyenim & Hewitt, 2010), (Baetens et al., 2010), (Cabeza et al., 2011), (Osterman et al., 2012), (Zhou et al., 2012)).

1. Sifat Termofisik

Berikut ini adalah beberapa sifat termofisik yang dibutuhkan untuk PCM sebagai bahan penyimpan panas laten

- a. Suhu perubahan fasa yang sesuai dengan suhu aplikasi penyimpanan yang diinginkan
- b. Konduktivitas panas yang tinggi sehingga mampu memindahkan panas dengan baik
- c. Panas laten transisi yang tinggi per satuan massa
- d. Panas spesifik dan kepadatan yang tinggi
- e. Mencair kongruen/sebangun dan memiliki kesetabilan termal dalam jangka panjang
- f. Fase keseimbangan yang menguntungkan dan tidak ada segresi/pemisahan
- g. Perubahan volume yang kecil pada saat perubahan fasa
- h. Pada suhu operasi memiliki tekanan uap yang rendah

2. Sifat Kinetik

Berikut ini adalah beberapa sifat kinetik yang dibutuhkan untuk PCM

- a. Laju pembentukan nukleus yang tinggi dan sedikit atau tidak adanya *supercooling*
- b. Laju kristalisasi yang tinggi

3. Sifat kimia

Berikut ini adalah beberapa sifat kimia yang dibutuhkan untuk PCM sebagai bahan penyimpan panas laten

- a. Memiliki siklus yang reversibel (perubahan fasa terjadi secara sempurna)
- b. Memiliki proses kimia yang stabil dalam jangka panjang
- c. Tidak bersifat korosif dan cocok dengan bahan konstruksi
- d. Tidak beracun, tidak mudah terbakar, dan tidak mudah meledak

4. Sifat Ekonomi

Berikut ini adalah beberapa sifat yang dibutuhkan untuk PCM sebagai bahan penyimpan panas laten

- a. Berlimpah, mudah didapatkan, dan tersedia dalam jumlah besar
- b. Biaya bahan atau biaya produksi yang murah

5. Sifat Lingkungan

Berikut ini adalah beberapa sifat lingkungan yang dibutuhkan untuk PCM sebagai bahan penyimpan panas laten

- a. Ramah dan tidak mencemari lingkungan
- b. Memiliki potensi daur ulang
- c. Memiliki kerugian energi yang rendah

J. PCM Untuk Temperatur Rendah

Penggunaan PCM untuk temperatur rendah telah banyak diteliti dalam berbagai penelitian, cukup banyak jenis PCM yang dapat digunakan untuk aplikasi temperatur rendah. Seperti yang ditunjukkan pada tabel, menunjukkan bahwa berbagai zat, eutektik dan campuran (larutan anorganik, organik, asam lemak, serta larutan garam dan air). Sifat termofisika seperti suhu leleh, panas leleh, konduktivitas dan kepadatan termal dari berbagai jenis PCM untuk aplikasi rendah ditampilkan pada tabel berikut (Oró et al., 2012):

Tabel 2.6 Sifat termofisik material untuk aplikasi dingin

Composition	Type	Melting temperature (°C)
24.8 wt.% HCl	Eutectic water-salt solution	-86
24 wt.% LiCl	Eutectic water-salt solution	-67
30.5 wt.% CaCl ₂	Eutectic water-salt solution	-49.5
21.01wt.% MgCl ₂	Eutectic water-salt solution	-33.5
Al(NO ₃) ₃ (30.5 wt.%) + H ₂ O	Eutectic water-salt solution	-30.6
27.9wt% Li ₂ SO ₄	Eutectic water-salt solution	-23
NaCl (22.4 wt.%) + H ₂ O	Eutectic water-salt solution	-21.2
23.3 wt.% NaCl	Eutectic water-salt solution	-21.2
0.8 wt.% NaCl	Eutectic water-salt solution	-
4.3 wt.% NaCl	Eutectic water-salt solution	-
8.4 wt.% NaCl	Eutectic water-salt solution	-
26.3 wt.% NaCl	Eutectic water-salt solution	-
19.7 wt.% KCl	Eutectic water-salt solution	-10.6
Diethylene glycol	Eutectic	-10
6 wt.% KCl + H ₂ O	Inorganic	-10
Dodecane	Organic	-9.6
22.1 wt.% BaCl ₂	Eutectic water-salt solution	-7.7
Triethylene glycol	Organic	-7
16.5 wt.% KHCO ₃ + H ₂ O	Inorganic	-6
18.63 wt.% MgSO ₄	Eutectic water-salt solution	-4.8
Tetradecane + octadecane	Eutectic Organic	-4.02
20.5 wt.% NaCO ₃ + H ₂ O	Inorganic	-3
6.49 wt.% K ₂ SO ₄	Eutectic water-salt solution	-1.55
4.03 wt.% Na ₂ SO ₄	Eutectic water-salt solution	-1.2
H ₂ O		0

PCM yang paling banyak dipelajari pada suhu rendah adalah air karena alasan yang jelas, air itu murah, memiliki sifat termal terbaik, dan juga memberikan stabilitas jangka panjang yang baik. Air sudah banyak digunakan dan tersedia secara komersial. Namun, untuk aplikasi lain pada suhu kerja yang lebih rendah, seperti konservasi dan transportasi produk beku atau transportasi medis tingkat lanjut, misalnya jaringan, suhu leleh air

tidak sesuai. Sebagian besar PCM yang dianalisis oleh para peneliti dan perusahaan komersial dengan suhu leleh di bawah 0 °C adalah larutan garam air eutektik, dan di atas 0 °C adalah PCM organik. Larutan garam eutektik baik dalam hal sifat termofisik, seperti entalpi perubahan fasa (karena air adalah komponen utama) dan harganya murah, namun karena penggabungan campuran dengan garam, mereka secara kimiawi tidak stabil dan mungkin korosif. Di sisi lain, kebanyakan PCM organik tidak korosif dan stabil secara kimiawi, namun memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah, panas laten yang lebih rendah, perubahan volume yang lebih besar antara fase padat dan cair, dan harganya relatif mahal.

K. Larutan Eutektik Garam-H₂O

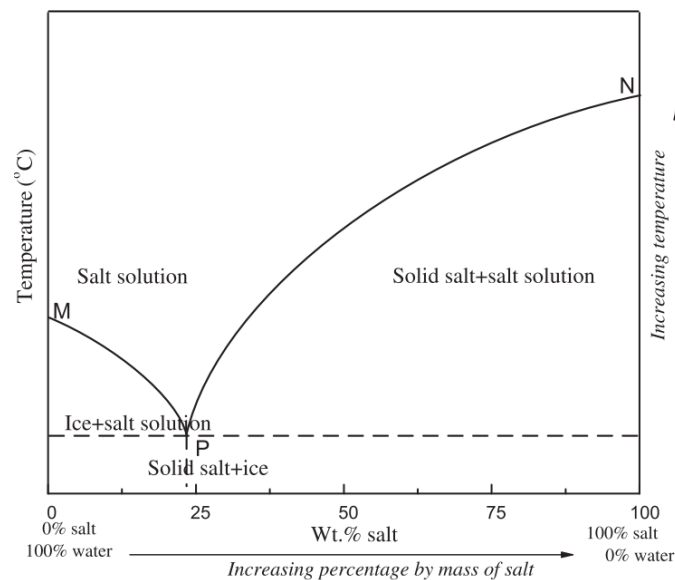
Larutan eutektik adalah campuran dua atau lebih zat yang meleleh secara bersama pada suhu yang sama. Suhu leleh terendah yang mampu dicapai larutan eutektik adalah titik eutektik atau suhu eutektik. Larutan eutektik Garam-H₂O sering digunakan sebagai PCM karena memiliki panas laten yang besar dan temperatur perubahan fasa dengan rentang yang baik. Larutan eutektik Garam-H₂O yang banyak digunakan adalah larutan NaCl dan air serta larutan KCl dan air yang memiliki sifat termal dengan perbedaan temperatur antara -10.80°C hingga -3.87°C seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.7

Berdasarkan tabel 2.7, pada umumnya titik beku air akan menurun ketika ditambahkan garam. Semakin banyak garam ditambahkan kedalam air maka titik beku air akan semakin menurun, tetapi eutektik air dan garam tidak dapat terbentuk dari larutan murni atau bentuk padat. Pada diagram fasa larutan Garam-H₂O eutektik pada gambar, titik beku air berada pada 0°C ketika komposisi 100% air. Dengan penambahan beberapa gram garam, maka titik beku larutan eutektik air-garam akan menurun. Penurunan titik beku larutan paling maksimal dapat dicapai ketika campuran kedua zat

mencapai titik eutektik. Setelah mencapai titik eutektik, penambahan garam menyebabkan temperatur larutan menjadi naik dan garam *anhydrous* tumbuh keluar pembekuan

Tabel 2.7 Titik beku larutan air-garam NaCl atau KCl (Kumano et al., 2009)

Solutions	Subcooling (°C)	Freezing temperature (°C)
5% NaCl	3.87	-3.87/-4.27
10% NaCl	6.28	-7.60/-7.70
15% NaCl	5.30	-15.19/-15.29
20% NaCl	2.79	-18.22/-17.92
21% NaCl	2.20	-18.46/-18.36
22% NaCl	1.60	-21.95/-21.85
23% NaCl	0.20	-20.89/-21.39
24% NaCl	0.30	-20.19/-19.79
5% KCl	1.59	-3.38/-3.58
10% KCl	7.48	-6.60/-7.10
15% KCl	4.40	-12.80/-13.20
20% KCl	5.59	-12.93/-13.13
21% KCl	4.80	-10.35/-10.65
22% KCl	6.90	-10.45/-11.25
23% KCl	7.48	-12.12/-12.82
24% KCl	5.10	-10.80/-11.10



Gambar 2.12 Diagram fasa larutan Garam-H₂O (Li et al., 2013)

Dalam merancang sistem penyimpanan energi panas, sangat penting untuk mengetahui sifat termal dari bahan. Cara yang biasa digunakan untuk

mengetahui sifat termal dari suatu bahan biasanya diukur menggunakan pemindaian kalometrik diferensial (DSC). DSC memberikan hasil yang cepat dan andal dalam bentuk diagram Energi-Waktu (Termogram) menggunakan sampel dalam jumlah yang sangat kecil (kira-kira 1-10mg). Evaluasi termogram menghasilkan nilai yang agak tepat dari suhu transisi fase selama peleburan dan pembekuan sampel, panas peleburan dan pemadatan dan variasi panas spesifik sebagai fungsi suhu. Namun, DSC merupakan pengujian berat untuk zat yang superdingin, karena kecenderungan pendinginan super dimaksimalkan karena jumlah sampel yang kecil dan kondisi nukleasi yang buruk dalam panci pengujian DSC. Akibatnya, untuk bahan seperti hidrat garam, DSC gagal memberikan informasi yang berarti tentang tingkat pendinginan dan titik beku zat. (Abhat, 1983).

Teknik lainnya adalah *Thermal Analysis* (TA) atau *T-History* yang melibatkan penentuan diagram Temperatur-Waktu (T-t), atau kurva Pemanasan dan Pendinginan, yang direkam selama peleburan dan pembekuan sampel. Teknik TA menggunakan sekitar 10 g hingga beberapa kilogram sampel, tergantung pada peralatan yang digunakan, dan karenanya proses menjadi lebih lambat. Dengan perawatan yang tepat, laju pemanasan dan pendinginan dapat dikontrol dengan baik dan hasil yang relatif akurat dapat diperoleh. Jika pengujian dilakukan dalam wadah kaca, pengujian tersebut mengalami kerugian yaitu tidak adanya permukaan logam yang umumnya membentuk permukaan pertukaran panas di dalam penyimpanan panas laten, atau cara lain yang digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas dalam penyimpanan panas laten.

Namun, metode TA hanya mampu mengetahui karakteristik termal dari pembekuan dan pelelehan bahan, sedangkan DSC mampu mengetahui karakteristik bahan seperti panas laten fusi. Kumano et al., 2009 mengemukakan metode lain dalam mengukur kalor laten dari larutan air yang mengemukakan bahwa panas laten peleburan larutan air dapat dihitung

dengan mempertimbangkan efek dari penurunan titik beku larutan dan panas pengenceran dalam setiap larutan air. Ketika semua es mencair dalam campuran larutan. Panas laten peleburan efektif dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$L_e = L_{ice} - \Delta H - \frac{\Delta Q \cdot X_{fin}}{P_{ini}} \dots \dots \dots (2.14)$$

X_{fin} adalah konsentrasi awal larutan air, dan P_{ini} adalah IPF awal yang merupakan fraksi masa es dalam larutan. Suku pertama di ruas kanan persamaan merupakan panas laten es, suku kedua menyatakan kalor karena penurunan titik beku dan suku ketiga menyatakan panas karena efek pengenceran dalam larutan.

Karena suku kedua dari persamaan ini menyatakan penurunan entalpi karena penurunan titik beku, ΔH dapat dihitung menggunakan kalor jenis air dan es

$$\Delta H = \int_{T_e}^0 (c_w - c_i) dt \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana;

$$c_i = 2117 + 7,8T \dots \dots \dots (2.16)$$

$$c_w = 4217 + 5,43T + 1,48T^2 + 0,0649T^3 + 0,00154T^4 \dots \dots (2.17)$$

Disini, jika zat terlarut dapat diidentifikasi, hubungan antara temperatur kesetimbangan fasa dan konsentrasi larutan dapat diperhitungkan. Dengan demikian, penurunan entalpi dapat dihitung sebagai fungsi dari konsentrasi larutan air.

Panas yang dihasilkan oleh variasi konsentrasi larutan air, yang dinyatakan sebagai suku ketiga di sisi kanan persamaan 2.14, sekarang dipertimbangkan. Ketika panas yang dihasilkan dari pencampuran zat terlarut dan air dinyatakan sebagai fungsi konsentrasi setelah pencampuran, $f(x)$, panas yang dihasilkan oleh variasi konsentrasi karena pelelehan dapat

dinyatakan menggunakan P_{ini} dan X_{ini} . Ketika variasi P_{ini} sangat kecil, ΔP didefinisikan sebagai variasi IPF. Panas yang dihasilkan dari variasi konsentrasi, Q_{dil} , dapat dinyatakan sebagai

$$Q_{dil} = \frac{x^2}{100} f'(x) \dots \dots \dots (2.18)$$

x adalah konsentrasi larutan berair. Konsentrasi larutan dianggap tidak berubah sebelum dan sesudah es mencair, karena variasi IPF sangat kecil. Oleh karena itu, panas yang dihasilkan dari pencairan es dapat dihitung dari konsentrasi dan koefisien diferensial fungsi panas yang dihasilkan oleh pencampuran. Artinya, panas yang dihasilkan dari pencairan es tidak bergantung pada IPF awal dan dapat ditentukan hanya dengan menggunakan konsentrasi larutan berair.

Seperti yang telah dijelaskan, hubungan antara konsentrasi larutan berair dan suhu kesetimbangan fase, dan panas pengenceran, yang dihasilkan dari variasi konsentrasi, perlu diketahui untuk mendapatkan panas laten peleburan es dalam larutan berair. Dalam penelitiannya Kumano et al., 2009 telah memperhitungkan panas laten fusi dari beberapa larutan air salah satunya adalah larutan NaCl dengan berbagai perhitungan sebagai berikut

Hubungan antara suhu kesetimbangan fasa dan konsentrasi untuk larutan NaCl didekati dengan menggunakan metode kuadrat terkecil

$$T_e = 0,599x + 0,000118x^2 - 0,000568x^3 \dots \dots \dots (2.19)$$

Penurunan entalpi akibat penurunan titik beku dapat dihitung dengan mensubstitusi persamaan berikut:

$$Q_d = 1,081 \cdot 10^4 - 2,34 \cdot 10^3 x + 20,9x^2 \dots \dots \dots (2.20)$$

Sedangkan panas laten untuk kisaran berat $0 < \text{wt}\% < 35\%$ larutan NaCl dapat dihitung secara numerik sebagai berikut

$$L = 3,335 \cdot 10^5 - 1,28 \cdot 10^3 x + 29,1x^2 - 2,04x^3 \dots \dots \dots (2.21)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2021 hingga bulan Mei 2021 dan dilaksanakan di Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu, Lampung

B. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan penelitian. Tahapan penelitian tersebut antara lain:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam penelitian tugas akhir. Identifikasi dilakukan terhadap masalah-masalah yang ada di lingkungan serta melalui beberapa sumber-sumber informasi yang tersedia. Pada tahapan ini, dilakukan penentuan masalah yang layak dan penting untuk diangkat dalam penelitian tugas akhir. Tujuan serta manfaat yang akan diperoleh dari penelitian juga dijabarkan pada tahapan identifikasi masalah.

2. Studi Literatur

Pada tahapan studi literatur dilakukan dengan membaca literatur dari berbagai sumber guna meningkatkan pemahaman mengenai masalah yang diangkat dalam penelitian tugas akhir ini. Tinjauan-tinjauan serta teori yang mendukung dalam penyelesaian masalah yang diambil dalam penelitian, dipahami serta dikaji hingga mendapatkan landasan yang kuat dalam penyelesaian masalah yang dipilih. Studi literatur dilakukan melalui beberapa sumber seperti buku teks, jurnal ilmiah, statistik dan data, serta berita dan artikel di media.

3. Persiapan alat dan bahan

Pada tahapan ini ditentukan jenis bahan pendingin yang akan digunakan dalam penelitian yang mengacu kepada beberapa sumber literasi yang telah dipelajari. Untuk alat penelitian yang dimaksud adalah wadah insulasi yang digunakan dalam eksperimen. Desain wadah insulasi untuk penyimpanan ikan dipilih dari desain-desain yang telah dipelajari dalam literatur, sehingga diharapkan pemilihan alat dan bahan penelitian dapat menghasilkan bahan pendingin dan desain wadah insulasi ikan yang cukup optimal.

4. Pengujian

Pada tahapan pengujian, dilakukan pengumpulan data dari penelitian ini. Pengujian yang pertama dilakukan pada bahan PCM sguna mengetahui karakteristik campuran PCM yang akan digunakan sebagai media pendingin dalam penyimpanan ikan. Pengujian selanjutnya adalah pengujian peforma media pendingin berupa PCM yang digunakan untuk menurunkan temperatur wadah berinsulasi dengan beberapa variabel yang telah ditentukan.

5. Analisi data

Data-data yang dihasilkan dalam tahapan pengujian kemudian dilakukanan analisis data guna mengetahui hasil penelitian dengan hipotesis, mengetahui efektifitas penggunaan media pendingin, membandingkan dengan data penelitian sebelumnya dengan tren pendinginan yang didapatkan. Setelah pengkajian dan analisis data ini maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan atas hasil penelitian tersebut terhadap permasalahan yang telah menjadi topik penelitian.

6. Penulisan laporan

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penulisan laporan tugas akhir berupa karya ilmiah tentang penelitian yang dilakukan

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini untuk uji *T-History*, uji *cold storage*, dan uji organoleptik adalah sebagai berikut

a. Gelas Beker 1000 ml

Gelas beker adalah sebuah gelas yang berbentuk silinder yang digunakan untuk mencampur, mengaduk, dan memanaskan cairan. Gelas ini digunakan untuk menyampurkan serbuk garam dengan H_2O . gelas ini juga digunakan untuk menyampur pada magnetic stirrer

b. Gelas ukur 10 ml

Gelas ukur adalah gelas berbentuk silinder yang memiliki skala pengukuran. Gelas ini berfungsi untuk mengukur volume cairan. Gelas ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur dengan merk IWAKI kelas A temperatur pemanasan sampai $20^{\circ}C$, digunakan untuk mengukur larutan yang akan dituangkan ke wadah untuk pengujian

c. Pipet

Pipet atau alat penetes cairan kimia merupakan alat laboratorium yang digunakan untuk memindahkan volume cairan dalam skala tetesan kecil. Dalam penelitian ini pipet digunakan untuk meneterskan larutan kedalam gelas ukur

d. Sendok

sendok digunakan untuk mengambil objek penelitian. Dalam penelitian ini sendok digunakan untuk mengambil serbuk untuk pengujian

e. Neraca digital

Neraca digital digunakan untuk menghitung berat garam dan air yang akan dilarutkan.

f. *Freezer*

Freezer yang digunakan adalah Sharp FRV-200. *Freezer* ini berfungsi untuk menurunkan temperatur media pendingin hingga mencapai temperatur terendah sehingga mampu menyerap energi kalor ketika digunakan untuk mendinginkan beban.

g. Wadah insulasi

Wadah insulasi yang digunakan berbahan dasar *styrofoam* dengan tambahan rangka berbahan kayu. *Styrofoam* yang digunakan berukuran (30 x 21 x 25) cm dengan ketebalan 2 cm.

h. Wadah *ice pack*

Wadah *ice pack* tersedia dalam beberapa ukuran, namun yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah wadah *ice pack* berukuran (22 x 13 x 2) cm. Wadah ini akan difungsikan untuk menyimpan media pendingin sehingga memudahkan dalam penyimpanan dan penggunaan secara berkala.

i. Termokopel

Termokopel merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur perubahan temperatur yang selanjutnya diubah menjadi perubahan tegangan listrik. Termokopel yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel PT100 untuk FWAS T/C tipe K yang digunakan untuk mengukur temperatur beban, lingkungan, ruang penyimpanan dan lain sebagainya.

j. Temperatur recorder

Temperatur recorder adalah alat yang digunakan untuk merekam temperatur secara otomatis selama jangka waktu tertentu. Temperatur recorder yang digunakan adalah temperatur recorder merk Lutron BMT-4208SD. Alat ini dilengkapi dengan 12 kabel sensor termokopel dengan kapasitas pengukuran dari -100°C hingga 1200°C dan mampu merekam temperatur pada titik yang diinginkan hingga 3600 detik.

k. Pisau

Digunakan untuk menyayat daging ikan saat uji organoleptik

l. Talenan

Talenan digunakan untuk uji organoleptik

2. Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Serbuk NaCl

Serbuk NaCl yang digunakan merupakan produk dari CRP CHEMICALS yang memiliki spesifikasi sebagai berikut

Tabel 3.1 Spesifikasi Serbuk NaCl

Spesifikasi	
Formula (Hill)	ClNa
Formula Kimia	NaCl
Densitas	2,17 g/cm ³
Massa Molar	68,44 g/mol
Nilai pH	4,5—7,0

b. Air

Air yang digunakan sebagai media pelarut garam adalah air mineral dengan spesifikasi sebagai berikut

Tabel 3.2 Spesifikasi Air

Spesifikasi	
Konduktifitas termal cair	0.613 W/m.°C
Konduktifitas termal padat	2.22 W/m.°C
Panas Spesifik	2.05 kJ/kg.°C
Panas Laten	332 kJ/kg
Kerapatan padat	1000 kg/m ³
Kerapatan cair	917 kg/m ³

c. Ikan

Ikan merupakan produk perikanan yang digunakan sebagai beban pendinginan pada penelitian ini. Ikan yang digunakan adalah ikan lele dumbo dengan komposisi sebagai berikut (Rozi, 2018):

Tabel 3.3 Komposisi Proksimat ikan lele (*Clarias sp.*)

Komposisi Proksimat	Nilai (%)
Kadar air	77,78±0,79
Kadar abu	1,35±0,45
Kadar lemak	0,95±0,14
Kadar protein	2,94±0,02
Kadar karbohidrat	16,96±0,21

D. Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian dalam penelitian ini dilakukan dalam berapa tahap yaitu

1. Preparasi larutan PCM NaCl
 - a. Menyiapkan serbuk NaCl dan letakkan di atas cawan petri
 - b. menimbang serbuk NaCl sebanyak 3 gram
 - c. memasukkan serbuk NaCl sebanyak 3 gram ke gelas beker
 - d. menyiapkan air dan masukkan kedalam gelas beker hingga berat larutan 100 gram
 - e. Mengaduk larutan menggunakan magnetic stirer pada kecepatan 300 rpm dan temperatur 15° C selama 10 menit
 - f. memasukkan larutan ke dalam wadah kemudian berikan label 3%wt NaCl
 - g. mengulangi langkah a-f untuk berat serbuk NaCl sebanyak 6% dan 9% wt NaCl
2. Uji T-*History*
 - a. Memasukkan larutan H₂O, 3%, 6%, dan 9% wt NaCl kedalam tabung reaksi sebanyak 20 ml.
 - b. Memasukkan tabung reaksi yang berisi larutan kedalam ruangan pendingin/*freezer*.
 - c. Meletakkan sensor termokopel ke larutan hingga menyentuh permukaan larutan
 - d. Menghubungkan kabel sensor termokopel ke data logger
 - e. Menghidupkan data logger kemudian mengatur perekaman temperatur setiap 5 detik
 - f. Melakukan proses perekaman temperatur
 - g. Melakukan proses pembekuan selama 3 jam
 - h. Mendapatkan data pembekuan dari masing-masing sensor
 - i. Mengolah data ke dalam bentuk kurva temperatur-waktu

3. Uji *Cold storage*

Adapun prosedur pengujian performa PCM sebagai media pendingin *cold storage* antaralain:

- a. Menyiapkan wadah insulasi sebagai media penyimpanan temperatur rendah
- b. Memasukan larutan PCM %wt NaCl ke dalam wadah *ice pack* sesuai dengan ukuran yang ditentukan
- c. Mendinginkan larutan PCM %wt NaCl menggunakan *freezer* hingga membeku sempurna
- d. Meletakkan larutan PCM %wt NaCl disetiap sisi bagian dalam wadah insulasi
- e. Memasukkan 5 kg ikan lele dumbo
- f. Meletakkan sensor termokopel pada wadah *ice pack*, ikan, dan di luar wadah insulasi
- g. Menghubungkan kabel sesnsor termokopel ke data recorder
- h. Mengatur perekaman temperatur setiap 1 menit
- i. Melakukan proses perekaman temperatur selama 25 jam

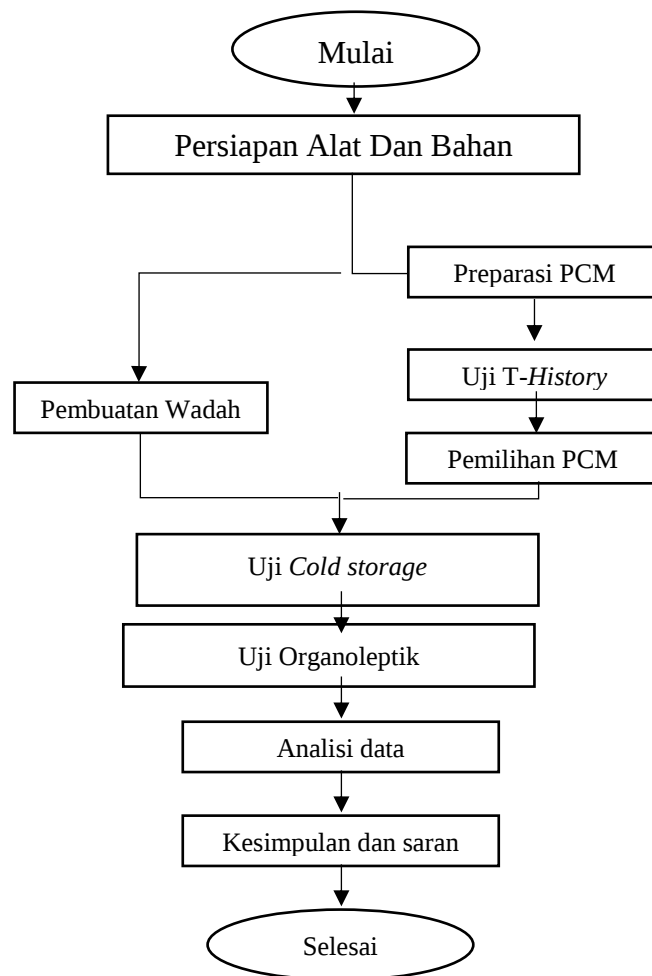
4. Uji Organoleptik

- a. Mencuci tangan dan alat yang digunakan hingga bersih dari kotoran dan bau yang menyengat.
- b. Menyiapkan lembar penilaian organoleptik ikan segar
- c. Meletakkan ikan di atas talenan
- d. Melihat kenampakan mata ikan kemudian memberikan penilaian terhadap kondisi mata ikan.
- e. Membuka bagian insang dan melihat kenampakan insang ikan kemudian memberikan penilaian terhadap kondisi insang ikan.
- f. Melihat kenampakan lendir permukaan tubuh ikan kemudian memberikan penilaian terhadap kondisi lendir permukaan tubuh ikan.
- g. Menyayat daging ikan kemudian melihat warna dan kenampakan daging ikan kemudian memberikan penilaian terhadap kondisi lendir permukaan tubuh ikan.

- h. Mencium bau ikan kemudian memberikan penilaian terhadap bau ikan.
- i. Menyentuh bagian tubuh untuk mengetahui tekstur ikan kemudian memberikan penilaian terhadap tekstur ikan.
- j. Mengulangi langkah c—i sesuai dengan jumlah ikan yang akan diuji.

E. Diagram Alur Penelitian

Adapun diagram alur penelitian ini adalah sebagai berikut



V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Larutan H₂O memiliki titik beku 0,6 °C, derajat *supercooling* 1,2 °C, massa jenis 1000 kg/m³, dan panas laten fusi 333 kJ/kg. Larutan 3%wt NaCl memiliki titik beku -1,8 °C, derajat *supercooling* 3,7 °C, massa jenis 1023 kg/m³, dan panas laten fusi 329,45 kJ/kg. Larutan 6%wt NaCl memiliki titik beku -3,7 °C, derajat *supercooling* 3,0 °C, massa jenis 1046 kg/m³, dan panas laten fusi 325,31 kJ/kg. Larutan 9%wt NaCl memiliki titik beku -5,8 °C, derajat *supercooling* 3,4 °C, massa jenis 1069 kg/m³, dan panas laten fusi 321,11 kJ/kg.
2. Penambahan persentase %wt NaCl kedalam larutan eutektik NaCl mengakibatkan penurunan titik beku, penurunan panas laten, kenaikan massa jenis dan kenaikan derajat *supercooling* larutan.
3. Penggunaan 5,6 kg larutan eutektik 9% wt NaCl sebagai media pendingin mampu menurunkan dan menjaga temperatur 5 kg ikan pada 0°C selama 24,3 jam dari temperatur awal 28,4°C dengan temperatur terendah -0,7°C.
4. Hasil organoleptik ikan yang disimpan menggunakan *cold storage* selama 25 jam menunjukkan nilai organoleptik 8 dengan tingkat kepercayaan 95%. Nilai ini menunjukkan bahwa ikan dalam kondisi segar dan bisa mendapatkan Sertifikasi Mutu Ekspor (SME).

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Pengujian *T-History* direkomendasikan menggunakan alat yang mampu mendinginkan dengan temperatur yang konstan.
2. Pengujian *cold storage* disarankan menggunakan lebih banyak sensor yang diteltakan pada media pendingin dan produk.
3. Dalam uji organoleptik disarankan penggunaan panelis standar yang memiliki kemampuan dan kepekaan tinggi terhadap spesifikasi mutu produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhat, A. (1983). Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials. *Solar Energy*, 30(4), 313–332. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(83\)90186-X](https://doi.org/10.1016/0038-092X(83)90186-X)
- Agnas Setiawan. (2018). *Perbandingan Luas Perairan dan Daratan Indonesia - Guru Geografi*. www.gurugeografi.id.
- Agyenim, F., & Hewitt, N. (2010). The development of a finned phase change material (PCM) storage system to take advantage of off-peak electricity tariff for improvement in cost of heat pump operation. *Energy and Buildings*, 42(9), 1552–1560. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.027>
- Anam, C. (2020). *Analisis Pengaplikasian PCM sebagai Media Pengkondisian Temperatur Ikan Emas Segar Pada Cold storage*.
- Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2010). Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 42(9), 1361–1368. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.026>
- Berera, G. P. (2006). Thermal Energy Storage Systems – Stearic / Lauric Acid Mixtures As Phase Change Materials. *Carbon*, 1–10.
- BPS. (2016). *Jumlah Perahu/Kapal Menurut Provinsi dan Jenis Perahu/Kapal untuk Perikanan Perairan Umum, 2000-2016*.
- BSN. (2013). Petunjuk Pengujian Organoleptik atau Sensori. SNI 2346-2006. *BSN (Badan Standarisasi Nasional)*.
- Cabeza, L. F., Castell, A., Barreneche, C., De Gracia, A., & Fernández, A. I. (2011). Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1675–1695.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.018>
- Chen, S. L., Wang, P. P., & Lee, T. S. (1998). An experimental investigation of nucleation probability of supercooled water inside cylindrical capsules. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 18(4), 299–306.
[https://doi.org/10.1016/S0894-1777\(98\)10040-7](https://doi.org/10.1016/S0894-1777(98)10040-7)
- Engineers, A. (2010). *ASHRAE Handbook: Refrigeration (SI Edition)*. (M. S. Owen, Ed.), *ASHRAE Handbook (SI, Vol. 30329, pp. 48.1-48.11)*. Atlanta: W. Stephen Comstock.
- Hall, G. M. (1997). Fish Processing Technology. In *Fish Processing: Sustainability and New Opportunities*. <https://doi.org/10.1002/9781444328585.ch3>
- Holman, J. (1898). *Heat And Mass Transfer Second Edition PKNAG*. Tata McGraw-Hill.
- Jurita, R. (2018). *Metode Peng-es-an Ikan*. 1–3.
- Kenisarin, M., & Mahkamov, K. (2007). Solar energy storage using phase change materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1913–1965.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.005>
- Kumano, H., Asaoka, T., Saito, A., & Okawa, S. (2009). Formulation of the latent heat of fusion of ice in aqueous solution. *International Journal of Refrigeration*, 32(1), 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2008.07.010>
- Kusdiantoro, K., Fahrudin, A., Wisudo, S. H., & Juanda, B. (2019). Perikanan Tangkap Di Indonesia: Potret Dan Tantangan Keberlanjutannya. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 14(2), 145.
<https://doi.org/10.15578/jsekp.v14i2.8056>
- Li, G., Hwang, Y., Radermacher, R., & Chun, H. H. (2013). Review of cold storage materials for subzero applications. *Energy*, 51, 1–17.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.002>

- Liu, M., Saman, W., & Bruno, F. (2012). Development of a novel refrigeration system for refrigerated trucks incorporating phase change material. *Applied Energy*, 92, 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.015>
- Mardiah, R. (2016). *Derajat Supercooling Serta Kinerja Larutan Eutektik Garam / H₂O Untuk Cold storage Berbasis Phase Change Material (Pcm) Derajat Supercooling Serta Kinerja Larutan Eutektik Garam / H₂O Untuk Cold storage Berbasis Phase Change.*
- Mehling, H., & Cabeza, L. F. (2008). *Heat and Cold storage with PCM: An Up to Date Introduction Into Basics and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68557-9>
- Myers, M. (1981). *Planning and Engineering Data. 1. Fresh Fish Handling* (p. 64). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/003/P3407E/P3407E00.HTM>
- Oró, E., de Gracia, A., Castell, A., Farid, M. M., & Cabeza, L. F. (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications. *Applied Energy*, 99, 513–533. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.058>
- Osterman, E., Tyagi, V. V., Butala, V., Rahim, N. A., & Stritih, U. (2012). Review of PCM based cooling technologies for buildings. *Energy and Buildings*, 49, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.022>
- Paris, J., Falardeau, M., & Villeneuve, C. (1993). Thermal storage by latent heat: A viable option for energy conservation in buildings. *Energy Sources*, 15(1), 85–93. <https://doi.org/10.1080/00908319308909014>
- Perry's Chemical Engineers' Handbook*. (n.d.).
- Pielichowska, K., & Pielichowski, K. (2014). Phase change materials for thermal energy storage. *Progress in Materials Science*, 65, 67–123. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2014.03.005>

- Rasta, I. M. (2016). *Peran Campuran Minyak Nabati Dalam Air Sebagai Phase Change Material (PCM)*.
- Rozi, A. (2018). Laju Kemunduran Mutu Ikan Lele (*Clarias* sp.) Pada Penyimpanan Suhu Chilling. *Jurnal Perikanan Tropis*, 5(2), 169. <https://doi.org/10.35308/jpt.v5i2.1036>
- Saputra, A. C. (2017). *Studi Eksperimen Penggunaan Ice Gel Sebagai Media Pendingin Cold storage Kapal Ikan Tradisional. Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan III 2017, (September), 215–221.*
- Sari, E. P. (2016). Penerapan Sistem Rantai Dingin Pada Penanganan Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*) Beku Di Pt Syandra Rezky Jaya Makassar. *Resma*, 3(2), 13–22.
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
- Shawyer, M., & Medina Pizzali, A. F. (2003). The use of ice on small fishing vessels. In *FAO. Fisheries Technical Paper* (p. 116). <http://www.fao.org/documents/card/en/c/94bc9f36-072d-5b6e-a5a3-795af528c71a/>
- Tyagi, V. V., & Buddhi, D. (2007). PCM thermal storage in buildings: A state of art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1146–1166. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.10.002>
- Yanshan, L., Shujun, W., Hongyan, L., Fanbin, M., Huanqing, M., & Wangang, Z. (2014). Preparation and characterization of melamine/formaldehyde/polyethylene glycol crosslinking copolymers as solid-solid phase change materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 127, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.04.013>
- Yinping, Z., & Yi, J. (1999). A simple method, the T-history method, of

determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials. *Measurement Science and Technology*, 10(3), 201–205. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/10/3/015>

Yusuf, M., Syuhada, A., & Fuadi, Z. (2013). *Kajian Sistem Penyimpan Ikan Sementara pada Tempat Pendaratan Ikan (TPI)*. 1(Desember), 178–182.

Zhang, Z., Zhang, N., Peng, J., Fang, X., Gao, X., & Fang, Y. (2012). Preparation and thermal energy storage properties of paraffin/expanded graphite composite phase change material. *Applied Energy*, 91(1), 426–431. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.014>

Zhou, D., Zhao, C. Y., & Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy*, 91(2), 593–605. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025>