



SKRIPSI - ME141501

**PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN RUANG MUAT KAPAL
KHUSUS PENGANGKUT DAGING SAPI (REEFER SHIP)
RUTE NUSA TENGGARA TIMUR (NTT) - JAKARTA**

Syaiful Bahri
NRP 4213 100 086

Dosen Pembimbing
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT - ME141501

**DESIGN OF REFRIGERATION SYSTEM ON SPECIAL SHIP
CARRIER OF MEAT (*REEFER SHIP*) NUSA TENGGARA TIMUR
(NTT) - JAKARTA ROUTE**

Syaiful Bahri
NRP 4213 100 086

Dosen Pembimbing
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN KAPAL KHUSUS PENGANGKUT
DAGING SAPI (*REEFER SHIP*) RUTE NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)-
JAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System*(MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Syaiful Bahri
NRP. 4213 100 086

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
NIP. 19900605 2015 04 1001



SURABAYA
JULI, 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN KAPAL KHUSUS PENGANGKUT
DAGING SAPI (*REEFER SHIP*) RUTE NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)-
JAKARTA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

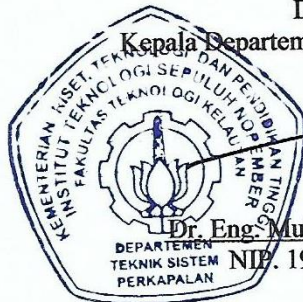
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Syaiful Bahri
Nrp. 4213 100 086

Disetujui oleh :

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. Muh. Badrus Zaman, ST, MT
NIP. 197708022008011007

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN KAPAL KHUSUS PENGANGKUT DAGING SAPI (*REEFER SHIP*) RUTE NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)-JAKARTA

Nama Mahasiswa : Syaiful Bahri
NRP : 4213 100 086
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

ABSTRAK

Permintaan daging sapi di wilayah Jakarta dan sekitarnya terus meningkat, maka diperlukan *supply* komoditi daging sapi dari daerah lain. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan sarana transportasi pendukung pengiriman komoditi daging sapi yang memadai. Kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tersebut dan dapat menggantikan kapal ternak pengangkut sapi, karena kapal ini dapat mengangkut daging sapi jauh lebih banyak dengan berat yang sama. Sistem pendinginan yang efektif sesuai dengan jumlah daging sapi yang dimuat diperlukan agar daging sapi tetap awet dan layak konsumsi. Dalam hal ini merencanakan insulasi ruang muat kapal dengan polyurethane foam dilapisi aluminium bagian dalam ruang muat dengan ketebalan 150 mm dan menggunakan sistem pendingin tidak langsung (*indirect expansion system*) pada *reefer ship*. Produk didinginkan pada temperatur 0°C, direncanakan ruang muat menjadi tiga zona pendingin. Sehingga didapatkan empat buah chiller dengan satu stand by sebagai pembangkit sistem pendingin utama dengan cooling capacity masing-masing 286 kW menggunakan refrigeran R-134A yang selanjutnya mendinginkan refrigeran kedua propylene glycol 30% yang disirkulasikan oleh pompa berkapasitas 153,83 m³/h dan head 19,56 meter dengan power motor 10,84 kW menuju air cooler yang berada pada sembilan ruang muat kapal yang telah dibagi menjadi tiga zona ruang pendingin masing-masing cooling capacity 108 kW dengan power motor 2,71 kW. Untuk mendinginkan kondensor chiller menggunakan air laut yang disirkulasikan oleh pompa berkapasitas 126,48 m³/h dan head pompa 9,31 meter dengan power motor 4,53 kW.

Kata kunci : *Reefer Ship, Daging Sapi, Indirect Expansion System.*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DESIGN OF REFRIGERATION SYSTEM ON SPECIAL SHIP CARRIER OF MEAT (REEFER SHIP) NUSA TENGGARA TIMUR (NTT) - JAKARATA ROUTE

Name : Syaiful Bahri
NRP : 4213 100 086
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Advisor : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

ABSTRACT

The demand of beef in Jakarta and surrounding areas continues increases, hence the supply commodities of beef from other regions needed. To fulfill the requirement, it is necessary to adequate transportation of beef. Special ship carrier of meat (reefer ship) is expected to satisfy these needs and can replace the ship carrier of cattle, as it can transport much beef in same weight. An effective refrigeration system accordance to the amount of beef required to keep the beef durable and consuming. In this case design of the insulation in the cargo hold using polyurethane foam is coated aluminum with a thickness of 150 mm and using indirect expansion system at reefer ship. The product is cooled at 0 °C, the planned load space into three zones of cooling space, so we get chiller as a main refrigeration plant with cooling capacity 286 kW using refrigerant R-134A which further cools the secondary refrigerant propylene glycol 30% recirculated by a pump with a capacity and head is 153.83 m³/h - 19.56 meters with a 10.84 kW power motor. Air cooler spesification in each cargo hold cooling capacity 108 kW with 2,71 kW motors. To cool the chiller condenser using seawater which is pumped by a pump with a capacity and head 126.48 m³/h - 9,31 meters with 4.53 kW motor.

Keywords— **Reefer Ship, Beef, Indirect Expansion System**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segalapuji syukur alhamdulillah saya ucapkan atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Perencanaan Sistem Pendingin Kapal Khusus Pengangkut Daging Sapi (*Reefer Ship*) Rute Nusa Tenggara Timur (NTT) - Jakarta”. Laporan ini disusun untuk memenuhi matakuliah Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta serta saudara saya yang sangat membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, atas dukungan berupa materiil dan cinta kasih yang diberikan selama ini.
2. Bapak Dr.Eng. Muh. Badrus Zaman, ST,MT, selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya sekaligus dosen wali penulis selama 8 semester dan memberikan motivasi dan ilmu yang bermanfaat.
3. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak-bapak dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan selama 8 semester yang telah mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
5. Teman-teman BARAKUDA'13 yang selalu memberikan semangat.
6. Semua keluarga dari Laboratorium “*Marine Machinery and System (MMS)*” baik teknisi maupun member Lab yang telah memeberi semangat dan memberikan ilmunya selama pengerjaan skripsi.
7. Karya Salemba Empat dan indofood sebagai yayasan donatur beasiswa yang telah memberi insentif kepada penulis sejak semester 3 hingga lulus pada semester 8 ini.
8. Nurul Ulfah selaku teman spesial penulis yang telah mendoakan dan memberi semangat kepada penulis selama pengerjaan skripsi
9. Serta bagi pihak lain, teman-teman dan sahabat-sahabatku yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan yang telah dikerjakan masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 18 Juli 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Cold Chain of Meat.....	3
2.2 <i>Reefer Ship</i>	3
2.3 <i>Rules of Reefer Ship</i>	3
2.4 Rute Pelayaran NTT – DKI Jakarta	3
2.5 Prinsip Mencegah Kerusakan Daging Sapi.....	4
2.6 Pengawetan Daging Sapi	4
2.6.1 Pendinginan	4
2.6.2 Pembekuan.....	5
2.7 Sistem Pendingin	6
2.7.1 Sistem Pendingin Tidak Langsung (Indirect Expansion System).....	6
2.7.2 Refrigeran	7
2.8 Beban Pendingin	8
2.9 Insulasi Termal.....	9
2.10 Persamaan Perhitungan Beban Pendingin.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Analisis Desain Reefer Ship	15
3.2 Perencanaan Kebutuhan Sistem Pendingin dan Insulasinya	17
3.3 Analisis Kesesuaian Sistem dalam Ruang Muat	17
3.4 Metodologi Penelitian.....	17
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Rencana Garis	21
4.2 Data Utama Kapal.....	21
4.3 Rencana Umum.....	22
4.4 Ruang Muat.....	22
4.5 Gambar Ruang Muat.....	23
4.6 Perhitungan Luasan Ruang Muat	24
4.7 Perhitungan Volume Ruang Muat Kapal	30
4.8 Perencanaan Insulasi Ruang Muat	32
4.9 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas (U)	34
4.10 Perhitungan Beban Pendingin.....	37

4.10.1 Beban Produk.....	37
4.10.2 Beban Transmisi	42
4.10.3 Beban Radiasi	47
4.10.4 Beban Infiltrasi	48
4.10.5 Beban Internal.....	52
4.10.6 Kapasitas Beban Pendinginan Keseluruhan	52
4.11 Perencanaan Sistem Pendingin Kapal.....	55
4.11.1 Perencanaan Zona Ruang Pendingin	56
4.11.2 Perencanaan Perpipaan Sistem Pendingin	58
4.11.3 Perencanaan Peletakkan Komponen Sistem Pendingin	58
4.12 Memilih Peralatan Sistem Pendingin Tidak langsung	58
4.12.1 Refrigeran Kedua.....	59
4.12.2 Air Cooler	60
4.12.3 Brine Pump	61
4.12.5 Brine Chiller	66
4.12.5 Kondenser Cooler Pump.....	67
4.13 Desain Sistem Pendingin Tidak Langsung (Indirect Expansion System	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Metode Pendinginan Karkas / Daging Sapi	5
Tabel 2 2 Masa Simpan Karkas / Daging Sapi Dingin	5
Tabel 2 3 Masa Simpan Karkas / Daging Sapi Beku	6
Tabel 2 4 Temperatur Beku Refrigeran Kedua	8
Tabel 2 5 <i>Materials Used in Cold Storage Wall (1)</i>	10
Tabel 2 6 <i>Materials Used In Cold Storage Wall (2)</i>	11
Tabel 2 7 Konduktansi Termal Metal	12
Tabel 4.1 Luas Dinding Samping Ruang Muat 3.....	25
Tabel 4.2 Luas Dinding Samping Ruang Muat 2.....	25
Tabel 4.3 Luas Dinding Samping Ruang Muat 1.....	25
Tabel 4.4 Luas Dinding Samping Keseluruhan Ruang Muat	26
Tabel 4.5 Luas Dinding Sekat Frame 31	26
Tabel 4.6 Luas Sekat Frame 59	26
Tabel 4.7 Luas Sekat Frame 88	27
Tabel 4.8 Luas Sekat Frame 115	27
Tabel 4.9 Luas Dinding Atas Ruang Muat 3	27
Tabel 4.10 Luas Dinding Atas Ruang Muat 2	28
Tabel 4.11 Luas Dinding Atas Ruang Muat 1	28
Tabel 4.12 Luas Keseluruhan Dinding Atas Ruang Muat	28
Tabel 4.13 Luas Dinding Bawah Ruang Muat 3.....	29
Tabel 4.14 Luas Dinding Bawah Ruang Muat 2.....	29
Tabel 4.15 Luas Dinding Bawah Ruang Muat 1.....	29
Tabel 4.16 Luas keseluruhan Dinding Bawah Ruang Muat	30
Tabel 4.17 Luas Keseluruhan Dinding Ruang Muat.....	30
Tabel 4.18 Volume Ruang Muat 3.....	31
Tabel 4.19 Volume Ruang Muat 2.....	31
Tabel 4.20 Volume Ruang Muat 1.....	31
Tabel 4.21 Volume Ruang Muat Keseluruhan.....	32
Tabel 4.22 Ketebalan Minimum Insulasi.....	32
Tabel 4.23 Nilai Koefisien Sekat.....	34
Tabel 4.24 Nilai Koefisien Sekat Antara Ruang Muat	35
Tabel 4.25 Koefisien Dinding Samping (Lambung).....	35
Tabel 4.26 Koefisien Dinding Atas (Geladak).....	36
Tabel 4.27 Koefisien Dinding Bawah (Tank Top)	36
Tabel 4.28 Nilai Koefisien Perpindahan Panas (U)	37
Tabel 4.29 Karakteristik Muatan Daging Sapi.....	38
Tabel 4.30 Distribusi Muatan	38
Tabel 4.31 Lama Waktu Pendinginan.....	39
Tabel 4.32 Beban Produk Keseluruhan	42
Tabel 4.33 Beban Transmisi Keseluruhan	46
Tabel 4.34 Temperatur Efektif Matahari	47
Tabel 4.35 Beban Radiasi Keseluruhan	48
Tabel 4.36 Volume Ruang Muat Keseluruhan.....	48
Tabel 4.37 Rata-rata Air Chnge 24h untuk Ruang Pendingin karena Infiltrasi	49
Tabel 4.38 Panas yang Keluar dari Udara Dingin sampai Temperatur Pendinginan (Btu/ft ²).....	49
Tabel 4.39 Beban Infiltrasi Keseluruhan	52

Tabel 4.40 Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 1	53
Tabel 4.41 Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 2	53
Tabel 4.42 Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 3	53
Tabel 4.43 Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 1	54
Tabel 4.44 Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 2	54
Tabel 4.45 Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 3	54
Tabel 4.46 Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 1	55
Tabel 4.47 Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 2	55
Tabel 4.48 Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 3	55
Tabel 4.49 Total Cooling Load Pulldown Tiap Zona	57
Tabel 4.50 Cooling Load Holding Tiap Zona	58
Tabel 4.51 Properti Propylene Glycol	59
Tabel 4.52 Air Change Ruang Muat Keseluruhan	60
Tabel 4.53 Spesifikasi Air Cooler	61
Tabel 4.54 Flow Rate Refrigeran Kedua	62
Tabel 4.55 Fitting Suction Pompa Brine	63
Tabel 4.56 Fitting Discharge Pompa Brine	65
Tabel 4.57 Spesifikasi Pompa Brine	66
Tabel 4.58 Spesifikasi Chiller	67
Tabel 4.59 Flow rate cooler condenser	68
Tabel 4.60 Fiting Suction Pompa Cooler Kondenser	69
Tabel 4.61 Fitting Discharge Pompa Cooler Kondenser	71
Tabel 4.62 Spesifikasi Pompa Cooler Kondensor	72
Tabel 4.63 Tabel Flow Rate Refrigeran Kedua Setiap Zona	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Pendingin Langsung (DX System).....	6
Gambar 2.2 Sistem Pendingin Tidak Langsung (Indirect Expansion system).....	6
Gambar 3.1 Lines Plan	15
Gambar 3.2 General Arrangement	16
Gambar 3.3 Pembagian Peletakkan Muatan di Kapal.....	16
Gambar 3.4 3D Susunan Pallet	17
Gambar 3.5 Flow Chart Metodologi Penelitian	18
Gambar 4.1 Rencana Garis	21
Gambar 4.2 Rencana Umum.....	22
Gambar 4.3 Penampang Melintang Ruang Muat Kapal	23
Gambar 4.4 Distribusi Ruang Muat Kapal	23
Gambar 4.5 Ruang Muat 3.....	24
Gambar 4.6 Ruang Muat 2.....	24
Gambar 4.7 Ruang Muat 1.....	24
Gambar 4.8 Skema Insulasi	33
Gambar 4.9 Detail Insulasi	34
Gambar 4.10 Pembagian Zona.....	57
Gambar 4.11 Diagram Moody Pompa Brine Suction	63
Gambar 4.12 Diagram Moody Pompa Brine Discharge	64
Gambar 4.13 Diagram Pompa DESMI	65
Gambar 4.14 Diagram Moody Condenser Suction	69
Gambar 4.15 Diagram Moody Condenser Discharge	70
Gambar 4.16 Diagram Pompa DESMI	71
Gambar 4.17 Drawing Refrigeration Indirect Expansion System.....	73

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mayoritas penduduk Indonesia berada di Pulau Jawa dan jumlahnya terus meningkat, oleh karena itu tidak memungkinkan membangun lahan peternakan dengan jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan daging, terutama daging sapi, khususnya di daerah Provinsi DKI Jakarta dan sekitarnya. Hal ini membuat harga daging sapi semakin mahal. Oleh karena itu, pemerintah terus berupaya memenuhi permintaan daging sapi dari luar pulau Jawa, salah satunya dengan menggunakan sarana pengangkutan transportasi melalui laut untuk menekan harga daging sapi di pasaran .

Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan provinsi penghasil sapi potong terbaik dan terbesar keempat di Indonesia, setelah Jawa Timur, Jawa Tengah dan Sulawesi Selatan. (Prakoso, 2014). Kelangkaan daging sapi di DKI Jakarta dan sekitarnya masih terjadi karena tersendatnya *supply* daging sapi sebagai akibat dari sarana transportasi laut yang dapat menghubungkan antara NTT dengan DKI Jakarta dan sekitarnya sangat kurang. Kapal ternak pengangkut sapi hidup saat ini kurang efisien dan tidak ekonomis, dikarenakan selain harus mengkarantina sapi-sapi terlebih dahulu untuk memastikan kesehatan dari sapi yang akan dikirim sebelum dimuat di dalam kapal dan sesudah diangkut kapal, perlu disediakan beberapa ratus ton rumput selama perjalanan, pengkondisian udara dan sanitasi untuk sapi. Perlu dipertimbangkan juga sapi-sapi yang kondisi kesehatannya menurun atau bahkan mati karena *stress* ketika dalam perjalanan laut.

Pada dasarnya berat seekor sapi jauh lebih besar dibanding dengan berat daging sapi itu sendiri. Hal ini menunjukkan bahwa kapal pengangkut daging sapi dapat menghemat ruang lebih banyak dan lebih efisien daripada kapal ternak pengangkut sapi. Secara teknis, tingkat kerusakan yang intensif pada penyimpanan muatan dapat diminimalisir dengan menjaga temperatur dan tingkat kelembapan yang sesuai dengan daging sapi. Oleh karena itu kapal harus dilengkapi sistem pendingin dalam ruang muat yang efektif dan efisien sesuai kebutuhan kapal untuk menjaga temperatur muatan daging sapi sampai tujuan. Sesuai dengan rantai dingin daging sapi, sebelumnya muatan kapal daging sapi telah dikemas dan disimpan dalam cold storage terlebih dahulu sebelum dikirim oleh kapal atau moda transportasi lain menuju tujuan.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini akan memfokuskan terhadap perencanaan sistem pendingin ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) rute Nusa Tenggara Timur (NTT) - Jakarta. Dalam hal ini maka dirumuskan hipotesa sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan insulasi sistem pendingin untuk kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*)?
2. Bagaimana merencanakan sistem pendingin untuk kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*)?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini dimana mengenai perencanaan sistem pendingin ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) rute Nusa Tenggara Timur (NTT) - Jakarta, maka perlu diadakan pembatasan-pembatasan sebagai berikut :

1. Hanya membahas sistem pendingin ruang muat kapal
2. Tidak menghitung analisis ekonomis kapal

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah

1. Merencanakan insulasi sistem pendingin yang sesuai untuk kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*)
2. Merencanakan sistem pendingin untuk kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*)

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir adalah :

1. Alternatif pemenuhan kebutuhan komoditi daging sapi di wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya
2. Mengetahui sistem pendingin yang efektif dan efisien untuk kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cold Chain of Meat

Cold chain of meat atau rantai dingin adalah kesatuan proses dari pemotongan, memasuki proses dingin, pengemasan, disimpan, dikirim dan diangkut. Hal ini membantu untuk mencapai tingkat di mana mikroorganisme tidak tumbuh. Jika kontrol rantai dingin tidak sesuai maka, keamanan daging, kualitas dan kebersihan akan tidak layak. Ada tiga bidang fokus utama dalam manajemen rantai dingin antara lain adalah suhu, aliran proses dan kontrol kontaminasi. Dalam hal ini berfokus pada kontrol kelembaban dan suhunya.

Karkas atau daging dari hasil pemotongan umumnya mempunyai temperatur yang tinggi, yaitu sekitar 39°C. Hal ini harus segera diturunkan untuk menghindarkan perubahan-perubahan yang menyebabkan terjadinya kerusakan daging, oleh karena itu karkas harus segera disimpan dalam ruang pendingin. Sebelum daging dimasukkan kapal telah disimpan dalam cold storage di pelabuhan yang selanjutnya akan dimuat di kapal.

2.2 Reefer Ship

Kapal yang dibangun terutama untuk pengangkutan kargo kering berpendingin dapat diberikan notasi kelas *Reefer* (...°C/...°C sea) (suhu ruang terendah/ suhu air laut maksimum) (DNV 2014 Part 5 Chapter 10 Sec.1). Pada dasarnya fungsi dari *Refrigeration ship* atau *reefer ship* adalah untuk mempertahankan suhu muatan tetap stabil pada temperatur dan kelembaban tertentu. Pada kapal ini terdapat ruang muat yang diberi insulasi atau suatu lapisan tambahan dengan bahan material yang dapat menjaga temperatur di dalam ruang muat agar muatan tidak terpengaruh oleh temperatur di luar kapal. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem control terintegrasi beserta generator dengan daya yang umumnya lebih tinggi agar dapat memenuhi kebutuhan sistem kelistrikan dan sistem pendinginan muatan pada kapal.

Terdapat 3 jenis *reefer ship* yang saat ini beroperasi berdasarkan muatan dan fasilitas yang dimiliki. Jenis *reefer ship* yaitu, *side-door vessels* untuk kapal dengan pintu kedap air di bagian lambung, *conventional vessels* membawa muatan kargo, *refrigerated container ships* memuat peti kemas. (Prihutomo, 2015)

2.3 Rules of Reefer Ship

Rules atau aturan tentang pembangunan kapal menggunakan semua instalasi permesinan pendingin serta *outfitting* lambung di kapal kargo Indonesia adalah *Rules* BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) Part 1. Volume VIII *Rules for refrigeration* tahun 2014. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain sistem pendingin pada kapal yang merujuk pada *Rules* BKI terkait dengan konstruksi dan permesinan maupun perpipaannya.

2.4 Rute Pelayaran NTT – DKI Jakarta

Kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) membawa muatan daging sapi yang telah dipotong, dipacking, dan didinginkan terlebih dahulu di *cold storage*. Selanjutnya muatan dikirim dari Pelabuhan Tenau, Kupang, Nusa Tenggara Timur menuju Pelabuhan Tanjung Priok, DKI Jakarta. Jarak dari Pelabuhan Tenau menuju ke Tanjung Priok di DKI Jakarta adalah 1082 mil laut. Dengan kecepatan dinas 12 knots, waktu yang dibutuhkan

kapal berlayar (*sea time*) adalah 90,2 Jam. Waktu yang dibutuhkan kapal selama berada di dalam pelabuhan (*port time*) adalah 75 Jam. *Port time* terdiri dari waktu menuju lokasi penambatan (*approach time*), waktu tunda karena kerusakan kapal atau administrasi, maupun cuaca buruk (*postpone time*), waktu bongkar-muat di pelabuhan (*effective time*), waktu istirahat dan menunggu pelepasan tambat (*not operating time*). Total waktu (*roundtrip time*) yang dibutuhkan oleh kapal mulai berangkat dari Pelabuhan Tenau hingga kembali lagi ke Pelabuhan Tenau dan ditambah dengan *port time* adalah 255,4 Jam atau setara 10,6 hari. (Prakoso, 2014)

2.5 Prinsip Mencegah Kerusakan Daging Sapi

Lama pelayuan daging sebelum dibekukan akan meningkatkan jumlah cairan daging segar (*weep*) dan cairan daging beku (*drip*) yang keluar pada saat pencairan kembali (*thawing*), yang akan menyebabkan terjadinya penurunan kandungan gizi daging karena sebagian zat-zat dalam daging ikut terlarut dalam *drip*. Lama pelayuan daging berhubungan dengan selesainya proses *rigormortis* (proses kekakuan daging), apabila proses *rigormortis* belum selesai dan daging terlanjur dibekukan maka akan menurunkan kualitas daging atau daging mengalami proses *coldshortening* (pengkerutan dingin) ataupun *thaw rigor* (kekakuan akibat pencairan daging) sehingga pada saat *thawing* akan dihasilkan daging yang tidak empuk/alot.

Produk daging beku merupakan suatu alternatif pilihan pengawetan daging supaya tahan lama, karena selain proses kerusakan daging dapat terhambat juga proses pembekuan tidak merubah daging ke bentuk olahan yang lain, sehingga ketersediaan daging segar dapat terjamin. Pembekuan daging adalah salah satu cara dari pengawetan daging yaitu dengan membekukan daging di bawah titik beku cairan yang terdapat di dalam daging, titik beku daging pada temperatur -20°C s/d -30°C . Temperatur pembekuan yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan pembekuan cairan kristal es yang lembut (halus) yang terletak dalam jaringan daging. Daging yang membeku dengan cepat akan menghasilkan *drip* yang lebih sedikit pada saat *thawing* sehingga penurunan gizi daging dapat dicegah.

Penggunaan bahan pengemas dalam pembekuan daging mencegah terjadinya gosong beku (*Freezer burn*) yang dapat menyebabkan perubahan flavor, warna, tekstur dan penampakan daging beku yang tidak menarik, selain itu pengemas dapat mengurangi terjadinya desikasi, dehidrasi dan oksidasi lemak, sehingga kualitas daging beku dapat dipertahankan. Plastik polietilen (PE), plastik polipropilen (PP) dan aluminium foil dapat digunakan sebagai bahan pengemas.

2.6 Pengawetan Daging Sapi

2.6.1 Pendinginan

Pendinginan daging dilakukan untuk menurunkan suhu karkas/daging menjadi di bawah $+7^{\circ}\text{C}$ dan di atas titik beku daging ($-1,5^{\circ}\text{C}$). Tujuan pendinginan daging adalah untuk mempertahankan kesegaran daging, memperpanjang masa simpan daging, memberikan bentuk atau tekstur daging yang lebih baik, dan mengurangi kehilangan bobot daging. Dengan pendinginan, maka pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat pada daging akan dihambat, serta aktivitas enzim-enzim dalam daging dan reaksi-reaksi kimia juga akan dihambat.

Metode pendinginan karkas/daging sapi yang saat ini umum dilaksanakan adalah pendinginan cepat (*quick chilling*) yang menggunakan suhu ruang pendingin -1°C

sampai +1 °C, kelembaban 85 - 90%, kecepatan udara 1 - 4 m/detik dan lama pendinginan (untuk mencapai suhu internal daging $\leq +7$ °C) 24 - 36 jam. Stimulasi listrik adalah pemberian aliran listrik pada karkas setelah pengeluaran darah. Tujuan stimulasi listrik ini adalah membantu pengeluaran darah dan mempercepat terjadinya rigor mortis.

Tabel 2 1 Metode Pendinginan Karkas / Daging Sapi

Metode	Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Kecepatan Udara (m/detik)	Waktu (jam)
Cepat (+SL)	-1 s/d +1	85 - 90	1 - 4	24 - 36
Sangat Cepat (+SL)	-5	90	1 - 4	2

Keterangan: SL = Stimulasi listrik (penerapan stimulasi listrik pada proses pemotongan)

Tabel 2 2 Masa Simpan Karkas / Daging Sapi Dingin

Jenis	Suhu Pendingin (<i>Chiller</i>)	
	-1 °C sampai 0 °C (RH 85-90%)	+2 °C sampai +4 °C (RH 80-85%)
Daging sapi tanpa kemasan vakum	3 - 4 minggu	≤ 2 minggu
Daging sapi dengan kemasan vakum	$\langle \rangle$	-

Keterangan: RH = Relatif Humidity (Kelembaban Relatif)

2.6.2 Pembekuan

Pembekuan daging diperoleh dengan menurunkan suhu daging di bawah titik beku daging ($< -1,5$ °C). Pembekuan bertujuan untuk memperpanjang masa simpan daging tanpa mengubah susunan kimiawi daging.

Pembekuan yang baik diperoleh dengan menurunkan suhu bagian dalam daging minimum sampai -12 °C. Saat ini pembekuan daging sapi diperoleh dengan membekukan daging pada suhu udara -25 °C sampai -45 °C dengan kecepatan udara antara 2 sampai 9 meter per detik. Sebelumnya daging tersebut harus didinginkan hingga suhu bagian dalam daging mencapai +10 °C. Sedangkan pada pembekuan cepat (*deep frozen*) menggunakan *blast freezer* diterapkan suhu ruang ≤ -18 °C dengan kecepatan udara > 1 cm per jam.

Kecepatan proses pembekuan didasarkan atas kecepatan udara di dalam ruang pembeku yang dinyatakan dalam cm per jam. Berdasarkan kecepatan pembekuan tersebut, maka proses pembekuan dibagi menjadi tiga, yaitu:

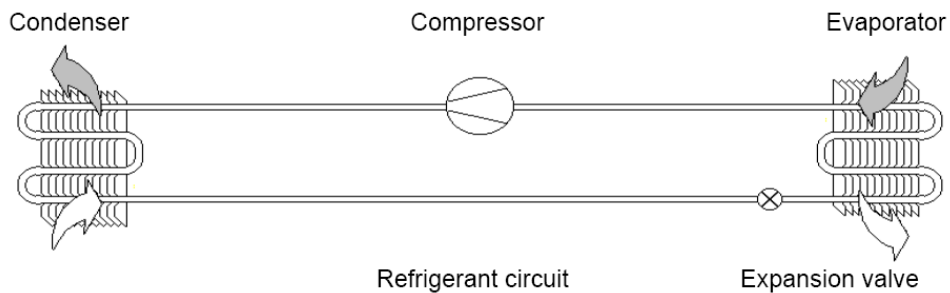
1. Pembekuan lambat: kecepatan udara 0,1 - 0,2 cm/jam
2. Pembekuan cepat: kecepatan udara 0,5 - 3,0 cm/jam
3. Pembekuan ultra cepat: kecepatan udara 5,0 cm/jam.

Tabel 2.3 Masa Simpan Karkas / Daging Sapi Beku

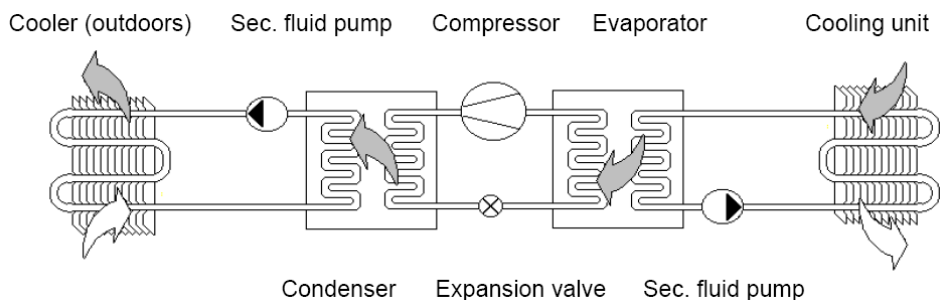
Jenis Daging	Suhu <i>Cold Storage</i>	
	-20 °C	-30 °C
Daging (potongan)	≤ 12 bulan	≤ 24 bulan
Karkas seperempat	6 – 18 bulan	-

2.7 Sistem Pendingin

Secara umum sistem pendingin atau refrigerasi adalah sistem yang bertujuan untuk mencegah pembusukan produk dengan menyerap panas sebagai penyebab pembusukan dengan peralatan permesinan pendingin. Sistem pendingin dibagi menjadi dua yaitu sistem pendingin langsung dan tidak langsung. Sistem pendingin langsung adalah sistem dengan ekspansi langsung atau *Direct Expansion (DX)*, dimana refrigeran digunakan untuk secara langsung mengangkut panas dari tempat yang akan didinginkan ke tempat di mana panas dilepaskan. Sistem pendinginan tidak langsung (*Indirect Expansion System*) adalah sistem pendinginan yang dibagi dalam dua sistem. Sistem aliran refrigeran utama dan satu atau dua sistem aliran refrigeran kedua, satu di sisi evaporator (dingin) dan satu di (hangat) sisi kondensor. Selain komponen sistem pendingin langsung, ada refrigeran kedua, penukar panas, tabung dan pompa sirkulasi untuk aliran refrigeran kedua ini



Gambar 2.1 Sistem Pendingin Langsung (DX System)



Gambar 2.2 Sistem Pendingin Tidak Langsung (Indirect Expansion system)

2.7.1 Sistem Pendingin Tidak Langsung (Indirect Expansion System)

Sistem pendingin tidak langsung (indirect expansion system) adalah salah satu jenis sistem pendinginan dimana digunakannya media refrigeran sekunder sebagai media transfer energi kalor dari evaporator ke ruangan produk yang didinginkan.

Jika dibandingkan sistem pendingin langsung (DX system) dengan sistem pendingin tidak langsung (*Indirect expansion system*) memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Penggunaan refrigeran utama yang lebih sedikit
2. Lebih meratanya proses pendinginan terhadap produk
3. Ramah lingkungan karena menggunakan refrigeran sekunder untuk mendinginkan produk
4. Sistem lebih kompak karena mesin pendingin utama mendinginkan refrigeran kedua yang selanjutnya mendinginkan produk

Adapun kerugian sistem pendingin tidak langsung (*Indirect expansion system*) sebagai berikut:

1. Kenaikan biaya untuk refrigeran sekunder, pompa, tabung, dan penukar panas ekstra untuk refrigeran sekunder
2. Sistem tidak langsung juga membutuhkan pompa ekstra dan kerja pompa ekstra untuk kebutuhan refrigeran sekunder yang akan dipompa ke berbagai ruangan yang pendingin yang didinginkan.

2.7.2 Refrigeran

Refrigeran adalah suatu fluida yang digunakan sebagai media penukar kalor pada sistem refrigerasi, dimana refrigerant ini dapat mengalami perubahan fasa, yaitu fasa cair maupun uap. Secara umum refrigeran dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu:

- Primer, yaitu refrigeran yang dipakai dalam sistem kompresi uap dan mengalami perubahan fasa selama proses refrigerasinya.
- Sekunder, yaitu fluida yang membawa kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator pada sistem refrigerasi. Refrigeran sekunder mengalami perubahan suhu bila menyerap kalor dan membebaskannya pada evaporator, tetapi tidak mengalami perubahan fase.

Beberapa persyaratan untuk refrigeran yang baik yaitu :

1. Tidak beracun, tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak dapat terbakar atau terbakar sendiri, juga bila bercampur dengan udara.
3. Tidak mempunyai daya korosi terhadap logam yang dipakai.
4. Bila terjadi kebocoran mudah diketahui.
5. Harganya murah.

Tabel 2 4 Temperatur Beku Refrigeran Kedua

Description	Concentration as Freezing Temperature Of : (%)		
	-15 °F	-30 °F	-40 °F
Ethylene Glycol/Water	30,5	45,5	52,8
Propylene Glycol/Water	33	48	54
Ethyl Alcohol/Water	24,5	40,9	53,1
Methyl Alcohol/Water	20	33,6	41
Glycerol/Water	39,5	56	63
Ammonia/Water	10,8	17,7	21,1
Potassium Carbonat/Water	27	36,6	-
Calcium Chloride/Water	17,9	25,4	28,3
Magnesium Chloride/Water	14	20,5	-
Sodium Chloride/Water	18,8	-	-
Potassium Acetat/Water	24	34	39
Potassium Formate/Water	24	36	41

2.8 Beban Pendingin

Beban pendingin adalah jumlah kalor total (sensibel dan laten) yang terdapat dalam ruangan dan harus dibuang untuk mencapai kondisi udara dalam ruangan yang diinginkan. Kalor sensibel adalah kalor yang dihasilkan dari sebuah sumber sehingga menyebabkan kenaikan suhu. Sedangkan kalor laten adalah kalor yang dihasilkan oleh sebuah benda yang menyebabkan perubahan fasa tetapi tidak terjadi kenaikan suhu.

Beban pendingin pada sistem refrigerasi antara lain (Krisnafi, 2009):

1. Beban Produk yaitu beban kalor yang dilepaskan oleh produk selama proses pendinginan/pembekuan dan penyimpanan.
2. Beban Infiltrasi yaitu beban kalor yang ditimbulkan karena perembesan udara kedalam ruang pendingin akibat adanya celah-celah seperti pada saat membuka pintu ruangan.
3. Beban Internal yaitu beban kalor yang disebabkan oleh panas yang keluar dari peralatan-peralatan listrik di dalam ruangan, termasuk panas dari beban pekerja.
4. Beban Transmisi yaitu beban kalor yang diakibatkan oleh panas yang ditransmisikan ke dalam ruang pendingin karena adanya perbedaan temperatur serta pengaruh penyinaran matahari.

Beberapa faktor yang menentukan beban pendingin adalah (Krisnafi, 2009):

1. Ukuran dari *cold storage* sendiri
2. Tipe dari produk yang didinginkan
3. Temperatur dari produk ketika dimasukkan ke dalam *cold storage*
4. Temperatur optimum *cold storage* yang dipakai untuk mendinginkan produk
5. Letak atau lokasi daripada *cold storage*
6. Karakteristik peralatan pendingin
7. Penggunaan manajemen praktis untuk mengoperasikan *cold storage*.

Beban pendingin pada peralatan pendingin tidak hanya dihasilkan dari satu sumber panas. Itu adalah jumlah panas yang biasa bertambah dari beberapa sumber panas berbeda. Beberapa sumber panas umumnya dihasilkan beban peralatan pendingin, antara lain (Dossat, 1997):

1. Panas yang masuk ruang pendingin dari luar dengan konduksi melalui dinding yang diisolasi
2. Panas yang masuk ruangan secara langsung dari radiasi melalui kaca atau material lain yang transparan
3. Panas yang masuk ke ruangan dari udara panas melalui bukaan pintu atau celah disekitar jendela dan pintu
4. Panas dari produk ketika temperatur produk diturunkan ke temperatur yang diinginkan
5. Panas dari orang yang berkaktifitas di dalam ruang pendingin
6. Panas dari peralatan yang ada di dalam ruang pendingin seperti motor listrik, lampu-lampu, peralatan elektronik, tabel uap, dan peralatan handling.

2.9 Insulasi Termal

Bahan isolasi termal, biasanya dalam bentuk papan, lembaran, blok, film, atau selimut, menghambat laju perpindahan panas konduktif, konvektif, dan radiatif. Mereka digunakan dalam menyelimuti bangunan atau diaplikasikan di atas permukaan peralatan, pipa, atau membutuhkan saluran kerja untuk mencapai manfaat sebagai berikut:

- Menyimpan energi dengan mengurangi kehilangan panas dan pertambahan panas dari lingkungan luar
- Pencegahan kondensasi permukaan dengan meningkatkan suhu permukaan di atas titik embun dari udara ambien
- Pengurangan perbedaan suhu antara permukaan dalam dan udara ruang
- Perlindungan muatan dari cedera akibat kontak

Tabel 2 5 *Materials Used in Cold Storage Wall (1)*

NO.	Description	Conductivity (k) (W/mK)	Conductance (C) (W/m ² K)
*	INSULATING MATERIALS		
2	Board and slabs (papan dan lembaran)		
	Cellular glass	0,05	
	Glass fiber, organic bonded	0,036	
	Expanded perlite, organic bonded	0,052	
	Expanded rubber (rigid)	0,032	
	Expanded polystyrene, extruded (smooth skin surface)	0,029	
	Cellular polyurethane/polyisocyanuratei (CFC-11 exp.) (unfaced)	0,023 - 0,026	
	Cellular phenolic (closed cell) (CFC-11, CFC-113 exp.)	0,017	
2.1	<u>Mineral fiberboard, wet felted</u>		
	Core or roof insulation	0,049	
	Acoustical tile	0,05	
3	Loose Fill		
	Cellulosic insulation (milled paper or wood pulp)	0,039 - 0,046	
	Perlite, expanded.....	0,039 - 0,045	
4	Spray applied		
	Polyurethane Foam	0,023-0,026	
	Ureaformaldehyde foam	0,032 - 0,04	
	Cellulosic fiber	0,042 - 0,049	
	Glass fiber	0,038 - 0,039	

Tabel 2 6 *Materials Used In Cold Storage Wall (2)*

*	SIDING MATERIAL (on flat Surface)		
1	Shingles		
	wood, 400 mm, 190-mm exposure		6,53
	wood, plus insul. Backer board, 8mm		4,03
2	Siding		
	Asphalt insulating siding (12,7 mm bed)		3,92
	Hardboard siding, 11 mm		8,46
	wood, bevel, 19 by 250 mm lapped		5,4
	wood, plywood, 9.5 mm, lapped		9,6
2.1	Aluminium, steel, or vinyl, over sheating		
	hollow-backed		9,31
	9.5mm nominal		3,12
	9.5 mm nominal, foil backed		1,93
NO.	Description	Conductivity (k) (W/mK)	Conductance (C) (W/m ² K)
	FINISH FLOORING MATERIALS		
	Carpet and fibrous pad		2,73
	Carpet and rubber pad		4,6
	Cork tile (3.2 mm)		20,4
	Terrazzo (25mm)		71
	Tile-asphalt, linoleum, vinyl, rubber		113,6
	Wood, hardwood finish (19mm)		8,35

Tabel 2.7 Konduktansi Termal Metal

NO.	Material Logam	Konduktifitas Thermal (k)	
		W/m°C	Btu/h.ft. °F
1.	Perak (murni)	410	237
2.	Tembaga (Murni)	385	223
3.	Aluminium (murni)	202	117
4.	Nikel (murni)	93	54
5.	Besi (murni)	73	42
6.	Baja Karbon, 1% C	43	25
7.	Timbal (murni)	35	20,3
8.	Baja karbon – Nikel, (18% Cr, 8% Ni)	16,3	9,4

2.10 Persamaan Perhitungan Beban Pendingin

Untuk mendapatkan besarnya beban pendinginan pada ruang muat kapal yang selanjutnya akan didinginka, maka dapat menggunakan perumusan di bawah ini:

a Beban Produk

Panas yang dihasilkan/dikeluarkan oleh produk hingga mencapai suhu tertentu.

$$Q_{\text{produk}} = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{\text{lama waktu pendinginan (s)}}$$

Q_{produk} = jumlah panas produk (kW)

m = massa produk (kg)

C = kalor spesifik (kJ/kg°C)

ΔT = perbedaan suhu produk awal dan akhir (°K)

s = lama waktu pendinginan (detik)

b Beban Transmisi

Panas yang masuk melalui dinding, lantai, dan deck akibat perbedaan suhu luar dan ruang kargo kapal (*reefer ship*)

$$Q_{\text{transmisi}} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$Q_{\text{transmisi}}$ = jumlah panas transmisi (Watt)

U = koefisien perpindahan panas (W/(m²·K))

A = luas permukaan (m²)

ΔT = perbedaan suhu produk awal dan akhir (°K)

Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas (U) berkaitan erat dengan material insulasi yang digunakan seperti pada tabel 2.5, 2.6 dan 2.7.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} + \frac{1}{h_o}}$$

U = koefisien perpindahan panas ($W/(m^2 \cdot K)$)
 x = tebal dinding insulasi (m)
 k = konduktifitas termal material (W/mK)
 h_i = konduktansi permukaan dalam (W/m^2K)
 h_o = konduktansi permukaan luar (W/m^2K)

c Beban Radiasi

Panas dari penyinaran matahari langsung ke permukaan penutup palkah dan deck.

$$Q_{\text{radiasi}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Q_{radiasi} = jumlah panas radiasi (Watt)
 ϵ = emisivitas benda
 σ = k Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} (W/m^2K^4)$)
 T = temperatur ($^{\circ}C$)

d Beban Infiltrasi

Panas dari perembesan udara luar masuk ke dalam ruang berpendingin adalah penambahan panas tambahan dan disebabkan oleh lubang palkah, bukaan pintu, dan kebocoran dari sumber infiltrasi udara lainnya.

$$Q_{\text{infiltrasi}} = V \cdot \text{Air Change} \cdot \text{Panas udara}$$

$Q_{\text{infiltrasi}}$ = jumlah panas infiltrasi (Btu)
 V = volume ruang pendingin (ft^3)
 Air Change = rata-rata pertukaran udara per 24 jam
 Panas Udara = panas udara per satuan volume (Btu/ft^3)

e Beban Internal

Panas internal bersumber dari panas yang dihasilkan oleh manusia yang bekerja di dalam ruangan pendingin, lampu, motor listrik, dan peralatan lain yang berada di dalam ruang pendingin.

- Panas oleh lampu

$$Q_{\text{lighting}} = 3,41 \cdot W \cdot Ful \cdot Fsa$$

Q_{lighting} = panas dari lampu (Btu/h)
 W = total watt cahaya
 Ful = faktor penggunaan lampu
 Fsa = faktor khusus pencahayaan lampu
 3,41 = faktor konversi

- Panas oleh motor listrik

$$Q_{\text{motor}} = 2545 \cdot P/Em \cdot Fum \cdot Flm$$

Q_{motor}	= panas dari motor listrik (Btu/h)
P	= daya motor (hp)
E_m	= efisiensi motor
F_{um}	= faktor penggunaan motor
F_{lm}	= load factor motor
2545	= faktor konversi (Btu/h.hp)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

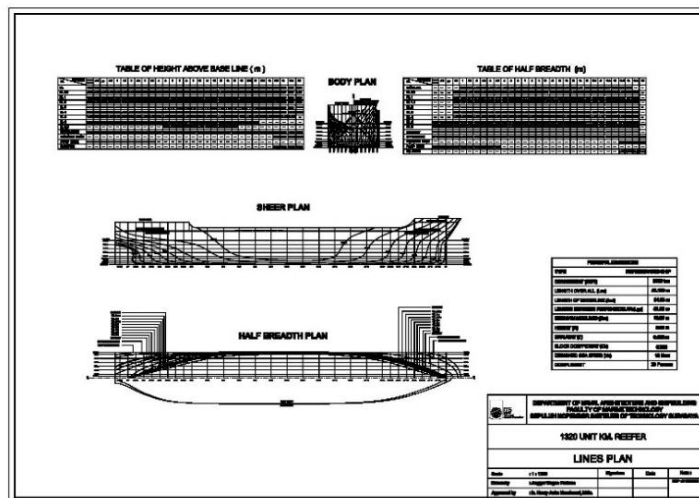
Proses pengerjaan tugas akhir ini dilakukan melalui tiga tahap utama yaitu tahap pertama menganalisis desain kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*), tahap kedua menentukan kebutuhan sisem pendingin sesuai dan insulasinya sesuai kebutuhan ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*), tahap terakhir adalah melakukan analisis kesesuaian perencanaan sistem pendingin dan insulasinya dengan kapal maupun regulasi yang ada.

3.1 Analisis Desain Reefer Ship

Menganalisis desain kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) sebagai acuan desain perencanaan sistem pendingin dan insulasi ruang muat kapal sebagai berikut:

1. Lines Plan

Lines plan atau rencana garis adalah desain garis saling terkait karena setiap garis mewakili bentuk tiga dimensi yang sama. keterkaitan ini digunakan dalam fairing manual dari bentuk lambung kapal dalam hal ini bentuk ruang muat kapal.

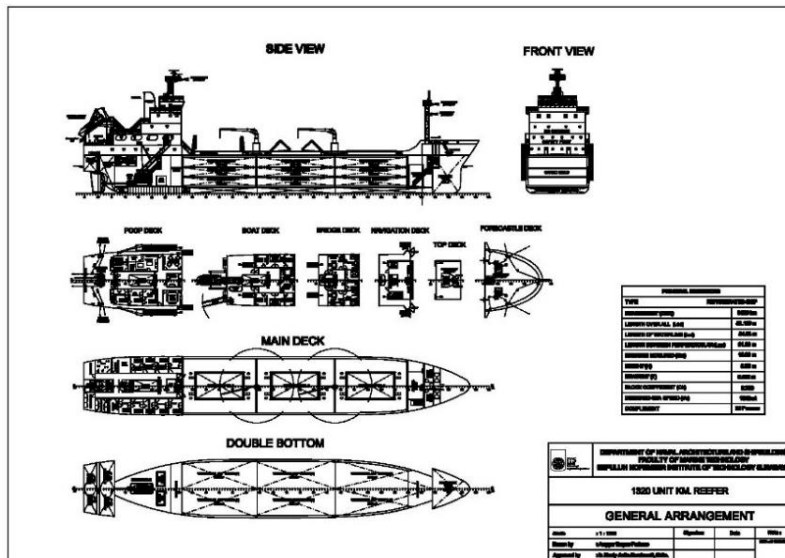


Gambar 3.1 Lines Plan

2. Data Utama Kapal:

Length Overall (Loa)	: 89,15 Meter
Length Waterline (Lwl)	: 84,24 Meter
Length Between Perpendicular (Lpp)	: 81,00 Meter
Breadth Moulded (B)	: 13,00 Meter
Draught (D)	: 6,105 Meter
Height (H)	: 8,500 Meter
Service Speed (Vs)	: 12 Knots
Gross Tonnage	: 2311,253 Ton
Dead Weight Tonnage	: 3153 Ton
Payload	: 2705 Ton

3. Rencana Umum

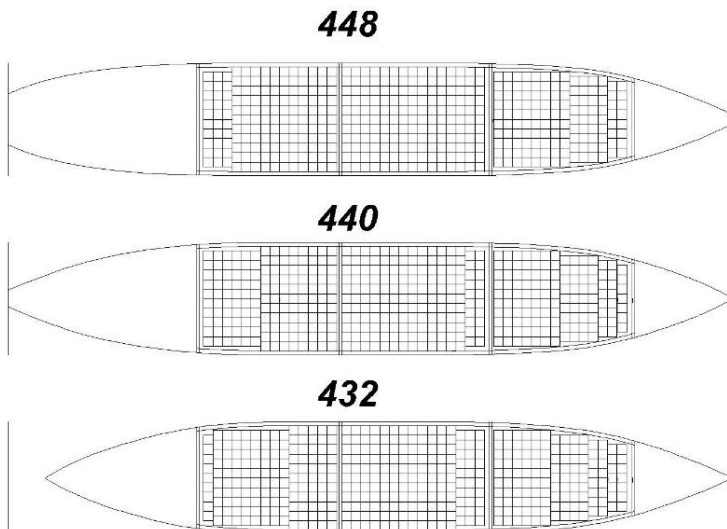


Gambar 3.2 General Arrangement

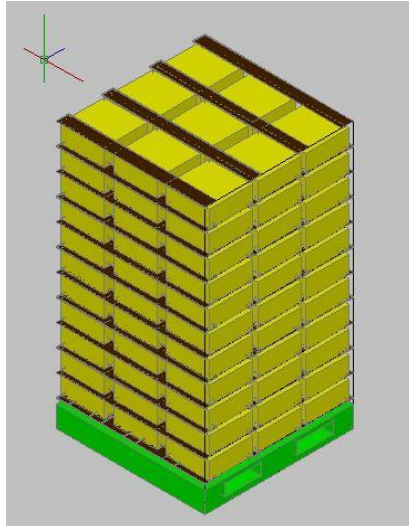
4. Ruang Muat

Berikut adalah data kapasitas muatan pada ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi:

Daging Sapi telah dipotong dengan ukuran 320 x 320 x 130. Payload kapal 2705 Ton atau setara 1320 unit pallet Ukuran masing-masing pallet adalah 1100 x 1100 x 155. Ruang muat dibagi menjadi 3 deck dibatasi dengan *pontoon* yang fleksibel dapat dilepas dan dipasang ketika proses bongkar muat kapal.



Gambar 3.3 Pembagian Peletakkan Muatan di Kapal



Gambar 3.4 3D Susunan Pallet

3.2 Perencanaan Kebutuhan Sistem Pendingin dan Insulasinya

Perencanaan sistem pendingin dan insulasinya dilakukan dengan cara sebagai berikut:

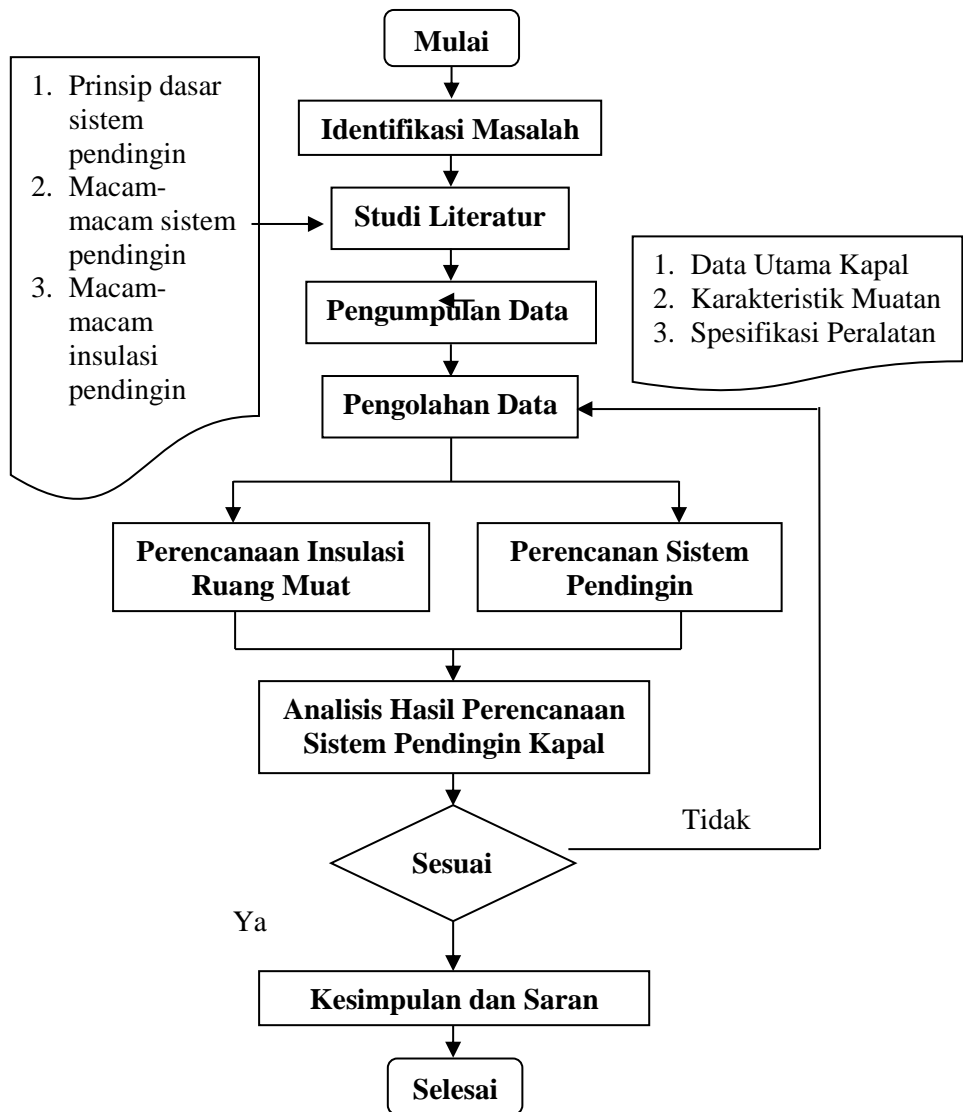
- Merancang desain insulasi ruang muat sesuai kebutuhan yang efektif.
- Menghitung beban panas dalam ruang muat untuk mengetahui kebutuhan total beban pendingin tiap ruang muat. Parameter yang dicari adalah beban produk, beban transmisi, beban infiltrasi, dan beban radiasi.
- Menghitung kapasitas beban yang dibutuhkan peralatan pendingin sesuai kebutuhan total beban pendingin tiap ruang muat kapal

3.3 Analisis Kesesuaian Sistem dalam Ruang Muat

Dilakukan analisa dari hasil pengerjaan tugas akhir. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui apakah desain yang dirancang sesuai dengan yang diinginkan yaitu mampu mempertahankan kondisi di ruang muat daging sapi tersebut. Kesesuaian kondisi ruang muat ditentukan dengan mempertimbangkan parameter beban panas dan insulasinya serta kemampuan peralatan pendinginan ruang muat berdasarkan *Rules* BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) Part 1. Volume VIII *Rules for refrigeration* tahun 2014.

3.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah suatu kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan atau urutan untuk menyelesaikan masalah yang akan dipecahkan ataupun dianalisis. Penulisan metodologi ini mencakup semua pengerjaan maupun langkah-langkah yang akan dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Berikut flow chart metodologi penelitian dan penjelasan secara terperinci setiap pengerjaan maupun langkah-langkah pada tugas akhir ini sebagai berikut:



Gambar 3.5 Flow Chart Metodologi Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Untuk menyelesaikan masalah yang telah diuraikan di atas maka di gunakan metode dengan melakukan penghitungan dan perencanaan sistem pendingin. dianalisa untuk menentukan kelayakan sistem pendingin yang diterapkan pada kapal.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperdalam pengetahuan dan pemahaman yang menunjang untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Selain itu sebagai sumber data atau referensi pendukung yang berkaitan dengan permasalahan pada tugas akhir meliputi buku diktat, teori, jurnal, thesis, laporan hasil penelitian, maupun tugas akhir sebelumnya yang berkaitan dengan masalah pada tugas akhir ini.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data penunjang yang mendukung dalam permasalahan seperti, data dimensi kapal, lines plan, dan rencana umum (*general arrangement*). Karakteristik muatan dan packagingnya yang diawetkan dengan sistem pendingin. Spesifikasi komponen sistem pendingin sesuai kebutuhan sistem.

4. Pengolahan Data

Data yang didapatkan selanjutnya diolah untuk diformulasikan menjadi sistem pendingin dan merencanakan sistem pendingin di kapal ikan. Adapun perhitungan yang dilakukan menghitung beban pendingin, kapasitas beban komponen pendingin, dan loses pada sistem pendingin tersebut.

5. Perencanaan Insulasi Ruang Muat

Data-data yang telah didapatkan dipertimbangkan untuk merencanakan sistem pendingin. Hasil yang mungkin didapatkan adalah jenis dan spesifikasi insulasi ruang muat dan tata letak insulasi pada kapal. Data-data penunjang lain juga dimasukkan sebagai pertimbangan.

6. Perencanaan Sistem Pendingin

Data-data yang telah diperhitungan pada sistem pendingin selanjutnya akan dilakukan perencanaan sistem pendingin. Hasil yang mungkin didapatkan adalah spesifikasi komponen pendingin dan tata letak komponen pendingin yang di pilih pada kapal. Data-data penunjang lain juga dimasukkan sebagai pertimbangan lanjutan.

7. Analisis Hasil Perencanaan Sistem Pendingin Kapal

Analisa yang dilakukan dari hasil perencanaan ini dilakukan sebagai evaluasi terhadap perencanaan sistem pendingin berdasarkan standart.. Apabila perencanaan tidak sesuai dengan hipotesa dan standard, maka dilakukan peninjauan ulang pada pengolahan data untuk validasi kembali.

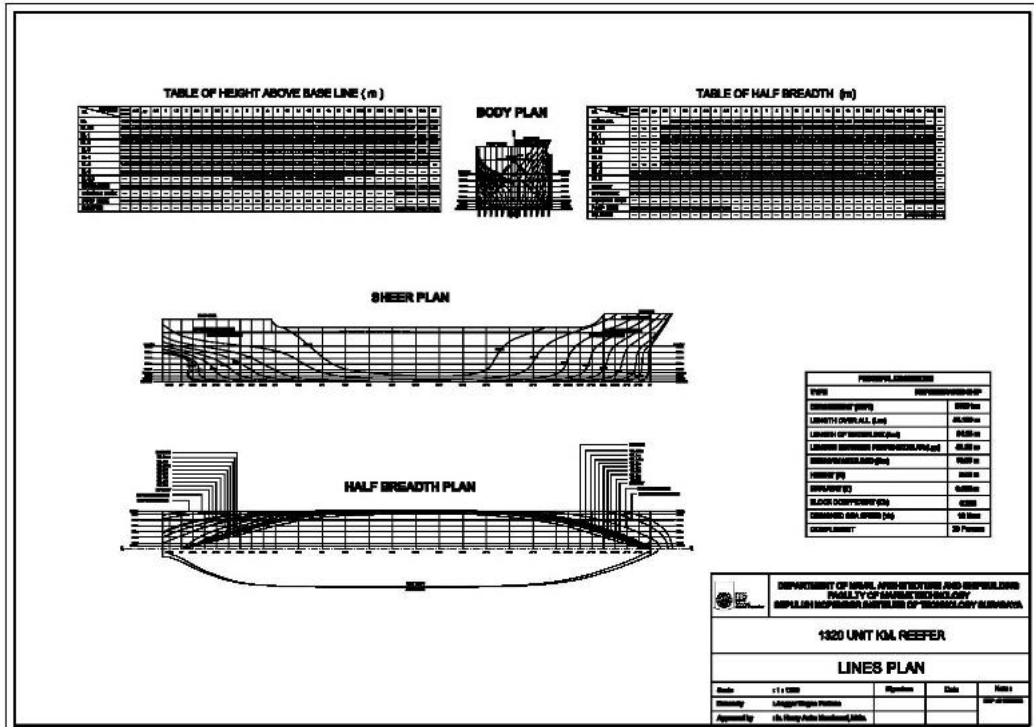
8. Kesimpulan dan saran

Pada sebuah penelitian di butuhkan sebuah kesimpulan dan saran agar pembaca atau peneliti biasa mengetahui hasil dari penelitian yang dilakukan, kemudian kedepannya mungkin juga bisa direncanakan penelitian lebih berkembang lagi atau berhenti di situ saja.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Rencana Garis

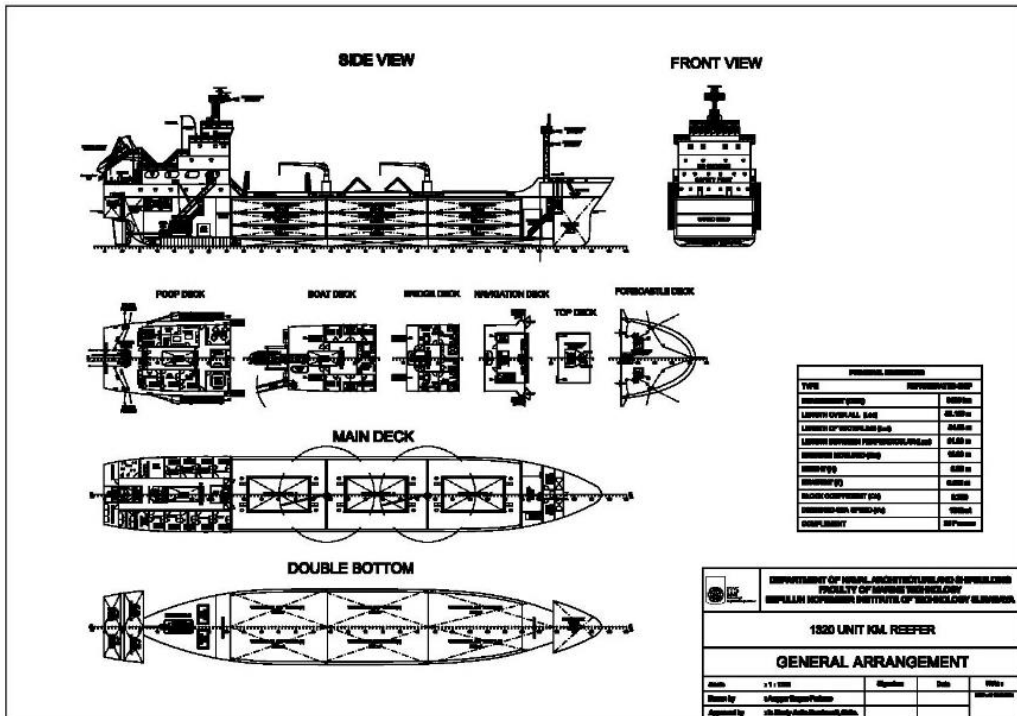


Gambar 4.1 Rencana Garis

4.2 Data Utama Kapal

Length Overall (Loa)	: 89,15 meter
Length Waterline (Lwl)	: 84,24 meter
Length Between Perpendicular (Lpp)	: 81,00 meter
Breadth Moulded (B)	: 13,00 meter
Draught (T)	: 6,105 meter
Height (H)	: 8,500 meter
Service Speed (Vs)	: 12 Knots
Coefficient Block (Cb)	: 0,728
Displacement Kapal	: 4986,69 Ton
Gross Tonnage	: 2311,253 Ton
Dead Weight Tonnage	: 3153 Ton
Payload	: 2705 Ton

4.3 Rencana Umum



Gambar 4.2 Rencana Umum

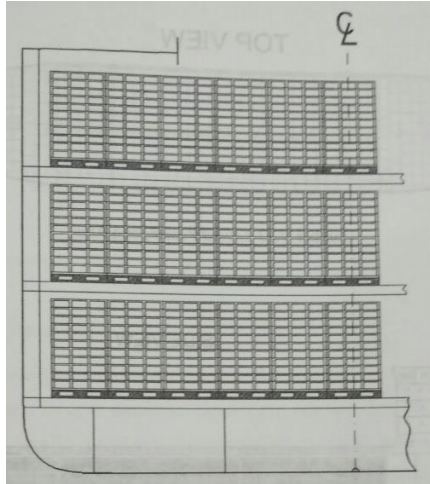
4.4 Ruang Muat

Kapal khusus pengangkut daging sapi memiliki tiga buah ruang muat terletak di antara ruang *cooling room* dan *cooling plant room*. Direncanakan sistem penutupan palkah menggunakan *pontoon*. Adapun letak dari tiga ruang muat tersebut sebagai berikut:

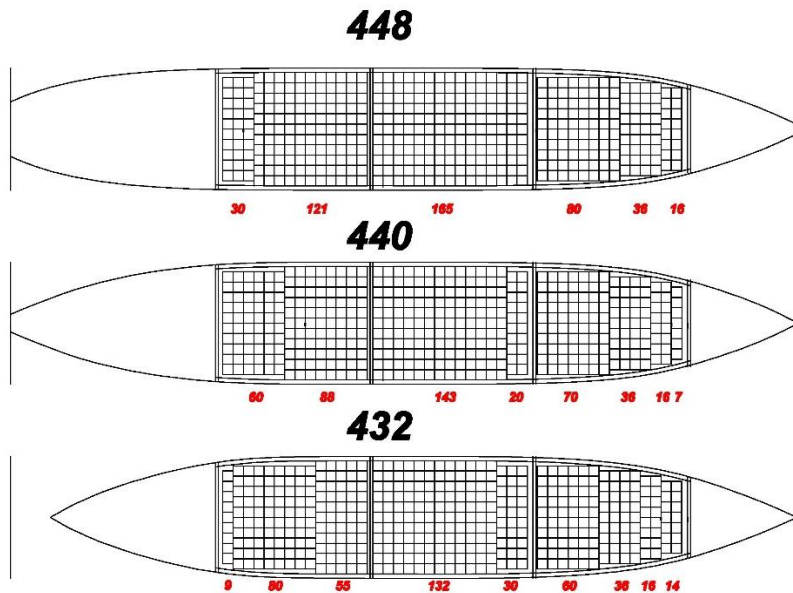
- Ruang muat 1 terletak pada frame 88 – 115
- Ruang muat 2 terletak pada frame 59 – 88
- Ruang muat 3 terletak pada frame 31 – 59

Spesifikasi *pontoon* sebagai berikut:

- Jenis *pontoon* adalah *single pontoon*
- Dimensi *pontoon* 11 meter x 6 meter x 0,2 meter
- Menggunakan packing karet dibagian ambang



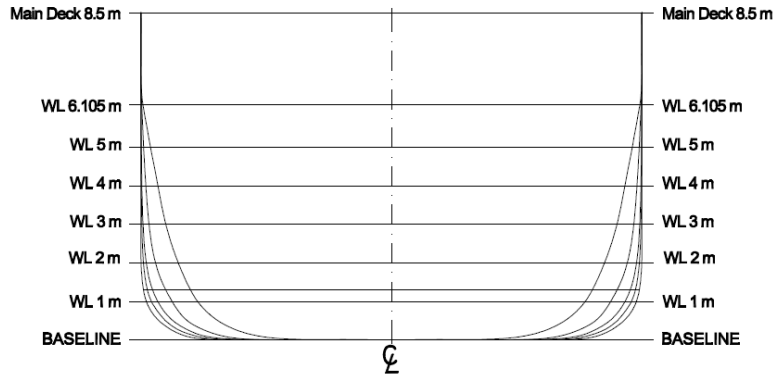
Gambar 4.3 Penampang Melintang Ruang Muat Kapal



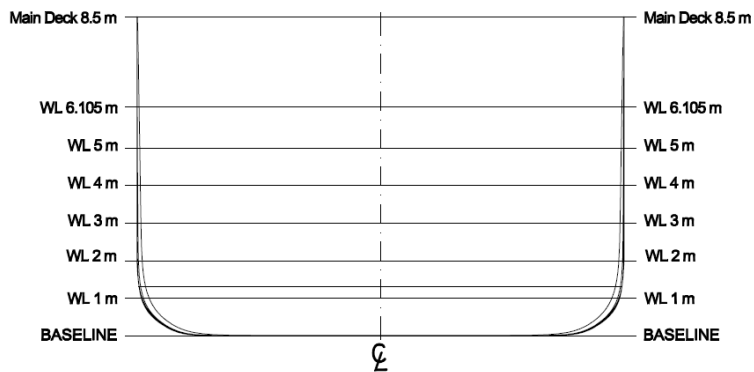
Gambar 4.4 Distribusi Ruang Muat Kapal

4.5 Gambar Ruang Muat

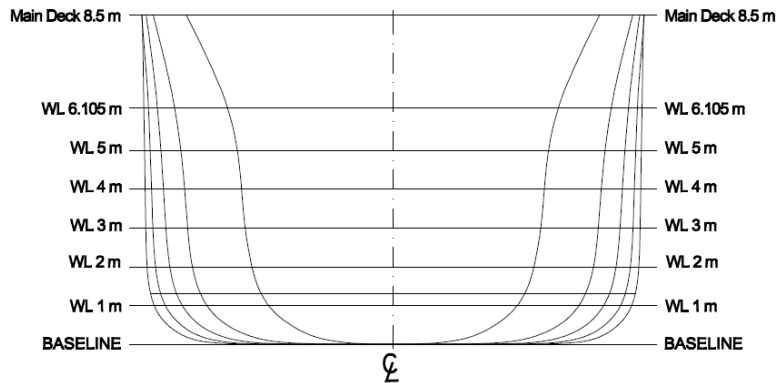
Penulis melakukan penggambaran ruang muat kapal dengan memproyeksikan desain rencana garis kapal khusus pengangkut daging maupun gambar desain perencanaan sebelumnya.



Gambar 4.5 Ruang Muat 3



Gambar 4.6 Ruang Muat 2



Gambar 4.7 Ruang Muat 1

4.6 Perhitungan Luasan Ruang Muat

Perhitungan luasan ruang muat ini dilakukan pada setiap bagian serta pada setiap ruang muat kapal khusus pengangkut daging (*reefer ship*). Bagian-bagian tersebut antara lain serta dinding samping kiri dan kanan setiap ruang muat kapal, dinding pembatas ruang muat atau sekat, bagian atas (atap) setiap ruang muat.

4.6.1 Luas Dinding Samping

a. Ruang muat 3

Tabel 4.1 Luas Dinding Samping Ruang Muat 3

Frame	Y	FS	Y x FS (Area)
31	7,3762	1	7,3762
38	7,2703	4	29,0812
45	7,2242	2	14,4484
52	7,2086	4	28,8344
59	7,2032	1	7,2032
		Σ	86,9434

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,2 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 121,76076 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Ruang Muat 2

Tabel 4.2 Luas Dinding Samping Ruang Muat 2

Frame	Y	FS	Y x FS (Area)
59	7,2032	1	7,2032
66,15	7,2019	4	28,8076
73,3	7,2018	2	14,4036
80,45	7,2033	4	28,8132
88	7,2083	1	7,2083
		Σ	86,4359

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,35 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 125,33205 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

c. Ruang Muat 1

Tabel 4.3 Luas Dinding Samping Ruang Muat 1

Frame	Y	FS	Y x FS (Area)
88	7,2083	1	7,2083
94,45	7,2254	4	28,9016
101,3	7,2545	2	14,509
108,15	7,3254	4	29,3016
115	7,5291	1	7,5291
		Σ	87,4496

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,05 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 118,05696 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Total luas dinding sisi ruang muat kapal

Tabel 4.4 Luas Dinding Samping Keseluruhan Ruang Muat

NO.	Bagian		Luasan
1	Ruang Muat 3	Kiri	121,7208
2	Ruang Muat 2		125,3321
3	Ruang Muat 1		118,057
4	Ruang Muat 3	Kanan	121,7208
5	Ruang Muat 2		125,3321
6	Ruang Muat 1		118,057
		Σ	730,2196

Luasan dinding ruang muat keseluruhan bagian kiri maupun kanan adalah sama yaitu 365,1098 m², maka total luasan dinding ruang muat bagian kiri dan kanan adalah 730,2196 m².

4.6.2 Luas Dinding Pembatas (Sekat)

Kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) memiliki 4 dinding pembatas/sekat antara lain pada frame 31, frame 59, frame 88, dan frame 115.

a. Sekat Frame 31

Tabel 4.5 Luas Dinding Sekat Frame 31

NO	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
1	6,4988	13	1	12,9976
2	6,4971	13	4	51,9768
3	6,2322	12,5	2	24,9288
4	5,8797	11,8	4	47,0376
5	5,218	10,4	1	10,436
			Σ	147,3768

$$\text{Jarak Y (h)} = 1,8 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 88,24608 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Sekat Frame 59

Tabel 4.6 Luas Sekat Frame 59

NO	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
1	6,5004	13	1	13,0008
2	6,5004	13	4	52,0032
3	6,5004	13	2	26,0016
4	6,5004	13	4	52,0032
5	6,4365	12,9	1	12,873
			Σ	155,8818

$$\begin{aligned} \text{Jarak Y (h)} &= 1,8 \text{ meter} \\ \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 93,52908 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

c. Sekat Frame 88

Tabel 4.7 Luas Sekat Frame 88

NO	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
1	6,4852	12,9704	1	12,9704
2	6,4492	12,8984	4	51,5936
3	6,4215	12,843	2	25,686
4	6,394	12,788	4	51,152
5	6,2653	12,5306	1	12,5306
			Σ	153,9326

$$\begin{aligned} \text{Jarak Y (h)} &= 1,8 \text{ meter} \\ \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 92,35956 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Sekat Frame 115

Tabel 4.8 Luas Sekat Frame 115

NO	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
1	5,3471	10,6942	1	10,6942
2	4,4966	8,9932	4	35,9728
3	4,0082	8,0164	2	16,0328
4	3,8342	7,6684	4	30,6736
5	3,4031	6,8062	1	6,8062
			Σ	100,1796

$$\begin{aligned} \text{Jarak Y (h)} &= 1,8 \text{ meter} \\ \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 60,10776 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.6.2 Luas Dinding Atas

a. Ruang Muat 3

Tabel 4.9 Luas Dinding Atas Ruang Muat 3

Frame	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
31	6,4993	13	1	12,9986
38	6,5	13	4	52
45	6,5	13	2	26
52	6,5	13	4	52
59	6,5	13	1	13

Σ	155,9986
----------	----------

Jarak Y (h) = 4,2 meter
Luasan Area = $\frac{1}{3} \times h \times \Sigma$
= 218,39804 m²

b. Ruang Muat 2

Tabel 4.10 Luas Dinding Atas Ruang Muat 2

Frame	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
59	6,5	13	1	13
66,15	6,5	13	4	52
73,3	6,4998	13	2	25,9992
80,45	6,4973	13	4	51,9784
88	6,4846	13	1	12,9692
			Σ	155,9468

Jarak Y (h) = 4,35 meter
Luasan Area = $\frac{1}{3} \times h \times \Sigma$
= 226,12286 m²

c. Ruang Muat 1

Tabel 4.11 Luas Dinding Atas Ruang Muat 1

Frame	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
88	6,4846	12,9692	1	12,9692
94,45	6,4519	12,9038	4	51,6152
101,3	6,3763	12,7526	2	25,5052
108,15	6,1814	12,3628	4	49,4512
115	5,6896	11,3792	1	11,3792
			Σ	150,92

Jarak Y (h) = 4,05 meter
Luasan Area = $\frac{1}{3} \times h \times \Sigma$
= 203,746 m²

d. Total luas dinding atas ruang muat

Tabel 4.12 Luas Keseluruhan Dinding Atas Ruang Muat

NO.	Dinding Atas	Luasan (m ²)
1	Ruang Muat 3	218,398
2	Ruang Muat 2	226,1229
3	Ruang Muat 1	203,742
		648,2629

4.6.3 Luas Dinding Bawah

a. Ruang Muat 3

Tabel 4.13 Luas Dinding Bawah Ruang Muat 3

Frame	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
31	5,8298	11,7	1	11,6596
38	6,2922	12,6	4	50,3376
45	6,447	12,9	2	25,788
52	6,4795	13	4	51,836
59	6,4898	13	1	12,9796
			Σ	152,6008

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,2 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 213,64112 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Ruang Muat 2

Tabel 4.14 Luas Dinding Bawah Ruang Muat 2

Frame	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
59	6,4898	13	1	12,9796
66,15	6,495	13	4	51,96
73,3	6,4956	13	2	25,9824
80,45	6,4737	12,9	4	51,7896
88	6,3831	12,8	1	12,7662
			Σ	155,4778

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,35 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 225,44281 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

c. Ruang Muat 1

Tabel 4.15 Luas Dinding Bawah Ruang Muat 1

Frame	Y	2Y	FS	Y x FS (Area)
88	6,3831	12,7662	1	12,7662
94,45	6,1957	12,3914	4	49,5656
101,3	5,8501	11,7002	2	23,4004
108,15	5,2706	10,5412	4	42,1648
115	4,3575	8,715	1	8,715
			Σ	136,612

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,05 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 184,4262 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Total luas dinding bawah ruang muat

Tabel 4.16 Luas keseluruhan Dinding Bawah Ruang Muat

NO.	Dinding Bottom	Luasan (m ²)
1	Ruang Muat 3	213,6411
2	Ruang Muat 2	225,4228
3	Ruang Muat 1	184,4262
		623,5101

Dari perhitungan luas masing-masing bagian dinding ruang muat diatas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 4.17 Luas Keseluruhan Dinding Ruang Muat

NO.	Bagian Ruang Muat	Luasan (m ²)
1	Dinding samping kanan-kiri Ruang Muat 3	243,4415
2	Dinding samping kanan-kiri Ruang Muat 2	250,6641
3	Dinding samping kanan-kiri Ruang Muat 1	236,1139
4	Dinding pembatas (sekat) Frame 31	88,42608
5	Dinding pembatas (sekat) Frame 59	93,52908
6	Dinding pembatas (sekat) Frame 88	92,35956
7	Dinding pembatas (sekat) Frame 115	60,10776
8	Dinding atas Ruang Muat 3	218,398
9	Dinding atas Ruang Muat 2	226,1229
10	Dinding atas Ruang Muat 1	203,742
11	Dinding bawah Ruang Muat 3	213,6411
12	Dinding bawah Ruang Muat 2	225,4228
13	Dinding bawah Ruang Muat 1	184,4262

4.7 Perhitungan Volume Ruang Muat Kapal

Perhitungan volume ruang muat ini dilakukan dengan menghitung luasan sejumlah *frame* (gading) pada ruang muat lalu menggunakan perhitungan metode simpson 1/3, maka didapatkan volume setiap bagian ruang muat kapal khusus pengangkut daging (*reefer ship*). Bagian-bagian tersebut antara lain ruang muat 1, ruang muat 2, ruang muat 3, Berikut hasil perhitungannya:

Tabel 4.18 Volume Ruang Muat 3

Frame	Y (Luas)	FS	Y x FS (Area)
31	88,42608	1	88,42608
38	91,7278	4	366,9112
45	93,0276	2	186,0552
52	93,3383	4	373,3532
59	93,52908	1	93,52908
		Σ	1108,27476

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,2 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 1551,585 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Volume Ruang Muat 2

Frame	Y (Luas)	FS	Y x FS (Area)
59	93,52908	1	93,52908
66,15	93,5319	4	374,1276
73,3	93,5181	2	187,0362
80,45	93,2922	4	373,1688
88	92,35956	1	92,35956
		Σ	1120,22124

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,35 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 1624,321 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.20 Volume Ruang Muat 1

Frame	Y (Luas)	FS	Y x FS (Area)
88	92,35956	1	92,35956
94,45	90,4423	4	361,7692
101,3	86,5438	2	173,0876
108,15	79,7993	4	319,1972
115	60,10776	1	60,10776
		Σ	1006,52132

$$\text{Jarak Y (h)} = 4,05 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan Area} &= \frac{1}{3} \times h \times \Sigma \\ &= 1358,804 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan volume masing-masing bagian ruang muat diatas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 4.21 Volume Ruang Muat Keseluruhan

NO.	Bagian	Volume (m ³)
1	Ruang Muat 3	1551,584664
2	Ruang Muat 2	1624,320798
3	Ruang Muat 1	1358,803782
		4534,709244

4.8 Perencanaan Insulasi Ruang Muat

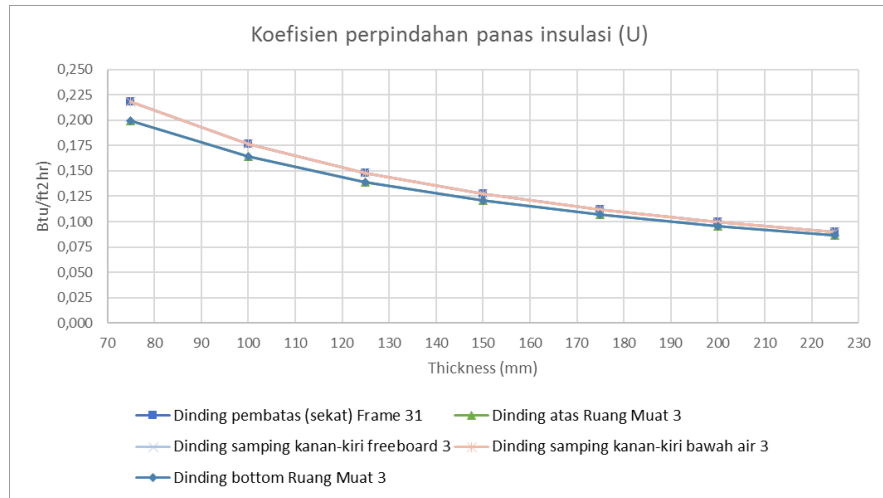
Dalam perencanaan insulasi ruang muat kapal, bahan insulasi yang akan digunakan untuk insulasi ruang muat pada kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) harus berdasarkan *Rules* BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) Part 1. Volume VIII *Rules for refrigeration* tahun 2014 *Section 1 M.2 Insulation* dan pertimbangan lain seperti:

- Nilai koefisien perpindahan panas
- Kedap terhadap udara lembab
- Kedap udara infiltrasi
- Materialnya ringan
- Fleksibel untuk digunakan di kapal
- Kekuatan konstruksi yang baik
- Tahan terhadap api
- Tidak berbau
- Mudah dalam pengerjaan
- Biaya instalasi yang terjangkau

Insulasi pada ruang muat ini meliputi keseluruhan dinding dalam ruang muat dengan ketebalan tertentu. Bagian-bagian yang diinsulasi antara lain dinding samping kiri dan kanan, dinding bawah atau *tank top*, dinding atas atau geladak, dinding pembatas ruang muat atau sekat. Dipilih material insulasi ruang muat kapal adalah polyurethane foam lalu dilapisi lembaran aluminium. Dalam hal ini menentukan ketebalan insulasi ruang muat kapal dilakukan dengan perhitungan ketebalan hingga didapatkan yang paling efektif dan efisien secara termal maupun ekonomis. Efisiensi termal insulasi ditandai nilai koefisien perpindahan panas (U) insulasi yang rendah.

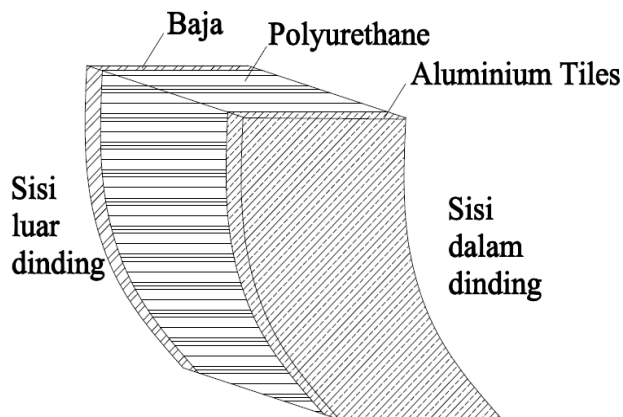
Tabel 4.22 Ketebalan Minimum Insulasi

Storage mperature, °C	Expanded Polyisocyanurate Thickness	
	Northern U.S., mm	Southern U.S., mm
10 to 16	50	50
4 to 10	50	50
-4 to 4	50	75
-9 to -4	75	75
-18 to -9	75	100
-26 to -18	100	100
-40 to -26	125	125

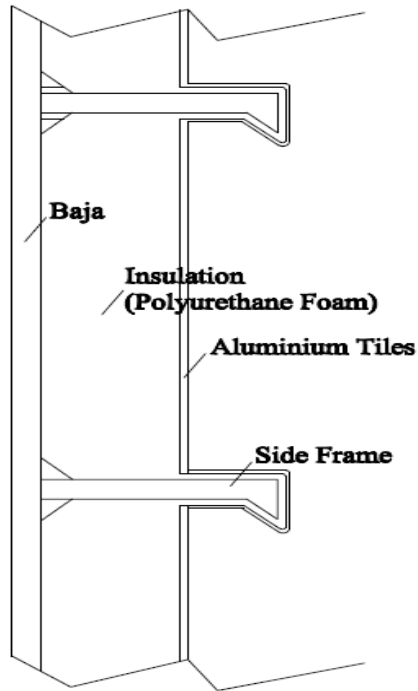


Grafik variasi ketebalan terhadap nilai koefisien perpindahan panas

Dari grafik diatas menunjukkan nilai koefisien perpindahan panas insulasi ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*). Semakin tebal insulasi termal, maka nilai koefisien perpindahan panas semakin kecil yang nantinya akan berpengaruh terhadap besarnya beban transmisi pendinginan dan volume ruang muat efektif untuk membawa muatan kapal. Dalam hal ini ketebalan maksimal desain ruang muat kapal adalah 300 mm. Ketebalan insulasi, berdampak pada biaya yang dikeluarkan . Oleh karena itu dalam perencanaan insulasi ruang muat kapal ini dipilih ketebalan insulasinya adalah 150 mm. Hal ini berdasarkan penambahan ketebalan insulasi tidak begitu signifikan pada perubahan nilai koefisien perpindahan panas insulasi tersebut. Metode instalasi insulasi ruang muat ini menggunakan polyurethane foam yang *dispray* pada dinding-dinding ruang muat dengan ketebalan tertentu. Setelah lapisan polyurethane terpasang pada dinding ruang muat, lembaran aluminium melapisi polyurethane foam termasuk pada gading-gading dan kontruksi ruang muat kapal tertutup sempurna dengan insulasi termal.



Gambar 4.8 Skema Insulasi



Gambar 4.9 Detail Insulasi

4.9 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas (U)

Perhitungan koefisien perpindahan panas dilakukan pada setiap dinding ruang muat yaitu pada dinding pembatas (sekat), dinding samping (lambung), dinding atas (geladak), dan dinding bawah (*tank top*) pada setiap variasi ketebalan.

Nilai konduktifitas thermal (k) dan konduktansi thermal (C) dari materil insulasi diberikan pada Tabel 2.4

4.9.1 Nilai koefisien dinding pembatas (sekat)

Letak : frame 31 dan 115

Tabel 4.23 Nilai Koefisien Sekat

NO	Bahan	Ketebalan			Nilai koefisien				
		mm	cm	m	x1 =		C1 =		
1	Baja	10	1,00	0,01	x1 =	0,01	C1 =	45,3	
2	Polyurethane Foam	150	15,00	0,15	x2 =	0,15	k2 =	0,02	
4	Aluminium, foil backed	9,5	0,95	0,0095	x4 =	0,0095	C3 =	1,93	
5	Koefisien konveksi dinding luar						f0 =	6	
6	Koefisien konveksi dinding dalam						f1 =	1,65	

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{45,3} + \frac{0,15}{0,02} + \frac{1}{1,93} + \frac{1}{1,65}$$

$$= 7,8347 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_1 = 0,1276 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

4.9.2 Nilai koefisien dinding pembatas (sekat) palkah

Letak : frame 59 dan 88

Tabel 4.24 Nilai Koefisien Sekat Antara Ruang Muat

NO	Bahan	Ketebalan			Nilai koefisien			
		mm	cm	m				
1	Aluminium, foil backed	9,5	0,95	0,0095	X1 =	0,0095	C1 =	1,93
2	Polyurethane Foam	75	7,50	0,75	x2 =	0,75	k2 =	0,02
3	Baja	10	1,00	0,01	X3 =	0,01	C3 =	45,3
4	Polyurethane Foam	75	7,50	0,75	X4 =	0,75	K4 =	0,02
5	Aluminium, foil backed	9,5	0,95	0,0095	X5 =	0,0095	C5 =	1,93
6	Koefisien konveksi dinding luar						f0 =	6
6	Koefisien konveksi dinding dalam						f1 =	1,65

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{1,93} + \frac{0,15}{0,02} + \frac{1}{45,3} + \frac{0,15}{0,02} + \frac{1}{1,93} + \frac{1}{1,65}$$

$$= 8,3528 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_2 = 0,1197 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

4.9.3 Nilai koefisien dinding samping (lambung)

Letak : 31-59, 59-88, dan 88-115

Tabel 4.25 Koefisien Dinding Samping (Lambung)

NO	Bahan	Ketebalan			Nilai koefisien			
		mm	cm	m				
1	Baja	10	1,00	0,01	x1 =	0,01	C1 =	45,3
2	Polyurethane Foam	150	15,00	0,15	x2 =	0,15	k2 =	0,02
4	Aluminium, foil backed	9,5	0,95	0,0095	x4 =	0,0095	C3 =	1,93
5	Koefisien konveksi dinding luar						f0 =	6
6	Koefisien konveksi dinding dalam						f1 =	1,65

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{45,3} + \frac{0,15}{0,02} + \frac{1}{1,93} + \frac{1}{1,65}$$

$$= 7,8347 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_3 = 0,1276 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

4.9.4 Nilai koefisien dinding atas (geladak)

Letak : 31-59, 59-88, dan 88-115

Tabel 4.26 Koefisien Dinding Atas (Geladak)

NO	Bahan	Ketebalan			Nilai koefisien			
		mm	cm	m				
1	Baja	10	1,00	0,01	x1 =	0,01	C1 =	45,3
2	Polyurethane Foam	160	16,00	0,16	x2 =	0,16	k2 =	0,02
4	Aluminium, foil backed	9,5	0,95	0,0095	x4 =	0,0095	C3 =	1,93
5	Koefisien konveksi dinding luar						f0 =	6
6	Koefisien konveksi dinding dalam						f1 =	1,65

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{45,3} + \frac{0,16}{0,02} + \frac{1}{1,93} + \frac{1}{1,65}$$

$$= 0,167 + 0,02208 + 6,9565 + 0,5181 + 0,606$$

$$= 8,2695 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_4 = 0,1209 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

4.9.5 Nilai koefisien dinding bawah (Tank Top)

Letak : 31-59, 59-88, dan 88-115

Tabel 4.27 Koefisien Dinding Bawah (Tank Top)

NO	Bahan	Ketebalan			Nilai koefisien			
		mm	cm	m				
1	Baja	10	1,00	0,01	x1 =	0,01	C1 =	45,3
2	Polyurethane Foam	160	16,00	0,16	x2 =	0,16	k2 =	0,02
4	Aluminium, foil backed	9,5	0,95	0,0095	x4 =	0,0095	C3 =	1,93
5	Koefisien konveksi dinding luar						f0 =	6
6	Koefisien konveksi dinding dalam						f1 =	1,65

$$\frac{1}{U_5} = \frac{1}{f_0} + \frac{1}{C_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{f_1}$$

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{45,3} + \frac{0,16}{0,02} + \frac{1}{1,93} + \frac{1}{1,65}$$

$$= 0,167 + 0,02208 + 6,9565 + 0,5181 + 0,606$$

$$= 8,2695 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_5 = 0,1209 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

Hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan panas (U) diatas, maka di dapatkan nilai koefisien perpindahan panas (U) pada setiap bagian sisi ruang muat kapal antara lain :

Tabel 4.28 Nilai Koefisien Perpindahan Panas (U)

NO.	Bagian yang ter-insulasi	Nilai koefisien (U) W/ m ² K
1	Dinding Pembatas (sekat) frame 31 dan 115	0,1276
2	Dinding Pembatas (sekat) frame 59 dan 88	0,1197
3	Dinding Samping (lambung) p&s	0,1276
4	Dinding Atas (geladak)	0,1209
5	Dinding Bawah (double bottom)	0,1209

4.10 Perhitungan Beban Pendingin

Beban pendingin adalah jumlah kalor total (sensible dan laten) yang terdapat pada ruangan yang harus dibuang hingga mencapai kondisi udara dalam ruangan seperti yang diinginkan. Perhitungan beban pendingin pada kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) ini dilakukan pada setiap ruang muat kapal. Beban pendinginan antara lain beban produk (muatan), beban infiltrasi, beban internal, dan beban transmisi. Berikut penjabaran perhitungan beban kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*).

4.10.1 Beban Produk

Beban produk yaitu beban kalor yang dilepaskan oleh produk selama proses pendinginan/pembekuan dan penyimpanan. Produk dalam ruang muat kapal ini adalah daging sapi pilihan dengan 60% daging tidak berlemak. Produk atau daging sapi telah dipacking vakum dan didinginkan dalam *cold storage* terlebih dahulu kemudia disusun diatas pallet sebanyak 99 potong dengan susunan 3x3x11 seperti Gambar 3.4 , selanjutnya pallet disusun sesuai kapasitas di dalam setiap ruang muat. Di dalam setiap ruang muat dibagi menjadi tiga tingkatan produk didistribusikan seperti Gambar 4.4 total jumlah pallet dalam kapal adalah 1320 unit.

Tabel 4.29 Karakteristik Muatan Daging Sapi

Properties of Meat		
Type	Beef, Carcass Choice, 60% Lean	
Massa jenis daging sapi	1,557	ton/m ³
Volume daging tiap box	0,32 x 0,32x 0,13	m ³
	0,013	m ³
Massa tiap box daging sapi	0,021	Ton
Berat tiap unit pallet	2,052	Ton
Suhu penyimpanan	0 - 3,89	°C
Relatif Humidity	85-90	%
Umur penyimpanan	3-4	Minggu
Kandungan air	49	%
Suhu pembekuan	-2,2	°C
Kalor Spesifik di atas pembekuan (C)	3,24	kJ/kg.K
Kalor Spesifik di bawah pembekuan (C)	2,31	kJ/kg.K
Kalor Laten (L)	191	kJ/kg
Suhu muatan sebelum masuk kapal setelah keluar dari cold storage	7	°C
Suhu muatan saat di dalam kapal	0	°C

Tabel 4.30 Distribusi Muatan

Kompartemen	Waterline	Massa (m)	
		Ton	Kg
Ruang Muat 3	Kompartemen 1	295,5	295481,0
	Kompartemen 2	303,7	303688,8
	Kompartemen 3	309,8	309844,7
Ruang Muat 2	Kompartemen 1	332,4	332416,2
	Kompartemen 2	334,5	334468,1
	Kompartemen 3	338,6	338572,0
Ruang Muat 1	Kompartemen 1	258,5	258545,9
	Kompartemen 2	264,7	264701,8
	Kompartemen 3	270,9	270857,6

Tabel 4.31 Lama Waktu Pendinginan

Keterangan	Jumlah	Satuan
Dengan kecepatan dinas kapal	12	knots
Jarak pelabuhan tenau - priok	1082	miles
Sea time (tenau - priok)	90,2	hours
Sea time (tenau – priok - tenau)	180,4	hours
Port time (3 1/8 days)	75	hours
Roundtrip Time (10,6 days)	255,4	hours
Lama penyimpanan muatan	165,2	hours
Pulldown period (heat removal)	24	hours

- a. Beban produk pada ruang muat 1 kompartemen 1
 massa (m) = 258,5 Ton / 258545 Kg
 kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K
 temp. masuk (T₁) = 7 °C
 temp. simpan (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 7-0 = 7 °C
 Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{258545 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 67868,299 \text{ Watt}$$

- b. Beban produk pada ruang muat 1 kompartemen 2
 massa (m) = 264,7 Ton / 264701 Kg
 kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K
 temp. masuk (T₁) = 7 °C
 temp. simpan (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 7-0 = 7 °C
 Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{264701 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 69484,21 \text{ Watt}$$

- c. Beban produk pada ruang muat 1 kompartemen 3
 massa (m) = 270,9Ton / 270857,6 Kg
 kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K
 temp. masuk (T₁) = 7 °C
 temp. simpan (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 7-0 = 7 °C

Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{270857,6 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 71100,12 \text{ Watt}$$

d. Beban produk pada ruang muat 2 kompartemen 1

massa (m) = 332,4 Ton / 332416,2 Kg

kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K

temp. masuk (T_1) = 7 °C

temp. simpan (T_2) = 0 °C

ΔT ($T_1 - T_2$) = 7 - 0 = 7 °C

Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{332416,2 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 87259,24 \text{ Watt}$$

e. Beban produk pada ruang muat 2 kompartemen 2

massa (m) = 334,5 Ton / 334468,1 Kg

kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K

temp. masuk (T_1) = 7 °C

temp. simpan (T_2) = 0 °C

ΔT ($T_1 - T_2$) = 7 - 0 = 7 °C

Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{334468,1 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 87797,88 \text{ Watt}$$

f. Beban produk pada ruang muat 2 kompartemen 3

massa (m) = 338,6 Ton / 338572 Kg

kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K

temp. masuk (T_1) = 7 °C

temp. simpan (T_2) = 0 °C

ΔT ($T_1 - T_2$) = 7 - 0 = 7 °C

Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{338572 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 88875,15 \text{ Watt}$$

- g. Beban produk pada ruang muat 3 kompartemen 1
 massa (m) = 295,5 Ton / 295481 Kg
 kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K
 temp. masuk (T₁) = 7 °C
 temp. simpan (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 7-0 = 7 °C
 Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{295481 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 77563,77 \text{ Watt}$$

- h. Beban produk pada ruang muat 3 kompartemen 2
 massa (m) = 303,7 Ton / 303688,8 Kg
 kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K
 temp. masuk (T₁) = 7 °C
 temp. simpan (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 7-0 = 7 °C
 Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{303688,8 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 79718,32 \text{ Watt}$$

- i. Beban produk pada ruang muat 3 kompartemen 3
 massa (m) = 309,8 Ton / 309844,7 Kg
 kalor Spesifik (C) = 3,24 kJ/kg.K
 temp. masuk (T₁) = 7 °C
 temp. simpan (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 7-0 = 7 °C
 Waktu pulldown (t) = 24 jam / 86400 sec

$$Q_{\text{produk}} = \frac{309844,7 \cdot 3,24 \cdot 7 \cdot (1000)}{24 \cdot (3600)}$$

$$= 79718,32 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan beban produk kapal khusus daging sapi (reefer ship) sebagai berikut:

Tabel 4.32 Beban Produk Keseluruhan

Kompartemen	Waterline	Jumlah panas (Q) kJ	Beban Produk (Watt)
Ruang Muat 1	Kompartemen 1	5863821,1	67868,2997
	Kompartemen 2	6003435,9	69484,2116
	Kompartemen 3	6143050,7	71100,12349
Ruang Muat 2	Kompartemen 1	7539198,5	87259,24247
	Kompartemen 2	7585736,8	87797,87977
	Kompartemen 3	7678813,3	88875,15437
Ruang Muat 3	Kompartemen 1	6701509,822	77563,77108
	Kompartemen 2	6887662,9	79718,32028
	Kompartemen 3	7027277,7	81334,23218
	Total	61430506,7	711001,235

4.10.2 Beban Transmisi

Beban Transmisi yaitu beban pendinginan yang disebabkan perbedaan temperatur di dalam dan di luar ruangan pendingin, sehingga panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah hingga mencapai kesetimbangan panas.

a. Beban Transmisi pada sekat frame 31

$$\begin{aligned}
 \text{luasan (A)} &= 88,4261 \text{ m}^2 \\
 \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\
 \text{temp. luar (T}_1\text{)} &= 40 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{temp. dalam (T}_2\text{)} &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Delta T \text{ (T}_1\text{-T}_2\text{)} &= 40 - 0 = 40 \text{ }^\circ\text{C} \\
 Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= 0,1276 \cdot 88,4261 \cdot 40 \\
 &= 451,45 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

b. Beban Transmisi pada sekat frame 115

$$\begin{aligned}
 \text{luasan (A)} &= 60,1078 \text{ m}^2 \\
 \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\
 \text{temp. luar (T}_1\text{)} &= 40 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{temp. dalam (T}_2\text{)} &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Delta T \text{ (T}_1\text{-T}_2\text{)} &= 40 - 0 = 40 \text{ }^\circ\text{C} \\
 Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= 0,1276 \cdot 60,1078 \cdot 40 \\
 &= 306,88 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

c. Beban Transmisi pada sekat frame 59

$$\begin{aligned}
 \text{luasan (A)} &= 93,5291 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- koef perpan = 0,1197 W/m²K (lihat tabel)
 temp. luar (T₁) = 0 °C
 temp. dalam (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 0 - 0 = 0 °C
 Q_{transmisi} = U . A . ΔT
 = 0,1197 . 93,5291. 0
 = 0 Watt
- d. Beban Transmisi pada sekat frame 88
- luasan (A) = 92,3596 m²
 koef perpan = 0,1197 W/m²K (lihat tabel)
 temp. luar (T₁) = 0 °C
 temp. dalam (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 0 - 0 = 0 °C
 Q_{transmisi} = U . A . ΔT
 = 0,1197 . 92,3596. 0
 = 0 Watt
- e. Beban Transmisi pada dinding atas ruang muat 1
- luasan (A) = 203,742 m²
 koef perpan = 0,1209 W/m²K (lihat tabel)
 temp. luar (T₁) = 37 °C
 temp. dalam (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 37 - 0 = 37 °C
 Q_{transmisi} = U . A . ΔT
 = 0,1209 . 203,742. 37
 = 911,60 Watt
- f. Beban Transmisi pada dinding atas ruang muat 2
- luasan (A) = 226,123 m²
 koef perpan = 0,1209 W/m²K (lihat tabel)
 temp. luar (T₁) = 37 °C
 temp. dalam (T₂) = 0 °C
 ΔT (T₁-T₂) = 37 - 0 = 37 °C
 Q_{transmisi} = U . A . ΔT
 = 0,1209 . 226,123. 37
 = 1011,74 Watt
- g. Beban Transmisi pada dinding atas ruang muat 3
- luasan (A) = 218,398 m²
 koef perpan = 0,1209 W/m²K (lihat tabel)
 temp. luar (T₁) = 37 °C

- temp. dalam (T_2) = 0 °C
 ΔT (T_1-T_2) = 37 - 0 = 37 °C
 $Q_{\text{transmisi}}$ = $U \cdot A \cdot \Delta T$
= 0,1209 . 218,398 . 37
= 977,18 Watt
- h. Beban Transmisi pada dinding samping freeboard 1
luas (A) = 79,082 m²
koef perpan = 0,1276 W/m²K (lihat tabel)
temp. luar (T_1) = 37 °C
temp. dalam (T_2) = 0 °C
 ΔT (T_1-T_2) = 37 - 0 = 37 °C
 $Q_{\text{transmisi}}$ = $U \cdot A \cdot \Delta T$
= 0,1276 . 79,082 . 37
= 373,47 Watt
- i. Beban Transmisi pada dinding samping freeboard 2
luas (A) = 83,345 m²
koef perpan = 0,1276 W/m²K (lihat tabel)
temp. luar (T_1) = 37 °C
temp. dalam (T_2) = 0 °C
 ΔT (T_1-T_2) = 37 - 0 = 37 °C
 $Q_{\text{transmisi}}$ = $U \cdot A \cdot \Delta T$
= 0,1276 . 83,3451 . 37
= 393,61 Watt
- j. Beban Transmisi pada dinding samping freeboard 3
luas (A) = 80,429 m²
koef perpan = 0,1276 W/m²K (lihat tabel)
temp. luar (T_1) = 37 °C
temp. dalam (T_2) = 0 °C
 ΔT (T_1-T_2) = 37 - 0 = 37 °C
 $Q_{\text{transmisi}}$ = $U \cdot A \cdot \Delta T$
= 0,1276 . 80,429 . 37
= 379,83 Watt
- k. Beban Transmisi pada dinding samping bawah air 1
luas (A) = 157,032 m²
koef perpan = 0,1276 W/m²K (lihat tabel)
temp. luar (T_1) = 29 °C
temp. dalam (T_2) = 0 °C

$$\begin{aligned}\Delta T \quad (T_1-T_2) &= 29 - 0 = 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 0,1276 \cdot 157,032 \cdot 29 \\ &= 581,25 \text{ Watt}\end{aligned}$$

l. Beban Transmisi pada dinding samping bawah air 2

$$\begin{aligned}\text{luasan (A)} &= 167,3190 \text{ m}^2 \\ \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\ \text{temp. luar } (T_1) &= 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{temp. dalam } (T_2) &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\ \Delta T \quad (T_1-T_2) &= 29 - 0 = 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 0,1276 \cdot 167,319 \cdot 29 \\ &= 619,33 \text{ Watt}\end{aligned}$$

m. Beban Transmisi pada dinding samping bawah air 3

$$\begin{aligned}\text{luasan (A)} &= 163,0129 \text{ m}^2 \\ \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\ \text{temp. luar } (T_1) &= 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{temp. dalam } (T_2) &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\ \Delta T \quad (T_1-T_2) &= 29 - 0 = 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 0,1276 \cdot 163,0129 \cdot 29 \\ &= 603,39 \text{ Watt}\end{aligned}$$

m. Beban Transmisi pada dinding bawah (bottom) 1

$$\begin{aligned}\text{luasan (A)} &= 184,426 \text{ m}^2 \\ \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\ \text{temp. luar } (T_1) &= 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{temp. dalam } (T_2) &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\ \Delta T \quad (T_1-T_2) &= 29 - 0 = 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 0,1276 \cdot 184,426 \cdot 29 \\ &= 646,76 \text{ Watt}\end{aligned}$$

n. Beban Transmisi pada dinding bawah (bottom) 2

$$\begin{aligned}\text{luasan (A)} &= 225,443 \text{ m}^2 \\ \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\ \text{temp. luar } (T_1) &= 29 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{temp. dalam } (T_2) &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\ \Delta T \quad (T_1-T_2) &= 29 - 0 = 29 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= 0,1276 \cdot 184,426 \cdot 29 \\
 &= 790,60 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

o. Beban Transmisi pada dinding bawah (bottom) 3

$$\begin{aligned}
 \text{luasan (A)} &= 213,641 \text{ m}^2 \\
 \text{koef perpan} &= 0,1276 \text{ W/m}^2\text{K (lihat tabel)} \\
 \text{temp. luar (T}_1\text{)} &= 29 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{temp. dalam (T}_2\text{)} &= 0 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Delta T \text{ (T}_1\text{-T}_2\text{)} &= 29 - 0 = 29 \text{ }^\circ\text{C} \\
 Q_{\text{transmisi}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= 0,1276 \cdot 213,641 \cdot 29 \\
 &= 749,21 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan beban transmisi kapal khusus daging sapi (reefer ship) sebagai berikut:

Tabel 4.33 Beban Transmisi Keseluruhan

NO.	Bagian	Beban Transmisi (Watt)
1	Dinding pembatas (sekat) Frame 31	451,46
2	Dinding pembatas (sekat) Frame 115	306,88
3	Dinding pembatas (sekat) Frame 59	0,00
4	Dinding pembatas (sekat) Frame 88	0,00
5	Dinding atas Ruang Muat 3	977,18
6	Dinding atas Ruang Muat 2	1011,74
7	Dinding atas Ruang Muat 1	911,60
8	Dinding samping kanan-kiri freeboard 3	379,83
9	Dinding samping kanan-kiri freeboard 2	393,61
10	Dinding samping kanan-kiri freeboard 1	373,47
11	Dinding samping kanan-kiri bawah air 3	603,39
12	Dinding samping kanan-kiri bawah air 2	619,33
13	Dinding samping kanan-kiri bawah air 1	581,25
14	Dinding bottom Ruang Muat 3	749,21
15	Dinding bottom Ruang Muat 2	790,60
16	Dinding bottom Ruang Muat 1	646,76
	Total	8796,32

4.10.3 Beban Radiasi

Beban radiasi yaitu beban pendinginan yang diakibatkan oleh sinar matahari langsung yang mengenai permukaan dinding kapal secara langsung. Panas yang diterima dinding kapal sebagian ada yang diserap dan dipantulkan berkaitan dengan emisivitas benda. Dalam hal ini emisivitas baja adalah 0,8 (J.P. Holman Heat transfer edisi X)

Tabel 4.34 Temperatur Efektif Matahari

Keterangan	Temperatur	
	Vertical	125 F
Horizontal	145 F	130 F
Glass Solar Factor	160 Btu/hr ft ²	120 Btu/hr ft ²

a. Beban radiasi pada deck ruang muat 1

$$\text{luasan (A)} = 203,742 \text{ m}^2$$

$$\text{emisivitas } (\epsilon) = 0,80$$

$$\text{Konstanta } (\sigma) = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\text{temp. luar } (T_1) = 145 \text{ }^\circ\text{F} = 62,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{temp. dalam } (T_2) = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{DT } (T_1 - T_2) = 62,78 - 0 = 62,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{radiasi}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$$= 0,80 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 203,74 \cdot 62,78^4$$

$$= 143,562 \text{ Watt}$$

b. Beban radiasi pada deck ruang muat 2

$$\text{luasan (A)} = 226,123 \text{ m}^2$$

$$\text{emisivitas } (\epsilon) = 0,80$$

$$\text{Konstanta } (\sigma) = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\text{temp. luar } (T_1) = 145 \text{ }^\circ\text{F} = 62,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{temp. dalam } (T_2) = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{DT } (T_1 - T_2) = 62,78 - 0 = 62,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{radiasi}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$$= 0,80 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 226,12 \cdot 62,78^4$$

$$= 159,332 \text{ Watt}$$

c. Beban radiasi pada deck ruang muat 3

$$\text{luasan (A)} = 218,398 \text{ m}^2$$

$$\text{emisivitas } (\epsilon) = 0,80$$

$$\text{Konstanta } (\sigma) = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\text{temp. luar } (T_1) = 145 \text{ }^\circ\text{F} = 62,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 \text{temp. dalam } (T_2) &= 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \text{DT } (T_1-T_2) &= 62,78 - 0 = 62,78 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 Q_{\text{radiasi}} &= \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \\
 &= 0,80 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 218,398 \cdot 62,78^4 \\
 &= 153,889 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan beban transmisi kapal khusus daging sapi (reefer ship) sebagai berikut:

Tabel 4.35 Beban Radiasi Keseluruhan

NO.	Bagian	Beban Radiasi (Watt)
1	Dinding atas Ruang Muat 3	153,8888
2	Dinding atas Ruang Muat 2	159,3319
3	Dinding atas Ruang Muat 1	143,5618
4	Dinding samping kanan-kiri freeboard 3	56,67203
5	Dinding samping kanan-kiri freeboard 2	58,7271
6	Dinding samping kanan-kiri freeboard 1	55,72313
	Total	627,9048

4.10.4 Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi yaitu beban pendinginan yang diakibatkan udara panas yang masuk ke dalam ruang pendingin melalui lubang palkah yang terbuka saat terjadi proses bongkar muat. Beban infiltrasi berkaitan dengan volume ruang muat kapal seperti pada tabel 4.38 dan banyaknya udara yang masuk ke dalam ruangan.

Tabel 4.36 Volume Ruang Muat Keseluruhan

NO.	Bagian	Volume (m ³)	Volume (ft ³)
1	Ruang Muat 1	1358,8038	47985,7
2	Ruang Muat 2	1624,3208	57362,3
3	Ruang Muat 3	1551,5847	54793,7
		4534,7092	160141,7

Tabel 4.37 Rata-rata Air Chnge 24h untuk Ruang Pendingin karena Infiltrasi

Volume (ft ³)	Air Change per 24 hours		Volume (ft ³)	Air Change per 24 hours	
	Heavy	Normal		Heavy	Normal
5000	7,3	5,6	25000	3	2,3
6000	6,6	5,1	30000	2,7	2,1
8000	5,6	4,3	40000	2,3	1,8
10000	5	3,9	50000	2	1,6
15000	4	3,1	75000	1,6	1,3
20000	3,4	2,6	100000	1,4	1,1

Tabel 4.38 Panas yang Keluar dari Udara Dingin sampai Temperatur Pendinginan (Btu/ft²)

Ambient Air		Storage Room Temperature (°F)				
DB	RH	20	25	30	35	40
60	60	1,25	1,12	0,95	0,78	0,61
	70	1,37	1,21	1,05	0,90	0,73
70	60	1,73	1,57	1,42	1,25	1,06
	70	1,89	1,74	1,57	1,38	1,21
80	50	2,04	1,86	1,69	1,51	1,33
	60	2,22	2,05	1,87	1,70	1,52
85	50	2,34	2,17	2,00	1,86	1,69
	60	2,52	2,35	2,24	2,09	1,92
90	50	2,62	2,44	2,26	2,17	2,00
	60	2,90	2,71	2,53	2,43	2,26
95	50	3,00	2,83	2,64	2,49	2,31
	60	3,30	3,12	2,94	2,79	2,62
100	50	3,33	3,14	2,95	2,85	2,67
	60	3,73	3,54	3,35	3,24	3,06

1) Mencari nilai air change pada setiap ruang muat

a. Air Change pada ruang muat 1

$$\text{Volume ruangan} = 1358,8 \text{ m}^3 / 47985,7 \text{ ft}^3$$

Dengan menginterpolasi nilai air change kondisi normal yang terdapat pada tabel ... ,maka akan di dapatkan nilai yang sesuai dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Air change}_1 &= 1,6 + \frac{1,8 - 1,6}{40000 - 50000} \cdot (47985,7 - 50000) \\ &= 1,64 \end{aligned}$$

b. Air Change pada ruang muat 2

$$\text{Volume ruangan} = 1624,32 \text{ m}^3 / 57362,3 \text{ ft}^3$$

Dengan menginterpolasi nilai air change kondisi normal yang terdapat pada tabel ... ,maka akan di dapatkan nilai yang sesuai dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Air change}_2 &= 1,3 + \frac{1,3 - 1,6}{75000 - 50000} \cdot (57362,3 - 75000) \\ &= 1,51 \end{aligned}$$

b. Air Change pada ruang muat 3

$$\text{Volume ruangan} = 1551,58 \text{ m}^3 / 54793,7 \text{ ft}^3$$

Dengan menginterpolasi nilai air change kondisi normal yang terdapat pada tabel ... ,maka akan di dapatkan nilai yang sesuai dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Air change}_3 &= 1,3 + \frac{1,3 - 1,6}{75000 - 50000} \cdot (54793,7 - 75000) \\ &= 1,54 \end{aligned}$$

2) Mencari nilai panas yang dikeluarkan udara dingin pada ruang muat pada suhu $0^\circ\text{C} / 32^\circ\text{F}$ dengan nilai suhu udara luar = $98,6^\circ\text{F} / 37^\circ\text{C}$ dan RH = 60

a. Panas yang keluar pada suhu udara lingkungan = 95°F dan RH = 60

$$\text{Pada suhu } 30^\circ\text{F} = 2,94$$

$$\text{Pada suhu } 35^\circ\text{F} = 2,79$$

Dengan menginterpolasi nilai panas yang keluar tersebut, maka akan didapatkan nilai panas yang keluar yang ditentukan sesuai kondisi ruang muat.

$$\begin{aligned} \text{Panas } 32^\circ\text{F} &= 2,94 + \frac{2,79 - 2,94}{35 - 30} \cdot (32 - 30) \\ &= 2,88 \end{aligned}$$

b. Panas yang keluar pada suhu udara lingkungan = 100°F dan RH = 60

$$\text{Pada suhu } 30^\circ\text{F} = 3,35$$

$$\text{Pada suhu } 35^\circ\text{F} = 3,24$$

Dengan menginterpolasi nilai panas yang keluar tersebut, maka akan didapatkan nilai panas yang keluar yang ditentukan sesuai kondisi ruang muat.

$$\begin{aligned} \text{Panas } 32^\circ\text{F} &= 3,35 + \frac{3,24 - 3,35}{35 - 30} \cdot (32 - 30) \\ &= 3,306 \end{aligned}$$

c. Panas yang keluar pada suhu udara lingkungan = $98,6^\circ\text{F}$ dan RH = 60

$$\text{Pada suhu lingkungan } 95^\circ\text{F} = 2,88$$

$$\text{Pada suhu lingkungan } 100^\circ\text{F} = 3,305$$

Dengan menginterpolasi nilai panas yang keluar tersebut, maka akan didapatkan nilai panas yang keluar yang ditentukan sesuai kondisi ruang muat.

$$\begin{aligned} \text{Panas } 98,6 \text{ } ^\circ\text{F} &= 2,88 + \frac{2,88 - 3,305}{95 - 100} \cdot (98,6 -) \\ &= 3,187 \end{aligned}$$

- a. Beban infiltrasi pada ruang muat 1
- volume (V) = 1358,8 m³ / 47985,7 ft³
- Air Change = 1,64 x 8/24jam (waktu bongkar)
- = 0,547
- Panas Udara = 3,187 Btu/ ft³
- Q_{infiltrasi1} = V . Air Change . Panas udara
- = 47985,7 . 0,547 . 3,187
- = 85271,56 Btu
- = 24973,9 Watt
- b. Beban infiltrasi pada ruang muat 2
- volume (V) = 1624,32 m³ / 57362,3 ft³
- Air Change = 1,51 x 8/24jam (waktu bongkar)
- = 0,504
- Panas Udara = 3,187 Btu/ ft³
- Q_{infiltrasi1} = V . Air Change . Panas udara
- = 57362,3 . 0,504 . 3,187
- = 93940,3 Btu
- = 27512,7 Watt
- c. Beban infiltrasi pada ruang muat 3
- volume (V) = 1551,58 m³ / 54793,7 ft³
- Air Change = 1,54 x 8/24jam (waktu bongkar)
- = 0,514
- Panas Udara = 3,187 Btu/ ft³
- Q_{infiltrasi1} = V . Air Change . Panas udara
- = 54793,7 . 0,514 . 3,187
- = 91563,36 Btu
- = 26816,6 Watt

Dari hasil perhitungan beban infiltrasi kapal khusus daging sapi (reefer ship) sebagai berikut:

Tabel 4.39 Beban Infiltrasi Keseluruhan

NO.	Bagian	Beban Infiltrasi (Watt)
1	Ruang Muat 1	24973,9
2	Ruang Muat 2	27512,7
3	Ruang Muat 3	26816,6
4	Kompartemen setiap Ruang Muat 1	8324,6
5	Kompartemen setiap Ruang Muat 2	9170,9
6	Kompartemen setiap Ruang Muat 3	8938,9

4.10.5 Beban Internal

Beban internal yaitu beban pendinginan yang berasal dari internal seperti aktifitas manusia, lampu, motor, instalasi kelistrikan, dan sumber lain yang menghasilkan panas yang ada di dalam ruang pendingin. Pada kapal khusus penngangkut daging sapi (*reefer ship*) ini beban internal hanya berasal dari motor fan saja, hal ini karena tidak ada aktifitas manusia dan lampu ruang muat dalam kondisi padam saat proses pendinginan.

$$\begin{aligned}
 \text{power motor (P)} &= 2,71 \text{ kW} / 3,63 \text{ hp} \\
 \text{efisiensi motor (Em)} &= 0,88 \\
 \text{faktor penggunaan (Fum)} &= 1 \\
 \text{load faktor motor (Flm)} &= 0,95 \\
 Q_{\text{motor}} &= 2545 \cdot P / \text{Em} \cdot \text{Fum} \cdot \text{Flm} \\
 &= 2545 \cdot 3,63 / 0,88 \cdot 1 \cdot 0,87 \\
 &= 9291,14 \text{ Btu} \\
 &= 2721,14 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.10.6 Kapasitas Beban Pendinginan Keseluruhan

Kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) memiliki tiga ruang muat yang terbagi menjadi tiga kompartemen di setiap ruang muat. Kapasitas beban pendinginan ini digunakan untuk menentukan atau memilih spesifikasi peralatan pendingin yang sesuai dengan beban pendinginan. Kapasitas beban ini berhubungan dengan operasional dari peralatan pendingin yaitu lama penurunan suhu muatan (*pulldown temperature*) selama satu hari agar kualitas daging tetap terjaga dan penyimpanan (*holding temperature*) sampai waktu bongkar muat. Jadi kapasitas beban pendingin yang dibutuhkan peralatan sebagai berikut:

a. Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 1

Tabel 4.40 Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 1

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	67868,2997
2	Beban Transmisi	1534,894065
3	Beban Radiasi	0
4	Beban Infiltrasi	8324,636284
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	80448,97284

b. Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 2

Tabel 4.41 Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 2

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	69484,2116
2	Beban Transmisi	926,2106894
3	Beban Radiasi	0
4	Beban Infiltrasi	8324,636284
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	81456,20137

c. Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 3

Tabel 4.42 Beban Pendinginan Ruang Muat 1 Kompartemen 3

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	71100,12349
2	Beban Transmisi	1591,95
3	Beban Radiasi	199,2849164
4	Beban Infiltrasi	8324,636284
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	83937,14184

d. Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 1

Tabel 4.43 Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 1

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	87259,24247
2	Beban Transmisi	1409,930946
3	Beban Radiasi	0
4	Beban Infiltrasi	9170,912208
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	100561,2284

e. Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 2

Tabel 4.44 Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 2

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	87797,87977
2	Beban Transmisi	619,3300543
3	Beban Radiasi	0
4	Beban Infiltrasi	9170,912208
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	100309,2648

f. Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 3

Tabel 4.45 Beban Pendinginan Ruang Muat 2 Kompartemen 3

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	88875,15437
2	Beban Transmisi	1623,404706
3	Beban Radiasi	218,0590047
4	Beban Infiltrasi	9170,912208
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	102608,6731

g. Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 1

Tabel 4.46 Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 1

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	77563,77108
2	Beban Transmisi	1804,065021
3	Beban Radiasi	0
4	Beban Infiltrasi	8938,872738
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	91027,85164

h. Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 2

Tabel 4.47 Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 2

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	79718,32028
2	Beban Transmisi	1070,790092
3	Beban Radiasi	0
4	Beban Infiltrasi	8938,872738
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	92449,12591

i. Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 3

Tabel 4.48 Beban Pendinginan Ruang Muat 3 Kompartemen 3

NO	Keterangan	Beban Panas (Watt)
1	Beban produk	81334,23218
2	Beban Transmisi	1808,47
3	Beban Radiasi	210,5608393
4	Beban Infiltrasi	8938,872738
5	Beban Internal	2721,142795
	Total	95013,27758

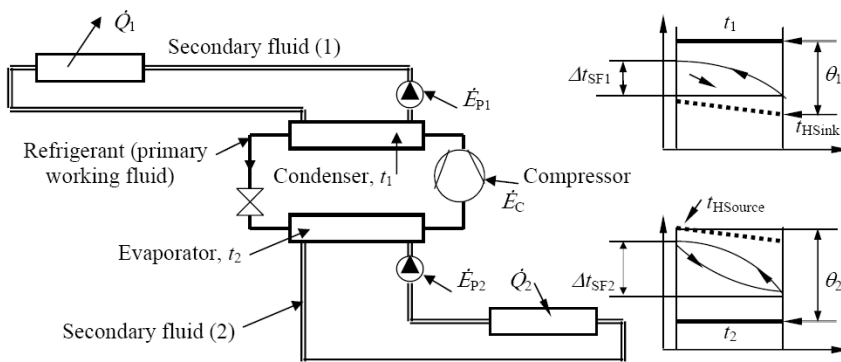
4.11 Perencanaan Sistem Pendingin Kapal

Dalam perencanaan sistem pendingin kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) ini menggunakan sistem pendingin atau refrigerasi tidak langsung (*indirect expansion system*) menggunakan refrigeran kedua. Sistem tidak langsung telah memperoleh relevansi karena tuntutan konstruksi yang lebih ketat untuk meminimalkan kebocoran zat pendingin dari plant. Salah satu alasan peningkatan penggunaan sistem tidak langsung dengan refrigeran kedua adalah bahwa undang-undang telah dirancang untuk mengamankan fase dari berbagai refrigeran jenis CFC dan HCFC-refrigeran. Memperketat penggunaan refrigeran. Kesadaran umum tentang bagaimana zat pendingin mempengaruhi lingkungan

global telah meningkat sejak saat itu. Kesadaran akan masalah lingkungan yang menyertainya cairan alami, misalnya meningkatkan risiko kebakaran atau panik akibat bau yang kuat.

Sistem pendinginan tidak langsung memiliki kelebihan untuk mengurangi refrigeran utama secara signifikan sampai 5-15% dari jumlah kebutuhan refrigeran pada sistem DX, dengan menggunakan perencanaan plant yang kompak dan ringkas ringkas dari sistem pendingin. Refrigeran alami dapat digunakan dengan cara yang terkendali. Semua pengelasan dan pengerjaan sirkuit pendingin dapat dilakukan dengan kondisi plant yang mengurangi risiko kebocoran refrigeran.

Untuk kekurangan dari sistem tidak langsung adalah kenaikan biaya untuk refrigeran sekunder, pompa, tabung, dan penukar panas ekstra untuk refrigeran sekunder. Sistem tidak langsung juga membutuhkan pompa ekstra dan kerja pompa ekstra untuk kebutuhan refrigeran sekunder yang akan dipompa ke berbagai ruangan yang pendingin yang didinginkan.

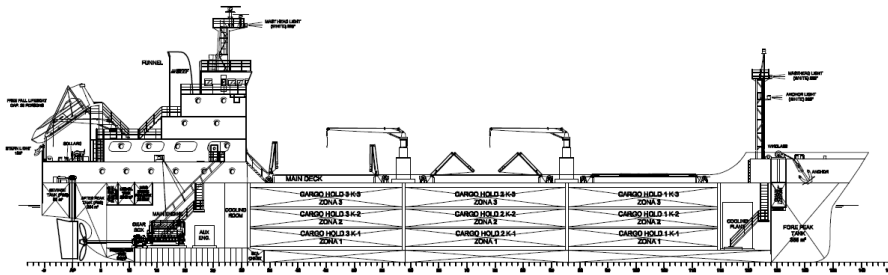


Gambar skema sistem pendingin tidak langsung

Penjelasan skema kerja sistem pendingin tidak langsung di atas adalah Q_1 = melepaskan kapasitas panas; Q_2 = kapasitas pendinginan; E_C = daya kompresor; E_P = daya pemompaan; T_1 = kondensasi temp. ; T_2 = suhu evaporasi; T_{HSink} = heat sink temp; $T_{HSource}$ = suhu sumber panas; Θ_1 = perbedaan suhu antara suhu kondensasi dan heat sink; Θ_2 = perbedaan suhu antara sumber panas dan suhu penguapan: Δt_{SF1} dan Δt_{SF2} adalah perubahan suhu cairan sekunder (1) dan (2).

4.11.1 Perencanaan Zona Ruang Pendingin

Perencanaan zona ruang pendingin pada ruang muat kapal bertujuan untuk membagi cooling load dan diberikan mesin pendingin yang dapat memenuhi kebutuhan cooling capacity di setiap zona di ruang muat kapal tersebut. Keuntungan dari pembagian zona ruang pendingin adalah dalam perawatan dan monitoring sistem pendingin lebih mudah karena mesin pendingin telah terbagi sesuai cooling capacity setiap zona, apabila terjadi masalah pada sistem pendingin pada zona tertentu sistem dapat langsung dialihkan ke mesin pendingin yang stand by untuk memenuhi kebutuhan cooling capacity tersebut. Kerugian dari pembagian zona ini menyebabkan jumlah mesin pendingin yang mengikuti jumlah pembagian sesuai zona tersebut. Zona ruang pendingin pada ruang muat kapal seabgai berikut:



Gambar 4.10 Pembagian Zona

Gambar

Tabel 4.49 Total Cooling Load Pulldown Tiap Zona

No.	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Zona 1		
1.1	Ruang Muat 1 K-1	80,44897	kW
1.2	Ruang Muat 2 K-1	100,5612	kW
1.3	Ruang Muat 3 K-1	91,02785	kW
Total		272,0381	kW
2	Zona 2		
2.1	Ruang Muat 1 K-2	81,4562	kW
2.2	Ruang Muat 2 K-2	100,3093	kW
2.3	Ruang Muat 3 K-2	92,44913	kW
Total		274,2146	kW
3	Zona 3		
3.1	Ruang Muat 1 K-3	83,93714	kW
3.2	Ruang Muat 2 K-3	102,6087	kW
3.3	Ruang Muat 3 K-3	95,01328	kW
Total		281,5591	kW

Tabel 4.50 Cooling Load Holding Tiap Zona

No.	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Zona 1		
1.1	Ruang Muat 1 K-1	12,58067	kW
1.2	Ruang Muat 2 K-1	11,97199	kW
1.3	Ruang Muat 3 K-1	12,83702	kW
Total		37,38968	kW
2	Zona 2		
2.1	Ruang Muat 1 K-2	11,97199	kW
2.2	Ruang Muat 2 K-2	12,51139	kW
2.3	Ruang Muat 3 K-2	12,73081	kW
Total		37,21418	kW
3	Zona 3		
3.1	Ruang Muat 1 K-3	12,83702	kW
3.2	Ruang Muat 2 K-3	13,73352	kW
3.3	Ruang Muat 3 K-3	13,67905	kW
Total		40,24958	kW

4.11.2 Perencanaan Perpipaan Sistem Pendingin

Perencanaan perpipaan sistem pendingin untuk memenuhi kebutuhan kapasitas aliran refrigeran kedua maupun cooler untuk kondensor. Berdasarkan Rules BKI Part 1. Volume VIII *Rules for refrigeration* tahun 2014 pipa refrigeran kedua harus anti korosif,.

Untuk ketebalan pipa menurut BKI Part 1. *Seagoing Ships, Volume III, Rules for Machinery Installation Section 11, Table 11.5*, pipa brine termasuk dalam *Group M*. Material pipa brine yang digunakan pada sistem pendingin dan cooler kondensor adalah pipa baja galvanis schedule 40 karena memiliki kelebihan anti-korosif, kekuatan pipa, dan mudah didapat. Adapun diameter pipa yang digunakan pada sistem pendingin bervariasi sesuai kebutuhan kapasitas aliran fluida kerja. Pipa yang melalui ruang muat dan cooling plant room diberi insulasi untuk efisiensi termal.

4.11.3 Perencanaan Peletakkan Komponen Sistem Pendingin

Dalam peletakkan komponen sistem pendingin ini berada di ruang cooling plant pada kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*). Untuk peletakkan di dalam ruangan cooling plant didahulukan komponen yang terbesar dan membutuhkan space yang lebih banyak, selanjutnya komponen yang lain menyesuaikan space yang ada pada ruang cooling plant. Perlu diperhatikan juga ruang untuk akses jalan maupun perbaikan. Agar crew kapal dapat bekerja dengan nyaman, efektif dan efisien.

4.12 Memilih Peralatan Sistem Pendingin Tidak langsung

Dalam menentukan atau memilih peralatan pendingin, maka harus diperhatikan kapasitas beban pendingin yang dibutuhkan oleh peralatan pendingin. Berikut cara yang dapat digunakan dalam menentukan peralatan pendingin adalah:

1. Menghitung kapasitas beban pendingin setiap ruang muat kapal
2. Memilih refrigeran kedua sebagai media perpindahan panas sistem pendingin
3. Memilih *air cooler* dan refrigeran kedua (brine) berdasarkan kapasitas beban pendingin setiap zona yang sekurang-kurangnya beban pendinginannya dapat dipenuhi air cooler.
4. Memilih *chiller* dan refrigeran utama berdasarkan kapasitas beban pendingin yang dibutuhkan peralatan pendingin sekurang-kurangnya sesuai total kebutuhan beban pendingin.
5. Memilih pompa berdasarkan kapasitas aliran cooler dan kebutuhan head sesuai kebutuhan.

4.12.1 Refrigeran Kedua

Refrigeran sekunder atau refrigeran kedua adalah cairan yang digunakan sebagai fluida perpindahan panas yang mengubah suhu tanpa berubah fasa yang lain. refrigeran kedua yang biasa digunakan adalah air, calcium clorida, sodium chloride brine, etilen dan propylene glycol, methanol, dan gliserin. Ada beberapa kriteria dalam pemilihan refrigeran kedua antara lain:

- Kalor spesifik yang tinggi
- Konduktifitas termal yang baik
- Tidak beracun
- Tidak mudah terbakar

Refrigeran kedua seperti sodium chloride(garam)-air merupakan jenis yang sangat baik, tidak beracun, mudah didapat, namun memiliki tingkat korosif yang sangat tinggi, oleh karena itu perlu dicari alternatif lain, maka dipilih campuran propilen glikol dengan air karena tidak korosif, mudah didapatkan dan memiliki sifat yang sama dengan campuran garam-air.

Tabel 4 51 Properti Propylene Glycol

Properties Of Propylene Glycol		
Keterangan	Nilai	Satuan
Konsentrasi	30	%
Freezing point	-12,7	C
Boiling point	102	C
Densitas	1037,4	kg/m ³
Viskositas dinamik	7,07	mPa sec
Viskositas kinematis	0,000007	m ² /s
Konduktifitas termal	0,409	W/mK
Kalor spesifik	3,793	kJ/kgK

4.12.2 Air Cooler

Desain sistem pendingin tidak langsung kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) menggunakan air cooler sebagai media pendingin di dalam ruang muat kapal. Dalam menentukan air cooler hal yang terpenting perlu diperhatikan adalah cooling capacity, air flow, fluida air cooler. Untuk cooling load yang harus dipenuhi oleh air cooler di dalam ruang muat dapat dilihat pada bab 4.11.1.

Untuk air flow yang harus dipenuhi oleh air cooler harus sesuai air change per jam yang dibutuhkan oleh ruang pendingin dalam hal ini ruang muat kapal. Berdasarkan Rules BKI Part 1. Volume VIII *Rules for refrigeration* tahun 2014 air change setiap jam tidak boleh kurang dari 40 kali volume ruang muat. Set poin temperatur dalam ruang muat adalah 0°C, sehingga fluida air tidak bisa digunakan dalam evaporator air cooler karena dapat membeku pada temperatur set poin tersebut. Oleh karena itu fluida air cooler di dalam evaporator menggunakan brine. Berikut minimum 40 kali air change tiap jam:

Tabel 4.52 Air Change Ruang Muat Keseluruhan

Keterangan	Bagian	Volume (m ³)	Air Change 40x (m ³ /h)
Cargo Hold 1	Kompartemen 1	383,6979	15347,9178
	Kompartemen 2	393,6017	15744,0672
	Kompartemen 3	415,1138	16604,5518
Cargo Hold 2	Kompartemen 1	473,2216	18928,8626
	Kompartemen 2	474,0653	18962,6128
	Kompartemen 3	474,5109	18980,4362
Cargo Hold 3	Kompartemen 1	446,4642	17858,568
	Kompartemen 2	454,9419	18197,676
	Kompartemen 3	457,8801	18315,2032

Didapatkan air cooler yang digunakan untuk setiap kompartemen pada ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) adalah produk dari GUNTNER:

Tabel 4.53 Spesifikasi Air Cooler

Type	GGHN 080.2E/24-AND50	
Refrigerant	Proplyne Glycol 30%	
Product by	GUNTNER	
Cooling Capacity	108 kW	
Flow rate brine	20,6	m ³ /h
Air Flow	34560	m ³ /h
Brine in/out Diameter	76,1	mm
Panjang	3950	mm
Lebar	910	mm
Tinggi	1250	mm
Berat	470	kg
Power Consumption	2,71	kW
Jumlah	9	buah

4.12.3 Brine Pump

Pompa brine adalah komponen sistem pendingin yang mensirkulasikan brine ke chiller untuk didinginkan yang selanjutnya di distribusikan kembali ke air cooler untuk menjaga temperatur brine agar bisa menjaga muatan tetap terjaga dingin di dalam ruang muat kapal. Oleh karena itu pompa brine harus memiliki kapasitas pompa dan head yang cukup untuk mensirkulasikan brine pada sistem pendingin.

Pompa brine yang digunakan berjenis sentrifugal dan harus tahan terhadap korosif, temperatur yang rendah, serta *marine use*. Untuk memenuhi kebutuhan sistem pendingin tidak langsung tersebut maka dilakukan perhitungan kapasitas serta head pompa sebagai berikut:

a. Kapasitas Pompa Brine

Kapasitas pompa brine harus dapat memenuhi kebutuhan flow rate refrigeran kedua pada setiap ruang muat pada kapal khusus pengangkut daging sapi. Adapun perhitungan flow rate pada setiap ruang muat berbanding lurus dengan cooling load pada setiap ruang muat. Untuk mengetahui flow rate menggunakan persamaan $m = Q_{\text{ruang muat}} / C_{\text{brine}} \cdot \Delta T$, selanjutnya dibagi dengan densitas refrigeran kedua, maka didapatkan flow rate pada tiap muatan.

Tabel 4 54 Flow Rate Refrigeran Kedua

Flow Rate	Keterangan	Bagian	Brine Flow kg/s	flow m ³ /h	v in pipe m/s
Zone 1	Cargo Hold 1	K-1	4,242	14,721	0,899
	Cargo Hold 2	K-1	5,302	18,401	1,123
	Cargo Hold 3	K-1	4,799	16,656	1,017
Zone 2	Cargo Hold 1	K-2	4,295	14,905	0,910
	Cargo Hold 2	K-2	5,289	18,355	1,120
	Cargo Hold 3	K-2	4,875	16,916	1,033
Zone 3	Cargo Hold 1	K-3	4,426	15,359	0,938
	Cargo Hold 2	K-3	5,410	18,775	1,146
	Cargo Hold 3	K-3	5,009	17,386	1,061

b. Head pompa brine

- Head static pompa = 6,3 meter
(jarak bottom sampai air cooler pada tertinggi)
- Head pressure pump = 0 meter
(tidak ada perbedaan tekanan pada suction & discharge pompa)
- Head velocity pump = 0 meter
(tidak ada perbedaan kecepatan pada suction dan discharge pompa)
- Head loss suction pump
 - Viskositas brine : 0,000007 m²/s
 - Standard pip : JIS
 - Schedule pipa : 40
 - Material pipa : galvanized steel
 - Diameter pipa luar : 165,1 mm
 - Ketebalan pipa : 8,4 mm
 - Diameter pipa dalam : 148,2 mm
 - ϵ kekasaran relatif pipa : 0,15

Head loss mayor suction pompa

$$\text{Reynolad number} : \frac{\text{Kecepatan aliran} \times \text{diameter pipa}}{\text{Viskositas fluida}}$$

$$: \frac{3\text{m/s} \times 0,1482\text{m}}{0,000007 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$: 63529,03 \text{ (turbulen)}$$

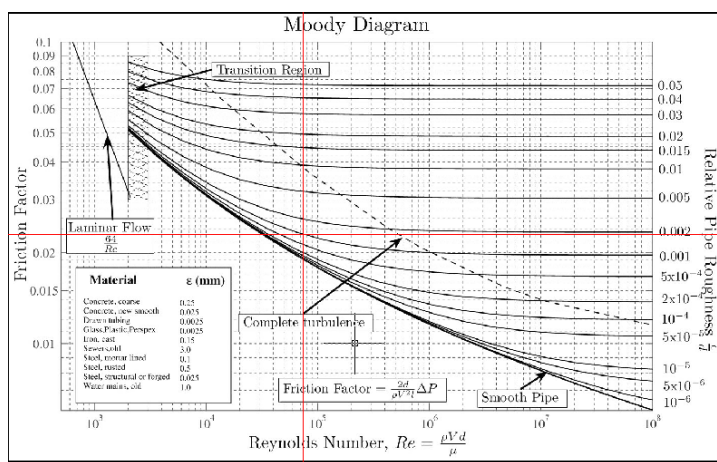
jika $R_n < 2300$, laminier

jika $2300 < Rn < 4000$, transisi
jika $Rn > 4000$, turbulen

Menghitung losses gesekan aliran turbulen menggunakan persamaan darcy-weisbach : ε/D

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15}{148,2} = 0,001012$$

Menentukan faktor gesekan pipa (f) menggunakan moody diagram menggunakan nilai reynold number dan faktor kekasaran relatif pipa = 0,025



Gambar 4.11 Diagram Moody Pompa Brine Suction

$$\begin{aligned} \text{Head loss mayor} &= f \cdot L \cdot v^2 / (D \cdot 2g) \\ &= 0,025 \cdot 41 \cdot 3 / (148,2 \cdot 2 \cdot 9,81) \\ &= 3,17 \text{ meter} \end{aligned}$$

Tabel 4.55 Fitting Suction Pompa Brine

No	Type	n	k	n x k
1.	Butterfly valve	1	0,68	0,68
2.	Elbow 90°	3	0,45	1,35
3.	Gate valve	2	0,86	1,72
4.	T joint	1	0,9	0,9
5.	Strainer	0	1,5	0
Total =				4,65

$$\begin{aligned} \text{Head loss minor} &= K_{\text{total}} \cdot v^2 / (2g) \\ &= 4,65 \cdot 3 / 2 \cdot 9,81 \end{aligned}$$

$$= 2,13$$

$$\begin{aligned} \text{Total Head loss suction} &= 3,17 + 2,13 \\ &= 5,3 \text{ meter} \end{aligned}$$

- Head loss discharge pump
Head loss mayor discharge pompa

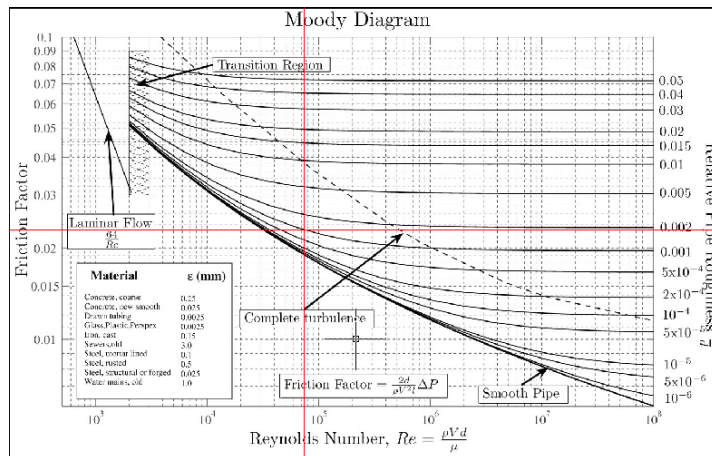
$$\begin{aligned} \text{Reynoldad number : } & \frac{\text{Kecepatan aliran } \times \text{ diameter pipa}}{\text{Viskositas fluida}} \\ & \frac{3\text{m/s} \times 0,1482\text{m}}{0,000007 \text{ m}^2/\text{s}} \\ & : 63529,03 \text{ (turbulen)} \end{aligned}$$

jika $Rn < 2300$, laminier
jika $2300 < Rn < 4000$, transisi
jika $Rn > 4000$, turbulen

Menghitung losses gesekan aliran turbulen menggunakan persamaan darcy-weisbach : ε/D

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15}{148,2} = 0,001012$$

Menentukan faktor gesekan pipa (f) menggunakan moody diagram menggunakan nilai reynold number dan faktor kekasaran relatif pipa = 0,025



Gambar 4.12 Diagram Moody Pompa Brine Discharge

$$\begin{aligned} \text{Head loss mayor} &= f \cdot L \cdot v^2 / (D \cdot 2g) \\ &= 0,025 \cdot 51 \cdot 3 / (148,2 \cdot 9,81) \\ &= 3,95 \text{ meter} \end{aligned}$$

Tabel 4.56 Fitting Discharge Pompa Brine

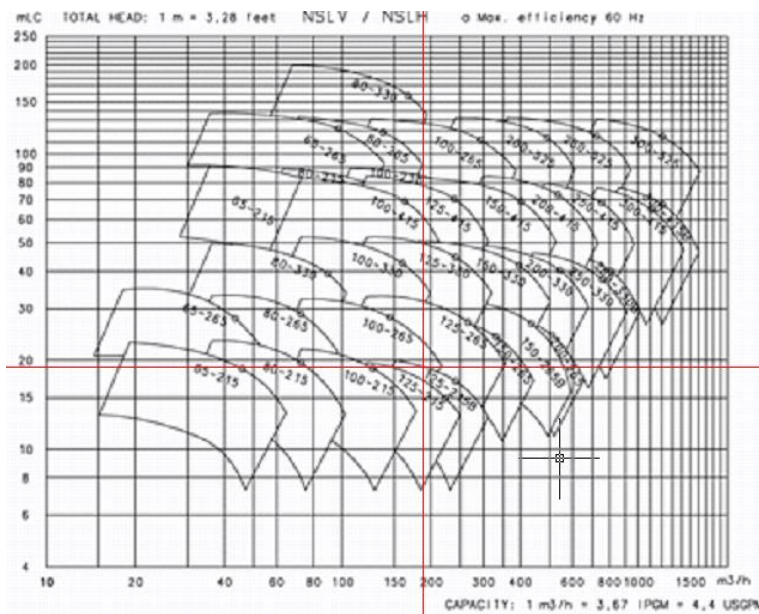
No	Type	n	k	n x k
1.	Butterfly valve	1	0,68	0,68
2.	Elbow 90°	3	0,45	1,35
3.	Gate valve	1	0,86	0,86
4.	T joint	2	0,9	1,8
5	Strainer	1	1,5	1,5
Total =				6,19

$$\begin{aligned} \text{Head loss minor} &= K_{\text{total}} \cdot v^2 / (2g) \\ &= 6,19 \cdot 3 / 2 \cdot 9,81 \\ &= 2,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Head loss suction} &= 3,94 + 2,84 \\ &= 6,78 \text{ meter} \end{aligned}$$

Head Total Pompa Brine didapatkan dari jumlah total head loss suction dan discharge dan head static, head velocity, dan head pressure adalah :
 $6,3 + 5,3 + 6,78 = 18,39$ meter

Dari kebutuhan kapasitas dan head pompa diatas, maka didapatkan pompa sebagai berikut:



Gambar 4.13 Diagram Pompa DESMI

c. Power Motor Pompa Brine

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= 185,4 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= 0,0515 \text{ m}^3/\text{s} \\
 \text{Head} &= 19,56 \text{ meter} \\
 \text{Densitas Brine} &= 1037,4 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Daya Hidrolik} &= \text{Kapasitas} \cdot \text{Head} \cdot \text{Densitas} / 75 \\
 &= 0,0515 \cdot 19,56 \cdot 1037,4 / 75 \\
 &= 13,93 \text{ HP} \\
 \text{Daya Poros Pompa} &= \text{Daya Hidrolik} / \text{efisiensi pompa} \\
 &= 13,93 / 90\% \\
 &= 15,48 \\
 \text{Daya Motor Pompa} &= \text{Daya Poros Pompa} (1+a)/\text{efisiensi} \\
 &= 15,48 (1+0,1)/0,9 \\
 &= 18,92 \text{ HP} \\
 &= 14,11 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.57 Spesifikasi Pompa Brine

Tipe	100 - 265	
Fluida kerja	Propylene Glycol 30%	
Product by	DESMI	
Flow capacity	151,47	m ³ /h
Head	18,39	meter
Power	10,84	kW

4.12.5 Brine Chiller

Chiller adalah mesin pendingin utama sistem pendingin tidak langsung. Chiller merupakan satu kesatuan sistem yang terdiri dari kompresor, kondensor, expansion valve, dan evaporator. Kesatuan sistem tersebut mendinginkan refrigeran kedua (brine), dalam hal ini adalah propilen glycol 30%

Desain sistem pendingin tidak langsung kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) menggunakan Chiller yang *marine use* sebagai mesin pendingin utama untuk mendinginkan refrigeran kedua (brine). Dipilih tiga chiller utama dan satu stand by untuk memenuhi cooling capacity dari tiga zona keseluruhan ruang muat sistem pendingin pada kapal. Cooling load setiap zona dapat dilihat pada bab 4.11.1, dari kebutuhan tersebut, maka dipilih chiller dengan produk dari CARRIER tipe 30 HXC-080 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.58 Spesifikasi Chiller

Keterangan	Nilai	Satuan
Cooling Capacity	286	kW
Refrigeran	R-134A	
Compressors		
Power Motor	53	kW
Arus Nominal Motor	101	Ampere
Arus Start	181	Ampere
Evaporator		
Shell and tube with internally finned copper tubes		
Net Volume Water	50	liter
Inlet/Outlet pipe	4	Inch
	101,6	mm
Condenser		
Shell and tube with internally finned copper tubes		
Net Volume Water	48	liter
Inlet/Outlet pipe	5	Inch
	127	mm
Dimention		
Length	2558	mm
Width	980	mm
Height	1816	mm

4.12.5 Kondenser Cooler Pump

Pompa cooler kondenser adalah pompa yang menyuplai fluida pendingin untuk menjaga suhu kondenser. Fluida kerja dari pompa cooler kondenser ini adalah air laut. Berikut detail kebutuhan pompa:

a. Kapasitas pompa cooler kondenser

Dari tabel diketahui range flow rate kondenser pada chiller tipe 30HXC 080 closed loop adalah 7,0 – 28,2 l/s pada kecepatan aliran 0,9 – 3,6. m/s Pada hal ini kecepatan aliran cooler kondenser adalah 1,5 m/s, maka dilakukan interpolasi sehingga didapatkan nilai flow rate 11,71 l/s. Nilai kecepatan aliran ini sama dengan 42,16 m³/h pada setiap chiller. Dalam hal ini pompa cooler kondenser mendinginkan 3 chiller, sehingga 42,16 m³/h x 3 = 126,48 m³/h.

Tabel 4 59 Flow rate cooler condenser

6.7 - Condenser flow rate (l/s)

30HXC	Min.*		Max.**
	Closed loop	Open loop	
080-110	2.3	7.0	28.2
120-130	3.1	9.3	37.1
140-155	3.7	11.1	44.5
175-190	4.3	13.0	51.9
200	4.9	14.8	59.2
230-285	6.7	20.1	80.4
310-375	8.0	24.0	95.9

* Based on a water velocity of 0.3 m/s in a closed loop and 0.9 m/s in an open loop.

** Based on a water velocity of 3.6 m/s.

a. Head pompa cooler kondenser

- Head static pompa = 6,605 meter
(jarak bottom sampai overboard)
- Head pressure pump = 0 meter
(tidak ada perbedaan tekanan pada suction & discharge pompa)
- Head velocity pump = 0 meter
(tidak ada perbedaan kecepatan pada suction dan discharge pompa)
- Head loss suction pump
 - Viskositas air laut : 0,000008 m²/s
 - Standard pip : JIS
 - Schedule pipa : 40
 - Material pipa : galvanized steel
 - Diameter pipa luar : 139,7 mm
 - Ketebalan pipa : 6,6 mm
 - Diameter pipa dalam : 126,5 mm
 - ε kekasaran relatif pipa : 0,15

Head loss mayor suction pompa

$$\text{Reynolad number} : \frac{\text{Kecepatan aliran} \times \text{diameter pipa}}{\text{Viskositas fluida}}$$

$$: \frac{1,5\text{m/s} \times 0,126,5\text{m}}{0,000007 \text{ m}^2/\text{s}}$$

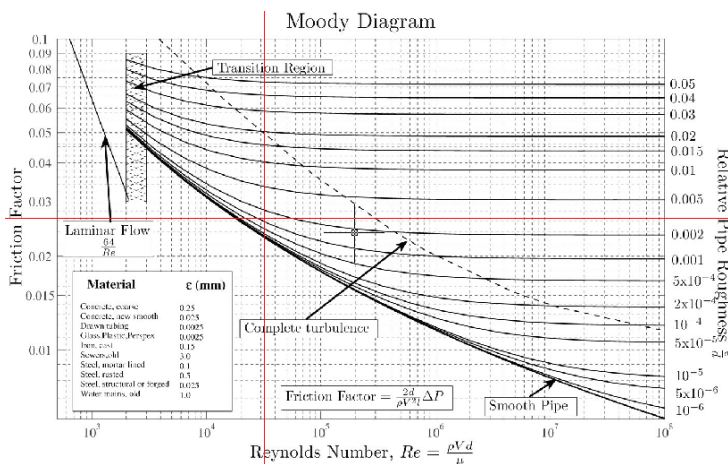
$$: 23717,25 \text{ (turbulen)}$$

jika $Rn < 2300$, laminer
 jika $2300 < Rn < 4000$, transisi
 jika $Rn > 4000$, turbulen

Menghitung losses gesekan aliran turbulen menggunakan persamaan darcy-weisbach : ϵ/D

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,15}{126,5} = 0,001186$$

Menentukan faktor gesekan pipa (f) menggunakan moody diagram menggunakan nilai reynold number dan faktor kekasaran relatif pipa = 0,026



Gambar 4.14 Diagram Moody Condenser Suction

$$\begin{aligned} \text{Head loss mayor} &= f \cdot L \cdot v^2 / (D \cdot 2g) \\ &= 0,026 \cdot 1 \cdot 1,5 / (126,5 \cdot 9,81) \\ &= 0,0236 \text{ meter} \end{aligned}$$

Tabel 4.60 Fiting Suction Pompa Cooler Kondenser

No	Type	n	k	n x k
1.	Butterfly valve	1	0,68	0,68
2.	Elbow 90°	1	0,45	0,45
3.	Gate valve	1	0,86	0,86
4.	T joint	0	0,9	0,9
5	Strainer	1	1,5	1,5
Total =				3,49

$$\begin{aligned} \text{Head loss minor} &= K_{\text{total}} \cdot v^2 / (2g) \\ &= 3,49 \cdot 1,5^2 / 2 \cdot 9,81 \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

$$\text{Total Head loss suction} = 0,02 + 0,4$$

= 0,42 meter

- Head loss discharge pump

Head loss mayor discharge pompa

Reynolad number : $\frac{\text{Kecepatan aliran} \times \text{diameter pipa}}{\text{Viskositas fluida}}$

$\frac{1,5m}{s} \times 0,1265m$

: $0,000007 \text{ m}^2/\text{s}$

: 23717,25 (turbulen)

jika $Rn < 2300$, laminer

jika $2300 < Rn < 4000$, transisi

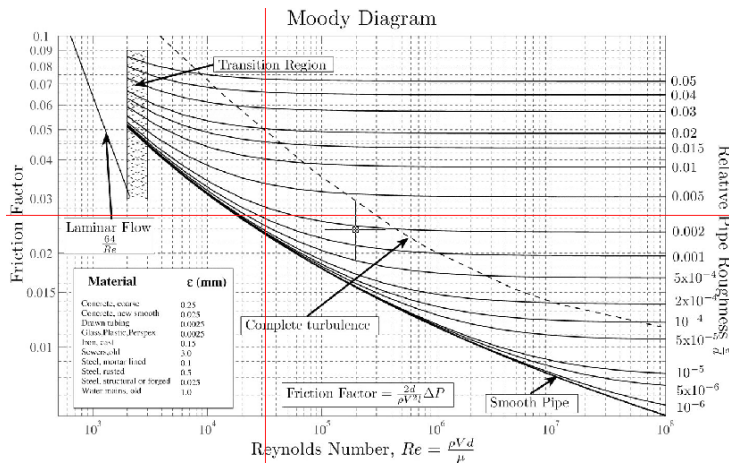
jika $Rn > 4000$, turbulen

Menghitung losses gesekan aliran turbulen menggunakan persamaan darcy-

weisbach : ϵ/D

$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,15}{148,2} = 0,001186$

Menentukan faktor gesekan pipa (f) menggunakan moody diagram menggunakan nilai reynold number dan faktor kekasaran relatif pipa = 0,025



Gambar 4.15 Diagram Moody Condenser Discharge

Head loss mayor = $f \cdot L \cdot v^2 / (D \cdot 2g)$

= $0,026 \cdot 7 \cdot 1,5^2 / (126,5 \cdot 2 \cdot 9,81)$

= 0,165 meter

Tabel 4.61 Fitting Discharge Pompa Cooler Kondenser

No	Type	n	k	n x k
1.	Butterfly valve	0	0,68	0
2.	Elbow 90°	3	0,45	1,35
3.	Gate valve	1	0,86	0,86
4.	T joint	1	0,9	0,9
5.	Strainer	1	1,5	1,5
Total =				4,16

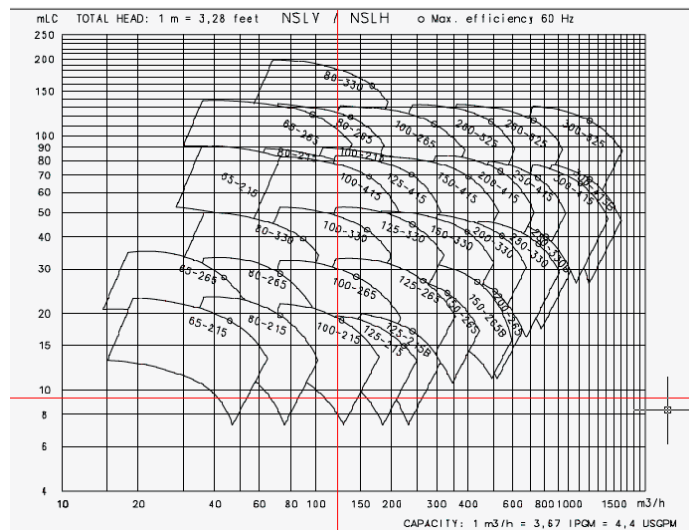
$$\begin{aligned} \text{Head loss minor} &= K_{\text{total}} \cdot v^2 / (2g) \\ &= 4,16 \cdot 3 / 2 \cdot 9,81 \\ &= 2,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Head loss discharge} &= 0,165 + 2,11 \\ &= 2,28 \text{ meter} \end{aligned}$$

Head Total Pompa Cooler kondenser didapatkan dari jumlah total head loss suction dan discharge dan head static, head velocity, dan head pressure adalah :

$$6,605 + 2,51 + 1,66 = 10,78 \text{ meter}$$

Dari kebutuhan kapasitas dan head pompa diatas, maka didapatkan pompa sebagai berikut:



Gambar 4.16 Diagram Pompa DESMI

c. Power Motor Pompa Brine

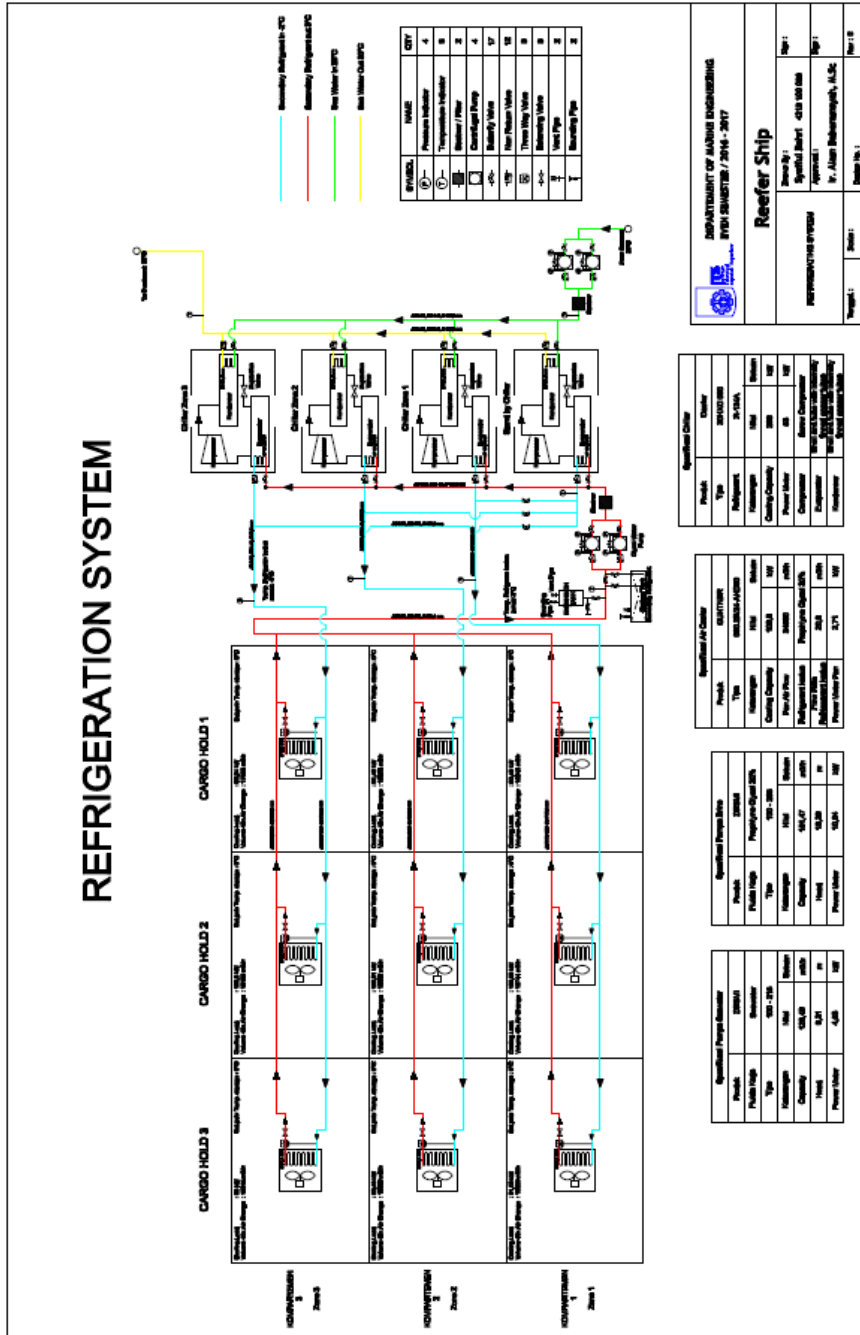
$$\text{Kapasitas} = 126,48 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,03513 \text{ m}^3/\text{s} \\
 \text{Head} &= 9,31 \text{ meter} \\
 \text{Densitas Brine} &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Daya Hidrolik} &= \text{Kapasitas} \cdot \text{Head} \cdot \text{Densitas} / 75 \\
 &= 0,03513 \cdot 9,31 \cdot 1025 / 75 \\
 &= 4,46 \text{ HP} \\
 \text{Daya Poros Pompa} &= \text{Daya Hidrolik} / \text{efisiensi pompa} \\
 &= 4,46 / 90\% \\
 &= 4,96 \\
 \text{Daya Motor Pompa} &= \text{Daya Poros Pompa} (1+a) / \text{efisiensi} \\
 &= 4,96 (1+0,1) / 0,9 \\
 &= 6,07 \text{ HP} \\
 &= 4,53 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.62 Spesifikasi Pompa Cooler Kondensor

Tipe	100 - 215	
Fluida kerja	Air Laut	
Product by	DESMI	
Flow capacity	126,48	m ³ /h
Head	9,31	meter
Power	4,53	kW

4.13 Desain Sistem Pendingin Tidak Langsung (Indirect Expansion System)



Gambar 4.17 Drawing Refrigeration Indirect Expansion System

1. Flow Rate Refrigeran Kedua Pada Setiap Zona
 Temperatur Refrigeran kedua masuk ke Air Cooler = -3°C
 Temperatur Refrigeran kedua masuk ke Air Cooler = 2°C

Memastikan flow rate refrigeran kedua untuk memenuhi cooling capacity setiap zona dihitung menggunakan metode perhitungan LMTD, $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$
 Didapatkan hasil perhitungan flow rate sebagai berikut:

Tabel 4 63 Tabel Flow Rate Refrigeran Kedua Setiap Zona

Flow Setiap Zona	Tot. Cooling Load (kW)	m dot kg/s	flow m ³ /h	flow l/s	v in pipe m/s
Zone 1	272,04	14,34	49,78	13,82708	3,038761
Zone 2	274,21	14,46	50,18	13,93771	3,063074
Zone 3	281,56	14,85	51,52	14,31102	3,145115

2. Perhitungan Volume Minimal Refrigeran Kedua
 Untuk memenuhi kebutuhan volume minimal air refrigeran kedua yang disirkulasi dalam sistem dalam project guide chiller dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

6.5 - System minimum water volume

Whichever the system, the water loop minimum capacity is given by the formula:

$$\text{Capacity} = \text{Cap (kW)} \times N \text{ litres}$$

Application	N
Normal air conditioning	3.25
Process type cooling	6.5

Where Cap is the nominal system cooling capacity (kW) at the nominal operating conditions of the installation.

This volume is necessary for stable operation and accurate temperature control.

$$\begin{aligned} \text{Capacity} &= \text{Jumlah Chiller beroperasi} \times \text{Cap Chiller (kW)} \times N \quad (\text{liters}) \\ &= 3 \times 286 \text{ kW} \times 6,5 \\ &= 5577 \text{ liters} = 5,577 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi volume tanki storage refrigeran kedua} = 5,577 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk volume expansion tank 10\% total volume tanki} \\ \text{Volume Expansion Tank} &= 10\% \times 5,577 \text{ m}^3 \\ &= 0,5577 \text{ m}^3 = 557,7 \text{ liters} \end{aligned}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan untuk merencanakan sistem pendingin ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisis dan perhitungan proses pendinginan keseluruhan ruang muat didapatkan cooling capacity keseluruhan ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) adalah 827,9 kW
2. Hasil analisis perencanaan insulasi ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) didapatkan material yang digunakan untuk insulasi ruang muat adalah polyurethane foam dan lembaran aluminium sebagai pelapis akhir dengan ketebalan keseluruhan yang efektif dan efisien 150 mm.
3. Perencanaan sistem pendingin ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi menggunakan sistem pendingin tidak langsung (*indirect expansion system*) menggunakan refrigeran kedua propylene glycol 30% dengan pembagian zona pendinginan menjadi tiga zona. Dengan rincian cooling capacity setiap zona sebagai berikut, 272 kW, 274,2 kW, dan 281,5 kW.
4. Perencanaan sistem pendingin ruang muat kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*) menggunakan komponen sistem pendingin tidak langsung (*indirect expansion system*) sebagai berikut, empat buah brine chiller dengan cooling capacity 286 kW dengan refrigeran R-134A, dua buah pompa brine kapasitas 151,47 m³/h dan head pompa 18,39 meter dengan power motor 10,84 kW, dua buah pompa cooler kondenser kapasitas 126,48 m³/h dan head pompa 9,31 meter dengan power motor 4,53 kW, dan air cooler menggunakan refrigeran kedua propylene glycol 30% dengan cooling capacity 108 kW dengan motor fan 2,71 kW.

5.2 Saran

1. Diperlukan analisis lebih lanjut tentang performa sistem pendingin tidak langsung (Indirect Expansion System)
2. Diperlukan analisis ekonomis untuk mengetahui kebutuhan biaya yang diperlukan dalam merencanakan insulasi ruang muat serta sistem pendingin tidak langsung pada kapal khusus pengangkut daging sapi (*reefer ship*)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (2009). Fundamental. *ASHRAE Handbook 2009 Fundamental*.
- ASHRAE. (2010). Refrigeration. *ASHRAE Handbook 2010 Refrigeration*.
- BKI. (2014). *VOLUME VIII Rules for Refrigerating Instalation*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- BKI. (2015). *VOLUME III Rules for Machinery Instalation*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Dossat, R. J. (1997). *Principle of Refrigeration Fourth Edition*. New Jersey, Ohio: Prentice Hall.
- Halim, G. (2013). Pemilihan Sistem Rantai Dingin (Cold Chain) Daging Segar yang Memenuhi Persyaratan Halal.
- Holman, J. (2010). *Heat Transfer Tenth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Krisnafi, Y. (2009). Analisis Teknik dan Ekonomis Penggunaan Kombinasi Sistem Pendingin Chilled Sea-Water (CSW) dan Refrigerated Sea-Water (RSW) Pada Kapal Ikan Purse Seine (Studi Kasus: KM. Madidihang-02).
- Lewis F. Moody, Prinjencton N.J. (1944). Friction Factor For Pipe Flow. *Transaction of The A.S.M.E.*
- Lukman, D. W. (2010). *Pendinginan dan Pembekuan Daging*. Bogor: blogger.
- Melinder, Å. (t.thn.). *Handbook On Indirect Refrigeration and Heat Pump System*. Kullavik, Sweden: Svenska Kyltekniska Föreningen, KTF, Banvallen 11.
- Prakoso, A. B. (2014). Desain Kapal Khusus Pengangkut Daging Sapi Rute Nusa Tenggara Timur (NTT) - Jakarta.
- Prihutomo, A. N. (2015). Studi Perancangan Reefer Ship 3000 GT Dilengkapi Dengan Direct Cooling Refrigeration Sebagai Sistem Pendingin Muatan Kapal Untuk Wilayah Pelayaran Pesisir Timur Sumatera.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

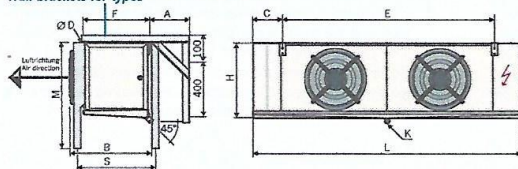
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Gewicht und Maße

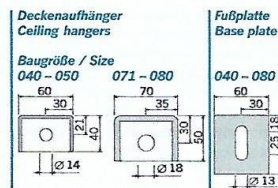
Weights and Dimensions

GGHN - 2 Ventilatoren - 2 Fans												
Typ Type	Rohrvolumen Tube volume	Nettogewicht Net weight	Abmessungen Dimensions									Ablauf G-Gewinde flach- dichtend Drain G-thread flat sealing DIN-ISO 228-1
			L	B	H	E	F	C	M	S	A	
	l	kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	K
040.2D/24-ANW50	10,6	75	1770	540	550	1360	425	210	870	580	400	G1¼"
040.2F/24-ANW50	15,9	101	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
045.2D/24-ANW50	16,2	97	2250	665	650	1780	545	240	970	700	500	G1¼"
045.2E/24-ANW50	20,2	121	2250	665	650	1780	545	240	970	700	500	G1¼"
050.2D/24-ANS50	21,0	131	2470	645	750	2000	545	240	1070	700	550	G1¼"
050.2E/24-ANS50	24,7	150	2470	645	750	2000	545	240	1070	700	550	G1¼"
050.2F/24-ANS50	31,4	184	2470	825	760	2000	700	240	1070	855	550	G1¼"
071.2D/24-AND50	35,7	313	3460	900	955	2720	715	380	1350	885	700	G2"
071.2E/24-AND50	44,7	342	3460	900	955	2720	715	380	1350	885	700	G2"
071.2F/24-AND50	53,6	392	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
080.2D/24-AND50	55,5	424	3960	910	1250	3200	715	380	1650	890	700	G2"
080.2E/24-AND50	69,3	470	3960	910	1250	3200	715	380	1650	890	700	G2"
080.2F/24-AND50	83,2	580	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"
040.2F/27-ANW50	15,9	92	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
040.2H/27-ANW50	21,2	100	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
045.2E/27-ANW50	20,2	108	2250	665	650	1780	545	240	970	700	500	G1¼"
045.2F/27-ANW50	24,3	125	2250	815	660	1780	700	240	970	850	500	G1¼"
045.2H/27-ANW50	32,3	138	2250	815	660	1780	700	240	970	850	500	G1¼"
050.2F/27-ANS50	29,9	154	2470	825	760	2000	700	240	1070	855	550	G1¼"
050.2H/27-ANS50	41,9	184	2470	825	760	2000	700	240	1070	855	550	G1¼"
071.2E/27-AND50	44,7	279	3460	900	955	2720	715	380	1350	885	700	G2"
071.2F/27-AND50	53,6	357	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
071.2H/27-AND50	71,5	387	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
080.2E/27-AND50	69,3	425	3960	910	1250	3200	715	380	1650	890	700	G2"
080.2F/27-AND50	83,2	483	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"
080.2H/27-AND50	111,0	531	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"
040.2F/210-ANW50	15,9	88	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
040.2H/210-ANW50	21,2	100	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
045.2E/210-ANW50	20,2	103	2250	665	650	1780	545	240	970	700	500	G1¼"
045.2F/210-ANW50	24,3	117	2250	815	660	1780	700	240	970	850	500	G1¼"
045.2H/210-ANW50	32,3	138	2250	815	660	1780	700	240	970	850	500	G1¼"
050.2H/210-ANS50	41,9	185	2470	825	760	2000	700	240	1070	855	550	G1¼"
071.2E/210-AND50	44,7	302	3460	900	955	2720	715	380	1350	885	700	G2"
071.2F/210-AND50	53,6	341	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
071.2H/210-AND50	71,5	386	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
080.2F/210-AND50	83,2	461	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"
080.2H/210-AND50	111,0	531	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"
040.2F/212-ANW50	15,9	85	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
040.2H/212-ANW50	21,2	96	1770	815	560	1360	700	210	870	855	400	G1¼"
045.2E/212-ANW50	20,2	98	2250	665	650	1780	545	240	970	700	500	G1¼"
045.2F/212-ANW50	24,3	114	2250	815	660	1780	700	240	970	850	500	G1¼"
045.2H/212-ANW50	32,3	135	2250	815	660	1780	700	240	970	850	500	G1¼"
050.2H/212-ANS50	41,9	176	2470	825	760	2000	700	240	1070	855	550	G1¼"
071.2E/212-AND50	44,7	292	3460	900	955	2720	715	380	1350	885	700	G2"
071.2F/212-AND50	53,6	334	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
071.2H/212-AND50	71,5	377	3460	1050	965	2720	865	380	1350	1040	700	G2"
080.2F/212-AND50	83,2	451	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"
080.2H/212-AND50	111,0	518	3960	1060	1260	3200	865	380	1650	1040	700	G2"

Wandkonsolen für Typen 040.2, 045.2, 050.2
Wall brackets for types

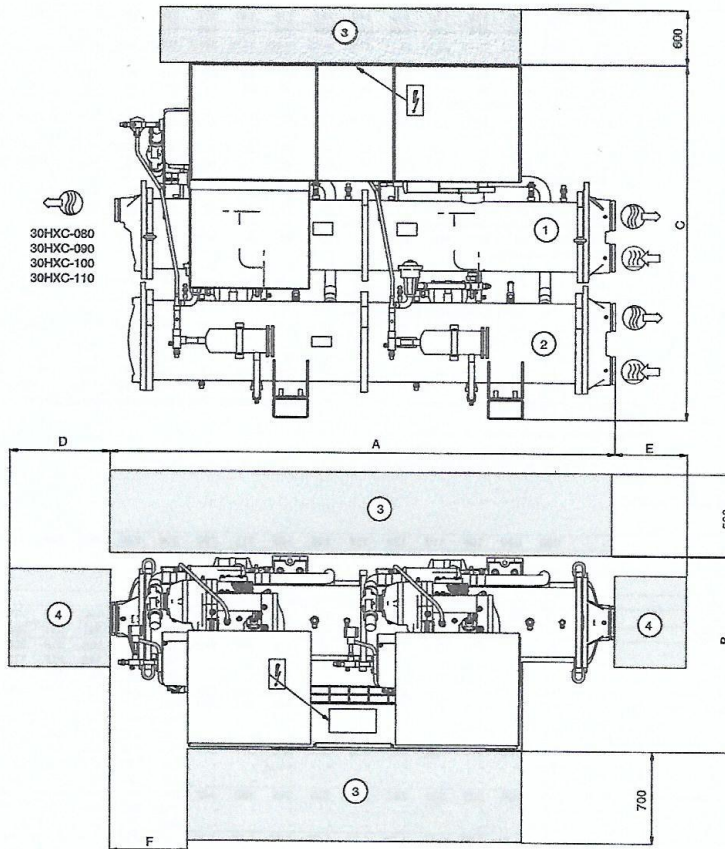


Technische Änderungen vorbehalten. Subject to technical amendments without prior notice!






3 - DIMENSIONS, CLEARANCES, WEIGHT DISTRIBUTION

3.1 - 30HXC 080-190



30HXC-080
30HXC-090
30HXC-100
30HXC-110

- Legend**
All dimensions are in mm.
- ① Evaporator
 - ② Condenser
 - ③ Clearances required for operation and maintenance
 - ④ Clearances required for heat exchanger tube removal. Clearances D and E can be either on the left or on the right hand side.
 -  Water inlet
 -  Water outlet
 -  Power supply

30HXC	A	B	C	D	E	F
080-090-100	2558	980	1800	2200	1000	385
110	2565	980	1850	2200	1000	385
120-130-140-155	3275	980	1816	2990	1000	689
175-190	3275	980	1940	2990	1000	689

NOTE: Refer to the certified dimensional drawings supplied with the unit, when designing an installation.

Applications

Within marine industry the pumps are suitable as fresh and seawater cooling pumps, bilge and ballast pumps, fire-fighting and general service pumps, and further for transport of slightly aggressive liquids with low viscosity such as diesel and lubricating oils. Further, the pumps can be supplied in a special version for pumping brine and similar media.

All pump sizes are available as self-priming pumps with a separate built-on priming pump of the water ring type, complete with suction strainer and water feed tank.

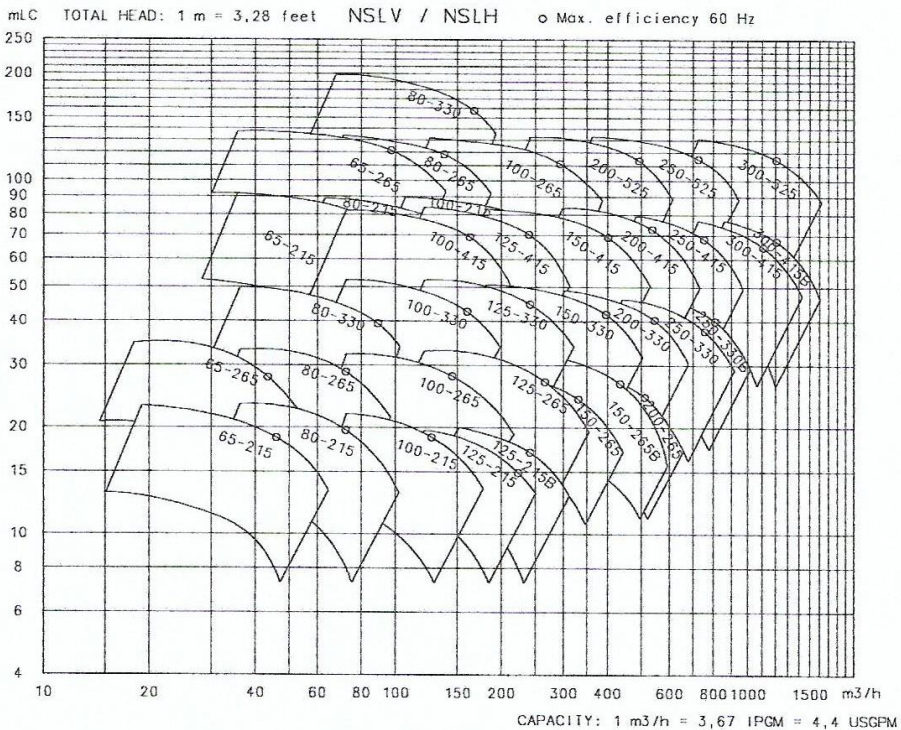
The priming pump is equipped with its own electric motor and is suitable for manual or automatic start/stop.

The pump can also be equipped with an air-operated ejector priming unit.

Ask for brochures on B114 priming unit or 1/2"-1" ejector, if you need further information on this - or find it on our website.



DESMI NSLV



DESMI

Table 12—Densities (kg/m³) of Aqueous Solutions of DOWFROST HD Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol							
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
-35							1094.7	1104.7
-30						1081.9	1092.8	1102.5
-25						1080.2	1090.8	1100.2
-20					1066.6	1078.4	1088.7	1097.8
-15					1065.0	1076.5	1086.5	1095.3
-10				1050.7	1063.3	1074.5	1084.2	1092.7
-5			1035.1	1049.2	1061.5	1072.4	1081.8	1089.9
0		1018.2	1033.8	1047.5	1059.5	1070.1	1079.3	1087.1
5	1006.7	1017.0	1032.3	1045.7	1057.5	1067.8	1076.6	1084.2
10	1004.3	1015.7	1030.6	1043.8	1055.3	1065.3	1073.9	1081.2
15	1001.9	1014.2	1028.9	1041.8	1053.0	1062.7	1071.1	1078.1
20	999.4	1012.6	1027.0	1039.6	1050.5	1060.0	1068.1	1074.9
25	996.9	1010.9	1025.0	1037.4	1048.0	1057.2	1065.0	1071.5
30	994.3	1009.1	1022.9	1035.0	1045.3	1054.3	1061.9	1068.1
35	991.7	1007.2	1020.7	1032.5	1042.6	1051.3	1058.6	1064.6
40	989.0	1005.1	1018.3	1029.8	1039.7	1048.1	1055.2	1061.0
45	986.3	1002.9	1015.8	1027.1	1036.7	1044.9	1051.7	1057.3
50	983.5	1000.6	1013.2	1024.2	1033.5	1041.5	1048.1	1053.4
55	980.7	998.1	1010.5	1021.2	1030.3	1038.0	1044.4	1049.5
60	977.8	995.5	1007.6	1018.1	1026.9	1034.5	1040.6	1045.5
65	974.9	992.8	1004.6	1014.8	1023.5	1030.8	1036.7	1041.4
70	971.9	990.0	1001.5	1011.5	1019.9	1026.9	1032.7	1037.2
75	968.8	987.0	998.3	1008.0	1016.2	1023.0	1028.5	1032.8
80	965.7	984.0	995.0	1004.4	1012.3	1019.0	1024.3	1028.4
85	962.6	980.7	991.5	1000.7	1008.4	1014.8	1020.0	1023.9
90	959.3	977.4	987.9	996.8	1004.3	1010.5	1015.5	1019.3
95	956.0	974.0	984.2	992.9	1000.1	1006.2	1010.9	1014.6
100	952.6	970.4	980.3	988.8	995.8	1001.7	1006.3	1009.7
105	949.2	966.7	976.3	984.6	991.4	997.1	1001.5	1004.8
110	945.7	962.8	972.3	980.2	986.9	992.3	996.6	999.8
115	942.1	958.9	968.0	975.8	982.2	987.5	991.6	994.7
120	938.5	954.8	963.7	971.2	977.5	982.6	986.5	989.4
125	934.7	950.6	959.2	966.5	972.6	977.5	981.3	984.1
130	930.9	946.3	954.7	961.7	967.6	972.3	976.0	978.7
135	927.1	941.8	949.9	956.8	962.5	967.1	970.6	973.1
140	923.1	937.2	945.1	951.8	957.2	961.7	965.1	967.5
145	919.1	932.5	940.2	946.6	951.9	956.2	959.5	961.8
150	914.9	927.7	935.1	941.3	946.4	950.5	953.7	956.0
155	910.7	922.7	929.9	935.9	940.8	944.8	947.9	950.0
160	906.4	917.7	924.5	930.3	935.1	939.0	941.9	944.0

■ = At or above atmospheric boiling point.

NOTE: To determine specific gravity, divide the density of the fluid by the density of water at 20°C.

Table 20—Thermal Conductivity (W/mK) of Aqueous Solutions of DOWFROST HD Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol							
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
-35							0.269	0.242
-30						0.302	0.272	0.245
-25						0.306	0.275	0.247
-20					0.346	0.311	0.278	0.250
-15					0.351	0.315	0.282	0.252
-10				0.397	0.356	0.319	0.285	0.254
-5			0.449	0.403	0.361	0.323	0.288	0.256
0		0.510	0.456	0.409	0.366	0.327	0.291	0.259
5	0.572	0.518	0.463	0.415	0.371	0.331	0.294	0.261
10	0.582	0.526	0.470	0.421	0.376	0.334	0.297	0.263
15	0.591	0.534	0.477	0.426	0.380	0.338	0.299	0.265
20	0.599	0.541	0.483	0.431	0.384	0.341	0.302	0.267
25	0.608	0.548	0.489	0.436	0.388	0.344	0.304	0.268
30	0.615	0.555	0.494	0.441	0.392	0.347	0.307	0.270
35	0.623	0.561	0.500	0.445	0.396	0.350	0.309	0.272
40	0.630	0.567	0.505	0.450	0.399	0.353	0.311	0.273
45	0.636	0.573	0.509	0.453	0.402	0.355	0.313	0.274
50	0.642	0.578	0.514	0.457	0.405	0.358	0.314	0.275
55	0.648	0.583	0.518	0.460	0.408	0.360	0.316	0.277
60	0.653	0.587	0.521	0.463	0.410	0.362	0.317	0.277
65	0.657	0.591	0.525	0.466	0.413	0.363	0.319	0.278
70	0.662	0.595	0.528	0.469	0.415	0.365	0.320	0.279
75	0.666	0.598	0.531	0.471	0.416	0.366	0.321	0.280
80	0.669	0.601	0.533	0.473	0.418	0.367	0.321	0.280
85	0.672	0.604	0.535	0.474	0.419	0.368	0.322	0.281
90	0.675	0.606	0.537	0.476	0.420	0.369	0.323	0.281
95	0.677	0.608	0.538	0.477	0.421	0.370	0.323	0.281
100	0.679	0.609	0.540	0.478	0.422	0.370	0.323	0.281
105	0.681	0.611	0.541	0.479	0.423	0.371	0.323	0.281
110	0.682	0.612	0.542	0.480	0.423	0.371	0.323	0.281
115	0.683	0.613	0.542	0.480	0.423	0.371	0.323	0.281
120	0.684	0.613	0.543	0.480	0.423	0.371	0.323	0.280
125	0.684	0.613	0.543	0.480	0.423	0.370	0.323	0.280
130	0.684	0.614	0.543	0.480	0.423	0.370	0.322	0.279
135	0.684	0.613	0.542	0.480	0.422	0.370	0.322	0.279
140	0.684	0.613	0.542	0.479	0.422	0.369	0.321	0.278
145	0.684	0.613	0.541	0.478	0.421	0.368	0.320	0.277
150	0.683	0.612	0.541	0.478	0.420	0.367	0.320	0.276
155	0.682	0.611	0.540	0.477	0.419	0.366	0.319	0.275
160	0.681	0.610	0.538	0.476	0.418	0.365	0.317	0.274

= At or above atmospheric boiling point.

Table 22—Specific Heat (kJ/kg K) of Aqueous Solutions of DOWFROST Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol									
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-35							3.096	2.843	2.572	2.264
-30						3.339	3.118	2.868	2.600	2.295
-25						3.358	3.140	2.893	2.627	2.326
-20					3.569	3.378	3.162	2.918	2.655	2.356
-15					3.586	3.397	3.184	2.943	2.683	2.387
-10				3.765	3.603	3.416	3.206	2.968	2.710	2.417
-5			3.918	3.779	3.619	3.435	3.228	2.993	2.738	2.448
0		4.042	3.929	3.793	3.636	3.455	3.250	3.018	2.766	2.478
5	4.229	4.050	3.940	3.807	3.652	3.474	3.272	3.042	2.793	2.509
10	4.195	4.058	3.951	3.820	3.669	3.493	3.295	3.067	2.821	2.539
15	4.168	4.067	3.962	3.834	3.685	3.513	3.317	3.092	2.849	2.570
20	4.147	4.075	3.973	3.848	3.702	3.532	3.339	3.117	2.876	2.600
25	4.132	4.083	3.983	3.862	3.718	3.551	3.361	3.142	2.904	2.631
30	4.121	4.091	3.994	3.875	3.735	3.570	3.383	3.167	2.931	2.661
35	4.115	4.099	4.005	3.889	3.751	3.590	3.405	3.192	2.959	2.692
40	4.114	4.107	4.016	3.903	3.768	3.609	3.427	3.217	2.987	2.723
45	4.115	4.115	4.027	3.917	3.784	3.628	3.449	3.242	3.014	2.753
50	4.120	4.123	4.038	3.930	3.801	3.648	3.471	3.266	3.042	2.784
55	4.128	4.131	4.049	3.944	3.817	3.667	3.493	3.291	3.070	2.814
60	4.138	4.139	4.060	3.958	3.834	3.686	3.515	3.316	3.097	2.845
65	4.150	4.147	4.071	3.972	3.850	3.706	3.537	3.341	3.125	2.875
70	4.164	4.155	4.082	3.985	3.867	3.725	3.559	3.366	3.153	2.906
75	4.179	4.163	4.093	3.999	3.883	3.744	3.581	3.391	3.180	2.936
80	4.196	4.171	4.104	4.013	3.900	3.763	3.603	3.416	3.208	2.967
85	4.213	4.179	4.115	4.027	3.916	3.783	3.625	3.441	3.236	2.997
90	4.231	4.187	4.126	4.040	3.933	3.802	3.647	3.465	3.263	3.028
95	4.249	4.195	4.136	4.054	3.949	3.821	3.670	3.490	3.291	3.058
100	4.267	4.203	4.147	4.068	3.966	3.841	3.692	3.515	3.319	3.089
105	4.285	4.211	4.158	4.082	3.982	3.860	3.714	3.540	3.346	3.119
110	4.303	4.219	4.169	4.095	3.999	3.879	3.736	3.565	3.374	3.150
115	4.321	4.227	4.180	4.109	4.015	3.898	3.758	3.590	3.402	3.181
120	4.338	4.235	4.191	4.123	4.032	3.918	3.780	3.615	3.429	3.211

■ = At or above atmospheric boiling point.

Table 14—Viscosities (mPa sec) of Aqueous Solutions of DOWFROST Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol									
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-35							524.01	916.18	1434.22	3813.29
-30						171.54	330.39	551.12	908.47	2071.34
-25						109.69	211.43	340.09	575.92	1176.09
-20					48.90	72.42	137.96	215.67	368.77	696.09
-15					33.07	49.29	92.00	140.62	239.86	428.19
-10				11.84	23.11	34.51	62.78	94.23	159.02	272.94
-5			4.98	9.07	16.63	24.81	43.84	64.83	107.64	179.78
0		2.68	4.05	7.07	12.30	18.28	31.32	45.74	74.45	122.03
5	1.51	2.23	3.34	5.61	9.32	13.77	22.87	33.04	52.63	85.15
10	1.30	1.89	2.79	4.52	7.21	10.59	17.05	24.41	37.99	60.93
15	1.14	1.63	2.36	3.69	5.70	8.30	12.96	18.41	28.00	44.62
20	1.00	1.42	2.02	3.06	4.59	6.62	10.04	14.15	21.04	33.38
25	0.89	1.25	1.74	2.57	3.75	5.36	7.91	11.08	16.10	25.45
30	0.79	1.11	1.52	2.19	3.12	4.41	6.34	8.81	12.55	19.76
35	0.72	0.99	1.34	1.88	2.62	3.68	5.15	7.12	9.94	15.60
40	0.65	0.89	1.18	1.63	2.24	3.10	4.25	5.84	7.99	12.49
45	0.59	0.81	1.06	1.43	1.93	2.65	3.55	4.85	6.52	10.15
50	0.54	0.73	0.95	1.26	1.68	2.28	3.00	4.08	5.39	8.35
55	0.50	0.67	0.86	1.13	1.48	1.99	2.57	3.46	4.51	6.95
60	0.46	0.62	0.78	1.01	1.31	1.75	2.22	2.98	3.82	5.85
65	0.43	0.57	0.71	0.92	1.18	1.55	1.93	2.58	3.28	4.97
70	0.40	0.53	0.66	0.83	1.06	1.38	1.70	2.26	2.83	4.26
75	0.37	0.49	0.60	0.76	0.96	1.24	1.51	1.99	2.47	3.69
80	0.35	0.46	0.56	0.70	0.88	1.12	1.35	1.77	2.18	3.22
85	0.33	0.43	0.52	0.65	0.81	1.02	1.22	1.59	1.94	2.83
90	0.31	0.40	0.49	0.60	0.75	0.93	1.10	1.43	1.73	2.50
95	0.29	0.38	0.45	0.56	0.69	0.86	1.01	1.30	1.56	2.23
100	0.28	0.35	0.43	0.53	0.65	0.79	0.92	1.18	1.42	2.00
105	0.27	0.33	0.40	0.50	0.60	0.74	0.85	1.08	1.29	1.80
110	0.25	0.32	0.38	0.47	0.57	0.69	0.79	1.00	1.19	1.63
115	0.24	0.30	0.36	0.45	0.54	0.64	0.74	0.93	1.09	1.48
120	0.23	0.28	0.34	0.42	0.51	0.60	0.69	0.86	1.02	1.35

= At or above atmospheric boiling point.

Table 16—Viscosities (mPa sec) of Aqueous Solutions of DOWFROST HD Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol							
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
-35							524.01	916.18
-30						171.54	330.39	551.12
-25						109.69	211.43	340.09
-20					48.90	72.42	137.96	215.67
-15					33.07	49.29	92.00	140.62
-10				11.84	23.11	34.51	62.78	94.23
-5			4.98	9.07	16.63	24.81	43.84	64.83
0		2.68	4.05	7.07	12.30	18.28	31.32	45.74
5	1.51	2.23	3.34	5.61	9.32	13.77	22.87	33.04
10	1.30	1.89	2.79	4.52	7.21	10.59	17.05	24.41
15	1.14	1.63	2.36	3.69	5.70	8.30	12.96	18.41
20	1.00	1.42	2.02	3.06	4.59	6.62	10.04	14.15
25	0.89	1.25	1.74	2.57	3.75	5.36	7.91	11.08
30	0.79	1.11	1.52	2.19	3.12	4.41	6.34	8.81
35	0.72	0.99	1.34	1.88	2.62	3.68	5.15	7.12
40	0.65	0.89	1.18	1.63	2.24	3.10	4.25	5.84
45	0.59	0.81	1.06	1.43	1.93	2.65	3.55	4.85
50	0.54	0.73	0.95	1.26	1.68	2.28	3.00	4.08
55	0.50	0.67	0.86	1.13	1.48	1.99	2.57	3.46
60	0.46	0.62	0.78	1.01	1.31	1.75	2.22	2.98
65	0.43	0.57	0.71	0.92	1.18	1.55	1.93	2.58
70	0.40	0.53	0.66	0.83	1.06	1.38	1.70	2.26
75	0.37	0.49	0.60	0.76	0.96	1.24	1.51	1.99
80	0.35	0.46	0.56	0.70	0.88	1.12	1.35	1.77
85	0.33	0.43	0.52	0.65	0.81	1.02	1.22	1.59
90	0.31	0.40	0.49	0.60	0.75	0.93	1.10	1.43
95	0.29	0.38	0.45	0.56	0.69	0.86	1.01	1.30
100	0.28	0.35	0.43	0.53	0.65	0.79	0.92	1.18
105	0.27	0.33	0.40	0.50	0.60	0.74	0.85	1.08
110	0.25	0.32	0.38	0.47	0.57	0.69	0.79	1.00
115	0.24	0.30	0.36	0.45	0.54	0.64	0.74	0.93
120	0.23	0.28	0.34	0.42	0.51	0.60	0.69	0.86
125	0.22	0.27	0.32	0.41	0.48	0.57	0.65	0.80
130	0.21	0.26	0.31	0.39	0.46	0.54	0.61	0.75
135	0.20	0.24	0.29	0.37	0.44	0.51	0.58	0.71
140	0.19	0.23	0.28	0.36	0.42	0.48	0.55	0.67
145	0.18	0.22	0.27	0.34	0.40	0.46	0.52	0.63
150	0.18	0.21	0.26	0.33	0.39	0.44	0.50	0.60
155	0.17	0.20	0.25	0.32	0.38	0.42	0.48	0.57
160	0.16	0.20	0.24	0.31	0.36	0.40	0.46	0.55

■ = At or above atmospheric boiling point.

Table 18—Thermal Conductivity (W/mK) of Aqueous Solutions of DOWFROST Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol									
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-35							0.269	0.242	0.220	0.203
-30						0.302	0.272	0.245	0.222	0.204
-25						0.306	0.275	0.247	0.224	0.205
-20					0.346	0.311	0.278	0.250	0.226	0.206
-15					0.351	0.315	0.282	0.252	0.227	0.207
-10				0.397	0.356	0.319	0.285	0.254	0.229	0.208
-5			0.449	0.403	0.361	0.323	0.288	0.256	0.230	0.209
0		0.510	0.456	0.409	0.366	0.327	0.291	0.259	0.232	0.210
5	0.572	0.518	0.463	0.415	0.371	0.331	0.294	0.261	0.233	0.211
10	0.582	0.526	0.470	0.421	0.376	0.334	0.297	0.263	0.235	0.212
15	0.591	0.534	0.477	0.426	0.380	0.338	0.299	0.265	0.236	0.213
20	0.599	0.541	0.483	0.431	0.384	0.341	0.302	0.267	0.237	0.214
25	0.608	0.548	0.489	0.436	0.388	0.344	0.304	0.268	0.239	0.215
30	0.615	0.555	0.494	0.441	0.392	0.347	0.307	0.270	0.240	0.215
35	0.623	0.561	0.500	0.445	0.396	0.350	0.309	0.272	0.241	0.216
40	0.630	0.567	0.505	0.450	0.399	0.353	0.311	0.273	0.242	0.216
45	0.636	0.573	0.509	0.453	0.402	0.355	0.313	0.274	0.242	0.217
50	0.642	0.578	0.514	0.457	0.405	0.358	0.314	0.275	0.243	0.217
55	0.648	0.583	0.518	0.460	0.408	0.360	0.316	0.277	0.244	0.218
60	0.653	0.587	0.521	0.463	0.410	0.362	0.317	0.277	0.244	0.218
65	0.657	0.591	0.525	0.466	0.413	0.363	0.319	0.278	0.245	0.218
70	0.662	0.595	0.528	0.469	0.415	0.365	0.320	0.279	0.245	0.218
75	0.666	0.598	0.531	0.471	0.416	0.366	0.321	0.280	0.246	0.218
80	0.669	0.601	0.533	0.473	0.418	0.367	0.321	0.280	0.246	0.218
85	0.672	0.604	0.535	0.474	0.419	0.368	0.322	0.281	0.246	0.218
90	0.675	0.606	0.537	0.476	0.420	0.369	0.323	0.281	0.246	0.218
95	0.677	0.608	0.538	0.477	0.421	0.370	0.323	0.281	0.246	0.218
100	0.679	0.609	0.540	0.478	0.422	0.370	0.323	0.281	0.246	0.218
105	0.681	0.611	0.541	0.479	0.423	0.371	0.323	0.281	0.246	0.218
110	0.682	0.612	0.542	0.480	0.423	0.371	0.323	0.281	0.246	0.217
115	0.683	0.613	0.542	0.480	0.423	0.371	0.323	0.281	0.245	0.217
120	0.684	0.613	0.543	0.480	0.423	0.371	0.323	0.280	0.245	0.216

■ = At or above atmospheric boiling point.

Table 24—Specific Heat (kJ/kg K) of Aqueous Solutions of DOWFROST HD Fluid—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol							
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
-35							2.860	2.542
-30						3.166	2.887	2.573
-25						3.189	2.913	2.604
-20					3.455	3.211	2.940	2.635
-15					3.473	3.234	2.967	2.666
-10				3.699	3.492	3.256	2.994	2.697
-5			3.893	3.714	3.510	3.279	3.021	2.728
0		4.057	3.903	3.728	3.529	3.302	3.047	2.760
5	4.229	4.063	3.913	3.742	3.547	3.324	3.074	2.791
10	4.195	4.069	3.923	3.757	3.566	3.347	3.101	2.822
15	4.168	4.074	3.933	3.771	3.584	3.370	3.128	2.853
20	4.147	4.080	3.944	3.785	3.602	3.392	3.155	2.884
25	4.132	4.085	3.954	3.800	3.621	3.415	3.181	2.915
30	4.121	4.091	3.964	3.814	3.639	3.437	3.208	2.946
35	4.115	4.096	3.974	3.828	3.658	3.460	3.235	2.977
40	4.114	4.102	3.984	3.842	3.676	3.483	3.262	3.008
45	4.115	4.107	3.994	3.857	3.695	3.505	3.288	3.039
50	4.120	4.113	4.004	3.871	3.713	3.528	3.315	3.070
55	4.128	4.119	4.014	3.885	3.732	3.551	3.342	3.101
60	4.138	4.124	4.024	3.900	3.750	3.573	3.369	3.132
65	4.150	4.130	4.034	3.914	3.769	3.596	3.396	3.163
70	4.164	4.135	4.044	3.928	3.787	3.618	3.422	3.194
75	4.179	4.141	4.054	3.943	3.806	3.641	3.449	3.225
80	4.196	4.146	4.064	3.957	3.824	3.664	3.476	3.256
85	4.213	4.152	4.074	3.971	3.842	3.686	3.503	3.287
90	4.231	4.157	4.084	3.985	3.861	3.709	3.530	3.318
95	4.249	4.163	4.094	4.000	3.879	3.732	3.556	3.349
100	4.267	4.169	4.104	4.014	3.898	3.754	3.583	3.380
105	4.285	4.174	4.114	4.028	3.916	3.777	3.610	3.411
110	4.303	4.180	4.124	4.043	3.935	3.800	3.637	3.442
115	4.321	4.185	4.134	4.057	3.953	3.822	3.664	3.474
120	4.338	4.191	4.145	4.071	3.972	3.845	3.690	3.505
125	4.355	4.196	4.155	4.086	3.990	3.867	3.717	3.536
130	4.371	4.202	4.165	4.100	4.009	3.890	3.744	3.567
135	4.387	4.208	4.175	4.114	4.027	3.913	3.771	3.598
140	4.402	4.213	4.185	4.128	4.046	3.935	3.798	3.629
145	4.416	4.219	4.195	4.143	4.064	3.958	3.824	3.660
150	4.430	4.224	4.205	4.157	4.083	3.981	3.851	3.691
155	4.443	4.230	4.215	4.171	4.101	4.003	3.878	3.722
160	4.456	4.235	4.225	4.186	4.119	4.026	3.905	3.753

■ = At or above atmospheric boiling point.

Table 26—Vapor Pressure of Aqueous Solutions of DOWFROST and DOWFROST HD Fluids, kPa—SI Units

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol									
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
50	12.3	12.3	12.1	11.7	11.3	10.8	9.9	8.5	7.1	
55	15.8	15.7	15.4	14.9	14.3	13.7	12.6	10.8	9.1	
60	19.9	19.8	19.4	18.8	18.0	17.3	15.9	13.6	11.5	
65	25.0	24.8	24.3	23.5	22.6	21.7	19.9	17.1	14.5	7.8
70	31.2	30.8	30.2	29.3	28.0	27.0	24.8	21.2	18.0	9.8
75	38.6	38.0	37.2	36.1	34.6	33.4	30.6	26.2	22.3	12.3
80	47.4	46.7	45.6	44.2	42.4	40.9	37.5	32.1	27.4	15.3
85	57.8	56.9	55.6	53.8	51.6	49.9	45.7	39.2	33.5	18.9
90	70.1	68.9	67.3	65.1	62.4	60.4	55.4	47.4	40.7	23.3
95	84.5	82.9	81.0	78.4	75.1	72.7	66.7	57.1	49.1	28.4
100	101.3	99.3	96.9	93.7	89.9	87.1	80.0	68.4	58.9	34.5
105	120.8	118.3	115.3	111.6	107.0	103.8	95.3	81.5	70.4	41.6
110	143.2	140.1	136.6	132.1	126.7	123.0	112.9	96.6	83.6	49.9
115	169.0	165.2	161.0	155.7	149.3	145.0	133.2	114.0	98.9	59.7
120	198.4	193.9	188.9	182.6	175.1	170.2	156.4	133.9	116.3	70.9
125	232.0	226.6	220.6	213.3	204.5	198.9	182.9	156.5	136.3	83.9
130	270.0	263.6	256.6	248.0	237.8	231.4	212.8	182.2	159.0	98.8
135	312.9	305.4	297.2	287.2	275.4	268.1	246.7	211.3	184.7	115.8
140	361.2	352.5	342.9	331.3	317.7	309.4	284.8	244.0	213.7	135.2
145	415.3	405.2	394.1	380.7	365.2	355.8	327.6	280.7	246.3	157.2
150	475.7	464.2	451.3	435.9	418.2	407.6	375.5	321.8	282.8	182.0
155	543.0	529.8	515.0	497.4	477.2	465.3	428.8	367.7	323.7	210.1
160	617.7	602.8	585.7	565.7	542.7	529.4	488.0	418.6	369.2	241.6

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya 12 Januari 1995, merupakan anak ke pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Achmad Rofii Maulana dan Siti Fatimah. Selama ini penulis telah menjalani pendidikan formal di TK Aisyiyah Bustanul Athfal, SDN Kertajaya XIII (PUJA 2), SMPN 1 Surabaya dan SMAN 9 Surabaya. Pada tahun 2013, penulis diterima sebagai mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS dengan NRP 4213100086 melalui jalur tulis SBMPTN. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil bidang *Marine Machinery and System* (MMS). Selama menjalani kuliah di ITS, penulis aktif dalam organisasi sebagai Kadiv Pengembangan Sumber Daya Anggota di UKM Maritime Challenge pada 2014, Steering Committee HIMASISKAL dua periode pada 2014/2015 dan 2015/2016, Tim Pemandu LKMM

Samudera 8 FTK ITS 2014-2016, kadiv Departemen Dalam Negeri Paguyuban Karya Salemba Empat-ITS periode 2016/2017. Tak hanya didalam kampus penulis juga aktif dalam kegiatan di luar kampus mengikuti pelatihan kepemimpinan, karakter, dan pengabdian masyarakat dari mitra Beasiswa Yayasan Karya Salemba Empat yaitu PT. Indofood Sukses Makmur Tbk. melalui program BISMA (Beasiswa Indofood Sukses Makmur).

Syaiful Bahri - Teknik.Sistem Perkapalan FTK ITS

Email : babasyaiful@gmail.com