

STUDI PERANCANGAN REEFER SHIP 3000 GT DILENGKAPI DENGAN *DIRECT COOLING REFRIGERATION* SEBAGAI SISTEM PENDINGIN MUATAN KAPAL UNTUK WILAYAH PELAYARAN PESISIR TIMUR SUMATERA

Ario Nugroho Prihutomo¹, Eko Sasmito Hadi¹, Parlindungan Manik¹,

¹)Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email: ario.np23@gmail.com

Abstrak

Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2012 menerangkan bahwa pulau Sumatera akan dijadikan pusat pengembangan ekonomi perkebunan yang berkelanjutan. Dalam mencapai hal itu, hasil perkebunan harus mampu didistribusikan dengan jumlah besar, cepat, terjaga kualitasnya dan dalam wilayah yang luas. *Reefer ship* sebagai kapal dengan *direct cooling system* dan fasilitas pendingin muatan sangat sesuai untuk mengangkut hasil perkebunan yang rentan terhadap perubahan suhu. *Direct cooling system* yang terdapat pada kapal berfungsi sebagai sistem pendingin muatan sehingga dapat menghasilkan suhu dingin lebih cepat dan lebih mudah penanganannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang *reefer ship* dengan *direct cooling system* serta kondensor dan evaporator yang sesuai diaplikasikan dalam kapal. Perancangan kapal menggunakan metode perbandingan untuk mendapatkan ukuran utama kapal, software *Rhinoceros* untuk pemodelan, dan software *Maxsurf* untuk analisa karakteristik kapal. Ukuran utama kapal didapatkan yaitu $L_{pp} = 130,3$ m, $B = 22,62$ m, $H = 14,4$ m, $T = 8,2$ m, $V_s = 15$ knot, dengan *displacement* 13716 ton dan $C_b = 0,54$. Perencanaan *direct cooling system* menggunakan *polyurethane board* sebagai bahan ruang isolasi. Suhu ruang isolasi 2°C dan beban pendingin sebesar 709,95 kW. Tipe evaporator digunakan kondensor menggunakan produk guntner dengan kapasitas total evaporator 905,8 kW dan kondensor 1104,10 kW.

Kata kunci : Sumatera, perancangan, *reefer ship*, *direct cooling system*, evaporator, kondensor

Abstract

Presidential Regulation No. 13 of 2012 explained that Sumatra island will become the center of sustainable economic development for plantation sector. To achieve it, plantation products should be able to be distributed in a large number, with good quality, fast, and covers a wide area. Reefer ship as the vessel with direct cooling system and cooling facilities are suitable for transporting the plantation products which susceptible to temperature changes. Direct cooling system in the vessel serves as a cargo cooling system that can produce cold temperatures more faster with easier handling. The purpose of this research is to design a reefer ship with direct cooling system and to find the condenser and evaporator are suitable in refrigeration system. The design is using comparison method to get the principal dimensions of the ship, Rhinoceros software for modeling, and Maxsurf software for analyzing the characteristics of the vessel. The principal dimensions obtained is; $L_{pp} = 130.3$ m, $B = 22,62$ m, $H = 14,4$ m, $T = 8,2$ m, $V_s = 15$ knots, with 13716 tons displacement and $C_b = 0,54$. refrigeration plant using polyurethane insulation board as the storage material. Isolation room temperature is 2°C and total cooling load is 709,95 kW. The type of evaporator and condenser using Guntner products with a total capacity of evaporator is 905,8 kW and condenser 1104,10 kW.

Keywords : Sumatera, design, *reefer ship*, *direct cooling system*, evaporator, condenser

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pulau Sumatera merupakan salah satu pemasok hasil perikanan, pertanian, dan perkebunan terbesar di Indonesia. Berdasarkan keterangan yang disebutkan Badan Pusat Statistik pada tahun 2013, Sumatera menjadi pulau terbesar kedua yang turut mempengaruhi pertumbuhan perekonomian bangsa setelah pulau Jawa. Pada tahun 2013 pertumbuhan ekonomi Sumatera meningkat menjadi 23,81%.

Dalam meningkatkan perekonomian di bidang pertanian dan perkebunan, hasil pertanian dan perkebunan yang melimpah harus dapat didistribusikan dengan cepat dan efisien. Kondisi Indonesia yang beriklim tropis dengan suhu saat musim kemarau dapat mencapai 33⁰-35⁰ *celcius* dapat menyebabkan penurunan kualitas barang bila tidak ditangani dengan khusus.

Fasilitas pelabuhan di Pulau Sumatera yang memadai menjadi faktor tambahan yang dapat menunjang perekonomian di Indonesia. Sarana transportasi yang sesuai untuk mengakomodir berbagai keperluan pengiriman yaitu menggunakan kapal dan dari berbagai jenis kapal yang ada salah satunya adalah *reefer ship*.

Reefer ship merupakan kapal pengangkut muatan *cargo* yang memiliki fasilitas refrigerasi ruang muat terbesar diantara jenis kapal lainnya. Kapal ini sangat sesuai dengan kondisi yang ada. *Reefer ship* dilengkapi *direct cooling system* sebagai sistem pendingin muatan. *Direct cooling system* memiliki komponen yang beragam. [1] Evaporator dan kondensor merupakan komponen penting dalam menunjang operasional kapal sehingga perlu diperhitungkan kapasitasnya dalam menunjang operasional *direct cooling system*. Pemilihan peralatan sistem pendingin diperlukan kecocokan dengan beban pendingin yang harus didinginkan.[2]

Perancangan *reefer ship* dengan *direct cooling system* dan pemilihan komponen evaporator dan kondensor menjadi bahasan dalam penelitian ini dikarenakan perlu adanya kajian dalam merancang kapal dan sistem yang tepat dengan kebutuhan juga keadaan di Indonesia.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini akan membahas mengenai beberapa permasalahan mengenai perancangan dan sistem pendingin muatan kapal diantaranya ukuran utama kapal yang diperlukan, spesifikasi komponen *direct cooling refrigeration system*, dan *refrigeration plant* yang sesuai dengan kapal.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran utama *reefer ship*, mendapatkan *lines plan*, *general arrangement*, karakter hidrostatis, hambatan, stabilitas, dan olah gerak kapal, kemudian menghitung beban pendingin yang dibutuhkan untuk mendapatkan spesifikasi evaporator dan kondensor. Komponen sistem pendingin yang telah didapatkan selanjutnya digambarkan kedalam *refrigeration plant*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Reefer Ship

Reefer ship merupakan kependekan dari *refrigerated ship* yaitu kapal yang dirancang untuk membawa barang-barang atau muatan pada suhu tertentu antara -27 dan +13 derajat *celcius*. *Reefer ship* dibagi menjadi dua tipe yang pertama yaitu *high-temperature refrigerated ship* untuk *cooled product*, kedua yaitu *low-temperature refrigerated ship* untuk membawa produk beku.

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.

2.2. Karakteristik Hidrostatik

Kurva hidrostatik adalah kurva yang menggambarkan sifat-sifat karakteristik badan kapal yang tercelup didalam air, atau dengan kata lain untuk mengetahui sifat-sifat karene. Kurva hidrostatik digambar sampai sarat penuh dan tidak berlaku untuk kondisi kapal trim. [3]

2.3. Direct Cooling Refrigerated System

Sistem pendingin muatan pada *reefer ship* terbagi menjadi 2 tipe yaitu *direct cooling refrigerated system* dan *indirect cooling refrigerated system*. Kedua sistem tersebut sama-sama berfungsi untuk mendinginkan muatan dalam *cargo hold* dengan menggunakan refrigeran sebagai media pendinginnya.

Perbedaan *direct system* dan *indirect system* adalah *direct system* tidak menggunakan *heat exchanger* pada proses sirkulasi sistem. Secara garis besar, *direct cooling refrigerated system* memiliki keunggulan lebih murah dan ringan pada *refrigeration plant*-nya juga menghasilkan pendingin yang relatif lebih dingin.[1]

2.4. Evaporator

Evaporator adalah media pemindahan energi panas melalui permukaan agar refrigeran cair menguap dan menyerap panas dari udara dan produk yang ada di dalam ruang. Karena, begitu banyaknya variasi kebutuhan refrigerasi, maka evaporator juga dirancang dalam berbagai tipe, bentuk, ukuran dan desain. Evaporator dapat dikelompokkan dalam berbagai klasifikasi, misalnya, konstruksi, cara penyatuan refrigeran cair, kondisi operasi, cara sirkulasi udara dan jenis katub ekspansinya.[4]

2.5. Kondensor

Kondensor adalah alat untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Untuk penempatannya sendiri, kondensor ditempatkan diluar ruangan yang sedang didinginkan, agar dapat membuang panasnya keluar. Kondensor merupakan jaringan pipa yang berfungsi sebagai pengembunan. Refrigerant yang dipompakan dari kompresor akan mengalami penekanan sehingga mengalir ke pipa kondensor, kemudian mengalami pengembunan. Refrigerant yang sudah mengembun dan menjadi zat cair akan mengalir menuju pipa evaporator

2.6. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal dapat diartikan sebagai kemampuan sebuah kapal untuk dapat kembali ke posisi semula (tegak) setelah menjadi miring akibat bekerjanya gaya dari luar maupun gaya dari dalam kapal tersebut atau setelah mengalami momen temporal. [3]

Proses analisa stabilitas yang dilakukan berdasarkan standart IMO (*International Maritime Organization*) Code A.749 (18) Ch 3-*design criteria applicable to all ships* dan Ch 4-*cargo ship* dengan ketentuan sebagai berikut :

All Ship

1. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1 :

- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0°– 30° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,151 m.deg.
- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0°– 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,157 m.deg.
- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 30°– 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.

2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2 : nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut 30°– 180° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2m.

3. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3 : sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 15° (deg)

4. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4 : nilai GM awal pada sudut 0° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

Cargo Ship

1. Section 4.1, Chapter 4.1.3.1 : Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0°– 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 4,584 m.deg.

2. Section 4.1, Chapter 4.1.3.2 : nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut maksimum sampai sudut minimum tidak boleh kurang atau sama dengan 0,25 m.

3. Section 4.1, Chapter 4.1.3.3a : sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 0° (deg).[4]

2.7. Olah Gerak Kapal

Dalam kajian olah gerak kapal, gerakan yang ditinjau adalah gerakan yang hanya mampu direspon oleh kapal, yaitu *rolling*, *heaving*, *pitching*. [5]

Gerakan kapal disebabkan adanya factor dari luar terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu:

1. Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi: *rolling*, *pitching*, *yawing*
2. Gerakan *linear*, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya meliputi: *surging*, *swaying*, *heaving*

3. METODE PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Pembelajaran dengan menggunakan berbagai referensi baik berupa buku, artikel, majalah dan jurnal mengenai perancangan reefer ship dan sistem refrigerasi muatan kapal.

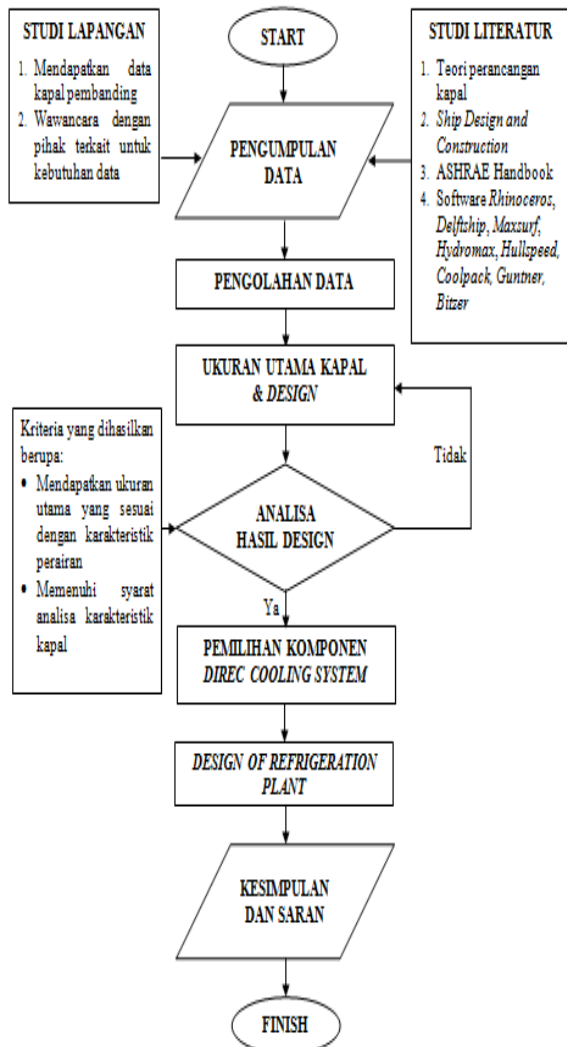
3.2. Analisa Software

Menggunakan *software* sebagai media untuk mendapatkan data-data yang valid dan dapat digunakan dalam penelitian. *Software* yang digunakan antara lain *autocad*, *rhinoceros*, *maxsurf*, *CoolPack*, *bitzer*, *guntner*.

3.3. Studi Lapangan

Melakukan penelitian lapangan terkait optimasi sistem refrigerasi muatan kargo. *Interview* untuk mendapatkan data-data pendukung perancangan kapal dan desain sistem pendingin muatan kargo.

3.4. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Ukuran Utama Reefer Ship

Ukuran utama didapatkan dari kapal pemanding dengan menggunakan metode perbandingan nilai L/B L/T, L/H, B/T, dan H/T.

Tabel 1. Data Kapal Pemanding [1]

Nama Kapal	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)
Ice Star	84,27	15,10	10,50	5,30
Ice Pearl	86,45	16,30	10,45	5,18
Alexandra	91,50	15,70	10,10	6,00
P.W. van Oranje	110,33	18,70	12,57	8,08
Crystal Pride	121,00	19,60	12,85	7,72
Peruvian Reefer	130,00	19,70	13,00	9,60
Canadian Reefer	134,00	24,20	14,90	10,12
Dole America	138,50	22,60	13,25	9,10
Costa Rican Star	144,60	24,00	13,30	9,00
Chiquita	145,00	24,40	13,70	10,00

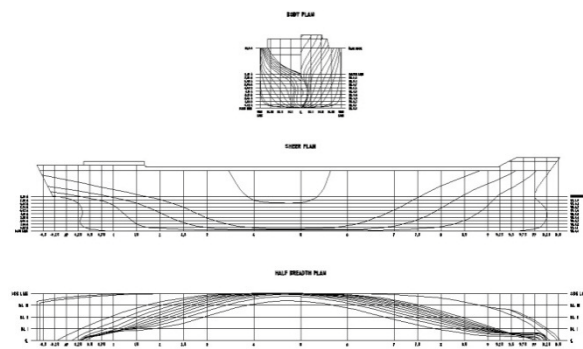
Berikut adalah ukuran utama kapal dari hasil perbandingan kapal pemanding.

Tabel 2. Ukuran Utama Kapal

No	Value	Value	unit
1	L	130,30	m
2	B	22,62	m
3	H	14,40	m
4	T	8,20	m
5	Vs	15	Knot

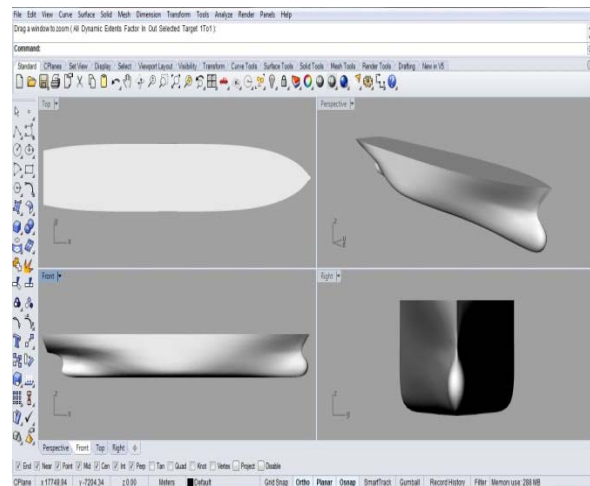
4.2. Rencana Garis

Rencana garis adalah gambar *design* kapal yang berisi informasi utama kapal seperti: panjang, lebar, tinggi. *Design* ini berupa garis irisan-irisan kapal ditinjau dari beberapa arah yaitu tampak depan, samping, dan atas kapal. Pembuatan rencana garis kapal menggunakan pemodelan dibantu *software* autocad. berikut rencana garis *reefer ship*.



Gambar 2. Rencana Garis Reefer Ship.

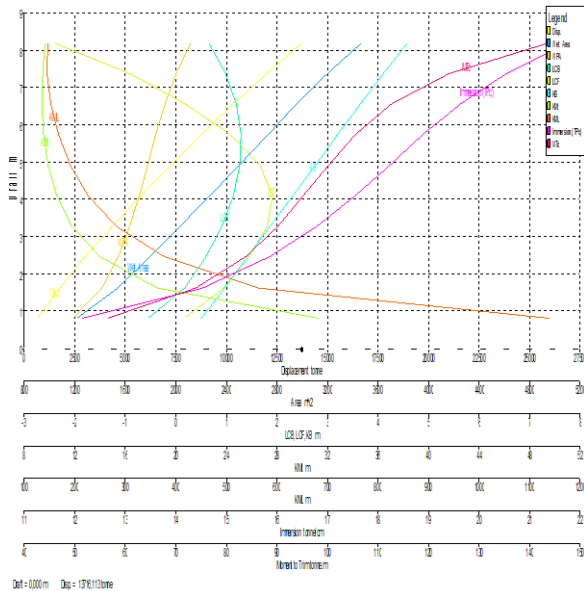
Setelah didapatkan rencana garis, selanjutnya dibuatlah pemodelan 3D untuk analisa hidrostatis kapal. Pemodelan menggunakan *software* Rhinoceros dengan 4 sudut penglihatan yaitu *front*, *side*, *top*, dan *perspective*.



Gambar 3. Model 3D Rhinoceros

4.3. Analisa Hidrostatik

Data hidrostatik berfungsi untuk mengetahui sifat-sifat badan kapal di dalam air. Kondisi kapal tidak dalam kondisi trim. Data hidrostatik yang telah diperoleh digambarkan ke dalam kurva hidrostatik. Analisa menggunakan *software Hydromax* dengan pilihan analisa *upright hydrostatic*.



Gambar 4. Kurva Hidrostatik

Dari analisa hidrostatik diketahui nilai *displacement* kapal yaitu 13716 ton dengan *Cb* kapal 0,54.

4.4. Hambatan dan Mesin

Hambatan pada kapal dianalisa menggunakan *software hullspeed*. Data yang dibutuhkan meliputi kecepatan kapal dan data hidrostatik kapal. Metode yang digunakan adalah *holtrop method* dengan efisiensi 60%.

Tabel 3. Hambatan kapal

Speed (knot)	Holtrop Resist (kN)	Holtrop Power (kW)	Holtrop Power (hp)
0	--	--	--
3	11,62	29,89	40,08
6	42,99	221,18	296,61
9	92,77	715,87	960
12	163,48	1682,06	2255,68
15	272,12	3499,77	4693,27

Didapatkan hambatan kapal pada kecepatan maksimal yaitu 272,12 kN dan daya 4693,27 hp. Berdasarkan data tersebut, dipilih mesin.

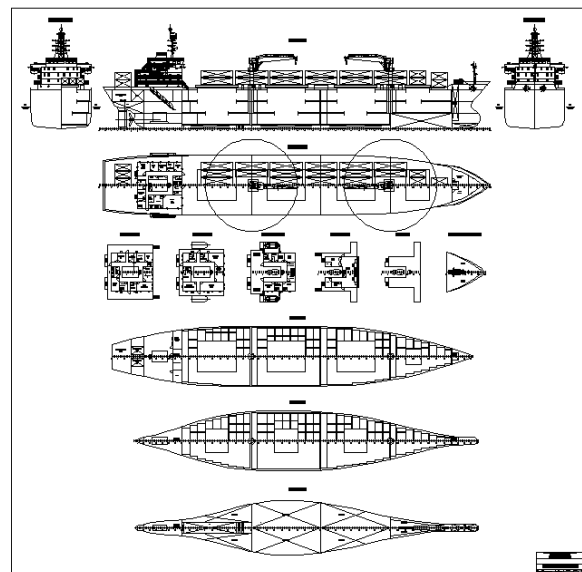
Tabel 4. Data Mesin Kapal

Merk Mesin	Caterpillar
Tipe Mesin	3612
Daya Mesin	4640 – 5444 bhp
RPM	900 - 1000 putaran/menit
Berat Mesin	25980 kg
Panjang	4861 mm
Lebar	1741 mm
Tinggi	3550 mm

4.5. Rencana Umum

Rencana umum didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya. Crew kapal berjumlah 26 orang.

LWT = 3980,65 ton
DWT = 9735,35 ton



Gambar 5. Rencana Umum Reefer Ship

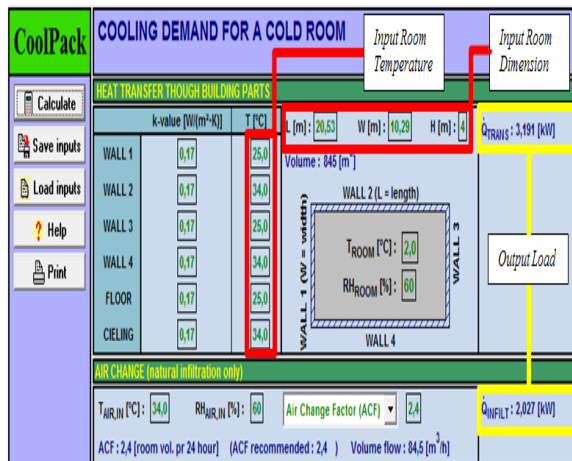
4.6. Direc Cooling Refrigeration System

Dalam membuat desain sistem refrigerasi dibutuhkan data meliputi suhu ruang sekitar, beban transmisi, beban infiltrasi, dan beban suhu muatan.

Tabel 5. Suhu Lingkungan Sekitar

Komponen	Ruang	Suhu (°C)
Cargo Hold I - IV	Cold Storage	2
	Ruang Samping	25
System Room	-	25
Udara Luar	-	28-34
Air Laut	-	25-30
Relative Humidity	-	60%

Beban transmisi dan beban infiltrasi dianalisa menggunakan software *CoolPack*. Data yang dibutuhkan yaitu dimensi dan suhu ruang isolasi, suhu lingkungan sekitar, RH udara, dan temperatur udara.



Gambar 6. Software *CoolPack*

Dari hasil analisa didapatkan data pembebanan sebagai berikut:

Tabel 6. Beban Transmisi dan Infiltrasi

<i>Cargo Hold</i>	<i>Deck No</i>	$Q_{\text{TRANSMISI}}$ kW	$Q_{\text{INFILTRASI}}$ kW
I	2nd Deck	3,19	2,03
	3rd Deck	1,96	1,56
II	2nd Deck	5,94	2,95
	3rd Deck	4,56	2,72
	Tank Top	3,44	2,33
III	2nd Deck	6,43	3,24
	3rd Deck	5,38	3,14
	Tank Top	4,94	3,01
IV	2nd Deck	6,28	3,15
	3rd Deck	4,33	2,71
	Tank Top	2,32	1,80

Setelah didapatkan beban transmisi dan infiltrasi, selanjutnya adalah menghitung beban muatan. Beban muatan dapat dihitung menggunakan rumus.

$$\text{Daya (kW)} = \frac{Cp \cdot m \cdot (t_1 - t_2)}{t}$$

dimana:

- m = berat muatan (kg)
- Cp = *specific heat* kJ/(kg.K)
- t₁ = suhu awal muatan °C
- t₂ = suhu akhir muatan °C
- t = lama waktu pendinginan (detik)

beban muatan adalah beban energi yang dikeluarkan oleh muatan. Beban muatan dipengaruhi oleh jenis dan berat muatan yang diangkut. Produk yang diangkut adalah buah dan sayur dengan freezing point antara -0,5 °C sampai -4 °C. Suhu pendinginan 2 °C (diatas *freezing point*), *specific heat* (Cp) 3,81 kJ/Kg.K. Berat jenis produk 0,609 ton/m³. Suhu awal muatan 9 °C (dari gudang penyimpanan). Waktu pendinginan 4 hari. [5][6]

Tabel 7. Beban Muatan

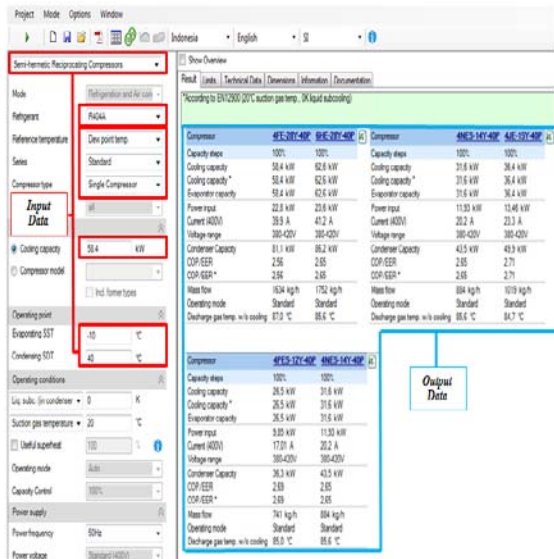
<i>Cargo Hold</i>	<i>Deck No</i>	Berat kg	Q_{MUATAN} kW
I	2nd Deck	378650,96	33,39
	3rd Deck	268242,90	23,66
II	2nd Deck	623119,00	54,96
	3rd Deck	692579,77	61,08
	Tank Top	592110,37	52,22
III	2nd Deck	720826,89	63,57
	3rd Deck	883679,82	77,94
	Tank Top	943349,64	83,20
IV	2nd Deck	689610,95	60,82
	3rd Deck	641938,40	56,62
	Tank Top	354903,36	31,30

Beban total dihitung dengan menjumlahkan beban transmisi, infiltrasi, dan muatan ditambah 5% untuk *safety Factor*.

Tabel 8. Beban Total

<i>Cargo Hold</i>	<i>Deck No</i>	$Q_{\text{Total}} + 5\%$ kW
I	2nd Deck	40,54
	3rd Deck	28,53
II	2nd Deck	67,04
	3rd Deck	71,78
	Tank Top	60,89
III	2nd Deck	76,91
	3rd Deck	90,78
	Tank Top	95,71
IV	2nd Deck	73,75
	3rd Deck	66,84
	Tank Top	37,19

Beban total pendingin diperoleh 709,95 kW. Dengan mengetahui beban pendingin tiap deck, dipilih kompresor dengan kapasitas lebih besar dari Q_{Total} tiap deck. Kompresor menggunakan jenis *semi-hermetic reciprocating compressors*.



Gambar 7. Software Bitzer

Dengan software Bitzer didapat kompresor tipe 4NES-14Y, 4PES-12Y, dan 4FE-28Y.

Tabel 9. Kapasitas Kompresor

Tipe Kompresor	Kapasitas Evaporasi	Kapasitas Kondensasi
	(kW)	(kW)
4NES-14Y	31,60	43,50
4PES-12Y	26,50	36,30
4FE-28Y	58,40	81,10

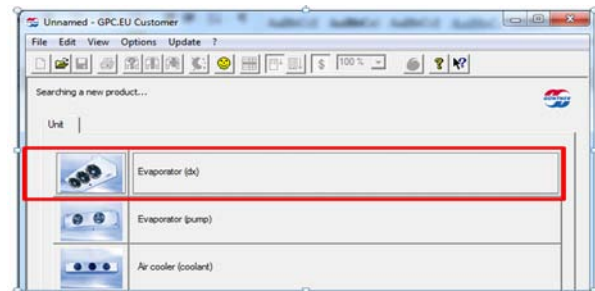
Kompresor ditempatkan pada tiap deck dengan jenis dan jumlah yang disesuaikan dengan beban pendingin tiap deck:

Tabel 10. Tipe dan Jumlah Kompresor

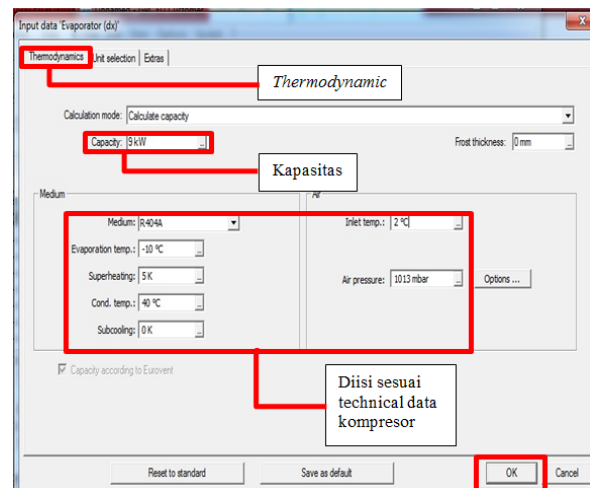
Cargo Hold	Deck No	Tipe Kompresor	Jumlah
I	2nd Deck	4PES-12Y	2
	3rd Deck	4PES-12Y	2
II	2nd Deck	4NES-14Y	3
	3rd Deck	4NES-14Y	3
	Tank Top	4PES-12Y	3
III	2nd Deck	4NES-14Y	3
	3rd Deck	4FE-28Y	2
	Tank Top	4FE-28Y	2
IV	2nd Deck	4NES-14Y	3
	3rd Deck	4NES-14Y	3
	Tank Top	4PES-12Y	2

Setelah menentukan kompresor selanjutnya adalah pemilihan evaporator dan kondensator menggunakan produk guntner data

yang dibutuhkan terdapat pada *technical data* kompresor.



Gambar 8. Software Guntner Pemilihan Komponen



Gambar 9. Software Guntner Input Data

Didapat evaporator tipe S-GHN 045.2E 10,30 kW, tipe S-GHF 031.2H 18,40 kW, dan tipe S-GHF 045.2H 28,50 kW. Data penggunaan evaporator tiap *deck* yaitu:

Tabel 11. Data Penggunaan Evaporator

Cargo Hold	Deck No	Tipe	Jumlah
I	2nd Deck	S-GHN 045.2E	5
	3rd Deck	S-GHN 045.2E	4
II	2nd Deck	S-GHF 031.2H	5
	3rd Deck	S-GHF 031.2H	5
	Tank Top	S-GHF 031.2H	4
III	2nd Deck	S-GHF 031.2H	5
	3rd Deck	S-GHF 045.2H	4
	Tank Top	S-GHF 045.2H	4
IV	2nd Deck	S-GHF 031.2H	5
	3rd Deck	S-GHF 031.2H	5
	Tank Top	S-GHN 045.2E	5

Diperoleh 3 tipe evaporator dengan kapasitas total evaporator sebesar 905,8 kW. Pemilihan kondensator menggunakan produk yang

sama yaitu produk *Guntner* dan diperoleh kondensor tipe GVHX 080.1A 30,90 kW, tipe GVH 065.1A 55,60 kW, dan tipe GVH 065.1C 67,50 kW.

Tabel 12. Data Penggunaan Kondensor

<i>Cargo Hold</i>	<i>Deck No</i>	Tipe Kondensor	Jumlah
I	2nd Deck	GVHX 080.1A	2
	3rd Deck	GVHX 080.1A	2
II	2nd Deck	GVH 065.1A	2
	3rd Deck	GVH 065.1A	2
	Tank Top	GVHX 080.1A	3
III	2nd Deck	GVH 065.1A	2
	3rd Deck	GVH 065.1C	2
	Tank Top	GVH 065.1C	2
IV	2nd Deck	GVH 065.1A	2
	3rd Deck	GVH 065.1A	2
	Tank Top	GVHX 080.1A	2

Total kapasitas yaitu 1104,10 kW.

4.7. Refrigeration Plant

Refrigeration plant dibuat berdasarkan jenis dan jumlah kompresor, evaporator, juga kondensor pada tiap ruang isolasi. Berikut data komponen tiap *deck*:

Tabel 13. Jumlah Komponen

<i>Cargo Hold</i>	<i>Deck No</i>	Jumlah		
		Komp	Evap.	Kond
I	2nd Deck	2	5	2
	3rd Deck	2	4	2
II	2nd Deck	3	5	2
	3rd Deck	3	5	2
	Tank Top	3	4	3
III	2nd Deck	3	5	2
	3rd Deck	2	4	2
	Tank Top	2	4	2
IV	2nd Deck	3	5	2
	3rd Deck	3	5	2
	Tank Top	2	5	2

Dari data tersebut maka direncanakan 4 tipe *refrigeration plant* yaitu.

Tabel 14. Tipe *Refrigeration Plant*

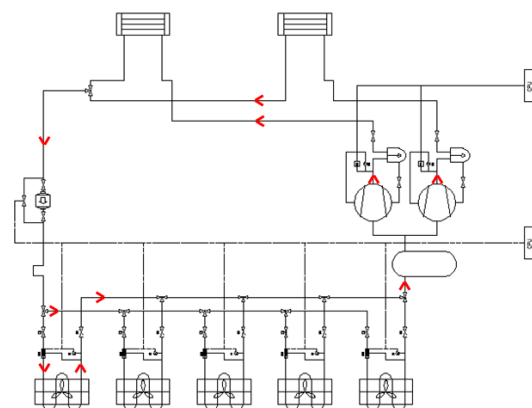
Tipe	Jumlah		
	Komp	Evap.	Kond
I	2	5	2
II	2	4	2
III	3	4	3
IV	3	5	2

Dikarenakan terdapat kesamaan jumlah komponen pada beberapa *deck* maka *refrigeration plant* yang digunakan tidak jauh berbedasehingga dapat dikelompokkan sesuai jumlah komponen yang digunakan.

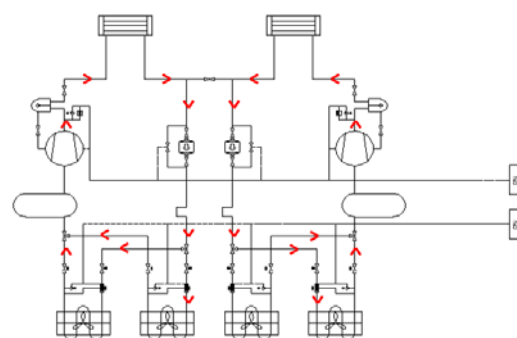
Tabel 15. Pembagian Tipe *Refrigeration Plant*

<i>Cargo Hold</i>	<i>Deck No</i>	Tipe <i>Refrigeration Plant</i>
I	2nd Deck	I
	3rd Deck	II
II	2nd Deck	VI
	3rd Deck	VI
	Tank Top	III
III	2nd Deck	VI
	3rd Deck	II
	Tank Top	II
IV	2nd Deck	VI
	3rd Deck	VI
	Tank Top	I

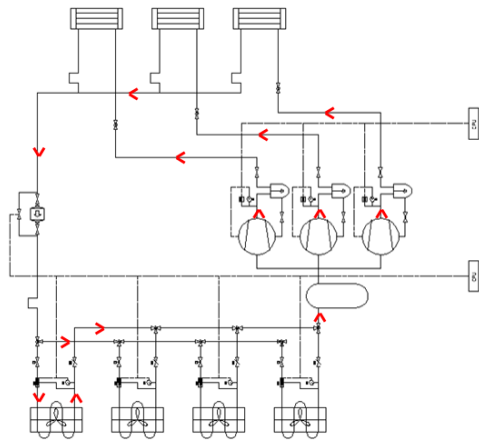
Komponen yang terdapat pada sistem yaitu kompresor, kondensor, evaporator, *head pressure control*, *pressure gauge*, *oil sparator*, *filter dryer*, *suction accumulator*, *valve*, *3-way plug valve*, *4-way plug valve*, *solenoid valve*, *thermostatic expansion valve*, *evaporator pressure regulator*, dan *control unit*.



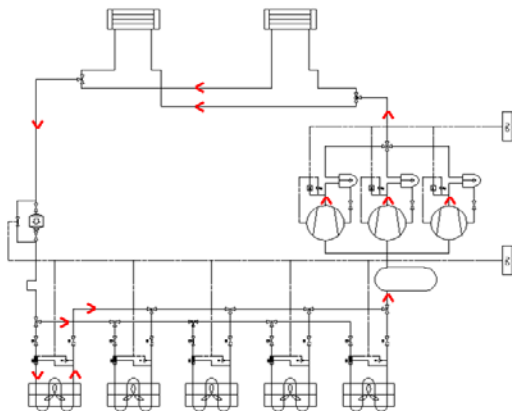
Gambar 10. *Refrigeration Plant I*



Gambar 11. *Refrigeration Plant II*



Gambar 12. Refrigeration Plant III



Gambar 13. Refrigeration Plant IV

4.8. Analisa Stabilitas

Stabilitas kapal dianalisa menggunakan software *Hydromax* dengan pilihan analisa *large angle stability*. Sebelum analisa stabilitas dihitung, komponen LWT dan komponen DWT harus diketahui. Analisa dilakukan dengan variasi 8 kondisi. Kriteria analisa menggunakan standar IMO yang telah ditentukan.

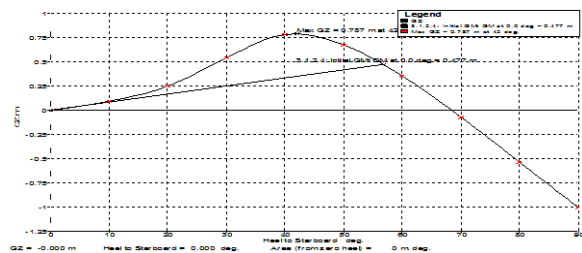
Tabel 16. Hasil Analisa Stabilitas

Code	Actual			
	KI	KII	KIII	KIV
<i>All Ship</i>				
Area 0° to 30°	5,92	4,36	6,47	11,24
Area 0° to 40°	12,72	10,56	14,20	21,64
Area 30° to 40°	6,79	6,20	7,73	10,40
Max GFZ 30°/Grtr	0,787	0,790	1,17	1,68
Angle of Max GZ	42,00	44,00	51,00	56,00
GFM0	0,48	0,24	0,49	1,18
<i>Cargo Ship</i>				
Area 0 to 40	12,72	10,56	14,20	21,64
Maximum GZ	0,79	0,79	1,17	1,68
GM, navigation	0,48	0,24	0,49	1,18
Status	Pass	Pass	Pass	Pass

Code Actual

	KV	KVI	KVII	KVIII
<i>All Ship</i>				
Area 0° to 30°	23,38	4,45	12,96	4,65
Area 0° to 40°	40,17	9,27	22,97	11,31
Area 30° to 40°	16,79	4,81	10,01	6,66
Max GFZ 30°/Grtr	2,74	0,90	1,71	0,93
Angle of Max GZ	61,00	54,00	59,00	47,00
GFM0	3,00	0,30	1,53	0,24
<i>Cargo Ship</i>				
Area 0 to 40	40,17	9,27	22,97	11,31
Maximum GZ	2,74	0,90	1,71	0,93
GM, navigation	3,00	0,30	1,53	0,24
Status	Pass	Pass	Pass	Pass

Hasil analisa menunjukkan bahwa hasil analisa telah memenuhi standar persyaratan yang ditetapkan IMO.



Gambar 14. Grafik Kapal Muatan Penuh (KI)

Nilai GZ tertinggi yaitu 2,74 m derajat 61 pada kondisi V sedangkan nilai GZ terkecil yaitu 0,787 m derajat 42 pada kondisi I.

4.5 Analisa Olah Gerak Kapal

Olah gerak kapal dianalisa menggunakan software *seakeeper*. Data yang dibutuhkan meliputi kondisi perairan yang kapal lewati. Menurut data BMKG ketinggian gelombang maksimum perairan timur Sumatera mencapai 3,5 m dengan kecepatan angin 25 knot.

Berdasarkan kriteria NORDFORSK 1987, nilai RMS of Roll untuk *merchant ship* maksimal sebesar 6,00 deg. Dari hasil analisa didapat

Tabel 17. Hasil Analisa Olah Gerak Kapal

Item	Wave Heading Deg	Reefer Ship			Unit
		Amp	Velocity	Accel	
		0	9	15	knot
Rolling	0	0,00	0,00	0,00	deg
	45	3,84	2,42	2,32	deg
	90	5,43	5,43	5,43	deg
	135	3,84	3,17	2,91	deg
	180	0,00	0,00	0,00	deg
Status		Pass	Pass	Pass	

Analisa olah gerak kapal menunjukkan pada wave heading 90° RAO menunjukkan gerak

rolling yang besar. Dibandingkan dengan *wave heading* pada 0° , 45° , 135° , dan 180° gerakan *rolling* tidak sebesar pada sudut 90° , bahkan pada sudut masuk 0° dan 180° tidak berpengaruh pada gerakan *rolling*.

Hal ini dikarenakan bentuk kapal yang simetri terhadap sumbu x, menyebabkan letak *center of flotation* dan *center of buoyancy* kapal tepat pada *centerline* kapal, sehingga gerakan akibat gelombang (sudut 180° dan 0°) tidak dapat memicu terjadinya *coupling* gerakan *rolling*. [7]

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan penulis yaitu Studi Perancangan *Reefer Ship* 3000 GT Dilengkapi Dengan *Direct Cooling Refrigeration* Sebagai Sistem Pendingin Muatan Kapal Untuk Wilayah Pelayaran Pesisir Timur Sumatera, maka dapat disimpulkan beberapa informasi teknis sebagai berikut :

1. Ukuran utama $L = 130,3$ m, $B = 22,62$ m $H = 14,4$ m, $T = 8,2$ m, $V_s = 15$ knot, $C_b = 0,54$. Displacement 13716 ton, hambatan kapal 272,12 kN dengan mesin *Caterpillar* 3612. Nilai GZ tertinggi 2,74 m pada derajat 61 (kondisi V) dan GZ terkecil yaitu 0,787 m pada derajat 42 (kondisi I).
2. Beban pendingin 709,95 kW. Tipe evaporator dipakai S-GHN 045.2E/110, S-GHF 031.2H/47, dan S-GHF 045.2H/27. Tipe kondensor dipakai GVHX 080.1A, GVH 065.1A, dan GVH 065.1C
3. Sesuai dengan jumlah komponen *direct cooling refrigeration system*, maka terdapat 4 tipe *refrigeration plant* dengan susunan komponen kompresor, evaporator, dan kondensor berturut-turut yaitu, tipe I (2, 5, 2), tipe II (2, 4, 2), tipe III (3, 4, 3), dan tipe IV (3, 5, 2).

5.2 Saran

1. Adanya penelitian lebih lanjut untuk menganalisa secara teknis mengenai kekuatan dan getaran kapal.
2. Adanya perhitungan rencana anggaran pembuatan kapal dan nilai ekonomis kapal
3. Melakukan perbandingan sistem *direct cooling* dengan *Indirect cooling* untuk mengetahui efisiensi dan keunggulan masing-masing sistem
4. Modifikasi sistem pendingin dengan menambahkan heat exchanger.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lamb, Thomas. 2004. *Ship Design and Construction Volume II*. 601 Pavonia Avenue, Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers
- [2] *Journal of Refrigerated Ship*, by Capt. Pawanexh, 2000
- [3] Van Dokkum, K. 2003. *Ship Knowledge: A Modern Encyclopedia*. Netherlands: DOKMAR
- [4] IMO (*International Maritime Organization*) tahun 1993.
- [5] ASHRAE. 2010. *Handbook of Refrigeration*: Atlanta
- [6] Rautanruukki Corpration. 2010. *Sandwich Panels For Cold Storage Facilities - Product description*.
- [7] Sitepu, Ganding & Hamzah. 2013. *Analisis Karakteristik Gerak Kapal Work Maintanance Vessel Pada Berbagai Kondisi Gelombang Dan Beban Crane*. Makasar: Universitas Hasanudin.