



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DESAIN *SMALL - SCALE LIQUID NATURAL GAS (LNG)*
CARRIER UNTUK DISTRIBUSI LNG DARI TERMINAL LNG
TANGGUH KE SORONG PAPUA**

**Kevin Oktarino Muhamad
NRP 0411154000037**

**Dosen Pembimbing
Hasanudin, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DESAIN *SMALL - SCALE LIQUID NATURAL GAS (LNG)*
CARRIER UNTUK DISTRIBUSI LNG DARI TERMINAL LNG
TANGGUH KE SORONG PAPUA**

**Kevin Oktarino Muhamad
NRP 0411154000037**

**Dosen Pembimbing
Hasanudin, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 184802

**DESIGN OF SMALL - SCALE LIQUID NATURAL GAS
(LNG) CARRIER TO DISTRIBUTE LNG FROM TANGGUH
LNG TERMINAL TO SORONG PAPUA**

**Kevin Oktarino Muhamad
NRP 0411154000037**

**Supervisor
Hasanudin, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *SMALL LIQUID NATURAL GAS (LNG) CARRIER* UNTUK DISTRIBUSI LNG DARI TERMINAL LNG TANGGUH KE SORONG PAPUA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

KEVIN OKTARINO MUHAMAD
NRP 04111540000037

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Hasanudin, S.T., M.T.
NIP 19800623 200604 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 5 NOVEMBER 2019

LEMBAR REVISI

DESAIN *SMALL – SCALE LIQUID NATURAL GAS* (LNG) *CARRIER* UNTUK DISTRIBUSI LNG DARI TERMINAL LNG TANGGUH KE SORONG PAPUA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 24 Oktober 2019

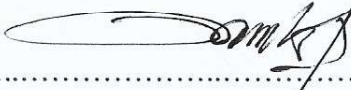
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

KEVIN OKTARINO MUHAMAD
NRP 0411154000037

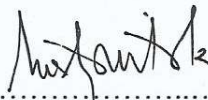
Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



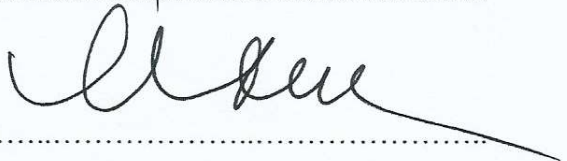
.....

2. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.




.....

3. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.



.....

4. Danu Utama, S.T., M.T.



.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Hasanudin, S.T., M.T.



.....

SURABAYA, 5 NOVEMBER 2019

Untuk Agama, Bangsa, dan Almamater.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Hasanudin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, serta atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
2. Bapak Ir.Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.
3. Orang tua Penulis, Ibu Ukin Riskintarti, yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik materiil maupun spiritual kepada Penulis;.
4. Teman-teman seperjuangan bimbingan Tugas Akhir Penulis, yaitu Aa, Ojan, Mas Bagus, Budi, Fathan, Mas Zafran, Edo, Mas Awang, dan Mas Nandes yang selalu kooperatif selama bimbingan Tugas Akhir;
5. Teman-teman P55 Samudraraksa, Warkop Konco Lawas, dan Kontrakan SPR A-12 yang selalu menjadi tempat bertukar pikiran dan berbagi canda tawa dengan Penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 1 November 2019

Kevin Oktarino Muhamad

DESAIN *SMALL – SCALE LIQUID NATURAL GAS (LNG) CARRIER* UNTUK DISTRIBUSI LNG DARI TERMINAL LNG TANGGUH KE SORONG PAPUA

Nama Mahasiswa : Kevin Oktarino Muhamad
NRP : 04111540000037
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Hasanudin, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Seiring dengan berjalannya program listrik 35.00 MW yang dicanangkan pemerintah, pembangunan pembangkit listrik gencar dilakukan. provinsi Papua merupakan provinsi dengan rasio elektrifikasi yang paling rendah yaitu 65%. Untuk meningkatkan angka elektrifikasi tersebut pemerintah melalui kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melakukan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang memiliki kapasitas total di bawah 100 MW dan tersebar pada pesisir utara Papua dengan memanfaatkan lapangan gas *Liquid Natural Gas (LNG) Tangguh* dan LNG Masela sebagai sumber penyedia gas. Melihat kondisi infrastruktur dan geografis wilayah Timur Indonesia pemanfaatan *small - scale LNG carrier* sebagai sarana transportasi gas menjadi rencana yang ingin dikembangkan oleh pemerintah. Desain *small - scale LNG carrier* ditentukan berdasarkan kebutuhan gas pada PLTMG “Sorong” dan ukuran utama kapal yang didasari kondisi geografis yang ada. Dalam tahap awal proses desain *small – scale LNG carrier* dilakukan penentuan ukuran utama menggunakan metode *Geocim Procedure*. Ukuran utama yang memenuhi kriteria teknis dan regulasi adalah $L_{pp} = 92.2$ m; $B = 16.5$ m; $H = 9.2$ m; $T = 5.2$ m. Nilai C_b 0.719, C_m 0.987, C_p 0.728, hambatan total sebesar 124.366 kN, besar MCR 2379.579 HP, total berat 5499.997 ton, tinggi freeboard minimum yang didapatkan yaitu 2270 mm, tonase kotor kapal mencapai 2774.75 ton dan kondisi stabilitas kapal memenuhi kriteria. Biaya pembangunan sebesar Rp80,284,131,210.95.

Kata kunci: LNG, Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas, *Small – scale LNG Carrier*.

DESIGN OF SMALL – SCALE LIQUID NATURAL GAS (LNG) CARRIER TO DISTRIBUTE LNG FROM TANGGUH LNG TERMINAL TO SORONG PAPUA

Author : Kevin Oktarino Muhamad
Student Number : 0411154000037
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Hasanudin, S.T.,M.T.

ABSTRACT

Along with the implementation of the 35.00 MW electricity program launched by the government, the construction of a power plant was carried out. Papua province is the province with the lowest electrification ratio of 65%. To increase the electrification rate the government through the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) undertook the construction of a Gas Engine Power Plant (PLTMG) which has a total capacity of under 100 MW and is spread on the northern coast of Papua by utilizing the Tangguh LNG and Masela LNG gas fields as a source of gas providers. Looking at the infrastructure and geographical conditions in Eastern Indonesia, the use of small-scale LNG carriers as a means of gas transportation is a plan that the government wants to develop. The suitable small-scale LNG carrier design is based on gas needs on PLTMG “Sorong” and the main size of the ship based on the existing geographical conditions. In the initial stages of the small - scale LNG carrier design process, the main dimension determination is done by using the Geosim Procedure Method. The main dimensions that meet the technical and regulatory criteria are $L_{pp} = 92.2$ m; $B = 16.5$ m; $H = 9.2$ m; $T = 5.2$ m. The minimum freeboard height obtained is 2270 mm, the gross tonnage of the ship reaches 2774.75 tons and the condition of the ship's stability meets the criteria. The construction costs amounted to Rp80,284,131,210.95.

Keywords: LNG, Gas Engine Power Plant, Small – scale LNG Carrier.

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat	2
Bab II STUDI LITERATUR	3
II.1. Dasar Teori	3
II.1.1. Tahapan Desain Kapal	3
II.1.2. <i>Geosim Procedure</i>	5
II.1.3. Pemeriksaan Rasio Ukuran Utama Kapal	5
II.1.4. Perhitungan Koefisien	6
II.1.5. Perhitungan Hambatan	8
II.1.6. Perhitungan Propulsi Kapal.....	9
II.1.7. Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal	10
II.1.8. Perhitungan <i>Freeboard</i>	12
II.1.9. Perhitungan <i>Trim</i>	14
II.1.10. Stabilitas	14
II.1.11. Perhitungan Tonase	19
II.2. Tinjauan Pustaka	20
II.2.1. LNG <i>Carrier</i>	20
II.2.2. <i>Small – Scale LNG Carrier</i>	20
II.2.3. Tipe – Tipe Tanki LNG.....	21
II.2.4. <i>Liquefaction LNG</i>	22
II.2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas	23
II.3. Tinjauan Wilayah	24
II.3.1. Lapangan LNG Tangguh.....	24
II.3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas ”Sorong”	24
Bab III METODOLOGI.....	27
III.1. Metode.....	27
III.2. Penentuan Operational Requirement.....	28
III.3. Penentuan Ukuran Utama Kapal	28
III.4. Perhitungan Teknis.....	28
III.5. Desain <i>Lines Plan</i>	28

III.6. Desain <i>General Arrangement</i>	29
III.7. Desain 3D Model.....	29
Bab IV Analisa teknis.....	31
IV.1. <i>Operational Requirement</i>	31
IV.1.1. Penentuan Rute Pelayaran.....	31
IV.1.2. Penentuan Kecepatan.....	32
IV.1.3. Penentuan <i>Payload</i>	32
IV.2. Penentuan Ukuran Utama Awal.....	34
IV.3. Pemeriksaan Ukuran Utama Kapal.....	35
IV.4. Penentuan Jenis Tanki Muatan.....	36
IV.5. Perhitungan Koefisien dan <i>Displacement</i> Kapal.....	37
IV.5.1. Perhitungan <i>Froude Number</i>	37
IV.5.2. Perhitungan Koefisien Bentuk Kapal.....	37
IV.6. Perhitungan Hambatan dan Propulsi.....	38
IV.6.1. Perhitungan Hambatan.....	38
IV.6.2. Perhitungan Propulsi Kapal.....	39
IV.7. Perhitungan Berat Kapal.....	41
IV.7.1. Perhitungan LWT Kapal.....	41
IV.7.2. Perhitungan DWT Kapal.....	43
IV.7.3. Total Berat Kapal.....	44
IV.8. Perhitungan Titik Berat Kapal.....	45
IV.9. Perhitungan Tonase Kapal.....	46
IV.10. Perhitungan <i>Freeboard</i>	47
IV.11. Perhitungan Stabilitas.....	49
IV.12. Penentuan Ukuran Utama Akhir.....	51
Bab V DESAIN <i>SMALL – SCALE LNG CARRIER</i>	53
V.1. Desain <i>Lines Plan</i>	53
V.1.1. Bentuk <i>Midship Section</i>	53
V.1.2. Bentuk <i>Bulbous Bow</i>	54
V.1.3. Penentuan <i>Angel of Entrance</i>	55
V.1.4. Bentuk Transom Kapal.....	56
V.1.5. Pembuatan <i>Lines Plan</i>	56
V.2. Desain <i>General Arrangement</i>	59
V.2.1. Penentuan Peletakan Sekat.....	59
V.2.2. Ruang Akomodasi.....	60
V.2.3. <i>Profile View</i>	61
V.2.4. Geladak Utama.....	61
V.2.5. <i>Double Bottom</i>	62
V.2.6. Bangunan Atas (<i>Superstructure</i>) dan Rumah Geladak (<i>Deck House</i>).....	62
V.2.7. Peralatan Kapal.....	63
V.2.8. Pemeriksaan <i>Navigation Bridge Visibility</i>	64
V.3. Desain 3D.....	64
Bab VI PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGUNAN KAPAL.....	67
VI.1. Perhitungan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal.....	67
VI.2. Perbandingan Harga Pembangunan <i>Small – Scale LNG Carrier</i>	68
Bab VII KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
VII.1. Kesimpulan.....	71
VII.2. Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73

LAMPIRAN 1

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS

LAMPIRAN B PERHITUNGAN EKONOMIS

LAMPIRAN C KATALOG

LAMPIRAN D LINESPLAN

LAMPIRAN E GENERAL ARRANGEMENT

LAMPIRAN F 3D MODEL

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Proses Spiral Desain	3
Gambar II. 2 Ilustrasi Koefisien Blok	6
Gambar II. 3 Ilustrasi Koefisien Midship	6
Gambar II. 4 Ilustrasi Koefisien <i>Waterplan</i>	7
Gambar II. 5 Ilustrasi Koefisien Prismatic	8
Gambar II. 6 Jenis Daya yang Terdapat pada Kapal	9
Gambar II. 7 Ilustrasi stabilitas positif	15
Gambar II. 8 Ilustrasi Stabilitas netral	15
Gambar II. 9 Ilustrasi stabilitas labil	16
Gambar II. 10 Momen Penegak dan Lengan Penegak	18
Gambar II. 11 <i>Membrane Tank</i>	21
Gambar II. 12 Tanki LNG Tipe-C	22
Gambar II. 13 Skema Proses Pendinginan LNG	23
Gambar II. 14 Lokasi Perencanaan Pembangunan PLTMG	25
Gambar IV. 1 Rute Pelayaran	31
Gambar IV. 2 Penampang Melintang Tanki LNG	42
Gambar V. 1 Bentuk <i>Midship</i>	53
Gambar V. 2 Sketsa Besar Jari - Jari Bilga	54
Gambar V. 3 Diagram Watson/Gilfillan	54
Gambar V. 4 Bentuk <i>Bow</i>	55
Gambar V. 5 Sketsa AoE Kapal	55
Gambar V. 6 Bentuk Transom Kapal	56
Gambar V. 7 Penentuan Ukuran <i>Surface</i>	57
Gambar V. 8 Penentuan <i>frame of reference</i>	57
Gambar V. 9 Penentuan <i>Design Grid</i>	58
Gambar V. 10 Lines plan pada <i>Maxsurf Modeler</i>	58
Gambar V. 11 Linesplan <i>Small - scale LNG Carrier</i>	59
Gambar V. 12 Profile View	61
Gambar V. 13 Geladak Utama dan Geladak Kedua	61
Gambar V. 14 Double Bottom	62
Gambar V. 15 Boat Deck dan Bridge Deck	62
Gambar V. 16 Wheelhouse, Top Deck, dan Forecastle Deck	63
Gambar V. 17 Pengecekan Jarak Pandang <i>Small - Scale LNG Carrier</i>	64
Gambar V. 19 Tampak Perspektif Atas	65
Gambar V. 18 Tampak Perspektif Depan	65
Gambar V. 20 Tampak Perspektif Samping	65

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Pengaruh Komponen Ukuran Utama Terhadap Performa Kapal	5
Tabel II. 2 Tabel Pengurangan Freeboard	14
Tabel II. 3 Produksi Gas Lapangan Tangguh	24
Tabel II. 4 Kapasitas LNG PLTMG Sorong (1)	25
Tabel II. 5 Kapasitas LNG PLTMG Sorong (2)	25
Tabel IV. 1 Konsumsi LNG satu unit mesin generator	33
Tabel IV. 2 Kebutuhan LNG PLTMG Sorong	33
Tabel IV. 3 Skenario Payload Kapal	34
Tabel IV. 4 Pemeriksaan Ukuran Utama Kapal	35
Tabel IV. 5 Perbandingan Penggunaan Tipe Tanki	36
Tabel IV. 6 Rekapitulasi Daya Kapal	39
Tabel IV. 7 Spesifikasi Mesin	40
Tabel IV. 8 Spesifikasi Mesin <i>Generator</i>	41
Tabel IV. 9 Hasil Perhitungan LWT	43
Tabel IV. 10 Rekapitulasi DWT	44
Tabel IV. 11 Rekapitulasi Berat Kapal	44
Tabel IV. 12 Total Berat Kapal dan Titik Berat Kapal	45
Tabel IV. 13 Perhitungan Tonase Kapal	46
Tabel IV. 14 Standar <i>Freeboard</i>	47
Tabel IV. 15 Tabel Koreksi Bangunan Atas	48
Tabel IV. 16 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Loadcase 1 - 4	50
Tabel IV. 17 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Loadcase 5 - 9	50
Tabel VI. 1 Perhitugan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal	68
Tabel VI. 2 Perhitungan Perbandingan Harga Pembangunan	69

DAFTAR SIMBOL

L	= Panjang kapal (m)
Lwl	= <i>Length of Water Line</i> (m)
LoA	= <i>Length Over All</i> (m)
Lpp	= <i>Length Between Perpendicular</i> (m)
B	= Lebar kapal (m)
H	= Tinggi kapal (m)
T	= Sarat kapal (m)
Δ	= <i>Displacement</i> (ton)
∇	= <i>Volume displacement</i> kapal (m ³)
BHP	= <i>Brake horse power</i> (hp)
Cb	= Koefisien blok
K	= Koefisien perbandingan geometris ukuran utama
CD	= Koefisien <i>Displacement</i>
Cf	= Koefisien hambatan gesek
Cm	= Koefisien <i>midship</i>
Cp	= Koefisien prismatik
Cv	= Koefisien kecepatan
Cwp	= Koefisien <i>water plane</i>
(1+k ₁)	= Faktor bentuk badan kapal
(1+k ₂)	= Faktor <i>appendages</i> yang tercelup ke dalam air
DHP	= <i>Delivered horse power</i> (hp)
SHP	= <i>Shaft horse power</i> (hp)
DWT	= <i>Dead weight tonnage</i> (ton)
EHP	= <i>Effectif horse power</i> (hp)
Fn	= <i>Froud number</i>
g	= Percepatan gravitasi (m/s ²)
LCB	= <i>Longitudinal center of bouyancy</i> (m)
LCG	= <i>Longitudinal center of gravity</i> (m)
KB	= <i>Kell to Bouyancy</i>
LWT	= <i>Light weight tonnage</i> (ton)
Rn	= <i>Reynolds number</i>
Rt	= Hambatan total kapal (N)
VCG	= <i>Vertical center of gravity</i> (m)
Vs	= Kecepatan dinas kapal (knot)
WSA	= Luasan permukaan basah (m ²)
W ₁	= DWT kapal acuan
ρ	= Massa jenis (kg/m ³)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan berjalannya program listrik 35.000 MW yang telah dicanangkan oleh pemerintah saat ini untuk memenuhi rasio elektrifikasi hingga 100% di seluruh wilayah Indonesia, kebutuhan gas bumi sebagai salah satu sumber energi di wilayah Indonesia akan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Kebutuhan gas tersebut diprediksi akan terus meningkat ketika gas bumi tersebut akan digunakan sebagai bahan bakar utama pembangkit tenaga listrik menggantikan minyak diesel yang mempunyai biaya kelistrikan (*electricity cost*) lebih tinggi dibandingkan gas bumi.

Distribusi gas bumi yang dilakukan di wilayah Indonesia Bagian Timur masih lebih sedikit jika dibandingkan dengan wilayah Indonesia Bagian Barat, karena wilayah Indonesia Bagian Timur memiliki kondisi geografis yang terdiri dari berbagai pulau yang tersebar secara luas dan kondisi perairan laut yang lebih dalam dan juga kurangnya ketersediaan infrastruktur perpipaan yang sudah terpasang (PT. PLN, 2015).

Pada wilayah Indonesia Timur, PLN merencanakan pemanfaatan *mini- Liquid Natural Gas* (LNG) untuk pembangkit beban dasar sekaligus beban puncak pada sistem-sistem kecil tersebar (PT. PLN, 2015). Hal ini disebabkan biaya pokok produksi PLTMG dengan *mini-LNG* diperkirakan masih lebih ekonomis dibanding pembangkit BBM, juga lebih andal (PT. PLN, 2015). Per tahun 2018, provinsi Papua merupakan provinsi dengan rasio elektrifikasi yang paling rendah yaitu 65%. Untuk meningkatkan angka elektrifikasi tersebut pemerintah melalui kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melakukan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang memiliki kapasitas total di bawah 100 MW dan tersebar pada pesisir utara Papua dengan memanfaatkan lapangan gas LNG Tangguh dan LNG Masela sebagai sumber penyedia gas (PT. PLN, 2015). Dengan demikian gagasan desain *Small-scale LNG Carrier* untuk mendistribusikan LNG dari lapangan gas ke pembangkit yang tersebar dan dengan volume kebutuhan yang berbeda-beda tersebut mampu menjadi solusi dari permasalahan yang ada.

I.2. Perumusan Masalah

Ditinjau dari latar belakang yang ada, terdapat beberapa permasalahan yang akan diselesaikan meliputi:

1. Bagaimana menentukan *payload* kapal ?
2. Bagaimana menentukan ukuran utama dari *Small-scale LNG Carrier* ?
3. Bagaimana melakukan perhitungan teknis pada *Small-scale LNG Carrier* ?
4. Bagaimana desain *Lines Plan, General Arrangement, dan Model 3D* pada *Small-scale LNG Carrier*?
5. Bagaimana perhitungan biaya pembangunan *Small-scale LNG Carrier*

I.3. Tujuan

Tujuan utama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah membuat desain *Small-scale LNG Carrier* untuk pelayaran pada wilayah Papua. Adapun rincian dari tujuan pengerjaan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *payload* dari *Small-scale LNG Carrier*.
2. Memperoleh ukuran utama *Small-scale LNG Carrier*.
3. Melakukan perhitungan teknis yang tepat dalam melakukan desain *Small-scale LNG Carrier*.
4. Membuat desain *Lines plan, General Arrangement, dan model 3D* dari *Small-scale LNG Carrier*.
5. Menghitung biaya pembangunan *Small-scale LNG Carrier*.

I.4. Batasan Masalah

Pengerjaan Tugas Akhir ini memiliki batasan masalah yaitu :

1. Pengerjaan dalam Tugas Akhir ini sebatas konsep desain.
2. Perhitungan konstruksi kapal, kekuatan memanjang, dan kekuatan melintang diabaikan.

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai referensi bagi pemerintah khususnya kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) untuk mempertimbangkan pembangunan *Small-scale LNG Carriers* sebagai alat distribusi gas pada wilayah terpencil.
2. Sebagai model perancangan bagi peneliti atau desainer perkapalan dengan harapan dapat dikembangkan di masa depan.

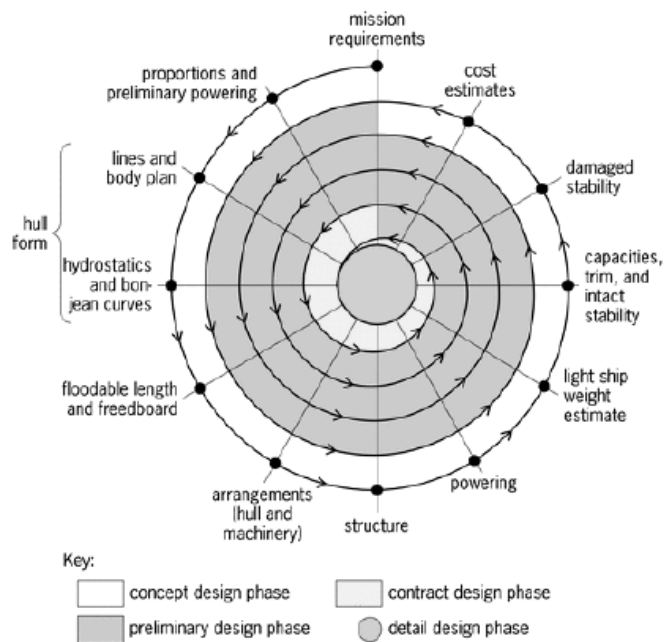
BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa pengertian yang diambil dari media cetak yang akan dijadikan sebagai dasar teori. Dasar teori menjelaskan tentang uraian singkat landasan teori yang memiliki hubungan secara langsung dan digunakan untuk memecahkan permasalahan dalam Tugas Akhir ini.

II.1.1. Tahapan Desain Kapal

Dalam Tugas Akhir ini tahapan desain yang dilakukan mengikuti proses *spiral design* yang merupakan prinsip umum dalam mendesain kapal. Pada Gambar II. 1 merupakan alur dalam proses *spiral design*.



Gambar II. 1 Proses Spiral Desain
(Sumber : Sugianto, 2017)

Pada proses *spiral design* tahapan desain yang dilakukan akan mengalami pengulangan analisis ketika ditemukan kondisi yang tidak memenuhi persyaratan. Proses analisa dilakukan secara terus menerus sehingga semua kondisi desain terpenuhi. Terdapat empat tahapan dalam *spiral design* ini, yaitu *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design*. (Papanikolaou, 2014)

1. *Concept design*

Tahap awal dalam proses desain adalah menerjemahkan *owner requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan dasar dari kapal yang akan didesain. Estimasi awal dari dimensi kapal dasar, seperti panjang, lebar, tinggi, sarat, koefisien blok, *powering*, dan lain-lain. Pada tahap ini dibuat solusi desain alternatif yang memenuhi persyaratan *owner* yang dieksplorasi dengan identifikasi solusi yang paling ekonomis.

2. *Preliminary Design*

Tahap ini merupakan tahap lanjutan dari tahap satu, yang berisi perhitungan teknis yang lebih kompleks dari tahap satu. Adapun yang dimaksud kompleks adalah pencarian solusi yang optimal dengan melakukan perhitungan maupun desain yang memberikan dampak signifikan pada kapal, seperti halnya perhitungan *trim*, stabilitas, *capacity plan*, pembuatan *lines plan*, *general arrangement*, dan lain-lain. Hal ini dilakukan agar kapal memiliki nilai keekonomian yang baik. *Output* pada proses ini adalah terjadi *shipbuilding contract* antara *owner* dengan galangan kapal. Tahap ini memiliki tingkat kesulitan 15 kali lebih besar disbanding tahap satu.

3. *Contract Design*

Tujuan dari tahap ini adalah penyelesaian perhitungan yang diperlukan dan gambar dan spesifikasi teknis bangunan kapal, yang semuanya merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kontrak pembuatan kapal resmi antara pemilik kapal dan galangan kapal yang ditunjuk. Fase desain ini melibatkan uraian terperinci tentang bentuk lambung kapal melalui *lines plan*, penentuan daya untuk mencapai kecepatan yang ditentukan melalui pengujian model dalam *towing tank*, analisis teoritis atau eksperimental perilaku kapal yang dirancang seperti studi *seakeeping*, analisis manuver kapal, penentuan mesin dan propulsi, desain jaringan kelistrikan kapal, perpipaan, dan lain-lain. Estimasi yang dihasilkan untuk masing-masing berat komponen kapal, berat total kapal, dan titik berat lebih akurat.

4. *Detail Design*

Tahap ini merupakan tahap yang terakhir dalam mendesain sebuah kapal. Pada tahap ini dilakukan pekerjaan yang lebih mendetail dari *key plan drawing* menjadi *production drawing* atau gambar produksi yang nantinya akan digunakan sebagai

gambar arahan kerja untuk membangun kapal. Tahap ini mencakupi seluruh rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan perlengkapan kapal.

II.1.2. *Geosim Procedure*

Tahapan awal dalam proses mendesain kapal adalah menentukan ukuran utama kapal. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menentukan ukuran utama kapal adalah menggunakan *Geosim Procedure*. *Geosim Procedure* merupakan metode penentuan ukuran utama yang digunakan ketika sebuah permintaan memiliki kesamaan geometris dengan kapal pembanding. Penentuan ukuran utama dilakukan berdasarkan koefisien perbandingan geometris ukuran utama (K). Data yang dibutuhkan untuk menggunakan metode ini adalah ukuran utama kapal seperti panjang kapal (L), lebar kapal (B), sarat kapal (T), dan tinggi kapal (H), dengan CD (*Coefficient Displacement*) dan CB (*Coefficient Block*) yang dihasilkan memiliki nilai yang serupa. (Jiwa & Kurniawati, 2016)

II.1.3. Pemeriksaan Rasio Ukuran Utama Kapal

Dalam menentukan parameter utama dari kapal yang didesain dalam preliminary design, terdapat dua cara yang dapat digunakan yaitu dengan mengambil desain yang telah ada dan dengan cara membentuk analisa statistik berupa rasio L/B, L/D, B/T D/T dan karakteristik teknik lainnya setelah didapatkan ukuran utama awal. Nilai rasio tersebut merefleksikan karakteristik kemampuan kapal seperti seakeeping, stabilitas dan sebagainya. Rasio ini digunakan dalam menentukan ukuran utama awal kapal (Hardjono, 2010).

Tabel II. 1 Pengaruh Komponen Ukuran Utama Terhadap Performa Kapal

Parameter Utama	Pengaruh Terhadap <i>Performance</i> Kapal
Panjang (L)	<i>Resistance, longitudinal strength, maneuverability, sea keeping, hull volume, capital cost.</i>
Lebar (B)	<i>Transverse stability, hull volume, resistance, maneuverability, capital cost.</i>
Tinggi (D)	<i>Hull volume, longitudinal strength, transverse stability, capital cost, freeboard</i>
Sarat (T)	<i>Displacement, transverse stability, freeboard, resistance</i>

II.1.4. Perhitungan Koefisien

Setelah mendapatkan ukuran utama kapal, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan koefisien pada kapal. Koefisien kapal yang dihitung adalah sebagai berikut.

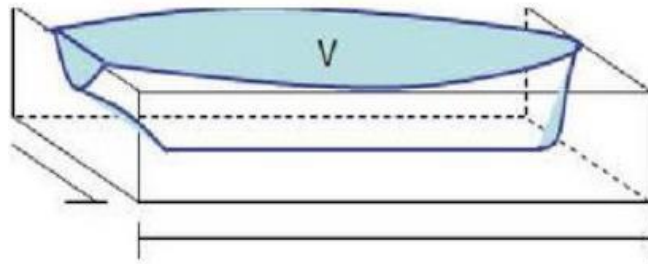
1. Froude Number

Dikutip berdasarkan (Lewis, 1988) rumus untuk menentukan *Froude Number* sebagai berikut.

$$Fn = Vs / (g.L)^{0.5} \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Koefisien Blok (Cb)

Koefisien blok merupakan perbandingan antara volume kapal dengan volume kotak yang mengitarinya dengan ukuran L x B x T. Pada Gambar II. 2 merupakan ilustrasi pengertian koefisien blok.



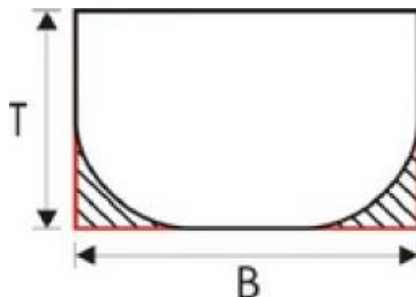
Gambar II. 2 Ilustrasi Koefisien Blok

Perhitungan koefisien blok dapat didekati dengan menggunakan rumus yang dikutip berdasarkan (Parson, 2001) sebagai berikut.

$$Cb = -4.22 + 27.8\sqrt{Fn} - 39.1Fn + 46.6 Fn^3 \dots\dots\dots(2.2)$$

3. Koefisien *Midship* (C_M)

Koefisien *midship* adalah perbandingan antara luas *midship* dengan segi empat yang berukuran B x T. Pada Gambar II. 3 merupakan ilustrasi pengertian koefisien *midship*.



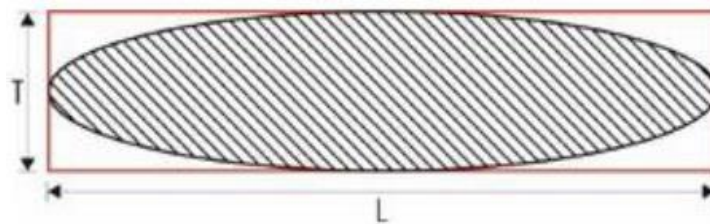
Gambar II. 3 Ilustrasi Koefisien Midship

Adapun rumus pendekatan untuk mencari nilai koefisien midship berdasarkan (Parsons, 2001) yaitu.

$$C_m = 1.006 - (0.0056 \times (C_b - 3.56)) \dots \dots \dots (2.3)$$

4. Koefisien *Waterplan*

Secara definisi, koefisien *waterplane* adalah perbandingan antara luas bidang garis air dengan luas segi empat yang berukuran $L \times B$. Pada Gambar II. 4 merupakan ilustrasi koefisien *waterplan*.



Gambar II. 4 Ilustrasi Koefisien *Waterplan*

Koefisien *waterplan* dapat diperoleh menggunakan rumus pendekatan berdasarkan (parson, 2001) yaitu

$$C_{wp} = C_b / (0.471 + 0.551 C_b) \dots \dots \dots (2.4)$$

5. Koefisien Prismatik

Koefisien prismatik merupakan perbandingan antara volume badan kapal dengan volume prisma. Koefisien prismatik terbagi menjadi 2, yaitu:

i) Koefisien Prismatik Memanjang

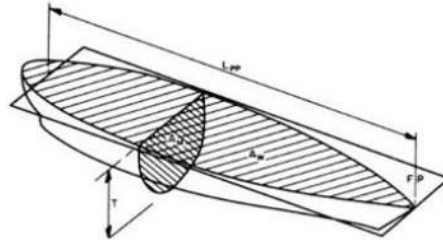
Secara definisi, koefisien prismatik memanjang (C_p) adalah perbandingan antara volume badan kapal dibawah permukaan air dengan volume prisma dengan luas penampang *midship* (A_m) dan panjang L_{wl} . Adapun rumus pendekatannya yaitu:

$$C_p = C_b / C_M \dots \dots \dots (2.5)$$

ii) Koefisien Prismatik Tegak

Secara definisi koefisien prismatik tegak (C_{pv}) adalah perbandingan antara volume badan kapal di bawah permukaan air dengan volume prisma berpenampang A_w dengan tinggi kapal (T). Adapun rumus pendekatannya yaitu:

$$C_{pv} = C_b / C_{wl} \dots \dots \dots (2.6)$$



Gambar II. 5 Ilustrasi Koefisien Prismatik

6. Longitudinal Center of Bouyancy

Rumus menentukan *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB) yaitu (Parsons, 2001).

$$LCB = 8.80 - 38.9 F_n \dots \dots \dots (2.7)$$

7. Volume displacement

Adapun formula untuk menentukan *volume displacement* yaitu.

$$\nabla = L_{wl} \times B \times T \times C_b \dots \dots \dots (2.8)$$

8. Berat Displacement

Sedangkan untuk menghitung berat *displacement* hanya dengan mengalikan *volume displacement* dengan massa jenis fluida, sehingga:

$$\Delta = L_{wl} \times B \times T \times C_b \times \rho \dots \dots \dots (2.9)$$

II.1.5. Perhitungan Hambatan

Perhitungan hambatan kapal yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah menggunakan metode Holtrop. Dalam perhitungan hambatan menggunakan metode Holtrop terdapat beberapa komponen – komponen. Komponen tersebut akan dijelaskan dalam poin – poin di bawah ini.

1. Koefisien Hambatan Gesek (C_F)

Dalam menentukan nilai dari koefisien hambatan gesek tersebut dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Lewis, 1988).

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

2. Koefisien Bentuk (1+k)

Dalam menentukan nilai dari koefisien bentuk dapat digunakan persamaan yang tercantum dalam buku (Lewis, 1988).

$$(1+k) = (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] S_{app} / S_{tot} \dots \dots \dots (2.11)$$

3. Coleration Allowance (C_A)

Dalam menentukan nilai *coleration allowance* yaitu didapatkan dari perbandingan sarat (T) dan panjang garis air (LWL).

$$C_A = T / Lwl \dots \dots \dots (2.12)$$

4. Koefisien Hambatan Gelombang (R_w)

Dalam menentukan R_w dapat digunakan persamaan berikut ini.

$$R_w = C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times Fn^d - m_2 \cos(Fn^{-2})} \dots \dots \dots (2.13)$$

5. Gaya Berat (W)

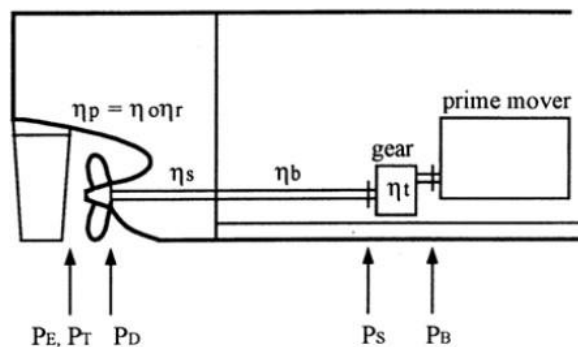
Gaya berat didefinisikan sebagai hasil perkalian antara massa *displacement* kapal (ton) dengan percepatan gravitasi bumi (m/s²).

6. Luas Permukaan Basah

Luas permukaan basah didefinisikan sebagai seluruh luasan badan kapal yang tercelup ke dalam air. Selain badan kapal terdapat beberapa *appendages* yang ikut tercelup ke dalam air masuk ke dalam luas permukaan basah tersebut salah satu contohnya adalah kemudi.

II.1.6. Perhitungan Propulsi Kapal

Setelah didapatkan harga hambatan total kapal, langkah selanjutnya yaitu menghitung *propulsive efficiency* untuk mendapatkan harga daya mesin induk. Kapasitas mesin induk dapat ditentukan dengan mencari harga *Break Horse Power* (BHP). Berikut adalah langkah-langkah untuk mendapatkan BHP.



Gambar II. 6 Jenis Daya yang Terdapat pada Kapal

1. *Effective Horse Power (EHP)*

EHP merupakan daya yang diperlukan kapal untuk melawan hambatan yang terjadi sehingga kapal mampu bergerak sesuai dengan kecepatan yang ditentukan (Parsons, 2001). EHP dihitung dengan formula di bawah ini.

$$EHP = R_T \times v \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.13)$$

2. *Delivered Horse Power (DHP)*

DHP merupakan daya yang sampai pada propeller. DHP dihitung dengan formula di bawah ini.

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D} \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.14)$$

3. *Shaft Horse Power (SHP)*

SHP merupakan daya yang telah melewati proses transmisi pada reduction gear. SHP dipengaruhi oleh letak kamar mesin dikarenakan letak kamar mesin di bagian belakang dan di tengah kapal memiliki seal efficiency (η_s) dan line shaft bearing efficiency (η_B). (Parsons, 2001)

$$SHP = \frac{DHP}{\eta_S \cdot \eta_B} \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.15)$$

4. *Break Horse Power (BHP)*

BHP merupakan daya yang dibutuhkan oleh mesin induk untuk mencapai kecepatan yang direncanakan (Parsons, 2001). Pada mesin kapal digunakanlah gearbox untuk mengurangi kecepatan putaran dianmo (rpm) dari engine. Akan tetapi penggunaan gearbox akan mengakibatkan losses. Persamaan untuk menghitung BHP adalah,

$$BHP = \frac{SHP}{\eta_G} \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.16)$$

5. *Maximum Continues Rates (MCR)*

MCR merupakan daya yang telah ditambahkan akibat loss dari hal yang lain. Pertambahan daya dari BHP menuju MCR disebut service margin yang nilainya sebesar 10%-20%.

II.1.7. Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal

Komponen berat pada kapal dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen *lightweight tonnage (LWT)* dan *deadweight tonnage (DWT)*.

1. LWT (*Lightweight Tonnage*)

LWT adalah berat kapal dalam keadaan kosong. Komponen LWT dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: berat lambung kapal, berat *outfitting* dan akomodasi, dan berat instalansi permesinan kapal.

i) Perhitungan baja kapal dapat dihitung menggunakan rumus pendekatan berdasarkan (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998) sebagai berikut

$$W_{st} = (L \cdot B \cdot D_A) \cdot C_S \dots\dots\dots(2.17)$$

ii) Komponen *Equipment and Outfitting* dapat dihitung berdasarkan fungsi luas *deck (houses)* yang terdapat pada kapal dikalikan *specific and unit area weights factor*. *O* (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998)

Untuk ukuran kapal kecil dan sedang = 160 – 170 kg/m² atau 60 – 70 kg/m²

Untuk ukuran kapal besar = 180 – 200 kg/m² atau 80 – 90 kg/m²

Untuk perhitungan berat selain houses maka dikalikan faktor C_{eo}

$$- 0.18 \text{ t/m}^2 < C_{eo} < 0.26 \text{ t/m}^2$$

iii) Perhitungan berat mesin didasarkan pada pemilihan mesin yang terdapat pada katalog mesin, yang sudah disesuaikan dengan daya yang dibutuhkan kapal.

2. DWT (*Deadweight Tonnage*)

DWT adalah berat muatan maksimum yang dapat dimuat kapal. DWT terdiri dari *payload* atau muatan bersih, *consumable* dan *crew*. *Payload* pada *Small-scale LNG Carrier* adalah jumlah gas LNG yang dapat dimuat, *consumable* terdiri dari bahan bakar (*fuel oil*), dan air tawar (*fresh water*).

i) *Payload*

Payload didapatkan berdasarkan kebutuhan gas yang digunakan di PLTMG “Sorong” I, II, dan III. Perhitungan kebutuhan gas didapatkan berdasarkan konsumsi gas sesuai dengan spesifikasi mesin Jenbacher Gas Engine yang digunakan sebagai mesin pembangkit pada setiap PLTMG.

ii) *Kebutuhan Bahan Bakar*

Perhitungan bahan bakar dihitung berdasarkan lama pelayaran kapal. Pada perhitungan ini kebutuhan bahan bakar dihitung berdasarkan rumusan (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998) sebagai berikut.

$$MFO \text{ atau } MDO = \textit{Seatime} \times \textit{Koefisien Konsumsi} + \textit{Koreksi } 10\% \dots\dots\dots(2.18)$$

Perhitungan di atas juga berlaku untuk menghitung kebutuhan bahan bakar *genset*.

iii) Kebutuhan Minyak Pelumas

Pada perhitungan ini, kebutuhan minyak pelumas dihitung berdasarkan rumusan (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998) sebagai berikut.

$$LO = (K/1,000) \times \rho \times Power \times (N/24) \dots \dots \dots (2.19)$$

Perhitungan di atas juga berfungsi untuk menghitung kebutuhan LO *generator set*.

iv) Kebutuhan Air Tawar

$$W_{fw} = K \times n \times Seetime \dots \dots \dots (2.20)$$

v) Berat Provision

$$W_{prov} = K \times n \times Seetime \dots \dots \dots (2.21)$$

vi) Berat Orang dan Bawaan

$$W_{person} = K \times n \dots \dots \dots (2.22)$$

3. Titik Berat

Titik berat benda adalah suatu titik pada benda tersebut dimana berat dari seluruh bagian benda terpusat pada titik tersebut. Titik berat adalah salah satu hal yang krusial dalam mendesain kapal, karena akan mempengaruhi stabilitas hingga *trim* kapal. Dalam perhitungan mencari titik berat terdapat dua jenis pendekatan, yaitu pendekatan dengan formula yang didapatkan dari hasil penelitian dan pengujian, serta pendekatan terhadap bentuk-bentuk bidang dan ruang seperti persegi, persegi panjang, segi tiga, lingkaran, trapesium, dan lain-lain.

Perhitungan jarak titik berat kapal dibagi menjadi dua macam, yaitu jarak titik berat secara memanjang (*longitudinal center of gravity / LCG*) untuk mengetahui dimana letak titik berat secara memanjang, yang pada umumnya menjadikan titik AP atau *midship* titik acuannya, dan jarak titik berat secara vertikal (*vertical center of gravity / VCG*) guna mengetahui letak titik berat secara vertikal, yang pada umumnya menjadikan dasar lunas (*keel*) sebagai titik acuan untuk mengukur VCG (Ginting, 2019).

II.1.8. Perhitungan Freeboard

Freeboard atau lambung timbul adalah jarak vertikal yang diukur pada tengah kapal dari sarat air hingga sisi atas garis geladak lambung timbul. Geladak lambung timbul adalah geladak teratas yang menyeluruh dan terbuka secara langsung (*exposed deck*) terhadap cuaca dan air laut dan mempunyai cara penutupan yang tetap dan kedap cuaca untuk bukaan-bukaan di atas geladak dan kedap air untuk bukaan-bukaan dibawah geladak (Kementerian Perhubungan, 2016). Dalam *International Convention on Load Lines*, disebutkan

perhitungan *freeboard* melalui beberapa tahapan sebagai berikut (International Maritime Organization (IMO), 1988).

1. Tipe Kapal

Tipe A adalah kapal yang :

- Didesain hanya untuk mengangkut kargo curah cair; atau
- Memiliki kekokohan tinggi pada geladak terbuka dengan alasan kenyataan bahwa tangki kargo hanya memiliki lubang akses yang kecil, ditutup dengan penutup baja atau bahan lain dengan paking kedap air; dan
- Memiliki permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh. Kapal tipe A: *Tanker*.

Kapal tipe B: kapal yang tidak memenuhi persyaratan pada kapal tipe A.

- Kapal tipe B: *Grain carrier, ore carrier, general cargo, passenger ships*.

2. *Freeboard Standard*

Freeboard Standard disajikan menurut tabel II.2

3. Koreksi

Untuk mengetahui standar *freeboard* dan *actual freeboard* kapal yang didesain adalah sebagai berikut:

- Koreksi untuk kapal yang panjang kurang dari 100 m

Untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100$ m dan mempunyai *superstructure* tertutup dengan panjang efektif mencapai $35\%L$ (jika $E < 35\%L$, maka tidak ada koreksi) maka:

$$Fb_1 = 7.5 (100 - L)(0.35 - E / L) \dots\dots\dots(2.27)$$

- Koreksi Koefisien Blok (C_b)

Koreksi dilakukan jika $C_b > 0,68$ maka:

$$Fb_2 = Fb \times C_b$$

- Koreksi Tinggi Kapal

Koreksi dilakukan jika $D > L / 15$ maka:

$$Fb_3 = (D - L / 15) \dots\dots\dots(2.28)$$

- *Minimum Bow Height*

Apabila pada kapal tipe B dilengkapi dengan penutup palkah dari baja ringan, lambung timbul kapal dikurangi sesuai pada Tabel II.2. Besarnya pengurangan untuk panjang kapal diantara besaran tersebut di atas didapat dengan interpolasi linier.

Tabel II. 2 Tabel Pengurangan Freeboard

Panjang (L)	≤ 100 m	110 m	120 m	≥ 130 m
Pengurangan (cm)	4	5	8	12

II.1.9. Perhitungan *Trim*

Trim adalah kemiringan kapal secara memanjang akibat perbedaan sarat depan dan sarat belakang kapal. Terjadi sebagai akibat dari tidak meratanya momen statis dari penyebaran gaya berat. *Trim* dibedakan menjadi dua, yaitu *trim* haluan dan *trim* buritan. *Trim* haluan terjadi apabila sarat haluan lebih tinggi daripada sarat buritan. Begitu juga sebaliknya untuk *trim* buritan. Batasan *trim* yang digunakan ditentukan sebesar ± 0.1% dari panjang kapal (L_{pp}). Rumusan yang digunakan ialah sebagai berikut (Parsons, 2001).

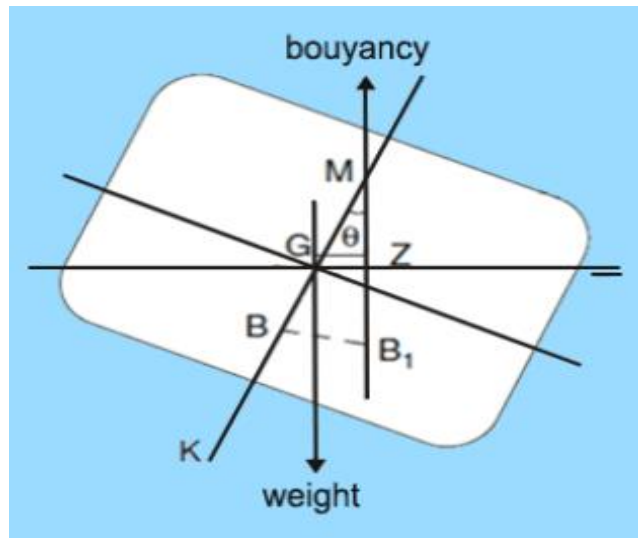
$$\text{Trim (m)} = T_a - T_f = [(LCG - LCB)] / GML \dots \dots \dots (2.29)$$

II.1.10. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan sebuah kapal untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami kemiringan oleh gaya-gaya yang ditimbulkan oleh kapal itu sendiri dan gaya-gaya dari luar kapal. Kemampuan tersebut di pengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbang gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Secara umum, stabilitas kapal dibedakan menjadi 3 kondisi, yaitu: stabil, netral, dan labil.

1. Kondisi stabil

Kondisi stabil merupakan kondisi dimana titik G berada di bawah titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas yang baik sewaktu oleng dan memiliki kemampuan untuk menegak kembali. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar II.7

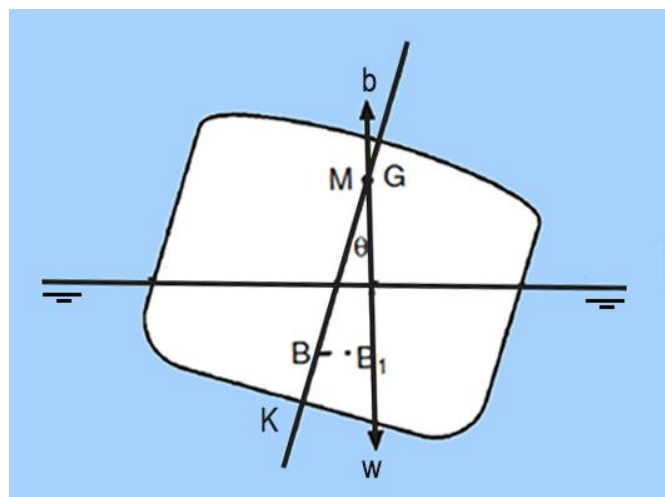


Gambar II. 7 Ilustrasi stabilitas positif

(Sumber:<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/intact-stability-of-surface-ships/>, 2019)

2. Kondisi netral

Kondisi netral merupakan kondisi dimana titik G berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal bernilai sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu oleng. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar II.8

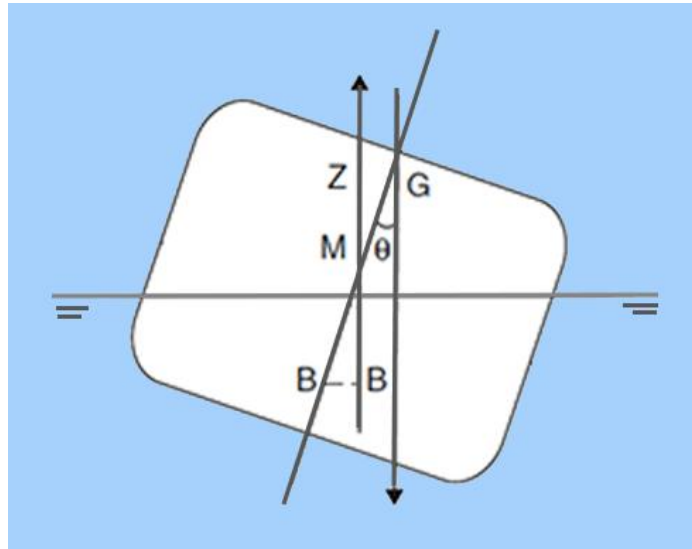


Gambar II. 8 Ilustrasi Stabilitas netral

(Sumber:<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/intact-stability-of-surface-ships/>, 2019)

3. Kondisi labil

Kondisi labil merupakan kondisi titik G berada di atas titik M, sehingga lengan GZ bernilai negatif ketika oleng yang mengakibatkan kapal bertambah oleng. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar II.9



Gambar II. 9 Ilustrasi stabilitas labil

(Sumber: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/intact-stability-of-surface-ships/>, 2019)

Dalam perhitungan stabilitas terdapat faktor – faktor yang berpengaruh besar. Faktor tersebut dikelompokkan menjadi ke dalam dua kelompok yaitu.

1. Faktor internal yaitu tata letak barang/kargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan.
2. Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, dan badai.

Titik-titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik berat (G), titik apung (B) dan titik M (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003).

1. Titik Berat (*Centre of Gravity*)

Secara definisi titik berat (G) ialah titik tangkap dari semua gaya-gaya yang bekerja ke bawah. Letak titik G pada kapal kosong ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa, letak titik G tergantung daripada pembagian berat di kapal.

2. Titik Apung (*Centre of Buoyance*)

Titik apung (*center of buoyance*) dikenal dengan titik B dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan tegak ke atas dari bagian kapal yang terbenam dalam air.

3. Titik Metasentris

Titik metasentris atau dikenal dengan titik M dari sebuah kapal, merupakan sebuah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atasnya agar supaya kapal tetap mempunyai stabilitas yang positif (stabil).

Adapun dimensi pokok dalam stabilitas kapal yang dikutip berdasarkan (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003) sebagai berikut.

1. KM (Tinggi titik metasentris di atas lunas)

KM ialah jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M, atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus $KM = KB + BM$.

2. KB (Tinggi Titik Apung dari Lunas)

Letak titik B di atas lunas bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat atau senget kapal (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003). Nilai KB dapat dicari yaitu.

- Untuk kapal tipe plat *bottom*, $KB = 0.50d$
- Untuk kapal tipe V *bottom*, $KB = 0.67d$
- Untuk kapal tipe U *bottom*, $KB = 0.53d$

3. BM (Jarak Titik Apung ke Metasentris)

BM dinamakan jari-jari metasentris atau *metacentris radius* karena bila kapal mengoleng dengan sudut-sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik pusatnya dan BM sebagai jari- jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (100-150). Penjelasan lebih lanjut sebagai berikut.

$$BM = b^2 / 10d \dots\dots\dots(2.30)$$

4. KG (Tinggi Titik Berat dari Lunas)

Nilai KB untuk kapal kosong diperoleh dari percobaan stabilitas (*inclining experiment*), selanjutnya KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen.

$$KG \text{ Total} = K / W \dots\dots\dots(2.31)$$

5. GM (Tinggi Metasentris)

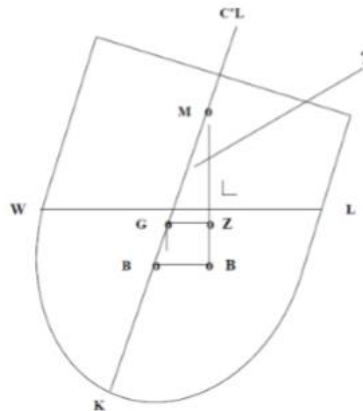
Tinggi metasentris atau *metacentris high* (GM) yaitu jarak tegak antara titik G dan titik M (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003). GM dapat dicari dengan rumus:

$$GM = KM - KG \text{ dan } GM = (KB + BM) - KG \dots \dots \dots (2.32)$$

Nilai GM inilah yang menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau keadaan stabilitas kapal selama pelayaran nanti.

6. Momen Penegak (*Righting Moment*) dan Lengan Penegak (*Righting Arms*)

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukan tegaknya setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi (Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 2003).



Gambar II. 10 Momen Penegak dan Lengan Penegak
(Sumber : Direktorat Pendidikan Mengah Kejuruan, 2003)

Pengecekan perhitungan stabilitas menggunakan kriteria berdasarkan (International Maritime Organization (IMO), 1993) tentang *Code on Intact Stability for All Types of Ships* dijelaskan dalam poin-poin di bawah ini.

1. $e_{0,300} \geq 0.055$ m.rad, luas Gambar di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055$ meter rad.
2. $e_{0,400} \geq 0.09$ m.rad, luas Gambar di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.09$ meter rad.
3. $e_{30,400} \geq 0.03$ m.rad, luas Gambar di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03$ meter.
4. $h_{30} \geq 0.2$ m, lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.

5. h_{\max} pada $\square_{\max} \geq 25^\circ$, lengan penegak maksimum harus terletak pada sudut oleng lebih dari 25°
6. GM_0 0.15 m, tinggi metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

II.1.11. Perhitungan Tonase

Untuk menentukan ukuran besar kapal secara tradisional dapat dilakukan dengan perhitungan tonase. Tonase dibagi menjadi dua bagian yaitu *Gross Tonnage* (GT) dan *Net Tonnage* (NT). Menurut *International Convention on Tonnage Measurement of Ships, Gross Tonnage* (GT) berarti kapasitas keseluruhan dari kapal yang ditentukan berdasarkan *International Convention on Tonnage Measurement of Ships* 1969. Sedangkan *Net Tonnage* (NT) berarti ukuran kapasitas yang dipakai dari kapal yang ditentukan sesuai dengan ketentuan *International Convention on Tonnage Measurement of Ships* 1969. NT digunakan untuk menentukan pajak pelabuhan sedangkan GT digunakan untuk menentukan persyaratan-persyaratan regulasi, misalnya biaya masuk kanal, biaya pemanduan kapal, persyaratan keselamatan, peralatan teknis, jumlah kru, statistik armada dan transportasi, dan asuransi (International Maritime Organization (IMO), 1969).

1. Gross Tonnage (GT)

GT dari kapal dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$GT = K1 \cdot V \dots\dots\dots(2.33)$$

Di mana

$$V = \text{Volume total ruang tertutup} \quad [m^3]$$

$$K1 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V$$

2. Net Tonnage (NT)

NT dari kapal dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$NT = K2V_c (4d / 3D)^2 + K3(N1+(N2 / 10)) \dots\dots\dots(2.34)$$

Di mana

$$K2 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V_c$$

$$D = \text{Lebar kapal sesuai ketentuan konvensi}$$

$$K3 = 1.25 ((GT+10000)/10000)$$

$$N1 = \text{Banyaknya penumpang di dalam kabin tidak lebih dari 8 orang}$$

$$N2 = \text{Jumlah penumpang yang lain}$$

$$V_c = \text{Volume ruang muat } [m^3]$$

Persyaratan agar tonase dapat diterima sebagai berikut.

- $(4d / 3D)^2 \leq 1$

- $K_2 V_c (4d / 3D)^2 \geq 0.25 \text{ GT}$
- $NT \geq 0.30 \text{ GT}$

II.2. Tinjauan Pustaka

Terdapat beberapa hal yang ditinjau untuk mendukung pengerjaan Tugas Akhir ini. Hal – hal yang ditinjau adalah sebagai berikut.

II.2.1. LNG Carrier

Liquefied Natural Gas (LNG) merupakan bentuk dari gas alam yang telah melalui proses pencairan dengan suhu yang sangat rendah. Proses pencairan LNG dilakukan dengan mendinginkan gas alam pada suhu hingga minus 162°C . Dengan suhu yang sangat rendah, transportasi LNG memerlukan alat transportasi khusus. Umumnya transportasi LNG dilakukan dengan menggunakan pipa dan kapal pengangkut LNG atau *LNG Carrier*.

LNG Carrier merupakan kapal kargo yang dikhususkan untuk mengangkut LNG dengan titik didih pada suhu -162°C (McGuire dan White, 2000). Kapal jenis ini diukur berdasarkan kapasitas tanki. Pada saat ini tipikal ukuran dari *LNG Carrier* adalah pada rentan $125.000 - 135.000 \text{ m}^3$. Kapal LNG pertama dibangun pada tahun 1959 dengan kapasitas tanki sebesar 5000 m^3 , setelah itu pada tahun 1964 kapal LNG "Methane Princess" dibangun dengan kapasitas 27.400 m^3 . Tahun 1970an kapal LNG dengan kapasitas $120.000 - 130.000 \text{ m}^3$ dibangun.

II.2.2. Small – Scale LNG Carrier

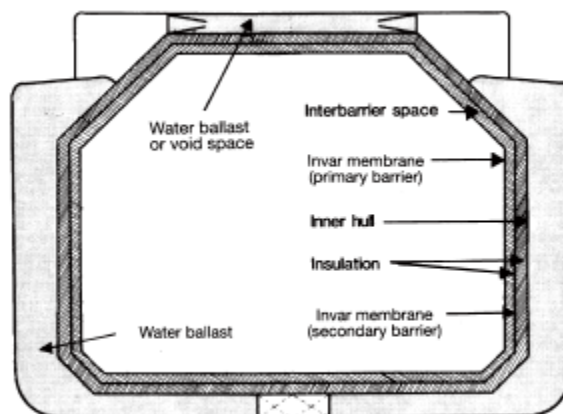
Kapal *LNG carrier* dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok berdasarkan kapasitas muatan kapal. Salah satu yang termasuk ke dalam kelompok *LNG carrier* berdasarkan kapasitas muatannya adalah *LNG carrier* dengan kapasitas kecil atau disebut *small-scale LNG carrier*. *Small-scale LNG carrier* merupakan kapal LNG dengan kapasitas muatan maksimal 20.000 m^3 LNG (Soegiono dan Artana, 2006). *Small-scale LNG carrier* digunakan untuk wilayah di mana belum tersedia saluran pipa LNG atau wilayah dari sisi ekonomi atau teknis tidak memungkinkan untuk dibangun saluran pipa gas. Dalam desain *small-scale LNG carrier* umumnya memiliki sarat kapal yang rendah atau *shallow draught* dengan nilai berkisar antara 4 hingga 7 meter, sehingga tidak membutuhkan kolam sandar yang dalam.

II.2.3. Tipe – Tipe Tanki LNG

Tipe tanki muatan LNG berdasarkan *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk* (ICG Code) dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *Membrane Tank* dan *Independent Tank*.

1. *Membrane Tank*

Membrane Tank atau dapat disebut sebagai *non self supporting tank* merupakan tanki muatan yang merupakan bagian dari struktur kapal (Soegiono dan Artana, 2006). Bentuk geometris dari tanki tipe membran menyesuaikan dengan bentuk bagian dalam kapal. Bagian dalam dari tanki dibuat dengan material tipis dengan kemungkinan resapan dan bocor yang sangat kecil ditambah dengan material isolasi yang melekat dengan struktur badan kapal. Kapasitas tekanan tanki membran adalah sekitar 0.25 bar, namun dapat dinaikan hingga 0.27 bar.

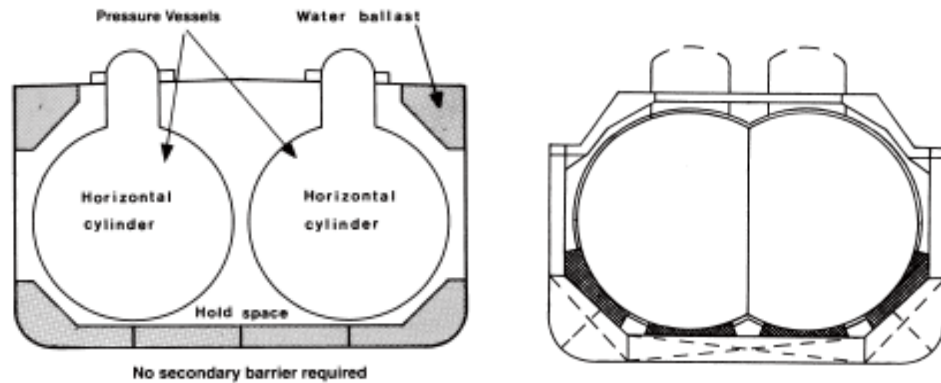


Gambar II. 11 Membrane Tank
(Sumber: McGuire dan White,2000)

2. *Independent Tank*

Independent tank dapat disebut dengan *self supporting tank* merupakan tanki muatan LNG yang strukturnya terpisah dari struktur badan kapal (Soegiono dan Artana, 2006). Jenis tanki ini dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yakni Tipe-A, Tipe-B, dan Tipe-C. Pada saat ini tanki Tipe-A sudah tidak lagi digunakan. Untuk tanki Tipe-B dibagi menjadi dua jenis tanki, yakni *spherical* dan *prismatic tank*. Tanki Tipe-B didesain memiliki tekanan uap hingga 0.7 bar. Sedangkan untuk tanki Tipe-C terdiri dari dua jenis tanki, yaitu *bilbope* dan

silinder. Desain dari tanki tipe-C memiliki nilai tekanan yang rendah. Untuk tanki Tipe-C tidak perlu *secondary barrier* sehingga pada ruang muatnya dapat diisi dengan gas sepenuhnya (McGuire dan White,2000). Tanki tipe-C umumnya digunakan untuk *small – scale LNG carrier* karena tanki tipe ini memiliki *boil-off rate* yang sangat rendah sehingga meningkatkan efisiensi kapal LNG dengan muatan yang kecil.



Gambar II. 12 Tanki LNG Tipe-C
(Sumber : McGuire dan White,2000)

II.2.4. Liquefaction LNG

LNG merupakan gas alam yang didinginkan hingga suhu minus 162 derajat Celsius pada tekanan atmosfer yang membuatnya menjadi zat cair yang memiliki volume 1/600 dari volume sebelumnya (Soegiono dan Artana, 2006). Proses pencarian LNG atau disebut dengan *liquefaction* dilakukan dengan menurunkan suhu hingga -162 derajat Celcius dengan melalui 3 tahapan (McGuire dan White, 2000) seperti berikut.

1. *Pretreatment*

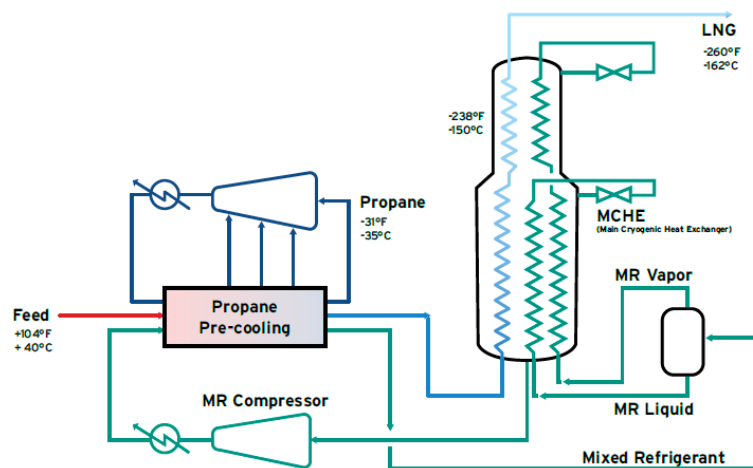
Pada tahap ini gas alam dipisahkan dengan partikel kotoran yang terkandung seperti debu dan bahan kimia lain seperti *hydrogen sulfide* dan *mercury*. Pemisahan partikel kotoran ini bertujuan agar tidak terjadi korosi yang dapat menimbulkan masalah pada saat proses pendinginan.

2. *Acid Gas Removal*

Setelah melalui tahap *pretreatment* gas alam dihilangkan kandungan karbon dioksida nya dengan menggunakan amine *absorber*. Proses ini dinamakan sebagai *Acid Gas Removal* atau AGR. Proses AGR bertujuan untuk menghilangkan partikel yang akan membentuk es ketika proses pendinginan dilakukan.

3. Liquefaction

Setelah komponen lain yang dapat menghambat proses pendinginan selesai dipisahkan, gas alam akan melalui proses pendinginan awal dengan suhu -35 derajat Celcius. Selanjutnya gas alam dipindah ke dalam *main cryogenic heat exchanger* (MCHE) untuk didinginkan pada suhu -162 derajat Celcius. Sebelum gas alam dipindahkan pada MCHE, MCHE juga harus melalui proses pendinginan terlebih dahulu. Skema proses pendinginan gas alam dapat dilihat pada gambar II.13



Gambar II. 13 Skema Proses Pendinginan LNG
(Sumber : Cameron LNG, 2017)

II.2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) merupakan pembangkit yang tenaga penggeraknya disuplai dari pabrikan mesin gas (*gas engine manufacturer*). Mesin gas yang digunakan mendukung berbagai aplikasi pembangkit listrik mulai dari perumahan kecil hingga jaringan listrik industri dan nasional yang lebih luas. Karena dapat diterapkan pada berbagai kebutuhan listrik, *output* listrik yang dihasilkan generator dapat bervariasi mulai 5 kW hingga 18 MW. Terdapat beberapa mesin lain yang dapat beroperasi dengan berbagai jenis bahan bakar seperti diesel, *heavy fuel oil*, dan gas alam. Biasanya mesin pembangkit listrik terdapat *prime mover* yang beragam dan tidak menutup kemungkinan digunakan turbin uap untuk memanfaatkan panas yang terbuang sehingga meningkatkan *output* listrik. Sebagai *prime mover*, perbedaan teknologi mesin gas yang digunakan dapat terjadi. Biasanya, dibagi menjadi *spark ignition engine* dan mesin *dual fuel*. Efisiensi listrik bersih suatu mesin dapat mencapai

sekitar 40-48%. Kapasitas pembangkit listrik tergantung pada jumlah *prime mover* yang terpasang (Antti Alahäivälä, Juha Kiviluoma, 2017).

II.3. Tinjauan Wilayah

Batasan wilayah yang dijadikan tinjauan dalam Tugas Akhir ini berfokus terhadap wilayah Papua yang merupakan daerah dibangunnya PLTMG "Sorong" 1, 2, dan 3. Selain wilayah Sorong, yang akan dijadikan tinjauan adalah Lapangan LNG Tangguh yang merupakan tempat penghasil gas yang akan didistribusikan.

II.3.1. Lapangan LNG Tangguh

Lapangan LNG Tangguh merupakan kilang LNG yang terletak di Teluk Bintuni, Papua Barat. Tangguh LNG merupakan suatu pengembangan unitisasi dari enam lapangan gas terunitisasi yang terletak di wilayah Wiriagar, Berau dan Muturi di Teluk Bintuni, Papua Barat. LNG Tangguh mulai berproduksi pada tahun 2009, hanya empat tahun setelah memperoleh persetujuan dari Pemerintah (BP,2019). Berdasarkan perencanaannya LNG Tangguh akan memproduksi LNG sebesar 11.4 mtpa pada tahun 2020. Jumlah produksi tersebut menyesuaikan target pembangunan *train* 3 yang akan selesai pada tahun 2020. Hingga tahun 2019 LNG Tangguh memiliki 2 *train* yang dapat memproduksi LNG sebesar 7.6 mtpa. Rincian kapasitas produksi LNG Tangguh disajikan pada tabel berikut.

Tabel II. 3 Produksi Gas Lapangan Tangguh

No	Kapasitas Produksi			Ket
1	Tangguh Train 1	3.8	mtpa	
2	Tangguh Train 2	3.8	mtpa	
2	Tangguh Train 3	3.8	mtpa	Produksi 2020
	Total	11.4	mtpa	

II.3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas "Sorong"

Pembangunan pada wilayah timur Indonesia khususnya pada wilayah Papua dan Maluku Selatan akan berfokus terhadap pembangkit listrik dengan menggunakan sumber gas dari LNG Tangguh. Pada wilayah Papua akan terdapat beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang dibagi menjadi dua sistem, yaitu sistem Sorong dan sitem Jayapura (RPUTL, 2015). Untuk sistem Sorong akan dibangun 3 PLTMG dengan jarak yang berdekatan. Letak PLTMG "Sorong" 1, 2, dan 3 pada perencanaannya adalah seperti pada gambar II.8



Gambar II. 14 Lokasi Perencanaan Pembangunan PLTMG
(Sumber : RUPTL, 2015)

Per tahun 2019 realisasi pembangunan PLTMG “Sorong” sudah mencapai 50%. PLTMG “Sorong” 1 dan 2 sudah selesai dibangun, sedangkan untuk PLTMG “Sorong” 3 direncanakan akan rampung pada tahun 2023. Kapasitas yang direncanakan untuk setiap PLTMG adalah sebesar 50 MW dengan rincian terdapat pada tabel II.4 dan tabel II.5.

Tabel II. 4 Kapasitas LNG PLTMG Sorong (1)

Pembangkit Listrik	PLTMG Sorong 1		PLTMG Sorong 2		PLTMG Sorong 3
	Tahun				
2018	30	MW	30	MW	
	11	unit	11	unit	
	7535.11	MMBTU/d	7535.11	MMBTU/d	
	355.43	m3 LNG	355.43	m3 LNG	
2019	20	MW			
	6	unit			
	4110.06	MMBTU/d			
	194	m3 LNG			

Tabel II. 5 Kapasitas LNG PLTMG Sorong (2)

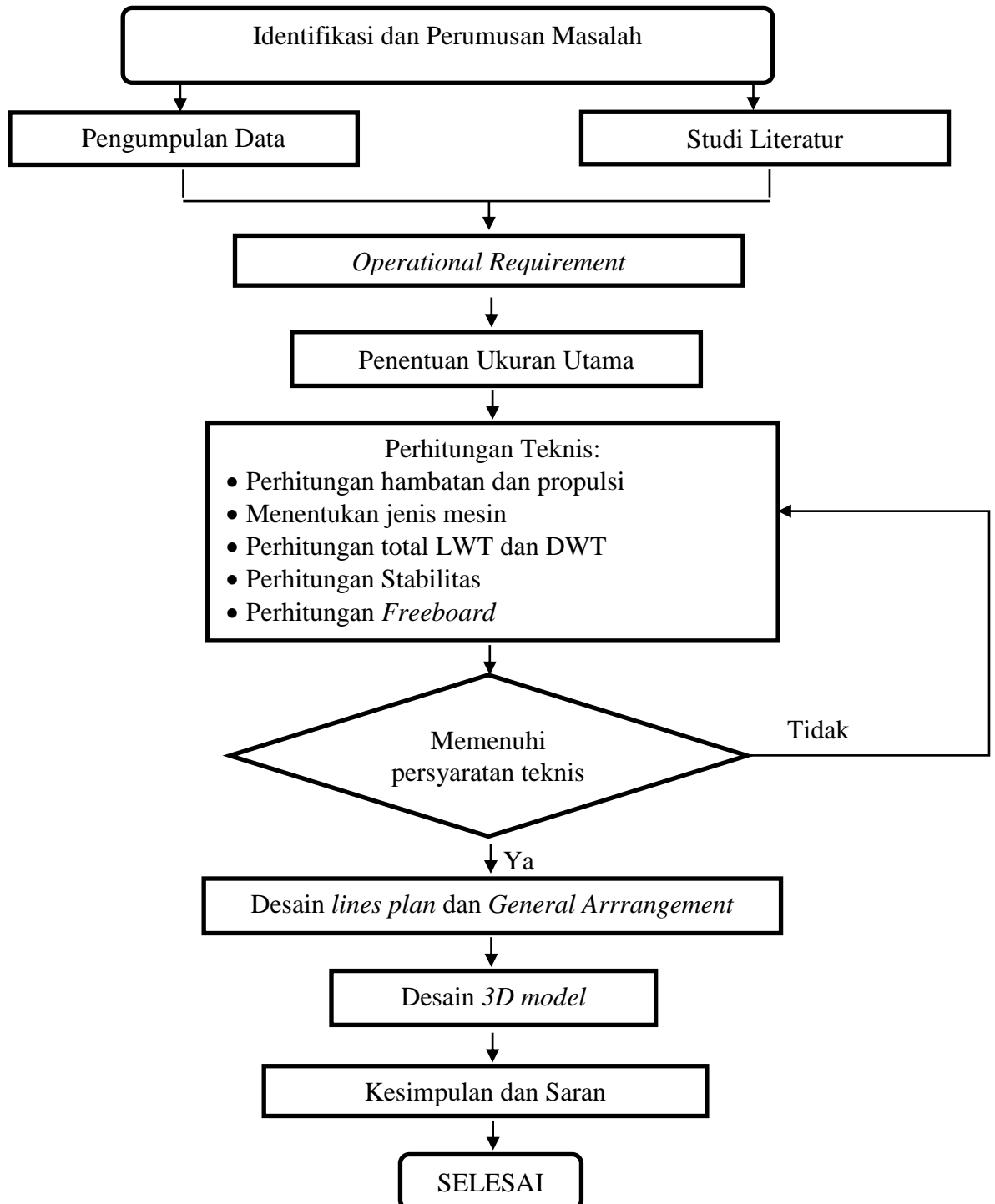
Pembangkit Listrik	PLTMG Sorong 1		PLTMG Sorong 2		PLTMG Sorong 3
	Tahun				
2020			20	MW	
			6	unit	
			4110.06	MMBTU/d	
			194	m3 LNG	
2023			50	MW	
			17	unit	
			11645.17	MMBTU/d	
			549	`	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Metode

Metode dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.



Gambar III 1. Diagram Alir Metode Pengerjaan

III.2. Penentuan Operational Requirement

Dalam menentukan *operational requirement* dilakukan dengan metode ilmiah yang meliputi pengumpulan data dan studi literatur. *Operational requirement* yang perlu ditentukan dalam Tugas Akhir ini adalah rute pelayaran, kecepatan kapal, dan *payload*. Data dan studi literatur yang diperlukan pada penentuan *operational requirement* adalah sebagai berikut.

1. Data
 - Suplai LNG Tangguh
 - Jenis mesin pembangkit PLTMG "Sorong"
 - Kebutuhan LNG PLTMG "Sorong"
 - Jarak pelayaran Lapangan LNG Tangguh – PLTMG "Sorong"
 - Kondisi perairan pada wilayah rute pelayaran
2. Studi Literatur
 - *Small – scale LNG carrier*
 - Batasan kecepatan *LNG carrier*

III.3. Penentuan Ukuran Utama Kapal

Penentuan ukuran utama kapal dilakukan dengan menggunakan metode *geosim procedure*. Dalam metode ini dilakukan perbandingan geometris badan kapal untuk mendapatkan ukuran utama kapal. Pencarian kapal pembanding yang digunakan untuk kapal acuan harus memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan didesain.

III.4. Perhitungan Teknis

Perhitungan teknis dilakukan berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan. Perhitungan tersebut meliputi hambatan kapal, daya kapal, penentuan main engine dan auxiliary engine, berat DWT dan LWT, titik berat, trim, freeboard, stabilitas kapal, dan tonase.

III.5. Desain Lines Plan

Proses desain dengan membuat desain lambung kapal dalam *software maxsurf*. Setelah itu dilakukan penyempurnaan desain *lines plan* dengan cara meng-*eksport* hasil proyeksi *body plan*, *half breath plan*, dan *buttock plan* di *export* ke *software AutoCAD*. Setelah itu dilakukan penyempurnaan desain *lines plan* dengan cara meng-*eksport* hasil proyeksi *body plan*, *half breath plan*, dan *buttock plan* di *export* ke *software AutoCAD*.

III.6. Desain *General Arrangement*

Proses desain *General Arrangement* dilakukan berdasarkan ketentuan *Maritime Labour Convention* (MLC) tentang standar ruang akomodasi kru kapal. Pembuatan *general arrangement* dilakukan dengan menggunakan *software AutoCAD*.

III.7. Desain 3D Model

Proses desain *3D model* kapal dilakukan dengan menggunakan model 3D lambung kapal yang sudah didesain pada proses sebelumnya. Proses desain 3D ini berupa penambahan komponen-komponen kapal dan proses *rendering* agar kapal terlihat lebih realistik. Proses finalisasi ini menggunakan bantuan *software SketchUp* dan *Lumion*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

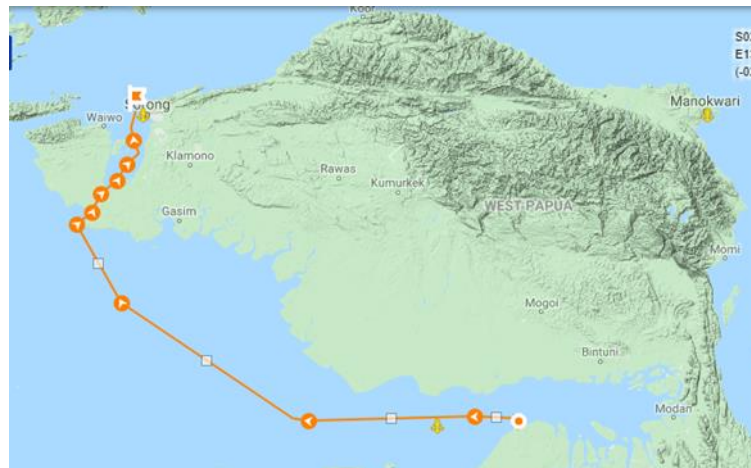
BAB IV ANALISA TEKNIS

IV.1. *Operational Requirement*

Operational requirement kapal merupakan aspek dan kebutuhan operasional dari kapal yang akan didesain. Pada tugas akhir ini *operational requirement* dari kapal *small-scale LNG carrier* melingkupi rute pelayaran, kecepatan kapal, dan *payload*. *Payload* kapal *small-scale LNG carrier* berdasarkan perhitungan kebutuhan PLTMG “Sorong” 1, 2, dan 3.

IV.1.1. Penentuan Rute Pelayaran

Kapal *small-scale LNG carrier* pada Tugas Akhir ini akan direncanakan untuk beroperasi pada wilayah Papua. Rute pelayaran yang akan dilalui adalah lapangan gas Tangguh menuju PLTMG Sorong I,II,dan III seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.1.



Gambar IV. 1 Rute Pelayaran

Kapal *small-scale LNG Carrier* pada tugas akhir ini berlayar mulai dari Lapangan Gas Tangguh yang ditunjukkan pada keterangan 1 gambar IV.1 menuju PLTMG “Sorong” 1, 2, dan 3. Letak PLTMG “Sorong” 1, 2, dan 3 masing masing berjarak 371.51 km,369.1 km, dan 369.1 km dari Lapangan Gas Tangguh. Jarak yang dijadikan sebagai jarak operasional kapal adalah jarak antara Lapangan Gas Tangguh menuju PLTMG “Sorong” 1 karena merupakan jarak terjauh dibandingkan dengan jarak menuju PLTMG “Sorong” 2 dan 3. Berdasarkan rute pelayaran yang ditentukan, *small-scale LNG carrier* ini akan menempuh jarak sejauh 371.51 km (200.6 nm).

IV.1.2. Penentuan Kecepatan

Pada umumnya kapal LNG memiliki kecepatan yang relatif tinggi yaitu 20 knot, karena muatan LNG mengalami *boil off* sebesar 0.15 persen dari jumlah muatan per hari (Soegiono dan Artana, 2006). Namun pada *small-scale LNG carrier* yang memiliki jangkauan operasi lebih dekat dibanding kapal LNG maka kecepatan yang digunakan dapat menjadi lebih rendah. Untuk menghindari efek dari *boil off* muatan *small-scale LNG carrier* perlu untuk memiliki waktu berlayar kurang dari 1 hari. Jarak pelayaran kapal adalah 200.6 nm dengan asumsi proses bongkar muat menggunakan pompa dengan kapasitas 400 m³/jam (*International Gas Conferences, 2015*) maka waktu pelayaran minimal adalah maksimal 17 jam. Dengan jarak pelayaran 200.6 nm *Small-scale LNG carrier* pada Tugas Akhir ini menggunakan kecepatan 13 knot karena memiliki waktu tempuh selama 16.7 jam.

IV.1.3. Penentuan Payload

Penentuan *payload small-scale LNG carrier* berdasarkan kebutuhan gas pada PLTMG "Sorong" I, II, dan III. Dalam penentuan *payload* kapal juga memperhatikan kapasitas produksi LNG lapangan Tangguh, kapasitas penyimpanan LNG PLTMG "Sorong", dan waktu operasi kapal.

1. Kapasitas produksi LNG Lapangan Tangguh

Lapangan LNG Tangguh merupakan kilang gas yang terletak di Teluk Bintuni. Seperti yang sudah dijelaskan pada II.3.1 lapangan LNG Tangguh memiliki kapasitas produksi 11.4 mtpa atau 11 juta ton per tahunnya. Dengan kapasitasnya yang besar, lapangan Tangguh dirancang untuk melayani kebutuhan ekspor LNG dan kebutuhan energi di dalam negeri.

2. Kapasitas penyimpanan LNG PLTMG "Sorong"

Fasilitas penyimpanan LNG di Indonesia untuk sistem pembangkit listrik dengan kapasitas kecil menggunakan *Floating Storage Unit (FSU)* dengan kapasitas maksimal 30.000 m³ (PT. PGN,2018). Salah satu fasilitas penyimpanan di Indonesia adalah di Benoa untuk mensuplai PLTG Pesanggara dengan kapasitas 29.000 m³. Pada Tugas Akhir ini kapasitas penyimpanan diasumsikan sebesar 29.000 m³ untuk mensuplai PLTMG "Sorong" 1, 2, dan 3.

Setelah melakukan tinjauan terkait kapasitas produksi dan kapasitas penyimpanan dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar PLTMG "Sorong". *Generator* yang digunakan

PLTMG "Sorong" adalah Jenbacher Gas Engine J620 3041 kW. Berikut merupakan data konsumsi LNG untuk satu unit mesin disajikan dalam tabel IV.1.

Tabel IV. 1 Konsumsi LNG satu unit mesin generator

Kebutuhan LNG		
Jenis Mesin	J 620 GS-E01	
Daya Mesin	3041	kW
	3.041	MW
Fuel Consumption	745	Nm ³ /h
	685.01	MMBTU/d
	32	m ³ LNG

Untuk setiap PLTMG direncanakan memiliki 17 unit mesin (PT. PLN, 2015) sehingga dapat diketahui konsumsi LNG yang digunakan di PLTMG "Sorong" I, II, dan III yaitu 200.495 m³ LNG per tahun atau 549 m³ LNG per hari. Pada tabel IV.2 adalah rincian kebutuhan PLTMG "Sorong" dalam satu tahun dan dalam satu hari.

Tabel IV. 2 Kebutuhan LNG PLTMG Sorong

Kebutuhan Tahunan			Kebutuhan Harian		
PLTMG Sorong 1	4250487.05	MMBTU	PLTMG Sorong 1	11645.17	MMBTU
	200495	m ³ LNG		549	m ³ LNG
PLTMG Sorong 2	4250487.05	MMBTU	PLTMG Sorong 2	11645.17	MMBTU
	200495	m ³ LNG		549	m ³ LNG
PLTMG Sorong 3	4250487.05	MMBTU	PLTMG Sorong 3	11645.17	MMBTU
	200495	m ³ LNG		549	m ³ LNG

Total kebutuhan 3 PLTMG "Sorong" adalah sebesar 601.485 m³ LNG per tahun, sehingga kapasitas produksi LNG lapangan Tangguh dapat mencukupi kebutuhan gas PLTMG "Sorong" setiap tahunnya. Berdasarkan kapasitas penyimpanan yang sudah ditentukan, setiap PLTMG "Sorong" 1, 2, dan 3 mendapatkan suplai LNG sebesar 9666 m³ LNG dengan jumlah LNG cadangan sebesar 1098 m³ sehingga jumlah LNG untuk operasi sebesar 8568 m³. Jumlah LNG untuk operasi satu PLTMG dapat digunakan selama 15 hari operasi. Sehingga pada Tugas Akhir ini kapal direncanakan untuk dapat mensuplai sebesar 29.000 m³ LNG selama 15 hari. Berdasarkan waktu pelayaran dan waktu bongkar muat yang dibutuhkan maka *Small – scale LNG carrier* memerlukan waktu untuk pelayaran selama 27.8 jam. Sehingga waktu untuk melakukan *roundtrip* adalah 2 hari. Berdasarkan hal tersebut

dalam 15 hari kapal maksimal melakukan 7 kali pengiriman dengan skenario seperti pada tabel IV.3

Tabel IV. 3 Skenario Payload Kapal

Jumlah Pengiriman (15 hari)	Muatan	Total Roundtrip /bulan	Total Roundtrip /tahun	Commission Days
1	29000	2	24	48
2	14500	4	48	96
3	9666.6667	6	72	144
4	7250	8	96	192
5	5800	10	120	240
6	4833.3333	12	144	288
7	4242.8571	14	168	336

Dengan memperhatikan *commission days* kapal maka *payload* 4242.857 m³ LNG dipilih sebagai *payload* kapal. Dengan *payload* 4242.857 m³ LNG, *small-scale LNG carrier* memerlukan 168 kali *round trip* per tahun. Dengan perencanaan penjadwalan yang digunakan *small-scale LNG carrier* akan beroperasi selama 336 hari per tahun dengan asumsi 29 hari yang tersisa digunakan untuk perawatan kapal dan pergantian kru kapal.

IV.2. Penentuan Ukuran Utama Awal

Penentuan ukuran utama awal *small-scale LNG carrier* menggunakan metode *Geosim Procedure* seperti yang sudah dijelaskan pada II.1.2. *Geosim Procedure* merupakan metode penentuan ukuran utama dengan melakukan perbandingan geometris ukuran utama kapal. Pada metode ini perbandingan geometris menjadi koefien K yang digunakan untuk mencari ukuran utama kapal. *Small-scale LNG carrier* yang didesain menggunakan kapal acuan dengan spesifikasi sebagai berikut.

- *Vessel name* : LIQUEFIED GAS CARRIER 6500 LNG
- *LoA* : 105.90 m
- *Lbp* : 103.10 m
- *Beam Mpilded* : 18.60 m
- *Depth* : 11.75 m
- *Draft* : 5.60 m
- *W* : 6500

Berdasarkan spesifikasi kapal di atas, maka faktor K dapat dihitung menggunakan formulasi $(L_2/L_1)^3 = W_2/W_1$

$$(L_2/L_1)^3 = 4242.857/6500$$

$$(L_2/L_1)^3 = 0.884 \quad (\text{Nilai } K).$$

Setelah mendapatkan nilai K maka ukuran utama kapal didapatkan sebagai berikut.

$$L = L \times K$$

$$= 103.1 \text{ m} \times 0.884$$

$$= 92.2 \text{ m}$$

$$B = B \times K$$

$$= 18.6 \text{ m} \times 0.884$$

$$= 16.5 \text{ m}$$

$$T = T \times K$$

$$= 5.6 \text{ m} \times 0.884$$

$$= 5.2 \text{ m}$$

$$H = H \times K$$

$$= 11.5 \text{ m} \times 0.884$$

$$= 9.2 \text{ m}$$

Sehingga didapatkan ukuran utama kapal awal sebagai berikut.

$$L_{bp} = 92.2 \text{ m}$$

$$B = 16.5 \text{ m}$$

$$T = 5.2 \text{ m}$$

$$H = 9.2 \text{ m}$$

IV.3. Pemeriksaan Ukuran Utama Kapal

Ukuran utama kapal yang sudah didapatkan sebelumnya perlu untuk dilakukan pemeriksaan rasio ukuran utama kapal. Pemeriksaan ukuran utama dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari desain kapal yang akan dibuat. Pada tabel IV.5 merupakan pemeriksaan rasio ukuran utama dengan batasan yang sudah ditentukan.

Tabel IV. 4 Pemeriksaan Ukuran Utama Kapal

Main Dimensions Ratio			
Perbandingan	Nilai	Batas	Keterangan
$L_o/B_o =$	7.21	$5.1 < L/B < 7.1$	Memenuhi
$B_o/T_o =$	4.15	$2.4 < B/T < 3.2$	Memenuhi
$L_o/T_o =$	29.94	$10 < L/T < 30$	Memenuhi
$L/H =$	17.38	$10 < L/H < 16$	Memenuhi
$B/H =$	2.41	$1.65 < B/H < 2.5$	Memenuhi

IV.4. Penentuan Jenis Tanki Muatan

Seperti yang sudah dijelaskan pada II.2.3 terdapat berbagai macam tanki LNG. Dalam Tugas Akhir ini penentuan jenis tanki muatan perlu dilakukan sehingga mendapatkan jenis tanki yang paling tepat sesuai dengan kapal yang akan direncanakan. Pada penentuan tanki LNG, dilakukan perbandingan antara tanki tipe-A, tipe-B, dan tipe-C. Perbandingan diambil berdasarkan jenis muatan (Lamb, 2003). Perbandingan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel IV. 5 Perbandingan Penggunaan Tipe Tanki

Kind of Liquefied gas carrier	Tank type by ICG Code	Design Standard	Barrier type	Type of Ship
Pressurized	Independent tank Type C	Pressure Vessel	No Insulation and no secondary barrier	Small - scale LNG
Pressurized and refrigerated	Independent tank Type C	Pressure Vessel	Insulation and no secondary barrier	Multi-purpose gas carrier
	Independent tank Type C	Pressure Vessel	Insulation and no secondary barrier	LNG Carrier
Refrigerated	Independent tank Type B	Design by analysis	Insulation and partial secondary barrier	LNG and LPG Carrier
	Independent tank Type A	Deep tank	Insulation and full secondary barrier	LPG Carrier

Berdasarkan tabel IV.5 *small – scale LNG carrier* didesain menggunakan tanki tipe-C. Selain itu, penggunaan tanki tipe-C untuk *small – scale LNG carrier* memiliki kelebihan yaitu memiliki *boil – off rate* yang sangat rendah. Selain itu, penggunaan tanki tipe – C tidak memerlukan sistem *liquefaction* karena tanki didesain untuk menjaga bentuk muatan tetap cair. Sehingga pada Tugas Akhir ini tanki muatan yang digunakan adalah tanki tipe-C.

IV.5. Perhitungan Koefisien dan *Displacement* Kapal

Setelah mendapatkan ukuran utama yang telah sesuai dengan batasan nilai perbandingan rasio ukuran utama, maka tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan awal. Perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan nilai *froude number*, perhitungan koefisien bentuk badan kapal, dan perhitungan *displacement* dan *volume displacement*.

IV.5.1. Perhitungan *Froude Number*

Froude Number merupakan perbandingan antara kecepatan kapal dengan panjang kapal. *Froude Number* dapat dihitung dengan formula sebagai berikut.

$$V_s = 13 \text{ knot} = 6.687 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{6.687}{\sqrt{9.81 \times 92.2}} \\ &= 0.2180 \end{aligned}$$

IV.5.2. Perhitungan Koefisien Bentuk Kapal

Koefisien bentuk badan kapal ditentukan setelah proses penentuan ukuran utama awal. Koefisien yang ditentukan meliputi koefisien blok (C_B), koefisien prismatic (C_P), koefisien *midship* (C_M), dan koefisien *waterplan* (C_{WP}). Pada sub bab ini juga dihitung nilai LCB, *displacement*, dan *volume displacement* untuk mengetahui karakteristik kapal. Hasil dari koefisien bentuk badan kapal, LCB, dan *displacement* sebagai berikut.

- *Block Coefficient*

$$\begin{aligned} C_b &= -4.22 + 27.8 \sqrt{F_n} - 39.1 F_n + 46.6 F_n^3 \\ &= 0.719 \end{aligned}$$

- *Midship Section Coefficient (Series 60')*

$$\begin{aligned} C_m &= 0.977 + 0.085(C_b - 0.6) \\ &= 0.987 \end{aligned}$$

- *Waterplan Coefficient*

$$\begin{aligned} C_{wp} &= C_b / (0.471 + 0.551 C_b) \\ &= 0.829 \end{aligned}$$

- *Prismatic Coefficient*

$$\begin{aligned} C_p &= C_b / C_m \\ &= 0.728 \end{aligned}$$

- *Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)*

$$\begin{aligned} \text{LCB} &= 8.80 - 38.9 \text{ Fn} \\ &= 0.318 \% \\ &= 46.405 \text{ m LCB dari AP} \end{aligned}$$

- Volume dan Berat Displasemen

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= L \times B \times T \times C_b & \Delta &= L \times B \times T \times C_b \times \gamma \\ &= 5914.046 \text{ m}^3 & &= 6061.897 \text{ ton} \end{aligned}$$

IV.6. Perhitungan Hambatan dan Propulsi

Tahap selanjutnya setelah melakukan perhitungan koefisien bentuk badan kapal adalah melakukan perhitungan hambatan total kapal. Setelah mendapatkan nilai hambatan total maka akan dilakukan perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal.

IV.6.1. Perhitungan Hambatan

Metode yang digunakan dalam perhitungan hambatan kapal *small-scale LNG carrier* adalah metode Holtrop. Pada metode Holtrop nilai dari hambatan total kapal terdiri dari hambatan kekentalan (*viscous resistance*), hambatan bentuk (*resistance of appendages*), dan hambatan gelombang (*wave making resistance*). Dengan menggunakan metode Holtrop tersebut maka diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Hambatan kekentalan (*viscous resistance*)

Nilai untuk hambatan kekentalan yang digunakan pada perhitungan hambatan total Holtrop bergantung terhadap nilai dari C_F . Berdasarkan formula 2.10 maka didapatkan nilai C_F adalah 0.001655.

2. Hambatan bentuk (*resistance of appendages*)

Hambatan bentuk dalam proses perhitungan hambatan Holtrop direpresentasikan sebagai nilai *form factor* (1 + k). Berdasarkan formula 2.11 didapatkan nilai (1+k) adalah 1.262.

3. Hambatan gelombang (*wave making resistance*)

Nilai dari hambatan gelombang R_w berdasarkan formula 2.13 adalah -0.0000212.

4. Hambatan total

Setelah mendapatkan seluruh nilai yang menjadi faktor dalam perhitungan hambatan total Holtrop maka nilai dari hambatan total dapat dihitung. Nilai hambatan total pada *small-scale LNG carrier* adalah 124366.022 N atau 124.366 kN.

IV.6.2. Perhitungan Propulsi Kapal

Setelah mendapatkan nilai hambatan total, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal. Dalam perhitungan daya penggerak kapal terdapat beberapa komponen yaitu, EHP, THP, DHP, SHP, dan BHP. Nilai setiap masing masing komponen dapat dihitung berdasarkan formula pada bab II.1.6. Dalam setiap komponen daya kapal, terhadap nilai efisiensi yang digunakan. Besar nilai efisiensi yang digunakan berdasarkan (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998). Hasil perhitungan besar daya kapal dan nilai efisiensi yang digunakan dapat dilihat pada tabel IV.6. Detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel IV. 6 Rekapitulasi Daya Kapal

Komponen Daya		Nilai		Effisiensi
EHP	=	831.660	kW	
THP	=	799.806	kW	1.040
DHP	=	1483.869	kW	0.539
SHP	=	1514.152	kW	0.98
BHP	=	1521.917	kW	0.975

Berdasarkan tabel IV.6 didapatkan nilai BHP adalah 1521.917 kW yang selanjutnya didapatkan nilai MCR dengan menambahkan *margin* sebesar 15% BHP. Nilai dari MCR adalah 1750.205 kW atau 2379.579 HP. Nilai MCR digunakan sebagai acuan dalam pemilihan mesin yang akan digunakan.

Pemilihan mesin dilakukan mengacu terhadap nilai MCR yang sudah didapatkan. Dalam pemilihan mesin, besar daya mesin harus lebih besar dibandingkan dengan nilai MCR. Pada desain *small-scale LNG carrier* mesin induk kapal yang direncanakan berjumlah satu unit mesin. Sedangkan untuk jumlah mesin generator kapal direncanakan berjumlah tiga unit. Mesin yang digunakan adalah MAN 6L27/38 dengan besar daya 2040 kW atau 2735.68 HP. Rincian spesifikasi mesin disajikan pada table IV.7 berikut. Data lengkap mesin dapat dilihat pada lampiran C.

Tabel IV. 7 Spesifikasi Mesin

Main Engine	
Engine type =	MAN 6L27/38
MCR =	2040 kW
MCR =	2735.681 HP
Speed =	800 r/min
Cyl. number =	7
Bore =	270 mm
Stroke =	380 mm
Specific Fuel Oil Consumption	
SFOC =	186 g/kWh
Specific Lube Oil Consumption	
SLOC =	0.5 g/kWh
Dimensions	
Length =	5515 mm
Width =	2035 mm
Height =	3687 mm
Dry mass =	32.5 ton

Untuk pemilihan mesin generator kapal, daya minimal yang dijadikan sebagai acuan adalah sebesar 24% dari daya yang digunakan untuk mesin penggerak utamanya. Daya minimal yang dibutuhkan untuk mesin generator adalah 420.049 kW atau 571.099 HP. Berdasarkan kebutuhan daya minimal yang telah dihitung, maka generator yang dipilih adalah Wartsila AUXPAC 630W6L6 dengan beasr daya 660 kW. Spesifikasi dari mesin generator yang digunakan disajikan pada tabel IV.8 dan terdapat pada lampiran C.

Tabel IV. 8 Spesifikasi Mesin Generator

Generator Engine	
Genset type =	AUXPAC 630W6L6/60 Hz
Engine output =	660 kW
Diesel eff. =	95%
Diesel output =	627 kWe
Diesel output =	825 kVA
Fuel Oil Consumption	
FOC =	200 g/kWh
Lube Oil Consumption	
LOC =	0.6 g/kWh
Dimensions	
Length =	4787 mm
Width =	1294 mm
Height =	1955 mm
Dry mass =	10.8 ton

IV.7. Perhitungan Berat Kapal

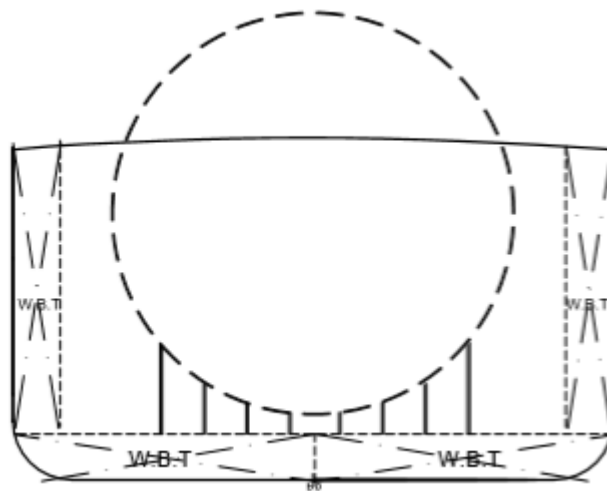
Perhitungan berat kapal dibagi menjadi dua komponen yaitu, berat *Light Weight Tonnage* (LWT) dan *Dead Weight Tonnage* (DWT). Pada sub bab ini akan menghitung nilai LWT dan DWT dengan setiap komponen di dalamnya. Jumlah dari LWT dan DWT merupakan berat dari kapal.

IV.7.1. Perhitungan LWT Kapal

Perhitungan dari LWT kapal terdiri dari beberapa komponen, yaitu berat baja, berat peralatan, dan berat permesinan. Nilai dari masing – masing komponen LWT kapal adalah sebagai berikut.

1. Berat baja kapal

Perhitungan berat baja kapal terdiri dari berat baja pada lambung kapal dan berat baja pada bangunan atas kapal. Berat baja didapatkan menggunakan formula 2.17 adalah 1132.733 ton dengan rincian pada tabel IV.9. Selain berat baja kapal, pada *small – scale LNG carrier* berat baja ditambah dengan berat tanki LNG. Tanki LNG didesain dengan diameter 5.5 m dengan tebal pelat sebesar 0.35 mm. Bentuk penampang tanki seperti pada gambar IV.2. Berat dari tanki LNG adalah 598 ton.



Gambar IV. 2 Penampang Melintang Tanki LNG

2. Berat peralatan kapal

Komponen berat peralatan kapal dibagi menjadi empat komponen yaitu penutup palkah, peralatan bongkar muat, peralatan pada dek akomodasi, dan berat lain lain. Berdasarkan perhitungan pada *Ship Design for Efficiency and Economy* maka didapatkan berat dari peralatan adalah 863.025 ton dengan rincian pada tabel IV.9.

3. Berat permesinan kapal

Komponen dalam berat permesinan meliputi berat mesin, *gearbox*, *shaft*, *propeller*, berat *generator*, dan berat lain lainnya selain yang disebutkan sebelumnya. Total berat permesinan kapal pada *small-scale LNG carrier* adalah 165.567 ton dengan rincian disajikan pada tabel IV.9.

Tabel IV. 9 Hasil Perhitungan LWT

No	Komponen		Nilai	Unit
1	<i>Steel Weight</i>		2322.984	ton
*		<i>Hull Weight + Tank Weight</i>	2228.036	ton
*		<i>Deckhouse Weight</i>	30.748	ton
*		<i>Superstructure Weight</i>	64.200	ton
2	<i>Equipment & Outfitting Weight</i>		862.035	ton
*		<i>Group 1</i>	497.940	ton
*		<i>Group 2</i>	60.000	ton
*		<i>Group 3</i>	153.096	ton
*		<i>Group 4</i>	150.999	ton
3	<i>Machinery Weight</i>		165.567	ton
*		<i>Engine Weight</i>	32.50	ton
*		<i>Shaft Weight</i>	1.5272	ton
*		<i>Gearbox Weight</i>	8.50	ton
*		<i>Propeller Weight</i>	7.00	ton
*		<i>Generator Weight</i>	32.40	ton
*		<i>Other Weight</i>	83.64	ton
Total			3350.587	ton

IV.7.2. Perhitungan DWT Kapal

DWT kapal terdiri dari beberapa komponen, yaitu *payload*, *consumable*, dan berat kru kapal. Berikut merupakan hasil perhitungan DWT *small-scale LNG carrier*.

1. *Payload*

Pada perencanaan desain *small-scale LNG carrier* ini *payload* yang direncanakan adalah sebesar 4242.857 m³ LNG. Masa jenis LNG adalah 0.47 ton/m³ sehingga berat dari muatan kapal adalah 2115 ton.

2. *Consumable*

Perhitungan berat *consumable* terdiri dari beberapa komponen yang meliputi *main engine fuel oil*, *generator fuel oil*, *main engine lubricating oil*, *generator lubricating oil*, *fresh water*, dan *provisions*. Perhitungan kebutuhan bahan bakar dan pelumas dilakukan berdasarkan lama pelayaran dan konsumsi bahan bakar dari mesin penggerak utama dan mesin *generator* yang digunakan. Total berat *consumable* adalah 52.95 ton dengan rincian pada tabel IV.10.

3. Kru Kapal

Jumlah minimal kru kapal minimal *small-scale LNG carrier* berdasarkan keputusan menteri perhubungan adalah 12 orang. Pada *small-scale LNG carrier*, perencanaan total kru kapal berjumlah 14 orang. Jumlah berat kru ditambahkan berat bawaan berdasarkan *Ship Design and Construction Ch.11* (Thomas Lamb, 2003) dikalikan koefisien berat $W_{C\&E}$ sebesar 0.17 ton/orang. Sehingga berat dari kru kapal adalah 2.38 ton dengan rincian terdapat pada tabel IV.10.

Tabel IV. 10 Rekapitulasi DWT

No	Komponen	Nilai	Unit
1	<i>Payload</i>	2115.000	ton
2	<i>Consumable Weight</i>	72.039	ton
*	<i>Engine Fuel Oil Weight</i>	12.882	ton
*	<i>Generator Fuel Oil Weight</i>	14.12	ton
*	<i>Engine Lubricating Oil Weight</i>	20	ton
*	<i>Generator Lubricating Oil Weight</i>	20	ton
*	<i>Fresh Water Weight</i>	4.76	ton
*	<i>Provisions and Stores Weight</i>	0.28	ton
3	<i>Crew</i>	2.38	ton
*	<i>WC&E Main Deck</i>	0.34	ton
*	<i>WC&E Poop</i>	1.02	ton
*	<i>WC&E II</i>	0.51	ton
*	<i>WC&E III</i>	0.51	ton
Total		2189.419	ton

IV.7.3. Total Berat Kapal

Setelah mendapatkan berat dari LWT dan DWT maka total berat kapal adalah 5499.997 ton dengan rincian pada tabel IV.11 dan pada lampiran A.

Tabel IV. 11 Rekapitulasi Berat Kapal

No	Komponen	Nilai	Unit
1	<i>Lightweight Tonnage</i>	3350.587	ton
*	<i>Steel Weight</i>	2322.984	ton
*	<i>Equipment & Outfitting Weight</i>	862.035	ton
*	<i>Machinery Weight</i>	165.567	ton
2	<i>Deadweight Tonnage</i>	2189.419	ton
*	<i>Payload</i>	2115.000	ton
*	<i>Consumable Weight</i>	72.039	ton
*	<i>Crew</i>	2.38	ton
Total Weight		5540.006	ton

IV.8. Perhitungan Titik Berat Kapal

Berdasarkan berat masing – masing komponen LWT dan DWT yang sudah dihitung pada bab sub bab sebelumnya maka selanjutnya dilakukan perhitungan titik berat dari masing – masing komponen LWT dan DWT. Pada tabel IV.12 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan berat dan titik berat setiap komponen LWT dan DWT kapal.

Tabel IV. 12 Total Berat Kapal dan Titik Berat Kapal

<u>(LWT)</u>		
• Steel Weight		
$W_{ST} =$	2322.984	ton
VCG =	4.699	m
LCG from AP=	45.098	m
• Equipment & Outfitting Weight		
$W_{E\&O} =$	862.035	ton
$VCG_{E\&O} =$	10.596	m
LCG from AP=	24.450	m
• Machinery Weight		
$W_M =$	165.567	ton
VCG =	4.455	m
LCG from AP=	5.820	m
LWT total =	3350.587	ton
<u>(DWT)</u>		
• Consumable Weight		
$W_{consum} =$	74.419	ton
VCG =	1.973	m
LCG from AP=	2.928	m
• Payload		
$W_{payload} =$	2115	ton
VCG =	$(H-H_{db}) \cdot 0,5 + H_{db}$	
VCG =	5.250	m
LCG from AP=	52.700	m
DWT total =	2189.419	ton
<u>Total Weight</u>		
LWT + DWT =	5540.006	ton
Total VCG =	5.78	m
Total LCG (from AP) =	43.0470	m

IV.9. Perhitungan Tonase Kapal

Perhitungan tonase kapal meliputi *Gross Tonnage* (GT) dan *Net Tonnage* (NT). Tonase kapal merupakan volume seluruh ruangan yang berada pada bawah geladak kapal dan volume ruangan tertutup yang berada pada atas geladak kapal. Perhitungan GT dan NT dilakukan berdasarkan standar yang terdapat pada *International Convention on Tonnage Measurement of Ships*. Perhitungan tonase *small-scale LNG carrier* mendapatkan nilai GT sebesar 2774.75 ton dan nilai NT sebesar 836.353 ton dengan rincian disajikan pada tabel IV.13.

Tabel IV. 13 Perhitungan Tonase Kapal

<u>Gross Tonnage</u>	
$V_U =$	<i>Volume of under the weather deck</i>
$=$	9173.11 m ³
$V_H =$	<i>Volume of closed space on the weather deck</i>
$=$	734.94 m ³
$V =$	9908.05 m ³
$K_1 =$	$0.2 + 0.02 \text{ Log}_{10}(V)$
$=$	0.28
$GT =$	2774.75
<u>Net Tonnage</u>	
$V_C =$	4551 m ³
$K_2 =$	$0.2 + 0.02 \text{ Log}_{10}(V_C)$
$=$	0.274
$K_3 =$	$1.25 [(GT+10000)/10000] =$
$=$	1.597
$a =$	$K_2 * V_C * (4d/3D)^2$
$=$	818.356
	0.25 GT = 693.6875
	$a \geq 0.25GT$
	= Memenuhi
$NT =$	$a + K_3 * (N_1 + N_2 / 10)$
$=$	835.592
	0.30 GT = 832.425
	NT \geq
	0.30GT = Memenuhi

IV.10. Perhitungan *Freeboard*

Pada kapal terdapat lambung timbul atau *freeboard* yang merupakan daya apung cadangan kapal. Adanya lambung timbul pada kapal berdampak terhadap keselamatan kapal, kru, dan muatan. Perhitungan lambung timbul dilakukan berdasarkan aturan dan standar pada *International Convention on Load Lines 1966 and Protocol of 1988*. Kapal *small-scale LNG carrier* pada perhitungan lambung timbul termasuk kategori kapal tipe A. Hasil perhitungan lambung timbul yang telah dilakukan mendapatkan nilai 1817.76 mm. Rincian perhitungan lambung timbul adalah sebagai berikut.

- *Freeboard Standard*

Tabel IV. 14 Standar *Freeboard*

Length (m)	Freeboard (mm)
92	1014
93	1029

Berdasarkan panjang *small-scale LNG carrier* 92.20 m tinggi lambung timbul minimal dilakukan interpolasi berdasarkan tinggi lambung timbul standar yang terdapat pada regulasi ICLL 1966. Hasil interpolasi didapatkan tinggi lambung timbul sebesar 1017.00 m.

- Koreksi Panjang

Berdasarkan regulasi ICLL untuk setiap kapal tipe A tidak dilakukan koreksi panjang kapal..

- Koreksi C_B

Selain koreksi panjang, terdapat koreksi koefisien blok (C_B) untuk nilai C_B kurang dari 0.68. Koreksi dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Faktor} = (C_B + 0.68)/1.36$$

$$\text{Faktor} = 1.0285$$

$$FB_2 = FB_1 \times \text{Faktor koreksi } C_B$$

$$FB_2 = 1047.135 \quad \text{mm}$$

- Koreksi Tinggi

Koreksi tinggi (D) dilakukan jika nilai $D > L/15$. Koreksi yang dilakukan adalah sebagai berikut.

$$D = 9.2 \quad \text{m}$$

$$L/15 = 6.15 \quad \text{m}$$

$$D > L/15$$

$$FB_3 = FB_2 + \text{Faktor}$$

$$\text{Faktor} = R(D-L/15)$$

$$R = L/0.48 \quad (L < 120\text{m})$$

$$R = 192.083$$

$$\text{Faktor} = 192.083(9.2-6.15)$$

$$\text{Faktor} = 586.49 \quad \text{mm}$$

$$FB_3 = 1633.63 \quad \text{mm}$$

- Koreksi Bangunan Atas

Koreksi bangunan atas dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

Tabel IV. 15 Tabel Koreksi Bangunan Atas

Forecastle			Poop		
$l_{FC} =$	10.20	m	$l_{poop} =$	20.40	m
$h_{s_{FC}} =$	1.97	m	$h_{s_{poop}} =$	1.97	m
$h_{FC} =$	1.80	m	$h_{poop} =$	1.8	m
$l_{s_{FC}} =$	9.31	m	$l_{s_{poop}} =$	18.62	m

Panjang efektif *superstructure*

$$E = L_{s_{forecastle}} + L_{s_{poop}}$$

$$E = 27.93$$

$$E_{[x.L]} = 0.303\%$$

$$= -384 \quad \text{mm}$$

$$FB_4 = 1249.63 \quad \text{mm}$$

- Total *Freeboard*

Berdasarkan koreksi yang telah dilakukan maka didapatkan nilai total *freeboard* adalah 2266.73 mm.

- *Minimum Bow Height*

$$B_{WM} = 4316.97 \quad \text{mm}$$

$$= 4.32 \quad \text{m}$$

$$F_{ba} + S_f + h_{FC} > B_{WM}$$

$$F_{ba} + S_f + h_{FC} = 5.80 \text{ m}$$

Kondisi *minimum bow height* terpenuhi.

- Batasan *Freeboard*

Freeboard kapal dinyatakan memenuhi persyaratan apabila *actual freeboard* lebih besar dari *freeboard* perhitungan.

Actual Freeboard

$$H - T = 4.00 \text{ m}$$

Freeboard Perhitungan

$$FB = 2.27 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan *freeboard* yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai *actual freeboard* lebih besar dibanding dengan nilai koreksi. Oleh karena itu kapal *small – scale LNG carrier* sudah memenuhi persyaratan lambung timbul sesuai dengan ICLL 1966.

IV.11. Perhitungan Stabilitas

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal atau benda apung untuk kembali ke kondisi awal, setelah diberikan gaya atau gangguan, sehingga perhitungan stabilitas merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam proses teknis perancangan kapal. Pemeriksaan kondisi dilakukan guna mengetahui karakteristik kapal untuk setiap kondisi muatan yang berbeda (*loadcase*). Untuk mengetahui kriteria stabilitas dipenuhi atau tidak maka perhitungan stabilitas dilakukan dengan bantuan *software*. Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan software adalah IS Code 2008.

Pada desain kapal ini terdapat 8 *loadcase* yang digunakan untuk menghitung batasan stabilitas. Banyak *loadcase* ini dipengaruhi oleh besarnya muatan dan bahan bakar. Untuk kondisi muatan ada 3, sebagai berikut.

1. Pemuatan 100% merupakan kondisi kapal membawa muatan penuh
2. Pemuatan 50%, dan kondisi kapal membawa setengah muatan penuh
3. Pemuatan 0%, dan kapal tidak membawa muatan sama sekali.

Untuk kondisi bahan bakar ada 3 sebagai berikut.

1. Kondisi 100%, yaitu saat kapal mulai berangkat.
2. Kondisi 50%, yaitu saat kapal telah melewati setengah pelayaran.
3. Kondisi 10%, yaitu saat kapal sampai di tujuan.

Dari kombinasi kondisi muatan dan bahan bakar yang ada maka ada 8 *loadcase* yang harus dihitung untuk keadaan stabilitasnya. Berikut merupakan *loadcase* yang harus dihitung.

1. Loadcase 1 muatan 100% dan bahan bakar 100%.
2. Loadcase 2 muatan 100% dan bahan bakar 50%.
3. Loadcase 3 muatan 100% dan bahan bakar 10%.
4. Loadcase 4 muatan 0%, dan bahan bakar 100%.
5. Loadcase 5 muatan 0%, dan bahan bakar 50%.
6. Loadcase 6 muatan 0%, dan bahan bakar 10%.
7. Loadcase 7 muatan 50%, dan bahan bakar 100%.
8. Loadcase 8 muatan 50%, dan bahan bakar 10%.
9. Loadcase 9 muatan 0% dan bahan bakar 0%

Tabel IV.16 dan Tabel IV.17 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas kapal

Tabel IV. 16 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Loadcase 1 - 4

Kriteria	Loadcase 1	Loadcase 2	Loadcase 3	Loadcase 4	Kriteria		Status
Area 0 to 30	0.223	0.587	0.592	0.875	0.055	m.r d	<i>Pass</i>
Area 0 to 40	0.425	1.062	1.071	1.562	0.090	m.r d	<i>Pass</i>
Area 30 to 40	0.202	0.475	0.479	0.687	0.030	m.r d	<i>Pass</i>
Max GZ at 30 or greater	1.420	3.677	3.713	5.411	0.200	m	<i>Pass</i>
Angle of maximum GZ	49.100	62.700	62.700	65.500	25.000	deg	<i>Pass</i>
Initial GMt	1.384	4.101	4.135	6.202	0.150	m	<i>Pass</i>

Tabel IV. 17 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Loadcase 5 - 9

Kriteria	Loadcase 5	Loadcase 6	Loadcase 7	Loadcase 8	Loadcase 9	Kriteria		Status
Area 0 to 30	0.882	0.894	0.688	0.745	0.335	0.055	m.r d	<i>Pass</i>
Area 0 to 40	1.573	1.592	1.248	1.180	0.542	0.090	m.r d	<i>Pass</i>
Area 30 to 40	0.691	0.699	0.560	0.435	0.206	0.030	m.r d	<i>Pass</i>
Max GZ at 30 or greater	5.442	5.507	4.385	2.594	1.212	0.200	m	<i>Pass</i>
Angle of maximum GZ	65.500	65.500	62.700	51.800	51.800	25.000	deg	<i>Pass</i>
Initial GMt	6.250	6.340	4.810	5.938	2.458	0.150	m	<i>Pass</i>

IV.12. Penentuan Ukuran Utama Akhir

Setelah melalui pemeriksaan teknis dan pemeriksaan regulasi, ukuran utama awal kapal memenuhi batasan yang ada, sehingga tidak ada perubahan ukuran utama kapal awal.

Ukuran utama kapal yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

$$\text{Lbp} = 92.2 \text{ m}$$

$$\text{B} = 16.5 \text{ m}$$

$$\text{T} = 5.2 \text{ m}$$

$$\text{H} = 9.2 \text{ m}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

DESAIN SMALL – SCALE LNG CARRIER

V.1. Desain *Lines Plan*

Rencana garis atau *Lines Plan* merupakan hal yang pertama dilakukan dalam perancangan desain kapal. *Lines Plan* merupakan gambar proyeksi badan kapal secara melintang, vertikal memanjang, dan horizontal memanjang. Pada Tugas Akhir ini, pembuatan rencana garis dilakukan menggunakan *software Maxsurf Modeller* dan *AutoCAD*. Sebelum melakukan pembuatan desain *Lines Plan* terdapat beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan yaitu bentuk *midship section*, *bulbous bow* dan bentuk *transom*.

V.1.1. Bentuk *Midship Section*

Dalam pembuatan Rencana Garis hal yang pertama dilakukan adalah menentukan bentuk *midship* kapal. Tinjauan yang dilakukan pada penentuan *midship section* adalah penentuan bentuk *midship*, besar jari jari bilga, dan penggunaan *rise of floor*.

1. Bentuk *Midship*

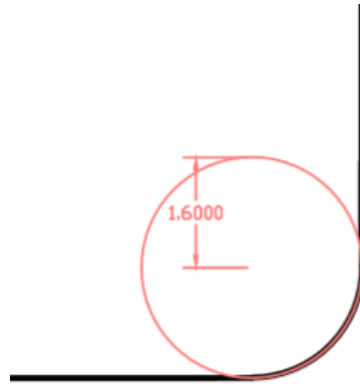
Penentuan bentuk *midship* ditinjau berdasarkan nilai Cm kapal. Nilai Cm *small-scale LNG carrier* ini adalah 0.978. Untuk nilai Cm 0.978 bentuk *midship* U memiliki keunggulan dapat menimbulkan hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan bentuk V. Bentuk *midship small-scale LNG carrier* dapat dilihat pada gambar V.1.



Gambar V. 1 Bentuk *Midship*

2. Besar Jari – jari bilga

Besar jari – jari bilga ditentukan berdasarkan nilai dari C_m kapal (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998). Pada Tugas Akhir ini jari – jari bilga yang digunakan adalah sebesar 1.6 m. Besar jari – jari bilga kapal dapat dilihat pada gambar V.2.



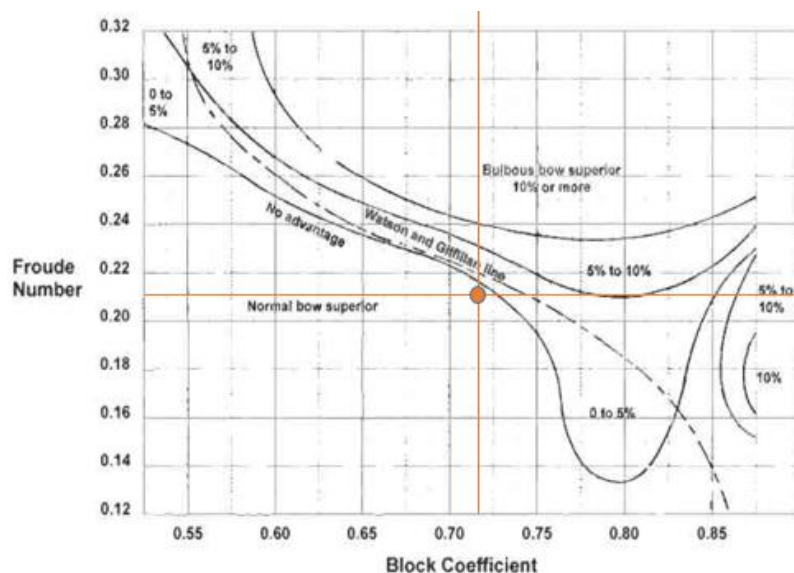
Gambar V. 2 Sketsa Besar Jari - Jari Bilga

3. Tinjauan Penggunaan *Rise of Floor*

Penggunaan *rise of floor* pada kapal bergantung kepada nilai C_m . Untuk nilai C_m lebih dari 0.9 maka *rise of floor* tidak digunakan. Kapal *small-scale LNG carrier* memiliki nilai C_b 0.789 maka *rise of floor* tidak digunakan.

V.1.2. Bentuk *Bulbous Bow*

Bulbous bow merupakan bagian dari kapal yang terdapat pada bagian haluan kapal. Bulbous bow pada kapal berfungsi untuk mengurangi hambatan pada kapal sehingga kapal memerlukan daya propulsi lebih kecil dibandingkan kapal dengan jenis yang sama namun tidak menggunakan *bulbous bow* (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998). Dalam penentuan penggunaan *bulbous bow* pada kapal dapat ditinjau berdasarkan diagram Watson/Gilfillan tentang hubungan *Froude numbers* – Koefisien Blok (Watson D, 1998).

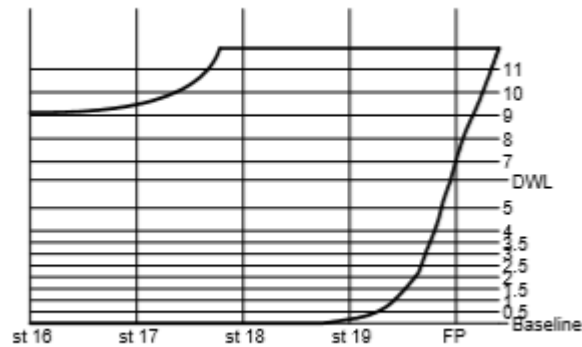


Gambar V. 3 Diagram Watson/Gilfillan

Pada gambar V.1 merupakan gambar diagram Watson/Gilfillan yang menunjukkan hubungan antara nilai F_n dan C_b . Berdasarkan diagram di atas terdapat tiga kategori yang dapat menjadi acuan pemilihan *bulbous bow*. Kategori tersebut adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan *bulbous bow* memberikan keuntungan untuk kapal cepat dengan nilai F_n lebih besar dari 0.26 dan nilai C_b kurang dari 0.625;
2. Penggunaan *bulbous bow* tidak memberikan keuntungan untuk kapal dengan nilai C_b diantara 0.625 hingga 0.725.
3. Penggunaan *bulbous bow* kembali memberikan keuntungan untuk kapal dengan nilai C_b diantara 0.725 dan 0.825.

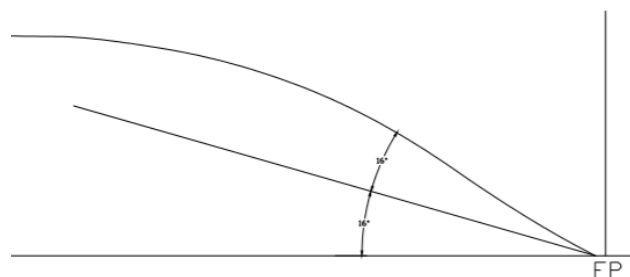
Pada Tugas Akhir ini kapal memiliki nilai C_b 0.719 dan nilai F_n 0.218 sehingga berdasarkan diagram Watson/Gilfillan penggunaan *bulbous bow* tidak memberikan keuntungan untuk kapal. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini tidak menggunakan *bulbous bow* pada desainnya. Bentuk *bow* kapal dapat dilihat pada gambar V.4



Gambar V. 4 Bentuk *Bow*

V.1.3. Penentuan *Angel of Entrance*

Angle of Entrance (AoE) merupakan sudut antara potongan kapal dengan sarat kapal (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998). Nilai dari AoE ditinjau berdasarkan tabel Pophanken_e yang dihitung berdasarkan nilai C_p . *Small – scale LNG carrier* memiliki nilai C_p sebesar 0.728 maka dilakukan interpolasi sehingga didapatkan nilai i_e sebesar 16 derajat. Bentuk AoE kapal dapat dilihat pada gambar V.5.



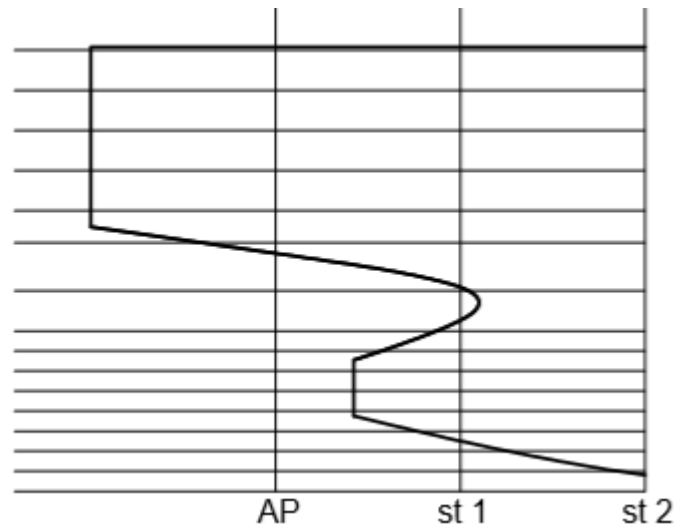
Gambar V. 5 Sketsa AoE Kapal

V.1.4. Bentuk Transom Kapal

Pemilihan bentuk transom kapal dapat mempengaruhi *trim* yang terjadi pada kapal (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998). Untuk pemilihan desain transom dipengaruhi oleh nilai dari F_n kapal dengan ketentuan sebagai berikut.

1. $F_n < 0.3$ Transom berada di atas sarat kapal
2. $F_n \approx 0.3$ Transom berada sedikit di bawah sarat kapal
3. $F_n \approx 0.5$ Transom berada lebih jauh dari sarat kapal dengan nilai $t = 10 - 15\%T$
4. $F_n > 0.5$ Transom berada di bawah sarat kapal dengan nilai $t = 15 - 20\%T$

Berdasarkan nilai F_n yang telah dihitung sebelumnya yaitu bernilai 0.218 maka bentuk transom berada di atas sarat kapal. Bentuk transom kapal dapat dilihat pada gambar V.6

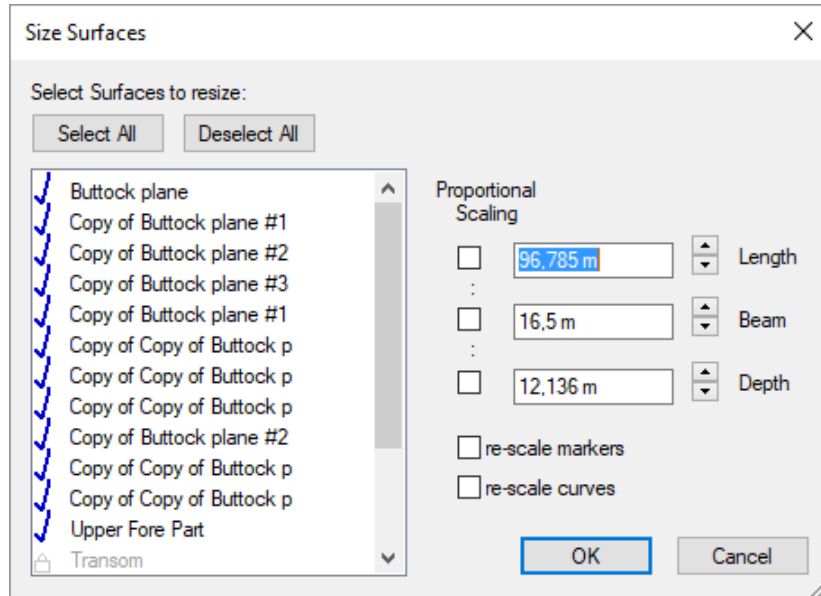


Gambar V. 6 Bentuk Transom Kapal

V.1.5. Pembuatan *Lines Plan*

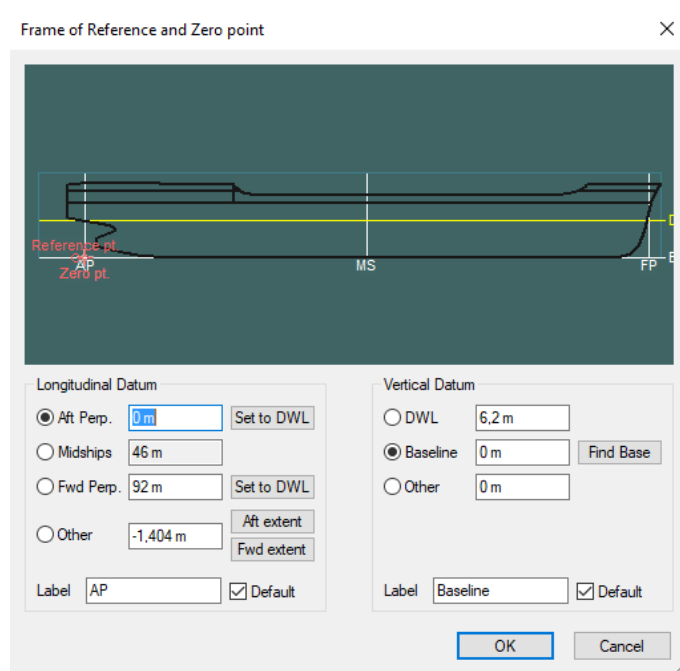
Proses pembuatan *Lines Plan* ini dibantu dengan menggunakan *software Maxsurf*. Untuk awalnya akan digunakan *sample design* yang telah ada, kemudian *sample design* tersebut diatur sedemikian rupa sehingga nilai-nilai yang ada diubah agar dapat mendekati koefisien yang telah dihitung (memiliki ukuran utama, C_b , C_p , LCB, dan displasemen yang sama dengan toleransi tertentu) dan juga memiliki bentuk badan kapal yang *smooth*.

Setelah *sample design* dibuka, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, tinggi kapal. Panjang yang ditentukan adalah Loa agar Lpp kapal dapat diatur sehingga sesuai dengan ukuran utama kapal seperti pada gambar V.7.

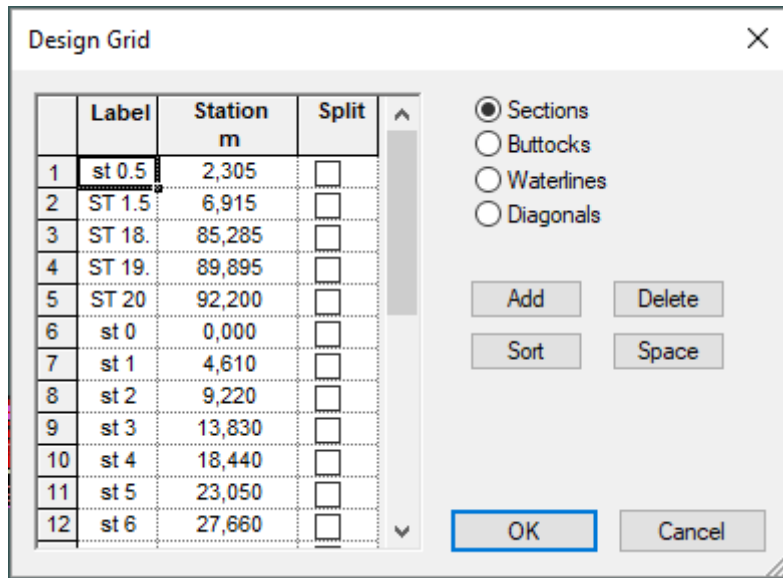


Gambar V. 7 Penentuan Ukuran Surface

Langkah selanjutnya adalah penentuan frame of reference dan zero point. Pada perancangan ini zero point ditentukan pada base line di AP. Selanjutnya zero point tersebut diaplikasikan ke desain. Pada proses ini dilakukan juga penentuan sarat small-scale LNG carrier dan penentuan panjang perpendicular (LPP) seperti gambar V.8.

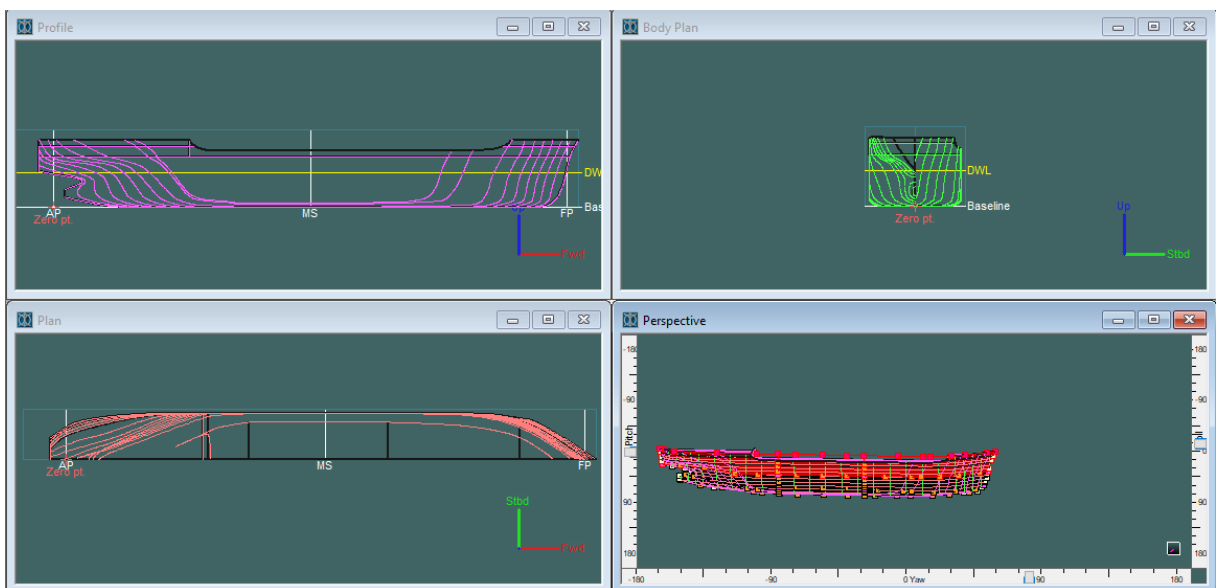


Di dalam *Maxsurf Modeler Advanced* telah disediakan pandangan dari beberapa sudut (tampak depan dan atau tampak belakang, tampak samping, tampak atas dan pandangan perspektif) yang mempermudah desainer untuk memperbaiki atau *editing* model lambung kapal. Desain *body plan*, *sheer plan*, dan *half breadth plan* didapatkan dengan cara mengatur jumlah dan spasi *grid* model seperti gambar V.9. Jumlah *station* yang ditentukan adalah 25 garis dengan jarak 4.61 m, jumlah *buttocks* 8 garis dengan jarak 1 m, dan jumlah *waterlines* 11 garis dengan jarak 1 m.



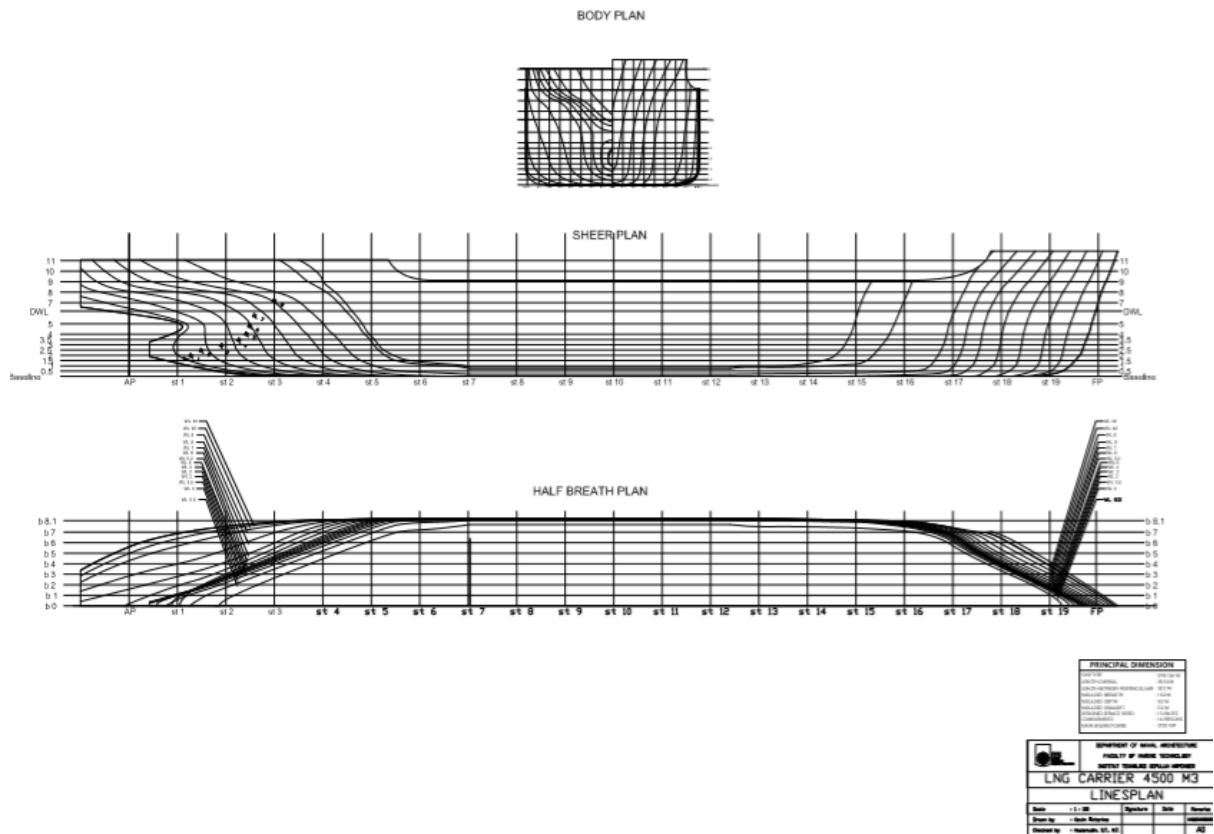
Gambar V. 9 Penentuan *Design Grid*

Setelah dilakukan langkah-langkah di atas, maka didapatkan tampilan *lines plan* pada *Maxsurf Modeler Advanced* seperti gambar V.10



Gambar V. 10 Lines plan pada *Maxsurf Modeler*

Setelah itu, model kapal diekspor kedalam format .dxf 2D untuk dilakukan *finishing* desain *lines plan* pada *software AutoCAD*. Sehingga didapatkan gambar Rencana Garis seperti pada Gambar V.11. Untuk gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran D laporan Tugas Akhir ini.



Gambar V. 11 Linesplan *Small - scale LNG Carrier*

V.2. Desain *General Arrangement*

Gambar Rencana Umum dibuat menggunakan gambar Rencana Garis yang ada, diambil bagian terluar dari Rencana Garis. Dalam proses pembuatan desain Rencana Umum *small-scale LNG carrier*, sepenuhnya menggunakan *software AutoCAD*. Pembuatan Rencana Umum dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap peletakan sekat, *hazardous zone*, ruang akomodasi, dan perlengkapan kapal.

V.2.1. Penentuan Peletakan Sekat

Penentuan sekat pada kapal *small-scale LNG carrier* dibagi menjadi sekat depan kamar mesin, sekat belakang kamar mesin, dan sekat tubrukan. Pada kapal ini tidak terdapat

sekat pada ruang muat karena pada ruang muat menggunakan *independent tank type C* yang merupakan *self-supporting tank*.

1. Sekat Tubrukan

Peletakan sekat tubrukan dilakukan berdasarkan aturan yang ditentukan oleh badan klasifikasi BKI. Sekat tubrukan diletakan pada jarak 7.8 m atau berjarak 13 jarak gading dari FP

2. Sekat Depan Kamar Mesin

Peletakan sekat depan Kamar Mesin diletakan pada jarak 32.20 m dari AP atau sebesar 35 jarak gading

3. Sekat Belakang Kamar Mesin

Peletakan sekat belakang Kamar Mesin diletakan pada jarak 4.20 m dari AP atau sebesar 7 jarak gading.

V.2.2. Ruang Akomodasi

Dalam pembuatan rencana umum kapal, perencanaan dibuat dengan seefisien mungkin dengan memperhatikan kebutuhan ruangan yang diperlukan. Penentuan ukuran ruangan pada pembuatan rencana umum kapal *small-scale LNG carrier* berdasarkan *Maritime Labour Convention* (MLC). Pada perencanaan *small-scale LNG carrier* direncanakan memiliki anak buah kapal dengan jumlah 14 orang dengan rincian sebagai berikut.

1. *Main Deck*

Pada *main deck* terdapat 8 orang yaitu 2 oiler, 1 pump operator, 1 botswain, 2 electrician, dan 2 *deck officer*.

2. *Boat Deck*

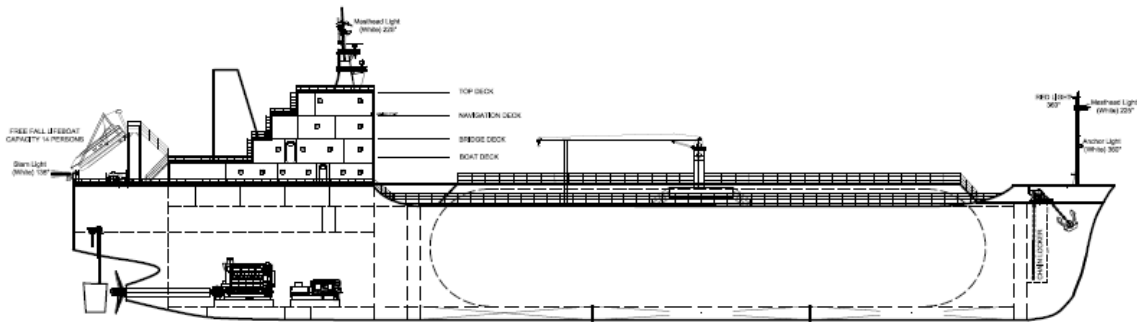
Pada *boat deck* terdapat 6 orang yaitu, 1 *chief officer*, 1 *chief cook*, 2 *quarter master*, 1 *officer*, dan 1 *engineer*.

3. *Bridge Deck*

Pada *bridge deck* terdapat 2 orang yaitu, 1 captain, dan 1 chief engineer.

V.2.3. Profile View

Dalam pembuatan Rencana Umum, salah satu luaran yang dihasilkan adalah proyeksi tampak samping dari ruangan *small-scale LNG carrier* ini. Rincian proyeksi tampak samping *small-scale LNG carrier* dapat dilihat pada gambar V.12.

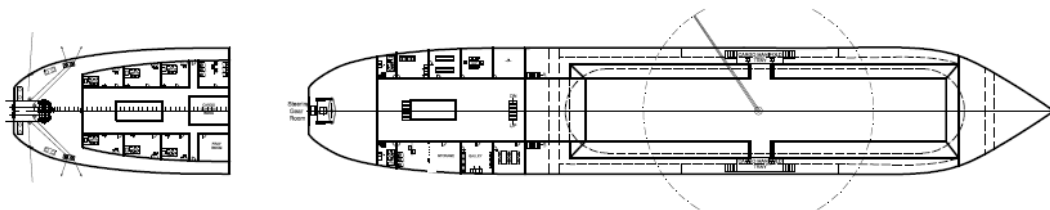


Gambar V. 12 Profile View

Pada gambar V.6 dapat dilihat ruang muat dari *small-scale LNG carrier* menggunakan *independent tank type C* berjumlah 1 dengan panjang 50 meter dan lebar 11 meter.

V.2.4. Geladak Utama

Pada Geladak Utama terdapat gambat geladak utama dan geladak kedua yang digambarkan dengan diproyeksikan tampak atas. Pada gambar V.13 merupakan rencana umum Geladak Utama dan Geladak Kedua *small-scale LNG carrier*.

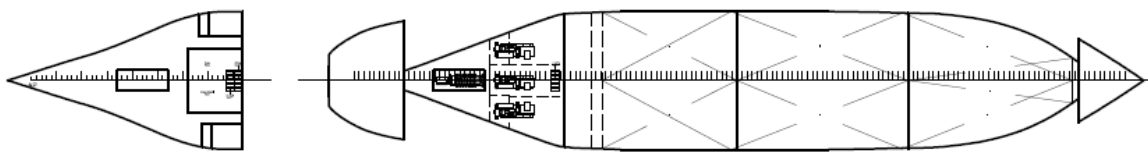


Gambar V. 13 Geladak Utama dan Geladak Kedua

Pada Geladak Utama terdapat kamar untuk 2 *oiler*. Sedangkang untuk geladak kedua terdapat kamar untuk 1 pump operator, 1 *boatswain*, 2 *electrician*, dan 2 *deck officer*.

V.2.5. Double Bottom

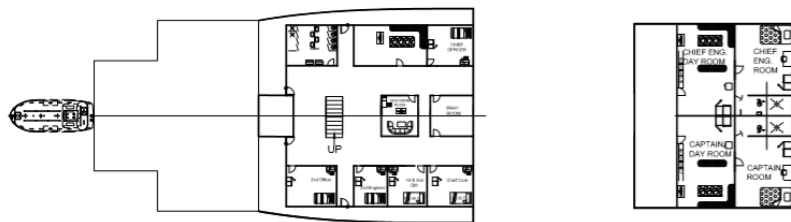
Pada *small-scale* LNG tinggi dari *double bottom* direncanakan setinggi 1.3 m. Dalam Rencana Umum *double bottom* diproyeksikan tampak atas. Pada gambar V.14 merupakan gambar Rencana Umum dari Double Bottom *small-scale* LNG carrier. *Double bottom small-scale* LNG carrier difungsikan sebagai tanki *ballast* berjumlah 6 buah tanki, 3 pada *portside* dan 3 pada *starboard*. Pada bagian belakang terdapat tanki ceruk belakang dan pada bagian depan terdapat tanki ceruk haluan.



Gambar V. 14 Double Bottom

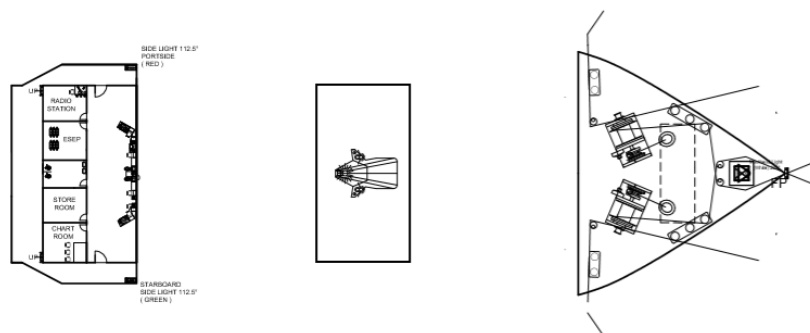
V.2.6. Bangunan Atas (*Superstructure*) dan Rumah Geladak (*Deck House*)

Pada *small-scale* LNG carrier ini terdapat 2 bangunan atas dan 4 rumah geladak pada, diantaranya *poop deck*, *forecastle deck*, *boat deck*, *bridge deck*, *navigation deck*, dan *top deck* seperti pada gambar V.15.



Gambar V. 15 Boat Deck dan Bridge Deck

Gambar V.15. merupakan proyeksi tampak atas dari *boat deck* dan *bridge deck*. Pada *boat deck* terdapat 5 buah kamar untuk kru kapal, ruang solat, ruang beristirahat, dan toilet. Selain itu pada bagian belakang terdapat *freelfall lifeboat* dengan kapasitas 14 orang. Sedangkan pada *bridge deck* terdapat 2 buah kamar dan 2 *dayroom* untuk *captain* dan *chief engineer*. Pada gambar V.16 merupakan proyeksi tampak atas dari *navigation deck*, *top deck*, dan *forecastle deck*.



Gambar V. 16 Wheelhouse, Top Deck, dan Forcastle Deck

V.2.7. Peralatan Kapal

Pada perencanaan Rencana Umum kapal, selain memperhatikan keperluan ruang akomodasi hal lain yang perlu diperhatikan adalah perlengkapan kapal sesuai dengan peraturan statutori yang berlaku. Dalam Tugas Akhir ini perlengkapan kapal yang ditinjau adalah sebagai berikut.

1. Lampu Navigasi

Berdasarkan COLREGS part C, Rules 20-31 kapal yang berlayar harus memiliki lampu navigasi yang dapat berfungsi pada waktu matahari tenggelam hingga matahari terbit dan pada waktu matahari terbit hingga matahari tenggelam jika jarak pandang terbatas. Lampu navigasi yang terdapat pada *small – scale LNG carrier* adalah sebagai berikut.

a. *Musthead lights*

Terdapat 2 buah *musthead lights* yang terletak pada bagian atas *top deck* dan pada *forcastle* kapal. Warna lampu *musthead lights* berwarna putih.

b. *Sidelights*

Terdapat 1 pasang *sidelights* yang terletak pada bagian *port* dan *starboard wheelhouse* kapal. Warna lampu pada bagian *port* adalah merah sedangkan untuk bagian *starboard* adalah hijau.

c. *Stren light*

Terdapat 1 buah *stren light* yang diletakan pada bagian *stren* kapal. Warna lampu dari *stren light* adalah putih.

d. *Towing light*

Terdapat 1 buah *towing light* yang diletakan pada bagian *stren* kapal. Warna lampu dari *towing light* adalah kuning.

e. *Anchor light*

Anchor light dipasang pada bagian depan kapal. Warna lampu adalah putih.

2. Peralatan Keselamatan

Peralatan keselamatan yang ditinjau pada pembuatan Rencana Umum *small – scale LNG carrier* adalah peletakan *free fall lifeboat* untuk proses evakuasi ketika terjadi kecelakaan. *Free fall lifeboat* dilitakan pada bagian belakang *boat deck* dan diatur agar dapat langsung meluncur ke perairan bebas dan tidak terkena badan kapal.

V.2.8. Pemeriksaan *Navigation Bridge Visibility*

Berdasarkan SOLAS Reg. V/22 tentang *Navigation Bridge Visibility* menyebutkan bahwa kapal dengan Length Overall (Loa) 45 meter atau lebih yang dibangun pada atau setelah 1 Juli 1998, pandangan terhadap permukaan laut dari posisi navigasi kapal tidak lebih dari dua kali panjang kapal (Loa), atau 500 m, diambil yang lebih kecil seperti yang disajikan pada Gambar V.17. Tujuan dari Peraturan ini adalah untuk memastikan bahwa kapal dirancang dengan visibilitas yang memadai dari jembatan navigasi. Kapal *small – scale LNG carrier* pada Tugas Akhir ini memiliki Loa sebesar 97.46 m sehingga jarak pandang minimal kapal adalah 194.92 m. Pada gambar XX merupakan pengecekan jarak pandang kapal di mana jarak pandang kapal memenuhi persyaratan 2 kali Loa atau sebesar 194.92 m.



Gambar V. 17 Pengecekan Jarak Pandang *Small - Scale LNG Carrier*

V.3. Desain 3D

Pemodelan 3D dilakukan berdasarkan perencanaan rencana garis dan Rencana Umum. Dalam pembuatan model 3D dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SketchUp. Langkah awal yang dilakukan adalah mengeksport model lambung kapal dalam bentuk 3D dxf. Pada software SketchUp dilakukan finalisasi desain berupa penambahan komponen outfitting kapal dan rendering. Pemodelan 3D Small - Scale LNG Carrier 4242.857 LNG dapat dilihat pada gambar



Gambar V. 19 Tampak Perspektif Depan



Gambar V. 18 Tampak Perspektif Atas



Gambar V. 20 Tampak Perspektif Samping

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGUNAN KAPAL

VI.1. Perhitungan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

Dalam membangun sebuah kapal kebutuhan material menjadi faktor kunci yang harus dipertimbangkan. Kuantitas berat total lambung kapal secara otomatis menentukan besarnya biaya kapal. Selain itu faktor yang mempengaruhi besarnya harga kapal adalah permesinan yang digunakan, perlengkapan dan peralatan. Dalam Tugas Akhir ini biaya pembangunan kapal dibagi menjadi tiga kategori (H. Schneekluth and V. Bertram, 1998) yaitu *material cost*, *labour cost*, dan *overhead cost*.

1. *Material cost*

Material cost merupakan biaya yang diperlukan untuk kebutuhan material yang digunakan dalam membangun kapal. Dalam Tugas Akhir ini *material cost* dibagi menjadi material lambung kapal, material bangunan atas kapal, material konstruksi kapal, dan tanki LNG kapal.

2. *Labour cost*

Labour cost merupakan biaya yang diperlukan untuk pekerjaan pembangunan kapal. Mengutip (Habibie, 2019) dalam Tugas Akhir ini *labour cost* diasumsikan sebesar 20% dari total biaya pembangunan kapal awal.

3. *Overhead cost*

Overhead cost merupakan biaya tambahan yang dihitung berdasarkan nilai inflasi dan pajak yang dikenakan untuk pembangunan kapal. Mengutip (Habibie, 2019) dalam Tugas Akhir ini *Overhead cost* diasumsikan biaya inflasi sebesar 2% dari biaya pembangunan awal dan biaya pajak sebesar 10% dari biaya pembangunan awal.

Berdasarkan kelompok biaya yang sudah ditentukan, maka biaya dihitung sesuai dengan harga material yang ada di pasaran. Berikut pada tabel VI.1 merupakan perhitungan biaya pembangunan kapal *small – scale LNG carrier* 4242.857 LNG.

Tabel VI. 1 Perhitungan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

ESTIMASI BIAYA PEMBANGUNAN KAPAL (Ship Design Efficiency and Economy)				ESTIMASI BIAYA PEMBANGUNAN KAPAL (Ship Design Efficiency and Economy)				
No	Item	Value	Unit	No	Item	Value	Unit	
1	Material Cost			1.3	Konstruksi Lambung			
	Lambung Kapal				1.1	Lambung Kapal		
	<i>Tebal plat lambung = 12 mm ; material baja</i>					Harga	\$ 1,118.00	USD/ton
	Harga	\$ 1,118.00	USD/ton			Berat Tanki	668.4108178	ton
	Berat Lambung	2228.036059	ton			Harga Konstruksi Lambung	\$ 747,283.29	USD/ton
Harga Lambung Kapal	\$ 2,490,944.31	USD	Total Material Cost		\$ 4,344,379.39	USD		
1.2	Geladak Kapal			2	Labour Cost			
	<i>Tebal plat lambung = 8 mm ; material baja</i>			2.1	keuntungan Galangan			
	Harga	\$ 1,118.00	USD/ton		Harga	\$ 868,875.88	USD	
	Berat Geladak Kapal	94.94793	ton		Total Labour Cost		\$ 868,875.88	USD
	Harga Lambung Kapal	\$ 106,151.79			3	Overhead Cost		
1.3	Tanki LNG			3.1	Biaya Inflasi	2%		
					Total	\$ 86,887.59	USD	
	Harga	\$ 1,000,000.00	USD/ton	3.2	Pajak	10%		
	Berat Tanki	1	ton		Total	\$ 434,437.94		
	Harga Lambung Kapal	\$ 1,000,000.00		Total Overhead Cost		\$ 521,325.53	USD	
					Total Biaya Pembangunan	\$ 5,734,580.80	USD	

VI.2. Perbandingan Harga Pembangunan *Small – Scale LNG Carrier*

Setelah estimasi biaya pembangunan dilakukan langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan antara harga *Small – Scale LNG Carrier* desain dengan harga *Small – Scale LNG Carrier* yang terdapat di pasaran. Dalam Tugas Akhir ini *Small – Scale LNG Carrier* yang dijadikan sebagai kapal perbandingan adalah LNG CARRIER 1999 – 4452 DWT. Perbandingan harga kapal disajikan pada tabel VI.2.

Tabel VI. 2 Perhitungan Perbandingan Harga Pembangunan

No	Nama	DWT	Harga (USD)	Harga (IDR)
1	LNG Carrier 4242.857	4242.857	\$ 5,734,580.80	Rp 80,284,131,200.00
2	LNG Carrier 1999	4452	\$ 8,500,000.00	Rp 119,000,000,000.00
Selisih			\$ 2,765,419.20	Rp 38,715,868,800.00
Rasio (%)			33%	33%

Berdasarkan perhitungan pada tabel VI.2 diketahui bahwa biaya pembangunan kapal *small – scale LNG carrier* desain lebih rendah 33% dibanding dengan kapal *small – scale LNG carrier* di pasaran. Dalam perhitungan ini kurs yang digunakan adalah 1 USD = Rp 14.000,00.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan kebutuhan PLTMG “Sorong” 1, 2, dan 3 didapatkan kebutuhan konsumsi LNG sebesar 1,647 m³/day LNG. *Payload* kapal ditentukan dengan perencanaan kapal melakukan 45 kali *round trip* pada setiap PLTMG sehingga didapatkan *payload* sebesar 4242.857 m³ LNG
2. Ukuran utama kapal setelah dilakukan perhitungan teknis adalah sebagai berikut.

Lbp =	92.2 m
B =	16.5 m
T =	5.2 m
H =	9.2 m
3. Kapal Small-Scale LNG Carrier memiliki nilai Cb 0.719, Cm 0.987, Cp 0.728, hambatan total sebesar 124.366 kN, besar MCR 2379.579 HP, dan total berat 5499.997 ton
4. Desain Rencana Garis, Rencana Umum, dan 3D disajikan pada Lampiran
5. Biaya pembangunan kapal adalah 5,734,580.80 USD atau 80,284,131,210.95 Rupiah.

VII.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir ini, terdapat beberapa hal yang disarankan sebagai berikut.

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai aspek konstruksi dan kekuatan *small-scale LNG carrier* ini mengingat pada Tugas Akhir ini masih terdapat perhitungan secara pendekatan.
2. Memperluas tinjauan wilayah sehingga kapal dapat diproyeksikan untuk menjadi moda transportasi gas di wilayah Indonesia Timur.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Antti, A. (2017). *System-Level Value of a Gas Engine Power Plant in Electricity and Reserve Production*.
- Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). (2017). *Rules For the Classification and Construction 2017 Edition*.
- Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. (2003). *Bangunan Dan Stabilitas Kapal Perikanan*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Edward V., L. (Ed.). (1988). *Principles of Naval Architecture*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Habibie, M. S. (2019). *DESAIN SMALL-SCALE LNG CARRIER DENGAN COMBINE CYCLE PROPULSION PLANT (CCPP) UNTUK SUPLAI GAS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MESIN GAS (PLTMG) "FLORES", LABUAN BAJO NUSA TENGGARA TIMUR*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- International Maritime Organization (IMO). (1969). *International Convention on Tonnage Measurement of Ships , 1969*. London: Admiralty and Maritime Law Guide.
- International Maritime Organization (IMO). (1988). *Load Lines, 1966/1988—International Convention on Load Lines, 1966, as Amended by the Protocol of 1988*.
- International Maritime Organization (IMO). (1993). *Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered By IMO Instruments*.
- McGuire, & White. (2000). *Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals*. London: Witherby & Company Limited.
- Parson, M. G. (2001). *Parametric Ship Design*.

PT. PLN. (2015). *Rencana Usaha Penyedia Tenaga Listrik 2015—2024*. Jakarta.

Schneekluth, H., & Bertram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy*. Oxford:
Butterworth-Heinemann.

Sugianto, Y. (2017). *Rangkuman Langkah-Langkah Desain Kapal Menurut Desain Spiral (Intisari
Desain Kapal Tanker Dengan Payload 5000 Ton)*.

Thomas, L. (Ed.). (2003). *Ship Design and Construction* (Vol. 1–2). United States of America:
The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS
LAMPIRAN B PERHITUNGAN EKONOMIS
LAMPIRAN C KATALOG
LAMPIRAN D LINESPLAN
LAMPIRAN E GENERAL ARRANGEMENT
LAMPIRAN F 3D MODEL

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN TEKNIS

- Penentuan Payload
 - Suplai LNG Lapangan Tangguh

No	Kapasitas Produksi			Ket
1	Tangguh Train 1	3.8	mtpa	
2	Tangguh Train 2	3.8	mtpa	
2	Tangguh Train 3	3.8	mtpa	Produksi 2020
Total		11.4	mtpa	

- Perhitungan Kebutuhan LNG per PLTMG

PMLTG SORONG			
Jenis Mesin	Jenbacher Gas Engine J620		
Daya Mesin	3041	kW	
	3.041	MW	
Jumlah Mesin	11	Unit	

- Asumsi
1. Generator bekerja 365 hari
 2. Generator bekerja 24jam/hari

Kebutuhan LNG		
Jenis Mesin	J 620 GS-E01	
Daya Mesin	3041	kW
	3.041	MW
Fuel Consumption	745	Nm3/h
	685.01	MMBTU/d
	32	m3 LNG

Jumlah Mesin	21	
Kebutuhan LNG		
Harian	14385.21	MMBTU/d
	679	m3 LNG
Tahunan	5250601.65	MMBTU
	247669.8892	m3 LNG
Pembulatan	5250602	MMBTU

- Total Kebutuhan Tahunan dan Harian PLTMG “SORONG” 1,2, dan 3

Pembangkit Listrik Sistem Sorong

Pembangkit Listrik	PLTMG Sorong 1		PLTMG Sorong 2		PLTMG Sorong 3	
	Tahun					
2018	30	MW	30	MW		
	11	unit	11	unit		
	7535.11	MMBTU/d	7535.11	MMBTU/d		
	355.43	m3 LNG	355.43	m3 LNG		
2019	20	MW				
	6	unit				
	4110.06	MMBTU/d				
	194	m3 LNG				
2020			20	MW		
			6	unit		
			4110.06	MMBTU/d		
			194	m3 LNG		
2021						
2022						
2023			50	MW		
			17	unit		
			11645.17	MMBTU/d		
			549	`		

Annual Demand			Daily Demand		
PLTMG Sorong 1	4250487.05	MMBTU	PLTMG Sorong 1	11645.17	MMBTU
	200495	m3 LNG		549	m3 LNG
PLTMG Sorong 2	4250487.05	MMBTU	PLTMG Sorong 2	11645.17	MMBTU
	200495	m3 LNG		549	m3 LNG
PLTMG Sorong 3	4250487.05	MMBTU	PLTMG Sorong 3	11645.17	MMBTU
	200495	m3 LNG		549	m3 LNG
Annual Demand			Daily Demand		
PLTMG Sorong 1 + 2	8500974.10	MMBTU	PLTMG Sorong 1 + 2	23290.34	MMBTU
	400989	m3 LNG		1098.60094339623	m3 LNG
PLTMG Sorong 1 + 3	8500974.10	MMBTU	PLTMG Sorong 1 + 3	23290.34	MMBTU
	400989	m3 LNG		1099	m3 LNG
PLTMG Sorong 2 + 3	8500974.10	MMBTU	PLTMG Sorong 2 + 3	23290.34	MMBTU
	400989	m3 LNG		1099	m3 LNG
Annual Demand			Daily Demand		
PLTMG Sorong 1 + 2 + 3	25502922.30	MMBTU	PLTMG Sorong 1 + 2	69871.02	MMBTU
	1202968	m3 LNG		3295.80283018868	m3 LNG

○ Owner Requirement

Owner Requirement		
Jenis Kapal	LNG Carrier	
Payload	4243	m ³ LNG
Jenis Muatan	LNG	
Masa Jenis Muatan	0.47	ton/m ³
Kecepatan Dinas	13	Knot
	24.076	km/h
	6.6872	m/s
Rute pelayaran	Tangguh Gas Field - Sorong	
Radius Pelayaran	371.51	Km
	200.6	mil laut
Lama Pelayaran	0.643	Hari
	15.43076923	Jam
Daerah pelayaran	Nasional	

○ Geosim

Kapal Acuan	faktor K	Ukuran Kapal Geosim
Lo = 103.1 m	0.88464	Lo = 92.2 m
Ho = 11.75 m	0.88464	Ho = 9.2 m
Bo = 18.6 m	0.88464	Bo = 16.5 m
To = 5.6 m	0.88464	To = 5.2 m

$$(L_2/L_1)^3 = W_2/W_1$$

$$L_2/L_1 = (W_2/W_1)^{1/3}$$

$$L_2/L_1 = (4500/6500)^{1/3}$$

$$= 0.88464 = K \quad \begin{matrix} 3360.5 \\ 2326.5 \end{matrix} \quad 0.692308$$

○ Perhitungan Koefisien

Perhitungan Koefisien

Main Dimension

$L_o =$	92.200	m	L_o/B_o	=	5.587879
$H_o =$	9.200	m	B_o/T_o	=	3.173077
$B_o =$	16.500	m	T_o/H_o	=	0.565217
$T_o =$	5.200	m	$V_s =$	13	Knot
$Lwl =$	95.888	m	$V_s =$	6.6872	m/s
$L/16 =$	5.7625		$\rho =$	1.025	ton/m ³
$Fn_o =$	0.2180				

Froude Number

$$Fn_o = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Fn_o = 0.2180$$

$$0,15 \leq Fn \leq 0,3$$

Main Dimensions Ratio			
Perbandingan	Nilai	Batas	Keterangan
$L_o/B_o =$	5.59	$5.1 < L/B < 7.1$	OK
$B_o/T_o =$	3.17	$2.4 < B/T < 3.2$	OK
$L_o/T_o =$	17.73	$10 < L/T < 30$	OK
$L/H =$	10.02	$10 < L/H < 16$	OK
$B/H =$	1.79	$1.65 < B/H < 2.5$	OK

<ul style="list-style-type: none"> Block Coefficient (Schneekluth) : C_B Calculation = $-4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3$ C_B Calculation = 0.7188415 C_B Used = 0.719 0.857%
<ul style="list-style-type: none"> Midship Section Coefficient (Series 60') $0.977 + 0.085(C_B - C_m)$ $C_m = 0.6$ = 0.987 R 1.605797
<ul style="list-style-type: none"> Waterplan Coefficient $C_{wp} = \frac{C_B}{0.471 + 0.551 C_B}$ = 0.829 • tankers, bulk carriers
<ul style="list-style-type: none"> Longitudinal Center of Bouyancy (LCB) (Schneekluth) $LCB = 8.80 - 38.9Fn$ = 0.318 %LWL LCB from midship = 46.405 m LCB from AP LPP/2+(% * Lwl)
<ul style="list-style-type: none"> Prismatic Coefficient $C_p = \frac{C_b}{C_m}$ = 0.728 L_{WL} $L_{WL} = 104\%L_{pp}$ = 95.888 m
<ul style="list-style-type: none"> ∇ (m³) = $L * B * T * C_B$ = 5914.046 m³ 1130.954 Δ (ton) = $L * B * T * C_B * \gamma$ = 6061.897 ton 19%
<ul style="list-style-type: none"> Frame Spacing (f) f = 664.4 mm f = 0.6644 m f taken = 0.6 m

○ Perhitungan hambatan

Perhitungan Hambatan
Holtrop Method

Input Data :		
$L_o =$	92.20 m	$C_b = 0.719$
$H_o =$	9.20 m	$C_m = 0.987$
$B_o =$	16.50 m	$C_{wp} = 0.829$
$T_o =$	5.20 m	$C_p = 0.728$
$F_n =$	0.218	$V_s = 2 \text{ m/s}$

Choice No.	C_{stern}	Used for
1	-25	Pram with Gondola
2	-10	V - Shaped Sections
3	0	Normal Sectional Shape
4	10	U - Shaped Section With Hogner Stern

1. Viscos Resistance Factor	
$L_{wl} =$	95.88 m
$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}}$	$= 0.218$
C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)	
$R_n = \frac{L_{wl} \cdot V_s}{\nu}$	$= 539608547.94$
$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$	$= 0.001655$

$\nu = 1.18831 \cdot 10^{-6}$ Reynould Number

- $1 + k_1$

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,487c \left(\frac{B}{L}\right)^{1,0681} \cdot \left(\frac{T}{L}\right)^{0,4611} \cdot \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0,1216} \cdot \left(\frac{L^3}{\nabla}\right) \cdot 0,3649 (1 - C_p)^{-0,6041}$$

$$= 1.258$$

$$c = 1 + 0.011 C_{stern} \quad C_{stern} = 0, \text{ Form of Afterbody normal}$$

$$= 1$$

$$\frac{L_R}{L} = 1 - C_p + \frac{0.06 C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)}$$

$$= 0.279$$

$$Lw^3 / V = 149.076$$

Resistance of Appendages Factor

- Wetted Surface Area

A_{BT} = cross sectional area of bulb in FP

$$= 10\% \cdot B \cdot T \cdot C_m \quad \text{Tidak menggunakan Bulbous Bow}$$

$$= 0 \quad \text{karena berdasarkan grafik, tidak memberikan keuntungan}$$

$$S = L(2T + B)C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467\frac{B}{T} + 0.3696C_{WP}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$= 2009.128$$

$$S_{Rudder} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \frac{1.75 \cdot L \cdot T}{100}$$

$$= 8.390$$

$$S_{Bilge Keel} = L_{Keel} \cdot H_{Keel} \cdot 4 \quad L_{Keel} = 0.6 \times C_b \times L = 39.76631$$

$$= 55.184 \quad H_{Keel} = 0.18 / (C_b - 0.2) = 0.346927$$

S_{app} = total wetted surface of appendages

$$= S_{Rudder} + S_{Bilge Keel}$$

$$= 63.574$$

S_{tot} = wetted surface of bare hull and appendages

$$= S + S_{app}$$

$$= 2072.702$$

- $1 + k_2$

$$(1+k_2)_{\text{effective}} = \frac{\sum S_i (1+k_2)_i}{\sum S_i}$$

$$= 1.4 \quad \rightarrow \text{rudder of single screw ship}$$

$$(1+k_2) = 1.3 - 1.5 \rightarrow \text{for Bilge Keel}$$

$$= 1.4$$

$$\text{Form Factor} = 1+k_1 + [1+k_2 - (1+k_1)] \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}}$$

$$= 1.262$$

Wave Making Resistance

$$C_1 = \frac{2223105 C_4^{3.7861} \left(\frac{T}{B}\right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}}{1}$$

$$= 3.157 \rightarrow 0.11 \leq B/L \leq 0.25$$

$$C_4 = B/L \quad \quad \quad B/L = 0.172$$

Even Keel $\Rightarrow 172$

$$i_E = \frac{12567 \frac{B}{L} - 16225 C_p^2 + 23432 C_p^3 + 0.155 \left(LCB + \frac{6.8(T_o - T)}{T} \right)^3}{Ta = T}$$

$$= 33.272$$

- m_1

$$m_1 = 0.01404 \frac{L}{T} - 1.7525 \nabla^{\frac{1}{3}} / L - 4.7932 B / L - C_5$$

$$= -2.124$$

$$C_5 = 8.03798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p \quad \rightarrow C_p \leq 0.8$$

$$= 1.227$$

- m_2

$$m_2 = C_6 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad F_n^{-3.29} = 0.00441$$

$$= -0.001 \quad \rightarrow L^3 / \nabla \leq 512 \quad \quad \quad = 0.00118$$

$$C_6 = -1.69385 \quad \quad \quad \frac{L^3}{\nabla} = 96.507$$

- Λ → $L/B \leq 12$
 $\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B$
 $= 0.879$
- C_2 → without bulb
 $C_2 = 1$ $d = -0.9$
- C_3
 $C_3 = 1 - 0.8 A_T / (B.T.C_M)$ $A_T = 0$
 $= 1$ A_T the immersed area of the transom at zero speed
 $V = 0$, Transom is not a wetted area
- R_w/w

$$\frac{R_w}{W} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\{m_1 \cdot F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}}$$
 $= -0.0000212$

Total Resistance

- C_A (Correlation Allowance) → $Tf/Lwl \geq 0.04$
 $C_A = 0.006 (Lwl + 100) - 0.16 - 0.00205$
 $= 0.0005$ $Tf/Lwl = 0.054$
- W (Weight)
 $W = \rho \cdot g \cdot \nabla$
 $= 59467.212 \text{ N}$
- R_{total}

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F (1+k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W$$
 $= 124366.022 \text{ N}$
 $= 124.366 \text{ kN}$
- R_{total}
 $= 124.366 \text{ kN}$

○ Perhitungan daya

Definitions	
η_b	= line bearing efficiency
η_c	= electric transmission/power conversion efficiency
η_g	= reduction gear efficiency
η_{ge}	= en electric generator efficiency
η_h	= hull efficiency = $(1 - t)/(1 - w)$
η_m	= electric motor efficiency
η_o	= propeller open water efficiency
η_p	= propeller behind condition efficiency
η_r	= relative rotative efficiency
η_s	= stern tube bearing efficiency
η_t	= overall transmission efficiency

Effective Horse Power	
EHP	= $RT \times v/1000$
	= 831.660 KW
	<i>(parametric design hal 11-28)</i>

Thrust Horse Power	
THP	= $TVA / 1000$
T	= $RT / (1 - t)$
V_A	= $V (1 - w)$
C_v	= $(1 + k) C_F + C_A$
C_v	= 0.002618103
w	= $0.3 C_b + 10 C_v C_b - 0.1$
	= 0.13447247
t	= 0.1
η_h	= $(1 - t)/(1 - w)$
	= 1.039828276
THP	= 799.806 KW
	<i>(parametric design hal 11-28)</i>
	<i>(parametric design hal 11-28)</i>
	<i>(parametric design hal 11-28)</i>
	<i>(PNA vol 2 hal 162)</i>
	<i>(PNA vol 2 hal 163)</i>
	<i>(PNA vol 2 hal 163)</i>
	<i>(parametric design hal 11-29)</i>

Delivery Horse Power	
DHP	= THP/η_p
η_o	= 0.55
	<i>(parametric design hal 11-30)</i>
	<i>(propeller B-series = 0.5 - 0.6)</i>

η_r	=	0.98		(PNA vol 2 hal 163)
η_p	=	$\eta_o \eta_r$		(parametric design hal 11-28)
η_p	=	0.539		
DHP	=	1483.869	KW	

Shaft Power Horse

SHP	=	$DHP / (\eta_b \eta_s)$		(parametric design hal 11-30)
$\eta_b \eta_s$	=	untuk mesin aft		(parametric design hal 11-30)
	=	0.98		
SHP	=	1514.152	KW	

Brake Power Horse

BHP	=	$SHP / (\eta_T)$		(parametric design hal 11-30)
η_T	=	;low speed diesel		(parametric design hal 11-33)
	=	0.975		
BHP	=	1521.917	KW	

Maximum Continues Rates

MCR	=	BHP +15% Margin		(parametric design hal 11-31)
MCR	=	1750.204886	KW	
	=	2379.579	HP	

Engine Power Requirement

Main Engine Power	=	1750.205	KW	=	2379.579	HP
Generator Power	=	24% Main Engine Power				
	=	420.049	KW	=	571.0989	HP

○ Perhitungan berat permesinan

Propulsion unit			
Engine weight			
$W_{\text{engine}} =$	32.5 ton		catalogue
Gearbox			
$W_{\text{gearbox}} =$	8.5 ton	41	catalogue
Shafting			
$l =$	shaft length		
$l =$	4 m		catalogue
$n =$	propeller speed		
$n =$	145 rpm		catalogue
$M / l =$	$0.081 (P_D/n)^{2/3}$		
$M / l =$	0.381801 ton/m		
$W_{\text{shaft}} =$	$(M / l) \times l$		
$W_{\text{shaft}} =$	1.527203 ton		
Propeller			
Propeller dimensions			
$D =$	0.6T - 0.65T		
$D =$	3.25 m	= 3.65 m	catalogue
$V =$	$0.01 \times D^3$		propeller displacement
$V =$	0.486271 m ³		
$P/D =$	0.5 - 1.4		
$P/D =$	1		
$z =$	4 blade		
$A_E/A_0 =$	0.4		assumption
Propeller weight			
$K =$	$0.18 (A_E/A_0) - (z - 2)/100$		
$K =$	0.052		
$W_{\text{prop}} =$	$D^3 \times K \times V$		
$W_{\text{prop}} =$	0.868025 ton	= 7 ton	catalogue
Propulsion weight			
$W_{\text{tot}} =$	49.5272 ton		
Electical unit			
Generator weight			
$n_{\text{genset}} =$	3		main, break and reserved generator
$W_{\text{tot}} =$	$n \times W_{\text{genset}}$		

$$W_{\text{tot}} = 32.4 \text{ ton}$$

Other weight

$$M = 0.04P_{\text{engine}} - 0.07P_{\text{engine}}$$

$$M = 83.64 \text{ ton}$$

Total weight

$$W_{\text{tot}} = 165.5672 \text{ ton}$$

Center of machinery weight

$$h_{\text{DB}} = B/20$$

$$h_{\text{DB}} = 0.825 \text{ m}$$

$$h_{\text{DB}} = (350 + 45 B)/1000$$

$$h_{\text{DB}} = 1.0925 \text{ m}$$

$$h_{\text{DB}} = 1.0925 \text{ m} - 1.82 \text{ m} \sim h_{\text{DB}} = 1.9 \text{ m}$$

$$D' = H$$

$$D' = 9.20 \text{ m}$$

Vertical

$$VCG_M = h_{\text{DB}} + 0.35 (D' - h_{\text{DB}})$$

$$VCG_M = 4.455 \text{ m}$$

Longitudinal

from AP

$$LCG_M = \text{at near the after end of main engine}$$

$$b = \text{AP to tip of propeller shaft}$$

$$b = 0.35 T$$

$$b = 1.82 \text{ m}$$

$$LCG_M = b + L_{\text{stern tube}} + \text{shaft length at machinery room}$$

$$LCG_M = 5.82 \text{ m}$$

○

○ Perhitungan Berat Kapal

Structure Weight Calculation

No	Ship Type	CSO
1	Bulk carriers	0.07
2	Cargo ship (1 deck)	0.07
3	Cargo ship (2 decks)	0.076
4	Cargo ship (3 decks)	0.082
5	Passenger ship	0.058
6	Product carriers	0.0664
7	Reefers	0.0609
8	Rescue vessel	0.0232
9	Support vessels	0.0974
10	Tanker	0.0752
11	Train ferries	0.65
12	Tugs	0.0892
13	VLCC	0.0645

Input Data :

$L_o =$	92.200	m
$L_{WL} =$	95.888	m
$H_o =$	9.200	m
$B_o =$	16.500	m
$T_o =$	5.200	m
$F_n =$	0.218	
$C_B =$	0.719	
$LCB =$	0.318	L

Volume Superstructure

• Volume Forecastle

Length (L_f) =	7.8%.L
Length (L_f) =	7.1916 m
Length (L_f) =	10.200 m
Length (L_f) taken =	17 frame spacing
Breadth (B_f) =	0.5B
Breadth (B_f) taken =	8.250 m
Height (h_f) =	1.8-2.3 m
Height (h_f) =	1.8 m
Height (h_f) taken =	1.8 m
$V_{\text{Forecastle}} =$	$0,5 \cdot L_f \cdot B_f \cdot h_f$
$V_{\text{Forecastle}} =$	75.735 m ³

- Volume Poop

$$\begin{aligned} \text{Length } (L_p) &= 21.6\%.L \\ \text{Length } (L_p) &= 19.9152 \text{ m} \\ \text{Length } (L_p) &= 20.40 \text{ m} \\ \text{Length } (L_p) \text{ taken} &= 34 \text{ frame spacing} \\ \text{Breadth } (B_p) &= 0.8*B \\ \text{Breadth } (B_p) &= 13.200 \text{ m} && 13.2 \\ \text{Height } (h_p) &= 1.8-2.3 \\ \text{Height } (h_p) \text{ taken} &= 1.8 \text{ m} \\ V_{\text{Poop}} &= 0.5 \cdot L_p \cdot h_p \cdot (B_p + 0.5 \cdot B_p) \\ V_{\text{Poop}} &= 363.528 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Total Volume of Superstructure

$$\begin{aligned} V_A &= V_{\text{Forecastle}} + V_{\text{Poop}} \\ V_A &= 439.263 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume Deckhouse

- Volume Deck B

$$\begin{aligned} \text{Length } (L_{D2}) &= 12\%.L \\ \text{Length } (L_{D2}) &= 11.064 \text{ m} \\ \text{Length } (L_{D2}) &= 12.000 \text{ m} \\ \text{Length } (L_{D2}) \text{ taken} &= 20 \text{ frame spacing} \\ \text{Breadth } (B_{D2}) \text{ taken} &= 11.200 \text{ m} && \text{Gangway} = 1 \text{ m} \\ \text{Height } (h_{D2}) \text{ taken} &= 2.2 \text{ m} && \text{Assumption} \\ \text{Height } (h_{D2}) &= 2.2 \text{ m} \\ V_{\text{DH-layer II}} &= L_{D2} \cdot B_{D2} \cdot h_{D2} \\ V_{\text{DH-layer II}} &= 295.68 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume Deck C

$$\begin{aligned} \text{Length } (L_{D3}) &= 12\%.L \\ \text{Length } (L_{D3}) &= 11.064 \text{ m} \\ \text{Length } (L_{D3}) &= 10.800 \text{ m} \\ \text{Length } (L_{D3}) \text{ taken} &= 18 \text{ frame spacing} \\ \text{Breadth } (B_{D3}) \text{ taken} &= 11.000 \text{ m} && \text{Assumption} \\ \text{Height } (h_{D3}) &= 2.2 \text{ m} && \text{Assumption} \\ \text{Height } (h_{D3}) \text{ taken} &= 2.2 \text{ m} \\ V_{\text{DH-layer III}} &= L_{D3} \cdot B_{D3} \cdot h_{D3} \end{aligned}$$

$$V_{\text{DH-layer III}} = 261.36 \text{ m}^3$$

- Volume Deck D

$$\text{Length } (L_{\text{D4}}) = 10.2\% \cdot L$$

$$\text{Length } (L_{\text{D4}}) = 9.4044 \text{ m}$$

$$\text{Length } (L_{\text{D4}}) = 9.600 \text{ m}$$

$$\text{Length } (L_{\text{D4}}) = 16 \text{ frame spacing} \quad 0.6$$

$$\text{Breadth } (B_{\text{D4}}) \text{ taken} = 10.600 \text{ m} \quad \text{Assumption}$$

$$\text{Height } (h_{\text{D4}}) \text{ taken} = 2.2 \text{ m} \quad \text{Assumption}$$

$$V_{\text{DH-layer IV}} = L_{\text{D4}} \cdot B_{\text{D4}} \cdot h_{\text{D4}}$$

$$V_{\text{DH-layer IV}} = 223.872 \text{ m}^3$$

- Volume wheel house

$$\text{Length } (L_{\text{WH}}) = 7.2\% \cdot L$$

$$\text{Length } (L_{\text{WH}}) = 6.6384 \text{ m}$$

$$\text{Length } (L_{\text{WH}}) = 7.200 \text{ m}$$

$$\text{Length } (L_{\text{WH}}) \text{ taken} = 12 \text{ frame spacing}$$

$$\text{Breadth } (B_{\text{WH}}) \text{ taken} = 8.600 \text{ m} \quad \text{Assumption}$$

$$\text{Height } (h_{\text{WH}}) \text{ taken} = 2.2 \text{ m} \quad \text{Assumption}$$

$$V_{\text{DH-wheel house}} = L_{\text{WH}} \cdot B_{\text{WH}} \cdot h_{\text{WH}}$$

$$V_{\text{DH-wheel house}} = 136.224 \text{ m}^3$$

- Total Volume of Deckhouses

$$V_{\text{DH}} = V_{\text{DH-layer II}} + V_{\text{DH-layer III}} + V_{\text{DH-layer IV}} + V_{\text{DH-wheel house}}$$

$$V_{\text{DH}} = 917.14 \text{ m}^3$$

Structural Weight

- corrected depth due to superstructure and deckhouses volume

$$D_A = H + (V_A + V_{DH}) / (L \cdot B)$$

$$D_A = 10.0916052 \text{ m}$$
- $$C_{SO} = 0.0752 \text{ t/m}^3$$
- $$\Delta_{\text{kapal}} = 6061.89728 \text{ ton}$$
- $$U = \log \left(\frac{\Delta}{100} \right)$$

$$U = 1.783$$
- $$C_S = C_{SO} + 0.06 \cdot e^{-(0.5U + 0.1U^2 \cdot 45)}$$

$$C_S = 0.112$$
- $$\text{Margin} = 3\%$$
- $$W_{ST} = L \cdot B \cdot D_A \cdot C_S$$

$$= 2294.98399 \text{ ton}$$

Weight of superstructures

Weight

The specific volumetric weights are:

For small and medium sized cargo ship	60 - 70	kg/m ³
For large cargo ships, large tanker, etc	80 - 90	kg/m ³
Therefore, for this desain, it is used	70	kg/m ³

- SUPERSTRUCTUR E

- POOP

$$L_{\text{poop}} = 20.400 \text{ m}$$

$$B_{\text{poop}} = 13.200 \text{ m}$$

$$V_{\text{poop}} = 363.528 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{poop}} = 25.447 \text{ ton}$$

- FORECASTL E

$$L_{\text{forecasle}} = 10.200 \text{ m}$$

$$B_{\text{forecasle}} = 8.250 \text{ m}$$

$$V_{\text{forecasle}} = 75.735 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{forecasle}} = 5.3014 \text{ ton}$$

Superstructure Weight

$$W_{SS} = 30.748 \text{ ton}$$

Weight of deckhouses			
<u>Weight</u>			
The specific volumetric weights are:			
For small and medium sized cargo ship	60 - 70	kg/m ³	
For large cargo ships, large tanker, etc	80 - 90	kg/m ³	
Therefore, for this desain, it is used	70	kg/m ³	
• DECKHOUSE			
Layer II		Layer III	
L _{DH II} =	12.000 m	L _{DH III} =	10.800 m
B _{DH II} =	11.200 m	B _{DH III} =	11.000 m
V _{DH II} =	295.680 m ²	V _{DH III} =	261.360 m ²
W _{DH II} =	20.698 ton	W _{DH III} =	18.295 ton
Layer IV		Wheel House	
L _{DH IV} =	9.600 m	L _{WH} =	6.638 m
B _{DH IV} =	10.600 m	B _{WH} =	8.600 m
V _{DH IV} =	223.87 m ²	V _{WH} =	136.224 m ²
W _{DH IV} =	15.671 ton	W _{WH} =	9.536 ton
<u>Deckhouse Weight</u>			
-	W _{DH} =	64.200 ton	

Weight of basic hull	
W _{hull} =	W _{ST} - W _{fc} - W _{poop} - W _{dh}
W _{hull} =	2200.036 ton

Center of superstructure structural weight	
Forecastle	
Vertical	
VCG _{fc} =	H + 0.5 h _{fc}
VCG _{fc} =	10.1 m
Longitudinal	
from AP	
LCG _{fc} =	L _{PP} - 2/3 l _{fc}

$$LCG_{fc} = 85.4 \text{ m}$$

Poop

Vertical

$$VCG_{poop} = H + 0.5 h_{poop}$$

$$VCG_{poop} = 10.100 \text{ m}$$

Longitudi

nal

from AP

$$LCG_{poop} = 0.5 l_{poop}$$

$$LCG_{poop} = 10.2 \text{ m}$$

Center of deckhouse structural weight

Layer II

Vertical

$$VCG_{dh1} = H + h_{poop} + 0.5 h_{dh1}$$

$$VCG_{dh1} = 12.100 \text{ m}$$

Longitudi

nal

from AP

$$LCG_{dh1} = (l_{poop} - l_{dh1}) + 0.5 l_{dh1}$$

$$LCG_{dh1} = 14.400 \text{ m}$$

Layer III

Vertical

$$VCG_{dh2} = H + h_{poop} + h_{dh1} + 0.5 h_{dh2}$$

$$VCG_{dh2} = 14.300 \text{ m}$$

Longitudi

nal

from AP

$$LCG_{dh2} = (l_{poop} - l_{dh2}) + 0.5 l_{dh2}$$

$$LCG_{dh2} = 15 \text{ m}$$

Layer IV

Vertical

$$VCG_{dh3} = H + h_{poop} + h_{dh1} + h_{dh2} + 0.5 h_{dh3}$$

$$VCG_{dh3} = 16.500 \text{ m}$$

Longitudi

nal

from AP

$$LCG_{dh3} = (l_{poop} - l_{dh3}) + 0.5 l_{dh3}$$

$$LCG_{dh3} = 15.6 \text{ m}$$

Wheelho

use

Vertical

$$VCG_{wh} = H + h_{poop} + h_{dh1} + h_{dh2} + h_{dh3} + 0.5 h_{wh}$$

$$VCG_{wh} = 18.700 \text{ m}$$

Longitudi
nal

from AP

$$LCG_{wh} = (I_{poop} - I_{wh}) + 0.5 I_{wh}$$

$$LCG_{wh} = 16.8 \text{ m}$$

Deckhous
es

Vertical

$$VCG_{dh} = \frac{(VCG_{dh1} \times W_{dh1} + VCG_{dh2} \times W_{dh2} + VCG_{dh3} \times W_{dh3} + VCG_{wh} \times W_{wh})}{W_{dh}}$$

$$VCG_{dh} = 14.781 \text{ m}$$

Longitudi
nal

from AP

$$LCG_{dh} = \frac{(LCG_{dh1} \times W_{dh1} + LCG_{dh2} \times W_{dh2} + LCG_{dh3} \times W_{dh3} + LCG_{wh} \times W_{wh})}{W_{dh}}$$

$$LCG_{dh} = 15.220 \text{ m}$$

Center of basic hull structural weight

Vertical

$$VCG_{hull} = 0.01D [46.6 + 0.135(0.81 - C_B) (L/D)^2] + 0.008D (L/B - 6.5)$$

$$L_{PP} < 120 \text{ m}$$

$$VCG_{hull} = \frac{4.33377}{95} \text{ m}$$

$$L = L_{PP} \quad D = H$$

Longitudi
nal

Accept
ed

$$\%LCG_{hull} = -0.15 + LCB$$

$$\%LCG_{hull} = 0.168\% \quad \% L_{WL}$$

from midship

$$LCG_{hullM} = \frac{0.16148}{49} \text{ m}$$

from AP

$$LCG_{hull} = 0.5 L_{PP} + LCG_{hullM}$$

$$LCG_{hull} = \frac{46.2614}{85} \text{ m}$$

Center of ship structural weight	
Vertical	
	$VCG_S = (VCG_{hull} \times W_{hull} + VCG_{fc} \times W_{fc} + VCG_{poop} \times W_{poop} + VCG_{dh} \times W_{dh}) / W_{ST}$
	$VCG_S = 4.7032929 \text{ m}$
Longitudinal from AP	
	$LCG_S = (LCG_{hull} \times W_{hull} + LCG_{fc} \times W_{fc} + LCG_{poop} \times W_{poop} + LCG_{dh} \times W_{dh}) / W_{ST}$
	$LCG_S = 45.083704 \text{ m}$

○ Perhitungan berat peralatan

Equipment and Outfitting Calculation [Referensi : Ship Design Efficiency and Economy , 1998]			
Input Data :			
	L =	92.2000	m
	B =	16.5000	m
	D =	9.2000	m
<u>Group I (Hatch Covers)</u>			
	$W_i/L =$	$0.0533 (d)^{1.53}$	ton/m
	$W_i/L =$	1.3832	ton/m
	$W_i =$	0.0000	ton
<u>Group II (Loading Equipment)</u>			
	n =	1	unit
	$r_{max} =$	5	m
	$W_{crane} =$	20.0000	ton/unit
-	$W_{Group II} =$	20.0000	ton
<u>Group III (Accommodation)</u>			
The specific unit area weights are:			
	For small and medium sized cargo ship	160 - 170	kg/m ²
	For large cargo ships, large tanker, etc	180 - 200	kg/m ²
	Therefore, for this design, it is used	200	kg/m ²
	• SUPERSTRUCTURE		
	• POOP		
	$L_{poop} =$	20.400	m
	$B_{poop} =$	13.200	m
	$A_{poop} =$	269.280	m ²
	$W_{poop} =$	53.856	ton
	• FORECASTLE		
	$L_{forecastle} =$	10.2	m
	$B_{forecastle} =$	8.25	m
	$A_{forecastle} =$	84.15	m ²
	$W_{forecastle} =$	16.830	ton

• DECKHOUSE

Layer II

$$\begin{aligned} L_{DH II} &= 12.000 \text{ m} \\ B_{DH II} &= 11.200 \text{ m} \\ A_{DH II} &= 134.400 \text{ m}^2 \\ \\ W_{DH II} &= 26.880 \text{ ton} \end{aligned}$$

Layer III

$$\begin{aligned} L_{DH III} &= 10.800 \text{ m} \\ B_{DH III} &= 11.000 \text{ m} \\ A_{DH III} &= 118.800 \text{ m}^2 \\ \\ W_{DH III} &= 23.760 \text{ ton} \end{aligned}$$

Layer IV

$$\begin{aligned} L_{DH IV} &= 9.600 \text{ m} \\ B_{DH IV} &= 10.600 \text{ m} \\ A_{DH IV} &= 101.76 \text{ m}^2 \\ \\ W_{DH IV} &= 20.352 \text{ ton} \end{aligned}$$

Wheel House

$$\begin{aligned} L_{WH} &= 6.638 \text{ m} \\ B_{WH} &= 8.600 \text{ m} \\ A_{WH} &= 57.090 \text{ m}^2 \\ \\ W_{WH} &= 11.418 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$W_{\text{Group III}} = 153.096 \text{ ton}$$

Group IV (Miscellaneous)

$$\begin{aligned} C &= (0.18 \text{ ton} / \text{m}^2 < C < 0.26 \text{ ton} / \text{m}^2 \\ &= 0.26 \text{ [ton/m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{Group IV}} &= (L*B*D)^{2/3} * C \\ &= 150.999 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Equipment and Outfitting Total Weight} \\ &= 324.095 \text{ ton} \end{aligned}$$

Outfit Weight Center Estimation

$$\begin{aligned} D_A &= 10.092 \\ K_{G_{E\&O}} &= 1.01-1.05 D_A & K_G &= VCG \\ V_{CG_{E\&O}} &= 10.596 \text{ m} \end{aligned}$$

1. LCG_1 (25% $W_{E\&O}$ at LCG_M)

$$\begin{aligned} 25\% W_{E\&O} &= 81.024 \\ L_{stern} &= 0.35T + L_{stern\ tube} \\ LCG_M \text{ from AP} &= 5.820 \text{ m} \end{aligned}$$

2. LCG_2 (37,5% $W_{E\&O}$ at LCG_{DH})

$$\begin{aligned} 37.5\% W_{E\&O} &= 121.5358 \\ LCG_{dh} \text{ from AP} &= 15.22038 \text{ m} \end{aligned}$$

3. LCG_3 (37,5% $W_{E\&O}$ at midship)

$$\begin{aligned} 37.5\% W_{E\&O} &= 121.5358 \\ L_{midship} &= 46.1 \text{ m} \end{aligned}$$

$LCG_{E\&O}$ (LCG from AP)

$$LCG_{E\&O} = 24.45 \text{ m}$$

- Perhitungan berat *consumables*

Ship Consumables and Crew Weight Calculation

Ship dimensions

L _{PP} =	92.20 m
L _{WL} =	95.89 m
B =	16.50 m
H =	9.20 m
T =	5.20 m
V _S =	13.00 knot
V _S =	6.69 m/s

Ship personnel

n = 1 person

Voyage data	
Voyage radius =	200.6 nm
Voyage radius =	371511.20 m
Voyage time =	30.88 hour
Voyage time =	2 day

Engine Fuel oil	
Weight	
W _{FO} = (SFR x MCR) x (range/speed) x margin	SFR = SFOC
W _{FO} = 11711113.91 gram	
margin = 10%	
W _{FO} = 12882225.30 gram	
W _{FO} = 12.88 ton	
Volume	
ρ _{FO} = 991 kg/m ³	
ρ _{FO} = 0.991 ton/m ³	
V _{FO} = 13.00 m ³	3.605442867

Generator Fuel oil	
Weight	

t				
$W_{FO} =$	$(SFR \times MCR) \times (range/speed) \times margin$			SFR = SFOC
$W_{FO} =$	13444447.66	gram		
margin				
=	5%			
$W_{FO} =$	14116670.04	gram		
$W_{FO} =$	14.12	ton		
Volum				
e				
$\rho_{FO} =$	991	kg/m ³		
$\rho_{FO} =$	0.991	ton/m ³		
$V_{FO} =$	14.24	m ³	3.774238189	

Engine Lubricating oil				
Weigh				
t				
$W_{LO} =$	$(SFR \times MCR) \times (range/speed) \times 50$			SFR = SLOC
$W_{LO} =$	787037.23	gram		
$W_{LO} =$	0.79	ton	~	$W_{LO} = 20$ ton medium speed
Volum				
e				
$\rho_{FO} =$	900	kg/m ³		
$\rho_{FO} =$	0.9	ton/m ³		
$V_{LO} =$	22.22	m ³	4.71	

Generators Lubricating oil				
Weigh				
t				
$W_{LO} =$	$(SFR \times MCR) \times (range/speed) \times 50$			SFR = SLOC
$W_{LO} =$	611111.26	gram		
$W_{LO} =$	0.61	ton	~	$W_{LO} = 20$ ton medium speed
Volum				
e				
$\rho_{FO} =$	900	kg/m ³		
$\rho_{FO} =$	0.9	ton/m ³		
$V_{LO} =$	22.22	m ³	4.714045208	

Fresh water			
Weight			
$W_{FW} =$	0.17	ton/(person x day)	
$W_{FW} =$	4.76	ton	
Volume			
$\rho_{FW} =$	1000	kg/m ³	
$\rho_{FW} =$	1	ton/m ³	
$V_{FW} =$	4.76	m ³	2.181742423

Crew and effects weight	
$W_{C\&E} =$	0.17 ton/person
$W_{C\&E} =$	2.38 ton

Provisions and stores weight	
$W_{PR} =$	0.01 ton/(person x day)
$W_{PR} =$	0.28 ton

Total weight	
$W_{tot} =$	74.42 ton

Engine and Generators Center of fuel oil weight			
Tank location			
At Machinery room			
Tank dimensions			
$H_{FOT} =$	Height of Tween deck		
$H_{FOT} =$	2.50	m	
$B_{FOT} =$	Assumption		
$B_{FOT} =$	3.00	m	
$L_{FOT} =$	$V_{FO} / (H_{FOT} \times B_{FOT})$		
$L_{FOT} =$	3.6	m	
		Passageway =	1 m
		frame spacing =	0.6 m
		=	
		=	3.6 m ~ 6
Vertical			
$VCG_{FOT} =$	$T + 0.5 H_{FOT}$		
$VCG_{FOT} =$	6.45	m	
Longitudinal			

from
AP

$$L_{st} = 4.20 \text{ m}$$
$$LCG_{FOT} = L_{st} + 0.5 L_{FOT}$$
$$LCG_{FOT} = 6 \text{ m}$$

Engine and Generators Center of lubricating oil weight

Tank location

At Machinery room

Tank dimensions

$H_{LOT} =$ Assumption

$$H_{LOT} = 1.30 \text{ m}$$

$B_{LOT} =$ Assumption

$$B_{LOT} = 6.00 \text{ m}$$

$$L_{LOT} = V_{LO} / (H_{LOT} \times B_{LOT})$$

$$L_{LOT} = 5.698005698 \text{ m}$$

Passageway = 1 m

frame spacing = 0.6 m

=

= 6 m ~

10

Vertica

l

$$VCG_{LOT} = 0.5 H_{LOT}$$

$$VCG_{LOT} = 0.65 \text{ m}$$

Longitudinal

from

AP

$$LCG_{LOT} = L_{st} + L_{FOT} + 0.5 L_{LOT}$$

$$LCG_{LOT} = 10.8 \text{ m}$$

Center of fresh water weight

Tank location

above draught below the main deck in the back of AP Bulkhead

Tank dimensions

$H_{FWT} =$ Height of Tween deck

$$H_{FWT} = 2.50 \text{ m}$$

$B_{FWT} =$ Assumption

$$B_{FWT} = 3 \text{ m}$$

$$L_{FWT} = V_{FW} / (H_{FWT} \times B_{FWT})$$

$$L_{FWT} = 0.634666667 \text{ m}$$

frame spacing = 0.6 m

=

= 1.2 m ~

2

Vertica

I

$$VCG_{FWT} = T + 0.5 H_{FWT}$$

$$VCG_{FWT} = 6.45 \text{ m}$$

Longitudinal

from

AP

$$LCG_{FWT} = L_{st} - 0.5 L_{FWT}$$

$$LCG_{FWT} = 20.4 \text{ m}$$

Center of crew and effects weight

Room Layer	VCG	LCG [AP]	Total Person	W _{C&E} (ton)
Poop deck	10.1	10.2	8	1.36
Layer II	12.100	14.400	6	1.02
Layer III	14.300	14.3	5	0.85
Layer IV	16.500	15.6	3	0.51

Vertica

I

$$VCG_{C\&E} = (VCG_{dh1} \times W_{dh1} + VCG_{dh2} \times W_{dh2} + VCG_{dh3} \times W_{dh3} + VCG_{wh} \times W_{wh}) / (W_{dh1} + W_{dh2} + W_{dh3} + W_{wh})$$

$$VCG_{C\&E} = 12.47272727 \text{ m}$$

Longitudinal

from

AP

$$LCG_{C\&E} = (LCG_{dh1} \times W_{dh1} + LCG_{dh2} \times W_{dh2} + LCG_{dh3} \times W_{dh3} + LCG_{wh} \times W_{wh}) / (W_{dh1} + W_{dh2} + W_{dh3} + W_{wh})$$

$$LCG_{C\&E} = 13.01363636 \text{ m}$$

Center of provisions and stores weight

$$l_{poop} = 20.4 \text{ m}$$

$$h_{poop} = 1.8 \text{ m}$$

$$l_{dh1} = 15\% \times LPP \text{ m}$$

Vertica

I

$$VCG_{PR} = H + 0.5 h_{poop}$$

$$VCG_{PR} = 10.1 \text{ m}$$

Longitudinal

from

AP

$$LCG_{PR} = (l_{poop} - l_{dh1}) + 0.5 l_{dh1}$$

$$LCG_{PR} = 14.4 \text{ m}$$

Center of consumables and crew weight

Vertica

l

$$VCG_{C\&C} = \frac{(VCG_{FOT} \times W_{FO} + VCG_{LOT} \times W_{LO} + VCG_{FWT} \times W_{FW} + VCG_{C\&E} \times W_{C\&E} + VCG_{PR} \times W_{PR})}{W_{tot}}$$

$$VCG_{C\&C} = 1.972845977 \text{ m}$$

Longitudinal

from

AP

$$LCG_{C\&C} = \frac{(LCG_{FOT} \times W_{FO} + LCG_{LOT} \times W_{LO} + LCG_{FWT} \times W_{FW} + LCG_{C\&E} \times W_{C\&E} + LCG_{PR} \times W_{PR})}{W_{tot}}$$

$$LCG_{C\&C} = 2.928044113 \text{ m}$$

o Desain ruang muat

Ship Hold Capacity Calculation

Ship dimensions	
$L_{PP} =$	92.20 m
$L_{WL} =$	95.89 m
$B =$	16.50 m
$H =$	9.20 m
$T =$	5.20 m
$V_S =$	13.00 knot
$V_S =$	6.69 m/s

Ship coefficients	
$C_B =$	0.718842
$C_M =$	0.987102
$C_P =$	0.728235
$C_{WP} =$	0.829036

Main engine specifications	
Engine type =	MAN 7L27/38
MCR =	2040 kW
MCR =	2736 HP
Speed =	800 rpm
Cyl. number =	7
Bore =	270 mm
Stroke =	380 mm
Specific Fuel Oil Consumption	
SFOC =	186 g/kWh
Specific Lube Oil Consumption	
SLOC =	0.5 g/kWh
Dimensi	
Length =	5515 mm
Width =	2035 mm
Height =	3687 mm

Dry mass	=	32.5	ton
----------	---	------	-----

Moulded volume below the upper deck and between perpendicular

Camber calculation

$$C = 1/50 B$$

$$C = 0.33 \text{ m}$$

Mean camber

$$C_m = 2/3 C$$

$$C_m = 0.22 \text{ m}$$

Sheer calculation

$$S_a = 25 \times (L_{pp}/3 + 10) \times 10^{-3}$$

$$S_a = 0 \text{ m}$$

$$S_f = 50 \times (L_{pp}/3 + 10) \times 10^{-3}$$

$$S_f = 0 \text{ m}$$

**Mean
sheer**

$$S_m = (1/6) (S_f + S_a)$$

$$S_m = 0 \text{ m}$$

Capacity depth

$$D_c = D + C_m + S_m$$

$$D_c = 9.42 \text{ m} \quad D = H$$

Block coefficient at moulded depth

$$C_B' = \frac{C_B + (1 - C_B) \times [(0.8 D - T) / 3T]}{3T}$$

$$C_B' = 0.757771$$

Moulded volume

$$V_h = C_B' \times L_{pp} \times B \times D_c$$

$$V_h = 10859.35 \text{ m}^3$$

Volume of Hatch Coaming

$$\text{Length} = \frac{62\% \times ((L_{pp} - (L_{MR} + L_{st} + L_{bow})))}{nCH}$$

$$\text{Length} = \frac{13.102}{67} \text{ m}$$

$$\text{Length taken} = 16.4 \text{ m}$$

$$\text{Height} = 0.8 \text{ to } 1.3 \text{ m}$$

$$\text{Height} = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Width} = 0.4B + 1.6$$

$$\text{Width} = 8.2 \text{ m}$$

Width Taken = 8.7 m

Deduction = 2.00%

Cargo Hold = 3 Cargo

$$V_{HC} = \frac{l * b * h * nCG}{n}$$

$$V_{HC} = \frac{r^2 * b * (1 - b/B)}{n}$$

Hatch Radius $r_{min} = 0,1 \text{ m}$

$$n = \frac{..}{200}$$

$n_{min} = 0,1$

$n_{max} = 0,25$

$.. =$ length of hatchway in [m]

$b =$ breadth in [m], of hatchway or total breadth of hatchways in case of more than one hatchway. b/B need not be taken smaller than 0,4.

n calculation = 0.082

$n =$

n taken = 0.1

$r = \frac{0.4112}{73} \text{ m}$

r taken = 0.5 m

Volume of machinery room

$L_{MR} =$ depend on cargo, length of machine and all other components

$L_{MR} = 16.582 \text{ m} \sim 27.63 \text{ frame spacing} \sim 667 \text{ frame spacing}$

$L_{MR} = 16.8 \text{ m} \sim 28 \text{ Passageway} = 2 \text{ m}$

$B_{MR}' = 0.5 B \sim \text{Gearbox} = 2.2 \text{ m}$

$B_{MR}' = 8.25 \text{ m} \sim \text{Shaft at MR} = 2 \text{ m}$

$$V_{MR} = 0.5 \times L_{MR} \times (B + B_{MR}') \times H$$

$V_{MR} = 1912.68 \text{ m}^3$

Volume of stern

$L_{st} = 0.35T + L_{stertube}$

$L_{st} = 3.82 \text{ m} \sim 7 \text{ frame spacing} \sim \text{frame spacing} = 0.6 \text{ m}$

$L_{st} = 4.20 \text{ m}$	$=$	Sterntube	2 m
$B_{st} = 0.5 B$		Shaft =	
$B_{st} = 8.25 \text{ m}$		$b =$	$\frac{0.3}{5T}$
$V_{st} = 0.5 \times L_{st} \times B_{st} \times (H + S_a)$			
$V_{st} = 159.39 \text{ m}^3$			

Volume of bow			
Collision bulkhead length			
$L_C = L_{pp}$			
$L_C = 92.20 \text{ m}$			
minimu			
m			
$0.05 L_C = 4.61 \text{ m}$			
or			
10 m			
$L_{min} =$ whichever is less			
$L_{min} = 4.61 \text{ m}$			
maximu			
m			
$0.08 L_C = 7.376 \text{ m}$			
$0.05 L_C +$			
$\frac{3}{3} = 7.61 \text{ m}$			
$L_{max} =$ whichever is greater			
$L_{max} = 7.61 \text{ m}$	$\frac{12.68333}{333}$		
Bow dimension			
$L_{bow} = 7.61$	\sim	13 x frame spacing	frame spacing = 0.6 m
$L_{bow} = 7.8 \text{ m}$			
$B_{bow} = B$			
$B_{bow} = 16.50 \text{ m}$			
$V_{bow} = \frac{1}{3} \times 0.5 \times L_{bow} \times B_{bow} \times (H + S_f)$			
$V_{bow} = 197.34 \text{ m}^3$			

Volume of double bottom

$$L_{DB} = L_{PP} - L_{MR} - L_{st} - L_{bow}$$

$$L_{DB} = 63.40 \text{ m} \quad 21.13$$

$$B_{DB} = B \quad |$$

$$B_{DB} = 16.50 \text{ m}$$

$$h_{DB} = 1.300 \text{ m} \quad 1,2/1,3$$

$$V_{DB} = L_{DB} \times B_{DB} \times h_{DB}$$

$$V_{DB} = 1359.93 \text{ m}^3$$

Volume of side tank

Watertight Bulkhead

$$n = 4$$

$$L_{BH} = 21.13333 \text{ m}$$

Side Tank

$$2 \cdot B_{sidetank} = 2.6 \text{ m} \quad \text{Assumption}$$

$$H_{sidetank} = H - h_{DB}$$

$$H_{sidetank} = 7.90 \text{ m}$$

$$L_{sidetank} = L_{DB}$$

$$L_{sidetank} = 63.4 \text{ m}$$

Volume of side tank

$$V_{sidetank} = 1285.439 \text{ m}^3$$

Total cargo capacity required

$$V_m = V_{sidetank} + V_{MR} + V_{st} + V_{bow} + V_{DB} + V_{TH} + V_{HC}$$

$$V_m = 6018.791 \text{ m}^3$$

Deduction for structure

$$S = 6 \%$$

$$S = 0.06$$

$$V_r = (V_h + V_u - V_m) (1 - S) \quad V_u = 0 \text{ m}^3$$

$$V_r = 4550.126 \text{ m}^3$$

Center of payload in cargo hold

Vertical

$$VCG_{payl} = h_{DB} + 0.5 (H - h_{DB})$$

$$VCG_{payl} = 5.25 \text{ m}$$

Longitudinal

from AP

$$LCG_{\text{payl}} = L_{\text{st}} + L_{\text{MR}} + 0.5 (L_{\text{PP}} - (L_{\text{st}} + L_{\text{MR}} + L_{\text{bow}}))$$

$$LCG_{\text{payl}} = 52.7 \text{ m}$$

○ Total berat kapal

Total Weight and Total Centers Estimation

Light Weight Tonnes (LWT)

• Steel Weight

$$W_{\text{ST}} = 2294.984 \text{ ton}$$

$$VCG = 4.703 \text{ m}$$

$$LCG \text{ from AP} = 45.084 \text{ m}$$

• Equipment & Outfitting Weight

$$W_{\text{E\&O}} = 822.035 \text{ ton}$$

$$VCG_{\text{E\&O}} = 10.596 \text{ m}$$

$$LCG \text{ from AP} = 24.450 \text{ m}$$

• Machinery Weight

$$W_{\text{M}} = 165.567 \text{ ton}$$

$$VCG = 4.455 \text{ m}$$

$$LCG \text{ from AP} = 5.820 \text{ m}$$

$$LWT \text{ total} = 3282.587 \text{ ton}$$

Dead Weight Tonnes (DWT)

• Consumable Weight

$$W_{\text{consum}} = 74.419 \text{ ton}$$

$$VCG = 1.973 \text{ m}$$

$$LCG \text{ from AP} = 2.928 \text{ m}$$

• Payload

$$W_{\text{payload}} = 2115 \text{ ton}$$

$$VCG = (H - H_{\text{db}}) * 0,5 + H_{\text{db}}$$

$$VCG = 5.250 \text{ m}$$

$$LCG \text{ from AP} = 52.700 \text{ m}$$

$$DWT \text{ total} = 2189.419 \text{ ton}$$

Total Weight

$$LWT + DWT = 5472.006 \text{ ton}$$

$$\text{Total VCG} = 5.76 \text{ m}$$

$$\text{Total LCG (from AP)} = 43.1665 \text{ m}$$

Displacement Check

Displacement = 6061.897 ton 589.892
 LWT + DWT = 5472.006 ton
 Difference = 9.731% ton
 (2% to 10% Limitation)

ACCEPTED

- Perhitungan Freeboard

Freeboard Calculation			
<i>International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988</i>			
Input Data :			
L =	92.20	m	
B =	16.50	m	$l_{poop} = 20.40 \text{ m}$
D =	9.20	m	$l_{FC} = 10.20 \text{ m}$
$d_1 =$	85% Moulded Depth		$S = l_{Poop} + l_{FC}$
=	7.82	m	= 30.60 m
$C_B =$	0.72		T = 5.20 m
Ship type =	Type B		$C_{wp} = 0.83$
Calculation :			
Length (m)		Freeboard (mm)	
92		1014	
93		1029	
<ul style="list-style-type: none"> • Tabular Freeboard 			
FB =	1017.00	mm	
<ul style="list-style-type: none"> • Correction 			
1. Length			
$L \leq 100 \text{ m}$			
$FB_1 =$	$1017 + (7.5(100-L)(0.35 - E/L))$	$(7.5(100-L)(0.35 - E/L)) =$	1.059599 mm
$FB_1 =$	1018.06 mm		
2. C_B correction			
factor =	$(C_B + 0.68)/1.36$		
factor =	1.028559948		
$FB_2 =$	1047.135328 mm		

3. Depth correction

For ship with $D < L/15$ no correction needed ; If $D > L/15$ correction is needed as :

D =	9.2	m	
L =	92.20	m	
L/15 =	6.146666667		
FB ₃ =	1047.135328	[mm]	
R =	192.0833333		(R=L/0.48 ; L<120m)
(D-L/15)R =	586.49	mm	(R=250 ; L>120m)
FB ₃ =	1633.63	mm	

4. Deduction of Superstructure

Length (m)	h _{Superstructure} (m)
75	1.8
125	2.3

Forecastle	Poop
l _{FC} = 10.20 m	l _{poop} = 20.40 m
h _{SFC} = 1.97 m	h _{Spoop} = 1.97 m
h _{FC} = 1.80 m	h _{poop} = 1.8 m
l _{SFC} = 9.31 m	l _{Spoop} = 18.62 m

Effective Length Super Structure

E = l _{SFC} + l _{Spoop}		
= 27.93	m	1249.63
E[x.L] = 0.303	L	
%FB = 30%	L	

Superstructure

Total Effective Length of Superstructures							
L	0		0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
%	0		5	10	15	23.5	32

$$FB_4 = 1250 \text{ mm}$$

5. Sheer correction

Station	Standard Profile	Factor	Multiplier	Actual Profile
AP	0.00	1.00	0	0.000
1/6 L dari AP	0.00	3.00	0	0.000
1/3 L dari AP	0.00	3.00	0	0.000
Amidships	0.00	1.00	0	0.000
1/3 L dari FP	0.00	3.00	0	0.000
1/6 L dari FP	0.00	3.00	0	0.000
FP	0.00	1.00	0	0.000

$$T_{AP} = (\text{Multiplier} - \text{Actual Profile})/8$$

$$= 0.00$$

$$T_{FP} = (\text{Multiplier} - \text{Actual Profile})/8$$

$$= 0.00$$

$$\text{Factor} = \text{Mean} * (0.75 - S/2L)$$

$$= 0.000$$

$$FB' = FB_4 + FB_5$$

$$FB' = 1249.73 \text{ mm}$$

Total Freeboard

$$FB' = FB_5$$

$$FB' = 2266.73 \text{ mm}$$

$$FB' = 2.27 \text{ m}$$

• Minimum Bow height

$$B_{WM} = \left(6075(L/100) - 1875(L/100)^2 + 200(L/100)^3 \right) \times (2.08 + 0.609C_b - 1.603C_{wf} - 0.0129(L/100))$$

$$B_{WM} = 4316.97 \text{ mm}$$

$$B_{WM} = 4.32 \text{ m}$$

- Freeboard Boundary Condition

Actual Freeboard (Summer)

$$FB_a = H - T$$

$$FB_a = 4.00 \quad \text{m}$$

$$FB' = 2.27 \quad \text{m}$$

ACCEPTED

($FB_a - FB'$) Summer Condition

Actual Freeboard (Winter)

$$FB_a = H - T$$

$$FB_a = 4.00 \quad \text{m}$$

$$FB' = 2.31 \quad \text{m}$$

ACCEPTED

($FB_a - FB'$) Winter Condition

- Minimum Bow Height

$FB_a + Sf + h_{FC}$

$$= 5.80 \quad \text{m}$$

ACCEPTED

Bow Height Minimum Condition

- Reserve Buoyancy

$$F_{min} = 1632.539911 \quad \text{mm}$$

$$\text{Reserve} = 37.60 \quad \text{m}^2$$

$$A_1 + A_2 + A_3 = 80.214 \quad \text{m}^2 \quad 0.15L = 13.83 \quad \text{m}$$

ACCEPTED

Reserve Buoyancy Minimum Condition

○ Perhitungan Tonase

Tonnage Measurement

Input Data :

$$H = 9.200 \quad \text{m}$$

$$T = 5.200 \quad \text{m}$$

$$V_{\text{poop}} = 363.528 \quad \text{m}^3$$

$$V_{\text{forecastle}} = 75.735 \quad \text{m}^3$$

$$V_{\text{deckhouse}} = 295.680 \quad \text{m}^3$$

$$Z_C = 14 \quad \text{persons}$$

$$N_1 = 0 \quad \text{persons}$$

$$N_2 = 14 \quad \text{persons}$$

$$\nabla = 5914.046 \quad \text{m}^3$$

$$\Delta = 6061.897 \quad \text{ton}$$

Calculation:

Gross Tonnage

$$V_U = \text{Volume of under the weather deck}$$

$$= 9173.11 \quad \text{m}^3$$

$$V_H = \text{Volume of closed space on the weather deck}$$

$$= 734.94 \quad \text{m}^3$$

$$V = 9908.05 \quad \text{m}^3$$

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \log_{10}(V)$$

$$= 0.28$$

$$GT = 2773.46$$

Net Tonnage

$$V_C = 4551 \quad \text{m}^3$$

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \log_{10}(V_C)$$

$$= 0.274$$

$$K_3 = 1.25 [(GT+10000)/10000] =$$

$$= 1.597$$

$$a = K_2 * V_C * (4d/3D)^2$$

$$= 818.356$$

$$a \geq 0.25GT = \text{Yes} \quad 0.25 GT = 693.3649$$

$$NT = a + K_3 * (N_1 + N_2 / 10)$$

$$= 870.591$$

$$NT \geq 0.30GT = \text{Yes} \quad 0.30 GT = 832.0378$$

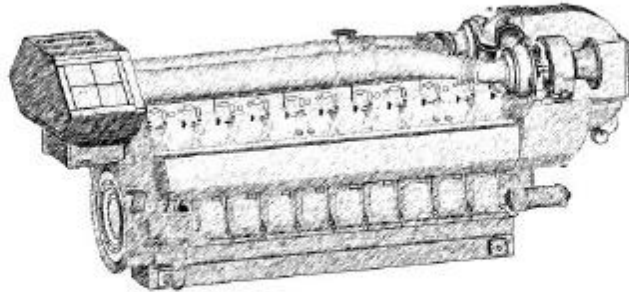
LAMPIRAN B
PERHITUNGAN EKONOMIS

ESTIMASI BIAYA PEMBANGUNAN KAPAL (Ship Design Efficiency and Economy)			
No	Item	Value	Unit
1	Material Cost		
1.1	Lambung Kapal		
	<i>Tebal plat lambung = 12 mm ; material baja</i>		
	Harga	\$ 1,118.00	USD/ton
	Berat Lambung	2200.036059	ton
	Harga Lambung Kapal	\$ 2,459,640.31	USD
1.2	Geladak Kapal		
	<i>Tebal plat lambung = 8 mm ; material baja</i>		
	Harga	\$ 1,118.00	USD/ton
	Berat Geladak Kapal	94.94793	ton
	Harga Lambung Kapal	\$ 106,151.79	
1.3	Tanki LNG		
	Harga	\$ 1,000,000.00	USD/ton
	Berat Tanki	1	ton
	Harga Lambung Kapal	\$ 1,000,000.00	
1.3	Konstruksi Lambung		
	Harga	\$ 1,118.00	USD/ton
	Berat Tanki	660.0108178	ton
	Harga Konstruksi Lambung	\$ 737,892.09	USD/ton
Total Material Cost		\$ 4,303,684.19	USD
2	Labour Cost		
2.1	keuntungan Galangan		
	Harga	\$ 860,736.84	USD
	Total Labour Cost	\$ 860,736.84	USD
3	Overhead Cost		
3.1	Biaya Inflasi	2%	

	Total	\$ 86,073.68	USD
	Pajak	10%	
3.2	Total	\$ 430,368.42	
Total Overhead Cost		\$ 516,442.10	USD
Total Biaya Pembangunan		\$ 5,680,863.14	USD

LAMPIRAN C
KATALOG

- KATALOG GENERATOR PLTMG “SORONG”



JMS 620 GS-N.L
Natural gas 3.041kW el.

JMS 620 GS-N.L
Natural gas 3.041kW el.

CO-GEN Module data:

Electrical output	kW el.	3.041
Recoverable thermal output (120 °C)	kW	3.020
Energy input	kW	7.076
Fuel Consumption based on a LHV of 9,5 kWh/Nm ³		
	Nm ³ /h	745
Electrical efficiency	%	43,0%
Thermal efficiency	%	42,7%
Total efficiency	%	85,7%
Heat to be dissipated (LT-Circuit)	kW	188

Emission values:

NO_x < 500 mg/Nm³ (5% O₂)

Engine data:

Engine type		J 620 GS-E
Configuration		V 60°
No. of cylinders		20
Bore	mm	190
Stroke	mm	220
Piston displacement	lit	124,75
Nominal speed	rpm	1.500
Mean piston speed	m/s	11
Mean effe. press. at stand. power and nom. sp	bar	20,00
Compression ratio	Epsilon	11,0
ISO standard fuel stop power ICFN	kW	3119
Spec. fuel consumption of engine	kWh/kWh	2,27
Specific lube oil consumption	g/kWh	0,30
Weight dry	kg	12.000
Filling capacity lube oil	lit	670
Based on methane number Min. methane num	MZ	94 80

Main engine specifications	
Engine type =	MAN 6L27/38
MCR =	2040 kW
MCR =	2735.681 HP
Speed =	800 r/min
Cyl. number =	7
Bore =	270 mm
Stroke =	380 mm
Specific Fuel Oil Consumption	
SFOC =	186 g/kWh
Specific Lube Oil Consumption	
SLOC =	0.5 g/kWh
Dimensions	
Length =	5515 mm
Width =	2035 mm
Height =	3687 mm
Dry mass =	32.5 ton

MAN L27/38

Tier II Tier III
Tier III with SCR

Bore: 270 mm, Stroke: 380 mm

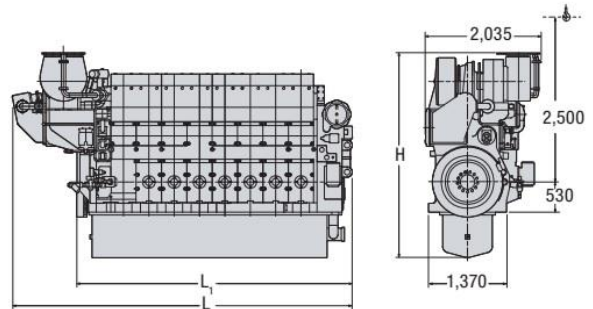
Speed	r/min	800	800 (MDO*/MGO)
mep	bar	23.5	25.2
		kW	kW
6L27/38		2,040	2,190
7L27/38		2,380	2,555
8L27/38		2,720	2,920
9L27/38		3,060	3,285

Dimensions

Cyl. No.		6	7	8	9
L	mm	5,070	5,515	5,960	6,405
L ₁	mm	3,962	4,407	4,852	5,263
H	mm	3,555	3,687	3,687	3,687
Dry mass	t	29.0	32.5	36.0	39.5

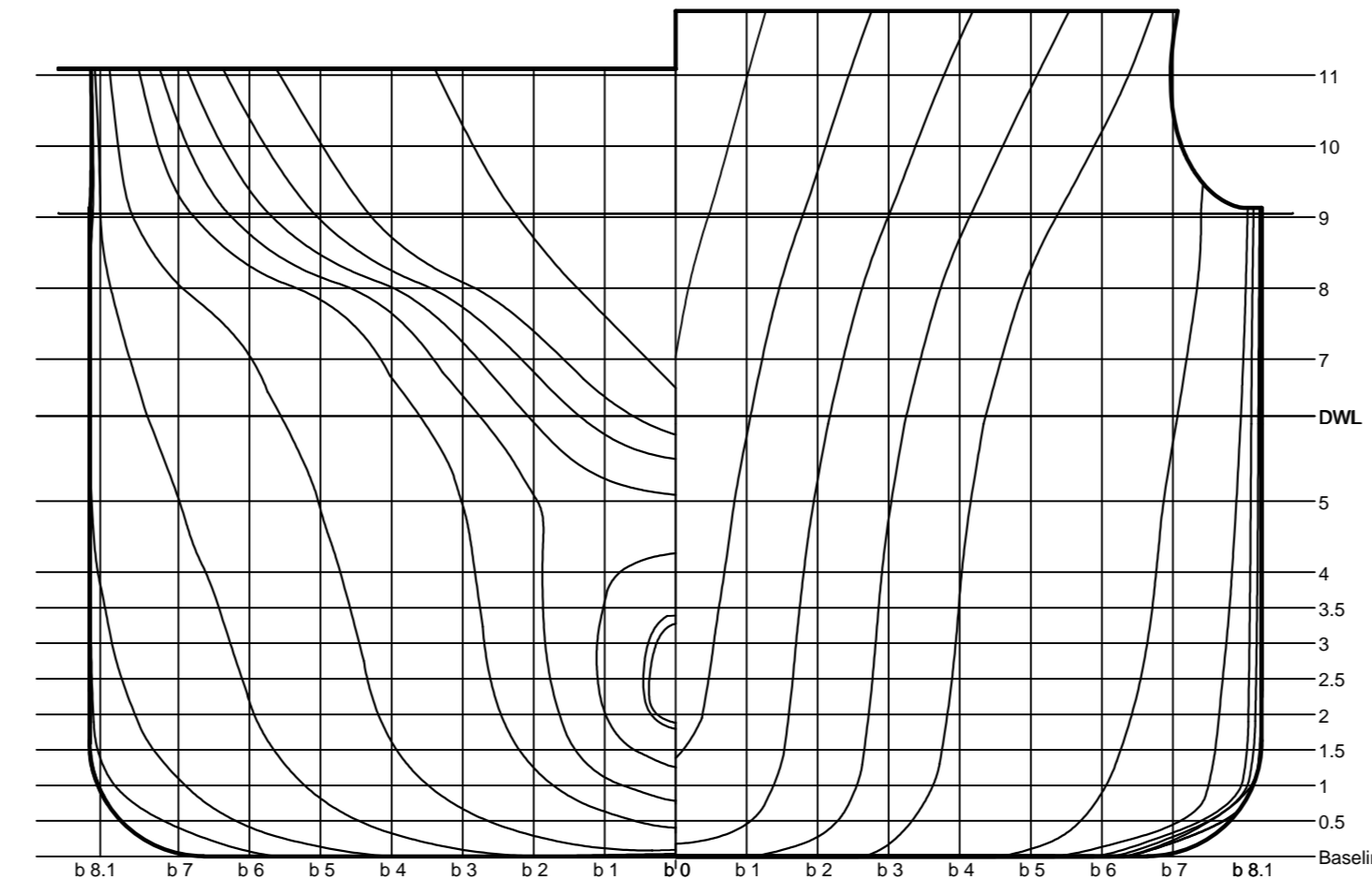
Minimum centreline distance for twin engine installation: 2,500 mm

* MDO viscosity must not exceed 6 mm²/s = cSt at 40 °C.

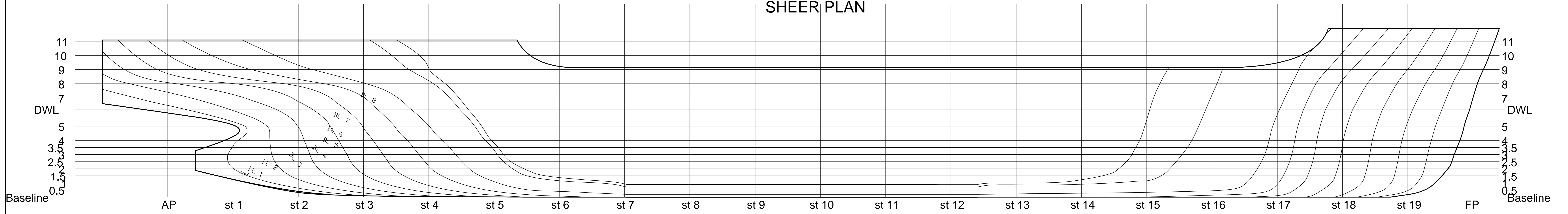


LAMPIRAN D
LINES PLAN SMALL – SCALE LNG CARRIER

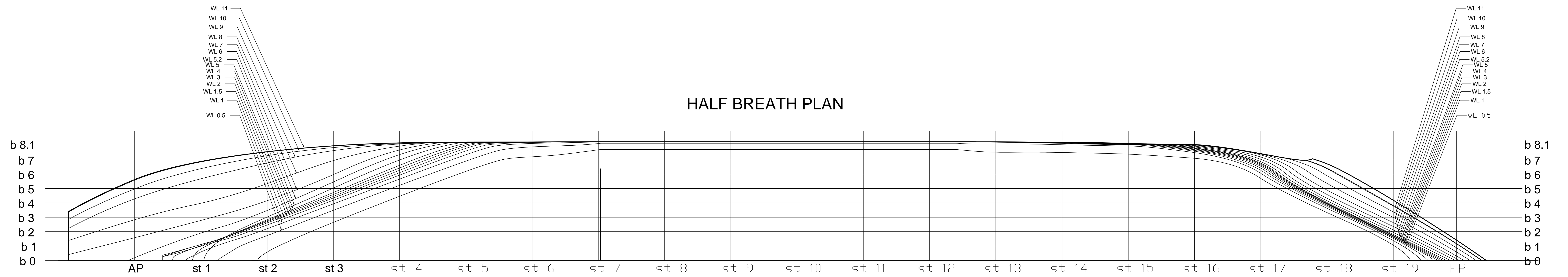
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF BREATH PLAN

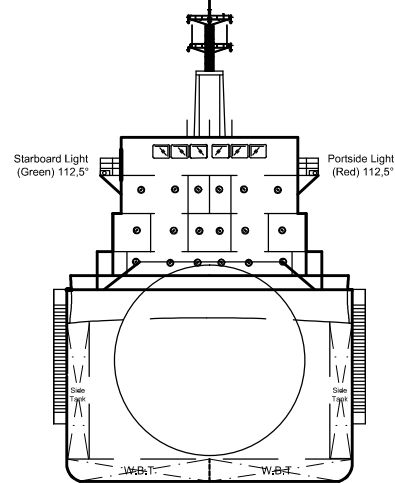


PRINCIPAL DIMENSION	
SHIP TYPE	: LNG Carrier
LENGTH OVERALL	: 95.54 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 92.2 M
MOULDED BREADTH	: 16.2 M
MOULDED DEPTH	: 9.2 M
MOULDED DRAUGHT	: 5.2 M
DESIGNED SERVICE SPEED	: 13 KNOTS
COMPLEMENTS	: 14 PERSONS
MAIN ENGINE POWER	: 2720 KW

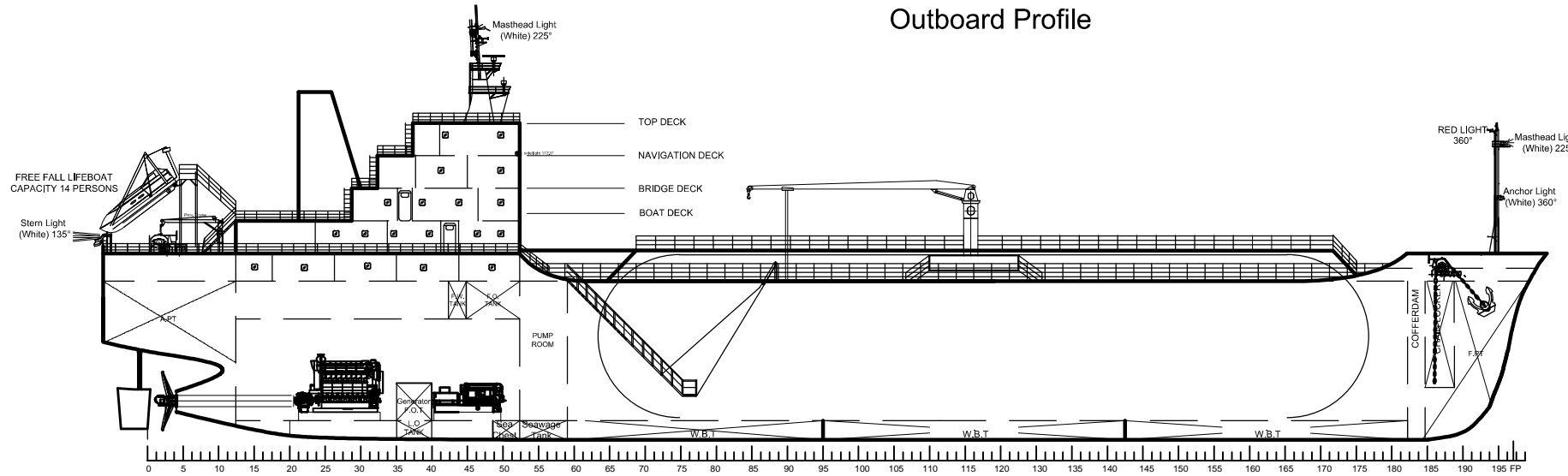
	DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE		
	FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY		
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER			
LNG CARRIER 4500 M3			
LINESPLAN			
Scale	: 1 : 100	Signature	Date
Drawn by	: Kevin Oktarino		041154000037
Checked by	: Hasanudin, S.T., M.T.		A0

LAMPIRAN E
GENERAL ARRANGEMENT SMALL – SCALE LNG
CARRIER

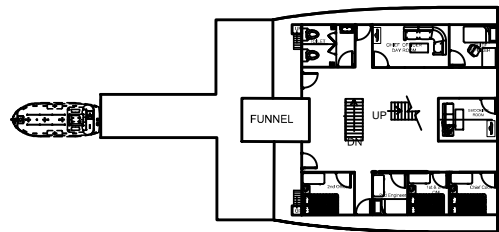
Front View



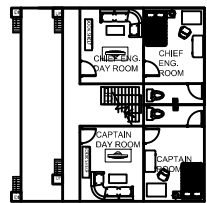
Outboard Profile



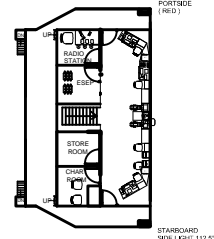
Boat Deck



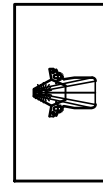
Bridge Deck



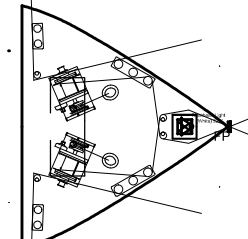
Navigation Deck



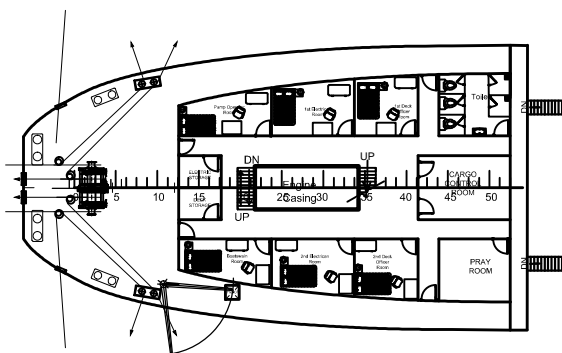
Top Deck



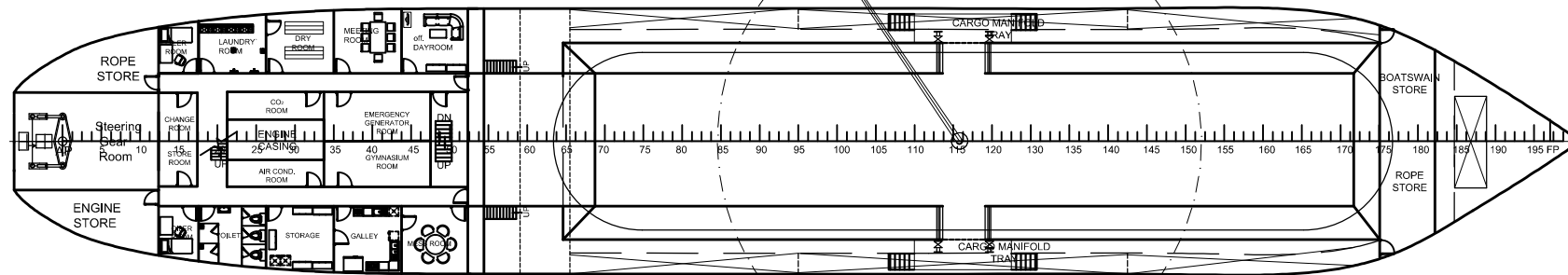
Forecastle Deck



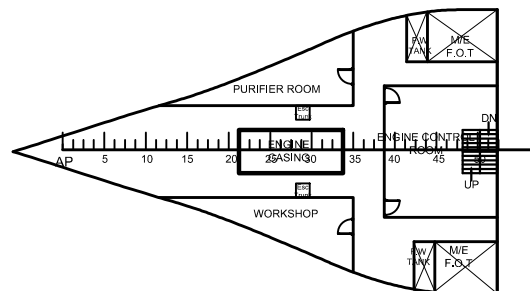
Poop Deck



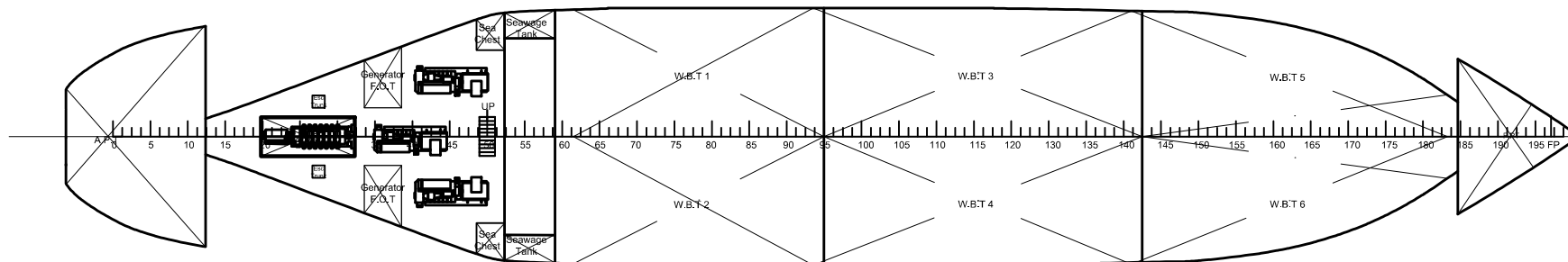
Main Deck



Tween Deck



Double Bottom



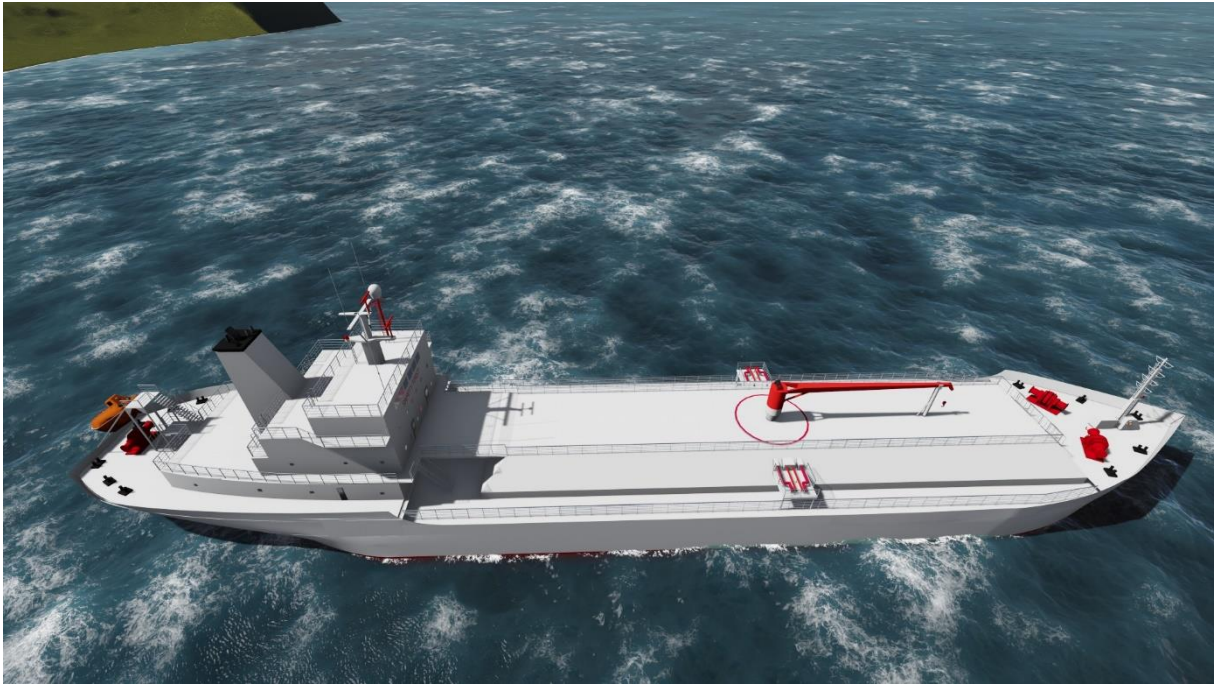
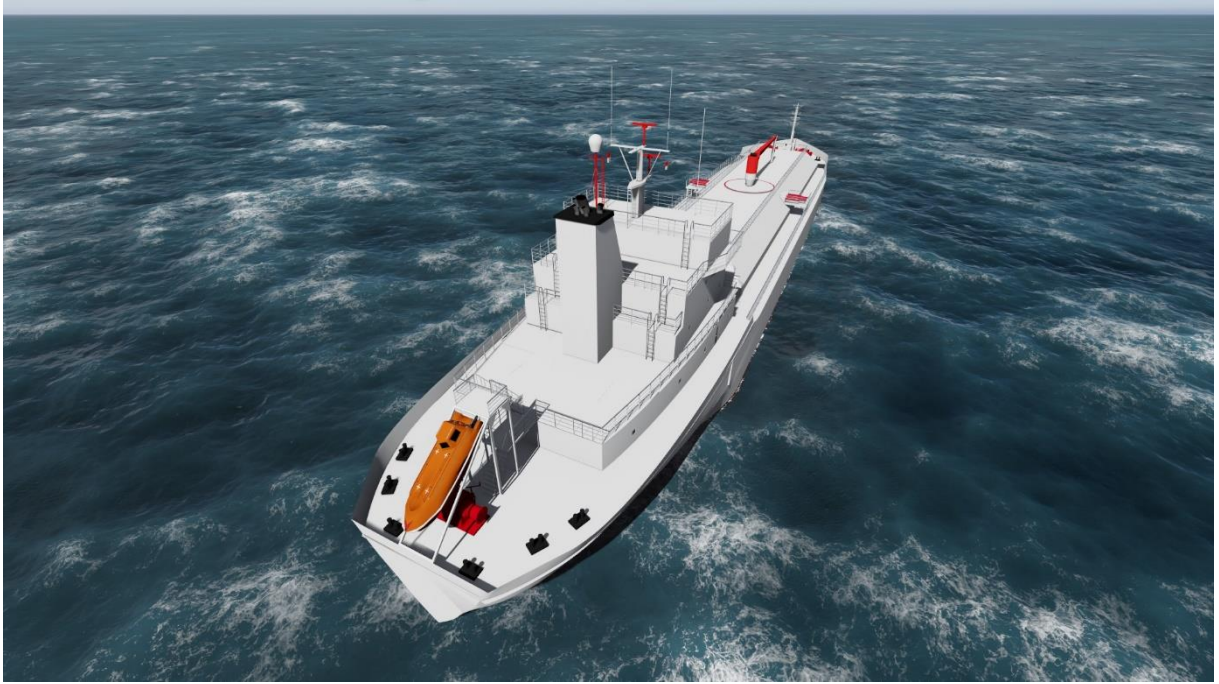
PRINCIPAL DIMENSION	
SHIP TYPE	: BULK CARRIER
LENGTH OVERALL	: 112.79 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 101 M
MOULDED BREADTH	: 17.5 M
MOULDED DEPTH	: 9 M
MOULDED DRAUGHT	: 6.5 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.76
DESIGNED SERVICE SPEED	: 12.5 KNOTS

	DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING		
	FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA		
LNG CARRIER 4500			
GENERAL ARRANGEMENT			
Scale :	SIGNATURE	DATE	Note
Drawn by : Kevin Oktario Muhamad			
Checked by : Hasanudin, S.T., M.T.			

LAMPIRAN F
3D MODEL SMALL – SCALE LNG CARRIER







BIODATA PENULIS



Kevin Oktarino Muhamad, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Kendal pada 4 Oktober 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SMPN 5 Cirebon dan SMAN 2 Cirebon. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Tugas Akhir dengan bidang desain kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga aktif dalam mengikuti keorganisasian di ITS seperti ikut dalam pembentukan UKM Softball ITS, staff Kastrat HIMATEKPAL 2016/2017, Staff Kaderisasi LDJ As-Safiinah 2016/2017, Ketua Umum LDJ As – Safiinah 2017/2018, Ketua BSO FSLDK JMMI ITS 2018/2019, Dirjen Lingkar Kajian Kementrian Inkubator Kajian BEM ITS 2018/2019, dan Wakil Menteri Inkubator Kajian BEM ITS 2019/2020.

Penulis juga tercatat pernah mengikuti forum kemahasiswaan dengan skala nasional maupun regional seperti Musyawarah besar PERHIMATEKMI di Semarang, Musyawarah LDK se Surabaya – Mojokerto – Madura – Gresik, dan Kongres Maritim 2017 yang diselenggarakan oleh Menko Maritim. .

Email: oktarino15@mhs.na.its.ac.id/koktarino@gmail.com