

SKRIPSI

**ANALISIS BAHAN PENDINGIN *SLURRY ICE*
PADA KAPAL PERIKANAN 25 GT**

Disusun dan diajukan oleh

**FIFI NIRWANA
D091171304**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS BAHAN PENDINGIN *SLURRY ICE* PADA KAPAL PERIKANAN 25 GT

Disusun dan diajukan oleh

Fifi Nirwana
D091171304

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 Maret 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Ir. Syerly Klara, M.T
NIP.196405011990022001

Pembimbing Pendamping,

Haryanti Rival, S.T., M.T., Ph.D.
NIP.197902252002122001

Ketua Program Studi,

Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.
NIP.198102112005011003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fifi Nirwana
NIM : D091171304
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Bahan Pendingin *Slurry ice* Pada Kapal Perikanan 25 GT}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Maret 2023



Fifi Nirwana

ABSTRAK

FIFI NIRWANA. *Analisis Bahan Pendingin Slurry ice Pada Kapal Perikanan 25 GT* (dibimbing oleh Syerly Klara dan Haryanti Rivai)

Bahan pendingin merupakan salah satu hal penting karena kualitas hasil ikan bergantung pada kemampuan bahan pendingin. Semakin rendah suhu bahan pendingin semakin baik dalam menjaga kualitas ikan. Bahan pendingin yang umumnya digunakan yaitu es balok, tetapi es balok memiliki kekurangan yaitu bentuk es balok yang memiliki sisi tajam yang dapat menimbulkan luka pada ikan yang dapat menurunkan kualitas ikan. Es balok juga sebagian mencair selama perjalanan menuju tempat penangkapan ikan. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan *slurry ice*. *Slurry ice* tidak memiliki sisi tajam sehingga mengurangi resiko timbulnya luka pada hasil tangkapan dan *slurry ice* dapat diproduksi diatas kapal. Dalam penelitian ini dilakukan analisis bahan pendingin pada kapal perikanan 25 GT, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan pendingin *slurry ice* jika dibandingkan dengan es balok, dan kelayakan ekonomis jika menggunakan bahan pendingin *slurry ice*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan rumus empiris. Hasilnya menunjukkan jumlah bahan pendingin *slurry ice* dan es balok dengan kapasitas palka yang sama dalam satu kali trip yaitu berturut-turut 417,667 kg dan 421,450 kg. Berdasarkan analisis ekonomis dengan nilai NPV = 90.2917.623 dan *payback periode* adalah 6 bulan waktu pengembalian modal awal dengan menggunakan bahan pendingin *slurry ice*, maka sistem pendingin ikan dengan bahan pendingin *slurry ice* dikatakan layak.

Kata Kunci: Sistem pendingin, Kapal Perikanan, *Slurry ice*.

ABSTRACT

FIFI NIRWANA. *Slurry ice Coolant Analysis on a Fishing Vessels 25 GT*
(supervised by Syerly Klara and Haryanti Rivai)

Coolant is one of the important things because the quality of fish results depends on the ability of the coolant. The lower the temperature of the cooling material the better it is in maintaining the quality of the fish. The cooling material that is generally used is ice cubes, but ice blocks have drawbacks, namely the shape of ice blocks that have sharp edges which can cause injuries to fish which can reduce the quality of fish. The ice blocks also partially melted during the journey to the fishing grounds. One effort to overcome this problem is to use slurry ice. Slurry ice has no sharp edges thereby reducing the risk of injury to fish and slurry ice can be produced on board. In this research, an analysis of coolant was carried out on a 25 GT fishing vessel. This research was conducted to determine the amount of slurry ice coolant when compared to block ice, and the economic feasibility of using slurry ice coolant. The method used in this study uses an empirical formula. The results show the amount of coolant for slurry ice and block ice with the same hold capacity in one trip, that is 417,667 kg and 421,450 kg respectively. Based on economic analysis with NPV = 90,2917,623 and payback period is 6 months, the initial payback period using slurry ice cooling material, the fish cooling system with slurry ice cooling material is said to be feasible.

Keywords: Cooling system, Fishing vessels, Slurry ice.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kapal Perikanan.....	4
2.2 Sistem Pendingin Ikan.....	5
2.3 Palka Ikan Berinsulasi.....	6
2.4 Jenis-jenis Es Dalam Pendinginan Ikan.....	7
2.4.1 <i>Slurry ice</i>	7
2.4.2 Es balok.....	8
2.4.3 <i>Refrigerated Sea Water</i>	9
2.4.4 Es Curai.....	9
2.5 <i>Slurry ice</i>	9
2.5.1 Prinsip Kerja Sistem Pendingin <i>Slurry ice</i>	10
2.5.2 Penggunaan <i>Slurry ice</i> di Kapal.....	11
2.6 Perhitungan Beban Pendingin.....	13
2.6.1 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U).....	13
2.6.2 Beban Pendingin.....	14
2.7 Kebutuhan Bahan Pendingin.....	17
2.8 Analisis Ekonomis.....	17
2.8.1 Metode <i>Net Present Value</i> (NPV).....	17
2.8.2 Metode <i>Payback Periode</i>	18
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Studi Literatur.....	19

3.3 Pengumpulan Data	19
3.4. Prosedur Penelitian.....	22
3.5 Flow Chart.....	23
BAB 4 HASIL & PEMBAHASAN	24
4.1 Perhitungan Beban Pendingin	24
4.1.1 Beban Transmisi	24
4.1.2 Beban Radiasi	44
4.1.3 Beban Infiltrasi	54
4.1.4 Beban Produk.....	55
4.1.5 Beban Pendingin Total.....	56
4.2 Kebutuhan Bahan Pendingin.....	56
4.3 Pemilihan Mesin Pendingin	57
4.4 Posisi Mesin Pendingin	58
4.5 Perhitungan Kebutuhan Listrik	59
4.6 Analisis Ekonomis	63
4.5.1 <i>Net Present Value</i>	63
4.5.2 <i>Payback Periode</i>	66
BAB 5 PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kapal ikan Maghfira-01 25 GT	4
Gambar 2. Ruang palka kapal ikan	5
Gambar 3. Laju pendinginan <i>ice slurry</i> dibandingkan dengan <i>flake ice</i>	8
Gambar 4. <i>Slurry ice</i> pada palka	10
Gambar 5. Skema sistem kerja <i>slurry ice</i>	11
Gambar 6. Skema pemakaian <i>slurry ice</i> di kapal penangkap ikan	13
Gambar 7. Perpindahan kalor menyeluruh melalui dinding datar	14
Gambar 8. Palka yang menjadi objek perhitungan	20
Gambar 9. <i>General arrangement</i> kapal perikanan 25 GT	22
Gambar 10. <i>Flow chart</i> penelitian	23
Gambar 11. Dimensi palka	24
Gambar 12. Palka yang menjadi objek perhitungan	25
Gambar 13. Sisi alas palka pada perhitungan beban transmisi	28
Gambar 14. Sisi depan palka pada perhitungan beban transmisi	30
Gambar 15. Sisi belakang palka pada perhitungan beban transmisi	34
Gambar 16. Sisi kanan palka pada perhitungan beban transmisi	37
Gambar 17. Sisi kiri palka pada perhitungan beban transmisi	41
Gambar 18. Bagian palka yang terkena sinar matahari	44
Gambar 19. Sisi depan palka pada perhitungan beban radiasi	47
Gambar 20. Sisi kanan palka pada perhitungan beban radiasi	50
Gambar 21. Sisi kiri palka pada perhitungan beban radiasi	52
Gambar 22. Posisi mesin <i>slurry ice</i> di kapal	59
Gambar 23. Detail ruang palka dengan sistem <i>slurry ice</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hubungan temperatur dengan kegiatan bakteri serta mutu ikan	6
Tabel 2. Perbedaan temperatur antara ruangan yang berdampingan	15
Tabel 3. Ukuran utama kapal	19
Tabel 4. Data bahan insulasi palka.....	20
Tabel 5. Perbekalan kapal	20
Tabel 6. Temperatur setiap sisi palka.....	21
Tabel 7. Bahan insulasi palka.....	24
Tabel 8. Luasan sisi palka	25
Tabel 9. Perbedaan temperatur setiap sisi palka.....	25
Tabel 10. Perhitungan beban transmisi sisi atap/tutup.....	27
Tabel 11. Perhitungan beban transmisi sisi alas palka.....	30
Tabel 12. Perhitungan beban transmisi sisi depan palka.....	33
Tabel 13. Perhitungan beban transmisi sisi belakang palka.....	37
Tabel 14. Perhitungan transmisi sisi kanan.....	40
Tabel 15. Perhitungan beban transmisi sisi kiri palka.....	44
Tabel 16. Beda temperatur palka yang terkena sinar matahari	45
Tabel 17. Perhitungan beban radiasi sisi atap	47
Tabel 18. Perhitungan beban radiasi sisi depan	49
Tabel 19. Perhitungan beban radiasi sisi kanan	52
Tabel 20. Perhitungan beban radiasi sisi kiri	54
Tabel 21. Perhitungan beban infiltrasi	55
Tabel 22. Perhitungan beban produk	56
Tabel 23. Beban pendingin total	56
Tabel 24. Perbandingan jumlah bahan pendingin <i>slurry ice</i> dan es balok.....	57
Tabel 25. Spesifikasi mesin <i>slurry ice</i>	58
Tabel 26. <i>Electrical balance</i> kondisi berlayar	61
Tabel 27. <i>Electrical balance</i> kondisi berlabuh/menangkap ikan.....	62
Tabel 28. Biaya investasi	63
Tabel 29. Biaya operasional kapal dengan sistem pendingin <i>slurry ice</i>	64
Tabel 30. Biaya operasional kapal dengan sistem pendingin es batu	65
Tabel 31. Perhitungan <i>net present value</i>	66

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A_v	Luas dinding palka (m^2)
B	Lebar kapal (m)
C	Cost (Rp)
c	Panas spesifik produk (ikan) sebelum pembekuan ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
c_p	Kalor spesifik bahan pendingin ($kJ/kg \text{ K}$)
c_{ud}	Kalor spesifik udara ($kJ/kg \text{ K}$)
D	Sarat kapal (m)
f	Frekuensi pembukaan palka per satu kali operasi
h_{in}	Koefisien konveksi dalam ($W/m^2 \text{ K}$)
h_{out}	Koefisien konveksi luar ($W/m^2 \text{ K}$)
i	<i>Discount factor</i>
k	Konduktivitas termal ($W/m \text{ K}$)
m	Massa (kg)
NB	<i>Net Benefit</i> (Rp)
Nu	Bilangan Nusselt
P	Panjang kapal (m)
Q_{inf}	Beban infiltrasi (kJ)
Q_{laten}	Kalor laten (kJ)
Q_{produk}	Beban produk (kJ)
$Q_{radiasi}$	Beban radiasi (kJ)
Q_{total}	Beban total (kJ)
Q_{trans}	Beban transmisi (kJ)
$Q_{sensibel}$	Kalor sensibel (kJ)
Re	Reynold number
V	Volume (m^3)
v	Kecepatan (m/s)
x	Ketebalan material (m)
ρ_{ud}	Massa jenis udara ($kJ/kg \text{ K}$)
σ	Tetapan Stefan-Bolzman ($W/m^2 K^4$)
ε	Emisifitas bahan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sifat-sifat udara pada tekanan atmosfer.....	70
Lampiran 2. Emisivitas dan konduktivitas material palka	71
Lampiran 3. Tabel <i>present value</i>	72
Lampiran 4. Spesifikasi mesin bantu Yanmar TF85NL-di.....	73
Lampiran 5. Mesin bantu Yanmar TF85NL-di.....	74
Lampiran 6. Spesifikasi mesin <i>slurry ice</i>	75

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi dengan judul “Analisis Bahan Pendingin *Slurry ice* Pada Kapal Perikanan 25 GT” dapat diselesaikan. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk mendapat gelar Sarjana Teknik (ST), pada Universitas Hasanuddin.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis telah mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta kakak-kakak yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis.
2. Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Ir. Hj. Syerly Klara, M.T selaku pembimbing I, Ibu Haryanti Rivai, S.T., M.T, Ph.D. selaku pembimbing II, yang telah membimbing penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan civitas akademika Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTUH.
5. Seluruh saudara Angkatan 2017 Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
6. Pihak-pihak yang tidak sempat penulis sebutkan pada kesempatan ini.

Penulis menyadari masih banyak memiliki kekurangan pada skripsi ini, sehingga saran dan masukan yang membangun sangat dibutuhkan.

Gowa, Maret 2023

Penulis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan pendinginan pada kapal ikan merupakan salah satu hal penting karena kualitas ikan sangat bergantung pada kemampuan bahan pendingin dalam menyerap panas dari hasil tangkapan. Semakin rendah suhu bahan pendingin semakin baik dalam menjaga kualitas ikan. Suhu yang rendah akan menghambat atau menghentikan pertumbuhan bakteri atau mikroorganisme yang dapat mengakibatkan pembusukan ikan (penurunan mutu).

Proses pendinginan yang umum digunakan pada kapal-kapal di Pelabuhan Paotere Makassar adalah menggunakan es balok. Berdasarkan hasil pengamatan pada kapal ikan khususnya kapal Magfira-01 25 GT untuk mendinginkan hasil tangkapan menggunakan es balok, dimana berdasarkan dokumen di atas kapal bahwa jumlah es batu yang di bawa berlayar adalah 4000 kg. Susunan muatan palka yaitu es-ikan-es. Pendinginan dengan es balok memiliki kekurangan, bentuk es balok memiliki sisi tajam sehingga dapat memungkinkan timbulnya luka pada hasil tangkapan yang dapat menurunkan kualitas hasil tangkapan. Es balok juga akan mencair terlebih dahulu selama perjalanan menuju lokasi tangkapan. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut salah satunya pendingin dengan *slurry ice*.

Slurry ice memiliki keunggulan dikarenakan terdiri dari jutaan mikrokristal es yang berada dalam larutan garam cair. *Slurry ice* juga tidak memiliki sisi tajam sehingga tidak merusak permukaan ikan dibandingkan dengan penggunaan es balok. Menurut *Slurry ice* adalah media pendingin ikan segar yang baik karena ukurannya kecil. Dalam sistem pendinginan ikan dengan *ice slurry*, permukaan ikan benar-benar tertutup oleh *slurry ice* tanpa adanya kantong udara antara ikan dengan media pendingin. Akibatnya, pendinginan ikan lebih cepat dan pertumbuhan bakteri lebih lambat, sehingga umur produk lebih lama (Bellas and Tassou 2005).

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk meneliti tentang sistem pendingin ikan *slurry ice* dengan judul “Analisis Bahan Pendingin *Slurry ice* Pada Kapal Perikanan 25 GT”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Berapa jumlah bahan pendingin *slurry ice* jika dibandingkan dengan es balok?
2. Bagaimana kelayakan ekonomis sistem pendingin *slurry ice* pada kapal perikanan 25 GT?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Perhitungan beban pendingin secara teoritis.
2. Objek penelitian adalah kapal perikanan Magfira-01 25 GT.
3. Penilaian kelayakan ekonomis menggunakan metode *net present value* dan *payback periode*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir adalah:

1. Mengetahui jumlah *ice slurry* sebagai bahan pendingin jika dibandingkan dengan es balok.
2. Mengetahui kelayakan ekonomis jika menggunakan sistem pendingin *slurry ice*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari tugas akhir ini diharapkan bisa memberikan manfaat:

1. Mengetahui jumlah bahan pendingin jika menggunakan sistem pendingin *slurry ice* pada ruang palka kapal ikan.
2. Sebagai alternatif untuk memilih bahan pendingin yang mampu mempertahankan kualitas hasil tangkapan ikan sampai proses jual beli.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab 1 mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab 2 atau landasan teori ini berisikan tentang teori mengenai sistem pendinginan ikan di kapal, tempat penyimpanan ikan berinsulasi, perhitungan beban pendingin serta perhitungan beban pendingin. Literatur ini yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penulisan skripsi ini.

BAB 3 METODOLOGI

Sedangkan bab 3 ini menyajikan lokasi penelitian, waktu penulisan, jenis penulisan, jenis data, teknik pengambilan data serta *flow chart* proses penelitian yang akan dilakukan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini merupakan bab yang berisikan perhitungan mengenai perhitungan beban pendingin dan kebutuhan beban pendingin dengan menggunakan *slurry ice* sesuai dengan teori yang dipaparkan pada bab II.

BAB 5 PENUTUP

Bab penutup ini berisikan kesimpulan dari hasil penulisan dan saran-saran.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Perikanan

Menurut Undang-undang Nomor 31 Tahun 2004 kapal perikanan adalah kapal, perahu, atau alat bantu apung, lainnya yang digunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian/eksplorasi perikanan.



Gambar 1. Kapal ikan Maghira-01 25 GT

Kapal perikanan Maghira 25 GT yang terlihat pada gambar 2.1 merupakan kapal ikan yang bahan utamanya adalah kayu, kapal ini dibangun pada tahun 2012. Daerah operasi penangkapannya WPP NRI 713 (Sl. Makassar – Tl. Bone – L. Flores – dan L. Bali). Jenis alat tangkap yang digunakan adalah *purse seine* (pukat cincin) pelagis kecil, *purse seine* adalah jenis jarring penangkap ikan berbentuk empat persegi panjang atau trapezium, dilengkapi dengan tali kotor yang dilewatkan melalui cincin yang dikaitkan pada bagian bawah jaring dapat dikuncupkan sehingga gerombolan ikan terkurung di dalam jaring.

Kapal perikanan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Ukuran utama kapal: Panjang (21 m); Lebar (4 m); Draft (1,3 m).
2. Penggerak utama: satu unit mesin dengan merek Mitsubishi 150PS dengan daya 150 Kw.

3. Mesin bantu: satu unit dengan merek Yanmar dengan daya kerja 7,5 DK/2200 ppm.
4. Jumlah awak kapal: 10 orang.



Gambar 2. Ruang palka kapal ikan

2.2 Sistem Pendingin Ikan

Sistem pendingin dalam kehidupan sehari-hari dalam bentuk produknya yang berupa es, lemari pendingin (refrigerator rumah tangga), pabrik es, dan lain-lain. Dalam sektor perikanan contoh penggunaannya *cold storage* yaitu bangunan untuk menyimpan ikan. Beberapa metode atau sistem pendingin ikan di kapal adalah:

1. Pendinginan ikan dengan es (*icing*)
2. Pendinginan ikan dengan udara dingin (*chilling in cold air*)
3. Pendinginan ikan dengan es air laut
4. Pendinginan ikan dengan air yang didinginkan (*chilling in water*)
5. Pendinginan ikan dengan es kering
6. Pendinginan ikan dengan teknologi refrigerasi

Tingkat kesegaran ikan sangat berpengaruh terhadap kualitas dan mutu dari ikan tersebut. Salah satu yang menyebabkan kemunduran kualitas dan mutu ikan adalah temperatur. Berikut ini adalah hubungan temperatur dengan kegiatan bakteri serta mutu ikan.

Tabel 1. Hubungan temperatur dengan kegiatan bakteri serta mutu ikan

No.	Suhu (°C)	Kegiatan Bakteri	Mutu Ikan
1.	Suhu tinggi		
	• 25-10	Luar biasa cepat	Cepat menurun daya awet sangat pendek (3-10 jam)
	• 10-2	Pertumbuhan lebih lambat	Mutu turun lambat, daya awet pendek (2-5 hari)
2.	Suhu rendah		
	• 2-1	Pertumbuhan bakteri jauh berkurang	Penurunan mutu agak dihambat, daya awet wajar (3-5 hari)
	• -1	Kegiatan dapat ditekan	Sebagai ikan basah penurunan minimum, daya awet ikan basah (5-20 hari)
3.	Suhu sangat rendah		
	• (-2) - (-10)	Ditekan, tidak aktif	Penurunan mutu minimum, ikan jadi beku, daya awet panjang (7-30 hari)
	• -18 dan lebih rendah	Ditekan minimum, bakteri tersisa tidak aktif	Mutu ikan beku lebih baik, daya awet sampai setahun

Sumber: Jurnal Teknik Perkapalan- Vol.4 No. 1 Januari 2016 (Riyadi, Budiarto, and Santoso 2016)

2.3 Palka Ikan Berinsulasi

Palka berinsulasi adalah tempat penyimpanan ikan hasil tangkapan di bagian dalam kapal yang menyatu dengan badan kapal, dinding-dindingnya di cor dengan bahan *polyurethane* (Badan Penelitian dan Pengemban Pertanian). Menurut Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan RI (2013) persyaratan higienis kapal penangkap dan pengangkut ikan dari segi sanitasi, beberapa diantaranya (Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan RI 2013):

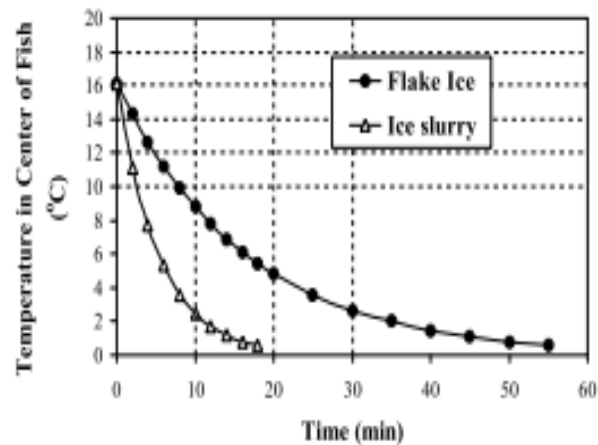
1. Bagian-bagian dari kapal atau wadah untuk menyimpan hasil tangkap harus dijaga kebersihannya dan dijaga selalu dalam kondisi baik, sehingga terhindar dari kontaminasi bahan bakar dan air kotor.
2. Produk hasil perikanan harus dijaga dari kontaminasi, segera setelah diangkat ke geladak.
3. Air/es yang digunakan untuk pencucian dan pendinginan ikan harus memenuhi persyaratan air minum, bersih, atau memenuhi persyaratan negara tujuan.
4. Hasil perikanan harus ditangani dan disimpan sehingga terhindar dari kerusakan fisik (memar).

2.4 Jenis-jenis Es Dalam Pendinginan Ikan

Pada umumnya pendinginan ikan pada kapal nelayan menggunakan pendingin berupa es, baik es balok atau es dengan struktur yang lebih kecil lagi. Berikut ini akan dijelaskan beberapa jenis es yang digunakan dalam proses pendinginan ikan:

2.4.1 *Slurry ice*

Slurry ice terdiri dari larutan air yang mempunyai kristal es. *Ice slurry* juga didefinisikan sebagai *fine-cristalline ice slurry* adalah *slurry ice* dengan partikel es yang memiliki ukuran diameter rata-rata sama dengan atau kurang dari 1 mm (Egolf and Kauffeld 2005). *Slurry ice* adalah media pendingin ikan segar yang baik karena ukurannya kecil. Dalam sistem pendinginan ikan dengan *ice slurry*, permukaan ikan benar-benar tertutup oleh *slurry ice* tanpa adanya kantong udara antara ikan dengan media pendingin. Akibatnya, pendinginan ikan lebih cepat dan pertumbuhan bakteri lebih lambat, sehingga umur produk lebih lama (Bellas and Tassou 2005). Gambar 2.3 kurva komparatif menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk proses pendinginan hingga 2 °C tiga kali lebih cepat dibandingkan dengan *flake ice* (Bellas and Tassou 2005).



Gambar 3. Laju pendinginan *ice slurry* dibandingkan dengan *flake ice*

Sumber: (Bellas and Tassou 2005)

Ice slurry terbuat dari air laut, kandungan air laut dalam *ice slurry* adalah pengawet yang alami, baik untuk penyimpanan ikan setelah penangkapan ikan. Kandungan garam yang terdapat dalam air laut (salinitas) berpengaruh pada penyerapan panas dari ikan. Karakteristik salinitas air laut di Indonesia sekitar 30 ppt (part per thousand/satuan umum salinitas). Salinitas yang tinggi dapat menyerap lebih banyak panas dari ikan pada suhu rendah. Salinitas juga berpengaruh pada ukuran diameter *slurry ice*, untuk salinitas 30 ppt diameternya 0,02633 cm (Pamitran and Ardiansyah 2013).

2.4.2 Es balok

Es balok merupakan es yang berbentuk balok berukuran 12-60 kg/balok. Sebelum dipakai es balok harus dipecahkan terlebih dahulu untuk memperkecil ukuran. Es balok merupakan jenis es yang paling banyak atau umum untuk digunakan dalam pendinginan ikan karena harganya murah dan mudah dalam pengangkutannya. Es balok lebih mudah dalam pengangkutannya karena lebih sedikit meleleh. Akan tetapi, memerlukan sarana penumbuk es atau penghancur secara mekanis (*ice crusher*) sehingga es yang keluar dari pabrik sudah siap pakai dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Keuntungan lain dari penggunaan es balok ialah es balok lebih lama mencair dan menghemat penggunaan tempat pada palka, es balok ditransportasikan dan disimpan dalam bentuk balok dan dihancurkan bila akan digunakan.

2.4.3 Refrigerated Sea Water

Media pendingin air yang digunakan dengan alat mekanis disebut juga dengan *refrigerated sea water* (RSW). Alat mekanik yang digunakan untuk mendinginkan air laut tersebut adalah refrigerator. Evaporator yang merupakan bagian dari refrigerator disimpan pada salah satu dinding tangki. Evaporator ini berfungsi untuk mendinginkan air laut dengan menyerap panas yang dikeluarkan oleh ikan maupun air laut. Air dingin disirkulasi ke dalam tangki penyimpanan dan selanjutnya dialirkan kembali melewati refrigerator dengan pompa. Air yang telah melewati refrigerator akan menjadi dingin dan selanjutnya disirkulasi kembali ke tangki penyimpanan.

Penggunaan ikan dengan menggunakan sistem RSW banyak di gunakan oleh kapal penangkapan ikan yang berukuran besar. Pada umumnya, kapal-kapal besar tersebut dalam melakukan penangkapan ikan sampai berbulan-bulan lamanya sehingga media pendingin yang digunakan harus mampu mempertahankan hasil tangkapannya sampai kapal tersebut berlabuh.

2.4.4 Es Curai

Es curai (*small ice* atau *fragmentary ice*) adalah istilah yang diberikan pada banyak es yang dibuat dalam bentuk kepingan kecil, yang dalam perdagangan dikenal dengan nama es keping (*flake ice*). Pada penelitian tugas akhir ini jenis es yang digunakan adalah *slurry ice*, sehingga pembahasan lebih lanjut hanya pada *slurry ice*.

2.5 Slurry ice

Slurry ice terdiri dari larutan air yang mempunyai kristal es. *Ice slurry* juga didefinisikan sebagai *fine-cristalline ice slurry* adalah *slurry ice* dengan partikel es yang memiliki ukuran diameter rata-rata sama dengan atau kurang dari 1 mm (Egolf and Kauffeld 2005). Sistem *slurry ice* adalah sistem penyimpanan es dinamis yang kelebihanannya es tersebut dapat dipompa. *Slurry ice* berupa jenis kristal es kecil di dalam cairan, hal ini dapat mendinginkan produk secara sempurna, karena menutupi produk yang didinginkan dan mengalir ke cela-cela permukaan ikan, sehingga memberikan kontak permukaan yang lebih besar dan pendinginan lebih

cepat. Kristal ini berbentuk bulat sehingga mudah untuk didistribusikan melalui pipa (Nasirin 2016). Menurut (Piñeiro, Barros-Velázquez, and Aubourg 2004) berikut kelebihan pendinginan dengan sistem *slurry ice*:

1. Tingkat pertukaran panas lebih tinggi empat kali dibanding dengan *flake ice*, maknanya proses pendinginan produk lebih cepat.
2. Suhu penyimpanan di bawah nol, ini akan memperlambat proses pembusukan.
3. Pendinginan lebih efisien karena, *slurry ice* menutupi seluruh permukaan produk.
4. Kristal es dari *slurry ice* yang bulat dan berukuran kecil, akan mengurangi kerusakan fisik produk selama penanganan dan penyimpanan.
5. Natrium klorida yang terdapat di air laut memberikan efek pengawetan yang lebih tinggi.
6. Mudah untuk didistribusikan melalui pompa.
7. Pengurangan biaya tenaga kerja.



Gambar 4. *Slurry ice* pada palka

2.5.1 Prinsip Kerja Sistem Pendingin *Slurry ice*

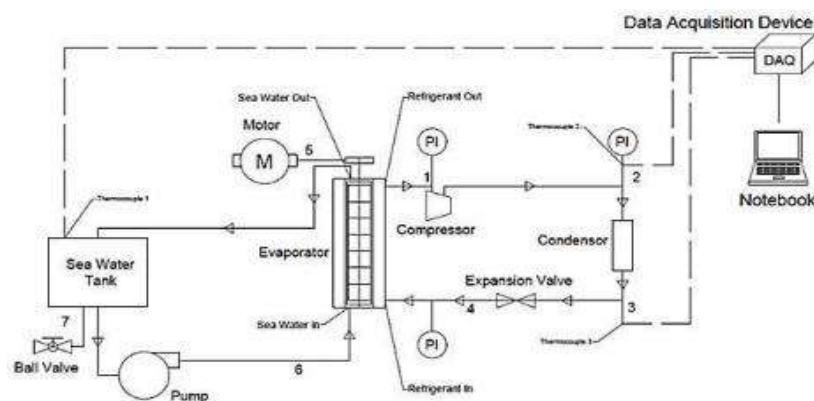
Ice slurry generator merupakan yang bekerja dengan dua siklus. Siklus pertama merupakan siklus kompresi uap yang terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator (Rayhan et al. 2017). Tahapan sirkulasi kompresi uap terdiri dari:

1. Kompresor berfungsi untuk menaikkan tekanan *refrigerant* ke kondensor dan untuk mengatasi beban pendinginan pada *slurry ice refrigerator*. Kompresi uap

refrigerant pada kompresor bertujuan untuk menekan gas *refrigerant* yang bersuhu rendah dan bertekanan rendah menjadi yang bersuhu dan bertekanan tinggi.

2. Kondensor yang berfungsi sebagai panas dari kompresor. Pada kondensor terjadi pelepasan panas pada ruangan bertemperatur tinggi oleh *refrigerant*. Hal ini bertujuan untuk mengubah gas *refrigerant* yang bersuhu dan bertekanan tinggi menjadi bersuhu rendah dan bertekanan tinggi. Fase ini mengubah *refrigerant* dari bentuk gas menjadi cair.
3. Pada katup ekspansi terjadi pengembalian kondisi uap *refrigerant* seperti semula cair menjadi campuran gas dan cair. Pada proses ini katup ekspansi berfungsi untuk mengubah cairan *refrigerant* untuk dikabutkan dengan tujuan penyerapan panas produk pada evaporator.
4. Evaporator berfungsi menurunkan temperatur *refrigerant*. Bagian ini berfungsi penyerap panas air laut untuk dijadikan *slurry ice* (Nasirin et al. 2016).

Siklus kedua adalah siklus aliran air laut yang dipompa dari reservoir air menuju ke evaporator dan kembali lagi ke *reservoir air* (Rayhan et al. 2017). Saat pendinginan terjadi, *slurry ice* mencair dan kemudian dikeluarkan dari palka, *slurry ice* yang baru selanjutnya di tambahkan ke dalam palka (Kauffeld et al. 2010).



Gambar 5. Skema sistem kerja *slurry ice*

Sumber: (Rayhan et al. 2017)

2.5.2 Penggunaan *Slurry ice* di Kapal

Proses pendinginan ikan dengan *slurry ice* merupakan perpindahan panas ikan yang lebih panas menuju *slurry ice*, sehingga ikan menjadi lebih dingin dan *slurry ice* bertambah panasnya. Menurut Nasirin (Nasirin 2016) *slurry ice* dapat menyerap 80 kilo kalori per kg es yang meleleh maka, jumlah es yang dibutuhkan

untuk mendinginkan 10 kg ikan dengan suhu 28 °C hingga menjadi 0 °C adalah 2,973 kg *slurry ice*, dibulatkan menjadi 3 kg per 10 kg ikan. Dalam prakteknya di lapangan telah diperoleh pedoman bahwa penggunaan *slurry ice* untuk daerah-daerah tropis dengan ratio perbandingan ikan: *slurry ice* (1:2).

1. Tata letak Mesin *Slurry ice*

Penempatan mesin *slurry ice* merupakan hal penting, ada beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut (Nasirin 2016):

- a. Dekat sumber air laut.
- b. Dekat dengan sumber listrik yang akan digunakan.
- c. Stabilitas kapal yang sudah ada dan tidak mengganggu kegiatan penangkapan ikan.

2. Pengoperasian Mesin *Slurry ice*

Setiap unit mesin *slurry ice* mempunyai cara khusus untuk pengoperasiannya. Secara umum teknik pengoperasian mesin *slurry ice* sebagai berikut:

a. Persiapan pengoperasian

- 1) Memeriksa tegangan tenaga penggerak.
- 2) Memeriksa jumlah media pendingin (*refrigerant*).
- 3) Memeriksa jumlah minyak pelumas dalam kompresor.
- 4) Memeriksa keadaan sekitar mesin *slurry ice* terutama pada bagian-bagian yang bergerak.
- 5) Mempersiapkan peralatan yang digunakan untuk membantu pengoperasian selanjutnya.
- 6) Mengisi air laut pada tangka *ice slurry generator* mesin *slurry ice*.

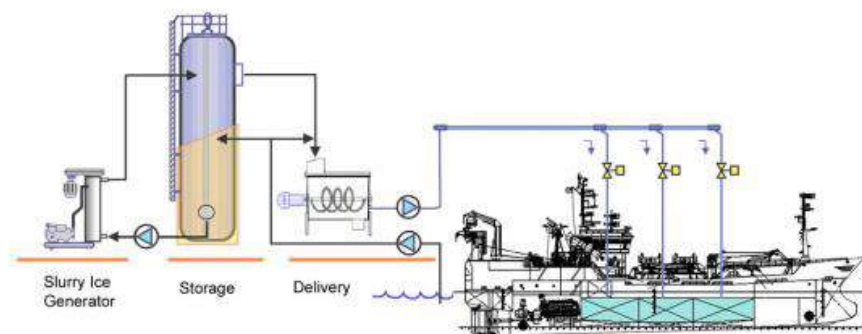
b. Pengoperasian

- 1) Mengoperasikan aliran media pendingin kondensor dan kompresor.
- 2) Membuka stop kran pada saluran bahan pendingin bertekanan tinggi terutama kran pengeluaran kompresor.
- 3) Mengoperasikan tenaga penggerak kompresor.
- 4) Membuka stop kran pada saluran bahan pendingin bertekanan rendah terutama kran penghisap kompresor.
- 5) Mengatur pembukaan katup ekspansi (khusus untuk katup ekspansi (khusus untuk katup ekspansi manual).

c. Pemeriksaan mesin selama beroperasi

- 1) Memeriksa tekanan pada kompresor yaitu tekanan pengeluaran penghisapan dan pelumasan.
- 2) Memeriksa temperatur media pendingin di kondensor.
- 3) Memeriksa temperatur bahan baku yang diinginkan.
- 4) Memeriksa tegangan/voltage, ampere, dan frekuensi apabila menggunakan aliran listrik sebagai tenaga penggerak.
- 5) Memeriksa kebocoran pada tangka dan pipa.

Adapun mekanisme pemakaian *slurry ice* di kapal sebagai berikut pada gambar 2.5



Gambar 6. Skema pemakaian *slurry ice* di kapal penangkap ikan

Sumber: (Kauffeld et al. 2010)

2.6 Perhitungan Beban Pendingin

2.6.1 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

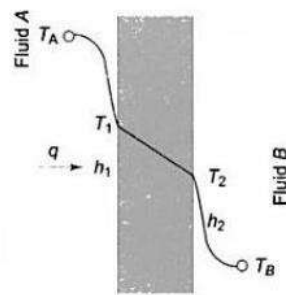
Dalam proses perpindahan kalor, tidak menutup kemungkinan laju perpindahan kalor konduksi, konveksi, dan radiasi terjadi dalam waktu yang bersamaan. Besarnya koefisien perpindahan kalor total pada dinding datar seperti pada Gambar 7 dimana pada satu sisinya terdapat fluida panas A dan pada sisi lainnya terdapat fluida B yang lebih dingin. Besarnya perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_{out}}\right)} \quad (1)$$

Dimana:

U = Koefisien perpindahan panas (W/m² K)

- h_{in} = Koefisien konveksi dalam ($W/m^2 K$)
 h_{out} = Koefisien konveksi luar ($W/m^2 K$)
 x = tebal setiap lapisan material (m)
 k = Konduktivitas *thermal* (W/mK)



Gambar 7. Perpindahan kalor menyeluruh melalui dinding datar

Sumber: (Holman 2010)

2.6.2 Beban Pendingin

Dari hukum termodinamika dua yang menyatakan besar energi atau kalor yang berpindah dari suatu ruang ke ruangan yang lain adalah sebesar pengurang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{\text{Pendinginan}} = Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{radiasi}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{tambahan}}$$

Dimana:

$Q_{\text{Pendinginan}}$ = Energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruang palka ikan (W)

$Q_{\text{transmisi}}$ = Kerugian kalor dikarenakan perbedaan suhu di dalam dan luar ruangan pendingin (W)

Q_{radiasi} = Kerugian kalor dikarenakan paparan panas matahari ke dinding ruang pendingin (W)

$Q_{\text{infiltrasi}}$ = kerugian kalor dikarenakan perembesan udara ke dalam palka (W)

Q_{Produk} = Kerugian kalor yang berasal dari muatan (W)

Q_{Tambahan} = Kerugian kalor tambahan yang berasal dari aktifitas manusia, peralatan, dsb (W)

Beberapa persamaan untuk menghitung beban pendingin:

1. Beban transmisi ($Q_{\text{transmisi}}$)

Beban panas akibat transmisi (rambatan) melewati dinding palka yang terdiri dari lapisan isolasi (kayu dan *polystyrene*). Beban ini dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas dan luasan dinding. Perhitungan beban transmisi berdasarkan ISO 7547.

Tabel 2. Perbedaan temperatur antara ruangan yang berdampingan

	$\Delta T, K$	
	Summer	Winter
Deck against tank provided with heating	43	
Deck with bulkhead against boiler-room	28	17
Dek dan sekat dengan ruang mesin dan dapur tanpa AC	18	
Dek dan sekat terhadap tangki non-pemanas, ruang kargo dan yang setara	13	42
Dek dan sekat terhadap cucian	11	17
Dek dan sekat terhadap ruang sanitasi umum	6	0
Dek dan sekat terhadap ruang sanitasi pribadi		
a) dengan bagian mana pun terhadap permukaan luar yang terbuka	2	0
b) tidak terkena	1	0
c) dengan bagian apa pun terhadap mesin / boiler	6	0
sekat terhadap gang	2	5
Catatan: dipahami bahwa alat pemanas disediakan di ruang sanitasi terbuka		

Sumber: (International Organization for Standardization 7547 2002)

$$Q_{\text{trans}} = \Delta T (k_v A_v) \quad (2)$$

Dimana:

Q_{trans} = Aliran panas melalui dinding (W)

k_v = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) ($W/m^2 K$)

A = Luas permukaan dinding (m^2)

ΔT = Perbedaan temperatur (K)

Perbedaan temperatur (ΔT) diambil dari Tabel 2. Koefisien perpindahan panas untuk dinding isolasi yang terdiri dari beberapa bahan menggunakan persamaan 1.

2. Beban radiasi (Q_{radiasi})

Beban radiasi merupakan perhitungan beban pendingin yang diakibatkan oleh luasan dinding luar yang terpapar langsung oleh sinar matahari. Perhitungan beban radiasi berdasarkan ISO. Pada ISO-7547 perbedaan temperatur dalam ruangan sudah ditentukan, berikut ΔT dan persamaan yang digunakan untuk menghitung beban radiasi:

$A_{Tr} = 12 \text{ K}$ for vertical light surface;

$A_{Tr} = 29 \text{ K}$ for vertical dark surface;

$A_{Tr} = 16 \text{ K}$ for horizontal light surface;

$A_{Tr} = 32 \text{ K}$ for horizontal dark surface;

$$Q_{\text{radiasi}} = A_v U \Delta T \quad (4)$$

Dimana:

Q_{radiasi} : beban panas matahari (W)

A_v : luasan dinding ruang pendingin yang terpapar sinar matahari (m^2)

U : koefisien perpindahan panas ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$)

ΔT : perbedaan temperatur (K)

3. Beban infiltrasi (Q_{inf})

$$Q_{\text{inf}} = V \times f \times \rho_{\text{ud}} \times c_{\text{ud}} \times \Delta T \quad (5)$$

Dimana:

$Q_{\text{infiltrasi}}$ = Panas infiltrasi (kW)

V = Volume ruangan (m^3)

f = frekuensi pembukaan palka per satu kali operasi

ρ_{ud} = massa jenis udara (kg/m^3)

c_{ud} = kalor spesifik udara (kJ/kgK)

ΔT = beda temperatur (K)

4. Beban produk (Q_{produk})

Beban produk, yaitu beban kalor yang dilepaskan oleh produk, dalam hal ini adalah beban kalor yang dihasilkan dari ikan hasil tangkapan selama proses pembekuan dan penyimpanan. Besarnya kalor yang dilepas:

$$Q_{\text{produk}} = m \times c \times \Delta t \quad (6)$$

Dimana:

Q_{produk} = Jumlah panas produk (kW)

m = Massa produk (kg)

c = Panas spesifik sebelum pembekuan ($\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

ΔT = Perubahan temperatur produk awal ($^\circ\text{C}$)

Dengan demikian, koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan persamaan:

2.7 Kebutuhan Bahan Pendingin

Kebutuhan bahan pendingin dibutuhkan untuk menyerap panas hasil tangkapan (ikan) mencapai temperatur yang diinginkan dalam penelitian ini adalah 0° C dan untuk mempertahankan temperatur tersebut sampai tempat pelelangan ikan. Jumlah bahan pendingin sama dengan besarnya beban pendingin (Q_{total}) yang akan diserap oleh bahan pendingin. Jadi, kemampuan bahan pendingin dalam menyerap panas produk terdiri dari kalor sensibel dan kalor laten. Jumlah kebutuhan bahan pendingin dihitung dengan:

$$Q_{total} = Q_{sensibel} + Q_{laten} \quad (7)$$

$$Q_{sensibel} = m \times cp \times \Delta T$$

Dimana:

m = massa es (kg)

cp = kalor spesifik *slurry ice* diketahui sebesar 2,1 kJ/kg K (Melinder 2010)

ΔT = beda temperatur 26 K

Q_{laten} *slurry ice* diketahui sebesar 334 kJ/kg (Kumano et al. 2007)

2.8 Analisis Ekonomis

Analisis ekonomis ini dilakukan untuk menentukan suatu proyek apakah layak atau tidak ditinjau dari sisi keuangan. Ada beberapa metode penilaian investasi untuk menentukan suatu proyek layak atau tidak layak. Metode penilaian investasi tersebut diantaranya metode *Net Present Value*, *Internal Rate of Return*, *Accounting Rate of Return*, *Payback Periode*, dan *Provitability Index*. Pada penelitian ini metode penilaian yang digunakan adalah metode *Net Present Value* (NPV) dan metode *Payback Periode*.

2.8.1 Metode *Net Present Value* (NPV)

Metode ini menghitung selisih nilai investasi dengan nilai sekarang dengan penerimaan kas bersih pada masa yang akan datang. NPV merupakan selisih antara nilai sekarang dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Berikut rumus NPV (Ichsan, Nasution, and Sinaga 2019):

$$NPV = \sum_{t=1}^n B_t - C_t = \sum_{t=1}^n NB_t \quad (8)$$

Dimana:

NB = *Net benefit = Benefit – Cost*

C = Biaya investasi + Biaya operasi

B = *Benefit* yang dikalikan dengan *discount factor*

i = *discount factor*

Kriteria penilaian untuk *net present value* (NVP) adalah sebagai berikut:

1. Jika $NPV > 0$, proyek layak untuk dilaksanakan.
2. Jika $NPV < 0$, proyek tidak layak untuk dilaksanakan.
3. Jika $NPV = 0$, proyek yang dijalankan tidak rugi atau tidak untung.

2.8.2 Metode *Payback Periode*

Metode ini merupakan teknik penilaian terhadap jangka waktu (periode) pengembalian investasi suatu proyek atau bisnis. Proyek dengan *payback periode* cepat pengembaliannya maka memiliki kemungkinan untuk dijalankan. Satuan *payback periode* adalah berupa waktu (bulan, tahun, dan sebagainya). Berikut rumus *Payback periode*:

$$Payback\ Periode = \frac{Jumlah\ investasi}{Jumlah\ keuntungan} \quad (9)$$