



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DESAIN KAPAL *DUAL FUEL* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GAS 120 MW**

**Mayangkara Pasha Mahadika
NRP 0411134000080**

**Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DESAIN KAPAL *DUAL FUEL* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GAS 120 MW**

**Mayangkara Pasha Mahadika
NRP 0411134000080**

**Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

**DESIGN OF DUAL FUEL MOTOR VESSEL
GAS POWER PLANT 120 MW**

**Mayangkara Pasha Mahadika
NRP 0411134000080**

**Supervisor
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

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

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KAPAL *DUAL FUEL* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS 120 MW

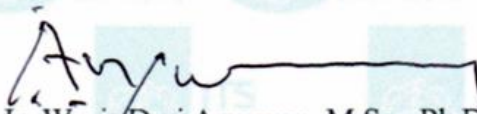
TUGAS AKHIR

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

Oleh:

MAYANGKARA PASHA MAHADIKA
NRP 0411134000080

Disetujui,
Dosen Pembimbing


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

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, 12 JULI 2019

LEMBAR REVISI

DESAIN KAPAL *DUAL FUEL* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS 120 MW

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 3 Juli 2019

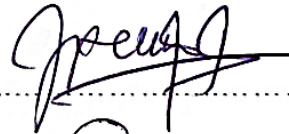
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MAYANGKARA PASHA MAHADIKA
NRP 0411134000080

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

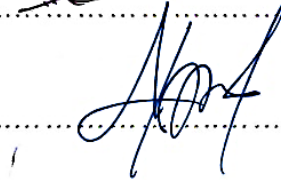
1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.



2. Hasanudin, S.T., M.T.

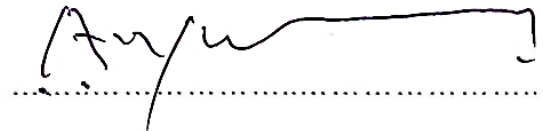


3. Danu Utama, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 12 JULI 2019

Dipersembahkan kepada Keluarga, Almamater, dan Bangsa.

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. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Departemen Teknik Perkapalan atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Hasanudin, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
3. Seluruh Dosen Rumpun Mata Kuliah Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan yang sudah memberikan ilmu serta bimbingannya selama berkuliah, serta seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan yang pernah mengampu selama masa kuliah.
4. Keluarga Penulis, Mamah, Papah dan Alm. Bhayangkara Tegar Pradana yang telah menjadi motivasi dan doa dalam melakukan setiap pekerjaan;
5. Edo, Dina, Kevin, Pieter, El, Stacey, Angga dan Wahyu selaku teman-teman seperjuangan bimbingan Tugas Akhir;
6. Dan semua pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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, 27 Juni 2019

Mayangkara Pasha Mahadika

DESAIN KAPAL DUAL FUEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS 120 MW

Nama Mahasiswa : Mayangkara Pasha Mahadika
NRP : 0411134000080
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Hingga saat ini, di Indonesia masih ada 12.659 desa tertinggal yang belum memperoleh akses listrik dari jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN), bahkan 2.519 desa diantaranya belum teraliri listrik sama sekali. Pada tanggal 8 Desember 2015 Presiden Joko Widodo meresmikan operasional pembangkit listrik di atas kapal yang disewa dari Turki untuk daerah Amurang, Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. Selanjutnya juga akan didatangkan *power plant* serupa dari Turki untuk beberapa lokasi antara lain Sumatera Bagian Utara, Kupang, Ambon, dan Lombok. PLN mengklaim ada efisiensi sebesar Rp. 350 miliar per tahun dibanding menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan desain konseptual kapal pembangkit listrik tenaga gas yang memiliki kemampuan mobilitas sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan sumber listrik di wilayah Indonesia. Sehingga pemerintah dapat cepat tanggap terhadap daerah yang mengalami krisis listrik di Indonesia. Proses desain kapal dimulai dari studi literatur dan penentuan *output* daya listrik kapal menggunakan informasi kondisi kelistrikan Nasional dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. Daya listrik kapal yang didesain yaitu sebesar 120 MW. Kemudian mencari ukuran utama kapal. Kapal yang dirancang menggunakan sistem permesinan berbahan bakar ganda atau *dual fuel engine* yang berbahan bakar LNG dan *Marine Fuel*. Setelah itu dilakukan perhitungan teknis berupa perhitungan berat, *displacement*, *trim*, *freeboard*, dan stabilitas. Ukuran utama yang didapatkan adalah $L_{pp} = 152.4$ m; $B = 26.3$ m; $H = 15$ m; $T = 7.5$ m. Dari data tersebut kemudian dibuat *Lines Plan*, *General Arrangement* dan model 3D.

Kata Kunci: Gas turbine, *dual fuel*, kapal pembangkit listrik

DESIGN OF DUAL FUEL MOTOR VESSEL GAS POWER PLANT 120 MW

Author : Mayangkara Pasha Mahadika
Student Number : 0411134000080
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Until now, in Indonesia there are 12.659 underdeveloped villages have not yet gained access to the network of electricity from Perusahaan Listrik Negara (PLN), even 2.519 villages which have never been electricity at all. On December 8, 2015 President Joko Widodo inaugurates power plant operating on a boat rented from Turkey to Amurang, South Minahasa, North Sulawesi. Furthermore, the similar power plant would also be rented from Turkey to other location in Indonesia, that is Northern Sumatra, Kupang, Ambon and Lombok. PLN claims the efficiency of Rp. 350 billion a year compared to using diesel power plants (diesel). The purpose of this final year project is to produce a conceptual design of gas power plants that have the ability of mobility as an attempt to fulfil the needs of the power source in the region of Indonesia. So the government can quickly respond to regional which have electricity crisis. This work process starting from the study of literature and the determination of the ship electric power output using electricity condition information from the National Ministry of Energy and Mineral Resources of Indonesia. Obtained ship designed electric power is 120 MW. Then the main dimension of the vessel is estimated. The ship's propulsion is designed to use dual fuel engine system that is fueled by LNG and Marine Fuel. The initial main dimension is then checked with respect to technical and regulation matter. Finally, the main dimension obtained $L_{pp} = 152.4$ m; $B = 26.3$ m; $H = 15$ m; $T = 7.5$ m. Based on the final main dimension, the Lines Plan is created, the General Arrangement and 3D model is designed to match the owner requirement.

Keywords: Gas turbine, dual fuel, power plant ship

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
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
I.6. Hipotesis	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Dasar Teori	5
II.1.1. Kebutuhan Listrik Indonesia Bagian Timur	5
II.1.2. Pembangkit Listrik	5
II.1.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas	5
II.1.2.2. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas	6
II.1.3. Gas Alam	8
II.1.3.1. Sumber Gas Alam di Indonesia	9
II.1.3.2. Jenis Penyimpanan Bahan Bakar LNG	10
II.1.3.3. Penyusunan Tanki LNG	13
II.1.3.4. Gas Alam Cair sebagai Bahan Bakar	14
II.1.4. <i>Heavy Fuel Oil</i> (HFO)	14
II.1.5. Hazardous Area	16
II.1.6. Teori Desain	16
II.1.6.1. <i>Concept Design</i>	17
II.1.7. Metode Desain Kapal	17
II.1.7.1. <i>Parent Design Approach</i>	17
II.1.7.2. <i>Trend Curve Approach</i>	17
II.1.7.3. <i>Iteratif Design Approach</i>	17
II.1.7.4. <i>Parametric Design Approach</i>	18
II.1.7.5. <i>Optimization Design Approach</i>	18
II.1.8. Prinsip Archimedes	18
II.1.9. Tinjauan Teknis Desain Kapal	18
II.1.9.1. Ukuran Utama Kapal	18
II.1.9.2. Perhitungan Hambatan Kapal	19

II.1.9.3.	Perhitungan Propulsi Kapal.....	20
II.1.9.4.	Perhitungan Daya Mesin.....	21
II.1.9.5.	Perhitungan Berat Baja.....	21
II.1.9.6.	Perhitungan <i>Freeboard</i>	21
II.1.9.7.	Perhitungan <i>Trim</i>	22
II.1.9.8.	Perhitungan Stabilitas.....	23
II.2.	Tinjauan Pustaka.....	26
II.2.1.	Sistem Permesinan <i>Dual Fuel</i>	26
II.2.2.	Kapal Pembangkit Listrik.....	27
II.2.2.1.	Perkembangan Kapal Pembangkit Listrik.....	27
II.2.2.2.	Karadeniz <i> Holding</i>	29
II.2.2.3.	Wärtsilä.....	30
II.2.2.4.	Mitshubishi Heavy Industry (MHI).....	31
BAB III	METODOLOGI.....	33
III.1.	Pendahuluan.....	33
III.2.	Studi Literatur.....	33
III.3.	Pengumpulan Data.....	33
III.3.1.	Daerah Operasional.....	33
III.3.2.	Data Alat Pembangkit.....	33
III.4.	Analisis Data.....	34
III.5.	Penentuan Ukuran Utama Kapal Awal.....	34
III.6.	Analisis Teknis.....	34
III.6.1.	Pemilihan Gas Turbine.....	34
III.6.2.	Perhitungan Berat Kapal dan Titik Berat Kapal.....	34
III.6.3.	Perhitungan Lambung Timbul.....	34
III.6.4.	Perhitungan Trim Kapal dan Stabilitas Kapal.....	35
III.7.	Pembuatan Desain Rencana Garis, Rencana Umum, dan Model 3D.....	35
III.7.1.	Desain Rencana Garis.....	35
III.7.2.	Desain Rencana Umum.....	35
III.7.3.	Desain Model 3D.....	35
III.8.	Diagram Alir.....	36
BAB IV	ANALISIS TEKNIS.....	37
IV.1.	Pendahuluan.....	37
IV.2.	Tinjauan Wilayah.....	37
IV.3.	Penentuan <i>Layout</i> Awal Gas Turbine.....	41
IV.4.	Penentuan Ukuran Utama Kapal.....	44
IV.5.	Perhitungan Koefisien Bentuk Badan Kapal.....	46
IV.5.1.	Perhitungan <i>Froude Number</i>	46
IV.5.2.	Perhitungan Koefisien Blok (Watson & Gilfillan).....	46
IV.5.3.	Perhitungan Koefisien <i>Midship</i> (Series '60).....	46
IV.5.4.	Perhitungan Koefisien Prismatik.....	46
IV.5.5.	Perhitungan Koefisien Bidang Air.....	47
IV.5.6.	Perhitungan Titik Berat Badan Kapal.....	47
IV.5.7.	Perhitungan Volume <i>Displacement</i>	47
IV.5.8.	Perhitungan <i>Displacement</i>	47
IV.6.	Perhitungan Hambatan Kapal.....	47
IV.7.	Perhitungan Propulsi Kapal.....	48
IV.7.1.	Pemilihan Mesin <i>Dual Fuel</i>	48

IV.7.2.	Cara Kerja <i>Dual Fuel Engine</i>	50
IV.8.	Perhitungan Berat Permesinan	50
IV.9.	Perhitungan Berat <i>Power Plant</i>	51
IV.10.	Perhitungan Berat Baja Kapal.....	52
IV.11.	Perhitungan <i>Consumable</i>	53
IV.12.	Perhitungan Berat Total Kapal.....	54
IV.12.1.	Perhitungan Berat LWT	55
IV.12.2.	Perhitungan Berat DWT	55
IV.13.	Perhitungan Titik Berat Total Kapal	56
IV.13.1.	Hasil Perhitungan LCG	57
IV.13.2.	Hasil Perhitungan VCG.....	57
IV.14.	Penentuan <i>Loadcase</i>	57
IV.15.	Perhitungan <i>Trim</i> Kapal.....	59
IV.16.	Perhitungan <i>Freeboard</i>	59
IV.17.	Perhitungan Stabilitas Kapal.....	60
IV.18.	Desain Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>)	61
IV.19.	Desain Rencana Umum (<i>General Arrangement</i>).....	64
IV.20.	Desain Permodelan 3 Dimensi.....	68
IV.21.	Pemeriksaan <i>Navigation Bridge Visibility</i>	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		71
V.1.	Kesimpulan	71
V.2.	Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A PEHITUNGAN ANALISA TEKNIS		
LAMPIRAN B RENCANA GARIS (<i>LINES PLAN</i>)		
LAMPIRAN C RENCANA UMUM (<i>GENERAL ARRANGEMENT</i>)		
LAMPIRAN D PERMODELAN 3D		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Cara Kerja PLTG	6
Gambar II.2 Siklus Brayton.....	6
Gambar II.3 <i>Simple Cycle System</i>	8
Gambar II.4 <i>Combined Cycle System</i>	8
Gambar II.5 Persebaran Sumber Gas Alam di Indonesia	10
Gambar II.6 <i>Integral Tank</i>	11
Gambar II.7 <i>Membrane Tank</i>	12
Gambar II.8 <i>Semi-membrane Tank</i>	12
Gambar II.9 Penyusunan Tangki Muat LNG	14
Gambar II.10 <i>The Spiral Diagram</i>	16
Gambar II.11 Sistem Propulsi Kapal	20
Gambar II.12 Ilustrasi Momen Penegak Kapal	24
Gambar II.13 Kondisi Stabilitas Positif	24
Gambar II.14 Kondisi Stabilitas Netral.....	25
Gambar II.15 Kondisi Stabilitas Negatif.....	25
Gambar II.16 SS. Jacona	28
Gambar II.17 Karadeniz Powership Zeynep Sultan	30
Gambar II.18 Wärtsilä <i>Energy Storage</i>	31
Gambar II.19 <i>Floating Power Plant</i>	31
Gambar III.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	36
Gambar IV.1 Tinjauan Wilayah Indonesia Bagian Timur	38
Gambar IV.2 Rencana Daerah Kapal <i>Dual Fuel</i> Pembangkit Listrik Tenaga Gas	40
Gambar IV.3 Spesifikasi Siemens SGT-600	42
Gambar IV.4 Spesifikasi <i>Layout</i> Ukuran Siemens SGT-600.....	43
Gambar IV.5 <i>Layout</i> Awal Gas Turbine	43
Gambar IV.6 Katalog <i>Dual Fuel Engine</i> Wärtsilä	49
Gambar IV.7 Wärtsilä 9L34DF	49
Gambar IV.8 Spesifikasi Wärtsilä 9L34DF	50
Gambar IV.9 <i>Layout</i> Kapal Karadeniz Zeynep Sultan	51
Gambar IV.10 <i>Layout</i> Awal Kapal	52
Gambar IV.11 <i>Lines Plan</i> Kapal <i>Dual Fuel</i> Pembangkit Listrik Tenaga Gas 120 MW	61
Gambar IV.12 Menu <i>Size Surface</i>	62
Gambar IV.13 Pengaturan Jumlah <i>Stations</i> , <i>Buttocks</i> dan <i>Waterlines</i>	62
Gambar IV.14 Pengaturan L_{PP} dan Sarat Kapal.....	63
Gambar IV.15 Tabel Hidrostatik dari Model Kapal	64
Gambar IV.16 <i>General Arrangement</i> Kapal <i>Dual Fuel</i> Pembangkit Listrik	65
Gambar IV.17 Tampak <i>Side View General Arrangement</i>	66
Gambar IV.18 Tampak <i>Front View General Arrangement</i>	66
Gambar IV.19 Tampak <i>Main Deck View General Arrangement</i>	67
Gambar IV.20 Referensi Penataan Ruang Muat untuk <i>Power Plant</i>	68
Gambar IV.21 Model 3D Kapal <i>Dual Fuel</i> Pembangkit Listrik Tenaga Gas 120 MW	68
Gambar IV.22 Regulasi <i>Navigation Bridge Visibility</i>	69
Gambar IV.23 <i>Navigation Bridge Visibility</i> pada <i>Dual Fuel</i> Pembangkit Listrik	69

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Komposisi Zat Kimia pada Gas Alam	9
Tabel II.2 Perbandingan Jenis Tangki Tipe A, B dan C	13
Tabel II.3 Spesifikasi <i>Heavy Fuel Oil</i> (HFO)	15
Tabel II.4 Harga $1+k_2$	19
Tabel IV.1 Persebaran <i>Port</i> Indonesia Bagian Timur.....	39
Tabel IV.2 Jarak Antara Provinsi di Wilayah Indonesia Indonesia Timur	41
Tabel IV.3 Spesifikasi Siemens Gas Turbine	42
Tabel IV.4 Ukuran Utama Kapal Pembanding.....	44
Tabel IV.5 Detail Berat dan Titik Berat Bagian <i>Gas Power Plant</i>	52
Tabel IV.6 Rincian <i>Crew</i> dan Penempatannya.....	53
Tabel IV.7 Rangkuman Kebutuhan <i>Consumable</i>	54
Tabel IV.8 Rangkuman Berat LWT.....	55
Tabel IV.9 Rangkuman Berat DWT	56
Tabel IV.10 Rangkuman LCG dari LWT dan DWT	57
Tabel IV.11 Rangkuman VCG dari LWT dan DWT.....	57
Tabel IV.12 <i>Loadcase</i>	58
Tabel IV.13 Rangkuman <i>Trim</i>	59
Tabel IV.14 Rangkuman Hasil Stabilitas	60

DAFTAR SIMBOL

L_{OA}	= Panjang kapal
L_{WL}	= Panjang kapal sesuai dengan garis air
L_{PP}	= Panjang kapal dari titik AP ke FP
B	= Lebar kapal
H	= Tinggi kapal
T	= Sarat kapal
C_B	= Koefisien blok kapal
C_P	= Koefisien prismatic kapal
C_{WP}	= Koefisien bidang garis air
C_M	= Koefisien <i>midship</i>
LCB	= Letak memanjang titik gaya apung
V	= Volume kapal
Δ	= <i>Displacement</i> kapal
a	= Jarak gading
z	= Jarak titik berat
W_S	= Berat konstruksi
$W_{E\&O}$	= Berat perlengkapal kapal
$W_{C\&E}$	= Berat kru
W_{FW}	= Berat <i>fresh water</i>
W_{PR}	= Berat <i>provision</i>
W_{TOT}	= Berat total kapal
LCG	= Letak memanjang titik gaya gravitasi
VCG	= Letak melintang titik gaya gravitasi
Fb	= <i>Freeboard</i>
T_{AP}	= <i>Trim</i> haluan
T_{FP}	= <i>Trim</i> buritan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia. Indonesia juga merupakan negara berkembang. Pemerintah melakukan upaya pembangunan di berbagai daerah di Indonesia, namun terjadi perbedaan antara pembangunan di Indonesia bagian barat dan bagian timur. Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia timur berada di kisaran antara 58,05% dan 67,60%. Sedangkan di Indonesia barat berada di kisaran 67,65% dan 79,60% (Badan Pusat Statistik, 2017). Rencana Pembangunan Jangka Menengah tahun 2015-2019 menyebutkan bahwa perlunya memantapkan pembangunan secara menyeluruh di berbagai bidang dengan menekankan pencapaian daya saing kompetitif perekonomian berlandaskan keunggulan sumber daya alam dan sumber daya manusia berkualitas serta kemampuan IPTEK yang terus meningkat (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2015). Peningkatan program pembangunan berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan pasokan energi.

Kebutuhan listrik di Indonesia pada tahun 2015 adalah 36.787 MW dan pada tahun 2024 adalah 74.536 MW. Pemerintah telah mencanangkan program 35.000 MW untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut. Program 35.000 MW akan dilaksanakan secara bertahap yaitu 7.000 MW/tahun. Pemerintah berencana akan membangun pembangkit listrik di daerah Indonesia Bagian Timur. Kendala yang terjadi biasanya adalah tidak adanya pasokan listrik di daerah tersebut, sehingga pembangunan infrastruktur akan mengalami penundaan atau hambatan, maka perlu adanya pemasok kebutuhan listrik sementara yang dapat digunakan untuk membantu pembangunan yang akan dilakukan. Salah satu upaya dari kendala tersebut adalah kapal *Motor Vessel Power Plant* (MVPP). Kapal MVPP dapat menjadi pemasok listrik untuk daerah tersebut. Apabila pembangunan pembangkit listrik di daerah tersebut telah selesai maka Kapal MVPP dapat digunakan untuk memasok kebutuhan listrik di daerah lain. Oleh karena itu perlunya pembangunan kapal MVPP terlebih dahulu. Dalam tugas akhir ini memuat mengenai desain kapal MVPP. Desain kapal MVPP yang dibuat dalam tugas akhir ini dapat menjadi referensi bagi Pemerintah Indonesia.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana mendapatkan ukuran utama kapal MVPP yang sesuai?
2. Bagaimana perhitungan teknis dari kapal MVPP?
3. Bagaimana desain rencana garis (*Lines Plan*) kapal MVPP yang sesuai?
4. Bagaimana desain rencana umum (*General Arrangement*) kapal MVPP yang sesuai?
5. Bagaimana desain 3D kapal MVPP yang sesuai?

I.3. Tujuan

Berdasarkan latar belakang di atas, tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan ukuran utama kapal MVPP yang sesuai dengan pembangkit listrik tenaga gas 120 MW.
2. Memperoleh hasil perhitungan teknis dari kapal MVPP.
3. Menentukan desain rencana garis (*Lines Plan*) kapal MVPP yang sesuai.
4. Menentukan desain rencana umum (*General Arrangement*) kapal MVPP yang sesuai.
5. Memperoleh desain 3D kapal MVPP yang sesuai.

I.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Perairan yang digunakan adalah perairan Indonesia bagian Timur.
2. Pembuatan, perhitungan dan perancangan menggunakan *software Maxsurf, Microsoft Excel* dan *CAD*.
3. Proses desain yang dibahas hanya sebatas *concept design*.
4. Sistem permesinan *Dual Fuel* khusus untuk HFO dan *Natural Gas*.
5. Tidak membahas perhitungan konstruksi.
6. Tidak membahas sistem MVPP dan instalasi penyaluran listrik dari MVPP ke darat.

I.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Sebagai solusi pemerintah untuk mempercepat pertumbuhan kebutuhan listrik nasional.
2. Mendapatkan desain kapal MVPP untuk pembangunan kapal MVPP.
3. Memberikan Informasi tentang perhitungan teknis dari kapal MVPP.
4. Memberikan informasi ukuran kapal MVPP yang sesuai.

I.6. Hipotesis

Desain konseptual kapal MVPP ini dapat menjadi pertimbangan sebagai solusi untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik di daerah pembangunan pembangkit listrik Indonesia Bagian Timur.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Pada Bab II ini berisikan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka dari topik utama dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Dasar teori berisi uraian singkat tentang landasan teori yang mempunyai keterkaitan langsung dan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam Tugas Akhir ini.

II.1.1. Kebutuhan Listrik Indonesia Bagian Timur

Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN tahun 2016-2025, diperkirakan pada periode tahun 2016-2025 kebutuhan listrik Indonesia akan mengalami peningkatan dari 216.8 TWh pada tahun 2016 menjadi 457 TWh pada tahun 2025 atau tumbuh rata-rata 8.6% per tahun.

Dalam menghadapi kebutuhan listrik yang semakin meningkat ini PT. PLN melakukan langkah penanggulangan dengan membangun ataupun meningkatkan kapasitas pembangkit yang sudah ada, peningkatan kapasitas ini ditargetkan mencapai 80.5 GW hingga tahun 2026 atau penambahan kapasitas rata-rata mencapai 8,1 GW per tahun.

II.1.2. Pembangkit Listrik

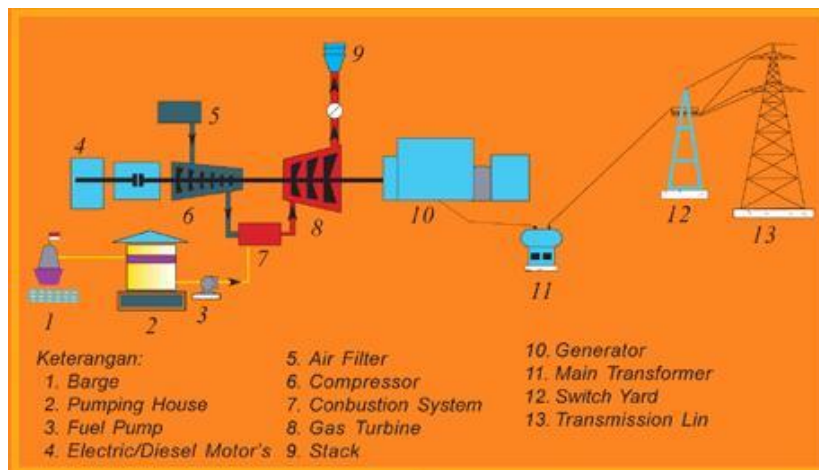
Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga seperti PLTU, PLTN, PLTA, PLTS, dan lain-lain.

II.1.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas

PLTG memanfaatkan tekanan gas sebagai penggerak turbin generator. Gas yang berada dalam ruang bakar akan memiliki tekanan tinggi yang mampu menggerakkan turbin kemudian generator yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair maupun gas. Penentuan bahan bakar ini menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.

Prinsip kerja dijelaskan pada Gambar II.1 yaitu mula-mula udara dimasukkan dalam kompresor dengan melalui air filter atau penyaring udara agar partikel debu tidak ikut masuk dalam kompresor tersebut. Pada kompresor tekanan udara dinaikkan lalu dialirkan ke ruang

bakar untuk dibakar bersama bahan bakar. Di sini, penggunaan bahan bakar menentukan apakah bisa langsung dibakar dengan udara atau tidak. Jika menggunakan BBG, gas bisa langsung dicampur dengan udara untuk dibakar. Tapi jika menggunakan BBM, harus dilakukan proses pengabutan dahulu pada burner baru dicampur udara dan dibakar. Pembakaran bahan bakar dan udara ini akan menghasilkan gas bersuhu dan bertekanan tinggi yang berenergi (enthalpy). Gas ini lalu disemprotkan ke turbin, hingga enthalpy gas diubah oleh turbin menjadi energi gerak yang memutar generator untuk menghasilkan listrik.



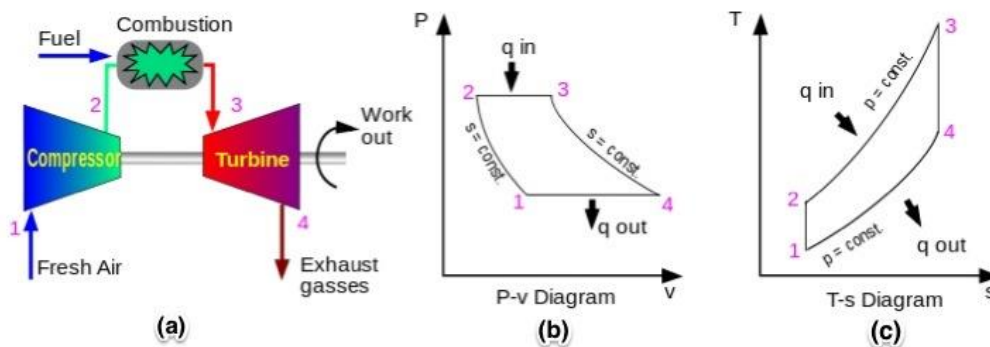
Gambar II.1 Cara Kerja PLTG

(Sumber: fariz1996vj.blogspot)

Kelebihan dari PLTG adalah tidak membutuhkan lahan yang luas, lebih ramah lingkungan, memiliki fondasi yang lebih ringan namun memiliki biaya perawatan yang lebih mahal dan daya yang dihasilkan rendah.

II.1.2.2. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) mempunyai beberapa peralatan utama seperti: Turbin gas (*Gas Turbine*), Kompresor (*Compressor*), Ruang Bakar (*Combustor*). Prinsip kerja dari sebuah PLTG didasarkan pada siklus Brayton seperti pada Gambar II.2.



Gambar II.2 Siklus Brayton

(<http://artikel-teknologi.com>)

Penjelasan tentang siklus Brayton sesuai dengan Gambar II.2 adalah sebagai berikut.

- Proses 1-2 adalah proses pemampatan udara secara isentropik dengan menggunakan kompresor.
- Proses 2-3 adalah pemasukan bahan bakar pada tekanan konstan. Pemasukan bahan bakar ini dilakukan di dalam combuster.
- Proses 3-4 adalah proses ekspansi gas hasil pembakaran (dari combuster). Ekspansi gas panas hasil pembakaran dilakukan pada turbin. Ekspansi dilakukan dalam kondisi isentropik.
- Proses 4-1 adalah proses pembuangan panas pada tekanan konstan.

Pada proses pemampatan udara (proses 1-2), secara termodinamika kompresor membutuhkan kerja sebesar selisih entalpi antara inlet kompresor dengan *exhaust* kompresor. Pada *combuster* (proses 2-3) terjadi pemasukan kalor dari pembakaran bahan bakar bersama-sama dengan udara yang dimampatkan. Sedangkan pada proses ekspansi pada turbin (proses 3-4), gas hasil pembakaran digunakan sebagai tenaga untuk memutar sudu-sudu pada rotor turbin. Rotor yang berputar ini akan memutar poros/*shaft* yang akan memutar poros generator. Generator inilah yang akan membangkitkan listrik. Isentropik merupakan kondisi entropi yang terjadi konstan

Proses dihasilkannya listrik oleh PLTG adalah pertama udara dengan tekanan atmosfer ditarik masuk ke dalam kompresor setelah sebelumnya udara disaring untuk memastikan tidak ada kotoran yang masuk, kemudian udara ditekan masuk ke dalam kompresor. Udara ditekan masuk ke dalam ruang bakar dengan tekanan 250 Psi dicampur dengan bahan bakar dan dibakar dalam ruang bakar dengan temperatur 2000-3000° F. Gas hasil pembakaran yang merupakan energi termal dengan temperatur dari tekanan yang tinggi yang suhunya kira-kira 900° C.

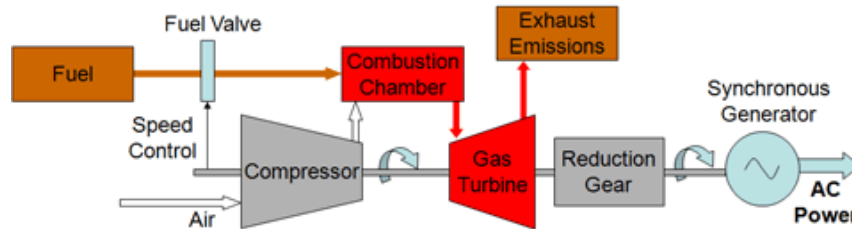
Dari energi panas yang dihasilkan ini kemudian akan dimanfaatkan untuk memutar turbin dimana di dalam sudu-sudu gerak dan sudu-sudu diam turbin, gas panas tersebut, temperature dan tekanan mengalami penurunan dan proses ini biasa disebut dengan proses ekspansi. Selanjutnya energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk memutar generator hingga menghasilkan energi listrik (Najamudin, 2011).

Turbin Gas yang digunakan sebagai penggerak generator oleh PLTG memiliki 2 jenis sistem, yaitu:

1. *Simple Cycle System*

Sistem ini dinamakan *Simple Cycle System* karena dalam sistem ini untuk menghasilkan listrik hanya digunakan turbin gas, dan gas sisa pembakaran dalam turbin langsung dibuang

(Hariyanto, Desain Power Plant Barge 20 MW Tenaga Gas sebagai Unit Pembantu Wilayah Kabupaten Kepulauan Selayar Sulawesi Selatan, 2015). Gambar II.3 merupakan skema sederhana sistem kerja *Simple Cycle System*.

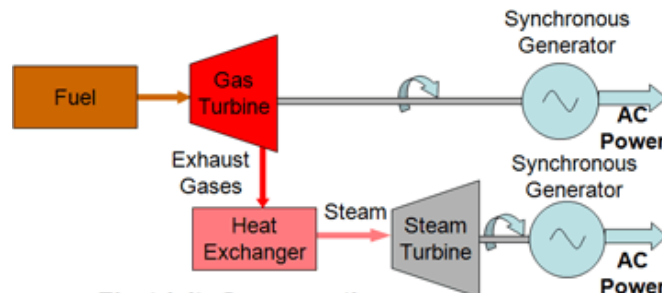


Gambar II.3 *Simple Cycle System*

(<http://www.mpoweruk.com>)

2. *Combined Cycle System*

Sistem yang menggabungkan antara turbin uap dan turbin gas, dimana uap hasil dari turbin gas tidak langsung dibuang melainkan digunakan untuk menggerakkan turbin uap atau HRSG (*Heat Recovery Steam Turbine*) (Hariyanto, Desain Power Plant Barge 20 MW Tenaga Gas sebagai Unit Pembantu Wilayah Kabupaten Kepulauan Selayar Sulawesi Selatan, 2015). Gambar II.4 merupakan skema sederhana sistem kerja *Combined Cycle System*.



Gambar II.4 *Combined Cycle System*

(<http://www.mpoweruk.com>)

II.1.3. Gas Alam

Gas alam sering juga disebut sebagai gas Bumi atau gas mentah, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH_4). Ia dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas Bumi dan juga tambang batu bara.

Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan.

Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), selain itu juga terdapat gas-gas yang mengandung sulfur (belerang). Gas alam juga merupakan sumber utama untuk sumber gas helium. Metana adalah gas rumah kaca yang dapat menciptakan pemanasan global ketika terlepas ke atmosfer,

dan umumnya dianggap sebagai polutan ketimbang sumber energi yang berguna. Meskipun begitu, metana di atmosfer bereaksi dengan ozon, memproduksi karbon dioksida dan air, sehingga efek rumah kaca dari metana yang terlepas ke udara relatif hanya berlangsung sesaat. Sumber metana yang berasal dari makhluk hidup kebanyakan berasal dari rayap, ternak (mamalia) dan pertanian (diperkirakan kadar emisinya sekitar 15, 75 dan 100 juta ton per tahun secara berturut-turut).

Tabel II.1 Komposisi Zat Kimia pada Gas Alam

(Sumber: Wikipedia, 2019)

Komponen	%
Metana (CH ₄)	80-95
Etana (C ₂ H ₆)	5-15
Propana (C ₃ H ₈) and Butana (C ₄ H ₁₀)	< 5

Gas alam dapat berbahaya karena sifatnya yang sangat mudah terbakar dan menimbulkan ledakan. Gas alam lebih ringan dari udara, sehingga cenderung mudah tersebar di atmosfer. Akan tetapi bila ia berada dalam ruang tertutup, seperti dalam rumah, konsentrasi gas dapat mencapai titik campuran yang mudah meledak, yang jika tersulut api, dapat menyebabkan ledakan yang dapat menghancurkan bangunan. Kandungan metana yang berbahaya di udara adalah antara 5% hingga 15%. Pembakaran satu meter kubik gas alam komersial menghasilkan 38 MJ (10.6 kWh) (Wikipedia, 2016).

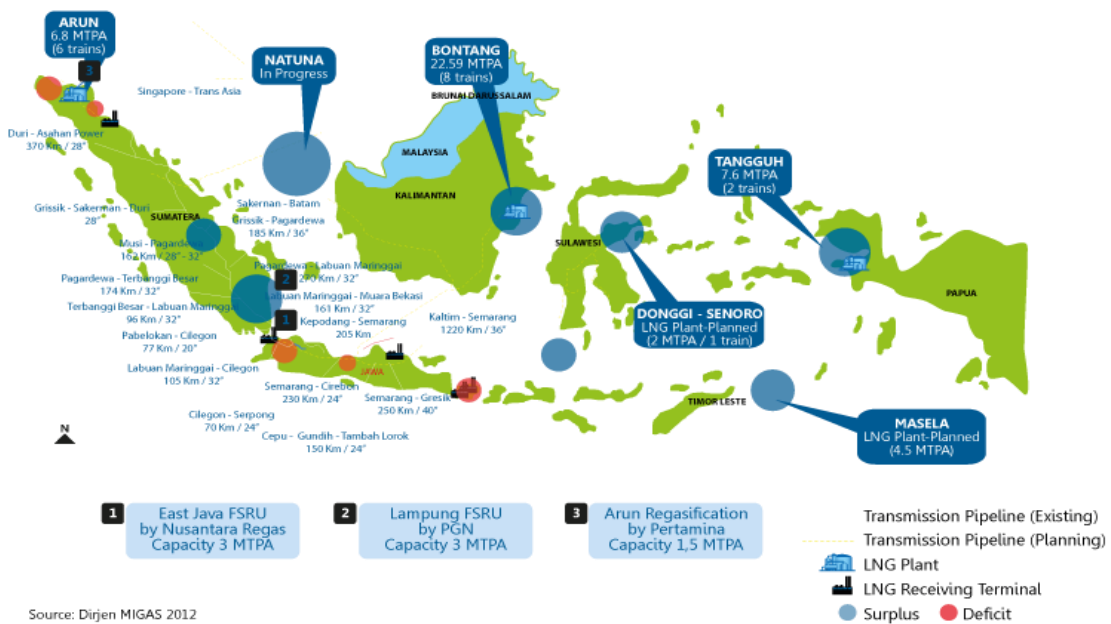
II.1.3.1. Sumber Gas Alam di Indonesia

Pemanfaatan gas alam di Indonesia dimulai pada tahun 1960an di mana produksi gas alam dari ladang gas alam PT. Stanvac Indonesia di Pendopo, Sumatera Selatan dikirim melalui pipa gas ke pabrik pupuk Pusri IA, PT. Pupuk Sriwidjaja di Palembang. Perkembangan pemanfaatan gas alam di Indonesia meningkat pesat sejak tahun 1974, di mana PERTAMINA mulai memasok gas alam melalui pipa gas dari ladang gas alam di Prabumulih, Sumatera Selatan ke pabrik pupuk Pusri II, Pusri III dan Pusri IV di Palembang. Karena sudah terlalu tua dan tidak efisien, pada tahun 1993 Pusri IA ditutup, dan digantikan oleh Pusri IB yang dibangun oleh putra-puteri bangsa Indonesia sendiri. Pada masa itu Pusri IB merupakan pabrik pupuk paling modern di kawasan Asia, karena menggunakan teknologi tinggi. Di Jawa Barat, pada waktu yang bersamaan, 1974, PERTAMINA juga memasok gas alam melalui pipa gas dari ladang gas alam di lepas pantai (*offshore*) laut Jawa dan kawasan Cirebon untuk pabrik pupuk

dan industri menengah dan berat di kawasan Jawa Barat dan Cilegon Banten. Pipa gas alam yang membentang dari kawasan Cirebon menuju Cilegon, Banten memasok gas alam antara lain ke pabrik semen, pabrik pupuk, pabrik keramik, pabrik baja dan pembangkit listrik tenaga gas dan uap.

Selain untuk kebutuhan dalam negeri, gas alam di Indonesia juga di ekspor dalam bentuk LNG (*Liquefied Natural Gas*) ke negara-negara maju seperti Jepang, Korea Selatan, Amerika Serikat dan Cina.

Salah satu daerah penghasil gas alam terbesar di Indonesia adalah Aceh. Sumber gas alam yang terdapat di daerah Kota Lhokseumawe dikelola oleh PT. Arun *NGL Company*.



Gambar II.5 Persebaran Sumber Gas Alam di Indonesia

(Sumber: Dirjen Migas, 2019)

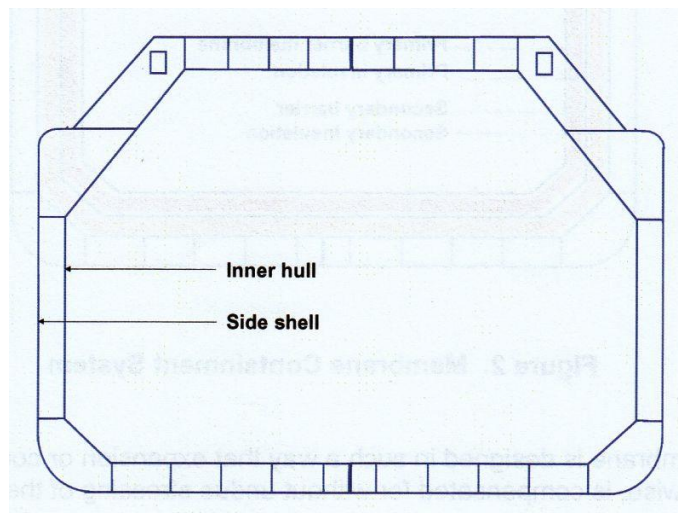
Indonesia menempati posisi ke-11 dalam negara dengan sumber gas alam terbanyak di dunia sebesar 98 trillion cu ft.

II.1.3.2. Jenis Penyimpanan Bahan Bakar LNG

Pada tahun 1975 Sidang ke 9 dari IMO yang mengadopsi *code* untuk Konstruksi dan Perlengkapan Kapal yang membawa gas cair di dalam tangki adalah A.328 (IX) dimana regulasi tersebut telah menyediakan standar internasional untuk kapal yang mengangkut gas cair dalam bentuk curah. Peraturan ini menjadi wajib (*entry into force*) pada tahun 1986 dan pada umumnya disebut sebagai IMO *International Gas Carrier Code*. Persyaratan kode ini juga digabungkan dalam aturan untuk kapal yang mengangkut gas cair dan diterbitkan oleh *Lloyd's Register* dan klasifikasi lainnya.

Regulasi ini mencakup pembatasan kerusakan tangki muatan dan kelangsungan hidup kapal dalam kejadian tabrakan atau karam, keamanan, penanganan muatan, bahan konstruksi, pengendalian lingkungan, proteksi kebakaran, penggunaan ruang muat sebagai bahan bakar, dan lain lain. Dan yang menarik dalam konteks konstruksi kapal di dalam *code* ini adalah bagian pada peraturan muatan yang mendefinisikan sebagai jenis ruang muat. Salah satunya yaitu lapisan luar yang menahan ruang muat dalam melindungi lambung kapal. Karena struktur dari efek *embrittling* (penggetasan) dari suhu rendah pada muatan LNG harus dijaga oleh lapisan tersebut untuk menghindari kebocoran dari struktur tangki primer. Jenis lapisan penahanan dalam tersebut dijelaskan di bawah ini (International Maritime Organization, 1993).

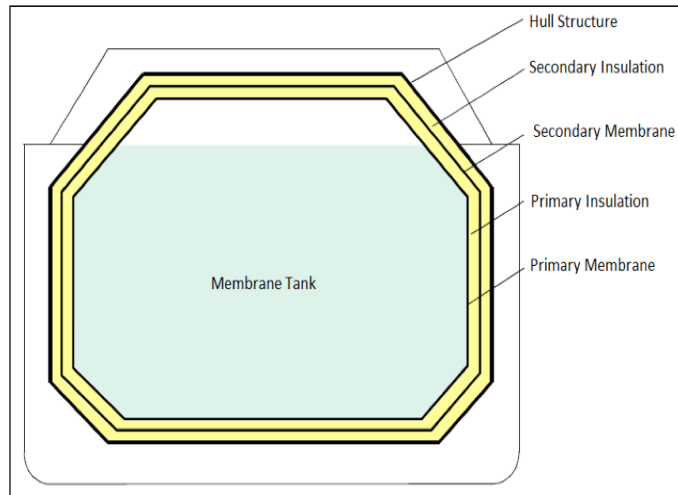
Integral Tanks yaitu tangki yang bagian strukturalnya dari lambung kapal dipengaruhi dengan cara yang sama dan dengan beban yang sama pada struktur stressnya pada lambung karena berada tepat disebelahnya. Tangki ini digunakan untuk pengangkutan LPG atau gas yang kondisinya dekat dengan tekanan atmosfer, misalnya butana, di mana tidak ada ketentuan untuk ekspansi dan pemuaian termal dari tangki.



Gambar II.6 *Integral Tank*

(Sumber: IMO, 1993)

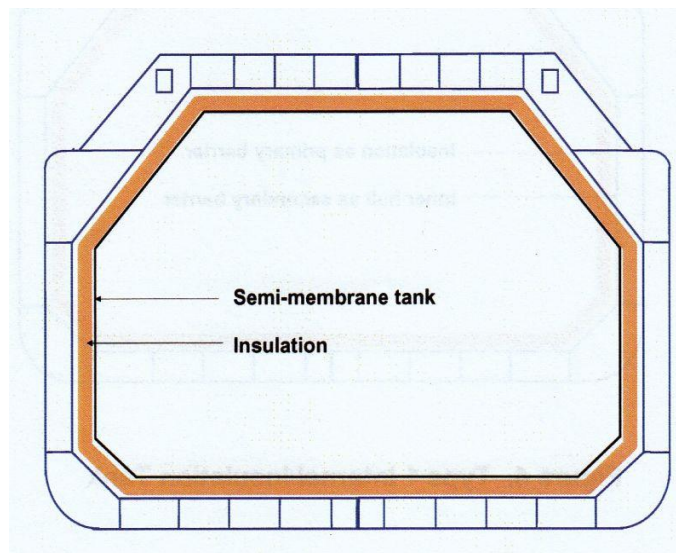
Membrane Tank adalah tangki *non supported tank* yang terdiri dari lapisan tipis (membran) yang ditunjang melalui isolasi oleh lambung yang berdekatan dengan struktur. Membran ini dirancang sedemikian rupa sehingga termal dan ekspansi lainnya atau pemuaiannya dikompensasikan tanpa harus menekankan dari membran. Membran tank terutama digunakan untuk kapal pengangkut LNG.



Gambar II.7 Membrane Tank

(Sumber: IMO, 1993)

Semi-Membrane Tank adalah tangki *non supported tank* yang dalam kondisi yang memiliki beban. Bagian datar dari tangki mensupport untuk mentransfer berat beban dan kekuatan dinamis melalui lambung, tetapi sudut bulat dan ujung-ujungnya tidak mensupport sehingga tangki berekspansi dan berkontraksi yang disalurkan akan tertahan. Tangki tersebut dikembangkan untuk pengangkutan LNG, tetapi memiliki telah digunakan untuk kapal sebagian kecil Kapal LPG.



Gambar II.8 Semi-membrane Tank

(Sumber: IMO, 1993)

Berdasarkan *The International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoints Fuels (IGF Code)* (Resolution MSC.370(93)) kategori tangki penyimpanan gas di bagi menjadi:

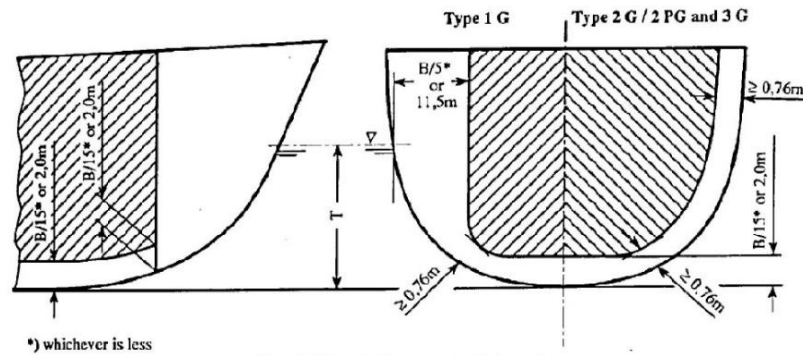
- **Tipe A**, dirancang terutama menggunakan metode standar tradisional untuk menganalisa struktur kapal. Biasanya LPG atau yang tekanannya mendekati atmosfer atau LNG pun dapat disimpan dalam tangki ini.
- **Tipe B**, dirancang dengan menggunakan alat dan metode analisis yang lebih modern dalam menentukan tingkat tegangan (*stress*), umur kelelahan (*fatigue*) dan penjaralan karakteristik retak (*fracture*). Muatan LNG biasanya dibawa dalam tangki tipe ini.
- **Tipe C**, dirancang sebagai bejana tekan (*pressure vessel*), didesain yang dominan berkriteria menjadi tekanan uap. Biasanya digunakan untuk LPG dan terkadang digunakan untuk etilen.

Tabel II.2 Perbandingan Jenis Tangki Tipe A, B dan C
(Sumber: IGF Code, 2016)

Tank type	Description	Pressure	Pros	Cons
A	Prismatic tank, adjustable to hull shape; full secondary barrier	<0.7 bar g	Space-efficient	Boil-off gas handling. More complex fuel system required High costs
B	Prismatic tank, adjustable to hull shape; partial secondary barrier	<0.7 bar g	Space-efficient	Boil-off gas handling. More complex fuel system required High costs
	Spherical tank; partial secondary barrier		Reliably proven in LNG carriers	Boil-off gas handling. More complex fuel system required
C	Pressure vessel, cylindrical with dished ends	>2 bar g	Allows pressure increase Simple fuel system Little maintenance Easy installation Lower costs	On board space requirements

II.1.3.3. Penyusunan Tanki LNG

Tangki muatan LNG harus diletakkan ruang muat pada kapal sesuai dengan konfigurasi yang dijelaskan sebagai berikut (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014):



Gambar II.9 Penyusunan Tangki Muat LNG
(Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia, 2014)

II.1.3.4. Gas Alam Cair sebagai Bahan Bakar

Gas alam cair (LNG) merupakan bahan bakar alternatif untuk penggerak kapal. LNG membutuhkan peralatan khusus agar gas alam dapat terjaga suhunya sehingga tetap dalam bentuk cair. Berikut ini adalah keuntungan dan kerugian yang potensial dari pengaplikasian LNG sebagai bahan bakar:

- Menghasilkan sedikit CO₂, atau emisi SO_x ke atmosfer;
- Dapat digunakan pada mesin *Internal Combustion* maupun *External Combustion*;
- Menghasilkan uap gas (*boil-off gas*) yang rawan meledak.

II.1.4. Heavy Fuel Oil (HFO)

Heavy Fuel Oil (HFO) bukan merupakan produk hasil destilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel. Pemakaian BBM jenis ini umumnya untuk pembakaran langsung pada industri besar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk *steam power station* dan beberapa penggunaan yang dari segi ekonomi lebih murah dengan penggunaan minyak bakar (Admin, 2013).

HFO adalah produk penyulingan minyak bumi, dimana dihasilkan setelah residu dan sebelum aspal. HFO memiliki berat jenis 860 kg/m³ dan nilai panas pembakaran (HV) 10.000 kcal/h. Di Indonesia, HFO yang diperdagangkan memiliki kekentalan 180-480cst (terbanyak 380cst) dengan ukuran partikel 0-100 mikrometer dan memiliki kecenderungan pengumpalan partikel menjadi aspal. Beberapa kegunaan dari HFO :

1. Pabrik/industri *Boiler* (ketel uap), *Heating* (pemanas), *Drying* (pengering), *Furnace* (dapur/tungku industri).
2. Industri Pertanian Pemanas (untuk pemanas ruangan, pada negara musim dingin), Pemanas Tembakau (*Tobacco heating*).

3. Industri Konstruksi Mesin–mesin konstruksi, Pemanas Pabrik Aspal (*asphalt plant heating*).
4. Transportasi laut mesin generator listrik.
5. Bahan bakar mesin diesel kapal.
6. Bahan bakar pembangkit listrik.
7. Industri lain pemanas gedung (negara beriklim dingin), Bulldozer (*Road transportation*).

Tabel II.3 Spesifikasi *Heavy Fuel Oil* (HFO)

(<https://www.scribd.com>)

Property	Unit	Limit HFO
Viscosity at 100 ^o C, max	cSt	55
Viscosity at 50 ^o C, max	cSt	700
Viscosity; before injection pumps	cSt	16... .24
Density at 50 ^o C, max	kg/m ³	991/1010
CCAI, max		850
Water, max	% volume	0.5
Water before engine, max	% volume	0.3
Sulphur, max	% mass	1.5
Ash, max	% mass	0.05
Vanadium, max	mg/kg	100
Sodium, max	mg/kg	50
Sodium before engine, max	mg/kg	30
Aluminium + Silicon, max	mg/kg	30
Aluminium + Silicon before engine, max	mg/kg	15
Carbon residue, max	% mass	15
Asphaitenes, max	% mass	8
Flash point (PMCC), max	^o C	60
Pour Point, max	^o C	30
Total sediment potential, max	% mass	0.1
Used lubricating oil, calcium, max	mg/kg	30
Used lubricating oil, zinc, max	mg/kg	15
Used lubricating oil, phosphorus, max	mg/kg	15

II.1.5. Hazardous Area

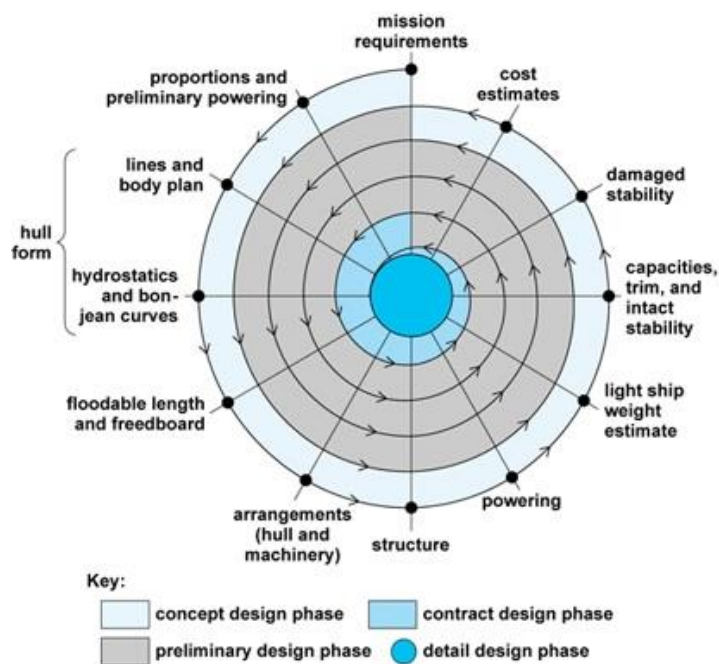
Hazardous Area atau zona berbahaya yang berkaitan dengan *explosive gas* merupakan pembagian ruang atau tempat pada lingkungan kerja yang melibatkan produk gas. UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*), salah satu badan PBB yang mengawasi dan meneliti risiko serta bahaya yang ada di lingkungan kerja, menetapkan adanya pembagian tiga zona berbahaya berdasarkan frekuensi dan durasi munculnya uap gas alam baik disengaja maupun tidak sengaja (Health and Safety Executive of UK, 2016):

- Zone 0 (Munculnya uap gas secara terus menerus pada keadaan normal).
- Zone 1 (Munculnya uap gas dapat terjadi pada keadaan normal).
- Zone 2 (Munculnya uap gas sangat jarang terjadi pada keadaan normal).

II.1.6. Teori Desain

Proses mendesain kapal adalah proses berulang, yaitu seluruh perencanaan dan analisis yang dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Desain ini digambarkan pada desain spiral (*the spiral design*) seperti pada Gambar II.1. Desain spiral membagi seluruh proses menjadi 4 tahapan yaitu: *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* (Watson D. G., 1998).

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan pendesainan kapal pembangkit listrik tenaga gas sebatas *concept design* saja. Oleh karena itu, proses desain yang dibahas hanya sebatas *concept design*.



Gambar II.10 *The Spiral Diagram*

(<http://navalarchitectsaustralia.blogspot.co.id>)

II.1.6.1. *Concept Design*

Concept design atau konsep desain kapal merupakan tahap lanjutan setelah adanya *Owner requirement*. Konsep desain kapal adalah tugas atau misi desainer untuk mendefinisikan sebuah objek untuk memenuhi persyaratan misi dan mematuhi kendala/permasalahan yang ada. Konsep bisa dibuat dengan menggunakan rumus pendekatan, kurva ataupun pengalaman untuk membuat perkiraan-perkiraan awal yang bertujuan untuk mendapatkan estimasi biaya konstruksi, biaya permesinan kapal dan biaya peralatan serta perlengkapan kapal. Hasil dari tahapan konsep desain ini umumnya berupa gambar atau sketsa, baik sebagian ataupun secara lengkap (Aryandiandra, 2015).

II.1.7. Metode Desain Kapal

Setelah melakukan tahap-tahapan desain di atas, langkah selanjutnya dalam proses desain kapal menentukan metode desain kapal. Secara umum metode dalam desain kapal adalah sebagai berikut:

II.1.7.1. *Parent Design Approach*

Parent design approach merupakan salah satu metode dalam mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara menganbil sebuah kapal yang dijadikan sebagai acuan kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan dirancang. Dalam hal ini desainer sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan kapal yang akan dirancang, dan terbukti mempunyai *performance* yang bagus.

Keuntungan dalam *parent design approach* adalah :

- Dapat mendesain kapal lebih cepat, karena sudah ada acuan kapal sehingga tinggal memodifikasi saja.
- Performance kapal terbukti (*stability, motion, reistance*)

II.1.7.2. *Trend Curve Approach*

Dalam proses desain kapal terdapat beberapa metode salah satunya yaitu *Trend Curve approach* atau biasanya disebut dengan metode statistik dengan memakai regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan *main dimension*. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding dikomparasi di mana variabel dihubungkan kemudian ditarik suatu rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan dirancang.

II.1.7.3. *Iteratif Design Approach*

Iteratif desain adalah sebuah metodologi desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping, testing, dan analyzing*. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan

berdasarkan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada. Proses desain kapal memiliki sifat iteratif yang paling umum digambarkan oleh spiral desain yang mencerminkan desain metodologi dan strategi. Biasanya metode ini digunakan pada orang-orang tertentu saja (sudah berpengalaman dengan menggunakan *knowledge*).

II.1.7.4. *Parametric Design Approach*

Parametric design approach adalah metode yang digunakan dalam mendesain kapal dengan parameter misalnya (L, B, T, Cb, LCB dll) sebagai *main dimension* yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dihitung hambatannya (Rt), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, *trim*, dan lain-lain.

II.1.7.5. *Optimization Design Approach*

Metode optimasi digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimum serta kebutuhan daya motor penggeraknya pada tahap *basic design*. Dalam hal ini, disain yang optimum dicari dengan menemukan disain yang akan meminimalkan *economic cost*. Adapun parameter dari optimasi ini adalah hukum fisika, kapasitas ruang muat, stabilitas, *freeboard*, *trim*, dan harga kapal.

II.1.8. Prinsip Archimedes

Prinsip Archimedes menyatakan bahwa gaya apung ke atas yang diberikan pada tubuh yang dibenamkan dalam fluida, baik sepenuhnya atau sebagian terendam, sama dengan berat cairan yang dipindahkan tubuh dan mengarah ke atas pada pusat massa cairan yang dipindahkan. Prinsip Archimedes adalah hukum fisika yang fundamental bagi mekanika fluida. Itu diformulasikan oleh *Archimedes of Syracuse*.

II.1.9. Tinjauan Teknis Desain Kapal

II.1.9.1. Ukuran Utama Kapal

Terdapat langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran utama kapal yang dirancang dalam proses mendesain kapal. Langkah-langkah ini berlaku pada umumnya untuk berbagai tipe kapal. Ukuran utama yang dicari harus sesuai dengan jenis kapal yang telah ditentukan. Ukuran-ukuran tersebut antara lain:

- LPP (*Length Between Perpendicular*) adalah panjang yang diukur antara jarak horizontal garis tegak buritan (*After Perpendicular*) hingga garis tegak haluan (*Fore Perpendicular*).

- LOA (*Length Overall*) adalah panjang yang diukur antara jarak horizontal dari titik terluar bagian depan sampai titik terluar bagian belakang kapal.
- B_m (*Moulded Breadth*) adalah lebar kapal yang diukur dari bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal yang terbuat dari baja, sedangkan untuk kapal non-logam diukur dari kedua sisi terluar kulit kapal.
- H (*Height*) adalah jarak tegak yang diukur pada bagian tengah kapal, dari atas lunas sampai sisi atas balok geladak di sisi kapal.
- T (*Draught*) adalah jarak yang diukur dari sisi atas lunas sampai permukaan air.

II.1.9.2. Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan dilakukan untuk mendapatkan daya mesin yang dibutuhkan. Nilai yang mempengaruhi besarnya hambatan adalah ukuran dari kapal, badan kapal yang tercelup dalam air, serta kecepatan yang diinginkan. Dalam menghitung hambatan pada kapal ini menggunakan metode holtrop.

Total Resistance :

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot (C_F (1+k) + C_A) + (R_w/W) \cdot W \quad (II.1)$$

Variable-variabelnya yaitu:

1. Hambatan kekentalan (*viscous resistance*)

Hambatan kekentalan adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengintegrasikan tegangan tangensial keseluruhan permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal. persamaannya adalah:

$$R_V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_{FO} \cdot (1+k_1) \cdot S \quad (II.2)$$

Dimana:

- $1+k_1 = \text{factor}$ bentuk lambung kapal
- $1+k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot C \cdot (B/L)^{1,081} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L^3/V)^{0,3649} \cdot (1-C_p)^{-0,6042}$
- $1+k = 1+k_1 + [1+k_2 - (1+k_1)] S_{APP}/S_{TOT}$
- $1+k_2 = \text{koefisien}$ karena bentuk tonjolan pada lambung kapal

Harga $1+k_2$ (Holtrop, 1984) ditunjukkan pada Tabel II.4:

Tabel II.4 Harga $1+k_2$

<i>Type of Appendages</i>	<i>Value of 1+k2</i>
<i>Rudder of single screw ships</i>	1.3 to 1.5
<i>Spade type rudder of twin screw ships</i>	2.8
<i>Skeg-rudders of twin-screw ships</i>	1.5 to 2

Type of Appendages	Value of 1+k2
Shaft Brackets	3.0
Bossing	2.0
Bilge keel	1.4
Stabilizer fins	2.8
Shafts	2.0
Sonar dome	2.7

2. Hambatan Gelombang (*wave resistance*)

Tahanan gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh gelombang pada saat kapal berjalan dengan kecepatan tertentu.

Persamaannya adalah:

$$R_w/W = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}} \quad (II.3)$$

3. Model ship correlation allowance

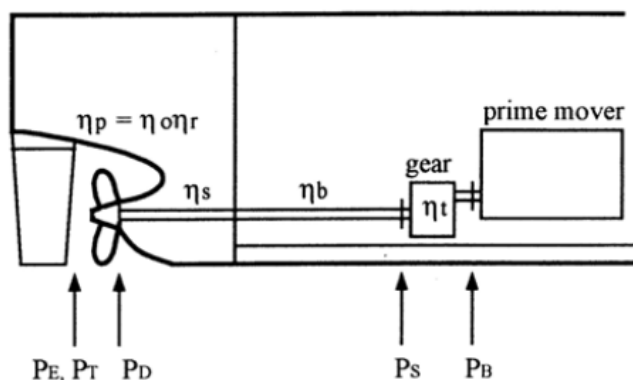
$$C_A = 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad (II.4)$$

- for $T_f/L_{wl} > 0.04$

II.1.9.3. Perhitungan Propulsi Kapal

Dengan mengetahui hambatan yang dihasilkan oleh kapal, desainer mampu menentukan kapasitas mesin yang diperlukan oleh kapal untuk melawan hambatan tersebut sehingga kapal mampu berlayar dengan kecepatan yang telah ditentukan, maka nilai *Break Horse Power* (BHP/ P_B) yang dihasilkan oleh kapal harus dihitung.

Namun, sebelum itu nilai *Effective Horse Power* (EHP/ P_E), *Thrust Horse Power* (THP/ P_T) dan *Delivered Horse Power* (DHP/ P_D) dan nilai-nilai efisiensi harus didapat terlebih dahulu. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada Gambar II.8 (Parsons, 2001).



Gambar II.11 Sistem Propulsi Kapal

(Sumber: Parametric Design, 2001)

II.1.9.4. Perhitungan Daya Mesin

Dengan mengetahui hambatan yang dialami kapal dan juga efisiensi dari propeller yang direncanakan maka dapat dihitung daya mesin yang dibutuhkan.

$$P_B = \text{BHP} = P_D / \eta_s \cdot \eta_{rg} \quad (\text{II.5})$$

Dimana :

$$P_D = (R_T \cdot V_s) / \eta_D \quad (\text{II.6})$$

II.1.9.5. Perhitungan Berat Baja

Kapal pembangkit listrik tenaga gas ini merupakan kapal baja, oleh karena itu pada tahap ini perhitungan berat baja kapal dilakukan dengan rumus dari buku Practical Ship Design. Selain menghitung berat baja kapal kosong, juga dilakukan perhitungan berat perlengkapan, berat permesinan serta berat cadangan. Adapun rumus dasar perhitungan ini adalah:

1. Menghitung LWT kapal

LWT atau *Light Weight Tonnage* adalah berat kapal kosong yang terdiri dari berat baja kapal, berat deck house, berat power plant house, berat electrical house, peralatan dan perlengkapan, permesinan, serta gas power plant dan komponen-komponenya.

2. Menghitung DWT kapal

DWT atau *Dead Weight Tonnage* yang merupakan bobot mati kapal atau muatan maksimum yang dapat diangkut dalam satuan ton. Pada kasus ini, DWT kapal terdiri dari berat *crew*, bahan bakar LNG dan bahan bakar konvensional (HFO) untuk mesin *dual fuel*, bahan bakar konvensional (HFO) untuk generator, minyak pelumas (*lubrication oil*), air bersih (*fresh water*) dan juga berat *provision* serta *natural gas* untuk gas turbine.

II.1.9.6. Perhitungan *Freeboard*

Freeboard adalah selisih antara tinggi kapal dengan sarat kapal, dimana untuk tinggi kapal mencakup tebal kulit dan lapisan kayu (jika ada) sedangkan sarat T diukur pada sarat musim panas.

Panjang *freeboard* adalah panjang yang diukur sebesar 96% panjang garis air (LWL) pada 85% tinggi kapal *moulded* (Hm). Untuk pemakaian panjang *freeboard* dalam perhitungan, dipilih yang terpanjang antara Lpp dan 96% LWL pada 85% Hm.

Lebar *freeboard* adalah lebar *moulded* kapal pada *midship* (Bm). Tinggi *freeboard* adalah tinggi yang diukur pada *midship* dari bagian atas *keel* sampai pada bagian atas *freeboard deck beam* yang ada di sisi kapal ditambah dengan *pelat stringer* (senta) bila geladak tanpa penutup kayu.

Tujuan dari aturan *freeboard* adalah untuk menjaga keselamatan penumpang, *crew*, muatan, dan kapal itu sendiri. Bila kapal memiliki *freeboard* tinggi maka daya apung cadangan akan besar sehingga kapal memiliki sisa pengapungan apabila mengalami kerusakan.

Untuk menentukan *freeboard*, perlu diketahui terlebih dahulu tipe kapal yang dirancang dengan melihat dari beberapa ketentuan yang ada untuk tipe-tipe tersebut.

- Tipe A:

1. Kapal yang didisain memuat muatan cair dalam *bulk*.
2. Kapal yang mempunyai integritas tinggi pada geladak terbuka dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, ditutup sekat penutup baja yang kedap atau material yang *equivalent*.
3. Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.

Contoh kapal tipe A : Kapal *Tanker*, *LNG Carrier*, dll.

- Tipe B :

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

Contoh kapal tipe B : *Grain carrier*, *ore carrier*, *general cargo*, *passenger ships*, *Ro-Ro*, dll.

Untuk perhitungan *freeboard*, semua rumus yang diberikan mengacu pada "International Convention on Load Lines 1966, Protocol of 1988, Consolidated Edition 2005". Untuk kapal tanpa penggerak sendiri, *freeboard* menurut Regulation 27 (14) diberi *freeboard* 25% lebih kecil dari hasil perhitungan regulasi ini. Hasil yang didapatkan adalah minimum tinggi minimum *freeboard* yang diijinkan sehingga kapal bisa berlayar dengan rute Pelayaran Internasional.

II.1.9.7. Perhitungan *Trim*

Perhitungan *trim* kapal ditujukan untuk mengetahui apakah keadaan suatu kapal mengalami even keel atau mengalami perbedaan sarat antara bagian haluan (*forepeak*) dan bagian buritan (*afterpeak*). Jenis *trim* pada kapal pada umumnya dibagi menjadi dua jenis, yaitu *trim by bow* dan *trim by stern*. *Trim* maksimal pada kapal menurut *SOLAS Chapter II-1 Part B Regulation 5* yaitu sebesar 0.5% L_{wl} , dimana *trim* pada kapal tidak boleh melebihi batasan maksimal tersebut. *Trim* sendiri dihitung dengan mencari selisih antara *trim* pada bagian haluan dan *trim* pada bagian buritan.

II.1.9.8. Perhitungan Stabilitas

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi kesetimbangan pada kondisi air tenang saat kapal tersebut mengalami gangguan. Secara umum hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu:

- a. Faktor internal yaitu tata letak barang/cargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan
- b. Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai

Titik-titik penting stabilitas kapal antara lain adalah :

- a. 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).

- b. 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 (Wakidjo, 1972).

- c. 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).

- d. 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. Nilai KG dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan *vertical centre of gravity* (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut, selanjutnya jumlah momen-momen seluruh bobot di kapal dibagi dengan jumlah bobot menghasilkan nilai KG pada saat itu.

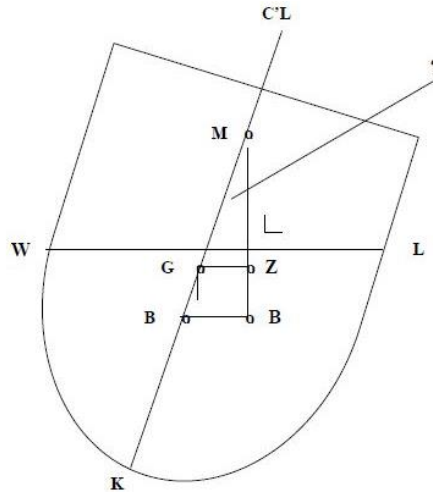
- e. GM (Tinggi Metasentris)

Tinggi metasentris atau *metacentris high* (GM) merupakan jarak tegak antara titik G dan titik M.

- f. 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 (Rubianto, 1996). Momen penegak atau lengan penegak Pada waktu kapal miring, maka titik B pindah ke B1, sehingga garis gaya berat bekerja ke bawah melalui G dan gaya keatas melalui B1. Titik M merupakan busur dari gaya-gaya tersebut. Bila dari titik G ditarik garis



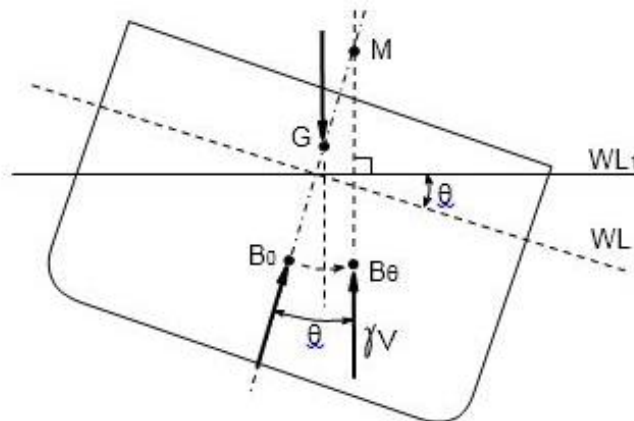
Gambar II.12 Ilustrasi Momen Penegak Kapal

(Sumber Gambar: (Farras, 2018))

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu :

a. Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)

Suatu keadaan dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu menyenget mesti memiliki kemampuan untuk menegak kembali.



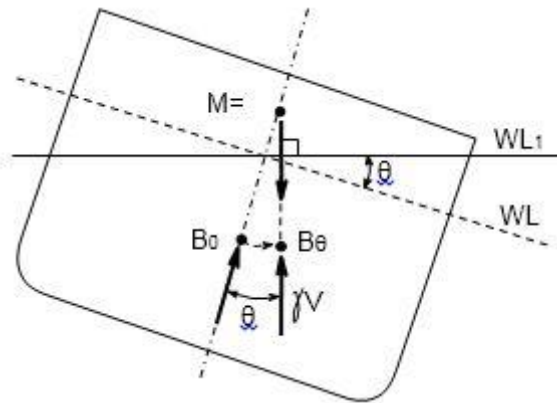
Gambar II.13 Kondisi Stabilitas Positif

(Sumber Gambar: (Farras, 2018))

b. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak

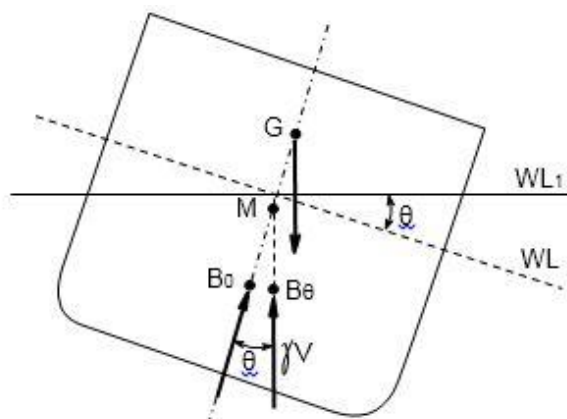
memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu menyenget. Dengan kata lain bila kapal senget tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut senget yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.



Gambar II.14 Kondisi Stabilitas Netral
(Sumber Gambar: (Farras, 2018))

c. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu menyenget tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut sengetnya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan momen penerus atau healing moment sehingga kapal akan bertambah miring.



Gambar II.15 Kondisi Stabilitas Negatif
(Sumber Gambar: (Farras, 2018))

Ada beberapa kriteria utama dalam menghitung stabilitas kapal. Kriteria stabilitas tersebut diantaranya [*IS Code 2008*] adalah:

1. $e_{0,30^\circ} \geq 0.055 \text{ m.rad}$
Luas gambar di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055 \text{ m.rad}$
2. $e_{0,40^\circ} \geq 0.09 \text{ m.rad}$
Luas gambar di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.09 \text{ m.rad}$
3. $e_{30,40^\circ} \geq 0.03 \text{ m.rad}$
Luas gambar di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ\text{-}40^\circ \geq 0.03 \text{ m.rad}$
4. $h_{30^\circ} \geq 0.2 \text{ m}$
lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 m pada sudut oleng 30° atau lebih.
5. H_{\max} pada $\phi_{\max} \geq 25^\circ$
Lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 25°
6. $GM_0 \geq 0.15 \text{ m}$
Tinggi metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

II.2. Tinjauan Pustaka

Berisi referensi dan/atau hasil penelitian terdahulu yang relevan yang digunakan untuk menguraikan teori, temuan, dan bahan penelitian atau desain lain yang diarahkan untuk menyusun kerangka pemikiran atau konsep yang akan digunakan dalam penelitian atau desain.

II.2.1. Sistem Permesinan *Dual Fuel*

Mesin *dual fuel* beroperasi menggunakan *Liquified Natural Gas* (LNG) dan *marine diesel fuel oil* (MDO/MDF) secara bersamaan. Pada proses pembakaran, sebagian besar bahan bakar yang terbakar adalah gas alam dan bahan bakar solar yang memiliki fungsi sebagai *pilot fuel* atau pemantik saat dimulainya proses pembakaran.

Penggunaan bahan bakar solar dapat mempertahankan rasio kompresi dan efisiensinya. Sedangkan gas alam di sini berkontribusi untuk meneruskan pembakaran yang terjadi secara terus menerus sehingga menghemat konsumsi bahan bakar minyak dan mengurangi emisi hasil gas buang. Pada mesin *dual fuel*, ketika berjalan di mode gas, mesin *dual fuel* bertindak sesuai dengan prinsip *Otto*, saat gas dicampur dengan udara sebelum mulai kompresi, tekanan gas sekitar 5 bar. Tekanan gas ini dalam kisaran yang sama dengan tekanan gas pada instalasi turbin uap. Dekat dengan pusat *topdead*, bahan bakar minyak disuntikkan dalam jumlah yang sangat kecil untuk memicu pengapian.

Selain berjalan di gas, mesin *dual fuel* juga dapat berjalan dengan bahan bakar minyak konvensional (MDO, HFO). Ketika berjalan dengan bahan bakar minyak saja, mesin *dual fuel*

bertindak sebagai mesin diesel normal. Sistem berbahan bakar ganda ini memiliki hasil pembakaran yang bersih sehingga emisi yang dihasilkan menjadi lebih berkurang. Dengan begitu, penerapan sistem berbahan bakar ganda mampu menghemat pengeluaran konsumsi bahan bakar serta mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin dengan sistem berbahan bakar tunggal (Ariana, 2013).

II.2.2. Kapal Pembangkit Listrik

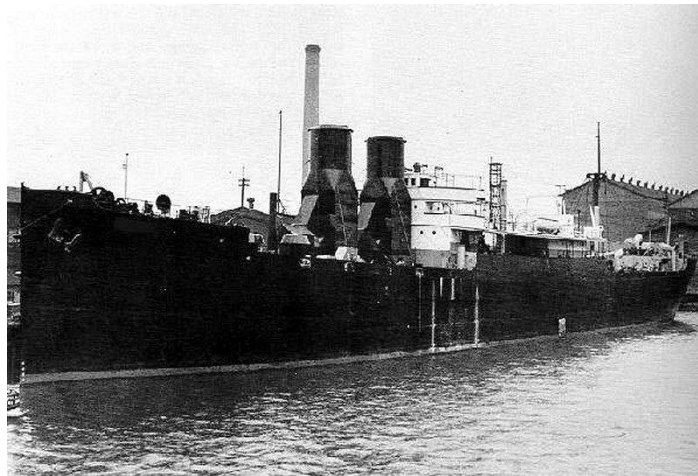
Kapal pembangkit listrik adalah kapal yang dibuat dengan tujuan khusus yaitu sebagai pembangkit listrik terapung dengan memanfaatkan suatu energi seperti energi gelombang, uap, ataupun nuklir. Energi yang didapatkan tersebut kemudian dikonversi menjadi energi listrik yang kemudian disimpan dalam sebuah penyimpanan atau baterai sebelum dialirkan ke darat.

Pada umumnya kapal pembangkit listrik memiliki sistem penggerak sendiri untuk membantu mobilitasnya berpindah dari suatu wilayah ke wilayah lain. Namun pada beberapa kasus ada beberapa kapal pembangkit listrik yang tidak dilengkapi dengan sistem penggerak sendiri sehingga membutuhkan bantuan kapal tunda untuk mobilitasnya. Dari segi operasional, kapal pembangkit listrik ada yang memiliki penyimpanan bahan bakar sendiri namun ada juga kapal yang membutuhkan bahan bakar untuk pembangkitnya dari luar kapal, sehingga membutuhkan suplai bahan bakar dari luar misalnya dialirkan dari darat atau diperoleh dari kapal LNG atau *tanker* yang kemudian dialirkan ke kapal pembangkit listrik tersebut. Kapasitas yang tersedia juga beragam mulai dari 30 MW hingga 120 MW tergantung dengan kebutuhan yang diperlukan, umumnya kapal pembangkit listrik ini ditempatkan pada negara kepulauan untuk ditempatkan pada pulau yang memiliki keterbatasan infrastruktur atau dapat juga digunakan sebagai backup power ketika dilakukan peningkatan kapasitas pada suatu pembangkit.

II.2.2.1. Perkembangan Kapal Pembangkit Listrik

Kapal pembangkit listrik pertama dikembangkan di Amerika pada tahun 1931 yaitu SS *Jacona* seperti dapat dilihat pada Gambar II.16. Kapal ini dibangun untuk mengatasi pembangkit listrik Amerika yang mengalami kerusakan selama badai salju. SS *Jacona* menggunakan tenaga uap sebagai pembangkit listrik dengan daya yang dihasilkan sebesar 30 MW. Setelah itu kapal pembangkit listrik dengan menggunakan energi lainnya mulai dikembangkan seperti *hybrid* yaitu menggunakan *heavy fuel* atau *natural gas*, energi nuklir, dan menggunakan gas turbin. Hingga saat ini ada sekitar 80 pembangkit listrik apung atau

floating power plant dimana kebanyakan dari *floating power plant* tersebut menggunakan *barge* sebagai dasarnya.



Gambar II.16 SS. Jacona

(Sumber: navsource. 2016)

Kelebihan kapal pembangkit listrik dibandingkan dengan pembangkit listrik darat adalah:

1. Mampu menyuplai listrik untuk daerah dengan infrastruktur yang minim
2. Merupakan aset bergerak, memungkinkan untuk pindah tempat
3. Tidak membutuhkan area yang luas, sehingga tidak membutuhkan biaya pembebasan lahan
4. Tidak bergantung pada kualitas tanah, sehingga dapat ditempatkan dimana saja
5. Proses pembangunan yang lebih cepat.

Hingga saat ini ada sekitar 75 kapal pembangkit listrik dari berbagai perusahaan manufaktur yang tersebar di seluruh dunia dimana kebanyakan dari kapal pembangkit listrik tersebut menggunakan *dual fuel engine*.

Kapal pembangkit listrik ini menjadi solusi bagi kebanyakan negara berkembang dimana kebutuhan listrik yang ada tidak didukung oleh suplai listrik yang memadai sehingga membutuhkan pasokan listrik yang cepat dan besar serta mampu berpindah tempat. Selain digunakan untuk daerah berkembang, kapal pembangkit listrik ini juga digunakan sebagai daya tambahan ketika pembangkit listrik utama dalam proses peningkatan kapasitas atau ketika pembangkit listrik utama mengalami masalah.

Industri kapal pembangkit listrik diperkirakan akan mengalami pertumbuhan sebesar 10.35% dari tahun 2017 hingga 2023, hal ini karena kapal pembangkit listrik ini masih menjadi pilihan utama bagi negara berbentuk kepulauan untuk memenuhi kebutuhan listrik daerah yang

tidak terkoneksi dengan jaringan utama. Selain itu masalah tentang global warming, polusi, dan perubahan iklim juga mendorong penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan. Selain itu dengan bertambahnya jumlah penduduk yang membutuhkan lahan untuk tempat tinggal mendorong industri kapal pembangkit listrik ini yang tidak membutuhkan lahan di darat. Keberadaan pembangkit listrik darat juga membutuhkan ketersediaan lahan yang luas dan juga mampu mempengaruhi substansi di sekitar lokasi pembangkit, misalnya kualitas udara, tanah, dan air. Selain itu kapal pembangkit listrik juga lebih aman dari ancaman gempa bumi, pergeseran tanah, dan juga lebih cepat dari segi waktu pembangunan. (Market Research Future, 2017)

II.2.2.2. Karadeniz Holding

Karadeniz Holding merupakan perusahaan asal Turki yang berdiri sejak tahun 1948, awalnya perusahaan ini bergerak di bidang alat berat untuk industri kemudian berkembang ke berbagai bidang seperti bidang energi, real estate, dan pariwisata.

Karadeniz Holding memiliki anak perusahaan yaitu Karadeniz Energy yang bergerak di bidang energi sejak tahun 1996. Pada tahun 1999 Karadeniz Energy membuat pembangkit listrik pertamanya di Sirnak, Turki dan kemudian terus berkembang hingga sekarang memiliki kapal pembangkit listrik yang dinamakan *PowerShip*. Karadeniz Energy merupakan perusahaan pertama di dunia yang mengembangkan dan mengoperasikan kapal pembangkit listrik. Hingga saat ini Karadeniz Energy dengan *powerShip*-nya memiliki kerjasama setidaknya dengan lima negara untuk kapal pembangkit listrik ini yaitu Ghana, Libanon, Irak, Zambia, dan Indonesia dengan total kapasitas yang terpasang mencapai 2700 MW dan juga 20 *powerShip* masih dalam proses pembangunan dengan kapasitas total 5.300 MW.

Kapal pembangkit listrik yang dibangun oleh Karadeniz Energy ini menggunakan mesin *dual fuel* dengan bahan bakar natural gas atau heavy fuel oil untuk pembangkit listriknya dan memiliki beragam kapasitas pembangkit dari 60 MW hingga 620 MW.

Saat ini PT PLN menyewa kapal pembangkit listrik tenaga gas Karadeniz seperti pada Gambar II.17 yang berkapasitas 60 MW dan 120 MW untuk memenuhi kebutuhan listrik beberapa daerah di Indonesia seperti Belawan, Kupang, Lombok, Amurang, dan Ambon. (Karpowership Indonesia).



Gambar II.17 Karadeniz Powership Zeynep Sultan
(Sumber: karpowership, 2017)

II.2.2.3. Wärtsilä

Wärtsilä merupakan perusahaan asal Finlandia yang berdiri sejak tahun 1834 dan bergerak dibidang *engineering*. Hingga saat ini wärtsilä memiliki dua spesialisasi yaitu dibidang *marine* dan dibidang energi. Wärtsilä dikenal sebagai salah satu perusahaan *marine engine* terbesar di dunia. Ekspansi wärtsilä dibidang energi dapat dilihat dari layanan dari wärtsilä yang menyediakan berbagai kebutuhan untuk *power plant* mulai dari *land power plant* hingga *floating power plant*. Bersama dengan MAN Diesel & Turbo, wärtsilä juga mensuplai kebutuhan mesin pembangkit untuk Karadeniz Energy untuk kebutuhan *powership*.

Selain menyediakan mesin pembangkit, wärtsilä pada tahun 2017 mengakuisisi Greensmith Energy, Greensmith Energy dikenal sebagai perusahaan dunia di bidang *energy storage*, perusahaan ini menyediakan 1/3 kebutuhan *energy storage* Amerika Serikat pada tahun 2016. *Energy storage* yang disediakan Greensmith Energy memiliki berbagai macam kapasitas dari 1 MW hingga 20 MW tergantung dengan kebutuhan konsumen. Saat ini *energy storage* ini telah tersebar di berbagai negara bagian di Amerika Serikat. Salah satu bentuk *energy storage* dari Greensmith Energy dapat dilihat pada Gambar II.18.



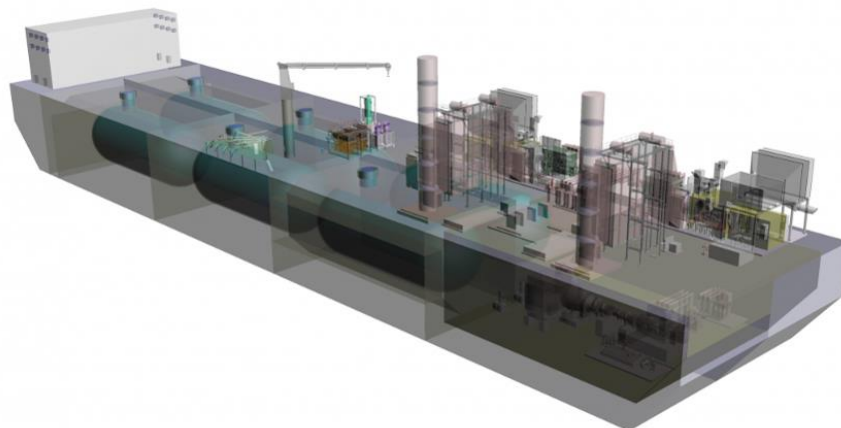
Gambar II.18 Wärtsilä *Energy Storage*

(Sumber: greensmith energy, 2017)

II.2.2.4. Mitsubishi Heavy Industry (MHI)

Perusahaan ini bergerak di berbagai macam bidang seperti transportasi, mesin industri, *marine*, otomotif, lingkungan, dan energi. Di bidang energi, MHI menyediakan layanan untuk pembangkit listrik seperti pembangkit listrik nukir, pembangkit listrik diesel, *dual fuel power plant*, hingga *energy storage*.

Melihat kondisi negara kepulauan di dunia yang mengalami masalah kelistrikan karena kondisi geografis, MHI melihat bahwa konsep *mobile power plant* merupakan solusi yang tepat bagi masalah ini. Saat ini MHI mengembangkan konsep *floating power plant* yang dapat dilihat pada Gambar II.19 dengan menggunakan *dual fuel engine* yang memiliki *regasification unit* dan *generation system* sendiri dimana kapasitas yang dihasilkan 300.000 kW atau 300 MW yang mampu menghasilkan listrik untuk 150 ribu orang. (Forbes. 2017)



Gambar II.19 *Floating Power Plant*

(Sumber: Mitsubishi Heavy Industry, 2017)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Pendahuluan

Metodologi penelitian merupakan cara penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir. Sistematis penyelesaian bagaimana untuk mencapai tujuan tugas akhir ini diawali dengan identifikasi masalah, perumusan masalah, penentuan tujuan, sampai dengan studi literatur. Selanjutnya pada bab ini akan dijelaskan mengenai sistematis pengumpulan data dan bagaimana cara mengolah data tersebut. Metodologi penelitian dilakukan dengan tujuan untuk dapat menjawab permasalahan yang diperanyakan pada Bab I dan Bab II.

III.2. Studi Literatur

Hal yang dilakukan sebelum melakukan penelitian adalah melakukan studi literatur terlebih dahulu. Studi literatur ini berdasarkan buku, jurnal, atau laporan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam hal ini, studi literatur dibagi menjadi dua yaitu dasar teori dan tinjauan pustaka. Dimana dasar teori merupakan penjelasan variabel-variabel yang digunakan pada saat penelitian, sedangkan tinjauan pustaka merupakan penjelasan mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang sudah dilakukan.

III.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara sekunder, dimana data tidak didapatkan langsung oleh penulis. Data inilah yang akan digunakan menjadi patokan inti dari proses pengerjaan Tugas Akhir ini kedepannya.

III.3.1. Daerah Operasional

Daerah operasional kapal ini digunakan untuk mengetahui kondisi perairan di Indonesia bagian timur yang mencakup Pulau Sulawesi, Pulau Nusa Tenggara, Pulau Maluku, Pulau Maluku Utara dan Pulau Papua didapatkan sebagai pertimbangan konsumsi bahan bakar dan tempat dimana kapal akan berlabuh.

III.3.2. Data Alat Pembangkit

Data alat pembangkit listrik digunakan untuk menentukan jumlah peralatan listrik yang akan digunakan dan untuk mendapatkan berat untuk pembangkit yang digunakan.

III.4. Analisis Data

Proses ini dilakukan setelah terkumpulnya data yang dibutuhkan dan dapat menunjang proses pembelajaran literatur lebih lanjut. Data yang didapatkan tersebut kemudian diolah mulai dari perhitungan kelistrikan, perhitungan ukuran utama dan dilanjutkan dengan perhitungan teknis.

III.5. Penentuan Ukuran Utama Kapal Awal

Penentuan ukuran utama kapal didapatkan dari *layout Power Plant* awal untuk sebagai acuan minimal ruang untuk sistem pembangkit itu sendiri, dilanjutkan dengan perhitungan regresi untuk menentukan ukuran utama awal kapal yang didapatkan dari kapal-kapal perbandingan yang sudah dicari.

III.6. Analisis Teknis

Dalam analisis teknis ini, yang dilakukan adalah melakukan pemilihan gas turbine untuk pembangkit listrik tenaga gas yang sesuai, melakukan analisis batasan-batasan ukuran utama kapal, melakukan perhitungan berat kapal dan titik berat kapal, melakukan perhitungan lambung timbul dan melakukan perhitungan untuk *trim* kapal dan stabilitas kapal. Dan disaat analisis teknis tidak memenuhi dalam batasan yang ditentukan, maka akan dilakukan perhitungan ulang dengan menentukan ukuran utama awal kapal kembali. Dan bila semuanya sudah memenuhi, akan dilanjutkan dalam proses desain selanjutnya.

III.6.1. Pemilihan Gas Turbine

Pemilihan gas turbine ini digunakan untuk mendapatkan daya yang sesuai dengan rencana desain kapal yang akan dibuat yaitu sebesar 120 MW. Yang kemudian akan didapatkan *layout Power Plant* sebagai acuan minimal untuk sistem pembangkit listrik tersebut.

III.6.2. Perhitungan Berat Kapal dan Titik Berat Kapal

Perhitungan berat kapal dimulai dengan melakukan perhitungan untuk komponen-komponen LWT dan DWT kapal, kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari titik berat tiap komponen-komponen LWT dan DWT kapal. Untuk mendapatkan titik berat dari tiap komponen-komponen DWT dilakukan dengan bantuan *Software Maxsurf Stability*.

III.6.3. Perhitungan Lambung Timbul

Perhitungan teknis lambung timbul kapal digunakan untuk menentukan batasan lambung timbul yang disarankan menurut *International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988*.

III.6.4. Perhitungan Trim Kapal dan Stabilitas Kapal

Perhitungan ini digunakan untuk menentukan batasan trim yang terjadi pada desain kapal sesuai dengan *SOLAS Chapter II-1 Part B Regulation 5*, serta stabilitas yang terjadi pada kapal sesuai dengan *IS Code 2008*.

III.7. Pembuatan Desain Rencana Garis, Rencana Umum, dan Model 3D

Setelah seluruh perhitungan teknis selesai, kemudian dilakukan pembuatan desain rencana garis, rencana umum dan pembuatan model 3D

III.7.1. Desain Rencana Garis

Pembuatan desain rencana garis yang dibantu dengan *Software Maxsurf Stability* untuk mendapatkan bentuk rencana garis awal, kemudian dilanjutkan dengan bantuan *Software AutoCAD Education Version* untuk melanjutkan desain rencana garis. Desain rencana garis terdiri dari gambar *Body Plan*, *Sheer Plan* dan *Half-Breadth Plan* serta *Offset Tables* yang dibuat sesuai kaidah gambar teknik standar internasional.

III.7.2. Desain Rencana Umum

Pembuatan rencana umum yang dilakukan dengan *Software AutoCAD Education Version* yang dibuat dengan ketentuan-ketentuan yang ada. Membuat *outline* sesuai dengan rencana garis yang sudah dibuat sebelumnya. Kemudian menentukan jarak gading, *double bottom* dan *wing tank* yang sesuai. Kemudian menentukan jumlah sekat kedap. Pembagian ruang-ruang yang diperlukan, serta mendesain ruang akomodasi dan menentukan dan mengatur peletakan perlengkapan kapal.

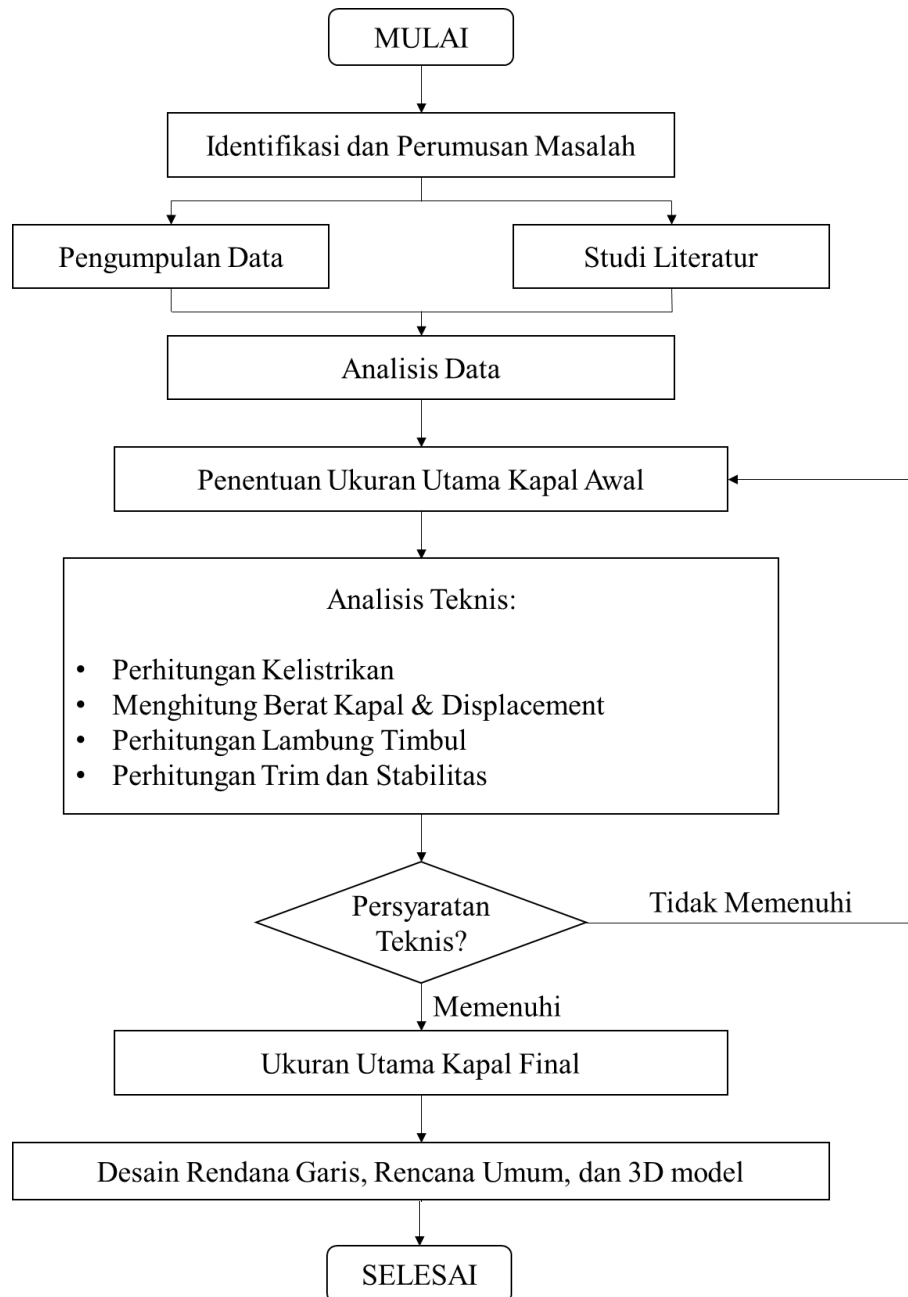
Desain rencana umum terdiri dari gambar tampak samping, tampak depan dan tampak atas untuk masing-masing geladak dibuat sesuai kaidah gambar teknik standar internasional.

III.7.3. Desain Model 3D

Setelah desain rencana garis dan rencana umum selesai dibuat, kemudian dilakukan pembuatan model 3D yang sesuai dengan ketentuan dari rencana umum yang sudah dibuat menggunakan *Software Maxsurf Stability* untuk bagian lambung dan bangunan atas yang ada serta *Software SketchUp* untuk perlengkapan yang diperlukan dalam pembuatan model 3D.

III.8. Diagram Alir

Diagram alir metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar III.1.



Gambar III.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

BAB IV

ANALISIS TEKNIS

IV.1. Pendahuluan

Pada Bab IV ini, akan dibahas secara detail mengenai analisis teknis dalam pembangunan Kapal *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas atau disebut dengan *Dual Fuel Motor Vessel Gas Power Plant*.

IV.2. Tinjauan Wilayah

Pemilihan daya 120 MW merupakan representasi dari pertumbuhan ekonomi, kebutuhan ketenaga listrik serta pertumbuhan tenaga listrik yang tumbuh rata-rata 6.7% per tahun. (RUPTL 2019-2027)

Beberapa proyek pembangkit strategis pada Sistem Lombok antara lain:

- Proyek pembangkit FTP2 PLTU Lombok 2x50 MW dan PLTU Lombok 2 2x50 MW untuk memenuhi kebutuhan beban yang terus meningkat.
- Proyek pembangkit PLTGU/MGU Lombok Peaker 150 MW dengan bahan bakar gas yang disimpan dalam bentuk CNG untuk memenuhi kebutuhan beban puncak.

Kemudian proyek pembangkit strategis pada Sistem Timor antara lain:

- Proyek reguler pembangkit PLTU yaitu PLTU Timor 1 (2x50 MW) untuk memenuhi kebutuhan beban listrik di Sistem Timor dengan unit pembangkit yang lebih efisien.
- Proyek pembangkit PLTMG Kupang Peaker (40 MW) dan Kupang 2 (50 MW) dengan bahan bakar LNG yang untuk memenuhi kebutuhan beban puncak.

Ada juga proyek pembangkit strategis pada Sistem Sulbagut antara lain:

- Proyek pembangkit berbahan bakar gas/LNG yaitu Minahasa 150 MW.
- Proyek pembangkit FTP1 yaitu PLTU Gorontalo (2x25 MW) yang saat ini dalam tahap penyelesaian proyek.
- Proyek pembangkit reguler yaitu PLTU Sulut 3 (2x50 MW), PLTU Sulbagut 1 (2x50 MW), PLTU Sulbagut 3 (2x50 MW) dan PLTU Sulbagut 2 (100 MW).
- Pengembangan proyek EBT seperti PLTA Sawangan (12 MW), PLTA Poigar 2 (30 MW), PLTS Sulut (15 MW) dan PLTS Gorontalo (10 MW).

Dan beberapa proyek pembangkit strategis pada Sistem Sulbagsel antara lain:

- Proyek pembangkit FTP2 yaitu PLTU Punagaya 1x100 MW, PLTA Malea 90 MW dan PLTA Buttu Batu 2x100 MW.
- Proyek pembangkit reguler PLTU yaitu Sulsel Barru 2 (1x100 MW), Jeneponto 2 (1x125 MW), Sulbagsel (2x200 MW), Palu 3 (2x50 MW), Kendari 3 (2x50 MW).
- Proyek pembangkit gas/LNG yaitu Makassar 200 MW, Sulsel 450 MW dengan indikasi lokasi di Maros serta PLTGU Luwuk 150 MW.
- Proyek PLTA yang dikembangkan oleh pihak swasta sebagai proyek IPP dan proyek yang dikembangkan oleh pihak PLN sebagai proyek EPC PLN.

Beberapa proyek tenaga listrik strategis di Indonesia Timur lainnya antara lain:

- Proyek PLTU skala kecil tersebar di Indonesia Timur untuk memenuhi kebutuhan beban dasar dan mengurangi penggunaan BBM pada sistem yang masih relatif kecil dan isolated di Maluku dan Papua. Proyek-proyek PLTU tersebut dalam tahap konstruksi, sebagian masuk didalam proyek pembangkit FTP1 dan sebagian lagi masuk proyek reguler.
- Proyek-proyek pembangkit dual fuel (berbahan bakar gas dan BBM) skala kecil PLTMG tersebar di Maluku dan Papua untuk memenuhi kebutuhan beban sebelum pembangkit non-BBM beroperasi. PLTMG tersebar di Maluku dan Maluku Utara antara lain di Ambon, Seram, Namlea, Ternate, Tidore, Tual, Buru, Saumlaki, Bula, Saparua, Tobelo, Bacan, Sanana dan Morotai. Sedangkan PLTMG tersebar di Papua dan Papua Barat antara lain di Jayapura, Sarmi, Biak, Serui, Merauke, Nabire, Timika, Sorong, Manokwari, Fakfak, Kaimana dan Bintuni.



Gambar IV.1 Tinjauan Wilayah Indonesia Bagian Timur

Sehingga dari kebutuhan-kebutuhan tadi, Indonesia bagian timur adalah wilayah yang akan diberi pasokan listrik oleh kapal pembangkit ini. Indonesia bagian timur itu sendiri

meliputi wilayah Pulau Sulawesi, Pulau Nusa Tenggara Barat, Pulau Nusa Tenggara Timur, Pulau Maluku, Pulau Maluku Utara dan Pulau Papua.

Homebase dari kapal pembangkit ini akan berada di Surabaya. Surabaya dipilih sebagai *homebase* itu sendiri dikarenakan, pembangunan akan dilakukan di Surabaya dan *maintenance* kapal yang memungkinkan dilakukan di Surabaya juga. Dan daerah Indonesia bagian timur ini memiliki persebaran *port* di tiap daerahnya yang didapatkan dari berbagai sumber. Tabel IV.1 adalah persebaran *port* yang dipakai dalam penentuan jarak dari *homebase*.

Dalam persebaran *port* ini, ada beberapa yang merupakan pelabuhan strategis menurut konsep tol laut, dari 5 pelabuhan hub yang ada dalam konsep tol laut, 3 diantaranya ada berada di Indonesia bagian timur, seperti Tanjung Perak yang berada di *homebase* itu sendiri yaitu Surabaya (Jawa Timur), Pelabuhan Bitung yang berada di Sulawesi Utara, kemudian ada *port* yang berada di Makassar (Sulawesi Selatan).

Kemudian ada beberapa pelabuhan feeder yang ada, seperti Pantolan (Sulawesi Tengah), Kendari (Sulawesi Tenggara), Tenau Kupang (Nusa Tenggara Timur), Ternate (Maluku Utara), Jayapura (Papua), Ambon (Maluku) dan Sorong (Papua Barat). (Implementasi Konsep Tol Laut, 2015)

Tabel IV.1 Persebaran *Port* Indonesia Bagian Timur

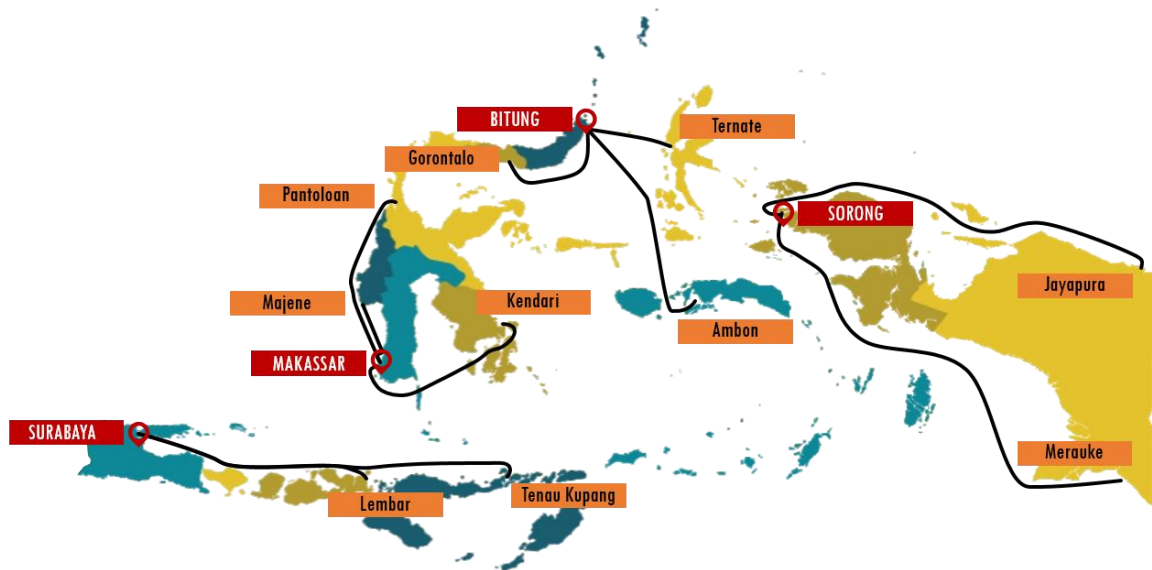
Provinsi	<i>Port</i>
Surabaya	Perak
Sulawesi Utara	Bitung
Sulawesi Tengah	Pantoloan
Gorontalo	Gorontalo
Sulawesi Tenggara	Kendari
Sulawesi Barat	Majene
Sulawesi Selatan	Makassar
Nusa Tenggara Barat	Lembar
Nusa Tenggara Timur	Tenau Kupang
Maluku	Ambon
Maluku Utara	Ternate
Papua	Jayapura / Merauke
Papua Barat	Sorong

Dan daerah lain yang tidak termasuk pada port tadi, dipilih berdasarkan port yang sekiranya merupakan port yang cukup untuk menjadi tempat berlabuhnya kapal pembangkit

listrik ini. Seperti pada daerah Gorontalo, Sulawesi Barat dan Nusa Tenggara Barat. Sedangkan untuk daerah Papua akan dibagi menjadi dua daerah, yaitu bagian utara (Jayapura) dan bagian selatan (Sorong). Dan daerah Papua yang ditampilkan pada Tabel IV.2 adalah daerah bagian utara yaitu Jayapura.

Kapal pembangkit listrik ini memiliki beberapa rencana untuk menyuplai ke berbagai daerah di Indonesia bagian timur dengan menjadikan pelabuhan hub sebagai pelabuhan utama ditambah dengan pelabuhan yang berada di Papua Barat untuk alternatif keadaan darurat, sehingga dapat dijadikan rutenya sebagai berikut :

1. Rute dengan Port Hub Surabaya, rute ini meliputi Surabaya, NTT dan NTB
2. Rute dengan Port Hub Makassar, Rute ini meliputi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Barat
3. Rute dengan Port Hub Bitung, rute ini meliputi Sulawesi Utara, Gorontalo, Maluku dan Maluku Utara
4. Rute dengan Port Alternatif Sorong, rute ini meliputi Papua Barat dan Papua (Bagian Utara dan Bagian Selatan)



Gambar IV.2 Rencana Daerah Kapal *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Dari Tabel IV.2, memperlihatkan jarak antar provinsi di wilayah Indonesia bagian timur. Jarak terjauh dari *homebase* sendiri berada di wilayah Papua, sejauh 1846.3 nautical mile. Sedangkan untuk jarak terdekat dari *homebase* sendiri berada di wilayah NTB, yaitu sejauh 377 nm. Jarak terjauh dari *homebase* akan digunakan sebagai acuan penentuan kebutuhan *consumable* disaat kapal akan melakukan perjalanan.

Tabel IV.2 Jarak Antara Provinsi di Wilayah Indonesia Indonesia Timur

(Sumber: searates.com)

	Surabaya	Sulut	Sulteng	Goron- talo	Sultra	Sulbar	Sulsel	NTB	NTT	Maluku	Maluku Utara	Papua	Papua Barat
Surabaya		1050.5	641.0	1068.0	705.3	540.9	444.2	377.0	643.4	1003.4	1111.6	1846.3	1201.2
Sulawesi Utara			477.7	193.9	381.3	673.1	691.0	756.5	648.4	407.9	154.1	1082.6	437.5
Sulawesi Tengah				652.7	634.8	226.1	310.9	582.3	630.6	874.1	593.8	1477.0	903.8
Gorontalo					398.9	806.9	708.6	774.0	665.9	454.2	296.4	1157.6	512.5
Sulawesi Tenggara						444.2	345.9	411.3	362.5	366.9	442.5	1209.8	564.7
Sulawesi Barat							106.8	391.6	439.9	742.2	789.2	1585.2	940.1
Sulawesi Selatan								293.3	341.6	644.0	752.2	1486.9	1559.0
NTB									287.7	713.3	817.6	1552.3	907.2
NTT										452.7	664.3	1343.4	698.3
Maluku											356.7	1005.6	343.7
Maluku Utara												949.7	304.6
Papua													762.4
Papua Barat													

IV.3. Penentuan *Layout* Awal Gas Turbine

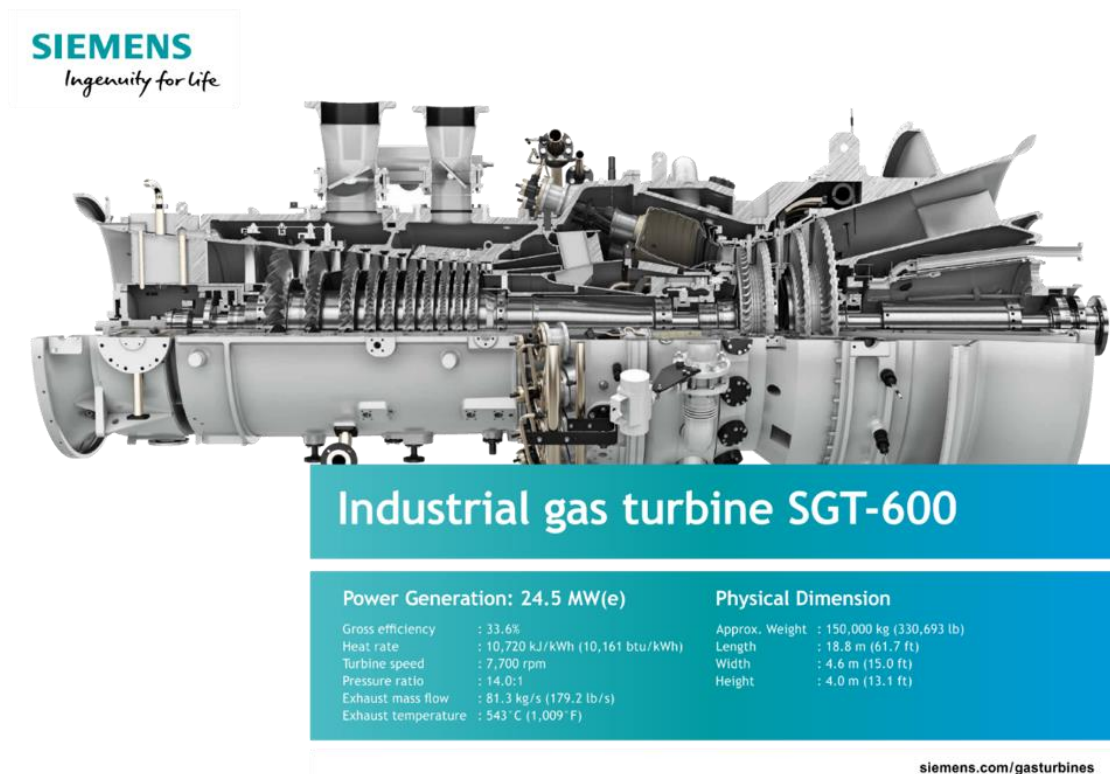
Kandidat pembangkit yang digunakan pada simulasi penambahan pembangkit di wilayah Indonesia Timur cukup bervariasi tergantung kepada kapasitas sistem yaitu kandidat PLTU batubara adalah 50 MW sampai 300 MW serta kandidat PLTG/GU pemikul beban puncak kelas 50 - 450 MW. Sistem lainnya menggunakan kandidat pembangkit yang lebih kecil. Dalam melakukan optimasi pengembangan pembangkit dan produksi energi, digunakan asumsi harga bahan bakar jangka panjang.

Pencarian mesin untuk gas turbine dilakukan dengan mencari melalui katalog-katalog, dengan melihat segala aspek kelebihan dan kekurangan yang ada pada setiap katalog spesifikasi gas turbine. Kemudian dilihat dari aspek efisiensi, keandalan, fleksibilitas dan keramahan lingkungan maka penentuan untuk mesin gas turbine yang akan digunakan adalah berdasarkan katalog Siemens. Kemudian dicari kebutuhan daya yang dapat memenuhi kebutuhan yang ada sebesar 120 MW.

Tabel IV.3 Spesifikasi Siemens Gas Turbine

Siemens Gas Turbine						
	SGT-800			SGT-750	SGT-700	SGT-600
Power Generation (MW)	47,5	50,5	54	39,8	32,8	24,5
Jumlah Unit	Besaran daya Yang Dihasilkan (MW)					
1	47,5	50,5	54	39,8	32,8	24,5
2	95	101	108	79,6	65,6	49
3	142,5	151,5	162	119,4	98,4	73,5
4	190	202	216	159,2	131,2	98
5	237,5	252,5	270	199	164	122,5

Dari Tabel IV.3, gas turbine yang memiliki besaran daya diangka 120 MW adalah gas turbine Siemens SGT-600 yang memiliki besaran daya 122,5 MW. Dan SGT-600 membutuhkan 5 unit gas turbine untuk beroperasi menghasilkan daya yang sesuai dengan kebutuhan.



Gambar IV.3 Spesifikasi Siemens SGT-600

(Sumber: siemens.com)

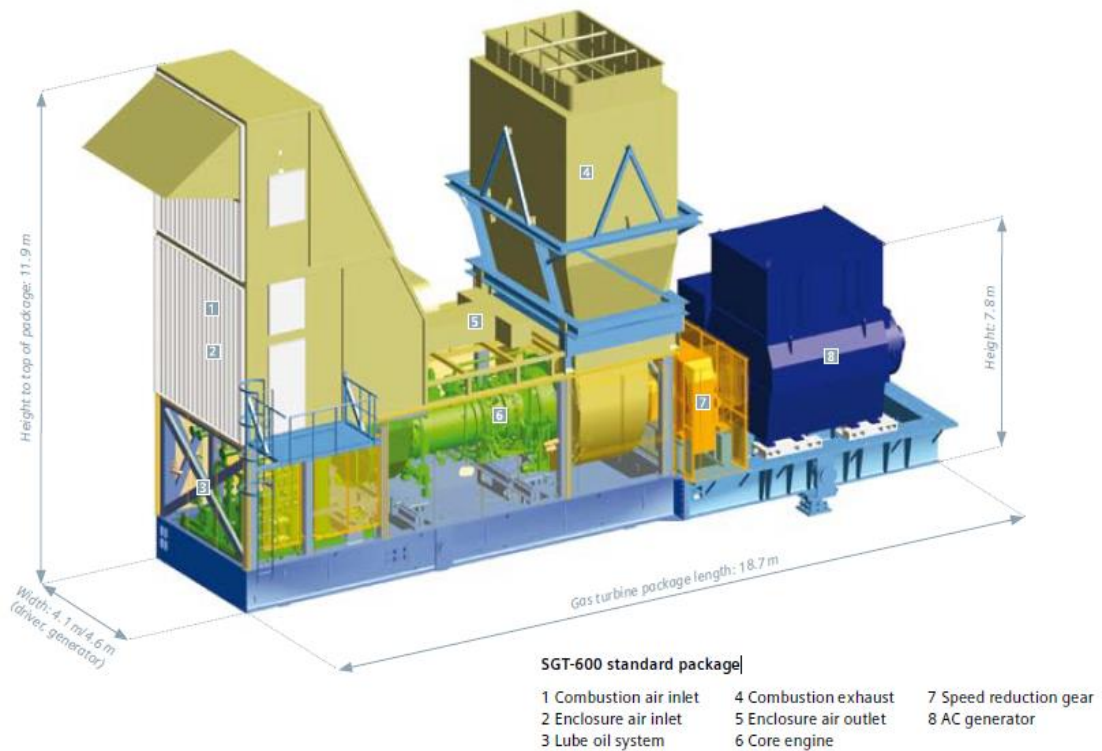
Dari gas turbine yang sudah dipilih, kemudian didapatkan ukuran utama untuk gas turbine itu sendiri dari katalog Siemens Gas Turbine yang ada pada

Gambar IV.3. Setelah mengetahui ukuran utama, kemudian dibuatlah *layout* penataan untuk instalasi gas turbine pada pembangkit listrik yang mengacu pada Gambar IV.4.

Dengan dimensi mesin:

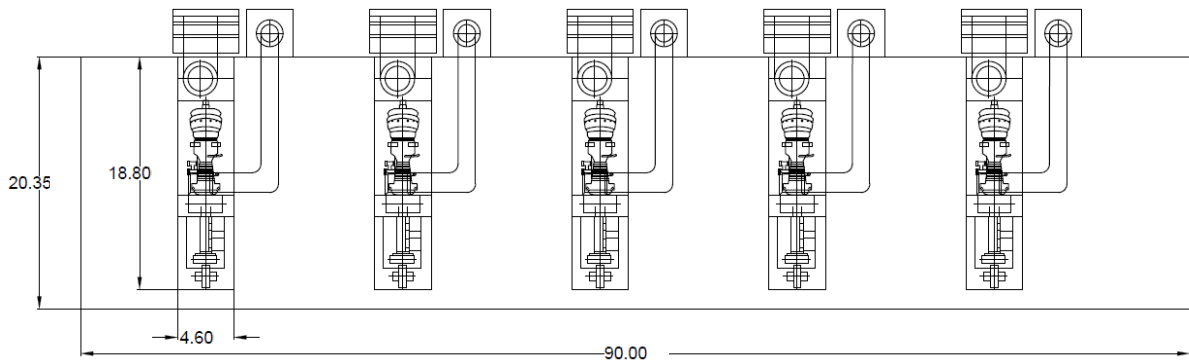
Panjang = 18800 mm
Lebar = 4600 mm
Tinggi = 4000 mm
Massa = 149.69 ton

Dan setelah dilakukan penataan *layout* yang mengacu pada ukuran-ukuran tadi dapat dilihat kebutuhan ruang untuk penempatan gas turbine ini pada sistem pembangkit listrik yang dapat dilihat pada Gambar IV.5



Gambar IV.4 Spesifikasi *Layout* Ukuran Siemens SGT-600

(Sumber: siemens.com)



Gambar IV.5 *Layout* Awal Gas Turbine

Dari *layout* dapat dilihat bahwa kebutuhan ruang untuk instalasi ruang pembangkit listrik ini membutuhkan setidaknya panjang 90 meter, lebar 20.35 meter dan tinggi kurang lebih

sesuai pada Gambar IV.4 yaitu 11.9 meter. Dan ukuran *layout* awal gas turbine ini dapat dijadikan sebagai batasan penentuan ukuran utama kapal yang akan didesain.

IV.4. Penentuan Ukuran Utama Kapal

Penentuan ukuran utama kapal *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas menggunakan metode *Parametric Design Approach*.

Tabel IV.4 Ukuran Utama Kapal Pembanding

Nama Kapal	Daya (MW)	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)	Class
Karadeniz Powership Zeynep Sultan	125	150,63	31	15,45	4,9	SHARK
Karadeniz Powership Yasin Bey	125	154,25	20,4	11,1	8,4	SHARK
Karadeniz Powership Gokhan Bey	125	155,8	20,4	11,1	7,88	SHARK
Karadeniz Powership Onur Sultan	470	283	46	24,4	18,02	KHAN
Karadeniz Powership Mehmet Bey	126	168	25,99	16,3	9	SHARK
Karadeniz Powership Nezih Bey	37	76,2	18,8	7,6	6,27	SEAL
Karadeniz Powership Doğan Bey	126	180	31	15,2	5,8	SHARK
Karadeniz Powership Rauf Bey	179	233,76	32,2	18,7	13,6	SHARK
Karadeniz Powership Kaya Bey	216	233,76	32,2	18,7	13,6	SHARK
Karadeniz Powership İrem Sultan	115	140,08	30	5,31	4,43	SHARK
Karadeniz Powership Osman Khan	470	288,5	50	23,9	10,71	KHAN
Karadeniz Powership Koray Bey	36	76,2	21,8	7,6	6,27	SEAL

Metode ini menggunakan regresi ukuran utama dari kapal-kapal pembanding yang setipe, yang grafik regresinya dapat dilihat pada Lampiran A. Jumlah kapal pembanding yang digunakan sebanyak 12 unit. Data teknis dari masing-masing kapal pembanding dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Dari hasil regresi yang telah dilakukan, didapatkan ukuran utama kapal awal yang akan didesain, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= 120 \text{ MW} \\
 \text{Panjang (L)} &= y = 0,4377x + 99,919 = 152,44 \text{ m} \\
 \text{Lebar (B)} &= y = 0,0629x + 18,707 = 26,3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (H)} &= y = 0,0370x + 7,9789 = 12,42 \text{ m} \\
 \text{Sarat (T)} &= y = 0,0211x + 5,2945 = 7,83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengecekan ukuran utama terhadap batasan-batasan perbandingan ukuran utama yang didapatkan dari referensi buku.

$$\begin{aligned}
 L/B &= 5,795 & 3.5 &< L/B < 10 && (PNA Vol. 1 hal. 19) \\
 L/T &= 19,538 & 10 &< L/T < 30 && (PNA Vol. 1 hal. 19) \\
 B/T &= 3,372 & 1.8 &< B/T < 5 && (PNA Vol. 1 hal. 19) \\
 L/H &= 12,290 & 8.12 &< L/H < 15.48 && (Ship Design for Efficiency and Economy hal.160) \\
 B/H &= 2,121 & 1.47 &< B/H < 2.38 && (Ship Design for Efficiency and Economy hal.160)
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan teknis yang telah dilakukan, dilakukan pengecekan teknis meliputi pengecekan berat LWT dan DWT, stabilitas kapal, *trim* kapal, dan lambung timbul kapal. Dari pengecekan teknis yang telah dilakukan, diketahui bahwa ukuran utama awal yang digunakan tidak memenuhi pengecekan lambung timbul kapal. Karena batasan untuk lambung timbul sebenarnya tidak lebih besar dari lambung timbul total.

Lambung Timbul Total	
F_b'	$= F_b + F_{b2} + F_{b3} + F_{b4}$
	$= 6647.391 \quad \text{mm}$
	$= 6.647 \quad \text{mm}$
Lambung Timbul Sebenarnya	
F_{ba}	$= H-T$
	$= 4.6 \quad \text{m}$

Oleh karena itu, dari perhitungan tersebut dilakukan perubahan ukuran utama awal kapal dengan menambahkan tinggi kapal dan menurunkan sarat kapal agar dapat memenuhi batasan-batasan perhitungan teknis. Sehingga ukuran utama akhir kapal didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= 120 \quad \text{MW} \\
 \text{Panjang (L)} &= 152,4 \quad \text{m} \\
 \text{Lebar (B)} &= 26,3 \quad \text{m} \\
 \text{Tinggi (H)} &= 15 \quad \text{m} \\
 \text{Sarat (T)} &= 7,5 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengecekan ukuran utama terhadap aspek rasio perbandingan ukuran utama yang didapatkan dari referensi buku.

$$\begin{aligned}
 L/B &= 5,795 & 3.5 &< L/B < 10 && (PNA Vol. 1 hal. 19) \\
 L/T &= 20,320 & 10 &< L/T < 30 && (PNA Vol. 1 hal. 19) \\
 B/T &= 3,507 & 1.8 &< B/T < 5 && (PNA Vol. 1 hal. 19) \\
 L/H &= 10,160 & 8.12 &< L/H < 15.48 && (Ship Design for Efficiency and Economy hal.160)
 \end{aligned}$$

$$B/H = 1,753 \quad 1.47 < B/H < 2.38 \quad (\text{Ship Design for Efficiency and Economy hal.160})$$

IV.5. Perhitungan Koefisien Bentuk Badan Kapal

Setelah didapatkan ukuran utama awal kapal, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan awal. Perhitungan awal meliputi perhitungan *froud number*, perhitungan *coefficient* (C_b , C_m , C_p , dan C_{wp}) serta *displacement* dan *volume displacement*.

IV.5.1. Perhitungan *Froude Number*

Bilangan *Froude* adalah sebuah bilangan tak bersatuan yang digunakan untuk mengukur resistensi dari sebuah benda yang bergerak melalui air, dan membandingkan benda-benda dengan ukuran yang berbeda-beda. Didapatkan *Froud Number* sebagai berikut (Lewis, Principles of Naval Architecture Volume II, 1988)

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (\text{III.1})$$

Dimana :

Fn = *froud number* (0 - 1,0)

V = kecepatan kapal (knot)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

L = panjang kapal (m)

Didapatkan :

$$Vs = 13 \text{ knot} = 6.6872 \text{ m/s}$$

$$L = 152.4 \text{ m}$$

$$Fn = 0.173$$

IV.5.2. Perhitungan Koefisien Blok (Watson & Gilfillan)

$$C_b = 0,7 + 0,125 \cdot \text{ATAN}((23 - 100 \cdot Fn)/4) \quad (\text{III.2})$$

Didapatkan :

$$C_b = 0.703$$

IV.5.3. Perhitungan Koefisien *Midship* (Series '60)

$$CM = 0.977 + 0.085(CB-0.6) \quad (\text{III.3})$$

Didapatkan :

$$CM = 0.985$$

IV.5.4. Perhitungan Koefisien Prismatic

$$C_p = CB/CM \quad (\text{III.4})$$

Didapatkan :

$$C_p = 0.713$$

IV.5.5. Perhitungan Koefisien Bidang Air

$$C_{wp} = CB / (0.471 + 0.551 \cdot CB) \quad (III.5)$$

Didapatkan :

$$C_{wp} = 0.819$$

IV.5.6. Perhitungan Titik Berat Badan Kapal

$$LCB = 9.7 - 45 \cdot F_n - 0.8, \text{ Harvald} \quad (III.6)$$

Didapatkan :

$$LCB = 1.117 \% L_{pp}$$

$$LCB = 1.7028 \text{ m} \quad \text{dari } midship$$

$$LCB = 80.951 \text{ m} \quad \text{dari AP}$$

$$LCB = 77.545 \text{ m} \quad \text{dari FP}$$

IV.5.7. Perhitungan Volume Displacement

$$V = LWL \cdot B \cdot T \cdot CB \quad (III.7)$$

Didapatkan :

$$V = 21981.596 \text{ m}^3$$

IV.5.8. Perhitungan Displacement

$$\Delta = V \cdot \rho \quad (III.8)$$

Didapatkan :

$$\Delta = 22531.136 \text{ ton}$$

IV.6. Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan total dilakukan dengan metode Holtrop & Mennen yang didapatkan dari Principle of Naval Architecture Vol.II. Untuk perhitungannya adalah sebagai berikut (Lewis, Principles of Naval Architecture Volume II, 1988)

$$RT = 0.5 \cdot 1025 \cdot V_S^2 \cdot S_{total} \cdot (C_{FO} \cdot (1 + k) + C_A + \left(\frac{R_W}{W} \cdot W\right)) \quad (III.9)$$

Dimana :

$$RT = \text{Hambatan}$$

$$S_{total} = \text{Resistance of appendeges}$$

$$C_{FO} = \text{Viscous resistance}$$

$$C_A = \text{Wave making resistance}$$

$$W = \text{Gaya berat}$$

Didapatkan :

$$RT = 263.366 \text{ kN}$$

IV.7. Perhitungan Propulsi Kapal

Untuk mendapatkan harga daya mesin induk yang dibutuhkan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan *propulsive coefficient*. Adapun untuk rumus-rumus perhitungan *propulsive coefficient* (η_D) dalam *Principle of Naval Architecture Vol.II* adalah sebagai berikut

$$BHP = \frac{PE}{\eta_H \eta_0 \eta_R \eta_S \eta_b \eta_t} \quad (III.10)$$

Dimana :

PE = *Effective Horse Power*

η_H = *Hull efficiency*

η_0 = *Open water test propeller efficiency*

η_R = *Relative rotative efficiency*

η_S = *Stern tube bearing efficiency*

η_b = *Line bearing efficiency*

η_t = *Overall transmission efficiency*

Didapatkan :

$$EHP = 1761.182 \text{ kW}$$

$$THP = 1708.498 \text{ kW}$$

$$DHP = 3486.730 \text{ kW}$$

$$SHP = 3539.827 \text{ kW}$$

$$BHP = 3649.116 \text{ kW}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan BHP ditambah dengan koreksi margin 15% sehingga didapatkan BHP total sebesar 4196.483 kW.

IV.7.1. Pemilihan Mesin *Dual Fuel*

Berdasarkan total BHP yang sudah didapatkan, maka dapat dilakukan pencarian mesin *dual fuel* yang sesuai pada katalog mesin dengan kebutuhan daya propulsi kapal yang sesuai.

Rated power				
Engine type	60 Hz		50 Hz	
	480 kW/cyl, 720 rpm		500 kW/cyl, 750 rpm	
	Engine kW	Gen. kW	Engine kW	Gen. kW
6L34DF	2 880	2 770	3 000	2 890
8L34DF	3 840	3 690	4 000	3 840
9L34DF	4 320	4 150	4 500	4 320
12V34DF	5 760	5 530	6 000	5 770
16V34DF	7 680	7 370	8 000	7 680

Gambar IV.6 Katalog *Dual Fuel Engine* Wärtsilä

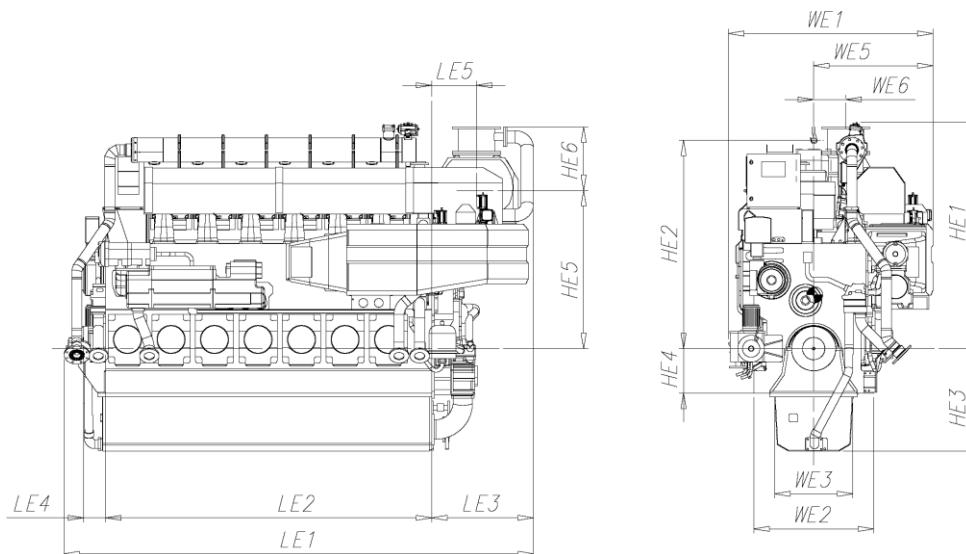
(Sumber: Wärtsilä, 2019)

Kemudian, setelah mencari spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan BHP pada Gambar IV.6, didapatkan spesifikasi mesin induk sebagai berikut:

Merk = Wärtsilä
Tipe = 9L34DF
Daya = 4320 kW
= 5793.1 HP

Dengan dimensi mesin:

Panjang = 6870 mm
Lebar = 2610 mm
Tinggi = 3705 mm
Massa = 49 ton



Gambar IV.7 Wärtsilä 9L34DF

(Sumber: Wärtsilä, 2019)

Wärtsilä Genset 34DF		IMO Tier III, EPA T3				
Cylinder bore	340 mm	Fuel specification: Fuel oil				
Piston stroke	400 mm	700 cSt/50°C 7200 sR1/100°F				
Cylinder output	480, 500 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB				
Speed	720, 750 rpm					
Mean effective pressure	22.0 bar	BSEC 7590 kJ/kWh				
Piston speed	9.6, 10.0 m/s	BSGC 7490 kJ/kWh				
Generator voltage	0.4–13.8 kV					
Generator efficiency	0.95–0.97					
Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A	B	C	D	F	Weight
6L34DF	5 325	2 550	2 380	2 345	1 155	35
8L34DF	5 960	2 550	2 610	2 345	1 155	44
9L34DF	6 870	2 550	2 610	2 345	1 155	49
12V34DF	6 865	2 435	2 900	2 120	1 210	61
16V34DF	7 905	2 570	3 325	2 120	1 210	77
Genset dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A*	E*	I*	K	L*	Weight
6L34DF	8 765	2 290	1 450	2 345	4 000	60
8L34DF	10 410	2 960	1 630	2 345	4 010	76
9L34DF	10 610	2 890	1 630	2 345	4 180	87
12V34DF	10 260	3 060	1 900	2 120	4 335	99
16V34DF	11 465	3 360	1 850	2 120	4 445	124

Gambar IV.8 Spesifikasi Wärtsilä 9L34DF

(Sumber: Wärtsilä, 2019)

IV.7.2. Cara Kerja *Dual Fuel Engine*

Setelah mengetahui proses pembakaran yang terjadi pada sub bab II.2.1, berikut merupakan serangkaian proses *dual fuel system* pada Kapal *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas ini:

- Dari tangki bahan bakar LNGPac, bahan bakar gas dialirkan kedalam Kamar Mesin melalui pipa khusus bertekanan (*pressurized pipe*), menuju *Gas Valve Unit (GVU)* hingga ke mesin penggerak utama kapal (Wartsila© 9L34DF). *GVU* ini berfungsi menjaga densitas bahan bakar gas itu sendiri. *GVU* yang digunakan merupakan produk dari Wartsila.
- Pada mesin penggerak utama (Wartsila 9L34DF) terjadi pembakaran bahan bakar gas dan bahan bakar konvensional sehingga mesin dapat bergerak memutar poros dan *propeller*.

Mesin *Dual Fuel* Wärtsilä 9L34DF ini dapat melakukan *start-up* dalam waktu 50-70 detik dalam keadaan normal.

IV.8. Perhitungan Berat Permesinan

Berat permesinan total didapatkan dari total berat mesin utama kapal, berat unit propulsi, berat unit kelistrikan dan berat lain-lain (*pump, pipes, cables, stair, platform, compressor, dll.*) dalam *Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition*.

$$W_{total} = W_{engine} + W_{proptotal} + W_{elec} + W_{other} \quad (III.11)$$

Dimana :

$W_{engine} = 49$ ton

$W_{proptotal} = 18.313$ ton

$W_{elec} = 31.146$ ton

$W_{other} = 293.75$ ton

Didapatkan :

$W_{total} = 392.21$ ton

IV.9. Perhitungan Berat *Power Plant*

Perhitungan berat *power plant* diperoleh dari hasil gas turbine yang sudah didapatkan dari sub bab IV.3 dengan spesifikasi gas turbine sebagai berikut:

Merk = Siemens Gas Turbine

Tipe = SGT-600 Industrial Gas Turbine

Daya = 24.5 MW

Dengan dimensi mesin:

Panjang = 18800 mm

Lebar = 4600 mm

Tinggi = 4000 mm

Massa = 149.69 ton

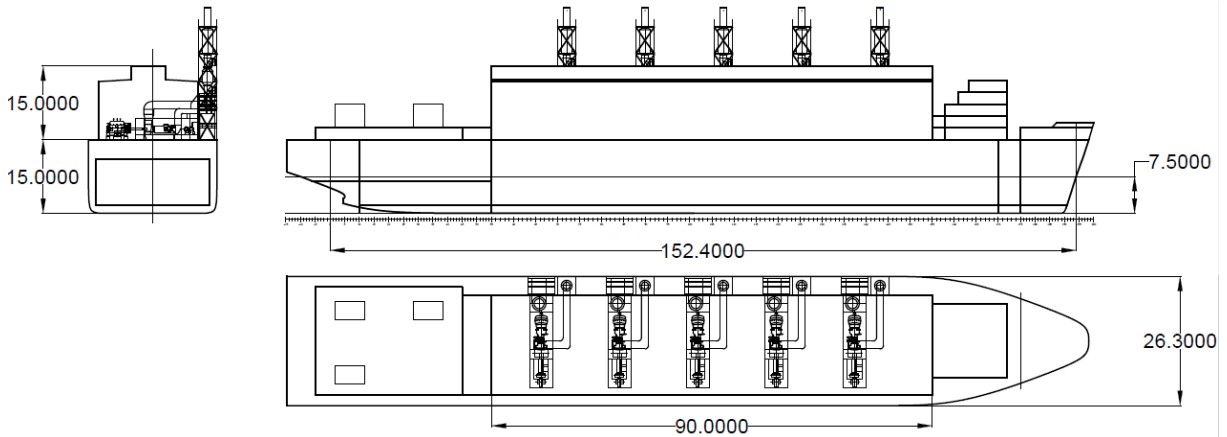
Kemudian dilakukan pembuatan *layout* kapal mengacu pada Gambar IV.5 yang merupakan *layout* pembangkit listrik tenaga gas yang sudah dibuat. Selain itu pembuatan *layout* pembangkit listrik tenaga gas ini juga menggunakan pertimbangan *layout* dari kapal Karadeniz Powership Zeynep Sultan pada Gambar IV.9.



Gambar IV.9 *Layout* Kapal Karadeniz Zeynep Sultan

(Sumber: Karpowership, 2019)

Kemudian dilakukan *plotting layout* pembangkit listrik tenaga gas ke dalam kapal dengan penyesuaian tata letak dan ukuran sehingga dapat memenuhi ruang yang tersedia. Gambar IV.10 merupakan *layout* awal pembangkit listrik tenaga gas yang sudah didesain ke model kapal awal.



Gambar IV.10 *Layout* Awal Kapal

Dari *layout* yang sudah dibuat kemudian membagi berat berdasarkan pendekatan berat yang ada pada katalog-katalog yang tersedia. Sehingga dapat di detailkan pada Tabel IV.5. Dan *layout* awal digunakan untuk menentukan titik berat kapal secara *longitudinal* dari titik *midship*, *vertical* dari *baseline* kapal dan *transversal* dari *centerline* kapal.

Tabel IV.5 Detail Berat dan Titik Berat Bagian *Gas Power Plant*

No.	Keterangan	Jumlah	Berat (ton)	Berat Total (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)
1	<i>Lube Oil System</i>	5	3	15	-1.05	17.2	8.468
2	<i>Starting Equipment/Aux Room</i>	5	7	35	-1.05	17.2	6.706
3	<i>Gas Turbine Engine</i>	5	133	665	-1.05	17.2	2.006
4	<i>Main Gear/Speed Reduction Gear</i>	5	7	35	-1.05	17.2	-2.694
5	<i>Generator (1DK1142-2CR14-0FA2)</i>	5	27.2	136	-1.05	17.2	-6.512
6	<i>Air Intake System</i>	5	10	50	-1.49	22	9.35
7	<i>Exhaust System</i>	5	10	50	-1.05	30	10
8	<i>Gardu Induk (Medium Voltage) & Perlengkapan</i>	3	1.2	3.6	-64.5	22.15	2.383
				989.6			

IV.10. Perhitungan Berat Baja Kapal

Perhitungan berat baja kapal didapatkan dengan menggunakan metode *Harvald & Jensen* (1992), dari buku *Ship Design Efficiency and Economy* (Schneecluth : 1998). Dimana perhitungan tersebut digunakan untuk lambung kapal dan superstructure. Kemudian terdapat 4 *deck house* dan *wheel house*. Serta bangunan untuk melindungi peralatan dan perlengkapan

power plan dan bangunan untuk sistem kelistrikan yang dibutuhkan. Berikut ini adalah hasil perhitungan berat baja kapal, didapatkan:

Total Berat Lambung	= 7316.557	ton
Total <i>Deck House</i>	= 164.2	ton
Total <i>Power Plant House</i>	= 1909.4	ton
Total Berat <i>Electrical House</i>	= 155.34	ton
 Ws Total	 = 9700.832	 ton

IV.11. Perhitungan *Consumable*

Perhitungan berat *consumable* pada *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas dilakukan dengan menghitung berat *crew*, bahan bakar LNG dan bahan bakar konvensional (*HFO*) untuk mesin *dual fuel*, bahan bakar konvensional (*HFO*) untuk generator, minyak pelumas (*lubrication oil*), air bersih (*fresh water*) dan juga berat *provision*. Selain itu dilakukan perhitungan untuk kebutuhan bahan bakar *natural gas* untuk gas turbine.

Penentuan jumlah *crew* kapal menggunakan acuan dari jumlah *crew* kapal pembangkit listrik Karadeniz Powership Zeynep Sultan, yaitu 24 orang. Daftar *crew* pada kapal pembangkit listrik tenaga gas yang akan didesain memiliki rincian sebagai berikut:

Tabel IV.6 Rincian *Crew* dan Penempatannya

CREW LIST ONBOARD			
<i>Level</i>	<i>Crew</i>	Jumlah	Tempat
<i>Deck Department</i>	<i>Captain</i>	1	<i>Deck House 4</i>
	<i>Chief Officer</i>	1	<i>Deck House 4</i>
	<i>Chief Cook</i>	1	<i>Deck House 1</i>
	<i>Assistance Cook</i>	1	<i>Deck House 1</i>
	<i>Seaman</i>	3	<i>Deck House 1</i>
	Total	7	
<i>Engineering Department</i>	<i>Chief Engineer</i>	1	<i>Deck House 4</i>
	<i>Engineer System Mechanical</i>	3	<i>Deck House 1</i>
	<i>Engineer System Electrical</i>	3	<i>Deck House 2</i>
	<i>Engineer System Power Plant</i>	3	<i>Deck House 2</i>
	<i>Operation & Maintenance</i>	1	<i>Deck House 1</i>
	Total	11	

CREW LIST ONBOARD			
<i>Production Department</i>	<i>Chief Production</i>	1	<i>Deck House 4</i>
	<i>Engineer Fuel Oil & Lubricating</i>	3	<i>Deck House 3</i>
	<i>Engineer Safety Electrical</i>	1	<i>Deck House 3</i>
	<i>Logistic</i>	1	<i>Deck House 1</i>
	Total	6	
Total Keseluruhan Crew		24	

Dari jumlah *crew* tersebut didapatkan total berat sebagai berikut:

$$W_{C\&E} = Z_c \cdot CC\&E \quad (III.12)$$

Dimana :

$$Z_c = 24 \text{ orang}$$

$$C_{C\&E} = 0.17 \text{ ton/orang}$$

Didapatkan :

$$W_{C\&E} = 4.08 \text{ ton}$$

Kemudian hasil dari kebutuhan untuk bahan bakar LNG dan bahan bakar konvensional (HFO) untuk mesin *dual fuel*, bahan bakar konvensional (HFO) untuk generator, minyak pelumas (*lubrication oil*), air bersih (*fresh water*) serta *natural gas* untuk gas turbine didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel IV.7 Rangkuman Kebutuhan *Consumable*

Nama	Volume (m³)
F.O. LNG	337.891
F.O. HFO	62.845
F.O. GAS TURBINE	20522.75
L.O. ME/AE	1.466
L.O. GAS TURBINE	26.974
F.W. TOTAL	888.905

IV.12. Perhitungan Berat Total Kapal

Sesuai dengan prinsip Archimedes, agar kapal dapat mengapung, gaya apung pada kapal terhadap kapal harus sama dengan berat air yang dipindahkannya. Berat dari kapal sendiri terbagi menjadi 2 (dua) kelompok utama, yaitu LWT (*Light Weight Tonnage*) dan DWT (*Dead*

Weight Tonnage). Dengan elemen yang berbeda, kedua kelompok berat tersebut apabila dijumlahkan akan menjadi berat total kapal.

Dikarenakan pada perhitungan berat ini menggunakan rumus pendekatan, sehingga jumlah dari DWT dan LWT tidak dapat sama persis besarnya dengan gaya apung. Oleh karena itu, agar kapal dapat mengapung digunakan rumus:

$$Displacement = LWT + DWT + margin \quad (III.13)$$

dimana margin sendiri merupakan toleransi kesalahan yang besarnya 2-10% dari jumlah DWT dan LWT. Untuk mengetahui apakah kapal dapat mengapung, DWT dan LWT diperhitungkan seperti berikut.

IV.12.1. Perhitungan Berat LWT

LWT atau *Light Weight Tonnage* adalah berat kapal kosong yang terdiri dari berat baja kapal, berat *deck house*, berat *power plant house*, berat *electrical house*, peralatan dan perlengkapan, permesinan, serta *gas power plant*. Perhitungan berat selengkapnya dapat dilihat di Lampiran, pada sub bab ini hanya akan ditampilkan rekapitulasi berat LWT.

Tabel IV.8 Rangkuman Berat LWT

	Nama	W (ton)
W_{ST}	Berat Baja	7316.557
W_{DH}	<i>Deck House</i>	164.160
W_{SS}	<i>Plant House & Electrical House</i>	2064.778
W_{EQ}	<i>Equipment</i>	460.938
$W_{MACHINE}$	Permesinan	392.213
$W_{POWERPLANT}$	<i>Power Plant</i>	989.600
		11388.245

IV.12.2. Perhitungan Berat DWT

DWT atau *Dead Weight Tonnage* yang merupakan bobot mati kapal atau muatan maksimum yang dapat diangkut dalam satuan ton. Pada kasus ini, DWT kapal terdiri dari berat *crew*, bahan bakar LNG dan bahan bakar konvensional (HFO) untuk mesin *dual fuel*, bahan bakar konvensional (HFO) untuk generator, minyak pelumas (*lubrication oil*), air bersih (*fresh water*) dan juga berat *provision* serta *natural gas* untuk gas turbine. Dengan rincian perhitungan terlampir, berikut ini hanya ditampilkan rekapitulasi berat DWT.

Tabel IV.9 Rangkuman Berat DWT

	Nama	W (ton)
$W_{C\&E}$	<i>CREW & EQUIPMENT</i>	4.08
$W_{FO\ LNG}$	F.O. LNG	154.416
$W_{FO\ HFO}$	F.O. HFO	59.345
$W_{FO\ GT}$	F.O. GAS TURBINE	9378.897
$W_{LO\ ME/AE}$	L.O. ME/AE	1.320
$W_{LO\ GT}$	L.O. GAS TURBINE	24.277
W_{FW}	F.W. TOTAL	888.905
W_{PS}	PROVISION AND STORE	2.23
$W_{BALLAST}$	BALLAST	70
		10583.470

Dari hasil berat total LWT dan DWT yang sudah didapatkan, maka:

$$Displacement = LWT + DWT + margin$$

Dimana :

$$Displacement = 22531.136 \text{ ton}$$

$$LWT = 11388.245 \text{ ton}$$

$$DWT = 10583.470 \text{ ton}$$

Margin

$$\Delta margin = \Delta - (LWT + DWT)$$

$$\Delta margin = 559.421 \text{ ton}$$

$$\Delta margin\% = 2.483 \quad \% \quad \Delta margin\% = 2\% - 10\%$$

Maka dari perhitungan tersebut kapal dapat dinyatakan mengapung karena *margin* masih dalam batas yang ditentukan.

IV.13. Perhitungan Titik Berat Total Kapal

Titik Berat pada kapal dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu titik berat dari LWT dan titik berat dari DWT. Perhitungan titik berat LWT dilakukan dengan menghitung titik berat tiap komponen LWT yang meliputi peletakan di titik berat pada baja (lambung kapal), titik berat pada tiap *deck house*, titik berat *power plant house* serta *electrical house*, titik berat persebaran *equipment*, titik berat permesinan, serta titik berat untuk *power plant*. Sedangkan untuk komponen DWT meliputi titik berat tangki-tangki yang ada dan kemudian dilakukan sketsa pada *General Arrangement* dan kemudian dilakukan *plotting* pada aplikasi *Maxsurf Stability*

dan didapatkan titik berat untuk tiap tangki-tangki *consumable*. Setelah mengetahui semua titik berat total untuk LWT dan DWT, kemudian dihitung LCG maupun VCG-nya.

IV.13.1. Hasil Perhitungan LCG

Hasil perhitungan dari LCG (*Longitudinal Center of Gravity*) atau titik berat memanjang kapal dapat dilihat pada Tabel IV.10

Tabel IV.10 Rangkuman LCG dari LWT dan DWT

Keterangan	W (ton)	LCG (m)	W x LCG
LWT	11388.245	0.802	9131.194
DWT	10583.470	3.138	33208.178
	21971.715		42339.372

$$\begin{aligned} LCG_{TOTAL} &= 1.927 && \text{m dari } midship \\ &= 78.127 && \text{m dari AP} \end{aligned}$$

IV.13.2. Hasil Perhitungan VCG

Hasil perhitungan dari VCG (*Vertical Center of Gravity*) atau titik berat memanjang kapal dapat dilihat pada Tabel IV.11.

Tabel IV.11 Rangkuman VCG dari LWT dan DWT

Keterangan	W (ton)	VCG (m)	W x VCG
LWT	11388.245	11.877	135260.371
DWT	10583.470	6.609	69946.073
	21971.715		205206.444

$$VCG_{TOTAL} = 9.340 \quad \text{m dari } baseline$$

IV.14. Penentuan *Loadcase*

Loadcase ditentukan berdasarkan kondisi kapal untuk setiap pelayaran atau rute. Setiap rute memiliki jarak pelayaran dan kebutuhan yang berbeda-beda. Sehingga didapat *loadcase* untuk kapal seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV.12 berikut:

Tabel IV.12 *Loadcase*

<i>Item/ Loadcase</i>	<i>Loadcase 1 (100%)</i>	<i>Loadcase 2 (60 %)</i>	<i>Loadcase 3 (30%)</i>	<i>Loadcase 4 (Suplai Listrik 100%)</i>	<i>Loadcase 5 (Suplai Listrik 60%)</i>	<i>Loadcase 6 (Suplai Listrik 30%)</i>	<i>Loadcase 7 (Suplai Listrik 0%)</i>
LWT (ton)	11388.245	11388.245	11388.245	11388.245	11388.245	11388.245	11388.245
<i>Fresh Water (GT) (S)</i>	100%	100%	100%	100%	60%	30%	0%
<i>Fresh Water (GT) (P)</i>	100%	100%	100%	100%	60%	30%	0%
<i>Natural Gas (GT) (S)</i>	100%	100%	100%	100%	60%	30%	0%
<i>Natural Gas (GT) (P)</i>	100%	100%	100%	100%	60%	30%	0%
LO (GT)	100%	100%	100%	100%	60%	30%	0%
<i>Fresh Water (Consumable) (S)</i>	100%	60%	30%	0%	0%	0%	0%
<i>Fresh Water (Consumable) (P)</i>	100%	60%	30%	0%	0%	0%	0%
LO (ME&AE)	100%	60%	30%	0%	0%	0%	0%
HFO	100%	60%	30%	0%	0%	0%	0%
LNGPac (S)	100%	60%	30%	0%	0%	0%	0%
LNGPac (P)	100%	60%	30%	0%	0%	0%	0%
Ballast (S)	100%	100%	0%	0%	100%	100%	100%
Ballast (P)	100%	100%	0%	0%	100%	100%	100%
Ballast (C)	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%
Ballast (DB)	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%

Pada Tabel IV.12 menjelaskan *loadcase* yang dibahas dengan 7 keadaan, yaitu *loadcase* 1 saat kapal berada dalam keadaan semua tangki terisi penuh atau 100%, kemudian *loadcase* 2 saat tangki pada kapal dalam keadaan 60%, *loadcase* 3 saat tangki dalam keadaan 30%, *loadcase* 4 saat kapal sudah bersandar pada pelabuhan/ saat keadaan tangki consumable untuk keperluan berlayar sudah 0%, sedangkan tangki untuk *consumable gas turbine* masih 100%. Kemudian disaat kapal sudah bersandar dibagi lagi menjadi 3 *loadcase* disaat *consumable gas turbine* dalam keadaan 60%, 30% dan saat keadaan sudah habis.

Tapi dapat dilihat pada tangki *natural gas* untuk *gas turbine* dan *lubricating oil* untuk *loadcase* 1, *loadcase* 2 dan *loadcase* 3, *gas turbine* masih dalam keadaan 100%, hal itu dikarenakan sistem untuk *power plant* belum berlangsung/ belum melakukan suplai listrik ke

daerah yang membutuhkan, sehingga belum terdapat pengurangan untuk consumable *gas turbine* itu sendiri.

IV.15. Perhitungan *Trim* Kapal

Trim adalah perbedaan tinggi sarat kapal antara sarat depan dan belakang. Sedangkan *even keel* merupakan kondisi di mana sarat belakang T_b dan sarat depan T_a adalah sama. *Trim* terbagi dua yaitu:

1. *Trim* haluan
2. *Trim* buritan

Adapun batasan untuk *trim* didasarkan pada selisih harga mutlak antara LCG dan LCB dengan batasan $\leq 1\%$ Lpp. Untuk detail perhitungan pemeriksaan sarat dan *trim* kapal dapat dilihat pada Tabel IV.13

Trim maksimal menurut SOLAS Chapter II-1 Part B Regulation 5=

$$0.5\% Lwl = 0.762 \quad m$$

Tabel IV.13 Rangkuman *Trim*

No.	Loadcase	Nilai (m)	Batasan (m)	Trim	Status
1	Loadcase I (100%)	0.648	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED
2	Loadcase II (60%)	0.480	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED
3	Loadcase III (30%)	0.511	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED
4	Suplai Listrik (100%)	0.363	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED
5	Suplai Listrik (60%)	0.216	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED
6	Suplai Listrik (30%)	0.403	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED
7	Suplai Listrik (0%)	0.600	0.762	Trim Buritan	ACCEPTED

Kondisi *trim* kapal pada semua *loadcase* telah **memenuhi** kriteria yang ditentukan oleh SOLAS Chapter II-1 Part B Regulation 5.

IV.16. Perhitungan *Freeboard*

Sesuai dengan Sub Bab II.1.9, *freeboard* yang disyaratkan menggunakan rumus untuk tipe kapal A. Rekapitulasi perhitungan *freeboard* dapat dilihat pada tabel berikut.

L kapal	= 152.4	m
<i>Freeboard</i> standard	= 2.0064	m
Fb koreksi C_b	= 2.0405	m
Fb Koreksi <i>Depth</i>	= 3.2505	m
Fb Koreksi <i>Superstructure</i>	= -0.292	m

Lambung Timbul yang disyaratkan = 7.004 m
 Lambung Timbul Sebenarnya = 7.5 m
 Kondisi = Diterima

Kondisi dapat diterima dikarenakan lambung timbul sebenarnya memiliki nilai yang lebih besar dari pada lambung timbul yang disyaratkan sesuai dengan ICLL 1996.

Ketinggian *Bow* yang disyaratkan = 5.834 m
 Ketinggian *Bow* Sebenarnya = 9.9 m
 Kondisi = Diterima

Kondisi dapat diterima dikarenakan ketinggian *bow* sebenarnya memiliki nilai yang lebih besar dari pada ketinggian *bow* yang disyaratkan sesuai dengan ICLL 1996.

IV.17. Perhitungan Stabilitas Kapal

Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut memenuhi standard keselamatan pelayaran *Safety of Life at Sea* (SOLAS) atau *International Maritime Organization* (IMO). Perhitungan stabilitas dilakukan dengan bantuan software *Maxsurf Stabilit..* Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan *software* adalah IS Code 2008.

Tabel IV.14 Rangkuman Hasil Stabilitas

No.	Loadcase	e_{30° m.deg	e_{40° m.deg	e_{30-40° m.deg	h_{30° m.deg	θ_{max} deg	GM_0 m
1	Loadcase I (100%)	21.5973	40.6355	19.0382	2.374	130.9	2.287
2	Loadcase II (60%)	21.3463	40.3519	19.0056	2.38	130	2.286
3	Loadcase III (30%)	21.2076	40.1893	18.9817	2.364	130	2.29
4	Suplai Listrik (100%)	21.0964	40.095	18.9986	2.373	129.1	2.294
5	Suplai Listrik (60%)	21.6811	40.3692	18.6881	2.076	130.9	2.354
6	Suplai Listrik (30%)	21.4106	37.6994	16.2888	1.715	131.8	2.36
7	Suplai Listrik (0%)	24.984	40.2244	15.2404	1.538	133.6	2.999
Batasan		≥ 3.1513	≥ 5.1566	≥ 1.7189	≥ 0.2	≥ 25	≥ 0.15
Status		ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED

Keterangan:

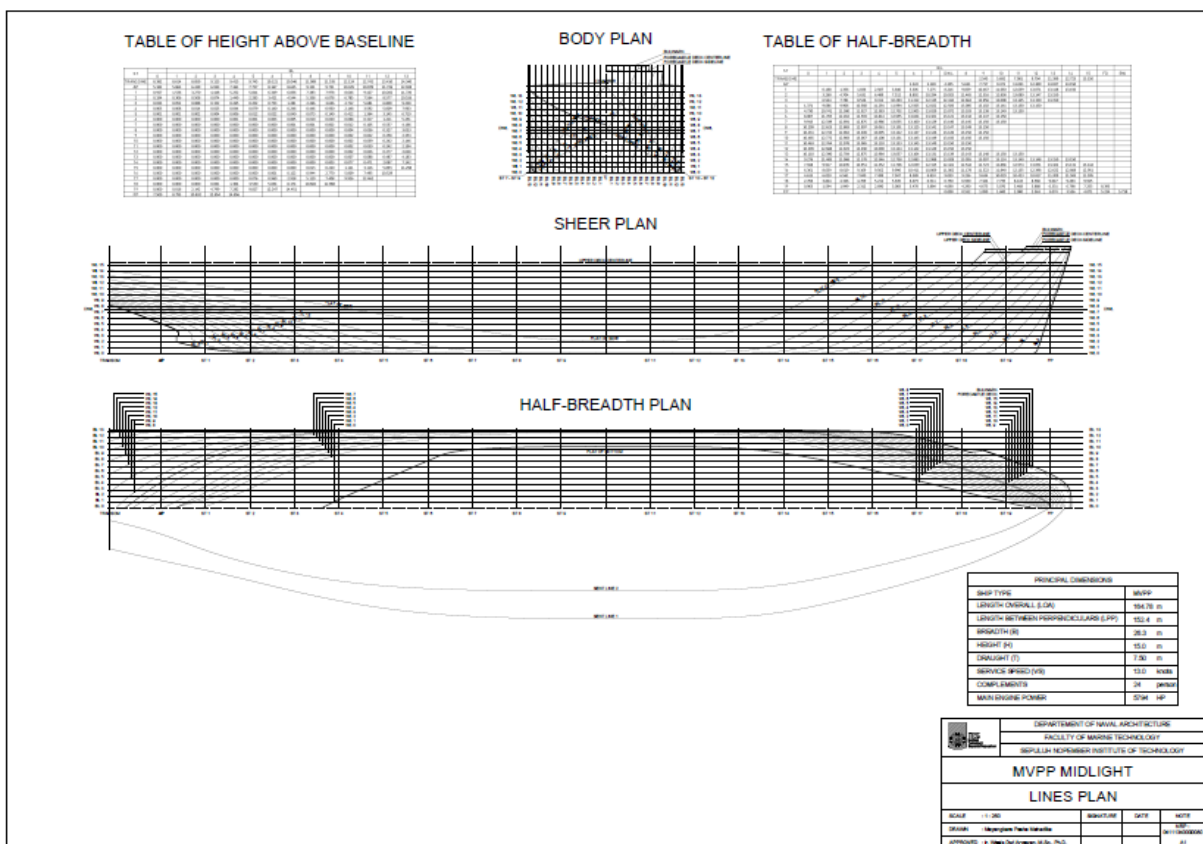
- e_{0-30° adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai 30° sudut oleng,
- e_{0-40° adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai 40° sudut oleng,

- e_{30-40° adalah luasan bidang yang terletak di bawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng 30° dan 40°
- h_{30° adalah lengan statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$.
- θ_{max} adalah sudut dimana lengan stabilitas statis (GZ) maksimum terjadi.
- GM_0 adalah tinggi *metacentre* (MG) pada sudut oleng 0° .

Kondisi stabilitas kapal pada semua *loadcase* telah **memenuhi** kriteria yang ditentukan oleh IS Code 2008.

IV.18. Desain Rencana Garis (*Lines Plan*)

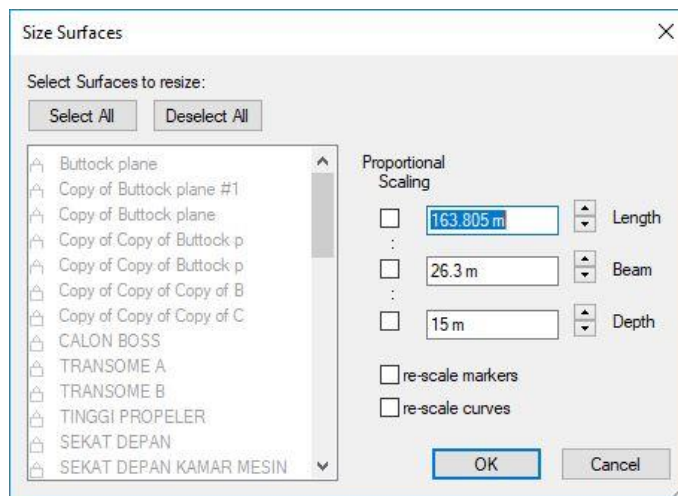
Dalam proses desain kapal ini, pembuatan rencana garis dengan menggunakan *software Maxsurf Modeler* dan melakukan pembuatan dari awal. Disaat kapal yang sudah didesain tersebut sudah berbentuk kapal kemudian desain tersebut diatur sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik yang sama dengan hasil yang sudah didapatkan di perhitungan sebelumnya (memiliki ukuran utama, *displacement*, koefisien-koefisien dan LCB yang sama) dan melakukan penyesuaian seperti tinggi poros unruk *propeller*, bentuk haluan dan bentuk buritan serta ukuran untuk *forecatle*.



Gambar IV.11 *Lines Plan* Kapal *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas 120 MW

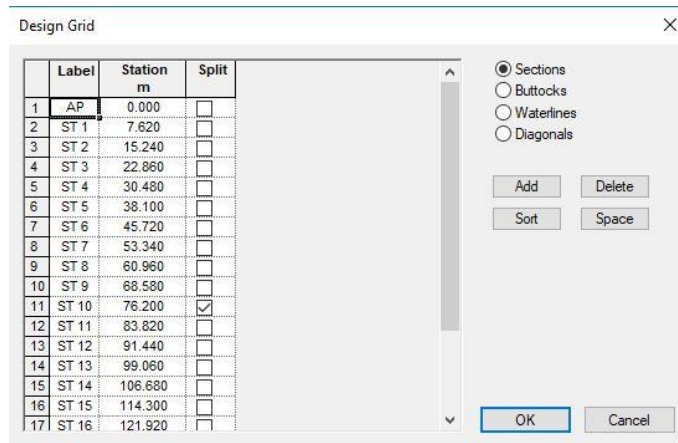
Untuk melihat mulus atau tidaknya permukaan desain, didalam *Maxsurf Modeler* telah disediakan pandangan dari beberapa sudut, yaitu tampak depan/belakang, tampak samping, tampak atas dan pandangan perspektif. Garis-garis dari berbagai sudut pandang itulah yang nantinya akan dijadikan sebagai rencana garis. Gambar IV.11 merupakan gambar dari model yang telah dibuat.

Setelah desain telah terbentuk, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, dan tinggi dari model yang dibuat. Caranya dengan menyesuaikan ukuran *surface* pada menu *surface > size surface* seperti pada Gambar IV.12. Pada bagian *size surface* ini panjang yang tertera adalah panjang total kapal.



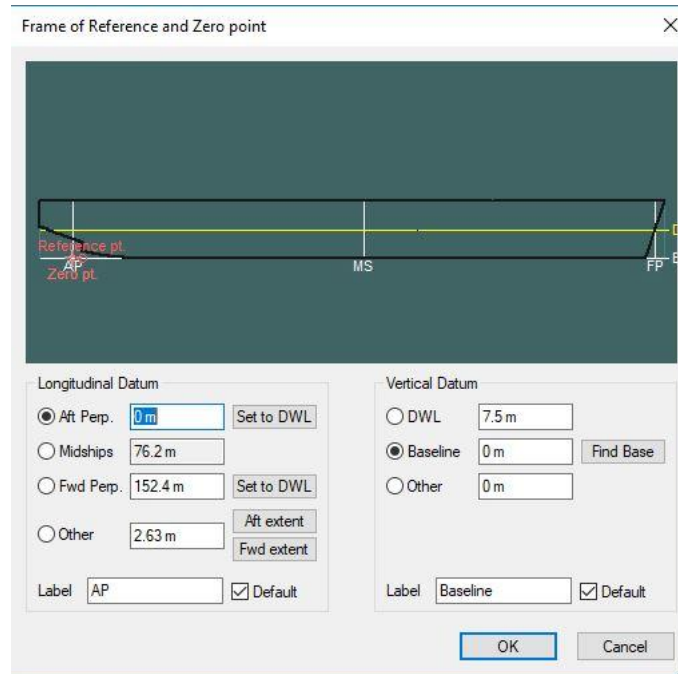
Gambar IV.12 Menu *Size Surface*

Kemudaian untuk mengatur jumlah dan letak dari *Stations*, *Buttocks* dan *Waterlines*, dengan membuka *menu data > design grid* dan akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar IV.13. Pada gambar yang tertera adalah bagian untuk mengatur *sections*, dapat dilihat bahwa tiap jarak station adalah 7.62 meter tiap *section*, untuk bagian pada *buttocks* dan *waterlines* diatur dengan jarak per bagian sepanjang 1 meter.



Gambar IV.13 Pengaturan Jumlah *Stations*, *Buttocks* dan *Waterlines*

Setelah ukuran sesuai kemudian ditentukan Lpp dan sarat untuk kapal ini. Untuk memasukkan nilai Lpp dan sarat kapal dilakukan dengan mengakses *menu data > frame of reference*. Pada Gambar IV.14 tampak Lpp kapal dan sarat kapal sudah sesuai dengan panjang dan sarat yang ditentukan.



Gambar IV.14 Pengaturan L_{PP} dan Sarat Kapal

Setelah Lpp dan sarat kapal ditentukan selanjutnya dilakukan pengecekan nilai hidrostatik dari model yang dibuat, yaitu dengan mengakses *menu data > calculate hydrostatic*. Dari sini akan tampak data-data hidrostatik model. Jika data belum sesuai dengan perhitungan maka perlu dilakukan perubahan terhadap model. Dan setelah data hidrostatik telah sesuai maka model ini dapat langsung diexport ke format dxf. Dari Gambar IV.15 menunjukkan bahwa model kapal sudah memiliki karakteristik kapal yang sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya pada Sub Bab IV.4 dan Sub Bab IV.5.

Untuk menyimpan rencana garis dari model yang telah dibuat, buka salah satu pandangan dari model, kemudian klik *file > export > DXF and IGES*, atur skala 1:1, kemudian klik *ok* dan *save file* baru tersebut. Cara ini berlaku untuk semua pandangan dari model.

Setelah didapatkan *body plan*, *sheer plan* dan *half-breadth plan*, langkah selanjutnya adalah menggabungkan ketiganya dalam satu *file* (.dwg) yang merupakan output dari *software CAD*. Setelah proses penggabungan menjadi rencana garis, selanjutnya melakukan pembuatan untuk tabel *offset* dengan melakukan pengukuran-pengukuran dari gambar yang sudah ada, membuat garis *sent line*, menambahkan tulisan untuk keterangan-keterangan dan kemudian melakukan penyuaian sehingga rencana garis sesuai dengan ketentuan.

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	22531	t
2	Volume (displaced)	21981.600	m ³
3	Draft Amidships	7.500	m
4	Immersed depth	7.500	m
5	WL Length	158.500	m
6	Beam max extents on WL	26.300	m
7	Wetted Area	4979.956	m ²
8	Max sect. area	194.516	m ²
9	Waterpl. Area	3415.159	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.713	
11	Block coeff. (Cb)	0.703	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.986	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.819	
14	LCB length	80.619	from aft end of actual WL (+ve fwd) m
15	LCF length	77.316	from aft end of actual WL (+ve fwd) m
16	LCB %	50.864	from aft end of actual WL (+ve fwd) % Lwl
17	LCF %	48.780	from aft end of actual WL (+ve fwd) % Lwl
18	KB	3.964	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMt	7.627	m
21	BML	236.472	m
22	GMt corrected	11.590	m
23	GML	240.436	m
24	KMt	11.590	m
25	KML	240.436	m
26	Immersion (TPc)	35.005	tonne/cm
27	MTc	355.466	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(4557.557	tonne.m
29	Length:Beam ratio	6.027	
30	Beam:Draft ratio	3.507	
31	Length:Vol ^{0.333} ratio	5.658	
32	Precision	Highest	212 stations

Density (water)

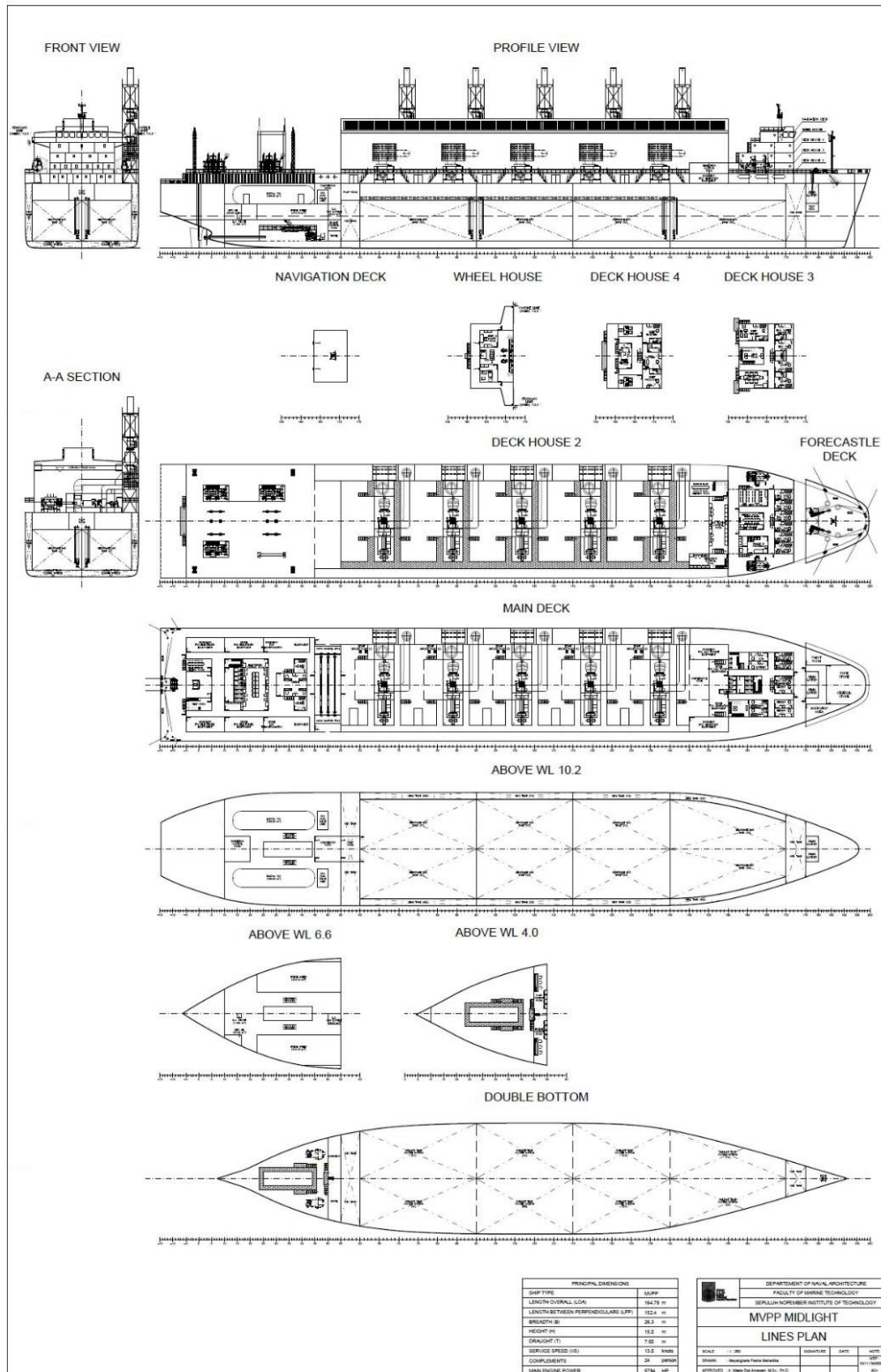
Std. densities

VCG

Gambar IV.15 Tabel Hidrostatik dari Model Kapal

IV.19. Desain Rencana Umum (*General Arrangement*)

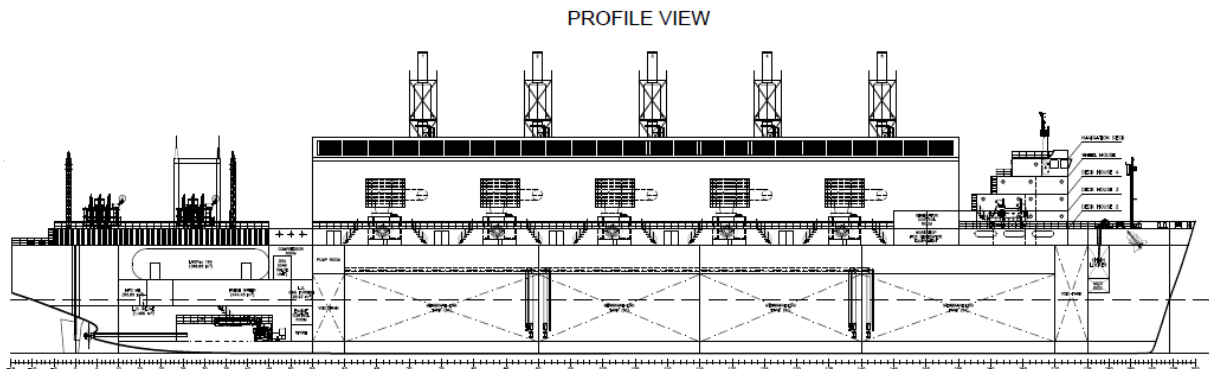
Dari gambar *Lines Plan* yang sudah dibuat, maka dapat dibuat pula gambar *General Arrangement* untuk kapal ini. *General Arrangement* didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapan kapal. Pembuatan *General Arrangement* dilakukan dengan bantuan *software AutoCAD 2020 Student Version*.



Gambar IV.16 General Arrangement Kapal Dual Fuel Pembangkit Listrik Tenaga Gas 120 MW

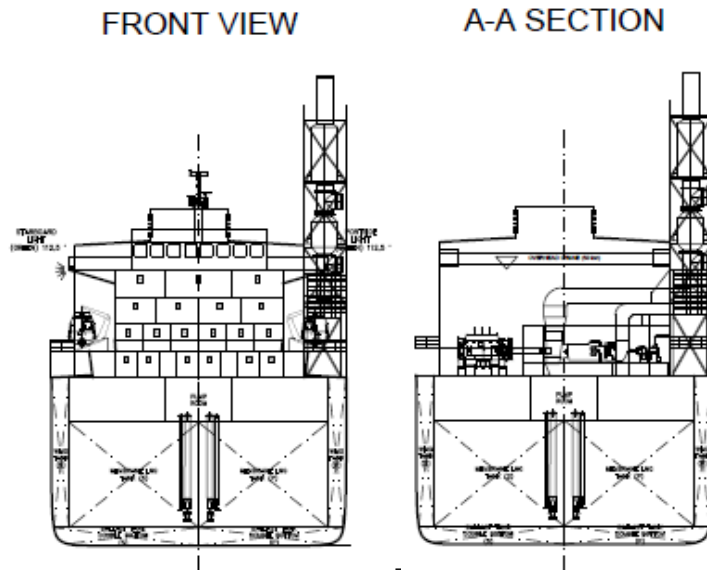
Dapat dilihat pada Gambar IV.17 bahwa tampak *profile view* Dual Fuel Pembangkit Listrik Tenaga Gas ini memiliki empat buah *deck house*, 1 *wheel house*, *power plant house* dan *electrical house*. Pada gambar *profile view* juga memperhatikan ketentuan untuk penataan ruang

bahan bakar gas turbine yang harus sesuai dengan *hazardous area*. Yaitu memberikan ruang kosong disekitar ruang bahan bakar, dibawah terdapat *double bottom*, kemudian disamping-sampingnya terdapat *wing tank*, serta di bagian depan dan belakangnya terdapat *void tank*. Hal ini untuk mencegah terjadinya kontak langsung antara bahan bakar gas alam dengan api.



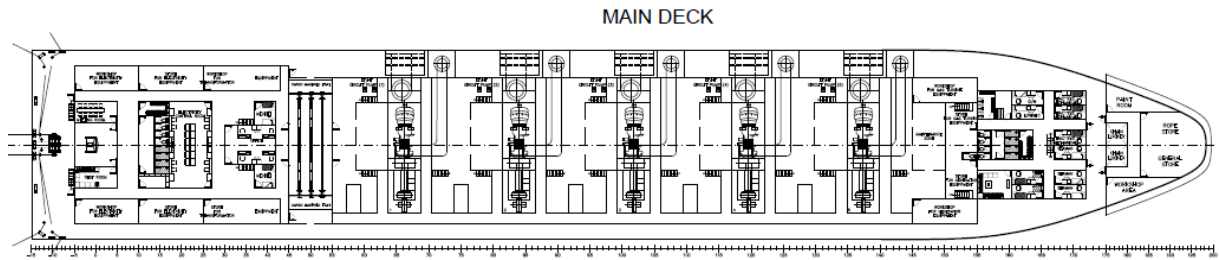
Gambar IV.17 Tampak Side View General Arrangement

Kemudian pada Gambar IV.18 bahwa tampak *front view Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas ini menjelaskan detail penataan *gas power plant*. Dapat dilihat juga disini bahwa runag bahan bakar gas turbine memiliki ruang kosong diantara ruang bahan bakar, yaitu *wing tank* dan *double bottom*.



Gambar IV.18 Tampak Front View General Arrangement

Gambar IV.19 merupakan tampak *main deck view* yang menjelaskan detail penataan *gas power plant* dan ruangan pada *electrical house*. Dalam bagian ini terdapat komponen-komponen utama dalam sistem *power plant*, yaitu antara lain mesin gas turbine itu sendiri, kemudian segala perlengkapannya, ruang untuk mengatur kelistrikan pada *electrical house*, dan terdapat juga perlengkapan kapal yang dibutuhkan.

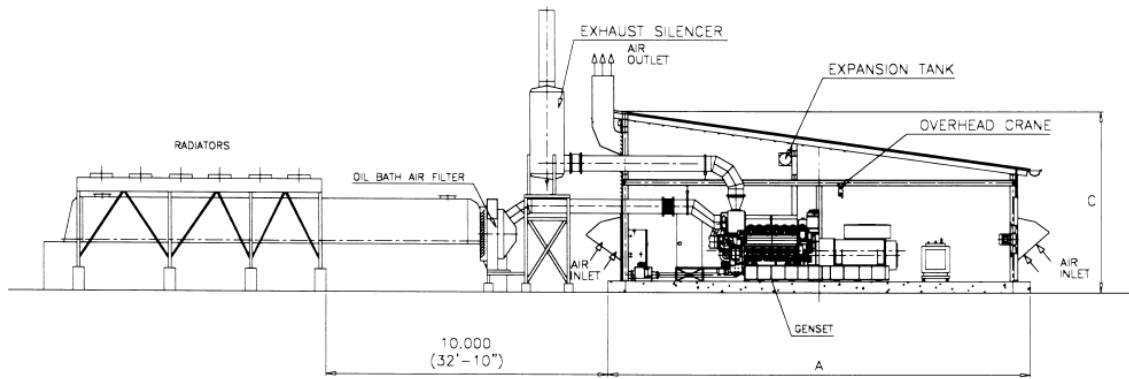


Gambar IV.19 Tampak *Main Deck View General Arrangement*

Berikut langkah atau tahapan yang dilakukan dalam mendesain *General Arrangement*. Untuk gambar rencana umum terlampir.

1. Langkah awal adalah menentukan jarak gading. Pada *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas ini jarak gading yang direncanakan adalah 900 mm untuk ruang muat, dan 600 mm untuk daerah ceruk. Sesuai dengan ketentuan jarak gading besar yang telah diatur dalam BKI yaitu lima jarak gading untuk ruang muat.
2. Selanjutnya adalah meletakkan sekat untuk sekat belakang kamar mesin, sekat depan kamar mesin dan sekat tubrukan, serta meletakkan *double bottom*.
3. Perencanaan deck house yang nanti akan diisi dengan ruang-ruang akomodasi yang diperlukan, serta *power plant house* dan *electrical house* yang nanti akan diisi oleh komponen-komponen dari hal-hal yang dibutuhkan.
4. Peletakan *gas power plant* dan komponen-komponennya didesain tampak *side view*, *front view* dan *main deck view* sesuai dengan *layout* yang sudah dibuat di awal mengacu pada katalog-katalog yang ada.
5. Kemudian melakukan perencanaan tangki-tangki yang akan digunakan untuk penentuan titik berat yang akan digunakan untuk penentuan pada Sub Bab IV.13
6. Untuk peletakan tangki bahan bakar untuk gas turbine, yaitu *natural gas*, diperlukan pelakuan khusus dengan memberikan *void tank* di sekitar tangkinya sebagai *hazardous area*.
7. Perencanaan perlengkapan yang mendukung untuk desain kapal ini, seperti *mooring system*, *life buoy*, antena dan detail-detail yang lain.
8. Melakukan penataan hasil dari pandangan yang sudah dibuat tadi pada lembar gambar dan menambahkan tulisan untuk keterangan-keterangan kemudian melakukan penyusaian sehingga *General Arrangement* enak untuk dilihat.

Dalam pembuatan *General Arrangement* kapal ini, ada beberapa yang perlu diperhatikan seperti penataan ruang kamar mesin, penataan ruang untuk *consumable*, penataan ruang muat untuk bahan bakar gas turbine dan penataan ruang untuk *power plant* itu sendiri.



Gambar IV.20 Referensi Penataan Ruang Muat untuk *Power Plant*
(Sumber: Application and Installation Guide, Power Generation)

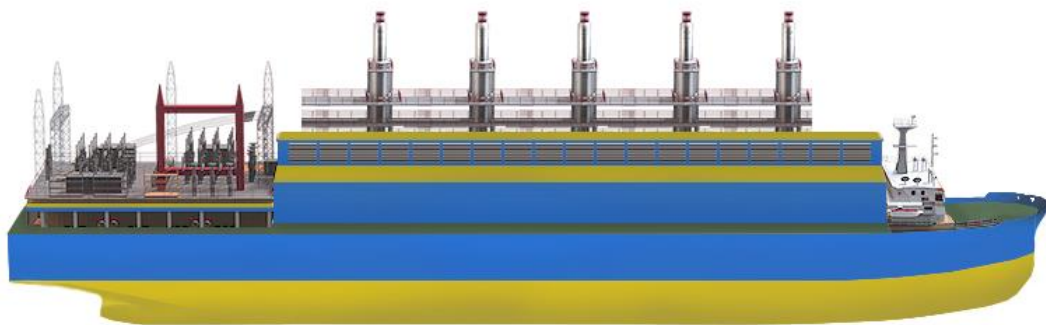
IV.20. Desain Permodelan 3 Dimensi

Setelah dilakukan pemodelan rencana umum, selanjutnya pemodelan 3D dapat dilakukan dengan pemroyeksian sesuai dengan rencana umum. Pengerjaan pemodelan 3D dibantu dengan dua *software* yaitu *Bentley Maxsurf* dan *SketchUp*.

Pada tahap awal permodelan lambung menggunakan *software Maxsurf Modeler* yang sudah dibuat sebelumnya. Kemudian untuk memudahkan proses pembuatan model 3D ini, empat buah deck house, 1 wheel house, power plant house dan electrical house juga dibuat menggunakan *software Maxsurf Modeler*.

Proses pengerjaan selanjutnya adalah pemodelan finishing bangunan atas dan beberapa detail pada bagian *main deck*. Proses ini dikerjakan dengan dibantu *software SketchUp*.

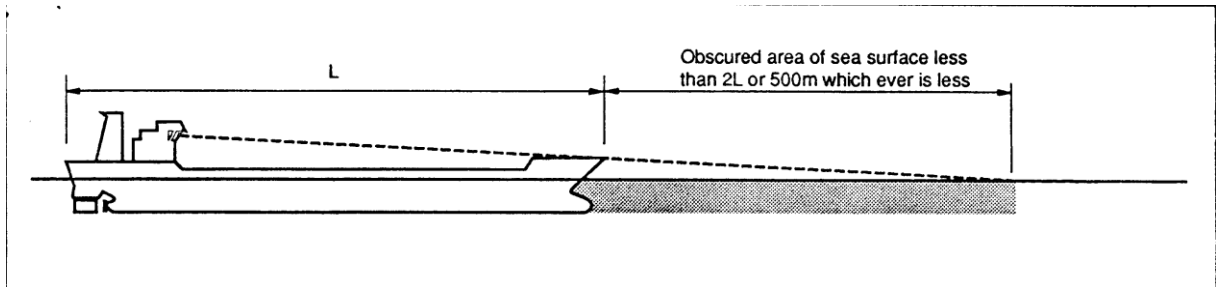
Pengerjaan ini dilakukan dengan mengekspor gambar lambung kapal yang telah dibuat pada *software Maxsurf* menjadi bentuk DXF atau 3D kemudian meng-*import* pemodelan 3D lambung yang telah dibuat sebelumnya pada *software Maxsurf* ke *software SketchUp*. Pada *software SketchUp* dilakukan pemodelan 3D secara utuh sehingga didapatkan model 3D yang sesuai dengan *General Arrangement*.



Gambar IV.21 Model 3D Kapal *Dual Fuel* Pembangkit Listrik Tenaga Gas 120 MW

IV.21. Pemeriksaan *Navigation Bridge Visibility*

Menurut SOLAS Reg. V/22, kapal dengan panjang keseluruhan (Loa) 45 meter atau lebih yang dibangun pada atau sesudah 1 Juli 1998, pandangan terhadap permukaan laut dari posisi navigasi kapal tidak lebih dari dua kali panjang kapal (Loa), atau 500 meter, diambil yang lebih kecil. Ketentuan ini untuk memastikan keeluasaan pandangan kapal terhadap kapal lain dengan ukuran lebih kecil yang kemungkinan ada di depan kapal, sehingga menghindar terjadinya tabrakan (Kurniawati, H.A., 2009).



Gambar IV.22 Regulasi *Navigation Bridge Visibility*

Pada Gambar IV.23 dapat dilihat bahwa jarak pandang dari *navigation deck* kapal tidak melebihi dua kali panjang keseluruhan kapal ($2 \times \text{Loa}$) sehingga persyaratan SOLAS Reg. V/22 tentang jarak pandang anjungan kapal telah **terpenuhi**.



Gambar IV.23 *Navigation Bridge Visibility* pada *Dual Fuel Pembangkit Listrik*

Tenaga Gas 120 MW

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari pengerjaan Tugas Akhir ini, adalah :

1. Ukuran Utama Kapal pembangkit listrik tenaga gas yang didesain yaitu :
 - Lpp (Panjang) = 152.4 m
 - B (Lebar) = 26.3 m
 - H (Tinggi) = 15 m
 - T (Sarat) = 7.5 m
2. Perhitungan teknis yang dilakukan telah memenuhi.
 - Perhitungan berat yang telah dilakukan menghasilkan margin berat sebesar 2.483 %. *Displacement* kapal adalah 22531.136 ton dan berat kapal (LWT+DWT) adalah 21971.715 ton. Sehingga perhitungan berat **diterima**.
 - Perhitungan *trim* yang telah dilakukan menghasilkan hasil 0.648 m, sedangkan batasan *trim* maksimal adalah sebesar 0.762 m. Sehingga perhitungan *trim* telah **diterima**.
 - Perhitungan lambung timbul yang telah dilakukan menghasilkan batasan lambung timbul sebesar 7.004 m, sedangkan lambung timbul kapal sebenarnya adalah 7.5 m. Sehingga perhitungan lambung timbul **diterima**.
 - Perhitungan stabilitas yang dilakukan menggunakan acuan regulasi dari IMO IS Code 2008. Hasil yang didapatkan semua parameter stabilitas telah **diterima**.
3. Desain *Lines Plan* telah dibuat sesuai dengan gambar teknik internasional dan dilampirkan pada **Lampiran B**.
4. Desain *General Arrangement* telah dibuat sesuai dengan gambar teknik internasional dan dilampirkan pada **Lampiran C**.
5. Desain 3D telah dibuat sesuai dengan *General Arrangement* dan dilampirkan pada **Lampiran D**.

V.2. Saran

Dalam pengerjaan sebuah Tugas Akhir, pasti terdapat kelebihan dan kekurangan. Kekurangan yang ada dapat dijadikan saran untuk dikembangkan menjadi penelitian yang baru. Maka untuk penyempurnaan disarankan untuk melakukan beberapa hal, antara lain:

1. Perhitungan berat dilakukan dengan cara yang lebih mendetail
2. Masih perlunya pengkajian ulang tentang sistem pembangkit listrik tenaga gas dan tangki bahan bakar gas turbin yang digunakan pada kapal pembangkit listrik tenaga gas yang didesain.
3. Masih diperlukan penentuan Gardu Induk serta komponennya dan pemilihan Generator yang sesuai untuk sistem Power Plant.
4. Dilakukannya pembahasan perhitungan kontruksi, kekuatan memanjang, dan kekuatan melintang.

DAFTAR PUSTAKA

- Admin. (2013, Mei 9). *Perbedaan Solar HSD, MFO, dan IDO*. Retrieved April 7, 2016, from Jual Solar Industri Surabaya: <http://solarindustri-surabaya.com>
- Agustinus, M. (2017, Juli 19). *Jonan Revisi Batas Maksimal Harga Listrik Tenaga Air*. Retrieved from detikfinance: <https://finance.detik.com>
- Ariana, I. M. (2013). *Tinjauan Teknis Ekonomis Pemakaian Dual Fuel pada Tug Boat PT. Pelabuhan Indonesia II*. Surabaya: ITS.
- Aryadiandra, R. (2015). *Desain Kapal Penyeberangan sebagai Sarana Transportasi, Rekreasi, dan Edukasi di Pulau Giliyang, Kabupaten Sumenep-Madura*. Surabaya: ITS.
- ASTM A370. (2004). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *BKI Vol. IX Rules for Ship Carrying Liquefied Gases in Bulk*. Jakarta.
- Bluewater. (2018, Mei 20). *Conventional Buoys*. Retrieved from bluewater: <http://www.bluewater.com>
- BMKG. (2018, Juni 16). *Prakiraan Cuaca Wilayah Pelayanan*. Retrieved from Pusat Meteorologi Maritim: <http://maritim.bmkg.go.id>
- Boxwell, M. (2017). *Solar Electricity Handbook*. Birmingham: Greenstream Publishing Ltd.
- BPS. (2017). *Kabupaten Kepulauan Selayar Dalam Angka 2017*. Kepulauan Selayar: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Selayar.
- BPS. (2017). *Statistik Daerah Kepulauan Selayar*. Kepulauan Selayar: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Selayar.
- BPS. (2018, April 28). *Badan Pusat Statistik*. Retrieved from Sistem Informasi Rujukan Statistik: <https://sirusa.bps.go.id>
- Chopra, K. (2015, Juli 10). *What is an Offshore Barge?* Retrieved from Marine Insight: <https://www.marineinsight.com>
- Communities, E. (2009). *Photovoltaic Solar Energy: Development and Current Research*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union.
- DEN. (2018). Retrieved from Infrastruktur Ketenagalistrikan: <http://gis.den.go.id/>
- ESDM, P. (2017, Januari 30). Nomor 12 Tahun 2017. *Pemanfaatan Sumber Energi Terarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik*. Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Farras, A. A. (2018). *Desain Kapal 3-In-1 Multipurpose Container-Passenger-Vehicle dengan Variasi Bangunan Atas Portable sebagai Penunjang Tol Laut di Wilayah Indonesia Timur*. 2018: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- FEM-IPB, D. A. (n.d.). Analisis Sensitivitas (Sensitivity Analysis). Bogor, Jawa Barat, Indonesia: Institut Teknologi Bogor.
- Hariyanto, D. (2015). *Desain Power Plant Barge 20 MW Tenaga Gas sebagai Unit Pembantu Wilayah Kabupaten Kepulauan Selayar Sulawesi Selatan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember .
- Hariyanto, D. (2015). *Desain Power Plant Barge 20 MW Tenaga Gas sebagai Unit Pembantu Wilayah Kabupaten Kepulauan Selayar Sulawesi Selatan*. Surabaya: ITS.
- Hasan, H. (2012). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*, 177.

- Health and Safety Executive of UK. (2016). *Health and Safety Executive of UK*. Retrieved from Health and Safety Executive of UK: <http://www.hse.gov.uk/fireandexplosion/zoning.pdf>
- International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)*. London: IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (1993). *International Gas Code*. International Maritime Organization .
- Kumaran. (2017, Oktober 1). *Berapa Harga Listrik dari Kincir Angin Raksasa 75 MW di Sidrap?* Retrieved from Kumaran: <https://kumaran.com>
- Kurniawati, H.A. (2009). Lecture Handout. *Ship Outfitting*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Lewis, E. V. (1988). *PNA Vol.II*. New Jersey: SNAME.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume II*. Jersey City, NJ: The Society of Naval Architect and Marine Engineers.
- Loshure, K. W. (2011). *Solar Independent Utility Systems Manual*. Bloomington: AuthorHouse.
- Mistree, F., Smith, W. F., Bras, B. A., Allen, J. K., & Muster, D. (1990). Decision-Based Design: A Contemporary Paradigm for Ship Design. *SNAME Transaction*, 565.
- Muk-Pavic, Ema., Chin, Shin., Spencer, & Don. (2006). *Validation Of The CFD Code Flow-3D For The Free Surface Flow Around The Ship's Hulls*. Canada: 14th Annual Conference Of The CFD Society Of Canada.
- Najamudin, H. (2011). *Bahan Ajar Perancangan Pembangkit Listrik*.
- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design*. Michigan.
- Puspitasari, D. A. (2018). *Desain Floatin Power Plant dengan Tenaga Panel Surya untuk Masyarakat Maluku Utara*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Putra, I. K. (2012). *Perancangan Kapal Katamaran Multi Purpose untuk Pelayaran Bawean-Gresik pada Cuaca Ekstrim*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahardjo, I., & Fitriana, I. (2012). Analisis POTensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia. *Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan*, 43-52.
- Rahayu, S. (2016, Februari 22). *Pengertian Subsidi Listrik*. Retrieved from Seputar Pengertian: <http://seputarpengertian.com>
- Saputro, L. H. (2016). *Desain Barge Pembangkit Listrik Tenaga Konversi Panas Air Laut untuk Wilayah Kepulauan Talaud, Sulawesi Utara*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sufa, M. F. (2007). Analisis Sensitivitas pada Keputusan Pembangunan Meeting Hall untuk Minimasi Resiko Investasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 99.
- Tarif Dasar Listrik PLN Maret 2018*. (2018, Mei 2). Retrieved from Listrik.org: <http://listrik.org/>
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design* (Vol. 1). (R. Bhattacharyya, Ed.) Oxford: Elsevier.
- Watson, D. G. (1998). *Practical Ship Design*. Kidlington: Elsevier.
- Wikipedia. (2016, January). *Wikipedia*. Retrieved December 3, 2016, from Wikipedia: https://id.wikipedia.org/wiki/Gas_alam

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN ANALISA TEKNIS

LAMPIRAN B RENCANA GARIS (*LINES PLAN*)

LAMPIRAN C RENCANA UMUM (*GENERAL ARRANGEMENT*)

LAMPIRAN D 3D MODELING

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN ANALISA TEKNIS

SPESIFIKASI GAS TURBINE

SIEMENS								
	SGT-800			SGT-750	SGT-700	SGT-600	SGT-400	
Gross Eff. (%)	37.7	38.3	39.1	40.3	37.2	33.6	34.8	35.4
Power Generation (MW)	47.5	50.5	54	39.8	32.8	24.5	12.9	14.3
Jumlah Unit per MW								
1	47.5	50.5	54	39.8	32.8	24.5	12.9	14.3
2	95	101	108	79.6	65.6	49	25.8	28.6
3	142.5	151.5	162	119.4	98.4	73.5	38.7	42.9
4	190	202	216	159.2	131.2	98	51.6	57.2
5	237.5	252.5	270	199	164	122.5	64.5	71.5
6	285	303	324	238.8	196.8	147	77.4	85.8
7	332.5	353.5	378	278.6	229.6	171.5	90.3	100.1
8	380	404	432	318.4	262.4	196	103.2	114.4
9	427.5	454.5	486	358.2	295.2	220.5	116.1	128.7
10	475	505	540	398	328	245	129	143
11	522.5	555.5	594	437.8	360.8	269.5	141.9	157.3
12	570	606	648	477.6	393.6	294	154.8	171.6

*Pemilihan Gas Turbine juga memperhatikan efisiensi dari gas turbine

SHARK CLASS : *Karadeniz Powership Zeynep Sultan/ Irem Sultan



PENENTUAN UKURAN UTAMA KAPAL

DATA KAPAL PEMBANDING

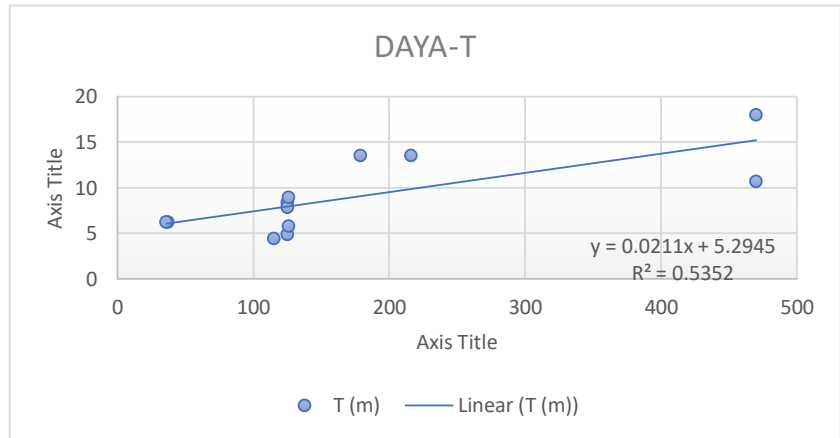
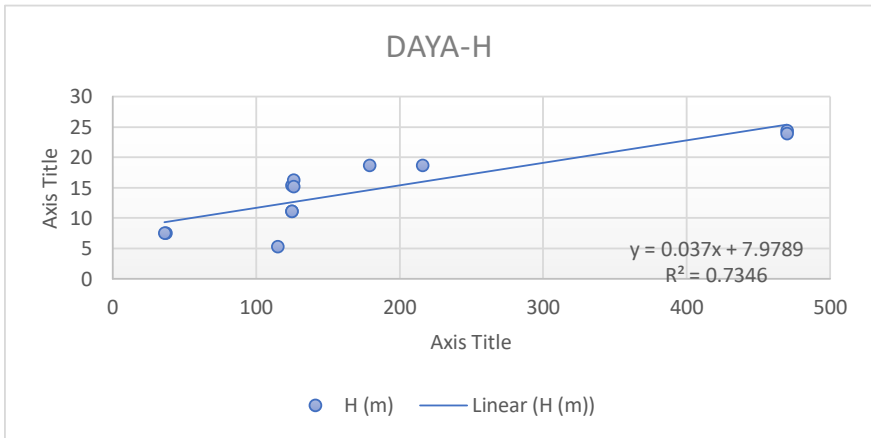
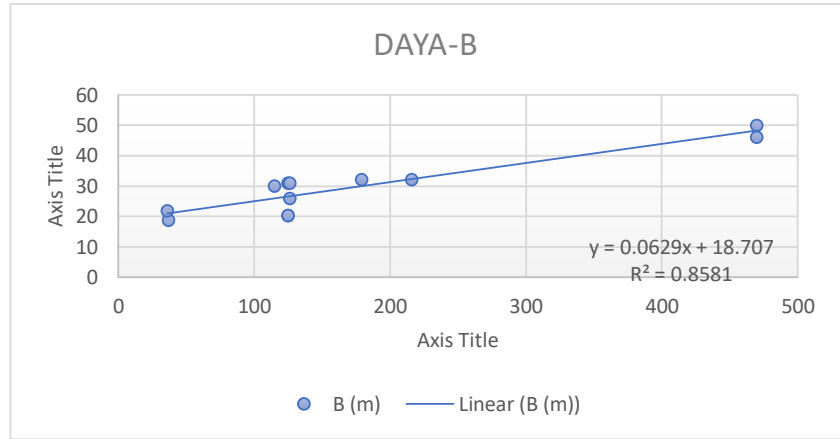
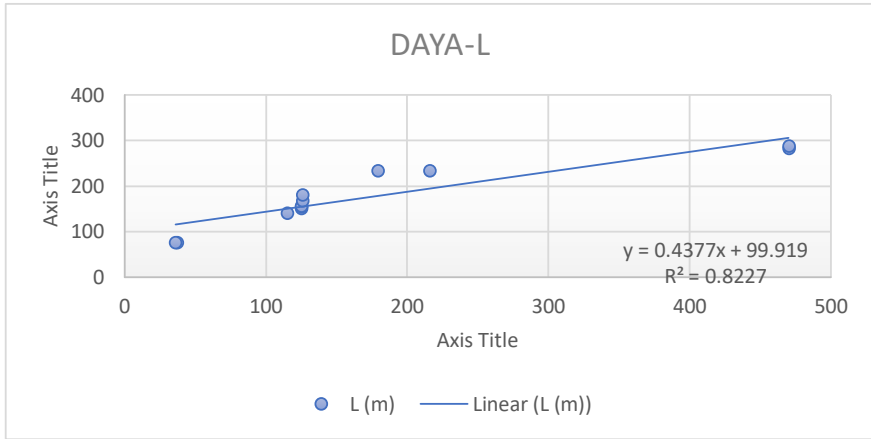
No.	Nama Kapal	Daya (MW)	DWT (ton)	LOA (m)	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)	Freeboard (mm)	CLASS
1	Karadeniz Powership Zeynep Sultan	125	8638	158.9	150.63	31	15.45	4.9	10530	SHARK
2	Karadeniz Powership Yasin Bey	125	5675	162.18	154.25	20.4	11.1	8.4	2843	SHARK
3	Karadeniz Powership Gokhan Bey	125	11934	162.18	155.8	20.4	11.1	7.88	2843	SHARK
4	Karadeniz Powership Onur Sultan	470	172639	295.82	283	46	24.4	18.02	10931	KHAN
5	Karadeniz Powership Mehmet Bey	126	18855	178.84	168	25.99	16.3	9	8330	SHARK
6	Karadeniz Powership Nezih Bey	37	2588		76.2	18.8	7.6	6.27	1518	SEAL
7	Karadeniz Powership Doğan Bey	126	41535	188.14	180	31	15.2	5.8	9644	SHARK
8	Karadeniz Powership Rauf Bey	179	75485	241.89	233.76	32.2	18.7	13.6	11221	SHARK
9	Karadeniz Powership Kaya Bey	216	75485	241.89	233.76	32.2	18.7	13.6	11071	SHARK
10	Karadeniz Powership İrem Sultan	115	8727	157.78	140.08	30	5.31	4.43	8770	SHARK
11	Karadeniz Powership Osman Khan	470	184920	299.76	288.5	50	23.9	10.71	14138	KHAN
12	Karadeniz Powership Koray Bey	36	2588	82.5	76.2	21.8	7.6	6.27	1341	SEAL

UKURAN UTAMA KAPAL

DAYA	120	MW	REGRESI	FINAL
PANJANG (L)	$y = 0,4377x + 99,919$	=	152.44 m	152.4 m
LEBAR (B)	$y = 0,0629x + 18,707$	=	26.26 m	26.3 m
TINGGI (H)	$y = 0,037x + 7,9789$	=	12.42 m	15 m
SARAT (T)	$y = 0,0211x + 5,2945$	=	7.83 m	7.5 m

PERBANDINGAN UKURAN UTAMA

L/B	5.795	3.5	< L/B <	10	(PNA Vol. 1 hal. 19)
L/T	20.320	10	< L/T <	30	(PNA Vol. 1 hal. 19)
B/T	3.507	1.8	< B/T <	5	(PNA Vol. 1 hal. 19)
L/H	10.160	8.12	< L/H <	15.48	(Ship Design for Efficiency and Economy hal.160)
B/H	1.753	1.47	< B/H <	2.38	(Ship Design for Efficiency and Economy hal.160)



COEFFICIENT CALCULATION

UKURAN UTAMA KAPAL

Daya	120 MW
L	152.40 m
B	26.30 m
H	15.00 m
T	7.50 m
Vs	13 knot 6.6872 m/s
ρ	1.025 ton/m ³
Fn	0.173
L _{WL}	104% · L _{pp} 158.4960 m

PERBANDINGAN UKURAN UTAMA

L/B	5.795	3.5	< L/B <	10
L/T	20.320	10	< L/T <	30
B/T	3.507	1.8	< B/T <	5
L/H	10.160	8.12	< L/H <	15.48
B/H	1.753	1.47	< B/H <	2.38

(PNA Vol. 1 hal. 19)

(PNA Vol. 1 hal. 19)

(PNA Vol. 1 hal. 19)

(Ship Design for Efficiency and Economy hal.160)

(Ship Design for Efficiency and Economy hal.160)

FROUDE NUMBER

(PNA Vol. 2 hal. 154)

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L_{PP}}} ; g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$= 0.173$$

PERHITUNGAN KOEFISIEN DAN UKURAN UTAMA LAINNYA

1. Koefisien Blok (Watson & Gilfillan) (Parametric Design hal. 11-11) $C_B = 0,7 + 0,125 \cdot \text{ATAN}((23 - 100 \cdot Fn)/4)$ 0.703111	5. Longitudinal Center of Bouyancy (Parametric Design hal. 11-19) LCB $9.7 - 45 \cdot Fn - 0.8$,Harvald 1.117308 %L _{pp} LCB $(LCB(\%)/100) \cdot L_{pp}$ 1.702778 m dari Midship LCB $0.5 \cdot L_{WL} + LCB(M)$ 80.95078 m dari AP LCB $L_{WL} - LCB(AP)$ 77.54522 m dari FP
2. Koefisien Midship (Series '60) (Parametric Design hal. 11-12) $C_M = 0.977 + 0.085(C_B - 0.6)$ 0.985764	6. Volume Displacement $L_{WL} \cdot B \cdot T \cdot C_B$ 21981.6 m ³
3. Koefisien Prismatic (PNA Vol. 1 hal. 19) $C_P = C_B / C_M$ 0.713	7. Displacement $\Delta \cdot \rho$ 22531.14 ton
4. Koefisien Bidang Garis Air (Tanker) (Parametric Design hal. 11-16) $C_{WP} = C_B / (0.471 + 0.551 \cdot C_B)$ 0.819081	

TABLE 11.V - DESIGN EQUATIONS FOR ESTIMATING WATERPLANE COEFFICIENT

Equation	Applicability/Source
$C_{WP} = 0.180 + 0.860 C_p$	Series 60
$C_{WP} = 0.444 + 0.520 C_p$	Eames, small transom stern warships (2)
$C_{WP} = C_B / (0.471 + 0.551 C_B)$	tankers and bulk carriers (17)
$C_{WP} = 0.175 + 0.875 C_p$	single screw, cruiser stern
$C_{WP} = 0.262 + 0.760 C_p$	twin screw, cruiser stern
$C_{WP} = 0.262 + 0.810 C_p$	twin screw, transom stern
$C_{WP} = C_p^{2/3}$	Schneekloth 1 (17)
$C_{WP} = (1 + 2 C_B / C_M^{1/2}) / 3$	Schneekloth 2 (17)
$C_{WP} = 0.95 C_p + 0.17 (1 - C_p)^{1/3}$	U-form hulls
$C_{WP} = (1 + 2 C_B) / 3$	Average hulls, Riddlesworth (2)
$C_{WP} = C_B^{1/2} - 0.025$	V-form hulls

Grafik Hubungan antara Froude Number dan Koefisien Blok untuk menentukan perlu atau tidaknya pemakaian Bulbous Bow

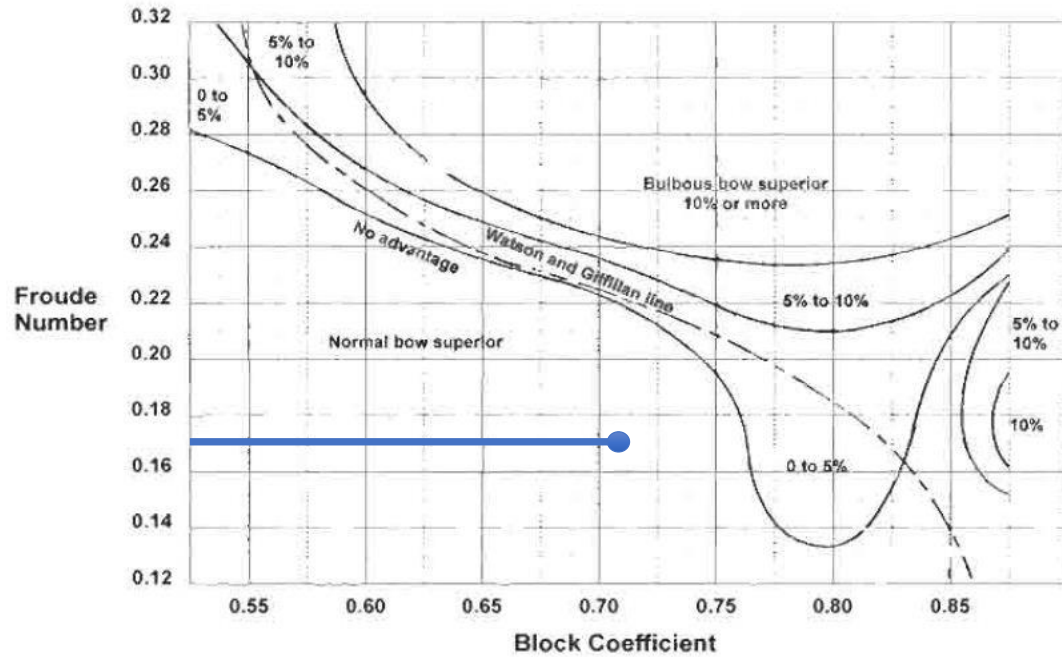


Fig. 8.1. The combination of Froude number and block coefficient at which a bulbous bow is likely to be advantageous.

Practical Ship Design hal. 233

$$Fn = 0.173$$

$$C_B = 0.703$$

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan bulbous bow, hanya mengurangi 0-5% hambatan kapal oleh karena itu penggunaan bulbous bow pada kapal ini tidak direkomendasikan.

TINGGI DOUBLE BOTTOM DAN JARAK COLLISION BULKHEAD

BKI Vol. II 2009 hal. 8-2

Tinggi Double Bottom

$$= B/20$$
$$= 1.315 \text{ m} \quad ; \text{ hanya digunakan sebagai acuan minimal tinggi double}$$

BKI Vol. II 2009 hal. 11-1

Jarak minimal Collision Bulkhead dari FP

$$= 0.05 \cdot LPP$$
$$= 7.62 \text{ m} \quad ; \text{ diambil nilai terkecil}$$
$$= 10 \text{ m} \quad 7.62 \text{ m}$$

Jarak maksimum Collision Bulkhead dari FP

$$= 0.08 \cdot LPP$$
$$= 12.192 \text{ m} \quad ; \text{ diambil nilai terbesar}$$
$$= 0.05 \cdot LPP + 3$$
$$= 10.62 \text{ m} \quad 12.192 \text{ m}$$

Jarak Collision Bulkhead dari FP

$$= 11.40 \text{ m} \quad ; \text{ menyesuaikan posisi frame}$$

Letak ini diukur dari AP ke depan

$$= \text{Terletak pada Frame (Gading) ke}$$
$$= 175$$

BKI Vol. II 2009 hal. 8-1

Tinggi Floor Plate di Fore Peak (h)

$$= 0.06 \cdot H + 0.7$$
$$= 1.60 \text{ m} \quad ; \text{ hanya digunakan sebagai acuan minimal tinggi double bottom}$$

MENENTUKAN BENTUK BURITAN KAPAL

Menentukan Jarak Gading pada kapal

Diambil Jarak Gading untuk daerah Ruang Muat = **0.9** m

Diambil Jarak Gading untuk daerah Ceruk = **0.6** m

Diameter Propeller (D) = $0.65 \cdot T$; diambil antara 0.6 - 0.7 T
= **4.875** m

Diameter Poros Propeller (e) = $0.12 \cdot T$
= 0.90 m

Diambil = **0.72** m 0.36

Jarak baseline terhadap titik tengah poros (a) = $0.33 \cdot T$
= 2.48 m

Diambil = **2.48** m 2.12 2.84

Jarak antara sumbu poros kemudi terhadap ujung poros propeller (b) = $0.35 \cdot T$
= 2.625 m

Diambil = **2.1** m

MENENTUKAN PANJANG KAMAR MESIN

Menentukan Letak Sekat Depan Kamar Mesin

$$\begin{aligned} \text{Letak sekat depan kamar mesin} &= (20-22\%) \cdot \text{LPP} \\ &= 30.48 \quad \text{m} \quad 20\% \quad 50.8 \\ &= 33.528 \quad \text{m} \quad 22\% \quad 55.88 \\ \text{Diambil} &= \mathbf{33} \quad \text{m} \quad \text{dari AP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Letak ini diukur dari AP ke depan} &= \text{Terletak pada Frame (Gading) ke} \\ &= \mathbf{55} \end{aligned}$$

Menentukan Letak Stern Bulkhead (Sekat Ceruk Buritan)

Dalam ketentuan buku BKI, bahwa untuk letak stern bulkhead diambil 3 jarak gading dari propeller post ke depan

$$\begin{aligned} \text{Untuk perencanaan ini menggunakan} &= 10 \cdot a_0 \\ &= \mathbf{6} \quad \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Letak ini diukur dari AP ke depan} &= \text{Terletak pada Frame (Gading) ke} \\ &= \mathbf{10} \end{aligned}$$

Panjang Kamar Mesin

Maka panjang kamar mesin bisa di dapat

$$\begin{aligned} \text{Panjang Kamar Mesin} &= \text{Panjang Sekat Depan Kamar Mesin} - (\text{Stern Bulkhead}) \\ &= 27 \quad \text{m} \\ \text{Diambil} &= \mathbf{27} \quad \text{m} \end{aligned}$$

LAMPIRAN A.6

PERHITUNGAN HAMBATAN

Holtrop & Mennen Method. Ref: PNA Vol. II

INPUT DATA

Daya	120	MW	Fn	0.172949
L	152.4	m	C _B	0.703111
L _{WL}	158.496	m	C _M	0.985764
B	26.3	m	C _P	0.713265
H	15	m	C _{WP}	0.819081
T	7.5	m	V _S	6.6872 m/s

No.	C _{STERN}	Used for	(PNA Vol. II hal. 91)
1	-25	Pram with Gondola	
2	-10	V-Shaped Sections	
3	0	Normal Section Shaped	
4	10	U-Shaped Section with Hogner Stern	

PERHITUNGAN

1. Viscous Resistance

CFO (Koefisien Gesek) ITTC 1957 (PNA Vol. II hal. 13)

$$\text{Angka Reynold (Rn)} = \frac{L_{WL} \cdot V_S}{1.18831 \cdot 10^{-6}}$$

$$891934302.7$$

$$\text{Koefisien Gesek (C}_{FO}) = \frac{0.075}{(\text{Log Rn} - 2)^2}$$

$$0.001553$$

Harga 1+k₁ (form factor of bare hull) (PNA Vol. II hal. 91)

$$C = 1 + (0.11 \cdot C_{stern})$$

$$1$$

C_{stern} = 0; karena Afterbody normal section shape

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

$$1.000$$

$$L_{WL}^3 / \nabla = \frac{L_{WL}^3}{L_{WL} \cdot B \cdot T \cdot C_B}$$

$$181.132$$

$$1+k_1 = 0.93 + 0.487 \cdot C \cdot \left(\frac{B}{L_{PP}}\right)^{1.0681} \cdot \left(\frac{T}{L_{PP}}\right)^{0.4611} \cdot \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.1216} \cdot \left(\frac{L_{WL}^3}{\nabla}\right)^{0.3649} \cdot (1 - C_P)^{-0.6042}$$

$$1.194$$

2. Resistance of Appendages

Wetted Surface Area

$$A_{BT} = 0$$

tanpa bulbous bow

$$\text{Wetted Surface Area (S)} = L_{WL} \cdot (2 \cdot T + B) \cdot \sqrt{C_M} \cdot (0.453 + 0.4425 \cdot C_B) - 0.2862 \cdot C_M - 0.003467 \cdot \frac{B}{T} + 0.3696 \cdot C_{WP} + 2.38 \cdot \frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$5021.066468 \text{ m}^2$$

(PNA Vol. II hal. 91)

LAMPIRAN A.6

S_{RUDDER}	$2 \cdot (C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot 1.75 \cdot L_{PP} \cdot \frac{T}{100})$	(BKI Vol. II hal.14-1)
$C_1 =$	1.000 faktor tipe kapal (umum)	
$C_2 =$	1.000 faktor tipe kemudi (umum)	
$C_3 =$	1.000 faktor tipe profil kemudi (NACA)	
$C_4 =$	1.000 faktor letak baling-baling	
S_{RUDDER}	40.005 m ²	
$S_{BILGEKEEL}$	$4 \cdot (0.6 \cdot C_B \cdot L_{WL}) \cdot \left(\frac{0.18}{C_B - 0.2} \right)$	
	0 m ²	
S_{APP}	$S_{RUDDER} + S_{BILGEKEEL}$	
	40.005 m ²	
S_{TOTAL}	$S + S_{APP}$	
	5061.071468 m ²	
$1 + k_2$	$\frac{1.5 \cdot S_{rudder} + 1.4 \cdot S_{bilgekeel}}{S_{rudder} + S_{bilgekeel}}$	
	1.5	
$1 + k$	$(1 + k_1) + ((1 + k_2) - (1 + k_1)) \cdot \frac{S_{app}}{S_{total}}$	(PNA Vol. II hal. 92)
	1.196167075	

3. Wave Making Resistance

C1		
B/LWL	0.165934787	
C4	0.165934787	0.11 ≤ L ≤ 0.25
Sarat moulded di AP (Ta)	7.5	
Sarat moulded di FP (Tf)	7.5	
iE	$125.67 \cdot \frac{B}{L_{WL}} - 162.25 \cdot C_p^2 + 234.32 \cdot C_p^3$ $+ 0.1551 \cdot [LCB_{AP} + (6.8 \cdot \frac{Ta-Tf}{T})^3]$	(PNA Vol. II hal. 93)
	35.89229077	
d	-0.9	(PNA Vol. II hal. 92)
C1	$2223105 \cdot C_4^{3.7861} \cdot \left(\frac{T}{B} \right)^{1.0796} \cdot (90 - iE)^{-1.3757}$	(PNA Vol. II hal. 92)
	2.635435732	
m1		
$\sqrt[3]{\bar{v}} / L_{WL}$	0.176739967	
C5	$1.7301 - 0.7067 \cdot CP$	untuk CP < 0.8
	1.226035803	
λ	$1.446 \cdot C_p - 0.03 \cdot \frac{L}{B}$	untuk L/B ≤ 12
	0.850586909	
m1	$0.01404 \cdot \frac{L_{WL}}{T} - 1.7525 \cdot \frac{\sqrt[3]{\bar{v}}}{L_{WL}} - 4.7932 \cdot \left(\frac{B}{L_{WL}} \right) - C_5$	(PNA Vol. II hal. 92)
	-2.034426703	

LAMPIRAN A.6

m2			(PNA Vol. II hal. 92)
L_{WL}^3 / ∇	181.132		
C6	-1.69385	untuk $L_{WL}^3 / \nabla \leq 512$	
m2	$C_6 \cdot 0.4 \cdot e^{-0.034 \cdot Fn^{-3.29}}$		
	-1.21028E-05		
C2			(PNA Vol. II hal. 92)
C2	1	Karena tidak ada bulb	
AT	0	The Immersed Area of The Transom at Zero Speed Saat V = 0 Transom Tidak Tercelup A	
C3			(PNA Vol. II hal. 92)
C3	$1 - \frac{0.8 \cdot A_T}{B \cdot T \cdot C_M}$		
	1		
RW/W			(PNA Vol. II hal. 92)
RW/W	$C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{(m_1 \cdot Fn^d + m_2 \cdot \cos(\lambda \cdot Fn^{-2}))}$		
	0.000136263		
CA			(PNA Vol. II hal. 93)
Tf/LWL	0.047319806	Tf/LWL > 0,04	
CA	$0.006 \cdot (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205$		
	0.00041694		

W (Gaya Berat)	
W	$\Delta \cdot g$
	221030.4447 kN

R_{TOTAL}	
R _{TOTAL}	$0.5 \cdot 1025 \cdot V_S^2 \cdot S_{total} \cdot (C_{FO} \cdot (1 + k) + C_A + \left(\frac{R_W}{W} \cdot W\right))$
	263366.07 N
	263.36607 kN

X%	Koreksi daerah pelayaran wilayah Asia Timur (15%-20%DHP)
X%	15% (Parametric Design Chapter 11 hal. 11-29)
R_{TOTAL} + Margin 15% R_{TOTAL}	
	302.871 kN

LAMPIRAN A.7

PROPULSI

INPUT DATA

L_{WL}	158.496	m	
T	7.5	m	
C_B	0.703111		
R_T	263.3661	kN	
D	4.875	m	diameter (0.65T)
n_{rpm}	250	rpm	owner requirements
n_{rps}	4.166667	rps	
P/D	1		Pitch Rasio (0.5 - 1.4)
z	4	blade	Jumlah Blade
A_E/A_0	0.55		Expanded Area Ratio (0.40; 0.55; 0.70; 0.85; 1.00)

PERHITUNGAN

$1+k$	1.196167		<i>(PNA Vol. II hal. 163)</i>
CF	0.075		
	$\frac{0.001553}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$		
CA	0.000417		
CV	$(1+k) \cdot C_F + C_A$		
	0.002274		
ω (Wake Friction)			untuk single screw
	$0.3 \cdot C_B + 10 \cdot C_V \cdot C_B - 0,1$		
	0.126923		
t	0.1		untuk single screw
V_a	Speed of Advance		
	$V_S \cdot (1 - w)$		
	5.838444		

EFFECTIVE HORSE POWER (EHP)

$P_E R_T \cdot V_s$		<i>(Parametric Design hal.27)</i>
1761.182	kW	

THRUST HORSE POWER (THP)

$P_T P_E \cdot \frac{(1-w)}{(1-t)}$		<i>(Parametric Design hal.29)</i>
1708.498	kW	

PROPULSIVE COEFFICIENT CALCULATION		
η_H Hull Efficiency	$\frac{(1 - t)}{(1 - w)}$	
		1.030836
η_O Open Water Test Propeller Efficiency	$\left(\frac{J}{2 \cdot n}\right) \cdot \left(\frac{KT}{KQ}\right)$	
		0.5
η_R		0.98
η_D Quasi-Propulsive Coefficient	$\eta_H \cdot \eta_O \cdot \eta_r$	
		0.50511
DELIVERY HORSE POWER (DHP)		
P_D Delivered Power at Propeller		(Parametric Design hal.29)
	$\frac{P_E}{\eta_D}$	
		3486.730 kW
SHAFT HORSE POWER (SHP)		
η_S Shaft Efficiency	(0.981-0.985)	
	0.985 for machinery after	
P_S Shaft Power	$\frac{P_D}{\eta_S}$	
		3539.827 kW
BRAKE HORSE POWER (BHP)		
η_t	0.975	(Parametric Design hal.33)
$\eta_B \eta_S$	0.98 for machinery after	(Parametric Design hal.31)
$P_{B0 SCR}$ Brake Horse Power (BHP ₀)		(Parametric Design hal.29)
	$\frac{P_E}{\eta_H \eta_O \eta_R \eta_S \eta_B \eta_t}$	
		3649.116 kW
Perhitungan Koreksi P_B		
$P_B + 15\%$ (Margin)	4196.483 kW	(Parametric Design hal.30)
Total BHP	5627.484 HP	

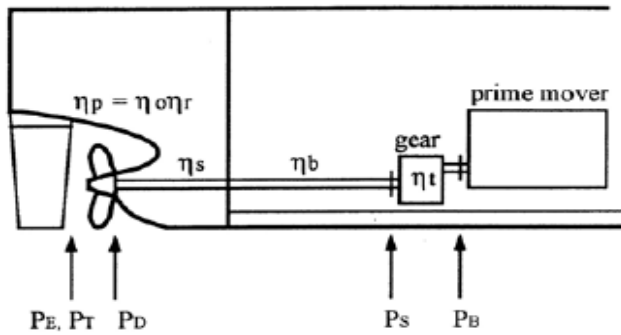


Figure 11.19 - Location of Various Power Definitions

Pengertian	
η_b	line bearing efficiency
η_c	electric transmission/power conversion efficiency
η_g	reduction gear efficiency
η_g	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

PENENTUAN MESIN UTAMA

Maximum Continues Rates MESIN

BHP 4196.483 kW
5627.484 HP

MESIN Four-Stroke Engine
Merk Wartsila
Type **9L34DF**

DAYA MESIN

Daya **4320** kW
5793.12 HP

KONSUMSI FUEL OIL

Total Energy C	7460 kJ/kWh		100%
	7560 kJ/kWh		85%
	7580 kJ/kWh		75%
	7780 kJ/kWh		50%

Gas Mode	7387 kJ/kWh	0.000133 ton/kWh	100%
	7470 kJ/kWh	0.000135 ton/kWh	85%
	7477 kJ/kWh	0.000135 ton/kWh	75%
	7642 kJ/kWh	0.000138 ton/kWh	50%

Diesel Mode	Diesel Mode	Gas Mode	
	189 g/kWh	1.8 g/kWh	100%
	185.7 g/kWh	2.2 g/kWh	85%
	183 g/kWh	2.5 g/kWh	75%
	182.2 g/kWh	3.3 g/kWh	50%

Wärtsilä Genset 34DF		IMO Tier III, EPA T3
Cylinder bore	340 mm	Fuel specification: Fuel oil
Piston stroke	400 mm	700 cSt/50°C 7200 sR1/100°F
Cylinder output	480, 500 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB
Speed	720, 750 rpm	
Mean effective pressure	22.0 bar	BSEC 7590 kJ/kWh
Piston speed	9.6, 10.0 m/s	BSGC 7490 kJ/kWh
Generator voltage	0.4–13.8 kV	
Generator efficiency	0.95–0.97	

Rated power				
Engine type	60 Hz		50 Hz	
	480 kW/cyl, 720 rpm		500 kW/cyl, 750 rpm	
	Engine kW	Gen. kW	Engine kW	Gen. kW
6L34DF	2 880	2 770	3 000	2 890
8L34DF	3 840	3 690	4 000	3 840
9L34DF	4 320	4 150	4 500	4 320
12V34DF	5 760	5 530	6 000	5 770
16V34DF	7 680	7 370	8 000	7 680

Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A	B	C	D	F	Weight
6L34DF	5 325	2 550	2 380	2 345	1 155	35
8L34DF	5 960	2 550	2 610	2 345	1 155	44
9L34DF	6 870	2 550	2 610	2 345	1 155	49
12V34DF	6 865	2 435	2 900	2 120	1 210	61
16V34DF	7 905	2 570	3 325	2 120	1 210	77

Genset dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A*	E*	I*	K	L*	Weight
6L34DF	8 765	2 290	1 450	2 345	4 000	60
8L34DF	10 410	2 960	1 630	2 345	4 010	76
9L34DF	10 610	2 890	1 630	2 345	4 180	87
12V34DF	10 260	3 060	1 900	2 120	4 335	99
16V34DF	11 465	3 360	1 850	2 120	4 445	124

KONSUMSI LUBRICATING OIL

0.4 g/kWh

j to btu m³ to ton
0.000947817 1.80191E-08 ton

kJ to btu
0.947817

0.947817 btu to m³
3.94292E-08

PEMILIHAN MESIN

Cylinder bore 340 mm
rpm/min 750 rpm
Engine dry ma 49 ton

UKURAN DIMENSIONAL MESIN

L	6870 mm	>	9914 mm
W	2610 mm	>	2890 mm
H	3705 mm	>	4190 mm
Dry Mass	49 ton	>	81.8 mm

PERHITUNGAN BERAT PERMESINAN

INPUT DATA

D	4.875	
n_{rpm}	250 rpm	
Z	4	
AE/AO	0.55	
P_D	3486.73 kW	(Delivery Power at Propeller)
PB	4196.483 kW	(Brake Horse Power)
WE	49 ton	(Berat Mesin Induk)
P	1049.121 kW	(Generator Set)

UNIT PROPULSI

Gear Box		<i>(Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hal. 182)</i>
W_{gear}	Berat Gear Box $(0.34 \sim 0.4) \cdot \frac{P_B}{n}$ 5.875076 ton	

Shafting	
Panjang poros (l)	(asumsi 5m + 2m gangway) 7 m
M_s/l	$0.081 \cdot \left(\frac{P_D}{n_{rpm}}\right)^{\frac{2}{3}}$ 0.469322 ton/m
W_{SHAFT}	Berat Poros Propeller $\frac{M_s}{l} \cdot l$ 3.285251 ton

Propeller	
d_s	$11.5 \left(\frac{P_D}{n_{rpm}}\right)^{\frac{1}{3}}$ 27.68156 cm 0.276816 m
K	Koefisien Fixed Propeller $\left(0.18 \cdot \frac{A_E}{A_O}\right) - \left(\frac{z-2}{100}\right)$ 0.079
W_{prop}	Berat Propeller $D^3 \cdot K$ 9.152736 ton

Berat Total Propeller	
$W_{proptotal}$	$W_{gear} + M_s + W_{prop}$ 18.31306 ton

Electrical Unit		<i>(Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hlm. 176)</i>
W_{agg}	$0,001 \cdot P (15 + 0,014 \cdot P)$ 31.14597 ton	

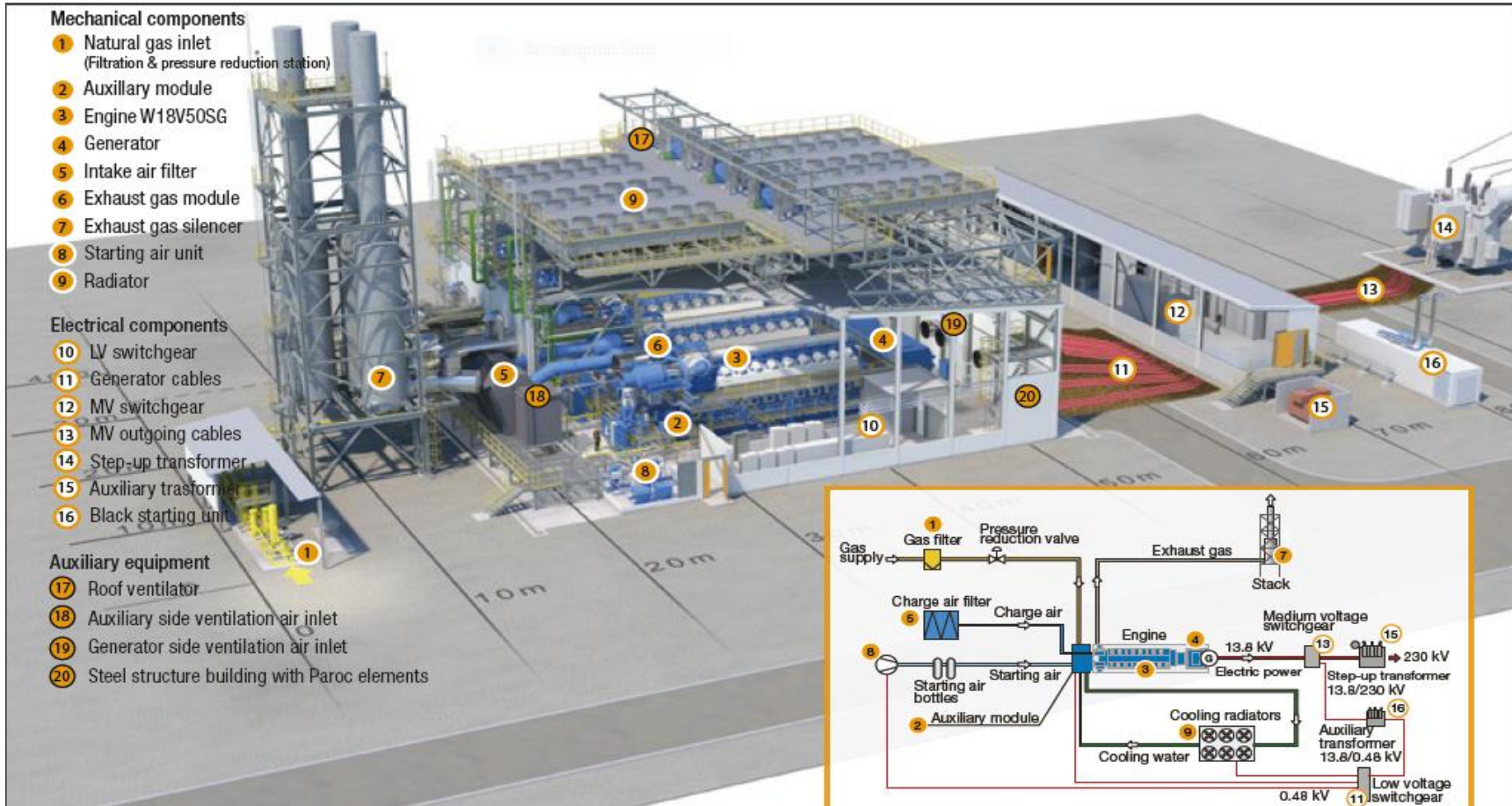
LAMPIRAN A.9

Other Weight	(<i>Ship Design for Efficiency and Economy- 2nd Edition hlm. 177</i>)
(Ex: Berat pump, pipes, cables, stair, platform, compressor, dll.)	
$W_{ow} = (0.04 \sim 0.07) \cdot PB$	
293.7538 ton	; diambil 0.07

Berat Permesinan Total	
$W_{total} = W_e + W_{proptotal} + W_{ow}$	
392.2129 ton	

TITIK BERAT MACHINERY		
h_{db}	Tinggi Double bottom	(Chapter 11 Parametric design, hal. 11-25)
	1.4	; $h_{min} = 1 m$
VCG_M	$h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db})$	(BKI rules for hull volume II, Section 24 hal. 24-2)
	6.16 m	
L_{CB}	dari gambar	; ceruk buritan
	22.8 m	
LCG_{FP}	$L_{pp} - LCB - 5$	
	124.6 m	
LCG_M	$-(LCG_{FP} - 0.5 \cdot L_{pp})$	
	-48.4 m	dari midship

CONTOH KONFIGURASI POWER PLANT



SPESIFIKASI GAS TURBINE

MERK SIEMENS GAS TURBINE
TYPE SGT-600 INDUSTRIAL GAS TURBINE
DAYA **24.5** MW

DIMENSION

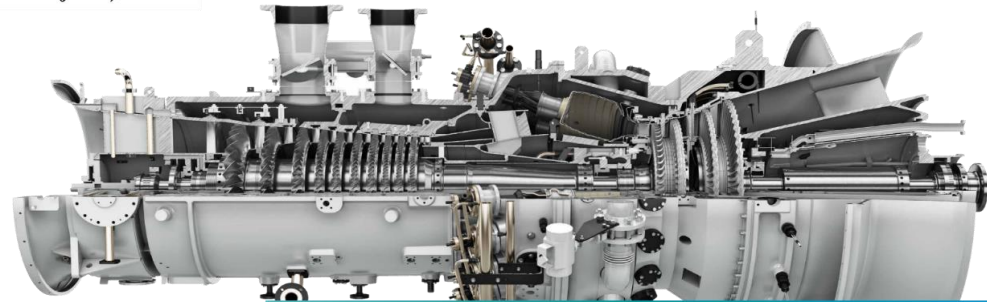
PANJANG **18800** mm
LEBAR **4600** mm
TINGGI **4000** mm
BERAT **149.688** ton

SYSTEM CONFIGURATION 24.5 MW x 5
TOTAL OUTPUT **120** MW

KONSUMSI NATURAL GAS **10720** kJ/kWh
0.000193 ton/kWh

Starting time **10** menit

SIEMENS
Ingenuity for life.



Industrial gas turbine SGT-600

Power Generation: 24.5 MW(e)

Gross efficiency : 33.6%
Heat rate : 10,720 kJ/kWh (10,161 btu/kWh)
Turbine speed : 7,700 rpm
Pressure ratio : 14.0:1
Exhaust mass flow : 81.3 kg/s (179.2 lb/s)
Exhaust temperature : 543 °C (1,009 °F)

Physical Dimension

Approx. Weight : 150,000 kg (330,693 lb)
Length : 18.8 m (61.7 ft)
Width : 4.6 m (15.0 ft)
Height : 4.0 m (13.1 ft)

siemens.com/gasturbines





SGT-600 standard package

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 Combustion air inlet | 4 Combustion exhaust | 7 Speed reduction gear |
| 2 Enclosure air inlet | 5 Enclosure air outlet | 8 AC generator |
| 3 Lube oil system | 6 Core engine | |

BERAT DAN TITIK BERAT GAS POWER PLANT

No.	Mesin	Jumlah	Berat (ton)	Berat Total (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	Lube Oil System	5	3	15	-1.05	17.2	8.468	-15.75	258	127.02
2	Starting Equipment/Aux Room	5	7	35	-1.05	17.2	6.706	-36.75	602	234.71
3	Gas Turbine Engine	5	133	665	-1.05	17.2	2.006	-698.25	11438	1333.99
4	Main Gear/Speed Reduction Gear	5	7	35	-1.05	17.2	-2.694	-36.75	602	-94.29
5	Generator (1DK1142-2CR14-0FA2)	5	27.2	136	-1.05	17.2	-6.5127	-142.8	2339.2	-885.727
6	Air Intake System	5	10	50	-1.49	22	9.35	-74.48	1100	467.5
7	Exhaust System	5	10	50	-1.05	30	10	-52.5	1500	500
8	Gardu Induk (Medium Voltage) & Perlengkapan	3	1.2	3.6	-64.53	22.15	2.38333	-232.32	79.74	8.58
				989.6				-1289.6	17918.9	1691.783

TITIK BERAT POWER PLANT

LCG POWER PLANT

-1.303 m dari midship

74.8968 m dari AP

KG POWER PLANT

18.107 m dari baseline

TRANSVERSAL POWER PLANT

1.710 m dari centerline

portside

Lube Oil System

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	3	-33.050	17.2	8.468	-99.15	51.6	25.404
2	3	-17.050	17.2	8.468	-51.15	51.6	25.404
3	3	-1.050	17.2	8.468	-3.15	51.6	25.404
4	3	14.950	17.2	8.468	44.85	51.6	25.404
5	3	30.950	17.2	8.468	92.85	51.6	25.404
	15				-15.75	258	127.02

LCG = -1.05 m dari midship

KG = 17.2 m

Z = 8.468 m

Gas Turbine Engine

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	133	-33.050	17.2	2.006	-4395.65	2287.6	266.798
2	133	-17.050	17.2	2.006	-2267.65	2287.6	266.798
3	133	-1.050	17.2	2.006	-139.65	2287.6	266.798
4	133	14.950	17.2	2.006	1988.35	2287.6	266.798
5	133	30.950	17.2	2.006	4116.35	2287.6	266.798
	665				-698.25	11438	1333.99

LCG = -1.05 m dari midship

KG = 17.2 m

Z = 2.006 m

Generator (1DK1142-2CR14-0FA2)

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	27.2	-33.050	17.2	-6.5127	-898.96	467.84	-177.145
2	27.2	-17.050	17.2	-6.5127	-463.76	467.84	-177.145
3	27.2	-1.050	17.2	-6.5127	-28.56	467.84	-177.145
4	27.2	14.950	17.2	-6.5127	406.64	467.84	-177.145
5	27.2	30.950	17.2	-6.5127	841.84	467.84	-177.145
	136				-142.8	2339.2	-885.727

LCG = -1.05 m dari midship

KG = 17.2 m

Z = -6.5127 m

Air Intake System

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	10	-33.490	22	9.35	-334.896	220	93.5
2	10	-17.490	22	9.35	-174.896	220	93.5
3	10	-1.490	22	9.35	-14.896	220	93.5
4	10	14.510	22	9.35	145.104	220	93.5
5	10	30.510	22	9.35	305.104	220	93.5
	50				-74.48	1100	467.5

LCG = -1.4896 m dari midship

KG = 22 m

Z = 9.35 m

Starting Equipment/Aux Room

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	7	-33.050	17.2	6.706	-231.35	120.4	46.942
2	7	-17.050	17.2	6.706	-119.35	120.4	46.942
3	7	-1.050	17.2	6.706	-7.35	120.4	46.942
4	7	14.950	17.2	6.706	104.65	120.4	46.942
5	7	30.950	17.2	6.706	216.65	120.4	46.942
	35				-36.75	602	234.71

LCG = -1.05 m dari midship

KG = 17.2 m

Z = 6.706 m

Main Gear/Speed Reduction Gear

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	7	-33.050	17.2	-2.694	-231.35	120.4	-18.858
2	7	-17.050	17.2	-2.694	-119.35	120.4	-18.858
3	7	-1.050	17.2	-2.694	-7.35	120.4	-18.858
4	7	14.950	17.2	-2.694	104.65	120.4	-18.858
5	7	30.950	17.2	-2.694	216.65	120.4	-18.858
	35				-36.75	602	-94.29

LCG = -1.05 m dari midship

KG = 17.2 m

Z = -2.694 m

Gardu Induk (Medium Voltage) & Perlengkapan

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	1.2	-70.200	22.15	7.15	-84.24	26.58	8.58
2	1.2	-53.200	22.15	7.15	-63.84	26.58	8.58
3	1.2	-70.200	22.15	-7.15	-84.24	26.58	-8.58
	3.6				-232.32	79.74	8.58

LCG = -64.533333 m dari midship

KG = 22.15 m

Z = 2.38333333 m

Exhaust System

No	Berat (ton)	LCG (m)	KG (m)	Trans. (m)	W x LCG	W x KG	W x Trans
1	10	-33.050	30	10	-330.5	300	100
2	10	-17.050	30	10	-170.5	300	100
3	10	-1.050	30	10	-10.5	300	100
4	10	14.950	30	10	149.5	300	100
5	10	30.950	30	10	309.5	300	100
	50				-52.5	1500	500

LCG = -1.05 m dari midship

KG = 30 m

Z = 10 m

LAMPIRAN A.12

PERHITUNGAN BERAT BAJA

Harvald & Jensen Method (1992)

INPUT DATA

L	152.4	m
B	26.3	m
H	15	m

REFERENSI *Schneecluth Hal. 154*

No.	Type kapal	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

BERAT BAJA (W_{ST})

D_A Tinggi Kapal setelah dikoreksi dengan Deck House dan Super Structure

$$H + \frac{V_A + V_{DH}}{L_{PP} \cdot B}$$

15.610 m

C_{SO} 0.0752 t/m³

Δ kapal Berat Kapal

22531.13605 ton

$U = \log \frac{\Delta}{100}$

2.35278309

$C_S = C_{SO} + 0.06 \cdot e^{-(0.5 \cdot U + 0.1 \cdot U^{2.45})}$

0.117 t/m³

TOTAL BERAT BAJA

$W_{ST} = L_{PP} \cdot B \cdot D_A \cdot C_S$

7316.557 ton

Koefisien titik berat

No.	Type kapal	C_{KG}
1	Passanger ship	0.67 – 0.72
2	Large cargo ship	0.58 – 0.64
3	Small cargo ship	0.60 – 0.80
4	Bulk carrier	0.55 – 0.58
5	Tankers	0.52 – 0.54

TITIK BERAT BAJA

C_{KG} Koefisien KG Baja (Tanker)
0.54

$KG = D_A \cdot C_{KG}$

8.429 m

$LCG_{(\%)} = -0,15 + LCB(\%)$

0.967 % L

$LCG_M = LCB(\%) \cdot L_{PP}$

1.474 m

$LCG_{FP} = 0.5 \cdot L_{PP} - LCG_M$

74.726 m

(Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hal. 150)

(Parametric Design Chapter 11 , hal. 25)

LAMPIRAN A.12

Volume Deck House (V_{DH})

1. Volume Deck House 1 (V_{DH1})

Panjang Deck House 1 (l_{DH1})	15.300 m	; sesuai gambar
Lebar Deck House 1 (b_{DH1})	15 m	
Tinggi Deck House 1 (t_{DH1})	2.4 m	
Volume Deck House 1 (V_{DH1})	$l_{DH1} \cdot b_{DH1} \cdot t_{DH1}$	
	550.8 m ³	

2. Volume Deck House 2 (V_{DH2})

Panjang Deck House 2 (l_{DH2})	12.750 m	; sesuai gambar
Lebar Deck House 2 (b_{DH2})	15 m	
Tinggi Deck House 2 (t_{DH2})	2.4 m	
Volume Deck House 2 (V_{DH2})	$l_{DH2} \cdot b_{DH2} \cdot t_{DH2}$	
	459 m ³	

3. Volume Deck House 3 (V_{DH3})

Panjang Deck House 3 (l_{DH3})	12.750 m	; sesuai gambar
Lebar Deck House 3 (b_{DH3})	15 m	
Tinggi Deck House 3 (t_{DH3})	2.4 m	
Volume Deck House 3 (V_{DH3})	$l_{DH2} \cdot b_{DH2} \cdot t_{DH2}$	
	459 m ³	

4. Volume Deck House 4 (V_{DH4})

Panjang Deck House 4 (l_{DH4})	10.000 m	; sesuai gambar
Lebar Deck House 4 (b_{DH4})	15 m	
Tinggi Deck House 4 (t_{DH4})	2.4 m	
Volume Deck House 4 (V_{DH4})	$l_{DH2} \cdot b_{DH2} \cdot t_{DH2}$	
	360 m ³	

5. Volume Wheel House (V_{WH})

Panjang Wheel House (l_{WH})	7.750 m	; sesuai gambar
Lebar Wheel House (b_{WH})	12 m	
Tinggi Wheel House (t_{WH})	2.4 m	
Volume Wheel House (V_{WH})	$l_{WH} \cdot b_{WH} \cdot t_{WH}$	
	223.2 m ³	

V_{DH}	$V_{DH1} + V_{DH2} + V_{DH3} + V_{DH4} + V_{WH}$	2052 m ³
----------	--	---------------------

BERAT SUPERSTRUCTURE DAN DECK HOUSE

The specific volumetric and unit area 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 design, it is used	80 kg/m ³

W_{DH}	Berat Total Deck House	164.16 ton
W_{SS}	Berat Total Superstructure	2064.778 ton

LAMPIRAN A.12

Volume Superstructure (V_{SS})

1. Volume Forecastle (V_{FC})

Panjang Forecastle (l_{FC})	13.9975 m	; sesuai gambar
Lebar Forecastle (b_{FC})	12.2479 m	
Tinggi Forecastle (t_{FC})	2.4 m	
Luas Area Forecastle (L_{FC})	163.4811 m ²	; dari autoCAD
Volume Forecastle (V_{FC})	$L_{FC} \cdot T_{FC}$	
	392.3546 m ³	

2. Volume Power Plant House (V_{PPH})

Panjang Power Plant House (l_{PPH})	90 m	; sesuai gambar
Lebar Power Plant House (b_{PPH})	20.35 m	
Tinggi Power Plant (t_{PPH})	15 m	
Luas Area Power Plant (L_{PPH})	265.2 m ²	; dari autoCAD
Volume Power Plant House (V_{PPH})	$L_{FC} \cdot T_{FC}$	
	23868 m ³	

3. Volume Electrical House (V_{EH})

Panjang Electrical House (l_{EH})	36.775 m	; sesuai gambar
Lebar Electrical House (b_{EH})	22 m	
Tinggi Electrical House (t_{EH})	2.4 m	
Volume Electrical House (V_{EH})	$L_{FC} \cdot T_{FC}$	
	1941.72 m ³	

$$V_A \quad V_{FC} + V_{PPH} + V_{EH} \quad 26202.07 \text{ m}^3$$

Berat dan Titik Berat Deck House

Nama	W (ton)	LCG _M	KG	W x LCG	W x KG
Deck House 1	44.064	54.45	16.2	2399.285	713.8368
Deck House 2	36.72	55.7525	18.6	2047.232	682.992
Deck House 3	36.72	55.7525	21	2047.232	771.12
Deck House 4	28.8	57.1	23.4	1644.48	673.92
Wheel House	17.856	58.225	25.8	1039.666	460.6848
Berat Total Deck House	164.16	ton		9177.894	3302.554
LCG Deckhouse	55.90822	m			
KG Deck House	20.11789	m			

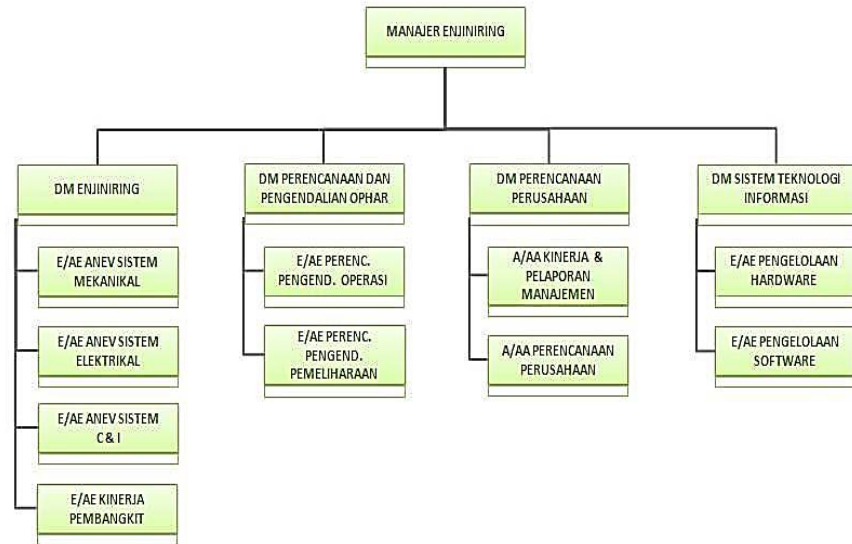
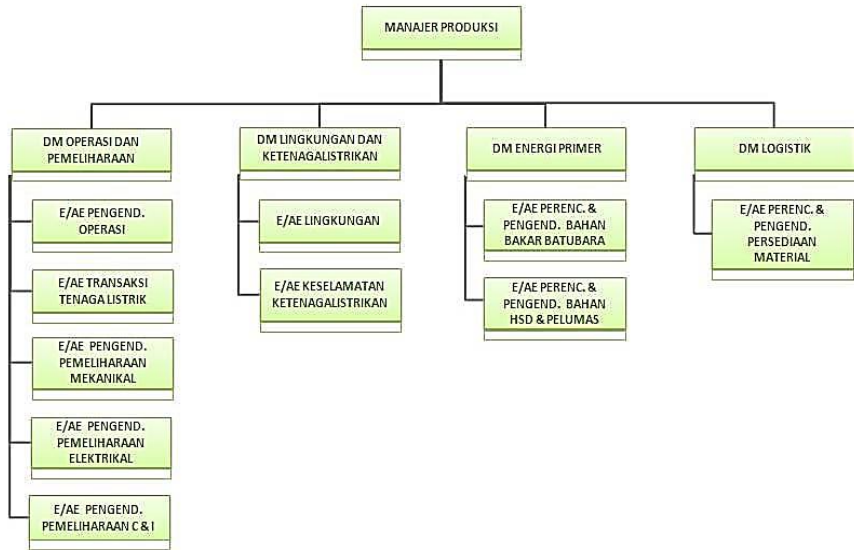
Berat dan Titik Berat Power Plant House dan Electrical House

Nama	W (ton)	LCG _M	KG	W x LCG	W x KG
Power Plant House	1909.44	1.8	20.9	3436.992	39907.3
Electrical House	155.3376	-64.2	17.4	-9972.67	2702.874
Berat Total Deck House	2064.778	ton		-6535.68	42610.17
LCG Deckhouse	-3.16532	m			
KG Deck House	20.63669	m			

CREW LIST ONBOARD			
Level	Crew	Jumlah	Tempat
Deck Department	Captain	1	Deck House 4
	Chief Officer	1	Deck House 4
	Chief Cook	1	Deck House 1
	Assistance Cook	1	Deck House 1
	Seaman	3	Deck House 1
	Total	7	
Engineering Department	Chief Engineer	1	Deck House 4
	Engineer System Mechanical	3	Deck House 1
	Engineer System Electrical	3	Deck House 2
	Engineer System Power Plant	3	Deck House 2
	Operation & Maintenance	1	Deck House 1
	Total	11	
Production Department	Chief Production	1	Deck House 4
	Engineer Fuel Oil & Lubricating	3	Deck House 3
	Engineer Safety Electrical	1	Deck House 3
	Logistic	1	Deck House 1
	Total	6	
Total Keseluruhan Crew		24	

Jumlah Crew Per Layer	
Jumlah Crew di Deck House 1 :	10 orang
Jumlah Crew di Deck House 2 :	6 orang
Jumlah Crew di Deck House 3 :	4 orang
Jumlah Crew di Deck House 4 :	4 orang

Deck House 1
Chief Cook
Assistance Cook
Seaman
Engineer System Mechanical
Operation & Maintenance
Logistic
Deck House 2
Engineer System Electrical
Engineer System Power Plant
Deck House 3
Engineer Fuel Oil & Lubricating
Engineer Safety Electrical
Deck House 4
Captain
Chief Officer
Chief Engineer
Chief Production



PERHITUNGAN CREW & CONSUMABLE

INPUT DATA

L	152.4 m	S/V	223 jam	ke Jayapura	2451 nm
B	26.3 m		9.3 hari		
H	15 m	P _B	4320 kW		
T	7.5 m		5793.12 HP		
		Starter	0.016667 jam	1 menit	

JUMLAH DAN BERAT CREW

Crew	24 orang, referensi dari kapal MVPP Zeynep Sultan	
C _{C&E}	0.17 ton/orang	(Parametric design chapter 11, hal. 11-25)
W _{C&E}	Z _c · C _{C&E}	
	4.08 ton	

FUEL OIL FOR MAIN ENGINE

LNG			HFO				
SFR _{LNG}	Specific Fuel Rate		SFR _{LNG}	Specific Fuel Rate	SFR _{HFO}	Specific Fuel Rate	
	0.0001331 ton/kWh	; dari katalog mesin		0.0000018 ton/kWh		189 g/kWh	
MCR	4320 kW		MCR	4320 kW		0.000189 ton/kWh	
Margin	0.1	[1+(5% ~ 10%)]·WFO	Margin	0.1		MCR	4320 kW
W _{LNG'}	SFR * MCR * S/Vs*margin		W _{LNG}	SFR * MCR * S/Vs*margin		Margin	0.1
	141.05335 ton			0.0001426 ton		W _{FO}	0.014969 ton
W _{LNG'}	$\frac{W_{LNG'} + 4\% \cdot W_{LNG'}}{\pi}$		W _{LNG'}	$\frac{W_{LNG'} + 4\% \cdot W_{LNG'}}{\pi}$		W _{FO'}	$\frac{W_{HFO'} + 4\% \cdot W_{HFO'}}{\pi}$
	154.4163 ton			0.0001561 ton			0.016387 ton
Density	0.457 ton/m ³		Density	0.457 ton/m ³		Density	0.9443 ton/m ³
V _{LNG}	337.891 m ³	VFO = (Wfo + 4%.Wfo)/Π	V _{LNG}	0.000342 m ³		V _{FO}	0.017 m ³
W _{FO LNG}	337.892 m ³		W _{FO TOTAL}	154.433 ton			
W _{FO HFO}	0.017 m ³		V _{FO TOTAL}	337.909 m ³			

LUBRICATING OIL (ME&AE)		LUBRICATING OIL (GT)	
SFR _{LO}	Specific Fuel Rate 0.9 g/kWh 0.0000009 ton/kWh	SFR _{LO}	Specific Fuel Rate 0.5 g/kWh 0.0000005 ton/kWh
MCR	5460 kW	MCR	120000 kW
Margin	0.1	Margin	0.1
W _{LO ME/AE}	SFR * MCR * S/Vs*margin 1.2054042 ton	W _{LO GT}	SFR * MCR * S/Vs*margin 22.176 ton
W _{LO ME/AE'}	$\frac{W_{LOr} + 4\% \cdot W_{LOr}}{\pi}$ 1.3196004 ton	W _{LO GT'}	$\frac{W_{LOr} + 4\% \cdot W_{LOr}}{\pi}$ 24.276884 ton
Density	0.9 ton/m ³	Density	0.9 ton/m ³
V _{LO ME/AE}	1.4662227 m ³	V _{LO GT}	26.974316 m ³

FRESH WATER			
C _{FW1}	0.17 ton/orang.hari 0.0070833 ton/orang.jam	<i>; Koef. untuk cuci, mandi, dan minum kru ; Ref: Parametric design chapter 11, hal. 11-24</i>	
C _{FW2}	0.005 ton/HP	<i>; Koef. air tawar untuk pendingin mesin</i>	
W _{FW1}	$C_{w1} \cdot \frac{S}{V_s} \cdot Z_c$ 37.91 ton	UNTUK PENDINGINAN GAS TURBINE	
W _{FW2}	C _{FW2} * BHP 28.9656 ton	C _{FW2}	0.005 ton/HP
V _{FW TOTAL}	66.8756 ton	W _{FW2}	C _{FW2} * BHP 804.6 ton
ρ _{FW}	1 ton/m ³	ρ _{FW}	1 ton/m ³
V _{FW1}	37.91 m ³	V _{FW2}	820.692 m ³
V _{FW2}	28.9656 m ³	W _{FW TOTAL}	888.90511 ton
V _{FW}	66.8756 m ³	V _{FW TOTAL}	888.90511 m ³
			<i>; koreksi 2%</i>

PROVISION AND STORE	
W_{PS}	0.01 ton/orang.hari
	2.23 ton

W_{CONS}	305.69641 ton
$W_{CONS\ GAS\ TURBINE}$	10207.774 ton
W_{TOTAL}	$W_{C\&E} + W_{FO1} + W_{FO2} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR}$
	10513.470 ton

LAMPIRAN A.15

TITIK BERAT CONSUMABLE

INPUT DATA

L	152.4 m
B	26.3 m
H	15 m
T	7.5 m

Titik Berat Tangki

Titik Berat Air Tawar

L	19.5 m	
B	14.05 m	
H	3.6 m	
KG	8.302 m	
LCG	23.35 m	dari AP
LCG	-52.85 m	dari Midship
VFW	888.9051 m ³	
WFW	888.9 ton	

Titik Berat Lubricating Oil (ME&AE)

L	1 m	
B	1 m	
H	1.5 m	
KG	7.35 m	
LCG	25.5 m	dari AP
LCG	-50.7 m	dari Midship
VLO	1.466223 m ³	
WLO	1.320 ton	

Titik Berat HFO

L	4 m	
B	6 m	
H	3.6 m	
KG	8.709 m	
LCG	8.086 m	dari AP
LCG	-68.114 m	dari Midship
VHFO	62.84574 m ³	
WHFO	59.34523 ton	

Titik Berat Natural Gas for Gas Turbine

L	99 m	
B	23.1 m	
H	9.4 m	
KG	6.355 m	
LCG	85.074 m	dari AP
LCG	8.874 m	dari Midship
VFO	20522.75 m ³	
WFO	9378.897 ton	

Titik Berat Lubricating Oil (GT)

L	6 m	
B	1.25 m	
H	3.6 m	
KG	8.4 m	
LCG	30 m	dari AP
LCG	-46.2 m	dari Midship
VLO	26.97432 m ³	
WLO	24.277 ton	

Titik Berat LNG

L	19.1 m	
B	4.3 m	
H	4.3 m	
KG	11.232 m	
LCG	20.65 m	dari AP
LCG	-55.55 m	dari Midship
VLNG	337.8916 m ³	
WLNG	154.4165 ton	

LAMPIRAN A.15

Berat Crew Per Layer	
$W_{C\&E /layer}$	Jumlah kru per layer · berat rata-rata kru
$W_{C\&E DH 1}$	1.7 ton
$W_{C\&E DH 2}$	1.02 ton
$W_{C\&E DH 3}$	0.68 ton
$W_{C\&E DH 4}$	0.68 ton
$W_{C\&E TOTAL}$	4.08 ton

Center of crew and effects weight				
Room Layer	VCG	LCG Midship	Total Person	$W_{C\&E}$ (ton)
Deck House 1	16.2	54.450	10	1.7
Deck House 2	18.6	55.753	6	1.02
Deck House 3	21	55.753	4	0.68
Deck House 4	23.4	57.100	4	0.68

TITIK BERAT CONSUMABLE PER LAYER	
KG	$\frac{W_{VFW} \cdot KG_{VFW} + W_{VFO} \cdot KG_{VFO} + W_{VLO} \cdot KG_{VLO} + W_{VHFO} \cdot KG_{VHFO} + W_{VLNG} \cdot KG_{VLNG}}{W_{VFW} + W_{VFO} + W_{VLO} + W_{VHFO} + W_{VLNG}}$ 6.610 m
LCG	$\frac{W_{VFW} \cdot LCG_{VFW} + W_{VFO} \cdot LCG_{VFO} + W_{VLO} \cdot LCG_{VLO} + W_{VHFO} \cdot LCG_{VHFO} + W_{VLNG} \cdot LCG_{VLNG}}{W_{VFW} + W_{VFO} + W_{VLO} + W_{VHFO} + W_{VLNG}}$ 78.336 m

TITIK BERAT CREW PER LAYER	
KG	$\frac{W_{A DECK} \cdot KG_{A DECK} + W_{MAIN DECK} \cdot KG_{MAIN DECK} + W_{B DECK} \cdot KG_{B DECK}}{W_{A DECK} + W_{MAIN DECK} + W_{B DECK}}$ 18.800 m
LCG	$\frac{W_{A DECK} \cdot LCG_{A DECK} + W_{MAIN DECK} \cdot LCG_{MAIN DECK} + W_{B DECK} \cdot LCG_{B DECK}}{W_{A DECK} + W_{MAIN DECK} + W_{B DECK}}$ 55.434 m

TITIK BERAT CONSUMABLE	
KG	$\frac{W_{CE} \cdot KG_{CE} + W_{CONS} \cdot KG_{CONS}}{W_{CE} + W_{CONS}}$ 6.614 m ; tidak termasuk provision store
LCG	$\frac{W_{CE} \cdot LCG_{CE} + W_{CONS} \cdot LCG_{CONS}}{W_{CE} + W_{CONS}}$ 78.327 m ; tidak termasuk provision store

LAMPIRAN A.16

PERHITUNGAN BERAT PERALATAN DAN PERLENGKAPAN *Ship Design Efficiency and Economy, 1998*

INPUT DATA

L	152.4	m
B	26.3	m
H	15	m

GRUP III Accomodation			; <i>Ship Design for Efficiency and Economy hal. 175</i>		
The specific volumetric and unit area 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 design, it is used		80	kg/m ³		
Deck House 1		Deck House 3		WHEEL HOUSE	
L	15.3 m	L	12.75 m	L	7.75 m
B	15 m	B	15 m	B	12 m
H	2.4 m	H	2.4 m	H	2.4 m
A	550.8 m ³	A	459 m ³	A	223.2 m ³
W	44.064 ton	W	36.72 ton	W	17.856 ton
Deck House 2		Deck House 4		FORECASTLE DECK	
L	12.75 m	L	10 m	L	13.9975 m
B	15 m	B	15 m	B	12.2479 m
H	2.4 m	H	2.4 m	H	2.4 m
A	459 m ³	A	360 m ³	A	392.3546 m ³
W	36.72 ton	W	28.8 ton	W	31.38837 ton
W _{GRUP III}	W _{DECK HOUSE} + W _{WH} + W _{FD}				
	195.5484 ton				

LNG FUEL TANK		
V _{LNG}	337.8916	m ³
Cylindrical LNG Tank C (LNGPac 194)		
Net Volume	175 m ³	x2
Total Net Vol.	350 m ³	
W _{empty tank}	77.0 ton	x2
W _{tank total}	154.0	ton

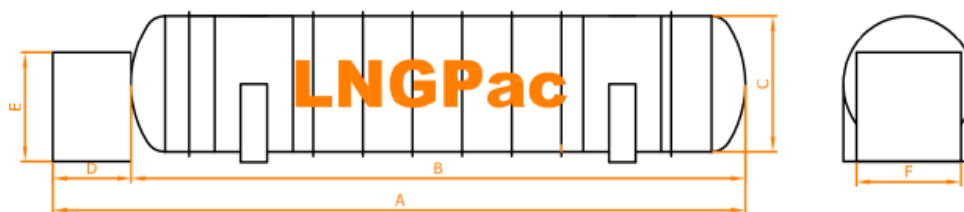
GRUP IV Miscellaneous		
C	0.2	ton/m ² ; 0.18 ton/m ² < C < 0.26 ton/m ² untuk ukuran sedang, <i>Ship Design Efficiency and Economy hal 172</i>
W _{GRUP IV}	$\sqrt[3]{(L_{pp} \cdot B \cdot H)^2 \cdot C}$	
	306.9385 ton	

BERAT TOTAL PERALATAN DAN PERLENGKAPAN		
W _{E&O}	W _{TOTAL} + W _{GRUP IV}	
	656.5 ton	

LAMPIRAN A.16

PERHITUNGAN TITIK BERAT PERALATAN DAN PERLENGKAPAN

LCG ₂					
Deck House 1		Deck House 3		WHEEL HOUSE	
L	15.3 m	L	12.75 m	L _{WHEEL HOUSE}	7.75 m
W	44.064 ton	W	36.72 ton	W _{WHEEL HOL}	12 ton
LCG	54.45 m	LCG	55.7525 m	LCG _{WHEEL H}	58.225 m
Deck House 2		Deck House 4		FORECASTLE DECK	
L	12.75 m	L	10 m	L _{FORECASTLE}	13.9975 m
W	15 ton	W	15 ton	W _{FORECASTL}	12.2479 ton
LCG	55.7525 m	LCG	57.1 m	LCG _{FORECAS}	69 m
1. LCG ₁ (25% W _{E&O} at LCG _M)					
W _{E&O KM}	25% * W _{E&O DH}	asumsi W _{E&O} di Kamar Mesin			
	164.1217 ton				
LCG _{E&O KM}	-48.4 m	dari midship			
2. LCG ₂ (37.5% W _{E&O} at LCG _{DH})					
W _{E&O DH}	37.5% * W _{E&O DH}	asumsi W _{E&O} di Rumah Geladak			
	246.1826 ton				
LCG _{E&O DH}	55.69133 m	dari midship			
3. LCG ₃ (37.5% W _{E&O} at midship)					
W _{E&O OTHI}	37.5% * W _{E&O DH}	asumsi W _{E&O} di Tempat Lain			
	246.1826 ton				
LCG _{E&O OTHI}	69 m	dari midship			
KG_{E&O}					
D _A	15.60985 m	Tinggi Kapal Setelah Dikoreksi dengan Superstructure dan Deck House			
KG _{E&O}	(1.02 - 1.08) · DA	; Ship Design for Efficiency and Economy hal. 173			
	15.92205 m				
LCG_{E&O}					
LCG _{E&O}	$\frac{50\% \cdot W_{E\&O} \cdot LCG_{DH} + 30\% \cdot W_{E\&O} \cdot LCG_{Other} + 20\% \cdot W_{E\&O} \cdot LCG_M}{W_{E\&O}}$				
	34.65925 m	dari midship			
	110.8592 m	dari AP			
	41.54075 m	dari FP			



Type LNGPac	Geometric volume [m ³]	Net volume (90%) [m ³]	Diameter [m]	Tank Length [m]	Tank room [m]	Total length [m]	LNGPac empty weight* [ton]	LNGPac max operating weight* [ton]	Theoretical Max. Autonomy [MWh]
LNGPac 105	105	100	3.5	16.7	2.5	19.2	47	94	244
LNGPac 145	145	130	4.0	16.9	2.5	19.4	62	127	318
LNGPac 194	194	175	4.3	19.1	2.7	21.8	77	164	427
LNGPac 239	239	215	4.3	23.1	2.7	25.8	90	198	525
LNGPac 284	284	256	4.3	27.1	3.0	30.1	104	231	625
LNGPac 280	280	252	4.8	21.3	3.0	24.3	105	233	616
LNGPac 308	308	277	4.8	23.4	3.0	26.4	113	252	677
LNGPac 339	339	305	5.0	23.5	3.0	26.5	119	271	745
LNGPac 402	402	362	5.0	27.5	3.0	30.5	135	316	884
LNGPac 440	440	396	5.6	23.8	3.0	26.8	142	340	967
LNGPac 465	465	418.5	5.0	31.5	3.5	35.0	152	362.0	1022
LNGPac 520	520	468	5.6	27.8	3.5	31.3	162	397	1143
LNGPac 527	527	474.3	5.0	35.5	3.5	39.0	168	406	1159

Group IV Miscellaneous

Group IV comprises the following:

- Anchors, chains, hawsers.
- Anchor-handling and mooring winches, chocks, bollards, hawse pipes.
- Steering gear, wheelhouse console, control console (excluding rudder body).
- Refrigeration plant.
- Protection, deck covering outside accommodation area.
- Davits, boats and life rafts plus mountings.
- Railings, gangway ladders, stairs, ladders, doors (outside accommodation area), manhole covers.
- Awning supports, tarpaulins.
- Fire-fighting equipment, CO₂ systems, fire-proofing.
- Pipes, valves and sounding equipment (outside the engine room and accommodation area).
- Hold ventilation system.
- Nautical devices and electronic apparatus, signaling systems.
- Boatswain's inventory.

PERHITUNGAN BERAT TOTAL DAN TITIK BERAT TOTAL

LWT						
	Nama	W (ton)	LCG (m)	KG (m)	W x LCG	W x KG
W_{ST}	Berat Baja	7316.557	1.474	8.429	10785.903	61673.592
W_{DH}	Deck House	164.160	55.908	20.118	9177.894	3302.554
W_{SS}	Plant House & Electrical House	2064.778	-3.165	20.637	-6535.682	42610.170
W_{EQ}	Equipment	460.938	34.659	15.922	15975.781	7339.084
$W_{MACHINE}$	Permesinan	392.213	-48.400	6.160	-18983.102	2416.031
$W_{POWERPLANT}$	Power Plant	989.600	-1.303	18.107	-1289.600	17918.940
		11388.245			9131.194	135260.371
	LCG LWT	0.802	m dari mid	77.002	m dari AP	
	KG LWT	11.877	m			

DWT						
	Nama	W (ton)	LCG (m)	KG (m)	W x LCG	W x KG
$W_{C\&E}$	CREW & EQUIPMENT	4.08	55.434375	18.800	226.172	76.704
$W_{FO\ LNG}$	F.O. LNG	154.416	-55.55	11.232	-8577.834	1734.406
$W_{FO\ HFO}$	F.O. HFO	59.345	-68.114	8.709	-4042.241	516.838
$W_{FO\ GT}$	F.O. GAS TURBINE	9378.897	8.874	6.355	83228.329	59602.889
$W_{LO\ ME/AE}$	L.O. ME/AE	1.320	-50.7	7.35	-66.904	9.699
$W_{LO\ GT}$	L.O. GAS TURBINE	24.277	-46.2	8.4	-1121.592	203.926
W_{FW}	F.W. TOTAL	888.905	-52.85	8.302	-46978.635	7379.690
W_{PS}	PROVISION AND STORE	2.23	57.1	23.4	127.333	52.182
$W_{BALLAST}$	BALLAST	70	148.765	5.282	10413.550	369.740
		10583.470			33208.178	69946.073
	LCG DWT	3.138	m dari mid	79.338	m dari AP	
	KG DWT	6.609	m			
	LCG TOTAL	1.927	m dari mid	78.127	m dari AP	
	KG TOTAL	9.340	m			

PERBANDINGAN DWT+LWT DAN DISPLACEMENT

LWT + DWT	21971.715 ton
DISPLACEMENT	22531.1361 ton
Margin	559.421 ton
Margin (%)	2.483 %
STATUS	ACCEPT

LAMPIRAN A.18

PERHITUNGAN FREEBOARD

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

INPUT DATA

L	152.4	m	d	12.75	m
L _{WL}	158.496	m	L ₁₍₁₎	96% · L _{WL0.85D}	
B	26.3	m		-	
H	15	m	L ₁₍₂₎	L _{PP}	
T	7.5	m		152.4	; L ₁ diambil yang terbesar
▽	21981.6	m ³	C _B	0.703	
			ℓ _{FC}	13.998	m ; panjang forecastle

Tipe Kapal Tipe A

International Convention on Load Line 1996 as modified 1998 and 2003 - Regulation 27 Type of Ship

Lambung Timbul Standar (F_b)

International Convention on Load Line 1996 as modified 1998 and 2003 - Table 28.1

L ₁₍₁₎ (m)	=	F _b (mm)
152	=	2000 mm
153	=	2016 mm
152.4	=	2006.4 mm
	=	2.0064 m

KOREKSI

Berdasarkan ICLL, panjang kapal lebih dari 100 m tidak memerlukan koreksi panjang

$$C_B > 0.68$$

$$F_{b2} = F_b \cdot \frac{C_B + 0.68}{1.36}$$

2040.496 mm

Depth (D)

untuk L < 120m ; R = L/0.48

$$L/15 = 10.16$$

$$R = 250$$

untuk L > 120m ; R = 250

jika, D < L/15 ; tidak ada koreksi

jika, D > L/15 ; F_{b3} = F_{b2} + (R(H-(L/15)))

$$F_{b3} = 3250.496 \text{ mm}$$

KOREKSI BANGUNAN ATAS

Forecastle

$$L_1 \text{ (m)} = h_{st} \text{ (m)}$$

$$75 > L \geq 125 = 2.6$$

$$t_{FC} = 2.4$$

karena t_{FC} > h_{st} maka

LAMPIRAN A.18

E_{FC}	=	S_{FC}
	=	13.9975 m
	=	0.091847 .L

Tidak Terdapat Poop

TOTAL PANJANG EFEKTIF	
E	$E_{FC} + E_{PO}$
	13.9975 m
E[x.L]	0.091847 .L
%Fb	9%

BANGUNAN ATAS	
F_{b4}	-292.545 mm ; <i>pengurangan</i>

TOTAL LAMBUNG TIMBUL	
F_b'	$F_b + F_{b2} + F_{b3} + F_{b4}$
	7004.847 mm
	7.004847 m

KETINGGIAN BOW MINIMUM (B_{MW})	
$C_{B \min}$	0.69
C_B	0.703111
B_{WM}	$56 \cdot L_1 \cdot \left(1 - \frac{L_1}{500}\right) \cdot \left(\frac{1.36}{C_B + 0.68}\right)$
	5833.976 mm
	5.833976 m

BATASAN	
Lambung Timbul Sebenarnya	
F_{ba}	H-T
	7.5 m
<i>Lambung Timbul Sebenarnya harus lebih besar dari Lambung Timbul Total</i>	
Kondisi	Diterima
Ketinggian Bow	
Bow Heigh	$F_{ba} + S_f + T_{FC}$
	9.9 m
S_f	0 m ; <i>tanpa sheer</i>
<i>Ketinggian Bow harus lebih besar dari Ketinggian Bow Minimum</i>	
Kondisi	Diterima

LAMPIRAN A.19

REKAP TRIM

BATASAN TRIM $0.5\% \cdot L_{pp}$ 0.762 m

No.	Loadcase	Nilai (m)	Batasan (m)	Trim	Status
1	Loadcase I (100%)	0.648	0.762	Trim Buritan	ACCEPT
2	Loadcase II (60%)	0.480	0.762	Trim Buritan	ACCEPT
3	Loadcase III (30%)	0.511	0.762	Trim Buritan	ACCEPT
4	Suplai Listrik (100%)	0.363	0.762	Trim Buritan	ACCEPT
5	Suplai Listrik (60%)	0.216	0.762	Trim Buritan	ACCEPT
6	Suplai Listrik (30%)	0.403	0.762	Trim Buritan	ACCEPT
7	Suplai Listrik (0%)	0.600	0.762	Trim Buritan	ACCEPT

STABILITAS

No.	Loadcase	e_{30° m.deg	e_{40° m.deg	e_{30-40° m.deg	h_{30° m.deg	θ_{max} deg	GM_0 m
1	Loadcase I (100%)	21.5973	40.6355	19.0382	2.374	130.9	2.287
2	Loadcase II (60%)	21.3463	40.3519	19.0056	2.38	130	2.286
3	Loadcase III (30%)	21.2076	40.1893	18.9817	2.364	130	2.29
4	Suplai Listrik (100%)	21.0964	40.095	18.9986	2.373	129.1	2.294
5	Suplai Listrik (60%)	21.6811	40.3692	18.6881	2.076	130.9	2.354
6	Suplai Listrik (30%)	21.4106	37.6994	16.2888	1.715	131.8	2.36
7	Suplai Listrik (0%)	24.984	40.2244	15.2404	1.538	133.6	2.999
Batasan		≥ 3.1513	≥ 5.1566	≥ 1.7189	≥ 0.2	≥ 25	≥ 0.15
Status		ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT

Keterangan:

e_{30° adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai 30° sudut oleng,

e_{40° adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai 40° sudut

e_{30-40° adalah luasan bidang yang terletak di bawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng 30° dan 40°

h_{30° adalah lengan statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$.

θ_{max} adalah sudut dimana lengan stabilitas statis (GZ) maksimum terjadi.

GM_0 adalah tinggi metacentre (MG) pada sudut oleng 0° .

LAMPIRAN B
RENCANA GARIS (*LINES PLAN*)

TABLE OF HEIGHT ABOVE BASELINE

ST	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
TRANSOME	8.02	8.64	8.89	9.23	9.45	9.26	10.21	10.56	11.00	11.30	12.10	13.12	14.26	14.90
AP	5.82	5.83	6.39	6.93	7.26	7.27	8.17	8.67	9.11	9.22	10.25	10.78	11.26	11.26
1	0.977	1.596	3.270	4.448	5.392	5.841	6.349	6.856	7.380	7.798	8.466	9.127	10.282	11.270
2	0.194	0.396	0.928	1.469	1.874	2.283	2.421	2.544	2.598	2.598	2.421	2.066	1.577	1.026
3	0.031	0.029	0.088	0.152	0.205	0.243	0.273	0.296	0.316	0.331	0.341	0.346	0.346	0.346
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FP	7.900	8.293	10.820	12.854	14.856	16.827	17.247	17.451	17.460	17.360	17.060	16.560	15.860	14.960

BODY PLAN

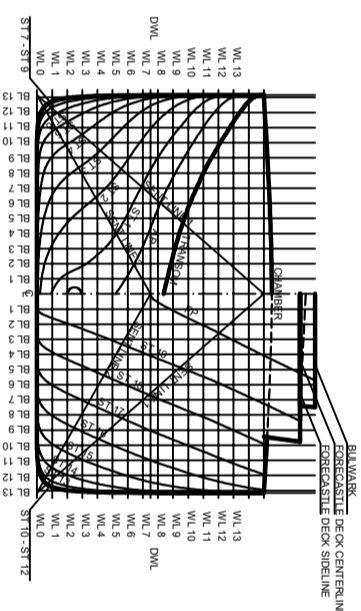
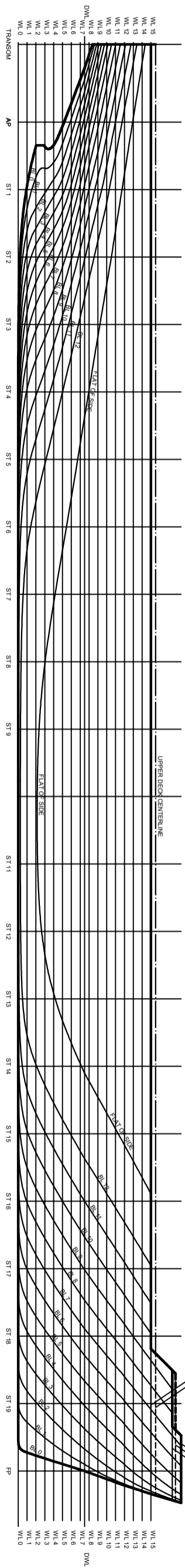


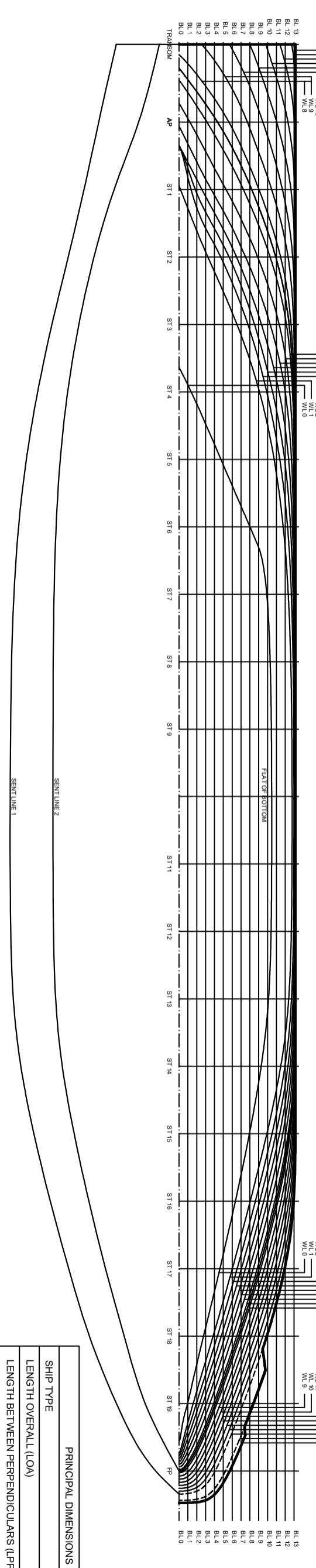
TABLE OF HALF-BREADTH

ST	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	FD	BWL
TRANSOME	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
AP	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
1	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
2	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
3	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
4	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
5	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
6	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
7	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
8	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
9	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
10	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
11	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
12	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
13	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
14	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
15	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
16	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
17	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
18	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
19	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000
FP	0.000	1.000	1.900	2.800	3.400	3.600	3.500	3.100	2.500	1.800	1.000	0.500	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010	0.000

SHEER PLAN



HALF-BREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	MVPP
LENGTH OVERALL (LOA)	164.78 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (LPP)	152.4 m
BREADTH (B)	26.3 m
HEIGHT (H)	15.0 m
DRAUGHT (T)	7.50 m
SERVICE SPEED (VS)	13.0 knots
COMPLEMENTS	24 person
MAIN ENGINE POWER	5794 HP

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
 SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

MVPP MIDLIGHT

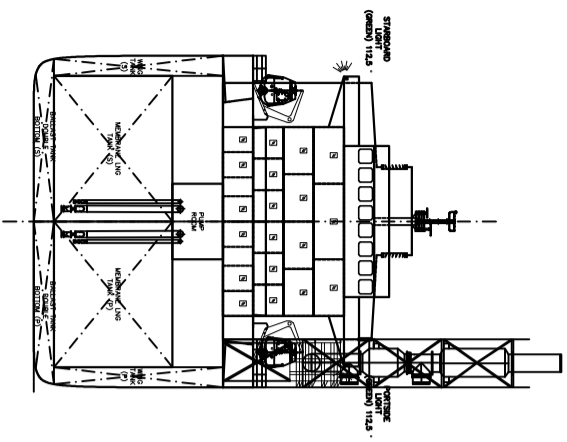
LINES PLAN

SCALE : 1 : 250
 DRAWN : Masyandera Pasha Mahandika
 APPROVED : Ir. Wasli Dwi Azyawan, M.Sc., Ph.D.

SIGNATURE DATE NOTE
 NRP : 0411134000080
 A1

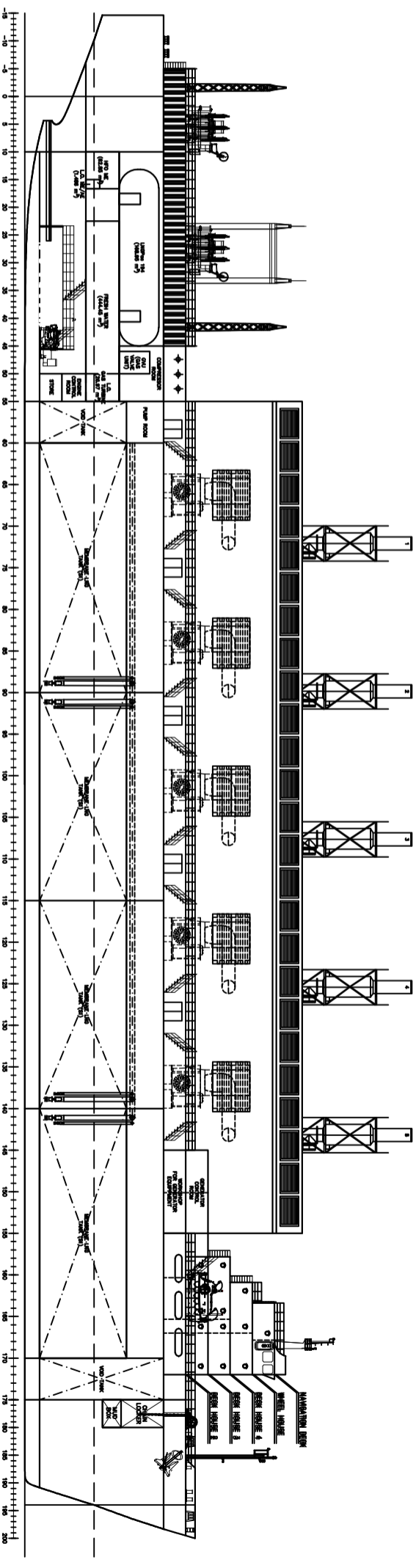
LAMPIRAN C
RENCANA UMUM (*GENERAL ARRANGEMENT*)

FRONT VIEW



ABOVE WL 6.6

PROFILE VIEW

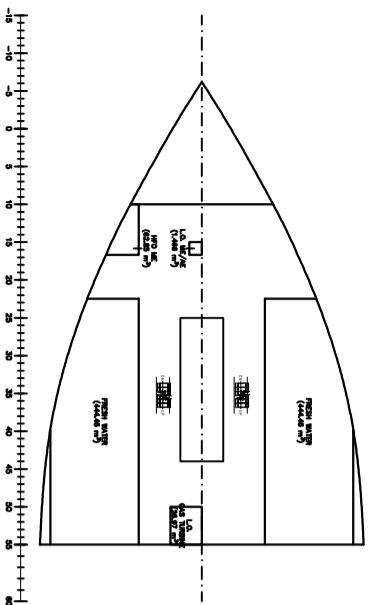


NAVIGATION DECK

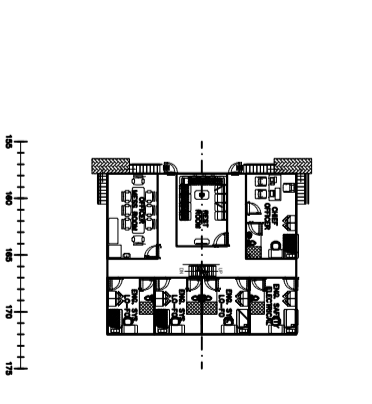
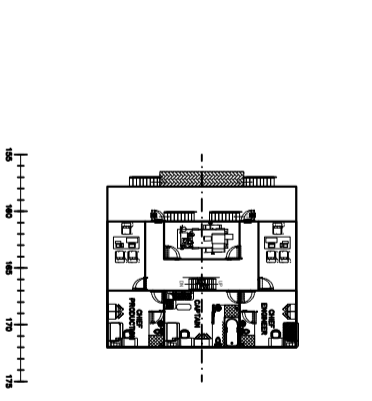
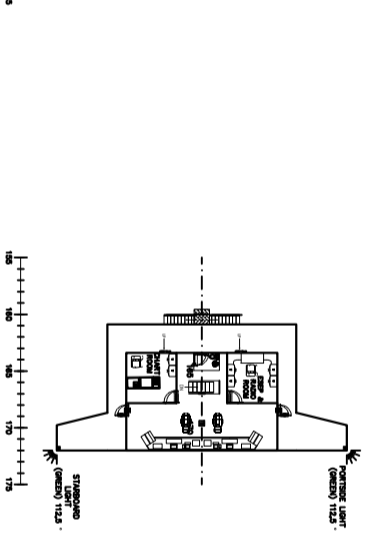
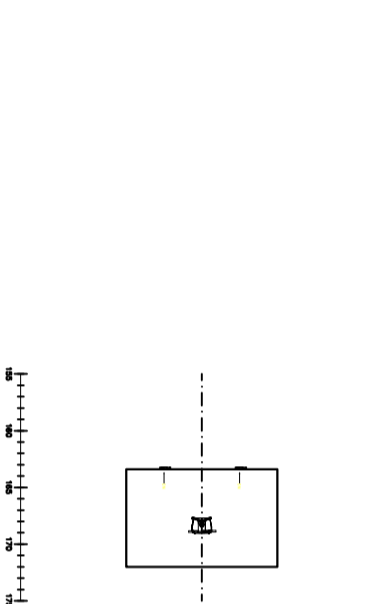
WHEEL HOUSE

DECK HOUSE 4

DECK HOUSE 3

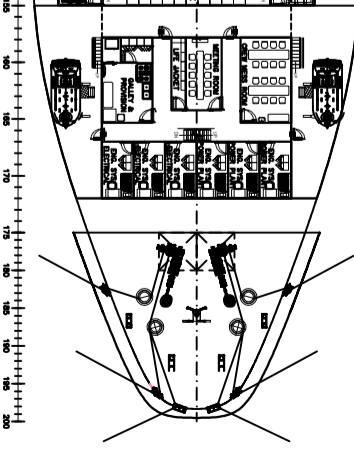
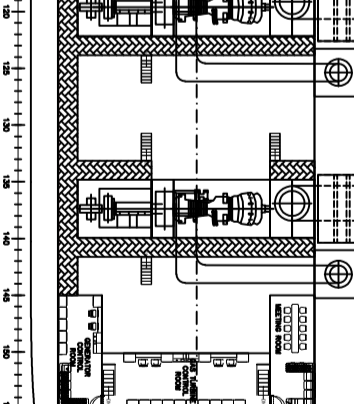
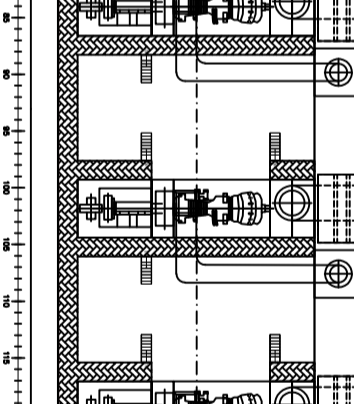
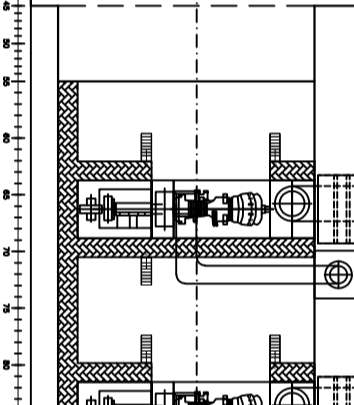
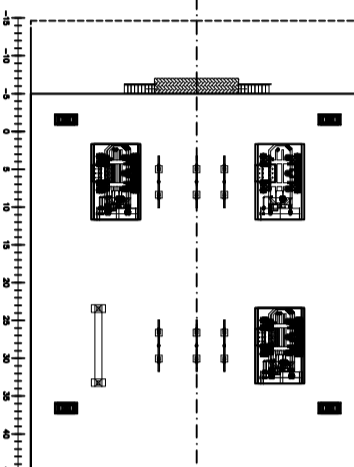
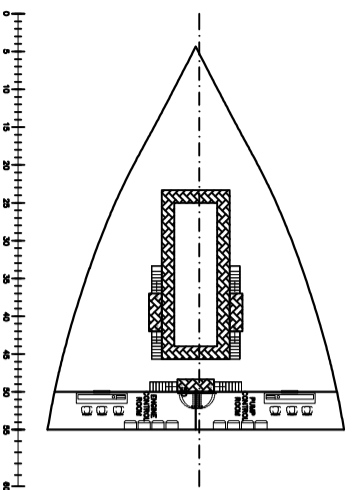


ABOVE WL 4.0



DECK HOUSE 2

FORECASTLE DECK



PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	MVP
LENGTH OVERALL (LOA)	164.78 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (LBP)	152.4 m
BREADTH (B)	26.3 m
HEIGHT (H)	15.0 m
DRAUGHT (T)	7.50 m
SERVICE SPEED (VS)	13.0 KNOTS
COMPLIMENTS	24 PERSON
MAIN ENGINE POWER	5794 HP

LAMPIRAN D
PERMODELAN 3D

DESAIN 3D Kapal Dual Fuel Pembangkit Listrik

Tenaga Gas 120 MW



BIODATA PENULIS



Mayangkara Pasha Mahadika, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Pati pada 10 April 1995 silam, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Bhayangkari, kemudian melanjutkan ke SDN 01 Pati, SMPN 3 Pati dan SMAN 3 Pati. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kemahasiswaan HIMATEKPAL FTK ITS 2013/2014, Kadir. Kaderisasi Departemen PSDM HIMATEKPAL FTK ITS 2014/2015, serta menjadi *Steering Committee* kaderisasi. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi *staff* Sub-Dialog Interaktif SAMPAN 8 ITS, kemudian mengemban amanah menjadi Ketua Sie Publikasi Sub-SAMPANESIA SAMPAN 9 ITS.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Menggambar Teknik

Email: mayangkarapm@gmail.com