



TUGAS AKHIR - MN 184802

DESAIN *DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL* (MPRV) UNTUK PERAIRAN LAUT JAWA

**Hebron Ginting
NRP 0411154000025**

**Dosen Pembimbing
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
Danu Utama, S.T., M.T.**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

DESAIN *DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL* (MPRV) UNTUK PERAIRAN LAUT JAWA

**Hebron Ginting
NRP 0411154000025**

**Dosen Pembimbing
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
Danu Utama, S.T., M.T.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

DESIGN OF *DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL (MPRV)* FOR JAVA SEA WATERS

**Hebron Ginting
NRP 0411154000025**

**Supervisors
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
Danu Utama, S.T., M.T.**

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

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL* (MPRV) UNTUK PERAIRAN LAUT JAWA

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:

HEBRON GINTING
NRP 0411154000025

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I

Danu Utama, S.T., M.T.
NIP 19901008 201803 1 001

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
NIP 19681212 199402 2 001



Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 24 JANUARI 2019

LEMBAR REVISI

DESAIN *DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL* (MPRV) UNTUK PERAIRAN LAUT JAWA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 8 Januari 2019

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

Oleh:

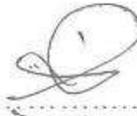
HEBRON GINTING
NRP 0411154000025

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.



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

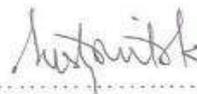


3. Gita Marina Ahadyanti, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



2. Danu Utama, S.T., M.T.



SURABAYA, 24 JANUARI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

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. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang selalu mendoakan, mendukung dan memberi semangat kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. dan Danu Utama, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan atas segala dedikasi dan pengorbanannya untuk Departemen Teknik Perkapalan;
4. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku dosen wali penulis atas segala nasehat dan bimbingannya selama melaksanakan perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan;
5. Bapak 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;
6. Pimpinan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) atas bantuan data yang diberikan sehingga penulis dapat mengerjakan Tugas Akhir ini;
7. Gabriella Tarigan atas semangat dan dukungan yang diberi selama mengerjakan Tugas Akhir ini;
8. David, Dian, Petra, Gratia teman teman seperjuangan SMA di Surabaya
9. Teman seperjuangan Angkatan P55 SAMUDRA RAKSA atas semangat-semangat dan doa-doanya. Saya tersentuh, sungguh.

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, Januari 2019

Hebron Ginting

DESAIN DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL (MPRV) UNTUK PERAIRAN LAUT JAWA

Nama Mahasiswa : Hebron Ginting
NRP : 0411154000025
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
2. Danu Utama, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kurangnya fasilitas untuk riset kelautan yang dimiliki oleh lembaga pelaku riset kelautan di Indonesia mengakibatkan terabaikannya sumber riset kelautan di Indonesia khususnya di perairan Laut Jawa yang menyimpan begitu banyak kekayaan dan keanekaragaman populasi laut. Peningkatan sarana dan prasarana penelitian kelautan juga bersinergi dengan rencana strategis Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) periode tahun 2015-2019, ditargetkan untuk dapat mengolah sumber daya laut hayati di Indonesia dengan keragaman tinggi hingga tahun 2020. Untuk memenuhi tujuan tersebut, kapal riset yang canggih merupakan moda yang efektif dalam meningkatkan kualitas penelitian di bidang kelautan. Selain permasalahan tersebut, pembatasan emisi gas buang pada kapal yang diatur oleh IMO melalui MARPOL 73/78 Annex VI terus diperketat secara kontinu. Salah satu regulasi terbaru yang akan diimplementasikan ialah pembatasan emisi sulfur secara global yang akan dikurangi dari 3.5% menjadi 0.5% pada tahun 2020. Maka, dalam Tugas Akhir ini akan dibahas sebuah moda transportasi berupa *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) yang menggunakan bahan bakar ganda yaitu *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *Marine Diesel Oil* (MDO) untuk perairan Laut Jawa. Dengan kapal ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas penelitian yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan di perairan Laut Jawa. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah yang meliputi survei langsung ke kapal riset milik LIPI di Jakarta Utara yaitu KR. Baruna Jaya VIII untuk mendapatkan beberapa data, menghitung ukuran utama awal MPRV, membuat rencana garis dan rencana umum, hambatan kapal, pemilihan mesin induk (*dual fuel engine*) serta pemilihan peralatan penelitian kapal riset sesuai fungsinya. Hasil dari desain *Dual Fuel* MPRV ini mendapatkan ukuran utama LOA : 57 m, LWL : 52.426 m, LPP : 50.41 m, B : 12.90 m, H : 7 m, T : 4.45 m. Dari hasil perhitungan terhadap performance kapal, hasil menunjukkan stabilitas kapal memiliki titik M berada di atas titik G di segala kondisi. Kapasitas orang didalam kapal adalah 57 orang dengan 24 awak dan 33 peneliti. Kapal ini menggunakan satu mesin motor penggerak dengan daya sebesar 2010 HP.

Kata kunci: *Multi-Purpose Research Vessel*, Riset Kelautan, *Dual Fuel*, Laut Jawa.

DESIGN OF *DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL* (MPRV) FOR JAVA SEA WATERS

Author : Hebron Ginting
Student Number : 04111540000025
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisors : 1. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
2. Danu Utama, S.T., M.T.

ABSTRACT

The lack of facilities for marine research owned by marine research institutions in Indonesia has resulted in the neglect of marine research sources in Indonesia, especially in Java Sea waters which saves so much wealth and diversity in marine populations. The enhancement of marine research facilities and infrastructure is also in synergy with the strategic plan of the Ministry of Research Technology and Higher Education's (Kemenristekdikti) for period of 2015-2019, targeted to be able to process biodiversity resources in Indonesia with high diversity until 2020. To meet these objectives, usage of sophisticated research vessels is the most effective mode to improve marine exploration. In addition to these problems, restrictions on exhaust emissions on ships regulated by IMO through MARPOL 73/78 Annex VI continue to be tightened continuously. One of the latest regulations to be implemented is the limitation of global sulphur emissions which will be reduced from 3.5% to 0.5% by 2020. Then, in this Final Project, a transportation mode in the form of Multi-Purpose Research Vessel (MPRV) using dual fuel that is Liquefied Natural Gas (LNG) and Marine Diesel Oil (MDO) for Java Sea Waters. With this ship, it is expected to be able to improve the quality of marine research with fuel efficient and environmentally friendly in Java Sea waters. This research was carried out with several steps which included a direct survey to research vessels owned by LIPI in North Jakarta, namely KR. Baruna Jaya VIII to obtain some data, calculate the initial main dimensions of the MPRV, make a linesplan and general arrangement, ship resistance, main engine selection (dual fuel engine) and selection of research vessel equipment according to its function. The results of the Dual Fuel MPRV design obtained the main dimensions of LOA: 57 m, LWL: 52,426 m, LPP: 50.41 m, B: 12.90 m, H: 7 m, T: 4.45 m. From the results of calculations on ship performance, the results show the stability of the ship having point M above the G point in all conditions. The capacity of people on board is 57 people with 24 crew and 33 scientist. This ship uses one motor drive engine with a power of 2010 HP.

Keywords: *Multi-Purpose Research Vessel*, Marine Research, *Dual Fuel*, Java Sea.

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	xiv
daftar simbol.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	3
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Umum	5
II.2. Sekilas Tentang Laut Jawa.....	5
II.3. Karakteristik Kapal Riset.....	9
II.4. Jenis Riset Kelautan.....	10
II.4.1. Riset Pemetaan	11
II.4.2. Riset Oseanografi	12
II.4.3. Riset Geologi dan Geofisika.....	13
II.4.4. Riset Perikanan	14
II.5. Jenis Kapal Riset.....	15
II.5.1. Kapal Riset Hidrografi.....	15
II.5.2. Kapal Riset Oseanografi	16
II.5.3. Kapal Riset Perikanan	16
II.5.4. MPRV (Multi-Purpose Research Vessel).....	17
II.6. Peralatan Penelitian/Riset	18
II.6.1. Radar.....	18
II.6.2. Sonar.....	18
II.6.3. <i>Sub-Bottom Profiling</i>	18
II.6.4. <i>Single Beam Echosounder</i>	19
II.6.5. <i>Multi Beam Echosounder</i>	20
II.7. Ruang Ilmiah (Laboratorium)	20

II.7.1.	<i>Wet Laboratory</i>	20
II.7.2.	<i>Dry Laboratory</i>	21
II.8.	Desain Kapal.....	22
II.8.1.	Tujuan Desain Kapal.....	22
II.8.2.	Tahapan Desain Kapal.....	23
II.8.3.	Metode Desain Kapal.....	24
II.9.	Tinjauan Perhitungan Teknis Desain Kapal.....	26
II.9.1.	Rasio Ukuran Utama dan Koefisien.....	26
II.9.2.	Hambatan Kapal.....	27
II.9.3.	Kebutuhan Daya Penggerak Kapal.....	31
II.9.4.	Berat dan Titik Berat Kapal.....	33
II.9.5.	Lambung Timbul Kapal (<i>Freeboard</i>).....	39
II.9.6.	Stabilitas Kapal.....	41
II.10.	Sistem Permesinan <i>Dual Fuel</i>	43
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	45
III.1.	Tahapan Identifikasi Masalah.....	47
III.2.	Tahapan Studi Literatur.....	47
III.3.	Tahapan Pengumpulan Data.....	47
III.4.	Tahapan Pengolahan Data.....	47
III.5.	Tahap Perencanaan.....	48
III.6.	Kesimpulan dan Saran.....	48
BAB IV	ANALISIS TEKNIS.....	49
IV.1.	Gambaran Umum.....	49
IV.2.	Analisis Perhitungan <i>Owner Requirements</i>	49
IV.2.1.	Luas Ruangan Ilmiah (Laboratorium).....	50
IV.2.2.	Peralatan Penelitian (<i>Scientific Requirement</i>).....	53
IV.2.3.	Ruang Akomodasi.....	54
IV.2.4.	Total Kebutuhan Luas Ruangan MPRV.....	55
IV.3.	<i>Layout</i> Awal MPRV.....	57
IV.4.	Ukuran Utama Awal MPRV.....	58
IV.5.	Analisis Hasil Perhitungan Teknis.....	59
IV.5.1.	Rasio Dimensi Kapal.....	59
IV.5.2.	Koefisien-Koefisien Bentuk Kapal.....	60
IV.5.3.	Analisis Hambatan Kapal.....	61
IV.5.4.	Analisis Kebutuhan Daya Mesin Induk Kapal.....	65
IV.5.5.	Analisis Pemilihan Mesin Induk (<i>Dual Fuel Engine</i>).....	69
IV.5.6.	Analisis Perhitungan Berat dan Titik Berat.....	72
IV.5.7.	Analisis <i>Freeboard</i> MPRV.....	75
IV.5.8.	Analisis Stabilitas MPRV.....	76
IV.5.9.	Analisis Trim MPRV.....	80
IV.6.	<i>Machinery Arrangement</i>	81
IV.6.1.	Proses Pembakaran LNG.....	81
IV.6.2.	Skenario Sistem Penggerak Kapal (<i>Dual Fuel Engine</i>).....	82
IV.6.3.	Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar <i>Dual Fuel</i> dengan Konvensional... 84	84
IV.7.	Pembuatan Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>).....	85

IV.8.	Pembuatan Rencana Umum (<i>General Arrangement</i>)	89
IV.9.	Pembuatan <i>Safety Plan</i>	92
IV.10.	Pemodelan 3D	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		97
V.1.	Kesimpulan	97
V.2.	Saran	98
DAFTAR PUSTAKA.....		99
LAMPIRAN		101
LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS <i>MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL</i>		
LAMPIRAN B RENCANA GARIS <i>MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL</i>		
LAMPIRAN C RENCANA UMUM <i>MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL</i>		
LAMPIRAN D <i>SAFETY PLAN DUAL FUEL MPRV</i>		
LAMPIRAN E PEMODELAN 3D		
LAMPIRAN F KATALOG PERALATAN RISET		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Peta daerah pelayaran Laut Jawa	6
Gambar II. 2 Rata-rata iklim di Laut Jawa	7
Gambar II. 3 Hasil Pemetaan oleh NOAA pada Perairan Puerto Rico	11
Gambar II. 4 Contoh Hasil Laporan Riset Oseanografi Kimiawi	13
Gambar II. 5 Proses Pengambilan Sampling Data Garis Seismic.	14
Gambar II. 6 Kapal riset Hidrografi	15
Gambar II. 7 NOAA Ronald H. Brown.....	16
Gambar II. 8 FRV Dana	16
Gambar II. 9 Kapal riset <i>multi-purpose</i> Jean-Charcot.....	17
Gambar II. 10 Laboratorium Basah.....	21
Gambar II. 11 Laboratorium Kering.....	21
Gambar II. 12 Design Spiral.....	23
Gambar II. 13 Skema pembagian daya penggerak kapal	31
Gambar II. 14 Proses operasi mesin <i>dual fuel</i>	44
Gambar III. 1 Diagram Alir Pengerjaan	45
Gambar IV. 1 Skema Penentuan <i>Owner Requirement</i>	50
Gambar IV. 2 Laboratorium Oseanografi.....	51
Gambar IV. 3 Laboratorium Basah (<i>Wet Lab</i>)	52
Gambar IV. 4 <i>Work Area Deck</i>	52
Gambar IV. 5 Standar luas laboratorium.....	53
Gambar IV. 6 Standar total luas minimum laboratorium	55
Gambar IV. 7 Luas minimum laboratorium basah dan kering	55
Gambar IV. 8 Luas minimum <i>working deck area</i>	56
Gambar IV. 9 <i>Layout</i> awal MPRV	58
Gambar IV. 10 Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal.....	66
Gambar IV. 11 Pemilihan mesin induk Wartsila 8L20DF	70
Gambar IV. 12 Sketsa dimensi mesin induk	71
Gambar IV. 13 Sketsa dimensi mesin bantu.....	72
Gambar IV. 14 Kriteria perhitungan stabilitas pada Maxsurf Stability	78
Gambar IV. 15 Pengaturan setiap tangki kalibrasi	79
Gambar IV. 16 Hasil pengaturan setiap tangki pada kapal	79
Gambar IV. 17 Hasil analisis <i>loadcase</i> pada Maxsurf Stability	80
Gambar IV. 18 Proses <i>intake</i> bahan bakar pada sistem <i>dual fuel</i>	81
Gambar IV. 19 Skenario mode penggerak <i>Dual Fuel</i> MPRV	82
Gambar IV. 20 Skenario penggunaan <i>dual fuel engine</i> saat berlayar	83
Gambar IV. 21 Proses desain Lines Plan MPRV	86
Gambar IV. 22 Proses pembuatan <i>Lines Plan</i> MPRV.....	87
Gambar IV. 23 Hasil analisis karakteristik hidrostatis kapal	88

Gambar IV. 24 Desain <i>Lines Plan</i> MPRV	89
Gambar IV. 25 Desain <i>General Arrngement</i> MPRV	91
Gambar IV. 26 Desain <i>Safety Plan</i> MPRV	94
Gambar IV. 27 Pemodelan 3D MPRV	95
Gambar IV. 28 Pemodelan 3D laboratorium MPRV	96

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Karakteristik Kapal Riset menurut UNOLS 1986	9
Tabel II. 2 Klasifikasi kapal riset menurut UNOLS	10
Tabel II. 3 Harga C_{stern}	29
Tabel II. 4 Harga $1+k_2$	29
Tabel II. 5 Perhitungan Nilai Hambatan Tambahan	31
Tabel II. 6 Harga li	33
Tabel II. 7 Harga Koefisien <i>Superstructure</i>	35
Tabel II. 8 Harga Koreksi F_5 Untuk Kapal Tipe B	41
Tabel IV. 1 Daftar kebutuhan peralatan penelitian MPRV	54
Tabel IV. 2 Kebutuhan luas ruangan pada <i>Main Deck</i> MPRV	56
Tabel IV. 3 Kebutuhan luas ruangan pada <i>Tween Deck</i> MPRV	57
Tabel IV. 4 Ukuran utama awal MPRV	59
Tabel IV. 5 Rekapitulasi Rasio Ukuran Utama	59
Tabel IV. 6 Rekapitulasi Koefisien-Koefisien Bentuk Badan Kapal	60
Tabel IV. 7 Perhitungan <i>Wave Making Resistance</i>	62
Tabel IV. 8 Hasil Perhitungan Faktor $1+k$	63
Tabel IV. 9 Rekapitulasi Nilai <i>friction coefficient</i> (C_F)	63
Tabel IV. 10 Rekapitulasi Nilai <i>correlation allowance</i> (C_A)	64
Tabel IV. 11 Total Hambatan	64
Tabel IV. 12 Rekapitulasi Nilai <i>Total Resistance</i> Ditambah dengan <i>Sea Margin</i>	65
Tabel IV. 13 Rekapitulasi Kebutuhan Daya EHP	66
Tabel IV. 14 Rekapitulasi Kebutuhan Daya DHP	67
Tabel IV. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Daya SHP	67
Tabel IV. 16 Rekapitulasi Kebutuhan Daya BHP	68
Tabel IV. 17 Rekapitulasi Perhitungan BHP_{MCR}	69
Tabel IV. 18 Spesifikasi teknis mesin induk	70
Tabel IV. 19 Spesifikasi Teknis Mesin Bantu	71
Tabel IV. 20 Rekapitulasi total DWT + LWT	73
Tabel IV. 21 Rekapitulasi perhitungan Titik Berat MPRV	74
Tabel IV. 22 Rekapitulasi perhitungan <i>Freeboard</i> MPRV	75
Tabel IV. 23 Hasil perhitungan Trim kapal	81
Tabel IV. 24 Perbandingan bahan bakar <i>dual fuel</i> dengan konvensional	84

DAFTAR SIMBOL

L	= Panjang kapal (m)
B	= Lebar kapal (m)
H	= Tinggi kapal (m)
T	= Sarat kapal (m)
V	= Volume displasemen (m^3)
C_B	= Koefisien blok
C_M	= Koefisien midship
C_P	= Koefisien prismatic
C_{WP}	= Koefisien bidang Air
Fn	= <i>Froude number</i>
V_s	= Kecepatan kapal (knot)
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
LOA	= <i>Length Over All</i> (m)
LBP	= <i>Length Between Perpendicular</i> (m)
AP	= <i>After Perpendicular</i>
FP	= <i>Fore Perpendicular</i>
LWL	= <i>Length of Water Line</i> (m)
LCB	= Panjang terhadap titik apung (m)
R_T	= Hambatan Total (kN)
ρ	= Masa jenis air (ton/m^3)
S	= Luas permukaan lambung kapal di bawah garis air (m^2)
S_{Tot}	= Luas total permukaan kapal di bawah garis air (m^2)
S_{App}	= Luas permukaan lambung kapal di bawah garis air (m^2)
C_F	= Koefisien gesek
C_A	= <i>Correlation allowance</i>
R_w	= Hambatan akibat pengaruh gelombang (kN)
W	= <i>Displacement</i> kapal (ton)
iE	= Setengah dari besar sudut masuk garis air
Ta	= Sarat kapal di <i>after peak</i> (m)
Tf	= Sarat kapal di <i>fore peak</i> (m)
C_2	= Koefisien pengaruh dari penggunaan bulbous bow
A_{BT}	= Luasan bulbous bow (m^2)
r_B	= Jari-jari efektif bulbous bow (m)
h_B	= Tinggi bulbous bow (m)
C_3	= Koefisien pengaruh dari transom
A_T	= Luasan transom pada keadaan kecepatan kapal nol (m^2)
C_5	= Koefisien dengan fungsi koefisien prismatic
C_6	= Koefisien dengan fungsi L^3/V
λ	= Koefisien dengan fungsi L/B

$1+k$	= Faktor bentuk lambung
$1+k_1$	= Faktor pengaruh dari bentuk lambung
c	= Koefisien pengaruh bentuk <i>afterbody</i>
$1+k_2$	= Faktor pengaruh dari penambahan bentuk lambung
R_f	= <i>Reynolds Number</i>
ν_s	= Viskositas kinematis untuk air laut (m/s)
EHP	= <i>Effective Horse Power</i> (kW/HP)
DHP	= <i>Delivery Horse Power</i> (kW/HP)
η_D	= <i>Propeller efficiency</i>
η_H	= <i>Hull efficiency</i>
w	= <i>Wake friction</i>
t	= <i>Thrust deduction</i>
η_R	= <i>Relative-rotative efficiency</i>
P/D	= <i>Pitch ratio</i>
η_o	= <i>Open water efficiency</i>
SHP	= <i>Shaft Horse Power</i> (kW/HP)
$\eta_s \eta_B$	= Efisiensi <i>stern tube</i> dan <i>bearing</i>
BHP	= <i>Break Horse Power</i> (kW)
η_T	= <i>Transmission efficiency</i>
BHP_{MCR}	= <i>Break Horse Power Maximum Continous Rating</i>
li	= Koefisien terhadap penggunaan komponen sistem penggerak
MCR	= <i>Maximum Continous Rating</i> (kW)
M_D	= Power design margin
M_S	= Power service margin
W_{HS}	= Berat baja di bawah geladak utama (ton)
V_u	= Volume kapal di bawah geladak utama (m ³)
C_{ST}	= Steel Coefficient
C_{BD}	= <i>Block coefficient to waterline tangential to topmost continous deck</i>
W_n	= Berat bangunan yang akan dicari (ton)
V_n	= Volume bangunan yang akan dicari (m ³)
C_n	= Koefisien berat baja bangunan yang akan dicari (ton/m ³)
W_{BC}	= Berat konstruksi sekat (ton)
W_{EF}	= Berat engine foundation (ton)
W_{GB}	= Berat gearbox (ton)
W_{Prop}	= Berat baling-baling (ton)
F_o / F_u	= Perbandingan antara luas geladak <i>layer</i> di atasnya dengan <i>layer</i> di bawahnya
n	= Putaran mesin utama (rpm)
SFR	= <i>Spesific Fuel Rate</i> (ton/kW jam)
D	= Diameter <i>propeller</i> (m)
d_s	= Diameter poros <i>propeller</i> (m)
A_E/A_O	= Perbandingan antara luas <i>propeller expanded</i> dengan luas lingkaran
Z	= Jumlah daun <i>propeller</i>
L_s	= Panjang poros <i>propeller</i> (m)
W_E	= Berat sistem kelistrikan (ton)
W_{MO}	= Berat sistem permesinan lainnya (ton)
W_{III}	= Berat peralatan dan perlengkapan di akomodasi (ton)

C_{III}	= Koefisien berat peralatan dan perlengkapan group III (ton/m ³)
W_{IV}	= Berat peralatan dan perlengkapan lainnya (ton)
C_{IV}	= Koefisien berat peralatan dan perlengkapan group IV (ton/m ²)
$W_{C\&E}$	= Berat crew dan consumables (ton)
$C_{C\&E}$	= Koefisien berat <i>crew</i> (ton/orang)
n_{crew}	= Jumlah <i>crew</i> (orang)
W_{FW}	= Berat air tawar (ton)
C_{FW}	= Koefisien berat air tawar (ton/orang hari)
W_{PR}	= Berat provision and store (ton)
C_{PR}	= Koefisien berat <i>provision and store</i> (ton/orang hari)
W_{Fuel}	= Berat bahan bakar Heavy Fuel Oil (ton)
W_{DO}	= Berat Bahan Bakar <i>Marine Diesel Oil</i> (ton)
C_{DO}	= Koefisien berat bahan bakar MDO
W_{LO}	= Berat <i>Lubrication Oil</i> (ton)
P_{LO}	= Masa jenis minyak pelumas (ton/m ³)
LCG	= Jarak titik gravitasi searah memanjang (m)
VCG	= Jarak titik gravitasi searah vertical (m)
B	= Gaya apung atau displasemen (ton)
G	= Gaya berat atau LWT + DWT (ton)
F_2	= Tinggi Freeboard
F_4	= Koreksi Penambahan
F_5	= Panjang efektif <i>superstructure</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang sangat kaya akan keanekaragaman populasi lautnya, kegiatan akan kekayaan laut di wilayah Indonesia belakangan ini lebih condong untuk kegiatan ekonomi saja sehingga mengesampingkan kegiatan untuk bidang pengetahuan terutama di bidang penelitian yang sangat penting untuk menjaga dan mengeksplorasi kekayaan alam laut Indonesia, khususnya perairan Laut Jawa yang merupakan salah satu perairan yang kaya akan biota laut, cadangan minyak dan gas bumi dan perikanan tangkap yang belum di eksplorasi seutuhnya dan menjadi wilayah perairan dengan rute pelayaran yang sering dilewati kapal baik pelayaran domestik maupun internasional.

Pengembangan riset kelautan di Indonesia pun tidak secara terus-menerus diperbaharui. Tidak dilakukan secara menyeluruh dikarenakan infrastruktur yang jumlahnya kurang mencukupi dan peralatan riset yang kurang dirawat sehingga proses riset tidak dapat dilakukan secara optimal pada kebutuhan yang sebenarnya. (Artileri.org, 2016)

Berdasarkan data wawancara dengan pihak LIPI, dikarenakan kurangnya pembaharuan dan pengadaan kapal, Indonesia hanya memiliki 5 kapal yang digunakan untuk penelitian. Untuk keperluan riset dengan jumlah 5 kapal hanya bisa memenuhi kebutuhan riset dalam jangka waktu 50 tahun, sedangkan idealnya kebutuhan riset harus dipenuhi dalam 10-20 tahun lagi. Dibutuhkan setidaknya 5-10 kapal lagi dengan jumlah hari layar 200 hari layar per tahun.

Disamping itu kapal riset yang saat ini ada di Indonesia sudah sangat tua begitu juga dengan umur mesin kapal sehingga tidak efisien dan boros bahan bakar saat melakukan pelayaran. Mengacu pada keadaan tersebut, saat ini telah banyak pemilik kapal yang berpindah dari mesin diesel ke mesin *dual fuel*, adapun penggunaan bahan bakar *dual fuel* yang direncanakan pada kapal *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) ini adalah LNG (*Liquid Natural Gas*) dan MDO (*Marine Diesel Oil*). *International Maritime Organization* (IMO) memberlakukan regulasi lingkungan yang ketat mulai awal tahun 2015 lalu, dimana emisi SO_x dan NO_x dibatasi maksimal 0.1% untuk kawasan *Emission Control Area* (ECA). Di luar ECA, regulasi IMO tersebut akan diberlakukan mulai tahun 2020, sesuai dengan MARPOL Annex VI terkait emisi (SO_x dan NO_x), dimana batas emisi yang dihasilkan oleh kapal tidak melebihi

0.50% m/m setelah 1 Januari 2020. Regulasi IMO di atas mendorong tumbuhnya kebutuhan akan teknologi yang mampu mengurangi atau bahkan menghilangkan emisi mesin kapal. Pilihannya hanya dua, yaitu teknologi *LNG propulsion*, artinya menggunakan bahan bakar rendah karbon (*Low Sulphur MGO* atau LNG). Pilihan kedua adalah mengadopsi teknologi *scrubber*, dengan tetap menggunakan MDO sebagai bahan bakar (International Maritime Organization, 2016).

Kapal ini akan menggunakan *Marine Diesel Oil* (MDO) dan *Liquefied Natural Gas* (LNG) sebagai bahan bakarnya, dimana untuk penggunaan LNG ini dapat mengurangi kandungan SO_x & *particulate matter* (PM) hingga 100 % serta emisi NO_x sekitar 85 % – 90 %. *Multi-Purpose Research Vessel* ini diharapkan mampu menjadi inovasi yang cukup baik dalam meneliti dan mengeksplorasi kekayaan populasi Laut Jawa.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan *Payload* dari *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) yang memenuhi persyaratan?
2. Bagaimana menentukan dimensi utama *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) yang memenuhi persyaratan?
3. Bagaimana menentukan Rencana Garis (*Linesplan*) dan Rencana Umum (*General Arrangement*) *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) sebagai kapal khusus yang memenuhi persyaratan?
4. Bagaimana menentukan *Safety Plan* *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) ?
5. Bagaimana menentukan desain 3D *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) ?
6. Bagaimana analisis ekonomis mesin dual fuel sebagai mesin yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *payload* dari *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV).
2. Menentukan ukuran utama *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV).

3. Desain rencana garis (*Linesplan*) dan rencana umum (*General Arrangement*) *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) sebagai kapal khusus yang memenuhi persyaratan dan regulasi.
4. Desain *Safety Plan Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV)
5. Desain model 3D *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV)
6. Melakukan analisis terhadap penggunaan mesin *dual fuel* sebagai mesin yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan.

I.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini batasan masalah yang ditentukan adalah:

1. Masalah teknis (desain) yang di bahas hanya sebatas *concept design*.
2. Analisis teknis yang dilakukan pada pengerjaan Tugas Akhir ini meliputi perhitungan hambatan (*resistance*), perhitungan *power* (tenaga) penggerak kapal, stabilitas kapal (*Ship Stability*), lambung timbul (*Freeboard*), perhitungan trim, pembuatan rencana garis (*Linesplan*), dan rencana umum (*General Arrangement*).
3. *Dual Fuel* yang digunakan adalah LNG (*Liquid Natural Gas*) dan MDO (*Marine Diesel Oil*).

I.5. Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah memberikan konsep rancangan moda transportasi laut yang mampu menunjang beberapa kegiatan penelitian di perairan Laut Jawa dalam satu kapal riset yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan.

I.6. Hipotesis

Dengan membangun *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) ini, sebagai penunjang fasilitas penelitian yang nantinya dapat meningkatkan kualitas penelitian kekayaan keanekaragaman biota laut, ketertiban lalu lintas alur pelayaran, pemanfaatan cadangan minyak dan gas bumi, pemanfaatan potensi perikanan tangkap dan meningkatkan keamanan dan pertahanan, yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan di perairan Laut Jawa.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Umum

Pada bab ini akan berisikan tentang hasil studi literatur terhadap topik utama Tugas Akhir. Bab ini menjelaskan tentang *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV). Penjelasan yang dimaksud adalah teori-teori terkait tentang *Dual Fuel Multi-Purposes Research Vessel* (MPRV) serta fasilitas yang ada di dalamnya. Selain penjelasan tentang *Dual Fuel Multi-Purposes Research Vessel* (MPRV), pada bab ini juga dijelaskan tentang proses dalam mendesain *Dual Fuel Multi-Purposes Research Vessel* (MPRV). Pada masing-masing subbab akan dijelaskan mengenai hal-hal tersebut.

II.2. Sekilas Tentang Laut Jawa

Indonesia disebut juga sebagai Nusantara, hal ini dikarenakan Indonesia terdiri atas pulau-pulau yang berjumlah 17.508 pulau yang terbentang sepanjang 3.977 mil dari Samudera Indonesia hingga Samudera Pasifik. Hal ini menjadikan Indonesia memiliki lautan yang luas sekitar 3.273.810 km². Karena Indonesia merupakan negara kepulauan, transportasi air merupakan sarana penting yang menghubungkan banyak tempat di negara ini. (Farhan, 2017)

Laut Jawa adalah laut dangkal yang luas yaitu sekitar 320.000 km², pada lempeng Sunda yang terbentuk akibat naiknya permukaan laut pada akhir zaman es. Laut ini terletak diantara pulau Kalimantan di utara, Jawa di selatan, Sumatera di barat dan Sulawesi di timur. Sebagai laut yang dangkal, laut jawa memiliki kedalaman 46 meter. Dasar laut yang hampir datar dan keberadaan kanal-kanal (dapat dilihat pada muara sungai) menunjukkan bahwa lempeng sunda dahulunya adalah area daratan yang stabil dan kering. Untuk lebih jelasnya, peta daerah perairan Laut Jawa dapat dilihat pada Gambar II. 1 di bawah ini.



(Sumber: Google Maps)

Gambar II. 1 Peta daerah pelayaran Laut Jawa

International Hydrographic Organization (IHO) mendefinisikan Laut Jawa sebagai salah satu perairan di Kepulauan Indian Timur. IHO mendefinisikan batasannya sebagai berikut:

- Di bagian utara berbatasan dengan Laut Cina Selatan
- Di bagian timur berbatasan dengan Barat Laut Laut Flores (garis dari Tg Sarokaja ke Pulau Western Paternosfer kemudian ke Timur Laut Pulau Posiljon dan ke bagian Barat Teluk Laikang.
- Di bagian selatan berbatasan dengan Laut Utara dan Barat Laut dari Pulau Bali (garis dari Pulau Paternosfer Barat ke titik Timur Sepandjang dan terus ke titik barat Teluk Gedeh)
- Sedangkan di bagian barat berbatasan dengan Pantai Timur Sumatera antara *Vlakke Hoek* dan *Lucipara Point*.

Laut Jawa memiliki iklim tropis dan memiliki curah hujan sepanjang tahun. Suhu rata-rata tahunan di Laut Jawa adalah sebesar 27,1°C dengan curah hujan rata-rata tahunan adalah 2467 mm.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature (°C)	26.7	26.9	27	27.6	27.7	26.9	26.6	26.8	27.2	27.9	27.5	27
Min. Temperature (°C)	23.2	23.2	23.2	23.5	23.6	22.5	21.8	21.7	22	22.9	23.2	23.3
Max. Temperature (°C)	30.2	30.6	30.9	31.7	31.8	31.4	31.4	32	32.5	32.9	31.8	30.7
Avg. Temperature (°F)	80.1	80.4	80.6	81.7	81.9	80.4	79.9	80.2	81.0	82.2	81.5	80.6
Min. Temperature (°F)	73.8	73.8	73.8	74.3	74.5	72.5	71.2	71.1	71.6	73.2	73.8	73.9
Max. Temperature (°F)	86.4	87.1	87.6	89.1	89.2	88.5	88.5	89.6	90.5	91.2	89.2	87.3
Precipitation / Rainfall (mm)	346	286	299	202	178	124	130	98	104	135	256	309

Sumber: Climate-Data.Org

Gambar II. 2 Rata-rata iklim di Laut Jawa

Pada Gambar II. 2 menunjukkan kondisi iklim di perairan Laut Jawa pada tabel menunjukkan rata-rata temperatur berkisar antara 70-80 derajat celcius. Wilayah perairan Laut Jawa merupakan salah satu perairan yang sangat kaya akan alam di dalam laut baik dari segi keanekaragaman hayati dengan jumlah lebih dari 3000 jenis spesies kehidupan laut yang belum terungkap atau diteliti sepenuhnya, juga menyimpan cadangan minyak dan gas bumi yang dapat menjadi sumber energi Indonesia kedepannya tetapi belum seutuhnya dieksplorasi seutuhnya atau bahkan belum dijamah. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia tentang Kegiatan Hulu Minyak Dan Gas Bumi Pasal 11 ayat:

- (1) Untuk menunjang penyiapan Wilayah Kerja, Menteri melakukan kegiatan Survey Umum.
- (2) Kegiatan Survey Umum sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dilakukan pada Wilayah terbuka di dalam Wilayah Hukum Pertambangan.
- (3) Kegiatan Survey Umum antara lain meliputi survey geologi, survey geofisika, dan survey geokimia.

Selain untuk penelitian keanekaragaman biota laut, kapal riset juga punya fungsi untuk melakukan survei hidrografi dimana kegiatan survei hidrografi tersebut meliputi peta *bathimetric*, pola alur pelayaran, pasang surut dan jenis dasar perairan, perairan Laut Jawa berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002 merupakan salah satu daerah pelayaran yang tergolong dalam Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) I (pertama), dan merupakan salah satu daerah dengan kegiatan pelayaran tersibuk di Indonesia karena banyak kapal-kapal yang berlayar melalui rute perairan Laut Jawa dikarenakan letaknya yang tepat diantara 2 pelabuhan tersibuk di Indonesia saat ini yaitu Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta dan Pelabuhan Perak di Surabaya yang merupakan dua dari enam pelabuhan utama

dalam mendukung program tol laut untuk menjadikan Indonesia sebagai poros maritim dunia yang dicanangkan oleh Presiden Joko Widodo. Sehingga untuk menjaga keselamatan dan kelancaran lalu lintas pelayaran di perairan Laut Jawa perlu dilakukan survei hidrografi secara berkala dengan tujuan menjaga ketertiban lalu lintas kapal, memonitor pergerakan kapal, mengarahkan pergerakan kapal, dan pelaksanaan hak lintas damai kapal-kapal asing. Untuk mendukung kegiatan survei hidrografi tersebut tentunya dibutuhkan kapal riset yang mampu melakukan penelitian hidrografi tersebut.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya akan cadangan minyak dan gas bumi di bawah lautnya, termasuk perairan Laut Jawa bagian selatan yang menyimpan begitu banyak kekayaan cadangan minyak dan gas bumi yang dapat mendukung perekonomian Indonesia di masa yang akan datang, tetapi daerah tersebut belum dieksplorasi sepenuhnya. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) total cadangan minyak Indonesia saat ini diperkirakan 7,5 miliar barel, sebanyak 3,6 miliar barel diantaranya adalah cadangan terbukti (*proven reserve*) sedangkan 3,8 miliar barel lainnya adalah potensi yang harus dibuktikan terlebih dahulu lewat eksplorasi. Eksplorasi minyak baru dilakukan di 28 cekungan (basin) saja, yang lokasinya sebagian besar berada di Indonesia bagian barat, sedangkan masih ada sekitar 70 cekungan lagi yang belum dijajah. Cadangan minyak yang diperkirakan 3,8 miliar barel tersebut tersimpan di 70 cekungan ini dan diperkirakan juga terdapat cadangan gas sebesar 47,35 TSCF (*Triliun Standard Cubic Feet*). Lokasi dari 70 cekungan yang belum dieksplorasi tersebut tersebar di sepanjang Laut Jawa bagian selatan, Laut Natuna, Laut Aru, hingga Papua. Sehingga, untuk mendukung program pemerintah dalam melakukan eksplorasi di Laut Jawa tersebut dibutuhkan kapal riset yang mampu melakukan penelitian survei seismik laut yaitu suatu pekerjaan untuk mencari kandungan minyak dan gas bumi yang ada di lapisan bawah bumi tepatnya di daerah laut dengan melakukan pemetaan terhadap lapisan bawah bumi. Laut Jawa juga merupakan salah satu perairan yang menyimpan berbagai macam jenis ikan tangkap dan merupakan salah satu Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP), berdasarkan data Statistik Perikanan 2014 Potensi Perikanan Tangkap Laut untuk Laut Jawa mencapai 837.000 ton dan Produksi Perikanan Tangkap Laut mencapai 919.000 ton per tahun. Angka ini menunjukkan bahwa potensi perikanan tangkap di Laut Jawa harus dimanfaatkan dengan baik salah satu caranya adalah dengan melakukan pemetaan menggunakan kapal riset agar hasil tangkapan setiap tahunnya meningkat. Untuk menjaga keamanan dan meminimalisir tindak kejahatan di Laut Jawa, seperti kegiatan *illegal fishing*, masuknya kapal asing tanpa izin di perairan Indonesia dan pencurian ikan oleh pihak asing maka diperlukan riset pertahanan dan

keamanan laut secara berkala yang dapat dilakukan dengan pemetaan dan patroli untuk menjaga keamanan laut menggunakan kapal riset.

II.3. Karakteristik Kapal Riset

Secara umum karakteristik desain dari MPRV mengacu kepada beberapa kepentingan kebutuhan riset. Acuan karakteristik yang tercantum pada Tabel II. 1 Karakteristik Kapal Riset menurut *University-National Oceanografic Laboratory System (UNOLS) 1986* menjelaskan karakter-karakter yang harus dicapai oleh sebuah kapal riset. Pembagian ini diurutkan oleh kelompok-kelompok praktisi ilmiah dari sejumlah disiplin ilmu yang berhubungan dengan proses riset.

Fasilitas penelitian ilmiah pada kapal riset harus memiliki:

- Laboratorium
- Area dek terbuka
- Akomodasi
- Ruang penyimpanan dan suplai
- Peralatan penelitian

Tabel II. 1 Karakteristik Kapal Riset menurut UNOLS 1986

No.	<i>Characteristics</i>	
1.	<i>Seakeeping</i>	<i>Seakindliness</i>
		<i>Station-keeping</i>
2.	<i>Work environment</i>	<i>Lab spaces and arrangements</i>
		<i>Deck working area</i>
		<i>Flexibility</i>
3.	<i>Endurance</i>	<i>Range</i>
		<i>Days at sea</i>
4.	<i>Science Compliment</i>	
5.	<i>Operating Economy</i>	
6.	<i>Acoustical characteristics</i>	
7.	<i>Speed</i>	<i>Ship control</i>
8.	<i>Payload</i>	<i>Scientific area</i>
		<i>Science equipments</i>
		<i>Weight handling</i>

Kebutuhan operasional menjadi penentu utama pada penilaian keseluruhan karakteristik kapal, yang menerangkan peralatan dan kebutuhan dari ilmuwan, serta jarak dan lama

pelayaran. Jenis peralatan akan ditentukan oleh jenis riset apa yang dilibatkan dalam perencanaannya, apakah kapal oseanografi, geologi dan geofisik, atau tipe pencari ikan.

Dijelaskan pada Tabel II. 2 hubungan mengenai rentang kedalaman riset di laut dan panjang kapal. Untuk mengidentifikasi keterkaitan antara jarak, kemampuan layar, dan ukuran kapal dilakukan dengan mempertimbangkan referensi struktural klas dari *University-National Oceanographic Laboratory Systems*.

Tabel II. 2 Klasifikasi kapal riset menurut UNOLS

<i>Class</i>	<i>Ship's Length Overall, m (ft)</i>	<i>Depth Range</i>
I	Over 83.5 (Over 274)	Greater than 12.000 m
II	61-83.5 (200 to 274)	Greater than 12.000 m
III	45.7-61 (150 to 199)	6.000 m
IV	30.5-45.7 (100 to 149)	1000-2000 m
V	Less than 30.5	<200 m

- Kedalaman 200 m, menangani riset pada landasan benua, dan studi perikanan perairan dangkal. Kapal riset kecil yang beroperasi di area pantai, kapal dengan panjang kurang dari 30,5 m sesuai dengan (table II.1 *Class V UNOLS Class of Oceanographic Ships*);
- Kedalaman 1.000 hingga 2.000 m, menangani kehidupan di lautan secara keseluruhan, sisi atas dari pulau dan benua. Kapal riset yang lebih kecil dengan panjang di bawah 45,7 m sesuai dengan (table II.1 *Class IV UNOLS Class of Oceanographic Ships*);
- Kedalaman 6.000 m, menangani riset pada dasar lautan dan mendalami keseluruhan lautan hingga 98 persen dari area lautan, Kapal laut dengan panjang lebih dari 45,7 m secara umum, sesuai dengan (table II.1 *Class I-III UNOLS Class of Oceanographic Ships*);
- Kedalaman 12.000 m menangani riset pada palung laut dunia. Kapal laut dengan panjang lebih dari 61 m serta dilengkapi dengan peralatan untuk operasi riset laut dalam (table II.1 *Class I and II UNOLS Class of Oceanographic Ships*).

II.4. Jenis Riset Kelautan

Agenda penelitian kelautan masa depan difokuskan untuk membahas isu utama sosial yang relevan, termasuk peran laut dalam perubahan iklim, kesehatan dan keberlanjutan ekosistem, dampak laut terhadap kesehatan manusia, manajemen dan eksploitasi sumber daya alam, serta meningkatkan prediktabilitas bahaya alam dan keamanan maritim.

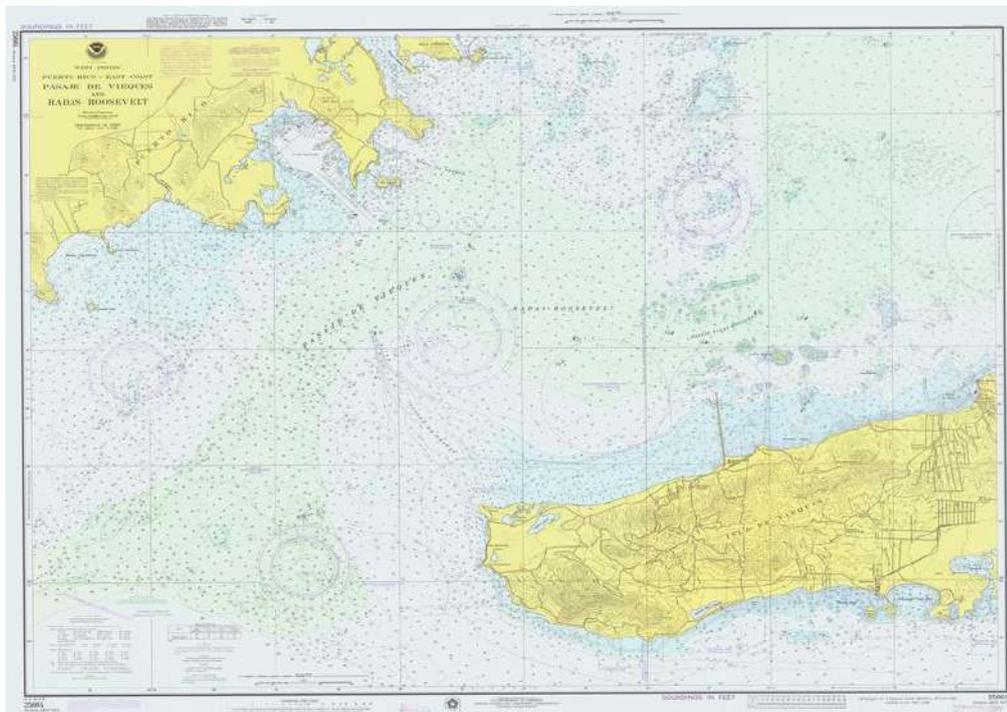
Secara keseluruhan, riset merupakan tantangan multidisiplin melibatkan fisika, kimiawi, biologi, dan Ilmu geologi dan bidang tergabung seperti interaksi udara-laut dan ilmu atmosfer (National Research Council, 2009).

Pembagian riset ini didasarkan pada tren riset dan kebutuhan yang akan mempengaruhi desain armada kapal riset di waktu yang akan datang, serta terbagi atas keperluan disiplin ilmu yang mempunyai dasar kepentingan yang berkaitan dengan kelautan.

II.4.1. Riset Pemetaan

Menghasilkan representasi grafik dari area laut dan lingkungan pantai terdekat, dengan menampilkan kedalaman perairan, tinggi daratan, keadaan alam, detail garis pantai, ancaman pelayaran, navigasi terhadap lokasi penyelamatan, informasi terhadap ombak dan arus, serta bangunan pantai (Daidola, 2003)

Pemetaan merupakan peralatan utama untuk navigasi laut, yang dengan menggunakan teknologi terkini dapat dicetak atau berupa data elektronik lengkap dengan data kartografik nya. Menjadikan keperluan yang dapat terus diperbaharui untuk kepentingan navigasi pada waktu kapanpun. Contoh pemetaan yang telah dihasilkan sebagai bahan edukasi/informasi publik dapat dilihat pada Gambar II. 3 Contoh Pemetaan oleh NOAA pada Perairan Puerto Rico tahun 1976.



Sumber: NOAA, 2018

Gambar II. 3 Hasil Pemetaan oleh NOAA pada Perairan Puerto Rico

II.4.2. Riset Oseanografi

1. Oseanografi Fisik

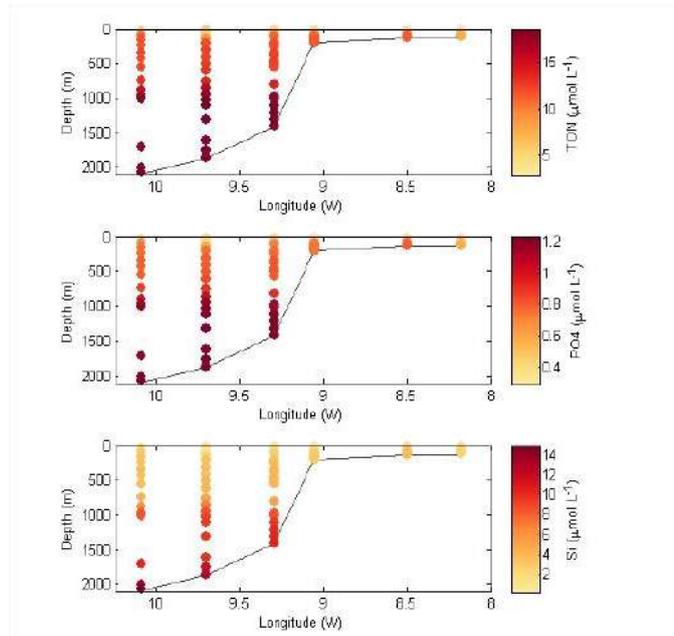
Oseanografi fisik berfokus pada sifat-sifat fisik dan proses dinamika laut. Kebutuhan masa depan penelitian diarahkan terhadap peran sirkulasi laut dan properti di perubahan iklim dan siklus karbon global.

Dalam dekade mendatang, kapal akan tetap sebagai metode utama mengamati lautan menggunakan resolusi tinggi, pada saat operasi, dan dalam beberapa kasus, memulihkan instrumen bebas tambat (*tethered*). Sebagai kemajuan penelitian, instrumentasi harus menjadi lebih canggih; ini memanfaatkan teknologi termutakhir pada crane dan alat derek, komunikasi kapal-ke-pantai, dan komputer pada kapal (Daidola, 2003).

2. Oseanografi Kimiawi

Variabel kimiawi di lautan tidak memiliki dokumentasi yang baik, terkecuali kadar garam/salinitas, kadar kandungan makro seperti nitrat dan silikat merupakan variabel yang kurang diperhatikan. Hampir keseluruhan analisis isotopik tidak bisa dilaksanakan dari jarak jauh dan membutuhkan *sampling* air pada kapal berbasis hidrografi atau operasi pelayaran riset di laboratorium.

Maka dari itu, hal paling utama dari oseanografi kimiawi adalah ruang laboratorium yang bersih dan suplai air laut untuk keperluan ilmiah. Sejumlah pendekatan analisis terbaru secara baik dapat memperbaiki analisis molekular dari material berkarbon eksploitasi dari teknik analisis tingkat lanjut lainnya akan bertambah permintaannya dengan *sampling* air menggunakan kapal (National Academy of Sciences, 2009). Seperti salah satu contoh laporan *sampling* riset RRS Discovery yang ditunjukkan pada Gambar II. 4 menjelaskan perbandingan kandungan kimia dari silikat dan fosfat dalam air laut.



Sumber: Painter, S. C., and others, 2015

Gambar II. 4 Contoh Hasil Laporan Riset Oseanografi Kimiawi

3. Oseanografi Biologis

Berfokus pada organisme laut dan hubungannya terhadap sirkulasi laut, kandungan, dan siklus biogeokimia dari elemen-elemen di laut. Permasalahan riset yang sedang muncul adalah:

- Siklus biogeokimia global,
- Peran organisme dan responnya terhadap perubahan iklim,
- Hubungan antara ekosistem laut dan kesehatan manusia,
- Dan dinamika dan hubungan dasar laut dari populasi-populasi di lautan

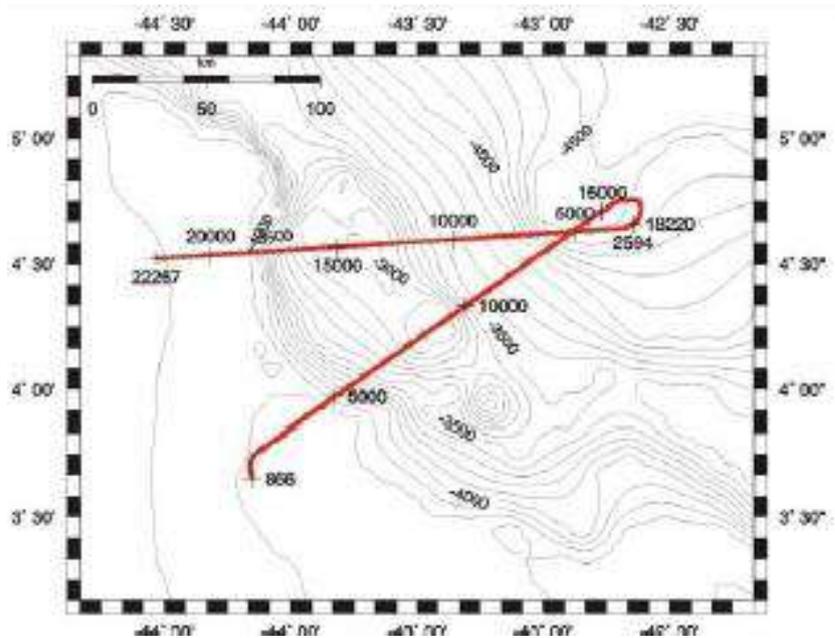
Kapal modern diwajibkan untuk memiliki peralatan penanganan yang terbaik, kualitas laboratorium yang mumpuni, dan ruang kerja yang berlebih. Kapal harus didukung dengan peralatan kapal selam nirawak.

II.4.3. Riset Geologi dan Geofisika

Tantangan pada riset atmosfer laut adalah dengan terbatasnya proses observasi, dengan luasnya laut dan jarak lingkup yang tidak permanen, serta keperluan studi lapangan yang mendetail.

Riset mendatang akan mengikutsertakan kombinasi dari platform yang berbasis udara serta kelautan. Dengan berkembangnya penggunaan kapal nirawak serta *drones* yang bersinggungan dengan kebutuhan kapal riset.

Kapal riset akan berperan utama dalam riset atmosfer laut dengan menyediakan akses pada penelitian atmosfer laut dengan durasi dan kuantitas yang tidak terbandingkan dengan proses lain nya, serta penyediaan instrument analisis dan peralatan untuk kalibrasi dan validasi pada peralatan berbasis satelit. Seperti dilihat pada Gambar II. 5 hasil pengambilan sampling data garis *seismic* bumi di Brazil.



Sumber: Watts, A.B., and P. Christine. (2004)

Gambar II. 5 Proses Pengambilan Sampling Data Garis Seismic.

II.4.4. Riset Perikanan

Riset perikanan merupakan kebutuhan utama untuk penelitian terhadap ekosistem laut, serta deteksi dari daerah perairan pada populasi ikan di lautan. Kapal riset perikanan terkini memerlukan desain yang mumpuni beserta peralatan pengangkut yang efisien dalam operasional nya.

Desain kapal dengan alat penggerak yang halus diperlukan agar mempermudah proses penelitian, penyimpanan pada kapal pun wajib tersedia dengan kapasitas dan kualitas penjagaan yang baik dikarenakan hasil sampling yang sensitif terhadap perubahan lingkungan asal ikan.

II.5. Jenis Kapal Riset

Kapal riset adalah kapal yang didesain khusus untuk membawa peralatan-peralatan untuk melakukan penelitian di laut. Jenis kapal riset dibedakan berdasarkan ketersediaan peralatan yang menunjang proses riset yang dilakukan, yang biasanya digabungkan dengan jenis kapal lain karena membutuhkan peralatan khusus yang secara utama berfungsi untuk menyediakan wadah untuk ilmuwan serta instrument sebagai tempat untuk melakukan riset.

Karakteristik utama kapal riset, seperti yang telah dijelaskan dijelaskan, dibutuhkan untuk membangun kapal dimana dipenuhi dengan tingkat kemampuan *seakeeping*, kehandalan, manuver yang tinggi, serta tingkat akustik yang relatif tenang. (Griffin & Sharkey, 1987)

II.5.1. Kapal Riset Hidrografi

Kapal Riset Hidrografi merupakan kapal yang melakukan riset hidrografi dan survey hidrografi. Dari kapal ini, dihasilkan *nautical chart* yang digunakan sebagai navigasi bagi pelayaran sipil dan militer.

Peralatan penelitian yang dibawa diantaranya peralatan seismologi dasar laut untuk mensurvey kondisi perairan dan geologis. Kondisi geologis yang mungkin didapatkan diantaranya ladang migas dan potensi tambang mineral bawah laut. Seperti dilihat pada Gambar II. 6 kapal hidrografi yang sedang melakukan proses sampling hidrografi di perairan tenang.



Gambar II. 6 Kapal riset Hidrografi

II.5.2. Kapal Riset Oseanografi

Kapal Riset Oseanografi merupakan kapal yang membawa peralatan yang dapat mengukur karakteristik fisik, kimiawi, dan biologi dari air dan udara di atmosfer serta kondisi iklim di atasnya. Termasuk di dalamnya adalah sonar gema untuk pembacaan hidrografi sederhana. Kapal ini juga membawa peralatan selam ilmiah dan kapal selam nirawak, seperti dilihat pada Gambar II.5 kapal riset oseanografi NOAA Ronald H. Brown yang memiliki peralatan riset oseanografi yang canggih.



Sumber: NOAA, 2015

Gambar II. 7 NOAAS Ronald H. Brown

II.5.3. Kapal Riset Perikanan

Kapal Riset Perikanan merupakan kapal yang membutuhkan geladak yang dapat membawa berbagai alat penangkap ikan dan pengambil sampel air pada berbagai kedalaman, juga sonar untuk mendeteksi keberadaan ikan. Kapal riset perikanan seringkali dibangun dengan desain yang mirip dengan kapal penangkap ikan berukuran besar, namun ruang penyimpanan hasil tangkapan diganti menjadi ruang untuk laboratorium dan gudang peralatan.



Sumber: (Sienicki, 2015)

Gambar II. 8 FRV Dana

Seperti dilihat pada Gambar II. 8 FRV Dana yang memiliki peralatan yang lebih ringkas dibanding kapal riset jenis lain nya.

II.5.4. MPRV (Multi-Purpose Research Vessel)

MPRV adalah salah satu jenis dari kapal *research* yang dimana memiliki peran dan kemampuan rata-rata seperti kapal riset lainnya. MPRV dapat memiliki berbagai macam misi seperti survey hidrografi, survey oseanografi, studi geofisika, dan survey perikanan. Selain digunakan sebagai kapal survey, kapal ini juga bisa dipakai dalam tugas Patroli.

Kapal ini juga dirancang mampu untuk misi angkut personel, dan mendukung misi penyelaman (*scuba diving operations*). Lainnya bisa menjalankan misi anti polusi, penanganan kebakaran, dan sebagai kapal penarik, dimana kapal ini dibekali fasilitas *towing*. Dilengkapi dengan peralatan AUV (Autonomous Underwater Vehicle) yang berfungsi melaksanakan pencitraan bawah laut sampai dengan kedalaman 6.000 meter.

Selain itu, kapal ini juga dilengkapi dengan ROV (*Remotely Operated Vehicle*) yaitu robot bawah air yang dapat memberikan informasi jenis dasar laut dan pencitraan material dasar laut untuk diambil sebagai bahan penelitian dengan kemampuan sampai dengan kedalaman 1.000 meter, SSS (*Side Scan Sonar*), *Laser Scanner* untuk mendapatkan gambaran daratan, AWS (*Automatic Weather Station*), *Echosounder Multibeam* laut dalam dan *Singlebeam*, Peralatan CTD (*Conductivity Temperature and Depth*), *Gravity Cores*, kelengkapan Laboratorium serta kemampuan survei perikanan.

Pada Gambar terlihat MPRV memiliki dek terbuka yang luas berguna untuk kru melakukan pengoperasian peralatan. Pada saat melaksanakan manuver kapal ini juga dilengkapi dengan *Dynamic Position*, Auto Pilot 70 dan stabilitas kapal menggunakan Anti Rolling. Menambah kemampuan *maneuvering* dan *seakeeping* dengan sangat baik.



Sumber: Wikipedia, 2015

Gambar II. 9 Kapal riset *multi-purpose* Jean-Charchot

II.6. Peralatan Penelitian/Riset

II.6.1. Radar

Alat bantu yang digunakan untuk menunjang kinerja operasional kapal perang merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi keadaan disekitar kapal, radar terdiri dari radar navigasi, radar pengunci, dan radar pengintai. Sonar merupakan alat yang digunakan untuk pencitraan di bawah permukaan kapal. Bisa digunakan sebagai pemetaan kondisi dasar laut.

II.6.2. Sonar

Sonar merupakan teknik yang menggunakan perambatan gelombang suara di bawah air digunakan untuk penunjuk arah, komunikasi atau mendeteksi kapal-kapal laut. Sistem sonar dapat diartikan sebagai penentuan posisi dengan metode akustik (*acoustic location*). Penggunaan posisi dengan metode akustik telah digunakan jauh sebelum adanya teknologi radar.

Sidescan sonar merupakan alat untuk mendapatkan gambaran permukaan dasar perairan dengan menggunakan gelombang bunyi. Sistem sidescan mengirimkan pulsa akustik pada suatu sisi dari receiver dan merekam amplitude energi balikan dari pulsa yang dipancarkan oleh sensor. Tiap pancaran pulsa, satu lajur kecil (sekitar 100 sampai 200 m ke tiap sisi) dari dasar laut dipetakan.

Tiap pergerakan kapal, lajur ke lajur dipetakan. Pada dasar laut yang datar sempurna semua energi dipantulkan dari sesor sonar dan tidak ada sinyal yang terekam. Dalam faktanya, dasar laut tidak rata sempurna. Sistem dapat menyediakan informasi keadaan dasar laut dan biota alam yang berada di sekitar lingkungan situs riset dilaksanakan, secara kasar.

II.6.3. Sub-Bottom Profiling

Merupakan suatu sistem pengidentifikasi dan pengukur variasi dari lapisan-lapisan sedimen yang ada di bawah permukaan air. Sistem akustik yang digunakan dalam penentuan sub-bottom profiling hampir sama dengan alat pada *echosounder*. Sumber suara memancarkan sinyal secara vertikal ke bawah menelusuri air dan *reciever* memonitor sinyal balikan yang telah dipantulkan dasar laut.

Sistem menggunakan energi pantulan untuk mengumpulkan informasi lapisan-lapisan sedimen di bawah dasar permukaan air (tampilan muka sedimen bawah air). Rintangan akustik berhubungan dengan tingkat kekentalan atau berat jenis (densitas) dari kandungan material dan

tingkat kecepatan suara menelusuri material. Ketika terjadi perubahan rintangan akustik, seperti tampilan muka sedimen bawah air, bagian suara yang diteruskan kemudian dipantulkan kembali.

Dari pancaran gelombang suara yang terhalang akan dikembalikan/dipantulkan kembali ke *receiver* berupa data yang menunjukkan profil dari permukaan dasar laut/penghalang tersebut mengingat permukaan dasar laut tidak rata. Dari beberapa energi suara yang menembus sampai batas dan kedalam lapisan sedimen. Energi ini dipantulkan ketika menembus batas antara lapisan sedimen yang lebih dalam yang memiliki rintangan akustik yang berbeda-beda.

Sistem ini menggunakan energi yang dipantulkan oleh lapisan-lapisan untuk membentuk penampang daribagian sub-bottom lapisan-lapisan sedimen. Beberapa parameter-parameter dari sonar (tenaga keluaran, frekuensi dari sinyal, dan panjang gelombang pulsa yang dipancarkan) mempengaruhi performa dari alat yang digunakan.

II.6.4. *Single Beam Echosounder*

Single-beam echo sounder merupakan alat ukur kedalaman air yang menggunakan pancaran tunggal sebagai pengirim dan penerima sinyal gelombang suara. Sistem batimetri dengan menggunakan single beam secara umum mempunyai susunan *transciever* (*transducer/reciever*) yang terpasang pada lambung kapal atau sisi bantalan pada kapal. Sistem ini mengukur kedalaman air secara langsung dari kapal penyelidikan.

Transciever yang terpasang pada lambung kapal mengirimkan pulsa akustik dengan frekuensi tinggi yang terkandung dalam beam (gelombang suara) secara langsung menyusuri bawah kolom air. Energi akustik memantulkan sampai dasar laut dari kapal dan diterima kembali oleh *transciever*.

Transciever terdiri dari sebuah *transmitter* yang mempunyai fungsi sebagai pengontrol panjang gelombang pulsa yang dipancarkan dan menyediakan tenaga listrik untuk besar frekuensi yang diberikan. *Transmitter* ini menerima secara berulang-ulang dalam kecepatan yang tinggi, sampai pada orde kecepatan milisekon. Perekaman kedalaman air secara berkesinambungan dari bawah kapal menghasilkan ukuran kedalaman beresolusi tinggi sepanjang lajur yang disurvei.

Informasi tambahan seperti *heave* (gerakan naik-turunnya kapal yang disebabkan oleh gaya pengaruh air laut), *pitch* (gerakan kapal ke arah depan (mengangguk) berpusat di titik tengah kapal), dan *roll* (gerakan kapal ke arah sisi-sisinya (lambung kapal) atau pada sumbu memanjang) dari sebuah kapal dapat diukur oleh sebuah alat dengan nama *Motion Reference*

Unit (MRU), yang juga digunakan untuk koreksi posisi pengukuran kedalaman selama proses berlangsung.

Single-beam echosounder relatif mudah untuk digunakan, tetapi alat ini hanya menyediakan informasi kedalaman sepanjang garis trak yang dilalui oleh kapal. Jadi, ada fitur yang tidak terekam antara lajur per lajur sebagai garis tracking perekaman, yang mana ada ruang sekitar 10 sampai 100 meter yang tidak terlihat oleh sistem ini.

II.6.5. Multi Beam Echosounder

Multi-Beam Echosounder merupakan alat untuk menentukan kedalaman air dengan cakupan area dasar laut yang luas. Prinsip operasi alat ini secara umum adalah berdasar pada pancaran pulsa yang dipancarkan secara langsung ke arah dasar laut dan setelah itu energi akustik dipantulkan kembali dari dasar laut (*sea bed*), beberapa pancaran suara (*beam*) secara elektronis terbentuk menggunakan teknik pemrosesan sinyal sehingga diketahui sudut beam.

Dua arah waktu penjalaran antara pengiriman dan penerimaan dihitung dengan algoritma pendeteksian terhadap dasar laut tersebut. Dengan mengaplikasikan penjejakan sinar, sistem ini dapat menentukan kedalaman dan jarak transversal terhadap pusat area liputan.

II.7. Ruang Ilmiah (Laboratorium)

Laboratorium sangat beragam luas dan kebutuhan kegunaan ditentukan berdasarkan disiplin ilmu (biologi, fisika, kimia), tingkat studi (riset, rutin, edukasi), jenis operasional (kering, basah), atau peralatan yang digunakan.

Kegunaan laboratorium beradaptasi seiring dengan berkembang pesatnya teknologi yang membutuhkan peralatan canggih yang menjadi beban dalam hal keuangan serta menjadi konsekuensi laboratorium seiring dengan ruang bangunan yang mungkin berubah (Neufert, 1980).

II.7.1. Wet Laboratory

Laboratorium basah adalah laboratorium dimana bahan kimia, obat-obatan, atau materi atau bahan biologis lainnya ditangani dalam larutan cair atau fase volatil, memerlukan ventilasi langsung, dan utilitas pipa khusus (biasanya air dan berbagai gas) (Columbia University Guidelines for Laboratory Design; 2011). Seperti dilihat pada Gambar II. 10 tersedia fasilitas bak/*basin* sebagai penunjang proses riset dengan kategori sampling basah.



Sumber: Schmidt Ocean Institute, 2016

Gambar II. 10 Laboratorium Basah

II.7.2. *Dry Laboratory*

Laboratorium kering adalah laboratorium dimana analisis matematis komputasi atau matematis dilakukan pada model yang dihasilkan komputer untuk mensimulasikan fenomena di alam fisik. Istilah ini juga bisa merujuk ke laboratorium yang menggunakan peralatan elektronik terutama, misalnya laboratorium robotika. Laboratorium kering juga bisa merujuk ke ruang laboratorium untuk penyimpanan bahan kering. Pada Gambar II. 11 menunjukkan penggunaan alat-alat elektronik sebagai penunjang pengolahan data dan operasi riset, terhindar dari kondisi basah/cair.



Sumber: Schimdt Ocean Institute, 2016.

Gambar II. 11 Laboratorium Kering

II.8. Desain Kapal

II.8.1. Tujuan Desain Kapal

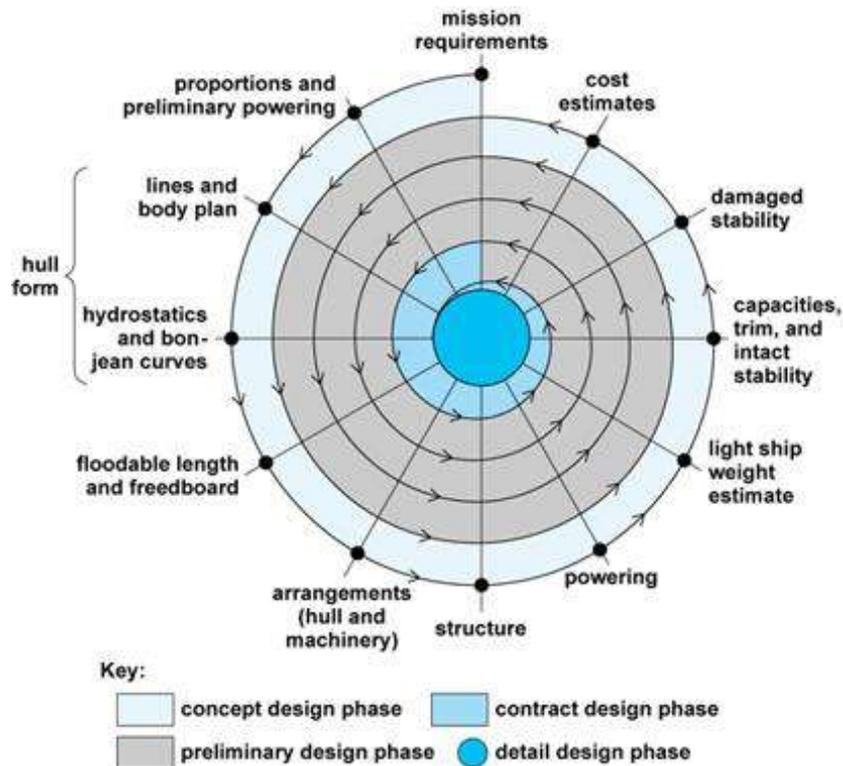
Proses desain pada pembangunan kapal bertujuan untuk mempermudah, memberikan arahan yang jelas sehingga pekerjaan pembangunan kapal dapat berjalan sesuai dengan rencana dan dapat meminimalisir kesalahan dalam proses pembangunan kapal.

Proses desain kapal pun bertujuan agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi seluruh permintaan dari pemilik kapal yang terangkum dalam *owner requirement*. *Owner requirement* merupakan kumpulan dari ketentuan yang berasal dari permintaan pemilik kapal yang akan dijadikan acuan dasar bagi desainer dalam merancang suatu kapal, yang pada umumnya terdiri dari jenis kapal, jenis muatan, kapasitas muatan, kecepatan kapal, dan rute pelayaran.

Selain itu terdapat hal yang perlu diperhatikan terkait batasan-batasan dalam proses mendesain kapal, antara lain:

- Batasan dari pemilik kapal yang harus dipenuhi, seperti *performance* kapal, jenis dan kapasitas muatan, biaya pembangunan, biaya operasional, dan lain-lain.
- Batasan fisik kapal dan persyaratan teknis yang harus dipenuhi, seperti berat dan titik berat, lambung timbul, stabilitas, persyaratan konstruksi, dan lain-lain.
- Batasan wilayah operasional kapal yang dibatasi, seperti kondisi perairan, dan lain-lain.

II.8.2. Tahapan Desain Kapal



Sumber : Access Science, 2011

Gambar II. 12 Design Spiral

Seluruh perencanaan dan analisis dalam proses mendesain kapal dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Proses ini biasa disebut dengan proses desain spiral. Pada Gambar II. 12 desain spiral membagi proses desain ke dalam 4 tahapan besar (Evans, 1959), yaitu:

1. *Concept design*

Tahap awal dalam proses desain dimana tahapan ini memiliki peranan untuk menerjemahkan *owner requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan dasar dari kapal yang akan didesain. 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 ukuran utama kapal, dan gambar secara umum.

2. *Preliminary Design*

Tahap ini merupakan tahapan pendalaman teknis lebih dalam yang akan memberikan lebih banyak detail pada konsep desain. *Preliminary design* ini merupakan iterasi kedua pada

desain spiral. Adapun yang dimaksud detail meliputi fitur-fitur yang memberikan dampak signifikan pada kapal, termasuk juga pendekatan awal biaya yang akan dibutuhkan. Selain itu, proses yang dilakukan pada tahap ini antara lain adalah perhitungan kekuatan memanjang kapal, pengembangan bagian midship kapal, perhitungan yang lebih akurat mengenai berat dan titik berat kapal, sarat, stabilitas, dan lain-lain. Pada tahap ini, dilakukan pemeriksaan yang terkait dengan *performance* kapal.

3. *Contract Design*

Tahap dimana masih dimungkinkannya terjadi perbaikan hasil dari tahap *preliminary design*, sehingga desain yang dihasilkan lebih detail dan teliti. Tujuan utama pada *contract design* adalah pembuatan dokumen yang secara akurat dengan mendeskripsikan kapal yang akan dibuat. Selanjutnya dokumen tersebut akan menjadi dasar dalam kontrak atau perjanjian pembangunan antara pemilik kapal dan pihak galangan kapal. Dalam *contract design* terdapat komponen dari *contract drawing* dan *contract specification* meliputi: *arrangement drawing*, *structural drawing*, *structural details*, *propulsion arrangement*, *machinery selection*, *propeller selection*, *generator selection*, *electrical selection*, dan lain-lain. Seluruh komponen tersebut biasa juga disebut sebagai *key plan drawing*. *Key plan drawing* tersebut harus merepresentasikan secara detail fitur-fitur kapal yang sesuai dengan permintaan pemilik kapal.

4. *Detail Design*

Tahap ini merupakan tahap yang terakhir dalam mendesain sebuah kapal, pada tahap ini dilakukan pekerjaan yang lebih mendetail dari *key plan drawing* menjadi *production drawing* atau gambar produksi yang nantinya akan digunakan sebagai gambar arahan kerja untuk membangun kapal. Tahap ini mencakupi seluruh rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan operasional kapal. Di samping itu pada tahap ini diberikan pula petunjuk mengenai instalasi dan detail konstruksi.

II.8.3. Metode Desain Kapal

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam mendesain kapal. Pemilihan metode desain yang akan digunakan dipilih berdasarkan tujuan dan ketersediaan data dari desain-desain kapal sebelumnya. Adapun macam-macam metode dalam mendesain kapal seperti di bawah ini (Watson, 1998):

1. *Parent Design Approach*

Metode dalam mendesain kapal dengan cara mengambil sebuah kapal yang dijadikan sebagai acuan kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan dirancang. Keuntungan dalam penggunaan metode ini adalah dapat mendesain kapal lebih cepat karena *performance* kapal yang dijadikan acuan telah terbukti.

2. *Trend Curve Approach*

Metode statistik dengan menggunakan persamaan regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan ukuran utama kapal. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding dikomparasi dimana variabel dihubungkan kemudian didapatkan suatu koefisien yang digunakan dalam menentukan ukuran utama kapal.

3. *Iteratif Design Approach*

Metode 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.

4. *Parametric Design Approach*

Metode yang digunakan dalam mendesain kapal dengan parameter seperti panjang kapal, lebar kapal, sarat kapal, koefisien blok, titik gaya apung, dan lain-lain sebagai ukuran utama kapal yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dilakukan perhitungan teknis yang terdapat dalam proses desain kapal.

Dalam proses desain kapal, proses optimisasi dapat dikombinasikan dengan beberapa metode lainnya seperti yang sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Empat metode tersebut antara lain adalah *method of comparison*, *method of statistic*, *trial and error (iritation)* dan metode *method of complex solution*. Pelaksanaan kombinasi antar dua metode atau lebih dalam proses optimisasi akan cenderung melibatkan prinsip dasar rekayasa teknik (*engineering*) dan prinsip ekonomi. Sehingga dalam setiap iterasi yang terjadi, selain pemeriksaan terhadap batasan atau syarat yang ditentukan, juga dilakukan perhitungan-perhitungan teknis dan ekonomis dengan tetap berorientasi pada *objective function* yang mewakili tujuan akhir proses perancangan kapal dengan metode optimisasi.

II.9. Tinjauan Perhitungan Teknis Desain Kapal

II.9.1. Rasio Ukuran Utama dan Koefisien

Dalam proses perhitungan teknis kapal, salah satu komponen yang hampir selalu digunakan adalah ukuran utama kapal. Dalam desain kapal, ukuran utama kapal merupakan komponen yang sangat berpengaruh terhadap perhitungan lainnya, oleh karena itu diperlukan sebuah batasan ukuran utama kapal agar perhitungan teknis dapat sesuai dengan yang dianjurkan. Berikut batasan-batasan terhadap ukuran utama kapal menurut (Parsons, 2001):

- *Length-Beam Ratio (L/B)*

Rasio perbandingan antara panjang dan yang digunakan adalah LPP dibandingkan dengan lebar maksimum kapal. Rasio ini dapat berpengaruh terhadap hambatan kapal dan kemampuan olah gerak kapal. Batasan rasio yang dianjurkan adalah $3,9 < L/B < 15$.

- *Beam-Draft Ratio (B/T)*

Rasio perbandingan antara lebar dan sarat kapal. Rasio ini dapat berpengaruh terhadap stabilitas kapal searah melintang. Batasan rasio yang dianjurkan adalah $1,8 < B/T < 5$.

- *Length-Draft Ratio (L/T)*

Rasio perbandingan antara panjang dan sarat kapal. Rasio ini dapat berpengaruh terhadap kekuatan memanjang kapal. Batasan rasio yang dianjurkan adalah $10 < L/T < 30$.

Nilai ukuran utama didapatkan melalui proses pengecekan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan rasio dan koefisien bentuk kapal. Dalam menentukan perhitungan teknis yang lainnya, selain ukuran utama kapal, terdapat nilai lain yang berperan, yaitu koefisien-koefisien bentuk kapal yang merupakan fungsi dari perbandingan dimensi ukuran utama kapal.

Selain ukuran utama kapal, terdapat komponen lain yang berperan terhadap perhitungan teknis suatu kapal, yaitu koefisien-koefisien yang merupakan fungsi dari dimensi kapal yang dapat berpengaruh terhadap karakteristik hidrostatis kapal. Koefisien-koefisien tersebut adalah:

A. *Froude Number (Fn)*

Merupakan rasio hubungan kecepatan kapal dan panjang kapal. Suatu kapal dikatakan cepat atau tidaknya tergantung besaran nilai dari *Froude Number*. Berikut formula dari nilai Fn pada persamaan (II.1) menurut (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988):

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \times L}} \quad (II.1)$$

B. Block Coefficient (C_B)

Merupakan koefisien perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dalam air dengan volume balok yang melingkupi badan kapal yang tercelup ($L \times B \times T$). Berikut formula dari nilai C_B pada persamaan (II.2) menurut (Parsons, 2001):

$$C_B = -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \quad (\text{II.2})$$

C. Midship Coefficient (C_M)

Merupakan koefisien perbandingan antara luas bidang tengah kapal yang tercelup air dengan luasan segi empat yang melingkupinya ($B \times T$). Berikut formula dari nilai C_M pada persamaan (II.3) menurut (Parsons, 2001):

$$C_M = 1.006 - 0.0056 C_B - 3.56 \quad (\text{II.3})$$

D. Prismatic Coefficient (C_P)

Merupakan koefisien perbandingan antara volume kapal yang tercelup air dengan volume prisma kapal. Berikut formula dari nilai C_P pada persamaan (II.4) menurut (Parsons, 2001):

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} \quad (\text{II.4})$$

E. Waterplane Coefficient (C_{WP})

Merupakan koefisien perbandingan antara luasan bidang permukaan air pada saat kapal muatan penuh dengan luasan persegi pada area permukaan air ($L \times B$). Berikut formula nilai dari C_{WP} pada persamaan (II.5) menurut (Parsons, 2001):

$$C_{WP} = 0.262 + 0.760 C_P \quad (\text{II.5})$$

II.9.2. Hambatan Kapal

Hambatan kapal atau biasa disebut tahanan kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal dari arah yang berlawanan kapal sehingga melawan gerakan kapal pada suatu kecepatan. Perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan daya mesin yang dibutuhkan agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diharapkan.

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi dari besaran hambatan kapal, seperti ukuran utama kapal, bentuk badan kapal di bawah garis air, dan kecepatan kapal yang dibutuhkan. Menurut (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988), untuk menghitung hambatan kapal, digunakan metode Holtrop dan Mennen, serta perhitungan hambatan tambahan untuk kapal riset dari (Daidola J., 2003). Perhitungan yang digunakan dalam menentukan harga hambatan total menggunakan formula pada persamaan (II.6) sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2} \times \rho \times V_S^2 \times S_{Tot} \times (C_F(1 + k) + C_A) + \left(\frac{R_W}{W}\right) \times W \quad (\text{II.6})$$

➤ **Wave-making resistance (R_w)**

Wave-making resistance atau hambatan yang diakibatkan gelombang dapat dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.7) yang mengacu pada buku (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988):

$$\frac{R_W}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times Fn^d} + m_2 \cos(\lambda Fn^{-2}) \quad (\text{II.7})$$

Dikarenakan desain MPRV ini memiliki nilai $Fn < 0,27$ maka perhitungan hambatan gelombang dapat menggunakan *Havelock Formula*. Proses perhitungan hambatan gelombang persamaan (II.7) diselesaikan lengkap menggunakan formula-formula pada persamaan (II.8)-(II.14).

- Koefisien C_1

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{-1.3757} \quad (\text{II.8})$$

Dimana:

$$C_4 = 0.2296 (B/L)^{0.3333} \quad \text{untuk } B/L \leq 0.11$$

$$C_4 = B/L \quad \text{untuk } 0.11 \leq B/L \leq 0.25$$

$$C_4 = 0.5 - 0.0625 L/B \quad \text{untuk } B/L \geq 0.25$$

$$iE = 125.67 (B/L) - 162.25 C_P^2 + 234.32 C_P^3 + 0.1551 (LCB + (6.8 (Ta - Tf)/T))^3 \quad (\text{II.9})$$

- Koefisien C_2

$$C_2 = e^{-1.89 \frac{A_{BT} \times r_B}{B \times T (r_B + i)}} \quad (\text{II.10})$$

- Koefisien C_3

$$C_3 = 1 - \frac{0.8 A_T}{B \times T \times C_M} \quad (\text{II.11})$$

- Koefisien m_1

$$m_1 = 0.01404 (L/T) - 1.7525 \left(V^{\frac{1}{3}}/L\right) - 4.7932 (B/L) - C_5 \quad (\text{II.12})$$

Dimana:

$$C_5 = 8.0798 C_P - 13.8678 C_P^2 + 6.9844 C_P^3 \quad \text{untuk } C_P \leq 0.8$$

$$C_5 = 1.7301 - 0.7067 C_P \quad \text{untuk } C_P \geq 0.8$$

- Koefisien m_2

$$m_2 = C_6 \times 0.4 e^{-0.034 \times Fn^{-3.29}} \quad (\text{II.13})$$

Dimana:

$$C_6 = -1.69385 \quad \text{untuk } L^3/V \leq 512$$

$$C_6 = 1.69385 + (L/V^{1/3} - 8.0)/2.36 \quad \text{untuk } 512 \leq L^3/V \leq 1727$$

$$C_6 = 0 \quad \text{untuk } L^3/V \geq 1727$$

- Koefisien λ

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad \text{untuk } L/B \leq 12$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.36 \quad \text{untuk } L/B \geq 12$$

- Gaya berat (W)

$$W = \rho \times g \times V \quad \text{(II.14)}$$

➤ **Form factor of bare hull (1+k)**

Form of factor of bare hull adalah faktor pengaruh dari bentuk lambung kapal. Di dalam faktor ini meliputi faktor dari bentuk lambung itu sendiri dan faktor penambahan bentuk lambung lainnya seperti tonjolan-tonjolan pada lambung (*rudder, bilge keels*, dan lain-lain). Berikut merupakan faktor pengaruh dari bentuk lambung kapal yang dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.15)-(II.17) mengacu dari (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988). Melalui Tabel II. 3 yang menjelaskan nilai harga C_{stern} dan

Tabel II. 4 yang menjelaskan harga $(1 + k_2)$:

$$(1 + k) = (1 + k_1) + [(1 + k_2) - (1 + k_1)] \times \frac{S_{App}}{S_{Tot}} \quad \text{(II.15)}$$

- Faktor $1+k_1$

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.4871 c \left(\frac{B}{L}\right)^{1.0681} \left(\frac{T}{L}\right)^{0.4611} \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.1216} \left(\frac{L^3}{V}\right)^{0.3469} (1 - C_p)^{-0.6042} \quad \text{(II.16)}$$

Dimana:

$$c = 1 + 0.011 C_{stern}$$

Tabel II. 3 Harga C_{stern}

Harga C_{stern}	Tipe Bentuk Bagian Belakang
-25	Berbentuk gondola
-10	Berbentuk V
0	Berbentuk normal
10	Berbentuk U

Sumber: (Lewis E. V., Principal Of Naval Architecture Volume II, 1998)

$$1 + k_2 = \frac{\sum (S_i \times (1+k_2))}{\sum S_i} \quad \text{(II.17)}$$

Tabel II. 4 Harga $1+k_2$

Harga 1+k ₂	Tipe Penambahan Permukaan
1.3 - 1.5	<i>Rudder of single screw ship</i>
2.8	<i>Spade type rudders of twin screw ships</i>
1.5 - 2	<i>Skeg-rudders of twin-screw ships</i>
3.0	<i>Shaft Brackets</i>
2.0	<i>Bossings</i>
1.4	<i>Bilge keels</i>
2.8	<i>Stabilizer fins</i>
2.0	<i>Shafts</i>
2.7	<i>Sonar dome</i>

➤ **Total Luas Permukaan Basah (S_{tot})**

Perhitungan luas permukaan basah dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.18) dan (II.19) mengacu dari (Lewis,1988):

$$S_{Tot} = S + S_{App} \quad (II. 18)$$

$$S = L (2T + B) C_M^{0.5} \times (0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2863 C_M - 0.003467 \left(\frac{B}{T}\right) + 0.3696 C_{WP} + 2.38 \left(\frac{A_T}{C_B}\right) \quad (II. 19)$$

➤ **Friction coefficient (C_F)**

Friction coefficient adalah koefisien dari hambatan gesek antara air dan badan kapal yang dianggap sebagai pelat datar. Berikut merupakan *friction coefficient* yang dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.20) mengacu dari (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988):

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Rf - 2)^2} \quad (II.20)$$

Dimana,

$$vs = 1,1883 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

➤ **Correlation Allowance (C_A)**

Menurut (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988), *correlation allowance* merupakan faktor penambahan terhadap nilai hambatan kapal yang disebabkan oleh adanya efek kekasaran pada lambung selama kapal mendapatkan hambatan kapal. Formula

dalam menentukan harga C_A dapat dilihat pada persamaan (II.21) dan (II.22) dan dirangkum pada Tabel II.5:

1. Untuk keadaan $T_F / L_{WL} > 0.04$ digunakan perhitungan:

$$C_A = 0.006 (LWL + 100)^{0.16} - 0.00205 \quad (II.21)$$

2. Untuk keadaan $T_F / L_{WL} < 0.04$ digunakan perhitungan:

$$C_A = 0.006 (LWL + 100)^{0.16} - 0.00205 + 0.003 \left(\frac{LWL}{7.5}\right)^{0.5} C_B^4 C_2 \left(0.04 - \frac{TF}{LWL}\right) \quad (II.22)$$

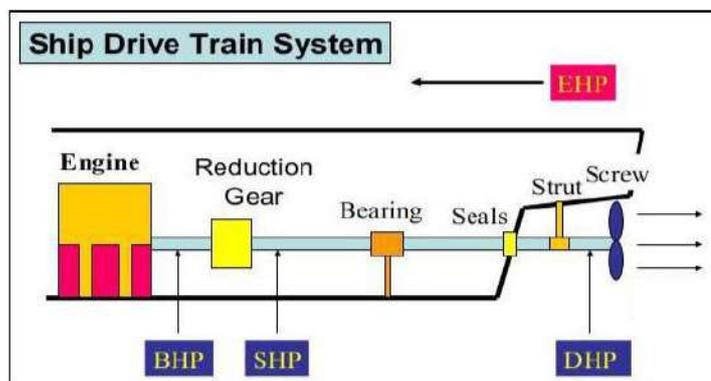
Tabel II. 5 Perhitungan Nilai Hambatan Tambahan

Komponen	Nilai
T/L _{WL}	0,03934
C _A	0,00052

II.9.3. Kebutuhan Daya Penggerak Kapal

Untuk menggerakkan suatu kapal dibutuhkan sebuah sistem penggerak yang dapat membuat kapal bergerak maju. Macam dari sistem penggerak kapal sangatlah bervariasi, baik itu sistem penggerak dengan bantuan mesin maupun tanpa bantuan mesin, namun sampai saat ini sistem penggerak dengan bantuan mesin masih dinilai sebagai sistem yang paling efisien dalam mengoperasikan kapal-kapal niaga.

Agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan maka perlu untuk disesuaikan dengan kapasitas dan daya dari mesin penggerak utama (*main engine*). Prinsip dari perhitungan propulsi ini adalah mencari gaya yang diperlukan oleh kapal untuk melawan hambatan kapal sehingga kapal dapat melaju sesuai kecepatan yang diinginkan. Secara garis besar perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal dapat dibagi menjadi beberapa komponen daya seperti pada Gambar II. 13 di bawah ini:



Gambar II. 13 Skema pembagian daya penggerak kapal

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar II. 13 di atas kebutuhan daya mesin penggerak utama (*Break Horse Power*) dapat dicari setelah melakukan perhitungan komponen daya yang ada sebelumnya secara beruntun. Berikut penjabaran dari masing-masing komponen daya menurut (Lewis E. V., *Principles of Naval Architecture Volume II*, 1988):

1. *Effective Horse Power (EHP)*

EHP merupakan daya yang dibutuhkan untuk melawan hambatan yang terjadi pada kapal sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Persamaan (II.23) menjelaskan formula perhitungan untuk menentukan harga EHP:

$$EHP = RT \times V_s \quad (II.23)$$

2. *Delivery Horse Power (DHP)*

DHP merupakan daya yang sampai di baling-baling (*propeller*). Terdapat penambahan daya yang dibutuhkan yang diakibatkan oleh adanya pengurangan dari efisiensi lambung, efisiensi relatif-rotatif, dan *open water efficiency*. Adapun perhitungan yang digunakan dalam menentukan harga DHP seperti formula pada persamaan (II.24) berikut:

$$DHP = EHP / \eta_D \quad (II.24)$$

Dimana:

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_O$$

$$\eta_H = (1 - t) / (1 - w)$$

$$w = 2 \times C_B^5 (1 - C_B) + 0.04$$

$$t = 0.70 w + 0.06$$

$$\eta_R = 0.9737 + 0.111 (C_P - 0.0225 LCB) + \left(-0.06325 \frac{P}{D} \right)$$

3. *Shaft Horse Power (SHP)*

SHP merupakan daya yang dibutuhkan setelah melewati *stern tube* dan *bearing*. Terdapat pengurangan daya akibat adanya penurunan efisiensi *stern tube* dan *bearing*. Adapun perhitungan yang digunakan untuk menentukan besaran daya SHP menggunakan formula pada persamaan (II.25):

$$SHP = DHP / \eta_S \eta_B \quad (II.25)$$

Dimana:

$$\eta_S \eta_B = 0.98, \text{ untuk peletakan } main \text{ engine di bagian belakang kapal}$$

$$\eta_S \eta_B = 0.97, \text{ untuk peletakan } main \text{ engine di bagian tengah kapal}$$

4. Break Horse Power (BHP)

BHP merupakan daya yang dibutuhkan oleh mesin penggerak utama yang telah melewati sistem transmisi. Daya BHP yang dibutuhkan lebih besar dari SHP akibat adanya pengurangan daya yang diakibatkan pengurangan efisiensi transmisi. Untuk mendapatkan harga BHP dapat ditentukan dengan menggunakan formula perhitungan pada persamaan (II.26):

$$BHP = SHP / \eta_T \quad (II.26)$$

Dimana:

$$\eta_T = \Sigma (1 - li)$$

Tabel II. 6 Harga li

Harga li	Tipe Penggunaan Komponen Sistem Penggerak
0.010	<i>Reduction gear</i>
0.005	<i>Thrust bearing</i>
0.010	<i>Reversing gear</i>

5. Break Horse Power Maximum Continuous Rating (BHP_{MCR})

MCR merupakan margin pada kebutuhan daya mesin penggerak utama (BHP) yang disebabkan oleh penambahan adanya *power design margin* yang merupakan margin penambahan akibat perencanaan kebutuhan daya mesin yang masih banyak menggunakan pendekatan, dan *power service margin* mengingat mesin akan mengalami penurunan performa seiring waktu penggunaannya. MCR juga digunakan sebagai daya yang digunakan dalam pemilihan *main engine*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan formula pada persamaan (II.7) berikut:

$$MCR = BHP(1 + M_D)/(1 - M_S) \quad (II.27)$$

Dimana:

$$M_D = 3 - 5 \%$$

$$M_S = 15 - 25 \%$$

II.9.4. Berat dan Titik Berat Kapal

Desain kapal yang direncanakan harus mampu membuat kapal stabil, mengapung, serta memiliki nilai *buoyancy* yang cukup. Kondisi yang diinginkan tersebut harus dilihat dari aspek keseimbangan kapal, dikarenakan keseimbangan kapal merupakan salah satu aspek yang cukup

penting. Pada dasarnya keseimbangan kapal dipengaruhi oleh kondisi pembebanan kapal yang meliputi nilai berat dan titik berat.

Perencanaan dari berat dan titik berat kapal dapat mempengaruhi pada perhitungan dan batasan teknis lainnya seperti stabilitas, trim, perhitungan kekuatan memanjang, dan yang lainnya. Pada umumnya, perhitungan berat pada kapal dapat dibagi menjadi dua komponen besar yaitu *lightweight tonnage* (LWT) dan *deadweight tonnage* (DWT) (Schneekluth & Betram, 1998):

1. Berat *Lightweight Tonnage* (LWT)

LWT digolongkan menjadi beberapa bagian, yaitu:

a. Berat Komponen Baja Kapal

Merupakan seluruh berat dari komponen baja meliputi berat baja kapal di bawah geladak utama, berat dari bangunan atas dan rumah geladak.

i. Berat Baja Di Bawah Geladak Utama

Merupakan berat baja kapal di bawah geladak utama meliputi berat kulit lambung dan konstruksi lambung. Dapat dihitung dengan formula berat baja pada persamaan (II.28):

$$W_{HS} = Vu \times C_{ST} \times [1 + 2(L - 120)^2 \times 10^{-6}] \times \left[1 + 0.057 \left(\frac{L}{H} - 12\right)\right] \times \left[\frac{30}{H+14}\right]^{0.5} \times [1 + 0.1 \left(\frac{B}{H} - 2.1\right)^2] \times \left[1 + 0.2 \left(\frac{T}{H} - 0.85\right)\right] \times [0.92 + (1 - C_{BD})^2] \quad (\text{II.28})$$

Dimana:

$$C_{ST} = 0.090 \sim 0.100$$

$$C_{BD} = C_B + C_1 (H - T)/T (1 - C_B)$$

$$C_1 = 0.25 \quad \text{untuk kapal dengan } \textit{little frame flare}$$

$$C_1 = 0.4 - 0.7 \quad \text{untuk kapal dengan } \textit{marked frame flare}$$

ii. Berat Bangunan Atas dan Rumah Geladak

Pada dasarnya seluruh bangunan kapal yang berada di atas geladak utama merupakan bagian dari dua komponen yaitu bangunan atas (*superstructure*) dan rumah geladak (*deck house*). Dimana *superstructure* meliputi *poop* dan *forecastle*, sementara *deck house* meliputi bangunan di atas *superstructure*. Untuk menghitung berat dari *superstructure* dan *deck house* menurut (Schneekluth & Betram, 1998) dapat digunakan formula pada persamaan (II.29) seperti dirangkum pada Tabel II. 7.

$$W_n = V_n \times C_n \quad (\text{II.29})$$

Tabel II. 7 Harga Koefisien *Superstructure*

Tipe <i>Superstructure</i>	Harga Koefisien Berat Baja <i>Superstructure</i>
Forecastle dengan panjang kapal ≥ 140 m	0.1 ton/m ³
Forecastle dengan panjang kapal ≈ 120 m	0.13 ton/m ³
Poop	0.075 ton/m ³

iii. Berat Koreksi Baja Kapal

Di dalamnya meliputi berat konstruksi sekat, *double bottom*, dan dudukan mesin induk. Seperti dijelaskan pada perhitungan menggunakan persamaan (II.30) dan (II.31).

➤ Berat Konstruksi Sekat

$$W_{BC} = 25\% \times W_{HS} \quad (II.30)$$

➤ Berat *Engine Foundation*

$$W_{EF} = \frac{27 \times BHP}{(n+250) \times (15+BHP/1000)} \quad (II.31)$$

b. Berat Komponen Sistem Kapal

Perhitungan berat permesinan dapat dibagikan ke dalam beberapa kelompok, diantaranya:

- Berat *Propulsion units*
- Berat *Electrical units*
- Berat *Other units*
- *Special weight*

i. Berat Sistem Propulsi

➤ Berat Mesin Utama (*Main Engine*)

Berat mesin utama yang disesuaikan dan diketahui dari di katalog mesin.

➤ Berat *Gear Box*

Berat gear box dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.32):

$$W_{GB} = (0.3 \sim 0.4) BHP/n \quad (II.32)$$

➤ Berat Baling-Baling

Berat baling-baling dihitung menggunakan formula perhitungan pada persamaan (II.33):

$$W_{Prop} = D^3 \times K \quad (II.33)$$

$$K = (ds/D) \times (1.85 A_E/A_O - (Z - 2)/100)$$

$$ds = 11.5 (DHP/n)^{1/3}$$

➤ Berat Poros Baling-Baling

Berat poros baling-baling dihitung menggunakan formula perhitungan pada persamaan (II.34):

$$M = M/Ls \times Ls \quad (II.34)$$

Dimana:

$$Ls = 0.081 (DHP/n)^{2/3}$$

ii. Berat Sistem Kelistrikan

Berat sistem kelistrikan dapat dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.35):

$$W_E = 0.001 \times BHP \times (15 + 0.014 \times BHP) \quad (II.35)$$

iii. Berat Sistem Permesinan Lainnya

Berat sistem permesinan lain nya dapat dihitung menggunakan formula perhitungan pada persamaan (II.36):

$$W_{MO} = (0.04 \sim 0.07) \times BHP \quad (II.36)$$

c. Berat Peralatan dan Perlengkapan

Berat peralatan dan perlengkapan (*equipment and outfitting/E&O*) menurut (Schneekluth & Betram, 1998) secara garis besar dibagi menjadi 4 kelompok (*group*), yaitu:

i. Group I, untuk berat dari penutup palkah ruang muat (*hatch cover*)

ii. Group II, untuk berat peralatan bongkar muat (*cargo handling / access equipment*)

iii. Group III, untuk berat peralatan dan perlengkapan di ruang akomodasi (*living quarter*) yang dihitung menggunakan formula pada persamaan (II.37)

$$W_{III} = Vn \times C_{III} \quad (II.37)$$

Dimana:

$C_{III} = 160 \sim 170 \text{ kg/m}^2$ fungsi luasan tipe kapal kargo berukuran kecil dan sedang

$= 60 \sim 70 \text{ kg/m}^3$ fungsi volume tipe kapal kargo berukuran kecil dan sedang

$= 180 \sim 200 \text{ kg/m}^2$ fungsi luasan tipe kapal kargo dan tanker berukuran besar

$= 80 \sim 90 \text{ kg/m}^3$ fungsi volume tipe kapal kargo dan tanker berukuran besar

iv. Group IV, untuk peralatan dan perlengkapan lainnya dijelaskan pada perhitungan menggunakan formula pada persamaan (II.38):

$$W_{IV} = (L \times B \times H)^{2/3} \times C_{IV} \quad (\text{II.38})$$

Dimana:

$$C_{IV} = 0.18 \sim 0.26 \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

2. Berat *Deadweight Tonnage* (DWT)

Untuk DWT terdiri atas beberapa komponen, meliputi berat muatan (*payload*), bahan bakar, berat minyak pelumas, berat air tawar, berat *provision*, berat orang (*crew* dan penumpang), dan berat barang bawaan. Perhitungan DWT ini dilakukan untuk satu kali perjalanan *round trip* dan berikut penjabaran perhitungan DWT menggunakan formula perhitungan pada persamaan (II.39)-(II.44) menurut (Schneekluth & Betram, 1998).

a. Berat Muatan (*Payload*)

Merupakan berat total dari muatan yang dibawa di atas kapal. Besaran *payload* sudah ditentukan oleh pemilik kapal yang sudah terangkum dalam *owner requirement* dan juga menjadi landasan dasar bagi desainer untuk merancang kapal.

b. Berat *Crew dan Consumables*

$$W_{C\&E} = C_{C\&E} \times n_{Crew} \quad (\text{ton}) \quad (\text{II.39})$$

Dimana:

$$C_{C\&E} = 0.17$$

c. Berat Air Tawar (*Fresh Water*)

$$W_{FW} = C_{FW} \times n_{Crew} \quad (\text{ton/hari}) \quad (\text{II.40})$$

Dimana:

$$C_{FW} = 0.17$$

d. Berat *Provision and Store*

$$W_{PR} = C_{PR} \times n_{Crew} \quad (\text{ton/hari}) \quad (\text{II.41})$$

Dimana:

$$C_{PR} = 0.01$$

e. Berat Bahan Bakar *Marine Diesel Oil* (MDO)

$$W_{Fuel} = SFR \times MCR \times (R/Vs) \times Margin \quad (\text{ton}) \quad (\text{II.42})$$

Dimana:

$$Margin = 10\%$$

f. Berat Bahan Bakar *Fuel Gas* (LNG)

$$W_{FG} = SFR \times MCR \times (R/Vs) \times Margin \quad (\text{ton}) \quad (\text{II.43})$$

Dimana:

Margin = 10%

g. Berat *Lubrication Oil* (Minyak Pelumas)

$$W_{LO} = BHP \times \rho_{LO} \times (R/Vs) \times 10^{-6} \times 1.4 \quad (\text{II.44})$$

3. Titik Berat

Titik berat benda adalah suatu titik pada benda tersebut dimana berat dari seluruh bagian benda terpusat pada titik tersebut. Dasar teori itulah yang dijadikan landasan dalam merancang kapal, dimana perhitungan titik berat gabungan kapal merupakan gabungan dari seluruh komponen benda yang ikut terapung bersama kapal. Dalam perhitungan mencari titik berat terdapat dua jenis pendekatan, yaitu pendekatan dengan formula yang didapat dari hasil penelitian dan pengujian, serta pendekatan terhadap bentuk-bentuk bidang dan ruang seperti persegi, persegi panjang, segi tiga, lingkaran, trapesium, dan lain-lain.

Untuk perhitungan jarak titik berat kapal dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu jarak titik berat secara memanjang (*longitudinal center of gravity / LCG*) untuk mengetahui dimana letak titik berat secara memanjang, yang pada umumnya menjadikan titik AP, *midship*, atau FP sebagai titik acuannya, dan jarak titik berat secara vertikal (*vertical center of gravity / VCG*) guna mengetahui letak titik berat secara vertikal, yang pada umumnya menjadikan dasar lunas (*keel*) sebagai titik acuan untuk mengukur VCG. Adapun formula yang digunakan untuk mencari letak titik berat gabungan, dijelaskan seperti tertera pada persamaan (II.45) dan (II.46):

$$LCG_{Tot} = \frac{(LCG_1 \times W_1) + (LCG_2 \times W_2) + (LCG_3 \times W_3) + \dots + (LCG_n \times W_n)}{(W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n)} \quad (\text{II.45})$$

$$VCG_{Tot} = \frac{(VCG_1 \times W_1) + (VCG_2 \times W_2) + (VCG_3 \times W_3) + \dots + (VCG_n \times W_n)}{(W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n)} \quad (\text{II.46})$$

4. Batasan Berat dan Titik Berat

Kapal diharapkan dapat berlayar dengan kondisi ideal dari aspek berat dan titik beratnya, karena hal ini dapat berdampak pada aspek lainnya seperti lambung timbul, trim, dan stabilitas. Kondisi ideal yang dimaksud adalah kondisi dimana kapal tidak mengalami trim atau biasa disebut dengan istilah *even keel*. Adapun koreksi yang digunakan dalam mengkategorikan apakah kapal dalam kondisi *even keel* atau tidak, yaitu koreksi displasemen dan koreksi titik berat, dimana keduanya menggunakan aspek gaya apung (*bouyancy / B*) dan gaya berat (*gravity / G*) serta titik apung (*longitudinal center of bouyancy / LCB*) dan titik berat secara memanjang (*longitudinal center of gravity / LCG*).

- Koreksi Displasemen

Merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara gaya apung dan gaya berat. Adapun batasan maksimum dari harga selisih antara gaya apung dan gaya berat sebesar 5 % dari harga gaya apung pada persamaan (II.47).

$$\frac{B-G}{B} \times 100 \% \leq 10 \% \quad (\text{II.47})$$

- Koreksi Titik Berat

Koreksi titik berat merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara jarak titik apung dan jarak titik berat. Untuk batasan maksimum dari harga selisih antara jarak titik apung dan jarak titik berat sebesar 1 % dari harga panjang garis air seperti pada persamaan (II.48).

$$\frac{LCB-LCG}{LWL} \times 100 \% \leq 1 \% \quad (\text{II.48})$$

II.9.5. Lambung Timbul Kapal (*Freeboard*)

Freeboard adalah hasil pengurangan tinggi kapal dengan sarat kapal dimana tinggi kapal termasuk tebal kulit dan lapisan kayu jika ada, sedangkan sarat T diukur pada sarat musim panas. Besarnya *freeboard* adalah panjang yang diukur sebesar 96% panjang garis air (LWL) pada 85% tinggi kapal *moulded*.

Untuk memilih panjang *freeboard*, pilih yang terpanjang antara Lpp dan 96% LWL pada 85% Hm. Lebar *freeboard* adalah lebar *moulded* kapal pada *midship*. Dan tinggi *freeboard* adalah tinggi yang diukur pada *midship* dari bagian atas *keel* sampai pada bagian atas *freeboard deck beam* pada sisi kapal ditambah dengan tebal pelat *stringer* (senta) bila geladak tanpa penutup kayu. Adapun langkah untuk menghitung *freeboard* berdasarkan *Load Lines 1966 and Protocol of 1988* diselesaikan menggunakan formula-formula perhitungan lambung timbul pada persamaan (II.49)-(II.53).

a. Tipe kapal

Tipe A : kapal dengan persyaratan salah satu dari :

1. Kapal yang didesain memuat muatan cair dalam curah.
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.

- Kapal tipe A: tanker, LNG carrier
- Kapal tipe B: kapal yang tidak memenuhi persyaratan pada kapal tipe A.
- Kapal tipe B: *Grain carrier, ore carrier, general cargo, passenger ships*

Contoh jenis kapal yang termasuk pada tipe A adalah *Tanker* dan *LNG Carrier*. Sedangkan kapal tipe B adalah kapal yang tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A. Menentukan besar tinggi minimum *freeboard* yang sudah ditentukan dalam tabel *freeboard* sesuai tipe kapal yang berdasarkan fungsi panjang kapal (F_1).

Apabila ukuran panjang kapal tidak tersedia, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai F_1 . Untuk kapal dengan panjang antara 24 - 100 meter dilakukan koreksi penambahan tinggi *freeboard* (F_2) dengan formula pada persamaan (II.49) dan (II.50):

$$\square F_2 = 7.5 (100 - L)(0.35 - E/L) \quad (\text{mm}) \quad (\text{II.49})$$

atau,

$$\square F_2 = 0.09 (328 - L)(0.35 - E/L) \quad (\text{inches}) \quad (\text{II.50})$$

Dimana:

L = Panjang kapal dalam satuan *feet* (ft)

E = Panjang efektif dari *superstructure* (m)

Dilakukan koreksi penambahan koefisien blok (C_B), apabila kapal memiliki harga C_B lebih dari 0.68 (F_3), dengan formula pada persamaan (II.51):

$$\square F_3 = (C_B + 0.68)/1.36 \quad (\text{mm}) \quad (\text{II.51})$$

Kapal dengan ukuran tinggi lebih dari $L/15$ maka dilakukan koreksi penambahan tinggi (F_4), dengan formula pada persamaan (II.52):

$$\square F_4 = (D - L/15) R \quad (\text{mm}) \quad (\text{II.52})$$

Dimana:

R = $L/0.48$ untuk kapal dengan $L < 120$ m

R = 250 untuk kapal dengan $L > 120$ m

Perhitungan *freeboard* sebenarnya pada kapal dapat menggunakan formula pada persamaan (II.53):

$$Fb_{\text{Actual}} = H - T \quad (\text{II.53})$$

b. *Freeboard standard*

Yaitu *freeboard* yang tertera pada Tabel *standard freeboard* sesuai dengan tipe kapal.

c. Koreksi

Koreksi pengurangan tinggi *freeboard* dapat dilakukan berdasarkan fungsi panjang efektif *superstructure* (F_5) pada Tabel II. 8 dengan ketentuan-ketentuan di bawah ini:

- Koreksi untuk kapal yang panjang kurang dari 100 m
- koreksi blok koefisien (C_b)
- Koreksi tinggi kapal
- Tinggi standart bangunan atas dan koreksi bangunan atas
- Koreksi bangunan atas

Tabel II. 8 Harga Koreksi F_5 Untuk Kapal Tipe B

Panjang Efektif <i>Superstructure</i>	Kapal Tanpa <i>Detached Bridge</i>	Kapal Dengan <i>Detached Bridge</i>
0.0 L	0	0
0.1 L	5	6.3
0.2 L	10	12.7
0.3 L	15	19
0.4 L	23.5	27.5
0.5 L	32	36
0.6 L	46	46
0.7 L	63	63
0.8 L	75.3	75.3
0.9 L	87.7	87.7
1.0 L	100	100

II.9.6. Stabilitas Kapal

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat.

Komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM. Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ). 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

Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain:

1. Titik K (*keel*) yaitu titik terendah kapal yang umumnya terletak pada lunas.
2. Titik B (*bouyancy*) yaitu titik tekan ke atas dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup di dalam air.
3. Titik G (*gravity*) yaitu titik tekan ke bawah yang merupakan titik pusat dari berat kapal.
4. Titik M (*metacentre*) yaitu titik perpotongan antara vektor gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan vektor gaya tekan ke atas pada sudut oleng.

Keseimbangan statis suatu benda dibedakan atas tiga macam, yaitu:

1. Keseimbangan stabil, kondisi dimana letak titik G berada di bawah titik M.
2. Keseimbangan labil, kondisi dimana letak titik G berada di atas titik M.
3. Keseimbangan *indeferent*, kondisi dimana letak titik berat G berimpit dengan titik M.

Terdapat beberapa metode dalam menentukan besaran kapal. Untuk metode yang digunakan untuk desain MPRV ini sesuai dengan metode yang dijelaskan oleh (Manning) yang mempertimbangkan besar lengan pengembali GZ. Untuk perhitungan GZ dapat didapatkan menggunakan persamaan (II.54) berikut:

$$GZ = GG' \sin \phi + b_1 \sin 2\phi + b_2 \sin 4\phi + b_3 \sin 6\phi \quad (\text{II.54})$$

Dimana:

Φ = sudut inklinasi

$$GG' = KG' - KG$$

$$b_1 = \frac{9 \times (G'B_{90} - G'B_0)}{8} - \frac{G'M_0 - G'M_{90}}{32}$$

$$b_2 = \frac{G'M_0 + G'M_{90}}{8}$$

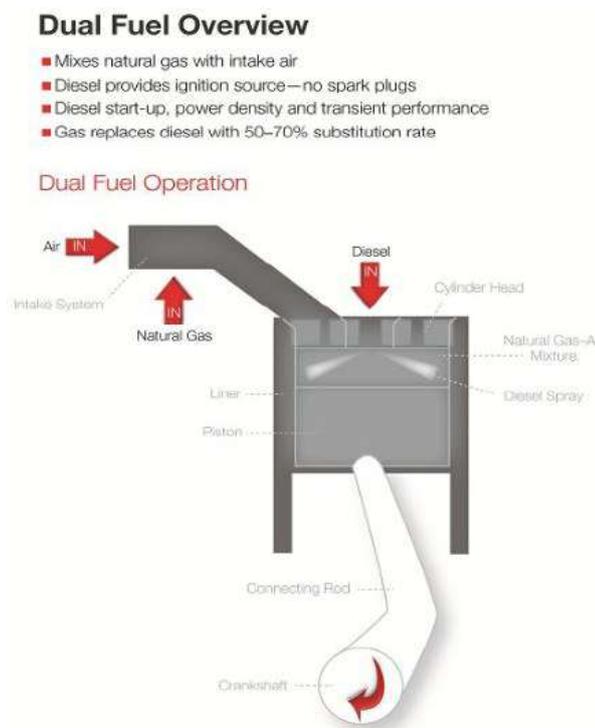
$$b_3 = \frac{3 \times G'M_0 - G'M_{90}}{32} - \frac{3 \times (G'B_{90} - G'B_0)}{8}$$

Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut telah memenuhi kriteria stabilitas yang diatur pada (Intact Stability Code, 1974). Kriteria persyaratan dalam perhitungan stabilitas kapal yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Ketika lengan pengembali GZ terjadi pada sudut oleng 15° , luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $0^\circ - 15^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,070 m.rad atau 4.010 m.deg, dan ketika lengan pengembali GZ pada sudut oleng $> 30^\circ$, luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $0^\circ - 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,055 m.rad atau 3,151 m.deg.
2. Ketika lengan pengembali GZ berada pada sudut oleng $15^\circ < GZ \leq 30^\circ$, Luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $15^\circ - 30^\circ$ tidak boleh kurang dari $0.055 + 0.001(30 - \theta_{\max})$ m.rad.
3. Luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $30^\circ - 40^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,030 m.rad atau 1,719 m.deg.
4. Lengan pengembali GZ pada sudut oleng $\geq 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.200 m.
5. Lengan pengembali (*GZ curve*) maksimum terjadi pada kondisi oleng sebaiknya tidak boleh kurang dari 15° .
6. Tinggi titik metacenter awal (G_{Mo}) tidak boleh kurang dari 0.15 m.
7. Luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $0^\circ - 40^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,090 m.rad 5,157 m.deg.

II.10. Sistem Permesinan *Dual Fuel*

Dual Fuel System LNG-MDO adalah sistem bahan bakar yang menggunakan dua jenis bahan bakar sekaligus di dalam bekerjanya motor penggerak yaitu LNG-MDO melalui sedikit modifikasi mixer mesin pada intake manifold. LNG bercampur dengan udara di mixer lalu masuk ke dalam silinder motor penggerak, kemudian dikompresi di ruang bakar motor penggerak untuk selanjutnya terbakar bersama MDO. Cara kerja mesin *dual fuel* dalam operasinya dapat dilihat pada Gambar II. 14 di bawah ini.



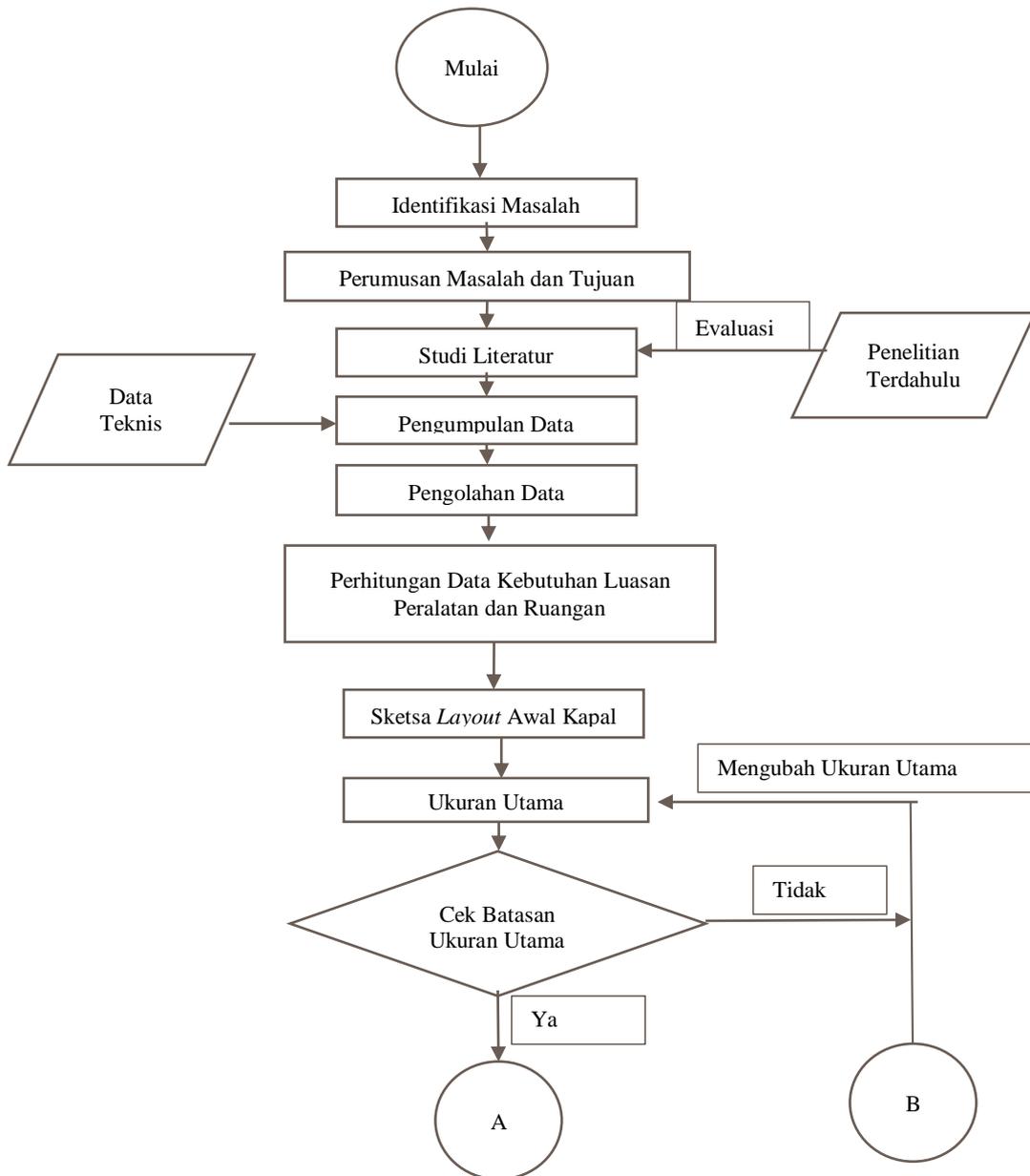
Gambar II. 14 Proses operasi mesin *dual fuel*

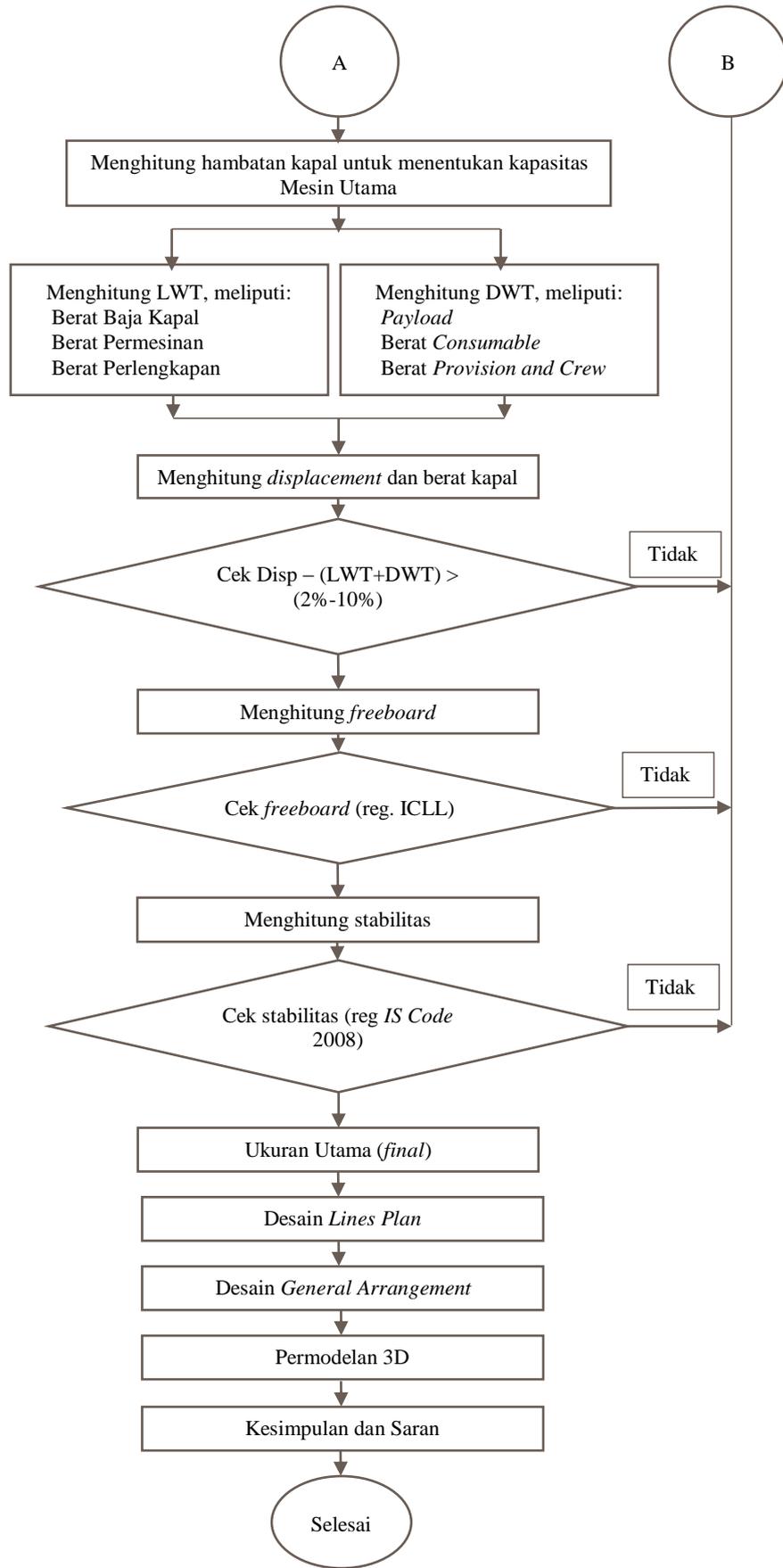
Pada proses pembakaran, sebagian besar bahan bakar yang terbakar adalah gas alam dan bahan bakar solar yang memiliki fungsi sebagai *pilot fuel* atau pemantik saat dimulainya proses pembakaran. Setelah mengetahui proses pembakaran yang terjadi, berikut merupakan serangkaian proses *dual fuel system* pada MPRV:

- MPRV mengangkut dua jenis bahan bakar yaitu LNG dan MDO. Muatan *LNG* yang dibawa akan menghasilkan *boil-off gas (BOG)* yang akan menguap di dalam tangki muatan pada suhu dan tekanan tertentu untuk menjaga *natural gas* tetap cair. *BOG* ini akan mengganggu kestabilan suhu dan tekanan pada tangki muatan, sehingga *BOG* ini akan dialirkan ke dalam tangki bahan bakar *LNG (LNGPac©)* untuk menjaga kestabilan tekanan dan suhu pada tangki muatan serta menambah *supply* dari bahan bakar *LNG* itu sendiri.
- Dari tangki bahan bakar *LNG*, kemudian 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© 8L20DF). *GVU* ini berfungsi menjaga densitas BBG itu sendiri. *GVU* yang digunakan merupakan produk dari Wartsila.
- Pada mesin penggerak utama (Wartsila 8L20DF) terjadi pembakaran BBG dan BBM sehingga mesin dapat bergerak memutar poros dan *propeller*. (Julianto, 2017)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan dari metodologi penelitian yang digunakan seperti yang digambarkan pada diagram alir pada Gambar III. 1





Gambar III. 1 Diagram Alir Pengerjaan

III.1. Tahapan Identifikasi Masalah

Pada tahapan ini dilakukan identifikasi masalah berupa:

- a. Minimnya fasilitas kapal riset.
- b. Kebutuhan riset kelautan untuk perkembangan keilmuan/bahan penelitian.
- c. Solusi untuk membangun kapal dengan berbagai kegunaan riset.

III.2. Tahapan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian studi literatur yang berkaitan dengan pembahasan Tugas Akhir ini. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini, studi literatur didapatkan dari buku, jurnal, maupun penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mempunyai topik atau lokasi penelitian yang sama dengan penelitian ini.

III.3. Tahapan Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam tugas ini Metode pengumpulan data dalam Tugas Akhir ini adalah metode pengumpulan data kuantitatif, kualitatif, dan tidak langsung (sekunder). Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengambil data terkait dengan permasalahan dalam tugas ini.

Daftar data mengenai konfigurasi dan peletakan dari peralatan riset yang didapatkan dari pihak-pihak yang berwenang, dapat dikembangkan menjadi acuan dalam penentuan kebutuhan berupa luasan dan berat peralatan riset. Data utama yang digunakan untuk penelitian adalah :

1. Daftar peralatan riset yang digunakan pada Kapal Riset Baruna Jaya VIII;
2. *General Arrangement* dan data desain kapal yang digunakan oleh lembaga-lembaga riset kelautan di Indonesia.

Data diambil berdasarkan wawancara dengan pihak LIPI serta observasi/survey kondisi Kapal Baruna Jaya IV dan VIII.

III.4. Tahapan Pengolahan Data

Data-data yang telah diperoleh, kemudian dilakukan pengolahan data dan sebagai input dalam perhitungan, dalam pengolahan data didapatkan data berupa:

- *Payload*;
- Ukuran utama awal;
- Hambatan kapal dan kebutuhan daya penggerak kapal;

- Pemilihan mesin penggerak kapal;
- Displacement kapal;
- Lambung timbul;
- Stabilitas;
- Trim.

III.5. Tahap Perencanaan

Pada tahap perencanaan akan dilakukan proses desain kapal. Tahapan-tahapan tersebut terdiri dari:

- Desain rencana garis
Pembuatan rencana garis dengan bantuan *software Maxsurf Modeler Advanced*. Kemudian dilakukan penyempurnaan dengan menggunakan bantuan *software Autocad*;
- Desain rencana umum
Setelah rencana garis selesai di desain, tahap berikutnya adalah dibuatnya rencana umum dengan proyeksi tampak samping, atas dan depan, penataan ruangan, peralatan keselamatan, peralatan navigasi, dan lainnya sesuai dengan regulasi-regulasi statutori;
- Desain 3D
Tahap terakhir dari desain adalah pembuatan model 3D yang dibantu dengan *software Maxsurf Modeler Advanced*.

III.6. Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan harus mampu menjawab permasalahan yang ada dalam Tugas Akhir ini berupa jenis kapal riset yang sesuai dengan karakteristik laut Banda, dan ukuran utama optimum didapatkan dari hasil analisis dan perhitungan, serta gambar Rencana Garis dan Rencana Umum. Sedangkan saran yang diberikan berupa masukan untuk penyempurnaan terhadap penelitian ini ke depannya.

BAB IV

ANALISIS TEKNIS

IV.1. Gambaran Umum

Pada bab ini akan menjelaskan tentang analisis perhitungan teknis *Dual Fuel Multi-purpose Research Vessel* yang terdiri dari perhitungan *area of requirement* kapal, analisis terhadap rasio dan koefisien bentuk kapal, analisis hambatan kapal, analisis kebutuhan daya penggerak kapal, analisis pemilihan mesin penggerak kapal, estimasi titik berat, kalkulasi lambung timbul, analisis stabilitas kapal, dan pemeriksaan kondisi trim.

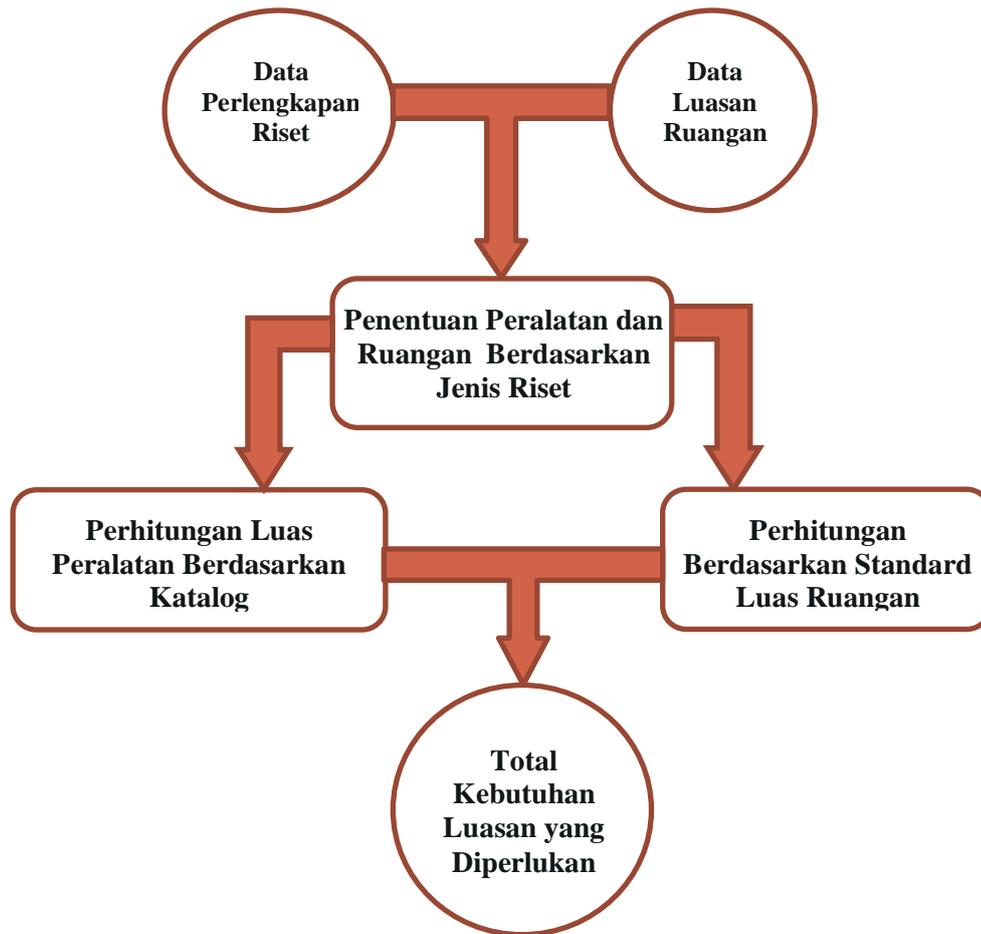
Analisis-analisis pada bab ini dikerjakan berdasarkan acuan-acuan literatur yang berkaitan dengan kapal riset, sehingga dapat menghasilkan analisis yang teruji dan terjamin secara teknis.

IV.2. Analisis Perhitungan Owner Requirements

Kebutuhan ruang peralatan dan ruangan riset menjadi fokus utama dalam mendesain MPRV. Secara umum, seperti kebanyakan kapal, karakter dari kapal riset akan ditentukan dalam arahan dimana kapal mampu memenuhi luasan dek, berat, volume, ketahanan dan kebutuhan kecepatannya. Parameter-parameter lain terhadap bentuk kapal juga dibutuhkan pada tahap desain yang lebih lanjut. (Daidola, 2003)

Beberapa kapal didesain paling baik dengan menghitung volume tertutup (*enclosed volume*) yang dibutuhkan untuk mengakomodasi kebutuhan ruang untuk kru dan aktivitas-aktivitas yang akan dikerjakan. Kapal-kapal ini termasuk: *fish factory ships, offshore safety ships, livestock carriers, oceanographic and fishery research vessels*. (Parsons, 2001)

Setelah terkumpulnya data-data yang dibutuhkan dan ditunjang dengan proses pembelajaran pada literatur-literatur yang mendukung, kemudian dilakukan analisis dan pengolahan data tersebut untuk kemudian diterjemahkan ke dalam bentuk *Design Statement*. *Design Statement* ini meliputi *Owner Requirement* dan batasan-batasan desain.



Gambar IV. 1 Skema Penentuan *Owner Requirement*

Gambar IV. 1 menjelaskan kebutuhan keperluan luasan laboratorium serta peralatan ilmiah dan jumlah ilmuwan yang akan diangkut, alur perhitungan dengan batasan yang dikembangkan melalui penentuan kebutuhan luasan. Perhitungan kebutuhan luasan dilakukan berdasarkan jenis-jenis riset yang akan dikerjakan, sehingga dapat menentukan peralatan dan ruangan apa saja yang akan dibutuhkan dalam operasional riset. (Xylon, 2018)

IV.2.1. Luas Ruang Ilmiah (Laboratorium)

Perhitungan luasan ruangan dilakukan dengan mengambil acuan pada luasan ruangan yang umum digunakan pada kapal riset yang bertujuan untuk memenuhi keperluan ilmuwan/peneliti maupun kebutuhan kelaiklautan serta keselamatan kapal dan Anak Buah Kapal (ABK). Luasan ruangan yang dihitung, dikhususkan pada ruangan-ruangan yang spesifik untuk kebutuhan riset. Dalam hal ini penulis mengambil data langsung ke salah satu kapal riset milik Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sebagai acuan atau gambaran dalam menentukan luas laboratorium dan ruang akomodasi yang akan di desain.

A. Laboratorium Oseanografi

Laboratorium oseanografi digunakan untuk melakukan penelitian yang berhubungan langsung dengan kondisi perairan di laut. Ada tiga jenis penelitian oseanografi yaitu oseanografi fisik, oseanografi kimiawi dan oseanografi biologis. Oseanografi fisik berfokus pada sifat-sifat fisik dan proses dinamika laut, sedangkan oseanografi kimia berfokus pada penelitian kadar garam/salinitas air laut dan kadar kandungan makro seperti nitrat dan silikat, sedangkan oseanografi biologis berfokus pada penelitian organisme yang ada di laut dan hubungannya terhadap sirkulasi laut dan siklus biogeokimia dan elemen-elemen organisme di laut.



Gambar IV. 2 Laboratorium Oseanografi

Pada Gambar IV. 2 menunjukkan laboratorium oseanografi yang ada pada Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Dimensi atau ukuran laboratorium tersebut adalah 7 m x 5.6 m.

B. Laboratorium Basah (*Wet Lab*)

Laboratorium basah adalah laboratorium dimana bahan kimia, obat-obatan, atau materi atau bahan biologis lainnya ditangani dalam larutan cair atau fase volatil, memerlukan ventilasi langsung, dan utilitas pipa khusus (biasanya air dan berbagai gas).



Sumber: Schmidt Ocean Institute, 2016

Gambar IV. 3 Laboratorium Basah (*Wet Lab*)

Pada Gambar IV. 3 menunjukkan laboratorium basah yang ada pada Kapal Riset Baruna Jaya VIII, pada gambar terlihat bak/*basin* sebagai penunjang proses penelitian sampling basah seperti *water sample*.

C. Dek Area Kerja (*Work Area Deck*)

Dek kerja sangat penting pada sebuah kapal riset karena sebagian besar kegiatan penelitian di mulai pada area ini, pada dek ini biasanya dipasang peralatan penelitian untuk menunjang kegiatan penelitian seperti *lifting frame*, *crane*, dan *winch*. Dek area kerja yang cukup akan mendukung kegiatan penelitian berlangsung dengan optimal.



Gambar IV. 4 *Work Area Deck*

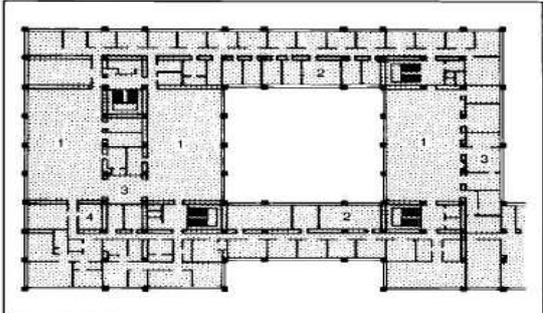
Pada Gambar IV. 4 menunjukkan *work area deck* pada Kapal Riset Baruna Jaya VIII, pada gambar terlihat beberapa peralatan penelitian yang digunakan untuk menunjang proses/kegiatan penelitian. Ukuran atau dimensi area dek kerja tersebut adalah 11 m x 12.5 m.

Luas laboratorium mengacu kepada buku *Architect's Data* seperti dijelaskan pada Gambar IV. 5 mengenai tipikal ukuran laboratorium yang dibutuhkan sesuai dengan rencana keperluan riset yang difokuskan. Fungsi ruang yang digunakan adalah dengan melakukan perbandingan kebutuhan luasan peralatan laboratorium dan kebutuhan ruang kerja manusia.

2 a b anthropometric data governing bench spacing for both teaching & research

type	bench h	seat h	min w kneehole	min vertical distance floor to under bench
sitting only	700	425	575	606
sitting & standing: women	850	625	575	800
sitting & standing: men	900	675	575	850

3 Typical range of bench & seat



4 Typical plan showing flexible lab with grouped central services (pre-clinical sciences Southampton University England) Arch John S Bonnington Partnership
key 1 teaching lab 2 post-graduate & research lab 3 preparation & service rm 4 rm with specialist eqp

5 Typical plan showing relationship of central work space to lab unit (zoology dept Edinburgh University Scotland) Arch Architecture Research Unit University of Edinburgh

use of **movable table tops** other than permanent fixed bench units: variations in work top height as well as grouping of tables can be achieved to suit particular needs;

arrangement of heavy eqp, fume cupboards, wash-up etc grouped in central service zones.

INDIVIDUAL SPACE REQUIREMENTS →(2)(3)

Ideally conditioned by critical anthropometric dimensions, eg depth of work top being based on max convenient reach; may be some 600 in theory but in practice work top may vary between 610 and 640. Work top length similarly may vary between 2 100 and 4 600 for research student, depending on discipline and particular research requirements; can be reduced to approx 1 500/P where groups of workers share eqp. Work top height may vary between low chemistry benches at 450 above floor level and 900 for benches at which worker stands.

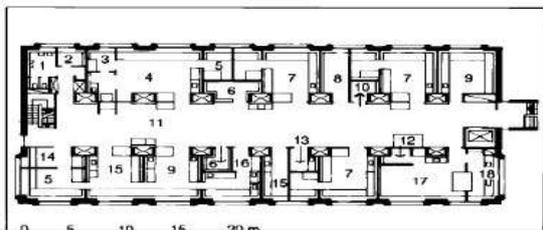
PLANNING MODULE

Working unit (group of work places) forms basic planning bay or module →(2b). Normal work place can be considered as being approx 1 600 x 800. Module width may vary from 2 600 to 5 250; av approx 3 000 to 3 600, which allows 2 parallel rows of benches with centre gangway giving room to pass between 2 workers.

Module w = 2 work spaces + centre passageway
 3 000-3 600 2 x 800 1 400-2 000

Typical bldg dimensions include:

module w 3 000-3 600
 module d 5 000-8 000
 corr w 2 000-2 500
 storey h 3 600-4 200



Sumber: Neufert, 1980

Gambar IV. 5 Standar luas laboratorium

IV.2.2. Peralatan Penelitian (*Scientific Requirement*)

Dari data-data rincian peralatan yang digunakan oleh kapal-kapal riset MPRV yang didapat, penentuan pemilihan peralatan yang tepat dapat dilakukan. Spesifikasi teknis peralatan lebih lanjut didapat dari data-data katalog peralatan didapat dari website perusahaan fabrikator peralatan yang menjelaskan karakteristik dari peralatan riset, daftar katalog peralatan riset dapat dilihat pada lampiran D. Pada Tabel IV. 1 menunjukkan perhitungan total berat peralatan yang akan digunakan oleh kapal riset.

Tabel IV. 1 Daftar kebutuhan peralatan penelitian MPRV

Peralatan Penelitian			
No	Nama Alat	Jumlah	Berat (ton)
1	Acoustic doppler current profiler (ADCP)	1	0.005
2	CTD & water sampler	2	0.05
3	Shallow water multi beam echo sounder s/d 12000 m	2	0.012
4	Seaquest Bathy Sub Bottom Profiller	1	0.016
5	Over Side Mounted MultibeamSystem	1	0.011
6	Sampling Equipment : 0.1 Box Coreer, 0.3 Box Corer, GravityCorer, Dredge Box, and Listair Dredge	1	0.83
7	EK500 Fish Finder	1	0.005
8	Pengangkat (2 x crane cap. 5 ton)	2	10
9	Winch CTD (minimum 6000 m, untuk diameter cable/streamer 4 inchi)	1	2.1
10	Winch Multiprpose (minimum 8000 m, untuk diameter cable/streamer 4 inchi)	1	3.5
11	Dry laboratory equipment	1	0.3
12	SONAR	1	0.02
13	Side Scan Sonar (SSS)	1	0.007
14	Magnetometer	1	0.02
15	Automatic Weather System	1	0.2
16	Sound Velocity Sensor	1	0.001
Total Berat Peralatan =			17.077

IV.2.3. Ruang Akomodasi

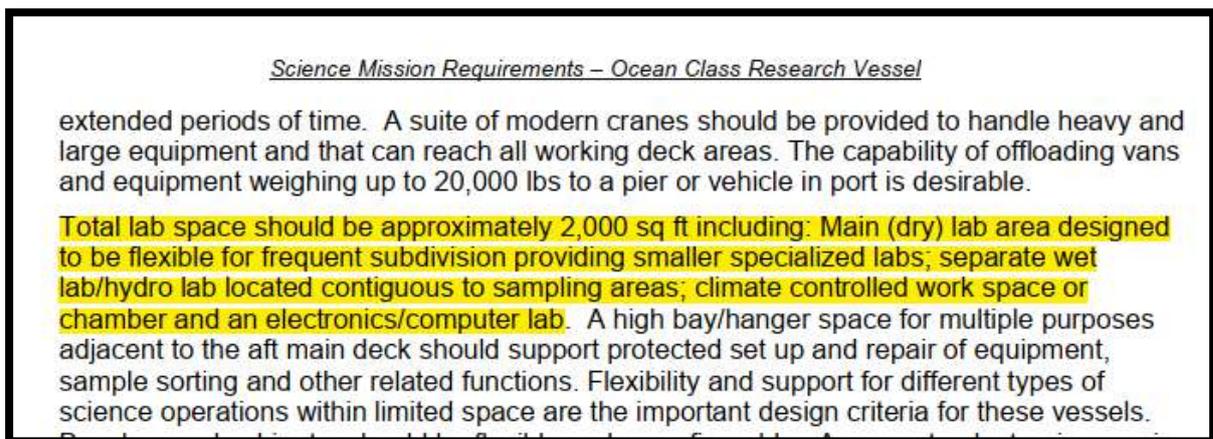
Ruang akomodasi yang dibutuhkan mengacu kepada *ILO Conventions C092 - Accommodation of Crews Convention*, ditujukan sebagai kriteria kebutuhan luasan akomodasi ABK yang layak dan aman selama masa berlayar. Dimana Luasan yang diwajibkan tidak boleh kurang dari:

- 20 ft² atau 1.85 m² pada kapal kurang dari 800 ton
- 25 ft² atau 2.35 m² pada kapal lebih dari 800 ton, tetapi kurang dari 3000 ton
- 30 ft² atau 2.78 m² pada kapal lebih dari 3000 ton.

IV.2.4. Total Kebutuhan Luas Ruangan MPRV

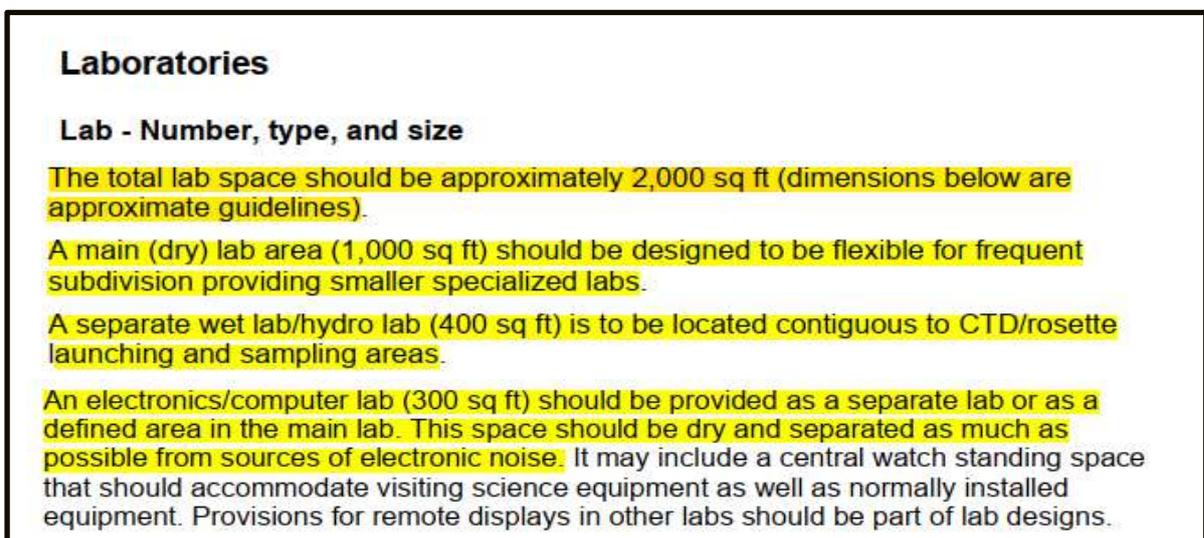
Dengan melibatkan sisi ergonomis dari ruangan-ruangan yang mengkondisikan dimensinya terhadap kebutuhan ruang individu (peneliti, operator) khususnya ruangan yang akan digunakan untuk operasional riset, seperti: laboratorium, ruang penyimpanan, serta ruang kendali agar kenyamanan dan keselamatan kerja bisa tercapai.

Berdasarkan hasil konsensus *University-National Oceanographic Laboratory System (UNOLS) Science Mission Requirements For Ocean Class Oceanographic Research Vessel* menjelaskan bahwa luas minimum dari total keseluruhan luas laboratorium adalah 2000 ft² atau sekitar 185,81 m² seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV. 6.



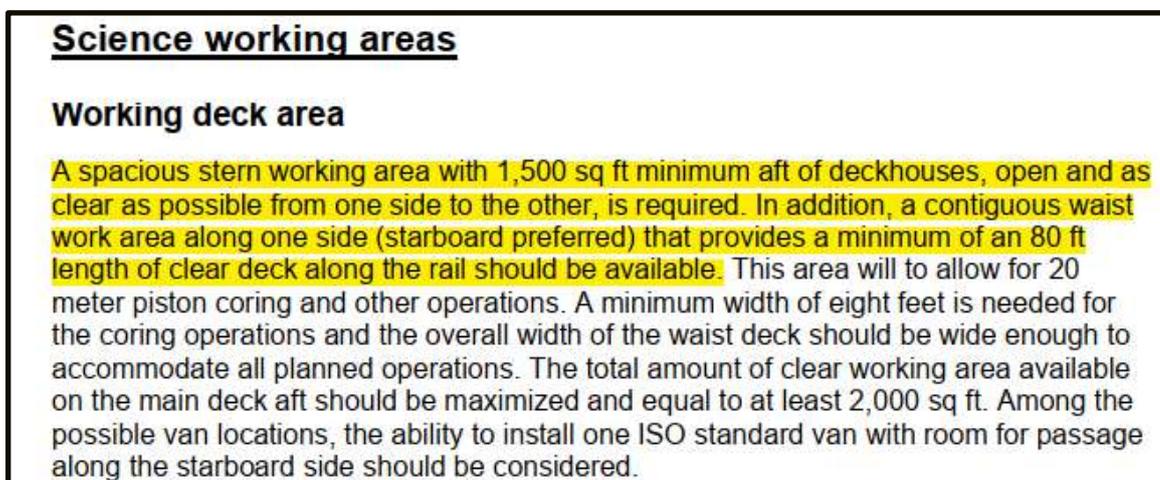
Gambar IV. 6 Standar total luas minimum laboratorium

Sedangkan luas minimum untuk laboratorium basah (*wet lab*) adalah 400 ft² atau sekitar 37,16 m², luas minimum untuk laboratorium kering (*dry lab*) seperti laboratorium komputer/elektronik adalah 300 ft² atau sekitar 27,87 m² seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV. 7.



Gambar IV. 7 Luas minimum laboratorium basah dan kering

Sedangkan luas minimum untuk area dek kerja (*working deck area*) adalah 1500 ft² atau sekitar 139,35 m² seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV. 8.



Gambar IV. 8 Luas minimum *working deck area*

Hasil perhitungan dari total dimensi luasan ruangan yang dibutuhkan dijelaskan dalam Tabel IV. 2. Dapat dilihat dari hasil perhitungan, rata-rata kebutuhan luasan bentang luas laboratorium bernilai dari 32 m²- 50 m². Penyesuaian ruangan selain laboratorium disesuaikan berdasarkan peralatan-peralatan yang digunakan.

Tabel IV. 2 Kebutuhan luas ruangan pada *Main Deck MPRV*

PADA MAIN DECK							
No.	RUANGAN	Jumlah	Ukuran				Status
			Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Luas Standar (m ²)	
1	Lab. Hidrografi	1	5,4	6	32,4	27,87	Memenuhi
	Lab. Oseanografi Fisika, Biologi, dan Kimia	1	6	6	36	27,87	Memenuhi
	Lab. Geologi dan Geofisika	1	5,4	6	32,4	27,87	Memenuhi
	Lab. Basah (<i>Wet Lab</i>)	1	6,6	6	39,6	37,16	Memenuhi
	Lab. Multipurpose	1	8,4	6	50,4	27,87	Memenuhi
Total Luas Laboratorium					190,8	185,81	Memenuhi
2	Work Space Area	1	14	12,9	180,6	139,35	Memenuhi
3	Scientist Mess Room	1	6,2	5,4	33,48		
4	Galley	1	5,6	6	33,6		

5	Scientist Meeting Room	1	4,5	6	27
6	Crew Mess Room	1	7,1	6	42,6
				Total =	698,88

Tabel IV. 3 Kebutuhan luas ruangan pada *Tween Deck* MPRV

Pada <i>Tween Deck</i>						
No.	RUANGAN		Jumlah	Ukuran		
				Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1	Kamar	Kamar Crew/Scientist (4 Orang)	12	4.2	5.4	272.16
		kamar Crew/Scientist (2 Orang)	3	2.8	4	33.6
		Kamar mandi/Toilet Scientist	6	1.5	1.8	16.2
		Kamar mandi/Toilet Crew	6	1.5	1.8	16.2
2	Ruang Ganti (<i>Changing Room</i>)		1	7.8	2.6	20.28
3	<i>Laundry Room</i>		1	2.84	2.6	7.384
4	Ruang Doa (<i>Pray Room</i>)		1	3	4	12
5	Gudang (<i>Deck Store</i>)		1	4.8	7	33.6
6	Bengkel (<i>Engine Workshop</i>)		1	4.8	4	19.2
7	<i>Scientific Freezer</i>		1	5.8	3.5	20.3
				Total =		450,924

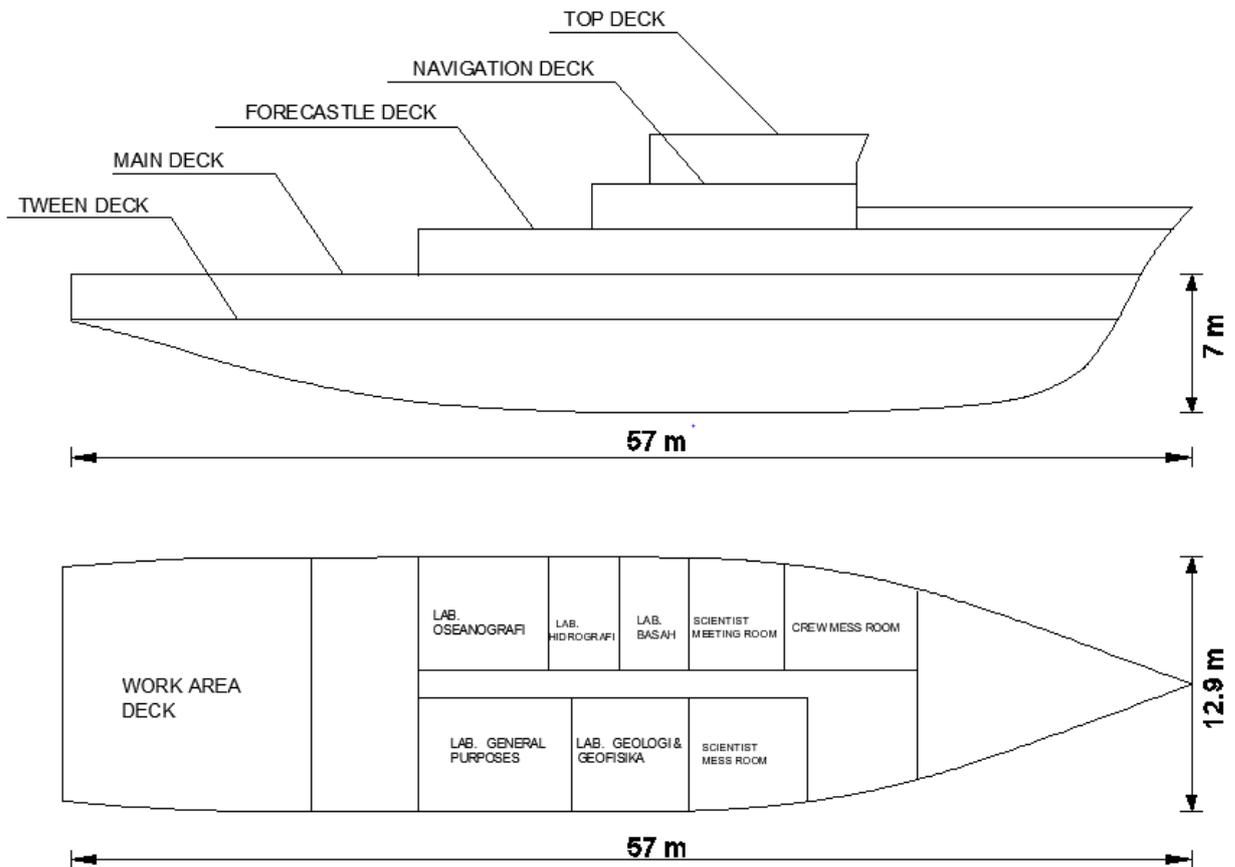
Pada Tabel IV. 3 menunjukkan total kebutuhan luas ruang akomodasi dan ruang penyimpanan lainnya pada *tween deck* MPRV, dimana hasil penentuan dimensi ini akan dijadikan sebagai acuan dalam *plotting* dimensi atau ukuran setiap ruangan pada *layout* awal MPRV.

IV.3. *Layout* Awal MPRV

Penentuan *Layout* awal kapal didasarkan pada hasil perhitungan kebutuhan luasan peralatan dan ruangan ilmiah yang didapat pada Tabel IV. 2 dan IV. 3. Penggambaran *Layout* kemudian dilakukan untuk menentukan dimensi kapal yang dapat mengangkut luas peralatan dan ruangan ilmiah seluas 698,88 m².

Sketsa dilakukan agar tercipta desain awal yang bertujuan sebagai tahap pendekatan menuju desain akhirnya. Dalam mendesain sebuah kapal, diperlukan *Layout* awal pada kapal untuk menunjukkan gambaran umum mengenai desain yang akan dibentuk, didapatkan ukuran utama awal berdasarkan dari luasan yang dibutuhkan untuk penempatan peralatan.

Seperti terlihat pada Gambar IV. 9 pembagian posisi ruangan-ruangan diatur sebaik mungkin untuk mempermudah operasional riset dan mobilitas peneliti maupun operator,



Gambar IV. 9 Layout awal MPRV

IV.4. Ukuran Utama Awal MPRV

Dalam menentukan ukuran utama awal MPRV, ukuran utama didapat berdasarkan hasil *plotting* kebutuhan luas setiap ruangan ilmiah/laboratorium dan ruang akomodasi pada kapal saat menentukan *owner requirements*. Setelah dilakukan *plotting* akan didapatkan ukuran utama seperti *Length Over All (LOA)*, *Lebar/Breadth (B)*, *Tinggi/Depth (D)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV. 9. Dengan menggunakan metode *Trial and Error* didapat ukuran utama awal MPRV seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV. 4.

Tabel IV. 4 Ukuran utama awal MPRV

Ukuran Utama awal MPRV		
LOA =	57	m
LPP =	50.42	m
B =	12.9	m
H =	7	m
T =	4.45	m

Dilihat dari Tabel IV. 4 ukuran utama kapal yang didapat, disimpulkan kapal dengan panjang keseluruhan (Length Over All) 57 meter, berdasarkan klasifikasi panjang kapal dari *University-National Oceanographic Laboratory Systems* (UNOLS) termasuk dalam Kelas III. Dimana, Kapal riset dengan panjang lebih dari 45,7 m dilengkapi dengan peralatan untuk operasi riset laut dalam, kedalaman laut mencapai hingga 6.000 m.

IV.5. Analisis Hasil Perhitungan Teknis

IV.5.1. Rasio Dimensi Kapal

Ukuran utama merupakan komponen penting dalam pertimbangan teknis mendesain kapal karena ukuran utama kapal dapat mempengaruhi batasan desain yang lainnya. Setelah didapatkan ukuran utama optimal, maka tahapan awal adalah melakukan perhitungan rasio dan koefisien. Berikut merupakan Analisis terhadap hasil perhitungan rasio dan koefisien. Dari rekapitulasi hasil pada dapat dilihat bahwa semua nilai rasio ukuran utama kapalnya memenuhi (berada dalam rentang nilai yang diizinkan). Berikut merupakan analisis terhadap hasil perhitungan rasio dan koefisien seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV. 5.

LPP = 50,41 m	$V_s = 13 \text{ knot} = 6,687 \text{ m/s}$
B = 12,90 m	$\rho = 1.025 \text{ ton/m}^3 \text{ (air laut)}$
H = 7,00 m	
T = 4,45 m	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Tabel IV. 5 Rekapitulasi Rasio Ukuran Utama

Rasio	Minimum	Nilai	Maksimum	Status
L/B	3.5	3.90	10	Accepted
B/T	1.8	2.89	5	Accepted
L/T	10	11.33	30	Accepted

Sumber: Principal Naval Architecture Volume I, 1988

IV.5.2. Koefisien-Koefisien Bentuk Kapal

Dalam menentukan perhitungan teknis yang lainnya, selain ukuran utama kapal, terdapat nilai lain yang berperan, yaitu koefisien-koefisien bentuk kapal yang merupakan fungsi dari perbandingan dimensi ukuran utama kapal. Nilai pada Tabel IV. 6 merupakan hasil perhitungan nilai koefisien-koefisien bentuk badan kapal yang mengacu pada formula pada persamaan (II.1)-(II.5) yang dijelaskan oleh (Parsons, 2001):

Tabel IV. 6 Rekapitulasi Koefisien-Koefisien Bentuk Badan Kapal

Koefisien	Nilai	Satuan
<i>Froude Number</i> (Fr)	0,295	
<i>Block Coefficient</i> (C_B)	0,541	
<i>Midship Section Coefficient</i> (C_M)	0,972	
<i>Longitudinal Prismatic Coefficient</i> (C_P)	0,557	
<i>Length of waterline</i> (L_{WL})	52,426	m
<i>Volume displacement</i> (\bar{v})	1628.97	m ³
<i>Displacement</i> (Δ)	1669.69	ton

Dari nilai koefisien-koefisien yang didapatkan, maka dapat dilakukan analisis seperti berikut:

- Formula dalam menghitung nilai *Froude number* (Fn) merupakan fungsi dari kecepatan dinas dan panjang kapal.
- Nilai C_B merupakan fungsi dari nilai Fn. Oleh sebab itu, perhitungan C_B sangat dipengaruhi oleh kecepatan dinas dan panjang kapal. Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa kecepatan kapal yang digunakan memiliki nilai yang kecil sehingga menghasilkan nilai C_B yang cukup besar.
- Nilai C_M berbanding lurus dengan nilai C_B , dikarenakan nilai C_B yang cukup besar maka mengakibatkan nilai C_M menjadi besar dan hampir menyerupai kotak.
- Nilai C_P merupakan rasio antara nilai C_B dan C_M . Nilai C_P dari suatu kapal akan mempengaruhi besar hambatan kapal, hal ini dikarenakan nilai C_P digunakan untuk menentukan beberapa koefisien dalam perhitungan hambatan.
- Nilai C_{WP} berbanding lurus dengan nilai C_P . Nilai C_{WP} ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan untuk penentuan luasan permukaan basah (WSA).

Secara umum, MPRV memiliki nilai koefisien blok dan koefisien prismatic yang rendah, digunakan untuk meminimalisir tahanan (*resistance*), menghasilkan displacement yang dibutuhkan dan membuat lambung kapal menghasilkan turbulensi yang sedikit di dalam air. Mempunyai gaya *wave making* yang sedikit, dimana berguna untuk mengurangi gelembung dan fenomena fluida lain yang dapat mengganggu operasi dari sonar dan peralatan akustik sensitif lainnya.

IV.5.3. Analisis Hambatan Kapal

Hambatan kapal merupakan aspek penting dalam pemilihan mesin penggerak utama kapal, terutama pada proses desain kapal. Ada hal yang harus diperhatikan dalam melakukan perhitungan hambatan. Tahap awal yang harus dilakukan dalam menghitung hambatan kapal adalah kecepatan dinas kapal harus diketahui. Setelah diketahui berapa besar kecepatan dinas yang dibutuhkan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan besar hambatan kapal. Berikut merupakan hasil analisis terhadap perhitungan hambatan kapal menggunakan metode Holtrop and Mennen menurut (Lewis E. V., Principles of Naval Architecture Volume II, 1988):

$$R_T = \frac{1}{2} \times \rho \times V_S^2 \times S_{Tot} \times (C_F(1+k) + C_A) + \left(\frac{R_W}{W}\right) \times W$$

Dimana:

P = Masa jenis air laut (ton/m³)

VS = Kecepatan kapal (m/s)

STot = Luas total permukaan kapal di bawah garis air (m²)

CF = Koefisien gesek (*Frictional coefficient*)

(1+k) = Faktor bentuk lambung

CA = *Model-ship correlation allowance*

RW = Hambatan akibat pengaruh gelombang (kN)

W = Displasemen kapal (ton)

1. *Friction coefficient* (CF)

Besar wave-making resistance atau hambatan gelombang dapat dihitung menggunakan formula seperti di bawah ini :

$$\frac{R_W}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos(\lambda Fn^{-2})}$$

Dikarenakan desain MPRV ini memiliki nilai $F_n < 0,4$ maka perhitungan hambatan gelombang dapat menggunakan *Havelock Formula*. Nilai pada Tabel IV. 7 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan yang didapatkan.

Tabel IV. 7 Perhitungan *Wave Making Resistance*

Komponen	Nilai	Keterangan
Fr	0,295	-
C ₄	0,246	Untuk $0,11 \leq B/L \leq 0,25$
$(T/B)^{1,0796}$	0,389	-
<i>iE</i>	21,072	-
C ₁	0,162	-
C ₂	1	$A_{BT} = 0 \text{ m}^2$ (luas bulbous bow)
C ₃	1	$A_T = 0 \text{ m}^2$ (luas transom)
d	-0,9	Untuk $F_n \leq 0,4$
C ₅	1,405	Untuk $C_p \leq 0,8$
C ₆	-1,69385	Untuk $L^3/V \leq 512$
m ₁	-2,813	-
m ₂	-0.1023	-
λ	0,683	Untuk $L/B < 12$
W	16379,678	kN
R _w /W	0,0027	-
R _w	43,881	kN

2. *Friction coefficient (C_F)*

Form of factor of bare hull adalah faktor pengaruh dari bentuk lambung kapal. Di dalam faktor ini meliputi faktor dari bentuk lambung itu sendiri dan faktor penambahan bentuk lambung lainnya seperti tonjolan-tonjolan pada lambung (*rudder, bilge keels*, dan lain-lain). Berikut merupakan faktor pengaruh dari bentuk lambung kapal yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II.15).

Tabel IV. 8 Hasil Perhitungan Faktor 1+k

Komponen	Nilai	Keterangan
L/L _R	2,462	-
C _{stern}	0	Untuk bentuk belakang normal
C	1	-
1+k ₁	1,257	-
(1+k ₂) _i	1,4	Spade-type rudder
S _{kemudi}	7,851	-
∑S _i atau S _{app}	43,773	-
1+k ₂	1,4	-
S	729,932	-
S _{Tot}	773,705	-
1+k	1,265	-

3. Friction coefficient (C_F)

Friction coefficient adalah koefisien dari hambatan gesek antara air dan badan kapal yang dianggap sebagai pelat datar. Berikut merupakan *friction coefficient* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II.20). Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan *friction coefficient* seperti dilihat pada Tabel IV. 9.

Tabel IV. 9 Rekapitulasi Nilai *friction coefficient* (C_F)

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
vS	-	1,1883 x 10 ⁻⁶	-
Rn	-	295.028.925,031	-
C _F	-	0,001792	-

4. Correlation Allowance (C_A)

Correlation allowance adalah koefisien penambahan tahanan untuk hubungan timbal balik antara model dengan kapal, adanya penambahan ini dikarenakan terdapatnya efek kekasaran pada lambung kapal, berbeda dengan model kapal yang tidak memiliki efek

kekasaran. Untuk menghitung nilai C_A dimana nilai $T/L_{WL} > 0,04$ dapat digunakan formula sesuai dengan *International Towing Tank Conference (ITTC)* yang mengacu dari persamaan (II.21) dan (II.22). Seperti dihasilkan pada Tabel IV. 10.

Tabel IV. 10 Rekapitulasi Nilai *correlation allowance* (C_A)

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
T/L_{WL}	-	0,08500	-
C_A	-	0,00063	Untuk $T/L_{WL} > 0,04$

5. Total Resistance (R_T)

Total resistance adalah total keseluruhan komponen hambatan yang telah dihitung, maka dapat diperoleh nilai hambatan total dengan perhitungan yang mengacu pada formula Persamaan II.6. Dari Tabel IV. 11 dapat dilihat hasil perhitungan total hambatan sebagai berikut:

Tabel IV. 11 Total Hambatan

Komponen	Satuan	Nilai
ρ	kg/m ³	1025
V_s	m/sec	6,687
S_{Tot}	m ²	773,705
C_F	-	0,001792
(1+k)	-	1,265
C_A	-	0,00063
R_w	kN	43,881
W	kN	16379,678
R_T	N	95,33

6. Resistance Margin

Resistance margin atau yang biasa disebut *sea margin* adalah margin yang diberikan akibat adanya penambahan hambatan kapal yang disebabkan karena bertambahnya kekasaran lambung kapal oleh korosi dan *fouling* pada lambung kapal. Berikut merupakan besar hambatan total yang sudah ditambahkan dengan margin. Nilai pada Tabel IV. 12 merupakan penambahan margin sebesar 15% yang mempunyai dampak signifikan pada perhitungan hambatan:

$$\begin{aligned} \text{Margin} &= 10 - 15\% R_T \\ R_T + \text{Margin} &= R_T + 15\% \end{aligned}$$

Tabel IV. 12 Rekapitulasi Nilai *Total Resistance* Ditambah dengan *Sea Margin*

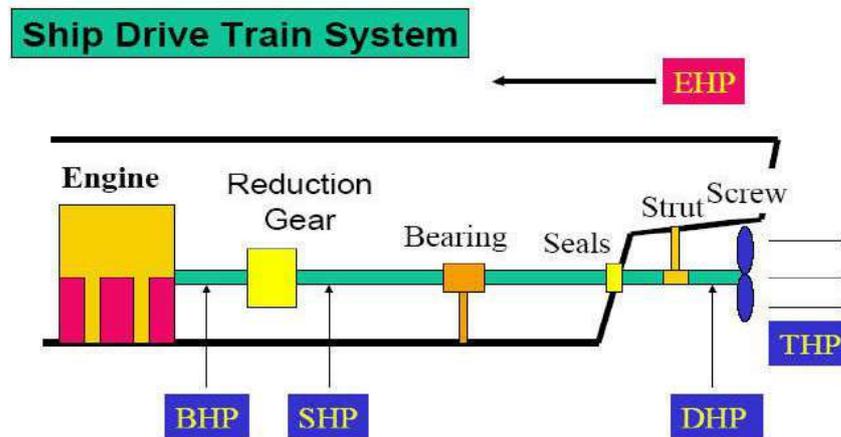
Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
R_T	kN	95,33	-
$R_T + \text{Margin}$	kN	109,63	Margin = 15%

IV.5.4. Analisis Kebutuhan Daya Mesin Induk Kapal

Setelah mendapatkan nilai total hambatan kapal dengan margin, maka dapat dilakukan perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal. Besarnya kebutuhan daya penggerak kapal harus mampu untuk melawan besarnya hambatan sesuai dengan kecepatan yang diharapkan. Di dalam perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal, terdapat beberapa komponen seperti EHP, DHP, SHP, dan BHP. Dihitung menggunakan formula empiris yang dijelaskan pada *Principles of Naval Architecture* dan *Parametric Design Chapter 11*.

Untuk menggerakkan suatu kapal dibutuhkan sebuah sistem penggerak yang dapat membuat kapal bergerak maju. Macam dari sistem penggerak kapal sangatlah bervariasi, baik itu sistem penggerak dengan bantuan mesin maupun tanpa bantuan mesin, namun sampai saat ini sistem penggerak dengan bantuan mesin masih dinilai sebagai sistem yang paling efisien dalam mengoperasikan kapal-kapal niaga.

Agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan maka perlu untuk disesuaikan dengan kapasitas dan daya dari mesin penggerak utama (*main engine*). Oleh karena itu diperlukannya perencanaan dan perhitungan terhadap kebutuhan daya penggerak kapal. Secara garis besar perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal dapat dibagi menjadi beberapa komponen daya seperti pada Gambar IV. 10 Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal (Teacher Buet, 2015).



Gambar IV. 10 Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal

Diameter dari baling-baling yang didesain ditentukan sebesar $\frac{1}{2}$ dari sarat untuk satu baling-baling. Besarnya diameter yang didesain tersebut dikarenakan diperlukannya juga *clearance* yang cukup pada baling-baling kapal dengan bagian buritan kapal mengingat sarat perairan yang rendah. . Berikut hasil dari perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal:

1. *Effective Horse Power (EHP)*

Effective horse power adalah daya yang dibutuhkan untuk mendorong kapal yang mempunyai tahanan total pada kecepatan dinas. Berikut merupakan nilai *effective horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II.23). Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan Tabel IV. 13 rekapitulasi kebutuhan *effective horse power*:

Tabel IV. 13 Rekapitulasi Kebutuhan Daya EHP

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
R_T	kN	109,63	R_T + Margin 15%
V_s	m/s	6,687	-
EHP	kW	637,492	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	866,734	

2. *Delivery Horse Power (DHP)*

Delivery horse power adalah daya yang diberikan kepada baling-baling pada kecepatan dinas yang besarnya telah dikurangi oleh kerugian pada hambatan daya yang dialirkan dari poros ke baling-baling. Berikut merupakan nilai *delivery horse power* yang dihitung

menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II.24). Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan Tabel IV. 14 rekapitulasi kebutuhan *delivery horse power*:

Tabel IV. 14 Rekapitulasi Kebutuhan Daya DHP

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
η_H	-	1,08	-
η_R	-	0,98	-
η_O	-	0,5	Untuk $A_e/A_o = 0,55$
η_D	-	0,530	-
EHP	kW	637,492	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	866,734	
EHP/Screw	kW	637,492	satu baling-baling
DHP	kW	1202,583	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1635,032	
DHP/Screw	kW	1202,583	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	1635,032	

3. Shaft Horse Power (SHP)

Shaft horse power adalah daya yang diberikan kepada baling-baling melalui porosnya pada kecepatan dinas yang besarnya telah dikurangi oleh kerugian pada *shafting arrangement* (*bearing* dan *stern tube*). Berikut merupakan nilai *shaft horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II.25). Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan Tabel IV. 15 rekapitulasi kebutuhan *shaft horse power*:

Tabel IV. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Daya SHP

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
$\eta_S \eta_B$	-	0,99	Kamar mesin di tengah
DHP	kW	1202,583	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1635,032	
DHP/Screw	kW	1202,583	

	HP	1635,032	Kebutuhan untuk satu baling-baling
SHP	kW	1214,731	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1651,55	

4. Break Horse Power (BHP)

Break horse power adalah daya yang diberikan kepada baling-baling melalui porosnya pada kecepatan dinas yang besarnya telah dikurangi oleh kerugian pada efisiensi transmisi. Berikut merupakan nilai *break horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II. 26). Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan Tabel IV. 16 rekapitulasi kebutuhan *break horse power*:

Tabel IV. 16 Rekapitulasi Kebutuhan Daya BHP

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
<i>Li</i>	-	0,010	<i>each gear reduction</i>
<i>Li</i>	-	0,005	<i>thrust bearing</i>
<i>li</i>	-	0,010	<i>reversing gear path</i>
η_T	-	0,975	-
SHP	kW	1214,731	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1651,55	
BHP	kW	1245,878	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1465,738	

5. Break Horse Power Maximum Continuous Rating (BHP_{MCR})

Setelah mendapatkan besar daya penggerak kapal yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal sesuai dengan kecepatannya, maka tahap terakhir adalah menghitung kebutuhan BHP *maximum continuous rating*. BHP_{MCR} adalah kebutuhan daya mesin penggerak utama kapal (BHP) yang telah diberikan penambahan dari *voyage margin*, *power design margin*, dan *power service margin*. Berikut merupakan nilai BHP_{MCR} yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari persamaan (II.27). Rekapitulasi pada Tabel IV. 17 menunjukkan nilai BHP_{MCR} ini yang nantinya akan menjadi acuan dalam pemilihan *main engine*.

Tabel IV. 17 Rekapitulasi Perhitungan BHP_{MCR}

Komponen	Satuan	Nilai	Keterangan
M_V	%	10	Margin pelayaran
M_D	%	5	Margin desain
M_S	%	25	Margin pemakaian
BHP	kW	1245,878	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1465,738	
BHP_{MCR}	kW	1465,738	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1992,818	

Dari hasil rekapitulasi kebutuhan daya BHP_{MCR} pada Tabel IV. 17 dapat dilihat bahwa kebutuhan daya mesin induk berbanding lurus dengan nilai kebutuhan hambatan total. Pemilihan mesin gerak yang efisien dapat dilakukan terlepas kondisi perairan.

IV.5.5. Analisis Pemilihan Mesin Induk (*Dual Fuel Engine*)

Dalam melakukan pemilihan mesin penggerak kapal, ada beberapa kriteria lain yang harus diperhatikan selain dari pemilihan berdasarkan daya mesin minimum yang dibutuhkan. Kriteria lain tersebut adalah ukuran dari mesin induk dan berat dari mesin induk tersebut. Kriteria lain tersebut dapat mempengaruhi dalam perencanaan kamar mesin serta akan mempengaruhi perhitungan berat kapal keseluruhan.

Dalam melakukan pemilihan mesin penggerak kapal, ada beberapa kriteria lain yang harus diperhatikan selain dari pemilihan berdasarkan daya mesin minimum yang dibutuhkan. Kriteria lain tersebut adalah ukuran dari mesin induk dan berat dari mesin induk tersebut. Hal ini dikarenakan kedua kriteria lain tersebut dapat mempengaruhi dalam perencanaan kamar mesin serta akan mempengaruhi perhitungan berat kapal keseluruhan.

Pada MPRV akan menggunakan mesin berbahan bakar ganda (*dual fuel*) dalam pengoperasiannya. Berdasarkan hasil perhitungan propulsi pada bab IV.5.4 didapat hasil *Break Horse Power Maximum Continuous Rating* (BHP_{MCR}) yaitu total daya mesin yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan kapal sehingga dalam pemilihan mesin induk tidak boleh kurang dari nilai BHP_{MCR} bernilai sebesar 1465,738 kW atau 1992,818 HP.

Dari seluruh pertimbangan yang ada, maka dipilih mesin induk *dual fuel* Wartsilla 8L20DF dengan spesifikasi seperti terlihat pada Gambar IV. 11 sebagai berikut:

Engine type	Main Engines		Generating sets			
	1200 rpm		1000 rpm		1200 rpm	
	kW	BHP	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
Wärtsilä 6L20DF	1056	1440	876	1050	1056	1270
	1110	1510	960	1150	1110	1330
Wärtsilä 8L20DF	1408	1920	1168	1400	1408	1690
	1480	2010	1280	1540	1480	1780
Wärtsilä 9L20DF	1584	2150	1314	1580	1584	1900
	1665	2260	1440	1730	1665	2000

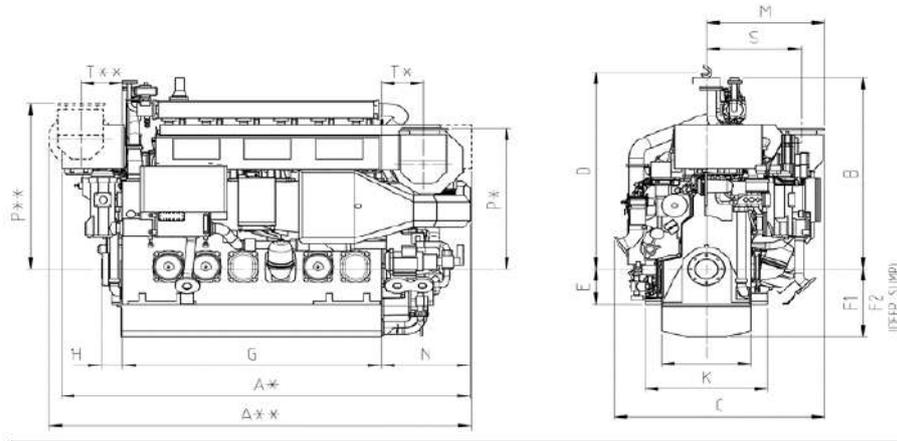
Gambar IV. 11 Pemilihan mesin induk Wartsila 8L20DF

Pada Gambar IV. 11 menunjukkan pemilihan mesin induk sebagai penggerak utama MPRV dimana pada katalog mesin daya mesin yang mencukupi sesuai daya yang dibutuhkan (BHP_{MCR}) adalah mesin Wartsila 8L20DF dengan daya sebesar 1480 kW atau 2010 HP, sehingga dapat memenuhi total daya mesin yang dibutuhkan yaitu sebesar 1465,738 kW atau 1992,818 HP.

Tabel IV. 18 Spesifikasi teknis mesin induk

Type of engine	Wartsila 8L20DF	
Engine output	1480	KW
	2010	HP
Engine speed (revolution)	1200	RPM
L	4099	mm
W	1824	mm
H	2391	mm
Dry mass	11.8	ton
Fuel Oil Consumption		
#Gas mode:		
Fuel Gas (FG) Cons	9090	kJ/kWh
	0.00017477	ton/kWh
Fuel oil (FO) Cons.	5.6	g/kWh
#Diesel mode:		
Fuel oil (FO) Cons.	197.5	g/kWh
Lubrication Oil Cons.	0.4	g/kWh

Spesifikasi mesin induk dari Tabel IV. 18 yang digunakan yaitu mesin induk *dual fuel* Wartsilla 8L20DF rincian dimensi dapat dilihat pada Gambar IV. 12 sketsa mesin induk kapal:



Sumber: Wartsilla, 2018

Gambar IV. 12 Sketsa dimensi mesin induk

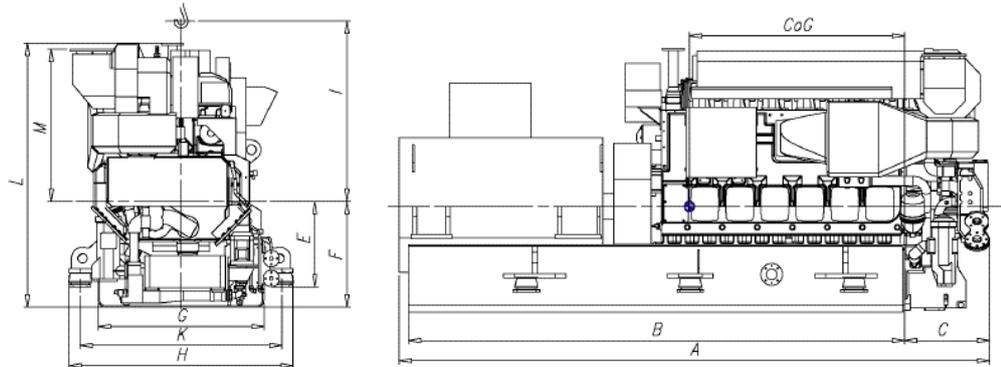
$$\begin{aligned}
 P \text{ Auxiliary Requirement} &= 25\% \times 1465,738 \\
 &= 366,4 \text{ kW} \\
 &= 498,204 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Dari data teknis yang dibutuhkan untuk besarnya daya mesin bantu, maka dipilih mesin bantu Wartsila Aucpax 16 455W5L16 dengan spesifikasi teknis seperti terlihat pada Tabel IV. 19 sebagai berikut:

Tabel IV. 19 Spesifikasi Teknis Mesin Bantu

Daya Genset	25% Engine Power	
	366.43	KW
	498.20	HP
Type of engine	Wartsila Aucpax 16 455W5L16	
Engine output	455	KW
Engine speed (revolution)	1000	RPM
L	4530	mm
W	1294	mm
H	2216	mm
Dry mass	9.8	ton
Fuel Oil Consumption	203.8	g/kWh
Lubrication Oil cons	0.6	g/kWh

Rincian dimensi dari mesin bantu yang digunakan yaitu Wartsila Aucpax 16 455W5L16 dapat dilihat pada Gambar IV. 13 sketsa dimensi mesin bantu MPRV:



Sumber: Wartsilla, 2018

Gambar IV. 13 Sketsa dimensi mesin bantu

IV.5.6. Analisis Perhitungan Berat dan Titik Berat

Desain kapal yang direncanakan harus mampu membuat kapal stabil, mengapung, serta memiliki nilai buoyancy yang cukup. Kondisi yang diinginkan tersebut harus dilihat dari aspek keseimbangan kapal, dikarenakan keseimbangan kapal merupakan salah satu aspek yang cukup penting. Pada dasarnya keseimbangan kapal dipengaruhi oleh kondisi pembebanan kapal yang meliputi nilai berat dan titik berat.

Perencanaan dari berat dan titik berat kapal dapat mempengaruhi pada perhitungan dan batasan teknis lainnya seperti stabilitas, trim, perhitungan kekuatan memanjang, dan yang lainnya. Pada umumnya, perhitungan berat pada kapal dapat dibagi menjadi dua komponen besar yaitu *lightweight tonnage* (LWT) dan *deadweight tonnage* (DWT)

1. *Lightweight Tonnage* (LWT)

Lightweight tonnage atau yang biasa disebut berat kapal kosong digolongkan menjadi beberapa bagian, yaitu:

- Berat komponen baja kapal
- Berat komponen sistem kapal
- Berat peralatan dan perlengkapan kapal

2. *Deadweight Tonnage* (DWT)

Deadweight tonnage (DWT) merupakan berat *displacement* ton dikurangi dengan berat kapal kosong (LWT). DWT terdiri dari beberapa komponen yaitu:

- muatan bersih (*payload*)

- bahan bakar
- berat minyak pelumas
- berat air tawar
- berat persediaan (*provision*)
- berat orang (*crew* dan penumpang) dan berat barang bawaannya.

Umumnya perhitungan DWT ini dilakukan untuk satu kali perjalanan *round trip*. Perhitungan DWT dapat dilakukan dengan mengacu pada formula perhitungan berat pada persamaan (II.39)-(II.44). Pada Tabel IV. 20 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan berat (LWT + DWT), untuk hasil perhitungan detailnya dapat dilihat pada Lampiran A Perhitungan Teknis MPRV.

Tabel IV. 20 Rekapitulasi total DWT + LWT

Total DWT			
No.	Komponen Berat Kapal Bagian DWT	Value	Unit
1	Berat Peneliti & Crew Kapal dan Barang Bawaan	5,775	ton
2	Berat Kebutuhan Peralatan Penelitian	17,077	ton
2	Berat Bahan Bakar (MDO)	16,403	ton
3	Berat Bahan Bakar (LNG)	10,762	ton
4	Berat Air Tawar	96,694	ton
5	Berat Sewage	119,700	ton
6	Berat Provision	12,390	ton
7	Berat Minyak Pelumas	0,055	ton
Total		278,856	ton
Total LWT			
No.	Komponen Berat Kapal Bagian LWT	Value	Unit
1	Berat Lambung (Hull) kapal	763,223	ton
2	Berat Equipment & Outfitting	341,933	ton
3	Berat Permesinan kapal	189,861	ton
Total		1295,017	ton
Koreksi Displacement			
No.	Komponen Berat Kapal	Value	Unit
1	Berat Kapal Bagian DWT	275,991	ton
2	Berat Kapal Bagian LWT	1295,017	ton

	Total	1571,008	ton
	Displacement Kapal	1669,692	ton
	Koreksi Displacement Kapal	98,684	ton
	Persentase	5,91	%
		Batas koreksi Displacement (2-10%)	

Dari hasil perhitungan LWT dan DWT kapal yang terdapat pada Tabel IV. 20, dapat dilihat bahwa komponen LWT lebih berat dari DWT dengan jumlah 1295,017 ton untuk LWT dan 278,856 ton untuk DWT.

Lalu setelah perhitungan berat selesai maka akan dilakukan proses pengecekan selisih antara displacement dengan LWT+DWT, margin yang diperbolehkan berkisar antara 2%-10%. Untuk nilai *displacement* sudah dijelaskan pada subbab perhitungan koefisien yaitu sebesar 1669,692 ton dan untuk total berat LWT+DWT yaitu sebesar 1571,008 ton. Jadi didapatkan selisih sebesar 98,684 ton ton atau 5,91%, dan hasil ini masih di dalam batasan margin yang diizinkan. Untuk detail dari perhitungan ini dapat dilihat pada Lampiran A laporan Tugas Akhir ini.

Tabel IV. 21 Rekapitulasi perhitungan Titik Berat MPRV

Rekapitulasi Berat dan Titik Berat						
No.	Item	W (Ton)	LCG _{Midship} (m)	KG (m)	W x LCG	W x KG
Komponen DWT:						
1	Berat Peneliti & Crew Kapal dan Barang Bawaan	5,775	-1,671	5,714	-9,65	32,99835
2	Berat Kebutuhan Peralatan Penelitian	17,077	-4,512	7,040	-77,051	120,2221
3	Berat Bahan Bakar	16,403	-3,472	0,750	-56,95	12,30204
4	Berat Air Tawar	96,694	12,171	3,110	1176,86	300,7186
5	Berat Sewage	119,700	1,854	0,750	221,924	89,775
6	Berat Provision	12,390	22,878	7,810	283,458	96,7659
7	Berat Minyak Pelumas	0,055	-8,772	0,750	-0,4822	0,041228
Komponen LWT:						
1	Berat Lambung (Hull) kapal	763,223	-1,4351684	6,47661	-1095,4	4943,1
2	Berat Equipment & Outfitting	341,933	0,416	7,512	142,389	2568,675

3	Berat Permesinan kapal	189,861	-12,967	2,311	-2461,9	438,7689
	Total	1571,008			- 1876,78	8603,37
		$\Sigma 1$			$\Sigma 2$	$\Sigma 3$

$$\begin{aligned}
 LCG_M \text{ (Dari Midship)} &= W.LCGM/W = \Sigma 2/\Sigma 1 \\
 &= -1,201 \text{ m} \\
 KG &= W.KG/W = \Sigma 3/\Sigma 1 \\
 &= 5,504 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel IV. 21 merupakan hasil perhitungan titik berat kapal dengan menggunakan formula yang sudah dijelaskan pada bab metodologi penelitian sebelumnya. Setelah semua hasil dikalkulasikan maka didapatkan titik berat secara total dari kapal ini. Nilai *keel to gravity* (KG) untuk kapal ini sebesar 5,504 m dan nilai *longitudinal centre of gravity* (LCG) sebesar -1,201 m dari Midship. Untuk detail dari perhitungan ini dapat dilihat pada Lampiran A laporan Tugas Akhir ini.

IV.5.7. Analisis Freeboard MPRV

Perhitungan freeboard menggunakan standar yang ada di *International Convention on Load Lines (ICLL) 1966 and protocol of 1988*, seperti yang sudah dijabarkan pada bab metodologi penelitian.

Tabel IV. 22 Rekapitulasi perhitungan Freeboard MPRV

Rekapitulasi Freeboard			
No.	Item	Result	Unit
1	Tipe Kapal	Tipe B	
2	Freeboard Standard (Fb)	447.92	mm
Koreksi-koreksi			
3	Koreksi kapal Ukuran < 100 m	0.00	mm
	Koreksi Cb	0.00	mm
	Koreksi Tinggi	382.21	mm
	Koreksi Bangunan Atas	0.00	mm
	Koreksi Sheer	0.00	mm
Total Freeboard		830.13	mm
Actual Freeboard		2550	mm
Status/Remark		OK	

Pada Tabel IV. 22 dapat dilihat hasil dari perhitungan freeboard kapal, tipe kapal yang diambil merupakan tipe B yaitu kapal yang tidak memenuhi persyaratan kapal tipe A, yang mana kapal tipe A mempunyai persyaratan sebagai berikut:

- Kapal yang didesain memuat muatan cair dalam bulk.
- 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.
- Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh

Pengukuran freeboard standard sesuai dengan *rule* berdasarkan *International Convention on Load Line 1996* (ICLL) Table-28.2. Nilai *actual freeboard* lebih besar daripada *freeboard standard* + koreksi, sehingga untuk perhitungan freeboard memenuhi standar. Untuk detail dari perhitungan ini dapat dilihat pada Lampiran A laporan Tugas Akhir ini.

IV.5.8. Analisis Stabilitas MPRV

Stabilitas kapal adalah salah satu aspek yang penting untuk diperhitungkan dalam proses mendesain kapal, hal ini dikarenakan stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali kepada kedudukan keseimbangan dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Pemeriksaan kondisi keseimbangan dilakukan untuk mengetahui karakteristik kapal pada beberapa kondisi, antara lain pada saat kondisi oleng atau trim akibat adanya perbedaan kondisi pemuatan (*loadcase*) dan adanya pengaruh faktor dari luar seperti angin, gelombang, cuaca, dan sebagainya.

Dalam penelitian ini, analisis keseimbangan yang dilakukan hanya mencakup pada kondisi oleng dan *trim* akibat perbedaan kondisi pemuatan. Karena saat kapal beroperasi, kapal tidak hanya beroperasi dalam satu kondisi pemuatan saja, tetapi juga ada kondisi dimana kapal dalam kondisi muatan penuh atau kosong. Dengan adanya perbedaan kondisi pemuatan itulah yang akan mengakibatkan karakteristik keseimbangan kapal yang berbeda.

Kriteria kondisi pemuatan dalam perhitungan stabilitas kapal yang digunakan pada Tugas Akhir ini mengacu berdasarkan peraturan pada (IMO, 1974).

- *Load Case 1* adalah kondisi berat kapal kosong (*lightship*)
- *Load Case 2* adalah kondisi setiap tangki persediaan bahan bakar dalam kondisi penuh (100%)

- *Load Case 3* adalah kondisi setiap tangki persediaan bahan bakar dalam kondisi penuh (50%)
- *Load Case 4* adalah kondisi setiap tangki persediaan bahan bakar dalam kondisi penuh (10%).

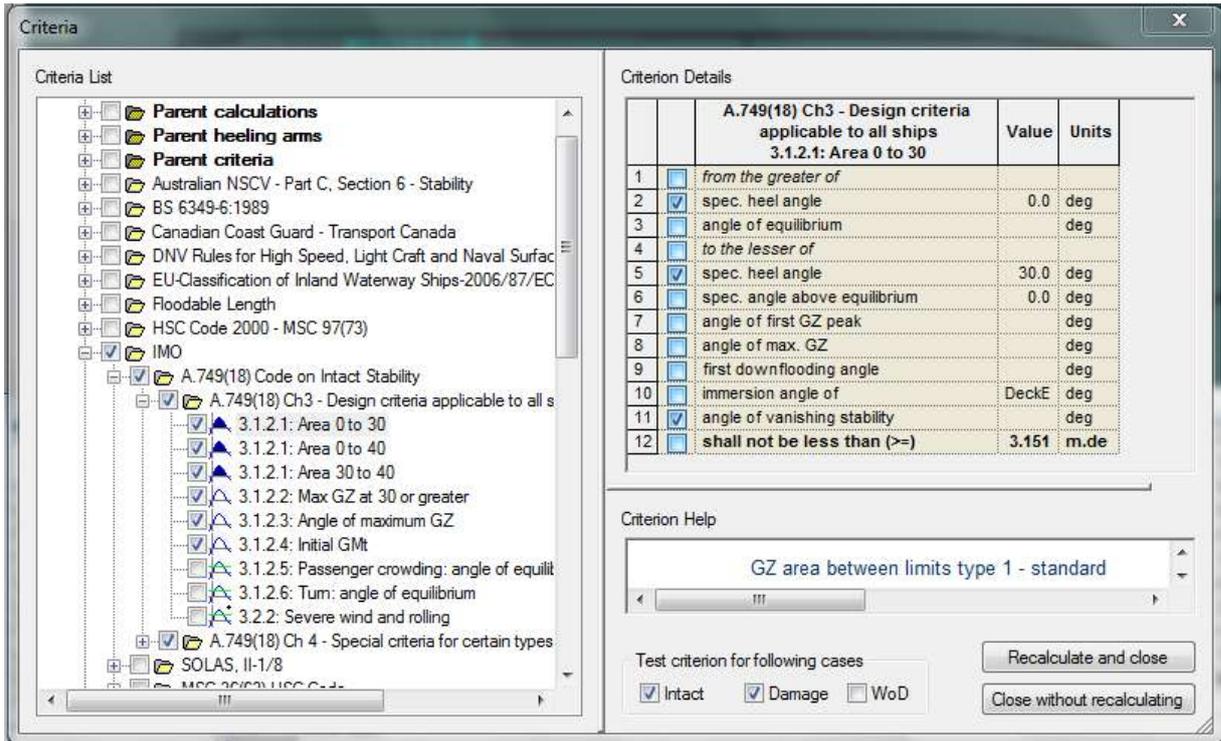
Stabilitas kapal dianalisis menggunakan *Software Stability Advanced v8i series 3* dengan jenis analisis *large angle stability*. Sebelum analisis stabilitas dihitung, komponen *light weight tonnage* (LWT) dan komponen *dead weight tonnage* (DWT) harus diketahui.

Standar analisis stabilitas menggunakan ketentuan yang terdapat pada *International Maritime Organisation* (IMO). Standard stabilitas yang ditetapkan IMO adalah mengenai lengan stabilitas (GZ). Berikut ini adalah kriteria IMO yang digunakan [14]:

All Ship design criteria applicable to all ships:

- a) *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1:*
 - Luasan pada daerah di bawah kurva GZ pada sudut oleng 0° – 30° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,151 m.deg.
 - Luasan pada daerah di bawah kurva GZ pada sudut oleng 0° – 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,157 m.deg.
 - Luasan pada daerah di bawah kurva GZ pada sudut oleng 30° – 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.
- b) *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2:* Nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut 30° – 180° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.
- c) *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3:* Kriteria lengan pengembali GZ maksimum terjadi pada kondisi oleng sebaiknya tidak boleh kurang dari 25° .
- d) *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4:* Nilai GM awal pada sudut 0° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

Kriteria yang digunakan dalam perhitungan stabilitas kapal yaitu sesuai IMO *Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1–Chapter 3.1.2.4*, dengan kriteria pada Maxsurf Stability dapat dilihat pada Gambar IV. 14 sebagai berikut:



Gambar IV. 14 Kriteria perhitungan stabilitas pada Maxsurf Stability

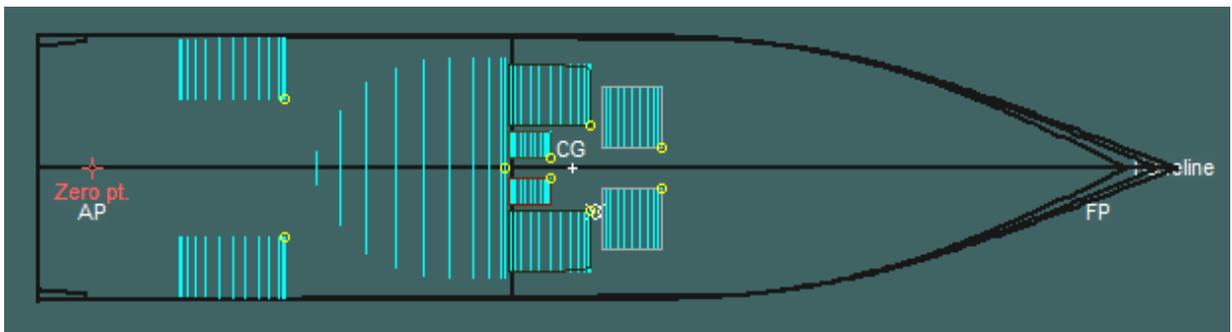
Sebelum memulai analisis stabilitas maka harus dibuat tata letak setiap tangki yang ada sesuai dengan volume setiap tangki yang telah dihitung sebelumnya. Pengaturan tata letak setiap tangki dapat dilihat pada Gambar IV. 15 di bawah ini.

Input							
	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces
1	F.W Tank (P)	Tank	98	100	1	Fresh Water	none
2	F.W Tank (S)	Tank	98	100	1	Fresh Water	none
3	Sewage Tank (P)	Tank	98	100	0.913	Slops	none
4	Sewage Tank (S)	Tank	98	100	0.913	Slops	none
5	Fuel Oil Tank (P)	Tank	98	100	0.9443	Fuel Oil	none
6	Fuel Oil Tank (S)	Tank	98	100	0.9443	Fuel Oil	none
7	LNG Tank (P)	Tank	98	100	0.7499	Unlead. Gas.	none
8	LNG Tank (S)	Tank	98	100	0.7499	Unlead. Gas.	none
9	Lube oil Tank	Tank	100	100	0.92	Lube Oil	none
10	diesel oil tank	Tank	100	100	0.84	Diesel	none

Room Definition										
Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A.Bott. m	Formed
4.36	9.65	-6.4	-3.4	4.7	1.45	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
4.36	9.65	3.4	6.4	4.7	1.45	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
9.65	20.65	-5.34	0	1.2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
9.65	20.65	0	5.34	1.2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20.91	24.91	-5.09	-2.09	2.2	1.2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20.91	24.91	2.09	5.09	2.2	1.2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
25.53	28.53	-4.01	-1.01	2.7	1.2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
25.53	28.53	1.01	4.01	2.7	1.2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20.91	22.91	-1.79	-0.49	2	1.2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20.91	22.91	0.49	1.79	2	1.2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Gambar IV. 15 Pengaturan setiap tangki kalibrasi

Setelah setiap tangki diatur pada menu *Room Definition Window* akan didapat hasil penempatan tangki pada kapal untuk selanjutnya di analisis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV. 16.



Gambar IV. 16 Hasil pengaturan setiap tangki pada kapal

Dengan menggunakan *software* Maxsurf Stability Advanced kita dapat melihat hasil pengecekan stabilitas tersebut sesuai kriteria atau syarat minimum yang ditetapkan oleh IMO pada *Section A 749 (18) on Intact Stability Code* pada setiap kondisi sudut oleng.

Results							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
6		angle of vanishing stability	180.0	deg			
7		shall not be less than (>=)	3.1513	m.deg	53.7162	Pass	+1604.57
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	180.0	deg			
16		shall not be less than (>=)	5.1566	m.deg	92.5748	Pass	+1695.27
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	180.0	deg			
25		shall not be less than (>=)	1.7189	m.deg	38.8586	Pass	+2160.67
26							

Gambar IV. 17 Hasil analisis *loadcase* pada Maxsurf Stability

Pada Gambar IV. 17 dapat dilihat hasil analisis *loadcase* pada Maxsurf sesuai syarat dan kriteria IMO pada setiap olengnya, pada gambar dapat dilihat kondisi *loadcase* memenuhi syarat yang ditetapkan IMO. Untuk hasil detail perhitungan setiap *Loadcase* ini dapat dilihat pada Lampiran A Tugas Akhir.

IV.5.9. Analisis Trim MPRV

Perhitungan trim dilakukan untuk mengetahui kondisi kapal apakah dalam keadaan trim buritan atau haluan, hal ini juga menjadi salah satu batasan dalam evaluasi desain.

Tabel IV. 23 Hasil perhitungan Trim kapal

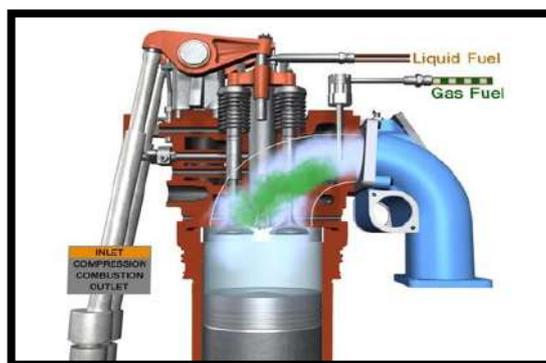
Trim Summary			
No	Item	Hasil	Satuan
1	KB/T	0,5543	m
2	KB	2,47	m
4	I _T	4233,5	-
5	B _{MT}	2,60	m
6	C _{IL}	0,0311	-
7	I _L	51388	-
8	B _{M_L}	31,55	m
9	G _{M_L}	28,51	m
10	Trim	0.16	m
11	0.5%L	0.252	m

Pada Tabel IV. 23 merupakan hasil rekapitulasi perhitungan trim dengan menggunakan metode yang sudah dijelaskan pada bab metodologi penelitian. Pada tabel telah ditunjukkan bahwa nilai trim sebesar 0.160 m (trim buritan), apabila dijadikan presentase akan menjadi 0.26%L, sehingga menurut kriteria selisih LCB dan LCG (trim) harus kurang dari 0.5% L yaitu kurang dari 0,252 m. Maka nilai trim sebesar 0,16 m masih memenuhi standar. Untuk detail dari perhitungan ini dapat dilihat pada Lampiran A laporan Tugas Akhir ini.

IV.6. Machinery Arrangement

IV.6.1. Proses Pembakaran LNG

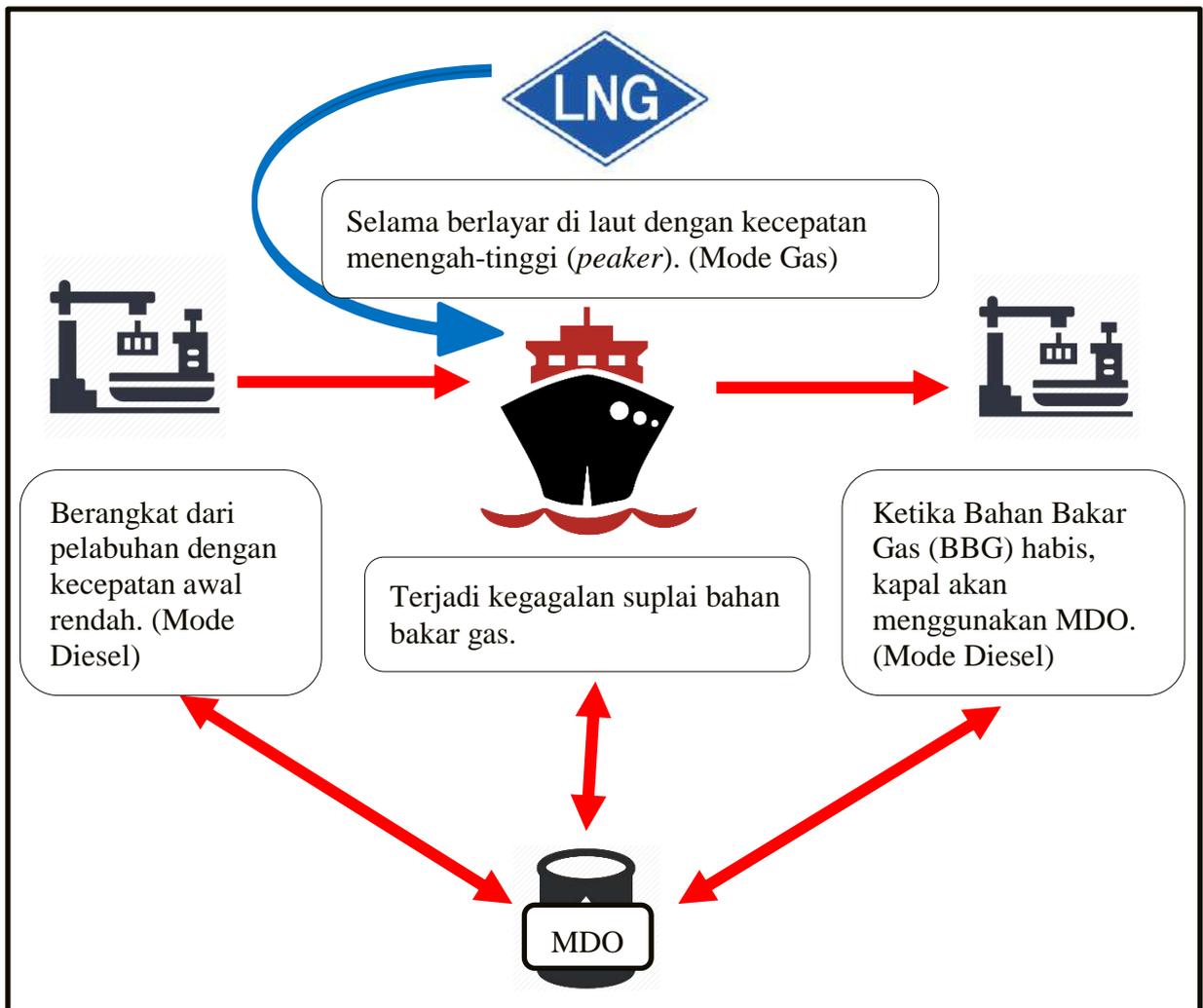
Bahan bakar gas (LNG) masuk melalui pipa *intake* bersamaan dengan percikan bahan bakar konvensional (MDF/MDO) sebagai pemicu (*pilot fuel*) pembakaran di dalam mesin *dual fuel* seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV. 18. BBG di-*intake* bersamaan dengan sejumlah kecil BBM sehingga dapat dilakukan pembakaran pada mesin.



Gambar IV. 18 Proses *intake* bahan bakar pada sistem *dual fuel*

IV.6.2. Skenario Sistem Penggerak Kapal (*Dual Fuel Engine*)

Pada dasarnya bahan bakar gas hanya dapat digunakan pada tenaga puncak (*peaker*). Untuk menggerakkan mesin kapal pada tenaga awal tetap membutuhkan bahan bakar minyak atau bahan bakar konvensional misalnya seperti saat akan bersandar maupun saat akan berlayar. Sehingga dapat dirancang skenario dalam pemilihan mode mesin *dual fuel* seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV. 19 di bawah ini.



Gambar IV. 19 Skenario mode penggerak *Dual Fuel* MPRV

Skenario penggunaan sistem *dual fuel engine* pada MPRV saat berlayar dan melakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar IV. 20 di bawah ini.



Gambar IV. 20 Skenario penggunaan *dual fuel engine* saat berlayar

- *Liquefied Natural Gas* (LNG) adalah gas alam yang dicairkan dengan didinginkan hingga mencapai suhu -162°C pada tekanan 1 atm untuk menjaga wujudnya tetap dalam keadaan cair. Sehingga dibutuhkan wadah yang memiliki sistem pendingin untuk menjaga LNG tetap dalam keadaan cair. Pada MPRV ini yang juga menggunakan LNG sebagai bahan bakar menyimpan LNG dalam *cryogenic tank*.
- Kebutuhan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) yaitu MDO dan Bahan Bakar Gas (BBG) yaitu LNG dihitung berdasarkan rute terjauh seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV. 20 yaitu dari titik 4 dari Pelabuhan Trisakti menuju Pelabuhan Tanjung Priok yang berjarak 919,47 km dan waktu tempuh yang dibutuhkan (kecepatan kapal maksimum) adalah 38,19 jam sehingga didapatkan kebutuhan LNG saat digunakan sebagai *main fuel* adalah 4,305 ton dengan volume LNG sebesar $9,523 \text{ m}^3$ dan kebutuhan MDO saat sebagai *pilot fuel* atau pemantik adalah 7,297 ton. Jumlah LNG tersebut merupakan 40% dari kebutuhan total bahan bakar selama pelayaran dan penelitian hal ini dikarenakan ruang akomodasi tempat penyimpanan tangki LNG pada kapal yang terbatas dan hanya mampu menyimpan kebutuhan LNG sampai 10 m^3 (berjumlah 2 *cryogenic tank*) sedangkan kebutuhan 60% digantikan oleh MDO ketika bahan bakar gas telah habis. Untuk detail perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A Tugas Akhir.

- Mesin *dual fuel* juga bisa digunakan sebagai mesin diesel biasa yaitu hanya menggunakan MDO sebagai bahan bakar, ketika MPRV hanya menggunakan MDO saja saat melakukan pelayaran total MDO yang dibutuhkan sebesar 12,16 ton.
- Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV. 20 di atas saat kapal hendak berlayar dari pelabuhan asal dengan kecepatan rendah dan ketika akan berlabuh di pelabuhan tujuan atau kapal akan melakukan penelitian di titik tertentu maka kapal menggunakan mesin dalam mode diesel sampai pada jarak ± 30 km dari titik keberangkatan. Sedangkan mode gas yaitu LNG digunakan hanya pada tenaga puncak (*peaker*) dengan kecepatan tinggi dimana proses pembakaran gas tetap melibatkan MDO sebagai proses pembakaran pada silinder mesin. Dikarenakan kebutuhan LNG yang dapat dibawa oleh kapal ini hanya 40% dari total kebutuhan bahan bakar pelayaran terjauh maka ketika pada saat LNG akan habis maka mesin *dual fuel* akan secara bertahap mengganti bahan bakar gas dengan bahan bakar minyak dan kapal menggunakan MDO sebagai bahan bakar untuk mengoperasikan kapal.

IV.6.3. Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar *Dual Fuel* dengan Konvensional

Untuk mengetahui tingkat kehematan bahan bakar mesin *Dual Fuel* yang digunakan maka dilakukan analisis perbandingan dengan mesin diesel biasa berbahan bakar minyak.

Tabel IV. 24 Perbandingan bahan bakar *dual fuel* dengan konvensional

PERBANDINGAN KEBUTUHAN BAHAN BAKAR JIKA MENGGUNAKAN MESIN DIESEL BIASA (KONVENSIONAL)					
Konvensional			<i>Dual Fuel</i>		
Kebutuhan MDO	12,19	ton/trip	Kebutuhan LNG	9,5258	m ³
Harga MDO	\$ 405	per ton	Harga LNG	\$ 8	per MMBtu
Harga MDO	Rp5.727.510	per ton	Harga LNG	\$ 180,09	per m ³
Harga MDO	Rp69.834.645	per trip	Harga LNG	Rp2.545.560,00	per m ³
Harga MDO	Rp1.396.692.898	per tahun	Harga LNG	Rp24.248.539,1	per trip
			Harga LNG	Rp484.970.783	per tahun
			Kebutuhan MDO	7,297	ton/trip
			Harga MDO	\$ 405	per ton
			Harga MDO	Rp5.727.510	per ton
			Harga MDO	Rp41.794.977	per trip

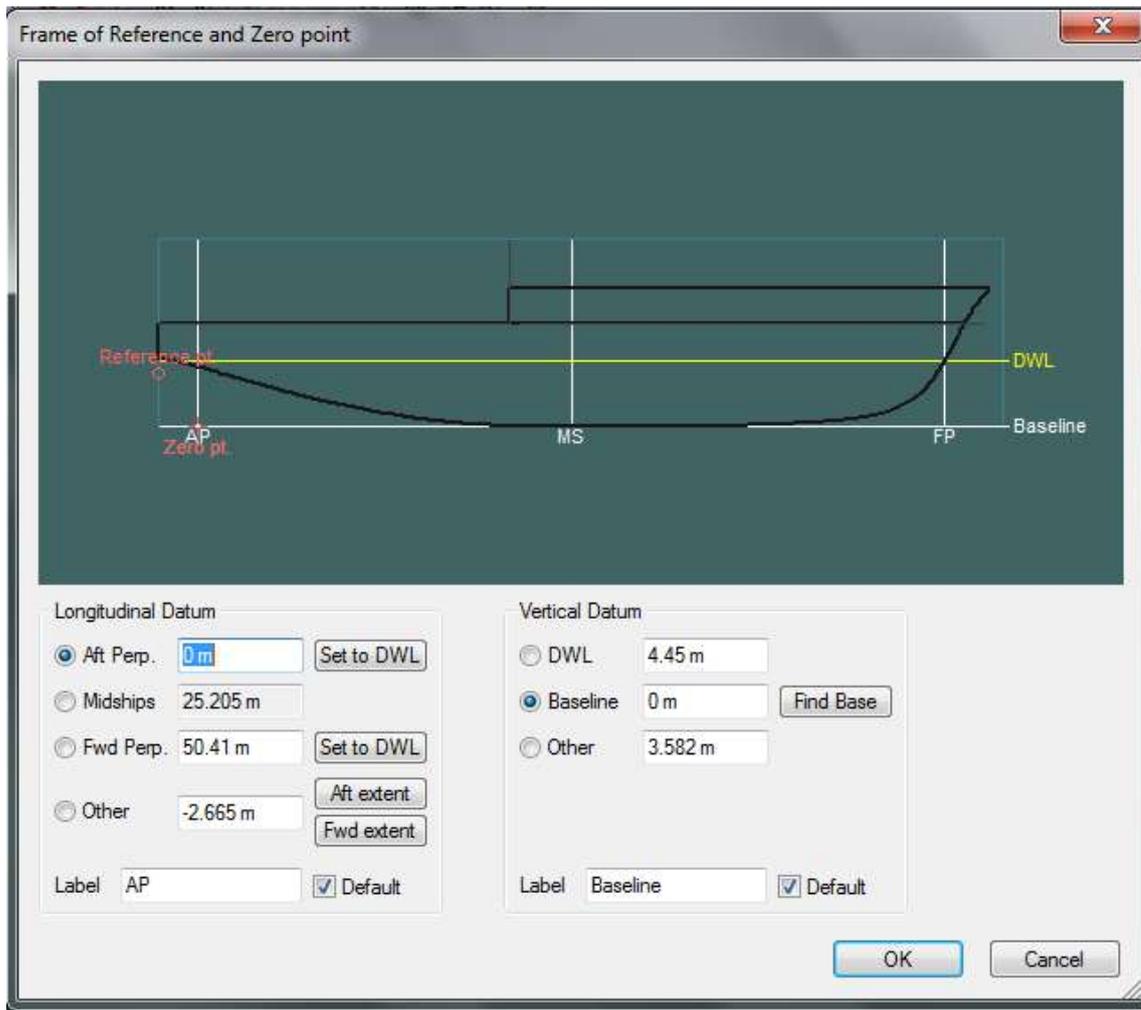
			Harga MDO	Rp835.899.537	per tahun
TOTAL HARGA	Rp1.396.692.898	per tahun	TOTAL HARGA	Rp1.320.870.320	per tahun

Dari Tabel IV. 24 dapat dilihat bahwa penggunaan bahan bakar dual fuel (LNG dan MDO) jauh lebih hemat dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar konvensional yaitu MDO saja. Pengeluaran biaya per tahun untuk sistem konvensional yaitu sebesar **Rp 1.396.692.898** dan untuk *dual fuel* sebesar **Rp 1.320.870.320**. Jadi penggunaan bahan bakar *dual fuel* (LNG dan MDO) dapat menghemat **5,43%** biaya operasional dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *konvensional* yaitu MDO.

IV.7. Pembuatan Rencana Garis (*Lines Plan*)

Untuk merancang sebuah kapal maka yang pertama dilakukan adalah pembuatan Rencana Garis. Dalam pembuatan Rencana Garis ini digunakan *software* Maxsurf Modeller V20. Caranya adalah dengan perpaduan antara *software* Maxsurf dengan AutoCAD. Pada Program *software* Maxsurf tersebut juga disediakan beberapa desain dasar kapal, seperti *Tanker Bow, series 60, ship 1, ship 2, ship 3* dan sebagainya. Dengan memanfaatkan desain dasar tersebut (berupa bagian bentuk kapal), maka bisa dibuat bagian kapal lainnya dengan menggunakan bentuk-bentuk dasar seperti model kapal yang dipilih. Dalam mendesain model kapal *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) menggunakan Maxsurf, dipilih sample design kapal *Frigate* yang memiliki karakteristik model lambung hampir menyerupai kapal riset pada umumnya.

Dari model kemudian dimasukkan ukuran yang diinginkan, maka bentuk garis baru telah didapatkan. Penggunaan metode ini harus memperhatikan beberapa aspek. Yaitu tipe kapal, C_b , dan LCB. Rencana Garis yang akan dibuat tidak boleh memiliki nilai C_b dan LCB yang berbeda jauh dari perhitungan desain awal. Kemudian dilakukan penentuan *zero point*. Pada perancangan ini *zero point* ditentukan pada *base line* di AP. Selanjutnya *zero point* tersebut diaplikasikan ke desain. Pada proses ini dilakukan juga penentuan sarat *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) dan penentuan panjang perpendicular (L_{PP}).



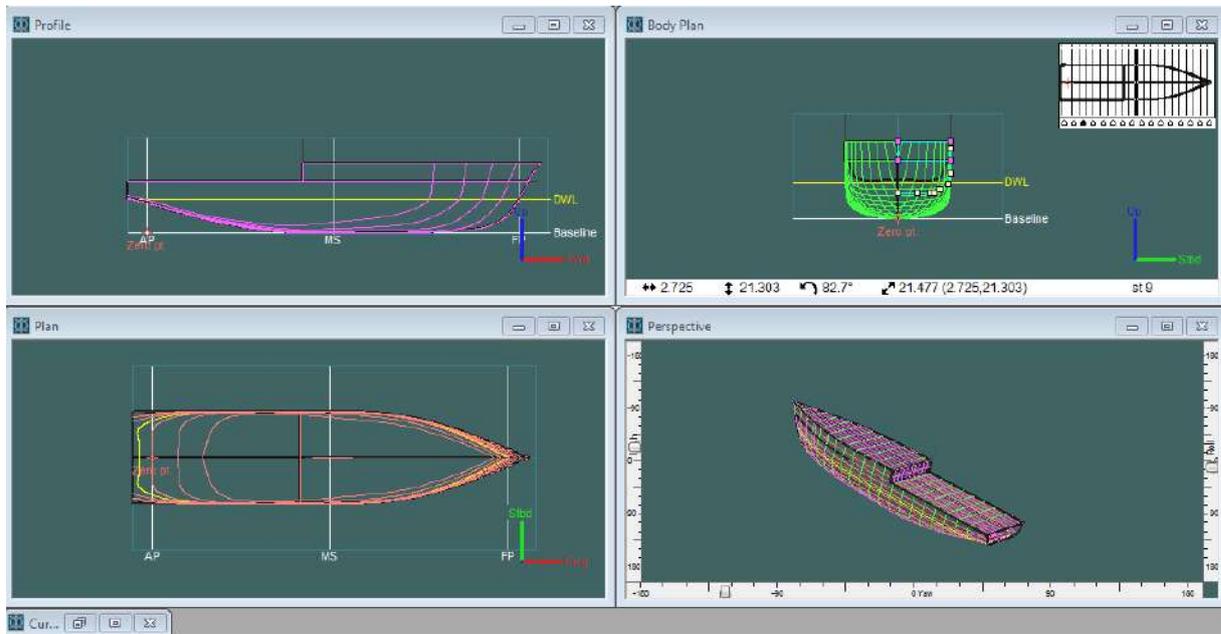
Gambar IV. 21 Proses desain Lines Plan MPRV

Gambar IV. 21 adalah proses desain awal pembuatan *Lines Plan* kapal dengan memasukkan data kapal seperti Lpp, sarat dan penentuan *zero point* kapal di AP. Pada desain awal model kapal di Maxsurf terdapat *control point* yang digunakan untuk menentukan bentuk *body* kapal, *control point* tersebut bisa di pindah-pindah sehingga bentuk *lines plan* dapat sesuai dengan yang diinginkan. Tetapi jika *control point* tersebut di pindah maka nilai-nilai ukuran utama dan koefisien-koefisiennya akan berubah. Dalam Maxsurf bisa melihat nilai-nilai ukuran utama dan koefisien-koefisien kapal setelah diubah pada menu *Calculate Hydrostatic*.

Penentuan jumlah *waterline*, *buttock line*, dan *station* ditentukan di maxsurf. Dengan memasukkan jumlah garis dan jarak antar garis pada menu *Design Grid*, maka bentuk *body plan*, *sheer plan*, dan *half breadth plan* bisa terlihat dengan jelas. Ditentukan jumlah station yaitu 21 buah termasuk AP dan FP. Dengan jarak station 2.52 m. Jumlah *waterline* ditentukan

10 buah dengan jarak *waterline* 1 m dan sarat 4,45 m. Untuk jumlah garis *buttock* ditentukan 10 buah dengan jarak sama selebar kapal.

Setelah semua langkah–langkah di atas dilaksanakan maka akan tampak hasil tampilan secara keseluruhan desain rencana garis *Multi-Purpose Research Vessel (MPRV)* dapat dilihat pada gambar Gambar IV. 22.



Gambar IV. 22 Proses pembuatan *Lines Plan* MPRV

Dari model tersebut juga bisa langsung diketahui bagaimana karakteristik badan kapal model apakah telah sesuai dengan hasil perhitungan teknis atau belum. Nilai yang muncul harus sama atau setidaknya mendekati nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan teknis yang sebelumnya telah dilakukan. Adapun karakteristik model tersebut dapat di analisis pada menu *Calculate Hydrostatic* pada *software* Maxsurf Modeler.

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1669	t
2	Volume (displaced)	1628.755	m ³
3	Draft Amidships	4.450	m
4	Immersed depth	4.452	m
5	WL Length	52.426	m
6	Beam max extents o	12.876	m
7	Wetted Area	771.841	m ²
8	Max sect. area	49.019	m ²
9	Waterpl. Area	560.788	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.634	
11	Block coeff. (Cb)	0.542	
12	Max Sect. area coeff	0.864	
13	Waterpl. area coeff.	0.831	
14	LCB length	23.898	from af
15	LCF length	21.337	from af
16	LCB %	45.585	from af
17	LCF %	40.699	from af
18	KB	2.719	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMt	4.054	m
21	BML	60.082	m
22	Gmt corrected	6.773	m
23	GML	62.801	m
24	KMt	6.773	m
25	KML	62.801	m
26	Immersion (TPc)	5.748	tonne/c
27	MTC	20.798	tonne.
28	RM at 1deg = Gmt.Di	197.333	tonne.

Density (water)

Std. densities

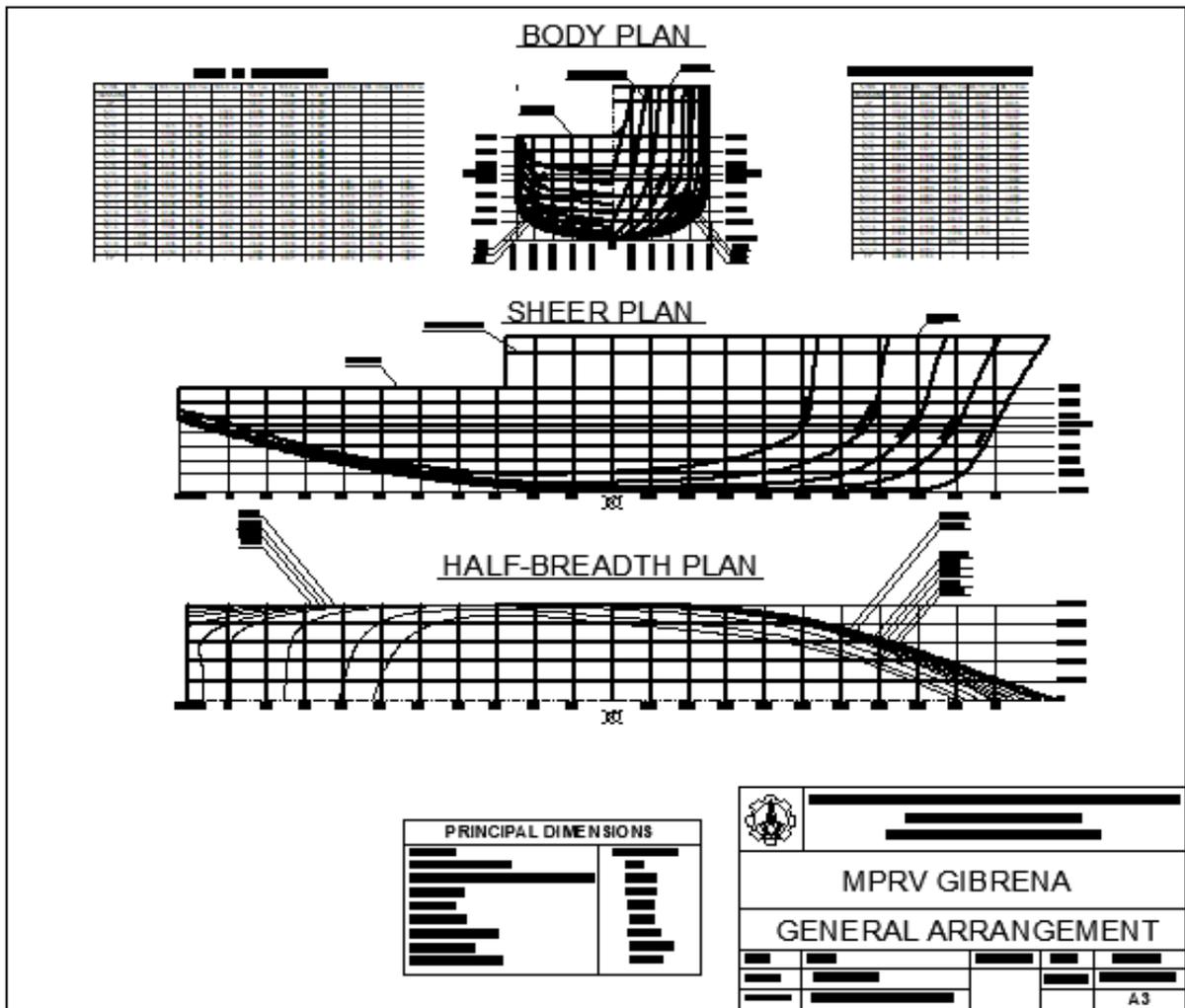
VCG

Gambar IV. 23 Hasil analisis karakteristik hidrostatis kapal

Pada Gambar IV. 23 menunjukkan hasil analisis hidrostatis pemodelan kapal, dimana hasil yang diperoleh sama atau tidak berbeda jauh dengan hasil perhitungan teknis awal kapal yang dilakukan sebelumnya, seperti nilai *displacement*, *Cb*, *LCB*, *LCF*, dan *LWL*.

Dari model gambar *body plan*, *sheer plan*, dan *half breadth plan* kemudian diekspor ke dalam *software* AutoCAD untuk kemudian diperhalus tampilannya. Sehingga didapatkan

gambar Rencana Garis seperti pada Gambar IV. 24. Untuk gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran B laporan Tugas Akhir ini.



Gambar IV. 24 Desain *Lines Plan* MPRV

IV.8. Pembuatan Rencana Umum (*General Arrangement*)

Setelah rencana garis selesai dibuat, selanjutnya adalah pembuatan rencana umum. Rencana Umum berisi perencanaan peletakan muatan, peletakan perlengkapan dan peralatan, pembagian sekat, dan sebagainya. Berikut adalah beberapa pertimbangan yang dilakukan dalam pembuatan Rencana Umum.

- *Basic function* kapal

Multi-Purpose Research Vessel (MPRV) adalah suatu kapal *special purpose* yang fungsinya dalah untuk melakukan penelitian di laut. *Basic function* dari kapal ini adalah membawa segala peralatan penelitian termasuk peneliti yang ada didalamnya untuk melaksanakan kegiatan riset atau penelitian di laut sesuai dengan fungsinya.

- Ruang laboratorium dan peralatan penelitian

Basic function dari kapal ini adalah membawa segala peralatan penelitian termasuk peneliti yang ada didalamnya untuk melaksanakan kegiatan riset atau penelitian di laut sesuai dengan fungsinya. MPRV ini didesain memiliki 5 laboratorium utama dan segala peralatan penelitian pendukung didalamnya.

- Ruang akomodasi kru dan peneliti

MPRV ini mengangkut kru dan peneliti dengan jumlah 57 orang, sehingga kebutuhan ruang akomodasi harus terpenuhi sesuai standar regulasi yang berlaku. Jumlah ruang akomodasi pada MPRV ini berjumlah 14 kamar pada *tween deck* dan 6 kamar pada *forecastle deck*.

- Perencanaan tangki-tangki

- Tangki bahan bakar (*Fuel oil tank*)

Tangki bahan bakar diletakkan pada bagian *double bottom* dan terpisah dari kamar mesin dengan pertimbangan agar terhindar dari panas mesin saat beroperasi. Tangki bahan bakar yaitu bahan bakar minyak (MDO) dan *lubricating oil* diletakkan pada gading ke 35 s/d 42 dengan total volume tangki adalah 32,029 m³.

- Tangki bahan bakar (*LNG tank*)

Tangki LNG jenis *cryogenic tank* ditempatkan pada bagian *double bottom* pada jarak gading ke 44 s/d 47 dengan jumlah 2 buah tangki berkapasitas masing-masing 5 m³.

- Tangki air tawar (*Fresh water tank*)

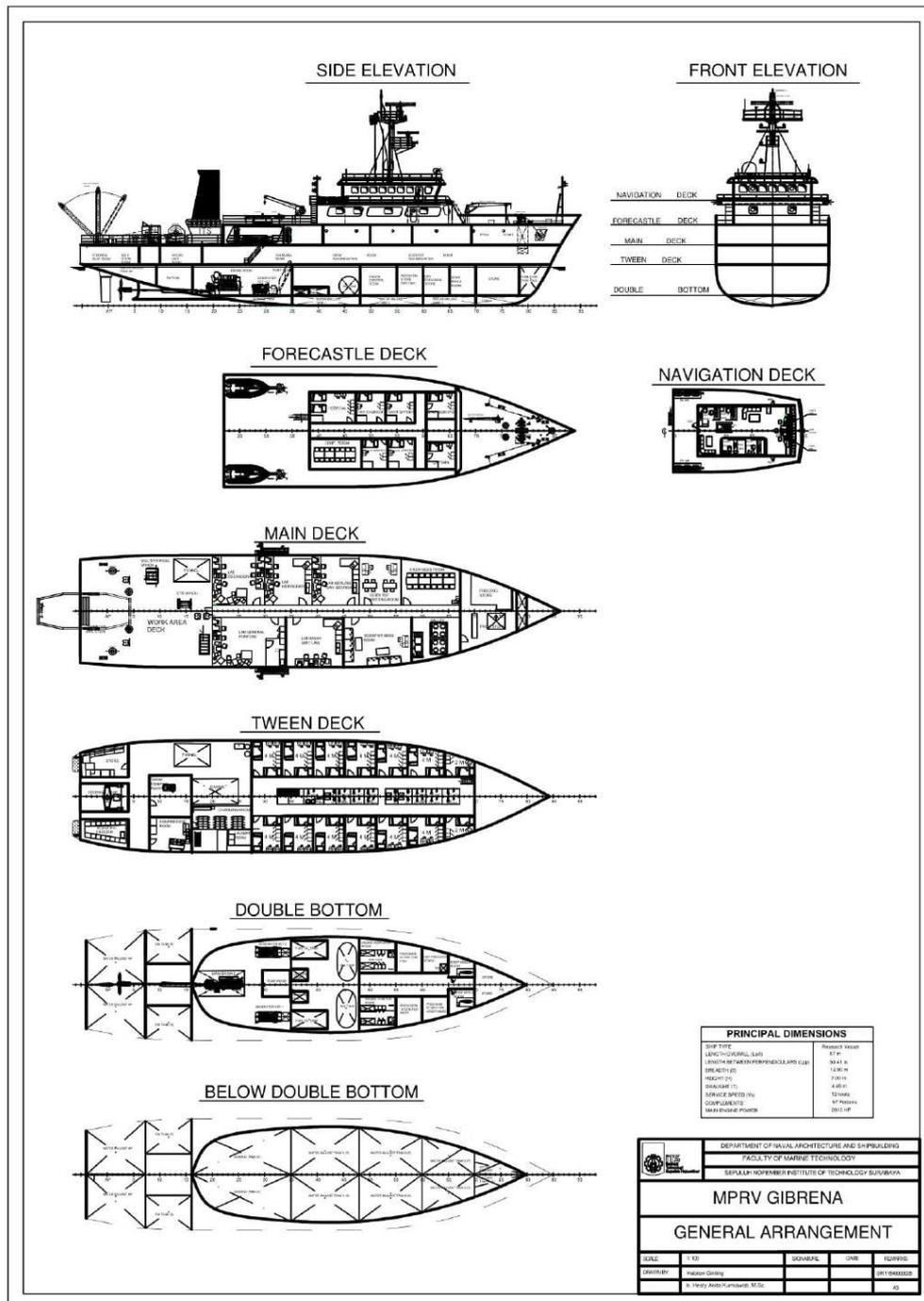
Tangki air tawar diletakkan pada bagian *after peak* terletak diantara gading -4 s/d 5 volume tangki yang direncanakan adalah 97,504 m³.

- Sistem propulsi

Kapal *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) ini membutuhkan kecepatan dan kemampuan manuver yang cukup baik. Sistem propulsi ini memiliki satu propeller dan satu mesin utama yang berbahan bakar ganda (*dual fuel*) sehingga mempunyai kelebihan dalam segi *efficiency* dan emisi gas buang.

Berdasarkan perencanaan peletakan ruangan laboratorium, ruangan akomodasi, perencanaan tangki-tangki, peletakan perlengkapan dan peralatan fasilitas kapal *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV), pembagian sekat serta mempertimbangkan beberapa hal lainnya,

maka didapatkan desain Rencana Umum akhir dari *Multi-Purpose Research Vessel (MPRV)* seperti tampak pada Gambar IV. 25. Untuk gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran C laporan Tugas Akhir ini.



Gambar IV. 25 Desain *General Arrangement* MPRV

IV.9. Pembuatan *Safety Plan*

Pembuatan *safety plan* didasari pada didasari atas kebutuhan keselamatan pada kapal khususnya kapal yang mengangkut banyak penumpang. Oleh karena itu, harus disiapkan *fire and safety plan*.

- Penentuan sistem keselamatan

Untuk alat-alat keselamatan perencanaan didasarkan pada "SOLAS 74/78".

Adapun beberapa peralatan keselamatan yang digunakan antara lain:

- Pelampung Penolong (*Lifebuoy*)

Adapun ketentuan-ketentuan dalam menentukan pelampung adalah sebagai berikut:

- Kapal dilengkapi dengan pelampung sebanyak 20 buah, 10 buah dilambung kanan dan 10 buah dilambung kiri.
- Warnanya cerah dan mudah dilihat, harus mampu menahan di air tawar selama 24 jam.
- Diletakkan pada dinding dan kubu-kubu serta dilengkapi tali.
- Dilengkapi dengan lampu yang bisa menyala secara otomatis jika jatuh ke laut pada malam hari.
- Diletakan ditempat yang mudah dilihat dan dijangkau.

- Baju Penolong (*Life Jacket*)

Adapun ketentuan-ketentuan yang digunakan untuk menentukan baju penolong adalah sebagai berikut:

- Setiap ABK dilengkapi dengan satu baju penolong
- Baju penolong disimpan di tiap lemari dari ABK
- Life jacket harus mampu menahan dalam air tawar selama 24 jam, berat 7,5 kg besi.
- Jumlah baju penolong = Jumlah ABK + 5%

$$= 57 + 3$$

$$= 60 \text{ buah}$$

- Tanda- Tanda Bahaya dengan Sinyal atau Radio

Kapal dilengkapi dengan tanda bahaya. Untuk menunjukkan tanda bahaya bisa menggunakan sinyal ataupun radio. Tanda bahaya yang berupa sinyal seperti:

- Lampu menyala

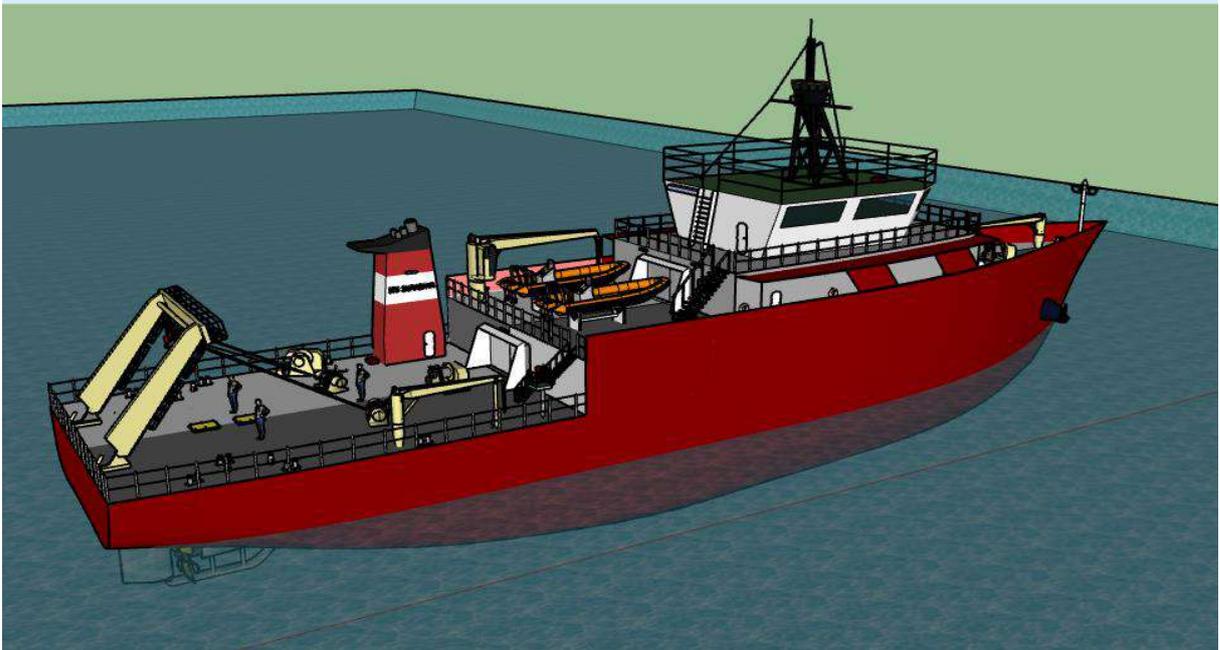
- Asap
 - Roket
 - Lampu sorot
 - Cermin
- Alat Pemadam Kebakaran

Alat pemadam kebakaran diletakkan di tempat-tempat yang memungkinkan terjadinya kebakaran, misalnya pada gang, kamar mesin ataupun dapur. Ada berbagai tipe, umumnya seperti yang ada di darat. Sistem pemadam kebakaran berupa *foam*. Sistem ini dibuat dalam tangki khusus *foam* dan pembuatannya dapat dilakukan di atas kapal. Selain itu terdapat juga sistem pemadam kebakaran berupa pompa air. Kecepatan dan tekanan pompa harus mampu mencapai dek teratas dan saluran selang terdapat pada tiap dek.

Hasil desain *Safety Plan* dapat dilihat pada Gambar IV. 26. Untuk Gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran D laporan Tugas Akhir ini.

IV.10. Pemodelan 3D

Tahapan berikutnya adalah membuat pemodelan 3 dimensi dari kapal ini. Pemodelan 3D dibuat menggunakan bantuan *software* Maxsurf Modeller dan *software* Sketch Up. Untuk hasil yang lebih jelas dari pemodelan 3D dapat dilihat pada Lampiran E Tugas Akhir.



Gambar IV. 27 Pemodelan 3D MPRV

Pada Gambar IV. 27 menunjukkan pemodelan 3D MPRV tampak samping dan tampak atas, sedangkan pemodelan 3D ruangan ilmiah (laboratorium) pada MPRV dapat dilihat pada Gambar IV. 28.



Gambar IV. 28 Pemodelan 3D laboratorium MPRV

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis teknis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Payload* dari *Dual Fuel Multi-Purpose Research Vessel* adalah kebutuhan luasan ruangan ilmiah (laboratorium), peralatan penelitian serta jumlah kru dan peneliti (*scientist*). Kebutuhan total *payload* MPRV adalah sebagai berikut:

Luas laboratorium pada <i>Main Deck</i>	= 190,80 m ²
Luas ruang akomodasi pada <i>Tween Deck</i>	= 450,924 m ²
Berat Peralatan Penelitian	= 17,077 ton
Jumlah <i>scientist</i> dan kru kapal	= 57 orang

2. Dari hasil analisis teknis didapatkan ukuran utama MPRV sebagai berikut:

Panjang (Lpp)	= 50,41 m	Kecepatan Dinas (Vs)	= 13,00 knot
Lebar (B)	= 12,90 m	Tinggi (H)	= 7,00 m
Sarat (T)	= 4,45 m		

Desain kapal yang digunakan merupakan pengembangan dari desain yang ada dengan dasar pemenuhan karakteristik pada tabel II.1. Pada perhitungan *freeboard* menurut ICLL 1966, *total freeboard* untuk MPRV adalah sebesar 830,13 mm dengan *actual freeboard* 2550 mm. Serta kondisi stabilitas telah memenuhi kriteria *Intact Stability (IS) Code Reg. III/3.1*.

3. Desain Rencana Garis dan desain Rencana Umum yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan peneliti dan kru dalam melakukan riset, dengan kompetensi sebagai berikut:
 - Fasilitas ilmiah kapal riset terdiri dari laboratorium, luasan dek terbuka, akomodasi, area penyimpanan untuk peralatan ilmiah, persediaan (*supplies*), dan perkakas ilmiah seperti *winches*, *lifting frames*, dan *cranes*.
 - Dek terbuka pada bagian haluan dan transom untuk operasi dan penanganan peralatan towing; jalan/lintasan yang terbuka pada dek-dek untuk observasi;
 - Akomodasi pada dek bagian atas dengan jendela ke luar sebagai peningkatan kondisi kelayakan hidup di laut.

4. Desain *Safety Plan* dilampirkan pada Lampiran D.
5. Pemodelan 3D dilampirkan pada Lampiran E.
6. Setelah melakukan analisis perbandingan kebutuhan bahan bakar *dual fuel* dengan konvensional didapatkan hasil penggunaan bahan bakar *dual fuel* (LNG dan MDO) mampu menghemat 5,43% biaya operasional dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar konvensional yaitu MDO. Pengeluaran biaya operasi setiap tahun untuk sistem *dual fuel* yaitu sebesar Rp 1.320.870.320 sedangkan untuk konvensional sebesar Rp 1.396.692.898.

V.2. Saran

Saran yang dapat diberikan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya tinjauan atau perhitungan lebih rinci terhadap aspek konstruksi dan kekuatan MPRV, mengingat pada Tugas Akhir ini masih banyak digunakan perhitungan secara pendekatan.
2. Tinjauan lebih dalam mengenai arsitektur serta manajemen peralatan riset dan ruang ilmiah dari MPRV perlu dilakukan, mengingat terbatasnya ilmu mengenai manajemen dan juga pengelolaan peralatan riset dan ruangan ilmiah yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- “ Jean-Charcot ” A *Multi-Purpose Research Vessel*. Diambil Maret, 24, 2018 dari website <https://journals.lib.unb.ca/index.php/ihr/article/viewFile/24040/27825>
- Arismunandar, W, & Tsuda K. (1993). *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Pradaya Paramita. Jakarta.
- Artileri. (2015, Mei 15). *Artileri*. Retrieved from <http://www.artileri.org/2015/01/kecanggihan-kapal-osv-190-sc-wb-tni-al.html>
- Bayu, Gede. (2017). Tugas Akhir. *Desain Dual Fuel LNG Carrier Untuk Suplai Bahan Bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)*. Surabaya: ITS.
- Columbia University (2011). *Guidelines for Laboratory Design (2nd Ed.)*. New York: Columbia University.
- Daidola, John C., and James J. Griffin. (1986). *Developments in the Design of Oceanographic Ships*. SNAME, Transactions, Vol. 94 : 121–58.
- Daidola, John C. (2003). *Oceanographic Research Ships*. In *Ship Design and Construction*, edited by Thomas Lamb, 1 and 2:1131. New Jersey.
- Detik Finance. (2017, Februari 7) *Ada cadangan minyak dan gas di Laut Jawa hingga Papua*. Diambil Maret, 12, 2018 dari website <https://finance.detik.com/energi/d-3415401/ada-cadangan-minyak-dan-gas-di-laut-selatan-jawa-hingga-papua>
- Dimas, E. W. (2014). *Paper High speed Ship Total Resistance Calculation (An Empirical Study)*. Surabaya. Staf Pengajar Politeknik Perkapal Negeri Surabaya. ITS.
- Evans, J. H. (1959). *Basic Design Concepts, Naval Engineers Journal*, Vol. 71. USA.
- Google maps. Diambil Maret 13, 2018 dari website <https://www.google.co.id/maps/place/Laut+Jawa/>
- Haq, G. W. (2015).Tugas Akhir. *Desain Self-Propelled Container Barge (SPCB) Pengangkut Peti Kemas Berbasis Jalur Sungai Pada Program “Tol Sungai” Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok*. Surabaya: ITS.
- IMO. (1966). *International Convention on Load Lines*. London: Lloyd's Register.
- IMO. (1974). *International Convention for the Safety of Life at Sea*. London: Lloyd's Register.
- International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code). Diambil Maret, 13, 2018 dari website <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/IGF-Code.aspx>
- International Maritime Organization (IMO). (1974). *Intact Stability Code*. IMO.
- International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)*. London: IMO Publishing.
- Julianto, Arie. (2017).Tugas Akhir. *Desain Dual Fuel LNG Carrier Sebagai Sarana Distribusi LNG di Perairan Kepulauan Riau*. Surabaya: ITS.
- Kurniawati, H.A. (2009). *Lecture Handout Ship Outfitting*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision*. New Jersey: SNAME.
- Lipi.go.id. (2016, April 25) *Lipi Ajukan Kapal Baru*. Diambil Maret, 7, 2018 dari website

- <http://lipi.go.id/lipimedia/single/LIPI-AJUKAN-KAPAL-BARU/15450>
- Manning, G. C. (1956). *The Theory and Technique of Ship Design*. New York: John Wiley & Sons.
- National Research Council (U.S.), ed. (2003). *Enabling Ocean Research in the 21st Century: Implementation of a Network of Ocean Observatories*. Washington, D.C: National Academies Press.
- National Research Council, and others. (2009) *Meeting Future Oceanographic Goals with a Robust Academic Research Fleet*. National Academies Press.
- Neufert, E. (1980) *Neufert Architects' Data*. Oxford: Blackwell Science.
- NOAA. (2015, Mei 16). *National oceanic and atmospheric administration*. Diambil kembali dari http://www.noaa.gov/stories/2009/20090202_brown.html
- Oxyman. (2018, Mei 16). Wikipedia. Diambil kembali dari http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Geo_Caspian_Panama_IMO_9525560.jpg
- Papanikolaou, A. (2014). *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. Michigan: University of Michigan
- Rosenblatt, L. (1961). *The Design of Modern Oceanographic Research Ships*. Transactions-The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Schneekluth, H., & Betram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy (second edition)*. Butterworth-Heinemann.
- Sinambela, B. (2016). Tugas Akhir. *Perancangan Kapal Riset untuk Perairan Laut Nusa Tenggara Timur*. Semarang: Undip.
- Sirojudin, M. (2017). Tugas Akhir. *Desain Marine Disaster Prevention Ships (MDPS) Untuk Mengawasi, Menangani, dan Mencegah Pencemaran Laut di Area Pelabuhan Tanjung Perak*. Surabaya: ITS.
- Teacher Buet. (2015, December 23). *Name 323: Resistance and Propulsion of Ships*. Diambil April 24, 2018, dari: http://teacher.buet.ac.bd/mmkarim/name_323.htm
- Towards a New Danish Research Vessel. Diambil April, 11, 2018 Dari website [http://www.ervogroup.eu/np4/%7B\\$clientServletPath%7D/?newsId=28&fileName=27.pdf](http://www.ervogroup.eu/np4/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=28&fileName=27.pdf)
- UNOLS. (2007, Agustus) *Science Mission Requirements for Ocean Class Oceanographic Research Vessels*. Diambil Oktober, 7, 2018 dari website <https://www.unols.org/document/ocean-class-research-vessel-science-mission-requirements-2007>
- Wartsila. (2016). *Wartsila Dual Fuel Engine*. Retrieved from Wartsila: <http://www.wartsila.com>
- Watson, D.G.M. (1998). *PRACTICAL SHIP DESIGN VOLUME I*. London. Elsevier Ocean Engineering Book Series
- Xylon, Rhesa. (2017). Tugas Akhir. *Studi Pengembangan Desain Kapal Bantu Hidro-Oseanografi Tipe Multi Purpose Research Vessel (MPRV) Sebagai Infrastruktur Survei dan Pemetaan Laut di Indonesia*. Surabaya: ITS.

LAMPIRAN

Daftar Lampiran ini terdiri dari:

LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS

LAMPIRAN B RENCANA GARIS *MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL*

LAMPIRAN C RENCANA UMUM *MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL*

LAMPIRAN D *SAFETY PLAN MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL*

LAMPIRAN E PEMODELAN 3D

LAMPIRAN F KATALOG

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN TEKNIS *MULTI-PURPOSE RESEARCH*
VESSEL

Payload

PADA MAIN DECK

No.	RUANGAN		Jumlah	Ukuran				
				Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Luas Standard (m ²)	Status
1	Laboratorium	Lab. Hidrografi	1	5.4	6	32.4	27.87	Memenuhi
		Lab. Oseanografi Fisika, Biologi, dan Kimia	1	6	6	36	27.87	Memenuhi
		Lab. Geologi dan Geofisika	1	5.4	6	32.4	27.87	Memenuhi
		Lab. Basah (<i>Wet Lab</i>)	1	6.6	6	39.6	37.16	Memenuhi
		Lab. Multipurpose	1	8.4	6	50.4	27.87	Memenuhi
Total Luas Laboratorium						190.8	185.81	Memenuhi
2	Work Space Area		1	14	12.9	180.6	139.35	Memenuhi
3	Scientist Mess Room		1	6.2	5.4	33.48		
4	Galley		1	5.6	6	33.6		
5	Scientist Meeting Room		1	4.5	6	27		
6	Crew Mess Room		1	7.1	6	42.6		
						Total =	698.88	

PADA TWEEN DECK

No.	RUANGAN		Jumlah	Ukuran			
				Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	
1	Kamar	Kamar Crew/Scientist (4 Orang)	12	4.2	5.4	272.16	
		kamar Crew/Scientist (2 Orang)	3	2.8	4	33.6	
		Kamar mandi/Toilet Scientist	6	1.5	1.8	16.2	
		Kamar mandi/Toilet Crew	6	1.5	1.8	16.2	
2	Ruang Ganti (<i>Changing Room</i>)		1	7.8	2.6	20.28	
3	Laundry Room		1	2.84	2.6	7.384	
4	Ruang Doa (<i>Pray Room</i>)		1	3	4	12	
5	Gudang (<i>Deck Store</i>)		1	4.8	7	33.6	
6	Bengkel (<i>Engine Workshop</i>)		1	4.8	4	19.2	
7	<i>Scientific Freezer</i>		1	5.8	3.5	20.3	
						Total =	450.924

2	Item	jumlah	berat	j x b/1000 kg	ton
	Peneliti + Kru kapal	60	80	4.8	ton

Peralatan Penelitian			
No	Nama Alat	Jumlah	Berat (ton)
1	Acoustic doppler current profiler (ADCP)	1	0.005
2	CTD & water sampler	2	0.05
3	Shallow water multi beam echo sounder s/d 12000 m	2	0.012
4	Seaquest Bathy Sub Bottom Profiler	1	0.016
5	Over Side Mounted Multibeam System	1	0.011
6	Sampling Equipment : 0.1 Box Corer, 0.3 Box Corer, Gravity Corer, Dredge Box, and	1	0.83
7	EK500 Fish Finder	1	0.005
8	Pengangkat (2 x crane cap. 5 ton)	2	10
9	Winch CTD (minimum 6000 m, untuk diameter cable/streamer 4 inchi)	1	2.1
10	Winch Multipurpose (minimum 8000 m, untuk diameter cable/streamer 4 inchi)	1	3.5
11	Dry laboratory equipment	1	0.3
12	SONAR	1	0.02
13	Side Scan Sonar (SSS)	1	0.007
14	Magnetometer	1	0.02
15	Automatic Weather System	1	0.2
16	Sound Velocity Sensor	1	0.001
Total Berat Peralatan =			17.077

TOTAL PAYLOAD =
=

berat peralatan penelitian
= 17.077

Perhitungan Koefisien

Input Data :

LPP = 50.41 m	L _o /B _o = 3.908	
H ₀ = 7.00 m	B _o /T _o = 2.899	9.70
B ₀ = 12.90 m	T _o /H _o = 0.636	
T ₀ = 4.45 m	Vs = 6.687 m/s	= 13 knot
Fn = 0.295	ρ = 1.025 ton/m ³	

Perhitungan :

Lwl		Loa	55.43
Lwl = LPP + 4% Lpp	91.755	D	3.12
= 52.426 m	-36.33	a	1.47
		e	0.53
		b	1.56

Froude Number

$$Fn_o = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} \quad , g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$= 0.295 \quad \rightarrow \quad 0,15 \leq Fn \leq 0,32$$

(PNA Vol II page 5)

Perhitungan ratio ukuran utama kapal :

L _o /B _o = 3.908	→	3.5 < L/B < 10	Accepted	<i>Ref: PNA Vol. I, page 19. and Parametric Design Chap. 11, page 9.</i>
B _o /T _o = 2.899	→	1.8 < B/T < 5	Accepted	
L _o /T _o = 11.328	→	10 < L/T < 30	Accepted	

Block Coefficient (Watson & Gilfillan) :

$$Cb = -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \quad \rightarrow \quad 0,15 \leq Fn \leq 0,32$$

$$= 0.541$$

(Parametric Design chapter 11 page 11)

Midship Section Coefficient (Series 60)

$$Cm = 0.977 + 0.085(Cb - 0.6) \quad \rightarrow \quad \text{(Parametric Design chapter 11 page 12)}$$

$$= 0.972$$

Waterplan Coefficient

$$Cwp = 0.18 + 0.86 \cdot Cp \quad \rightarrow \quad \text{(Parametric Design chapter 11 page 16)}$$

$$= 0.659$$

Prismatic Coefficient

$$Cp = Cb / Cm \quad \rightarrow \quad \text{(Parametric Design chapter 11 page 10)}$$

$$= 0.557$$

Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

$$LCB = (-13.5 + (19.4 \cdot Cp)) \quad \rightarrow \quad \text{(Parametric Design chapter 11 page 19)}$$

$$LCB \% = -2.697 \quad \% \text{ dari Midship}$$

$$LCB = -1.360 \quad \text{m dari Midship}$$

LCB dari AP:

$$LCB = 0.5 \cdot L_{pp} - LCB_{midship}$$

$$LCB = 23.859 \text{ m dari AP}$$

Volume (m³)

$$\nabla = L \times B \times T \times Cb$$

$$= 1628.97 \text{ m}^3$$

Δ (ton)

$$\Delta = L \times B \times T \times Cb \times \gamma$$

$$= 1669.69 \text{ ton}$$

Resistance Calculation (Holtrop & Mennen Method)

Input Data :

LPP =	50.41 m	C _b =	0.541
H ₀ =	7.00 m	C _m =	0.972
B ₀ =	12.9 m	C _{wp} =	0.659
T ₀ =	4.45 m	C _p =	0.557
F _n =	0.295	V _s =	6.687 m/s

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

Perhitungan :

Viscous Resistance

$$L_{wl} = 104\% \cdot L_{pp} = 52.426 \text{ m}$$

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} = 0.295$$

• C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)

(PNA Vol. II page 90)

$$R_n = L_{wl} \cdot \frac{V_s^3}{\nu} \quad \nu = 1.18831 \cdot 10^{-6}$$

$$= 295028925$$

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \quad \nu = 1.18831 \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.001792$$

Resistance of Appendages

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

$$= 1 + 0.011(0)$$

$$= 1$$

$$\frac{L_R}{L} = \frac{1 - C_p}{1 - C_p} + \frac{0.06 C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)} \quad 2.462230146$$

$$= 0.406$$

$$L_{wl}^3 / V = 88.458$$

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

$$= 1.257 \quad \text{(PNA Vol. II page 91)}$$

• Wetted Surface Area

(PNA Vol. II page 91)

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

$$= 10\% \cdot B \cdot T \cdot C_m$$

$$= 0 \rightarrow \text{tanpa bulb}$$

$$S = L(2T+B)C_M^{0.5} (0.4530+0.4425C_B -0.2862C_M -0.00346\frac{B}{T} +0.3696C_{wp}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$= 52.426 \times (2 \times 4.45 + 12.9) \times 0.972^{0.5} \times (0.453 + 0.4425 \times (0.541) - 0.2862(0.972) - 0.003467(12.9/4.45) + 0.3696(0.883))$$

$$= 729.932$$

$$S_{Rudder} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \frac{1.75 \cdot L \cdot T}{100} \cdot x^2 \quad \text{(Biro Klasifikasi Indonesia 2009 vol.II page 14-2)}$$

$$= ((1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1.75 \times 50.41 \times 4.45) / 100) \times 2$$

$$= 7.851$$

$$S_{bilge \text{ keel}} = L_{keel} \cdot H_{keel} \cdot 4 \quad L_{keel} = 0.6 \cdot C_b \cdot L \quad H_{keel} = 0.18 / (C_b - 0.2)$$

$$= 35.921 = 17.0261 = 0.527443937$$

S_{app} = total wetted surface of appendages
 $= S_{rudder} + S_{bilge}$
 $= 43.773$

S_{tot} = wetted surface of bare hull and appendages
 $= S + S_{app}$
 $= 729,932 + 43.773$
 $= 773.705$

• **Harga 1 + k₂**

(PNA Vol. II page 92)

Harga (1+k₂) = 1.3 -1.5 → rudder of single screw ship
 $= 1.4$ → for Bilge Keel

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

$$= (43.773 \times 1.4) / 43.773$$

$$= 1.4$$

0.245996124

$$1+k = 1+k_1 + \left[\frac{1+k_2 - (1+k_1)}{S_{tot}} \right] S_{app}$$

$$= 1.294 + (1.4 - 1.294) \times (40.479 / 4815.403)$$

$$= 1.265$$

Wave Making Resistance

(PNA Vol. II page 93)

$C_4 = B/L \rightarrow 0.11 \leq B/L \leq 0.25$, $B/L = 0.246$
 $= 0.246$

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

$$= 2223105 \times 0.162^{7861} \times (4.45/12.9)^{1.0796} \times (90 - 21.072)^{-1.3757}$$

$$= 10.300$$

$$i_E = 125.67 \frac{B}{L} - 162.25 C_p^{-2} + 234.32 C_p^{-3} + 0.155 \left(LCB + \frac{6.8(T - T_o)}{T} \right)^3$$

$$= 125.67(12.9/52.426) - 162.25(0.557)^{-2} + 234.32(0.557)^{-3} + 0.1551(1cb + (6.8(0)/4.45))^3$$

$$= 21.072$$

Even Keel → $T_a = T$
 $T_f = T$

• **Harga m₁**

$$C_5 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3 \rightarrow C_p \leq 0.8$$

$$= 1.405$$

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

$$= 0.01404(52.426/4.45) - 1.7525(1628.97^{1/3}/52.426) - 4.7932(12.9/52.426) - 1.217$$

$$= -2.813$$

• **Harga m₂**

$$C_6 = -1.69385 \rightarrow L^3 / \nabla \leq 512 \quad \frac{L^3}{\nabla} = 88.458$$

$$m_2 = C_6 \cdot 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad \frac{F_n^{-3.29}}{F_n^{-3.29}} = 55.57782$$

$$= 1.69385 \times e^{0.0045} \quad e^{-0.034 F_n^{-3.29}} = 0.15113$$

$$= -0.10239343$$

• **Harga λ**

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \rightarrow L/B \leq 12$$

$$= 1.446(0.557) - 0.03(52.426/12.9)$$

$$= 0.683$$

• **Harga C₂**

$$C_2 = 1 \rightarrow \text{without bulb} \quad d = -0.9$$

• **Harga C₃**

$$C_3 = 1 - 0.8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M) \quad A_T = 0 \quad m^2$$

$$= 1 - 0.8(14) / (23 \times 8.5 \times 0.995) \quad A_T = \text{the immersed area of the transom at zero speed}$$

$$= 1$$

• **Harga R_w/w**

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

$$= 2.697 \times 1 \times 1 \times e^{\{2076 \times 0.214^4(0.9) + (-0.003) \cos(0.871 \times 0.214^4(-2))\}}$$

$$= 0.0027$$

- C_A (Correlation Allowance)

$$\begin{aligned}
 C_A &= 0.006 (Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 && \rightarrow Tf/Lwl \geq 0.04 && Tf/Lwl = 0.085 \\
 &= 0.006(52.426 + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\
 &= 0.0006
 \end{aligned}$$

- W (gaya berat)

$$\begin{aligned}
 W &= \rho \cdot g \cdot \nabla \\
 &= 1025 \times 9.81 \times 1628.97 \\
 &= 16379678.841 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- R_{total}

$$\begin{aligned}
 R_T &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{ref} [C_x (1 + k) + C_A] + \frac{R_{pr}}{W} W \\
 &= 95330.229 \text{ N} \\
 &= 95.330 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- $R_{total} + 15\%$ (margin)

$$= 109.630 \text{ kN}$$

Propulsion & Power Calculation

Input Data :

R _T =	95.330	D =	2.893
P/D =	0.95	Z =	4
n (rpm) =	1200	AE/AO =	0.4
n (rps) =	20.000		
Fn =	0.295	ρ =	1.025
Vs =	6.687 m/s	Rn propeler =	295028925

Perhitungan :

ω (Wake Friction)

(PNA Vol. II page 162-163)

$$C_v = (1+k).C_{FO} + C_A$$

$$= 1.257 \times 0.001792 + 0.0006$$

$$= 0.00290$$

$$\omega = 0,3 C_B + 10 C_v.C_B - 0,1 \quad \rightarrow t = 0,1 \text{ dan } \eta_R = 0,98$$

$$= (0.3 \times 0.541) + (10 \times 0.00248 \times 0.541) - 0.1$$

$$= 0.168$$

Propulsive Coefficient (η_D)

(PNA Vol. II page 152-153)

$$J = \frac{V_A}{nD} \quad \omega_F = \frac{V - V_A}{V_A} \quad V_A = V(1-\omega)$$

$$= 0.096 \quad = 0.202 \quad = 5.563$$

$$\eta_0 = 0.5 \quad \rightarrow \text{pemberian margin lose power}$$

$$\eta_h = \frac{1 - t}{1 - \omega} \quad t=0.1$$

$$= 1.0818$$

$$\eta_R = 0.98 \quad \rightarrow \text{Principle of Naval Architecture Vol II hlm.163}$$

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} \quad P_E = R_T.V_s \quad P_D = \frac{P_E}{\eta_H \eta_0 \eta_r \eta_s \eta_b \eta_t}$$

$$= 637,49/1202,583 \quad = 109.63 \times 6.687 \quad = 637.492$$

$$= 0.530 \quad = 1202.583$$

Perhitungan PB

$$\eta_R = \eta_B \eta_S = 0.99 \quad \rightarrow \text{Parametric Design Hlm. 31}$$

$$\eta_t = 0.975$$

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_H \eta_0 \eta_r \eta_s \eta_b \eta_t}$$

$$= 637,492 / (1.0818 \times 0.5 \times 0.511 \times 0.98 \times 0.975)$$

$$= 1245.878$$

Koreksi MCR

1635.0323

$$\text{Total } P_B = P_B / 0.85$$

$$\text{Total } P_B = 1465.738 \text{ kW}$$

$$\text{Total BHP} = 1992.818 \text{ HP}$$

$$25\% \text{ Total PB} = 366.434584 \text{ kW}$$

Main Engine

Generator

Pemilihan Mesin Induk 458.04323 kVA

Daya = 1465.738 kW
RPM = 210
L = 3973 mm
W = 1824 mm
H = 2329 mm
Dry mass = 11.1 ton

Pemilihan Genset

Daya = 366.43 kW
L = 4407 mm
W = 1700 mm
H = 2248 mm
Dry mass = 13.6 ton

Pemilihan Main Engine

BHP Total MCR	1465.74	KW
	1992.82	HP

Type of engine	Wartsila 8L20DF	
Engine output	1480	KW
	2010	HP
Engine speed (revolution)	1200	RPM
L	4099	mm
W	1824	mm
H	2391	mm
Dry mass	11.8	ton
Fuel Oil Consumption		
#Gas mode:		
Fuel Gas (FG) Cons	9090	kJ/kWh
	0.00017477	ton/kWh
Fuel oil (FO) Cons.	5.6	g/kWh
#Diesel mode:		
Fuel oil (FO) Cons.	197.5	g/kWh
Lubrication Oil Cons.	0.4	g/kWh

Dari katalog mesin

Dari katalog mesin

Dari katalog mesin

Dari katalog mesin

Konversi KJ/Kwh ke ton/Kwh

You are currently converting energy units from kilojoule to million tonnes liquefied natural gas

9090 kJ = 1.7477429062163 · 10⁻¹⁰ Mt LNG

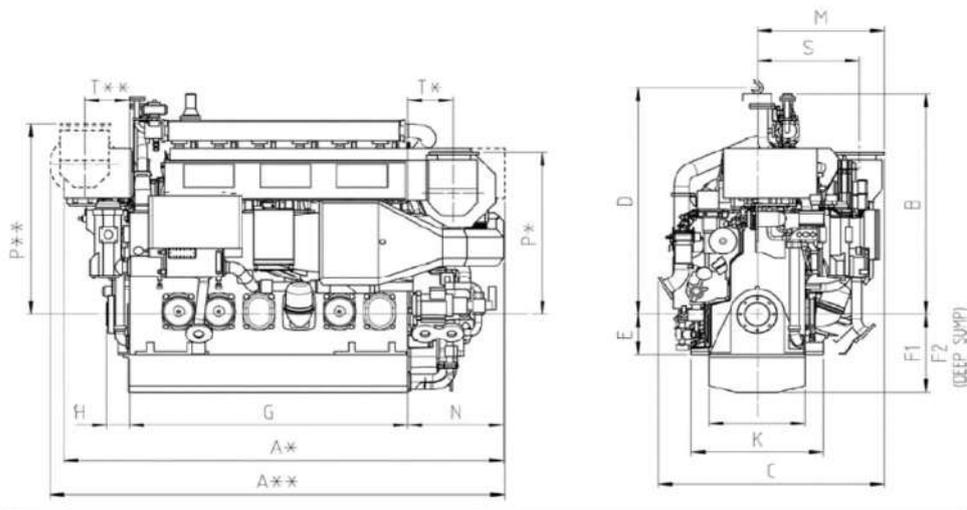
kilojoule kJ

↔

million tonnes liquefied natural gas Mt LNG

sumber: <https://www.unitjuggler.com/convert-energy-from-kJ-to-Btu.html>

Engine type	Main Engines		Generating sets			
	1200 rpm		1000 rpm		1200 rpm	
	kW	BHP	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
Wärtsilä 6L20DF	1056	1440	876	1050	1056	1270
	1110	1510	960	1150	1110	1330
Wärtsilä 8L20DF	1408	1920	1168	1400	1408	1690
	1480	2010	1280	1540	1480	1780
Wärtsilä 9L20DF	1584	2150	1314	1580	1584	1900
	1665	2260	1440	1730	1665	2000



Engine type	A*	A**	B	C*	C**	D	E	F1	F2	G	H
W 6L20DF	3218	3383	1767	1690	1690	1800	325	624	824	2080	155
W 8L20DF	3888	4099	1767	1824	1860	1800	325	624	824	2680	155
W 9L20DF	4200	4401	1767	1824	1845	1800	325	624	824	2980	155

Engine type	I	K	M*	M**	N*	N**	P*	P**	S*	S**	T*	T**
W 6L20DF	718	980	950	951	653	717	1297	1528	781	763	336	266
W 8L20DF	718	980	1084	1127	723	717	1390	1614	863	907	339	329
W 9L20DF	718	980	1084	1127	723	717	1390	1614	863	907	339	329

Engine type	Wet Sump*	Deep Sump*	Wet Sump**	Deep Sump*
W 6L20DF	9.3	9.5	9.5	9.7
W 8L20DF	11.6	11.8	-	-
W 9L20DF	12.6	12.8	13.1	13.4

Wärtsilä 8L20DF		AE/DE		AE/DE		ME	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	160		185		185	
Engine speed	rpm	1000		1200		1200	
Speed mode		Constant		Constant		Variable	
Engine output	kW	1280		1480		1480	
Mean effective pressure	MPa	2.18		2.1		2.1	
IMO compliance		Tier 3	Tier 2	Tier 3	Tier 2	Tier 3	Tier 2

Fuel consumption (Note 4)							
Total energy consumption at 100% load	kJ/kWh	8180	-	8330	-	8370	-
Total energy consumption at 85% load	kJ/kWh	8390	-	8510	-	8460	-
Total energy consumption at 75% load	kJ/kWh	8520	-	8720	-	8550	-
Total energy consumption at 50% load	kJ/kWh	9130	-	9500	-	9090	-
Fuel gas consumption at 100% load	kJ/kWh	8048	-	8189	-	8222	-
Fuel gas consumption at 85% load	kJ/kWh	8219	-	8314	-	8286	-
Fuel gas consumption at 75% load	kJ/kWh	8326	-	8493	-	8359	-
Fuel gas consumption at 50% load	kJ/kWh	8862	-	9211	-	8859	-
Fuel oil consumption at 100% load	g/kWh	3.2	194.6	3.5	197.2	3.6	196.3
Fuel oil consumption at 85% load	g/kWh	4.2	194.4	4.9	196.3	4.2	195.3
Fuel oil consumption at 75% load	g/kWh	4.7	195.3	5.5	197.2	4.6	195.3
Fuel oil consumption 50% load	g/kWh	6.7	206.1	7.0	208.0	5.6	197.5

Lubricating oil system				
Pressure before bearings, nom. (PT 201)	kPa	450	450	450
Suction ability, including pipe loss, max.	kPa	20	20	20
Priming pressure, nom. (PT 201)	kPa	80	80	80
Temperature before bearings, nom. (TE 201)	°C	66	66	66
Temperature after engine, approx.	°C	78	78	78
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	48	48	64
Pump capacity (main), electrically driven	m³/h	27	27	27
Priming pump capacity (50/60Hz)	m³/h	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5	8.6 / 10.5
Oil volume, wet sump	m³	0.49	0.49	0.64
Oil volume in separate system oil tank	m³	2	2	2
Oil consumption at 100% load, approx.	g/kWh	0.4	0.4	0.4
Crankcase ventilation flow rate at full load	l/min	823	823	823
Crankcase ventilation backpressure, max.	Pa	300	300	300
Oil volume in speed governor	l	1.4...2.2	1.4...2.2	1.4...2.2

Pemilihan Generator Set

Daya Genset	25% Engine Power	
	366.43	KW
	498.20	HP
Type of engine	Wartsila Aucpax 16 455W5L16	
Engine output	455	KW
Engine speed (revolutio	1000	RPM
L	4530	mm
W	1294	mm
H	2216	mm
Dry mass	9.8	ton
Fuel Oil Consumption	203.8	g/kWh
Lubrication Oil cons	0.6	g/kWh

1000 rpm / 50 Hz				1200 rpm / 60 Hz			
Type	Output [kWe]	Voltage [V]	Generator	Type	Output [kWe]	Voltage [V]	Generator
455W5L16	455	400	Leroy Somer	525W5L16	525	450	Leroy Somer
545W6L16	545	400	Leroy Somer	630W6L16	660	450	Leroy Somer
635W7L16	635	400	Leroy Somer	735W7L16	735	450	Leroy Somer

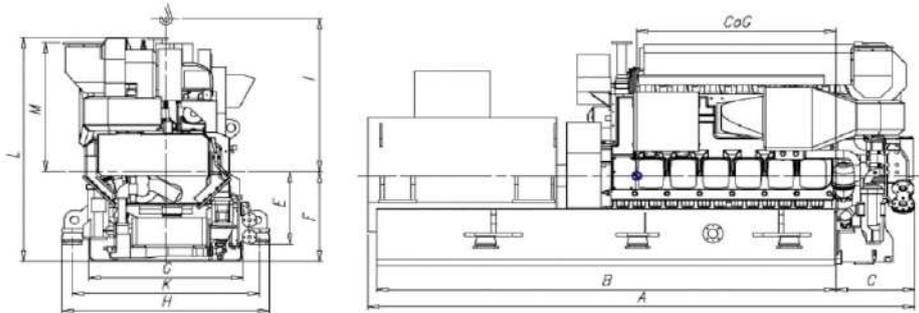


Table 1-4 Wärtsilä Auxpac 16, 1000 rpm / 50Hz

Type	A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M	CoG	Weight Wet	Weight Dry
455W5L16	4530	3700	535	692	745	804	1294	1471	1114	1955	1188		10.3	9.8
545W6L16	4787	3953	535	692	745	804	1294	1471	1114	1955	1188	1558	11.3	10.8
635W7L16	5050	4220	535	692	745	804	1294	1471	1114	1955	1188		12.3	11.8

Wärtsilä Auxpac	455W5L16 / 50 Hz
database id, temp info to be removed	2145

Fuel system (Note 3)		
----------------------	--	--

Fuel consumption at 100% load	g/kWh	187.6
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	188.6
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	191.4
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	203.8

Lubricating oil system		
------------------------	--	--

Oil consumption at 100% load, about	g/kWh	0.6
-------------------------------------	-------	-----

Perhitungan Berat Permesinan

Input Data :

D =	2.893	m	$P_D = 1202.58$	kW
n =	1200	rpm	$P_B = 1245.88$	kW
Z =	4	buah		
AE/AO =	0.40			

Perhitungan :

Main Engine

(Ship Design for Efficiency and Economy page 175-176)

$$W_E = 11.10 \text{ ton}$$

Propulsion Unit

- Gear Box

$$\begin{aligned} W_{\text{Gear}} &= (0.34 \sim 0.4) \cdot \frac{P_B}{n} \\ &= 0.4 \times (1245.88/1200) \\ &= 0.415 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Shafting

$$\begin{aligned} \text{Panjang poros (l)} &= 6 \text{ m} \\ M_s/l &= 0.081 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 0.081 \times (1202.58/1200)^{2/3} \\ &= 0.081 \\ M_s &= (M_s/l) \cdot l \\ &= 0.081 \times 6 \\ &= 0.487 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Propeller

$$\begin{aligned} d_s &= 11.5 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 11.5 \times (1202.58/1200)^{1/3} \\ &= 11.508 \text{ cm} \\ K &\approx \left(\left(\frac{d_s}{D} \right) \left(1.85 \frac{A_E}{A_s} \right) - (Z-2) \right) / 100 \\ &= ((30.792/5.501) \times (1.85 \times 0.4) - (4-2)) / 100 \\ &= 0.009 \\ W_{\text{Prop}} &= D^3 \cdot K \\ &= 2.893 \times 0.009 \\ &= 0.228 \text{ ton} \end{aligned}$$

- **Total**

$$\begin{aligned}
 W_{T,Prop} &= W_{Gear} + M_s + W_{Prop} & W_{T,Prop \text{ Katalog}} &= 13.9 \text{ ton} \\
 &= 0.415 + 0.487 + 0.009 \\
 &= 1.130 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Electrical Unit

(Ship Design for Efficiency and Economy page 176)

$$\begin{aligned}
 W_{Agg} &= 0.001 \cdot P_B (15 + 0.014 \cdot P_B) \\
 &= 0.001 \times (1245.88) \times (15 + (0.014 \times 1245.88)) \\
 &= 90.419 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Other Weight

$$\begin{aligned}
 W_{ow} &= (0.04-0.07)P_B \\
 &= 0.07 \times 1245.88 \\
 &= 87.211 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Total Machinery Weight = $W_E + W_{T,Prop} + W_{Agg} + W_{ow}$
 $= 11.8 + 1.130 + 90.419 + 87.221$
 $= 189.86 \text{ ton}$

- Titik Berat Machinery Plant

- $h_{db} = B/15$
 $= 0.860$
 diambil = 0.900 m

- $KG_m = h_{db} + 0.35(D - h_{db})$
 $= 3.035 \text{ m}$

- LCerukBuritan = 2.521 m

- $LCG_{AP} = LPP - (Lcb + Lshaft)$

$$= 7.035 \text{ m}$$

7.035

- $LCG_{mid} = (-LCG_{FP}) + 0.5 LPP$
 $= -18.17 \text{ m}$

Steel Weight Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50.41 m	$L_{WL} =$	52.43 m
$B =$	12.90 m	$LCB =$	-1.36 m (fwd. amidship)
$T =$	4.45 m	$=$	23.86 m from AP
$H =$	7.00 m		
$V_S =$	13.00 kn	$V =$	1628.97 m ³
$=$	6.69 m/s	$\Delta =$	1669.69 ton
$\rho =$	1.025 ton/m ³	$C_B =$	0.541
$g =$	9.81 m/s ²		

Perhitungan berat baja kapal menggunakan referensi:

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy (second edition 1998) page. 158-163

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 22-23

IX.1 Hull Steel Weight Calculation

Ref: Practical Ship Design page. 81-90

$$W_{st} = W_{si}' (1 + 0.05(Cb' - Cb)) \quad K = 0.045 ; \text{research ship}$$

$$W_{si}' = W_{si} - (\%Scrap \cdot W_{si})$$

$$Cb' = Cb + (1 - Cb) \left(\frac{0.8D - T}{3t} \right) \\ 0.581$$

$$W_{si} = K \cdot E \cdot 1.36$$

$$E = L(B+T) + 0.85L(D-T) + 0.85(l_1 \cdot h_1) + 0.75(l_2 \cdot h_2)$$

Cb correction scrap

$$\%Scrap = 5.022Cb - 1.57$$

$$\%Scrap = 2.718 \%$$

$$\text{Total \%Scrap} = 3.718 \%$$

$$l_1 \text{ maindeck} = 54.3 \text{ m}$$

$$h_1 \text{ maindeck} = 2.3 \text{ m}$$

$$l_1 \text{ 2nd deck} = 21.6 \text{ m}$$

$$h_1 \text{ 2nd deck} = 2.3 \text{ m}$$

$$l_2 \text{ 3rd deck} = 11 \text{ m}$$

$$h_2 \text{ 3rd deck} = 2.3 \text{ m}$$

$$E = 1320.252$$

$$W_{si} = 789.4159 \text{ ton}$$

$$W_{si}' = 760.0635 \text{ ton}$$

$$W_{st} = 761.5652 \text{ ton}$$

IX.3 Correction for Steel Weight Calculation

IX.3.1 Engine Foundation Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 158

$$W_{EF} = (27 \times P_B) / (n + 250) \times (15 + P_B / 1000)$$

$$\begin{aligned}
P_B &= 1465.738 \text{ kW} \\
n &= 1200 \text{ rpm} \\
W_{EF} &= (27 \times 1465,7) / (1200 + 250) \times (15 + 1465,7 / 1000) \\
&= 1.658 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Total Correction Weight Calculation

$$\begin{aligned}
W_C &= 1,658 \\
&= 1.658 \text{ ton}
\end{aligned}$$

IX.4 Total Steel Weight Calculation

TOTAL W_S = Jumlah keseluruhan berat baja

$$\begin{aligned}
W_S &= W_{HS} + W_{S\&D} + W_{CS} \\
&= 761,565 + 1,658 \\
&= 763.223 \text{ ton}
\end{aligned}$$

IX.5 Position of Steel Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

IX.5.1 KG and LCG of Hull Steel

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

$$\begin{aligned}
KG_{HS} &= 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5) \\
&= 3.253 \text{ m} \\
LCG_{HS} &= -0.15 + LCB \quad (\%L) \\
LCB &= \% LCB = 0.000 \%L \\
LCG_{HS} &= -0.15 + 0,000 \\
&= -0.150 \%L \\
&= -0.076 \text{ m (} \phi \text{)} \\
&= 25.281 \text{ m (FP)}
\end{aligned}$$

IX.5.2 KG and LCG of Correction for Steel Weight

Engine Foundation

$$\begin{aligned}
KG_{EF} &= H_{DB} / 2 \\
H_{DB} &= 1 \text{ m} \\
KG_{EF} &= 1,000 / 2 \\
&= 0.5 \text{ m} \\
W_{EF} &= 1.658 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
LCG_{EF} &= L_{FC-FP} (0.5 \times L_{EF}) \\
L_{EF} &= 9.000 \text{ m} \\
LCG_{EF} &= \\
&= 29.705 \text{ m (FP)} \\
&= -4.500 \text{ m (} \phi \text{)}
\end{aligned}$$

KG for Correction Weight

$$\begin{aligned}
KG_C &= ((KG_{BC} \times W_{BC}) + (KG_{DB} \times W_{DB}) + (KG_{EF} \times W_{EF})) / W_C \\
W_C &= 1.658 \text{ ton} \\
KG_C &= \\
&= 0.5 \text{ m}
\end{aligned}$$

LCG for Correction Weight

$$LCG_C = ((LCG_{BC} \times W_{BC}) + (LCG_{DB} \times W_{DB}) + (LCG_{EF} \times W_{EF})) / W_C$$

$$W_C = 1.658 \quad \text{ton}$$

$$LCG_C =$$

$$= 29.705 \text{ m (FP)}$$

$$= -4.500 \text{ m (}\phi\text{)}$$

IX.5.4 TOTAL KG and LCG of Steel Weight

$$KG_S = ((KG_{HS} \times W_{HS}) + (KG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (KG_C \times W_C)) / W_S$$

$$W_S = 763.223 \quad \text{ton}$$

$$KG_S =$$

$$= 3.254521 \text{ m}$$

$$LCG_S = ((KG_{HS} \times W_{HS}) + (KG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (KG_C \times W_C)) / W_S$$

$$W_S = 763.223 \quad \text{ton}$$

$$LCG_S =$$

$$= 25.34513 \text{ m (FP)}$$

$$= -0.140 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Crew List

Ruang		Crew	
<i>tween Deck</i>			
Quarter Master	=	2	
Chief Cook	=	2	
Assistant Cook	=	2	
Sea Man	=	2	
Oiler	=	2	
Boys	=	4	
Boatswain	=	2	
Steward	=	2	
Cadet	=	4	
Scientist	=	30	
Total	=	52	ok
<i>Forecastle Deck</i>			
Chief Officer	=	1	
Chief Engineer	=	1	
Second Officer	=	2	
Chief Scientist	=	1	
Total	=	5	ok
Total	=	0	
Jumlah Crew	=	57	

Equipment and Outfitting Calculation

Input Data :

L_{PP} =	50.41 m	L_{WL} =	52.43 m
B =	12.90 m	LCB =	-1.36 m (fwd. amidship)
T =	4.45 m	=	23.86 m From AP
H =	7.00 m		
V_S =	13.00 kn	V =	1628.97 m ³
=	6.69 m/s	Δ =	1669.69 ton
ρ =	1.025 ton/m ³	C_B =	0.541
g =	9.81 m/s ²		

Perhitungan berat peralatan dan perlengkapan kapal menggunakan referensi:

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy (1998) page. 166-172

Equipment and Outfitting Weight meliputi:

- Group I (Hatchway Covers) [Tidak Digunakan]
- Group II (Cargo Handling/Access Equipment) [Tidak Digunakan]
- Group III (Living Quarter)
- Group IV (Miscellaneous)

X.1 Equipment & Outfitting Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 172

$$W_0 = C_0 \cdot L \cdot B$$
$$C_0 = 0.4 \text{ Berdasarkan table Outfit Weight Coefficient}$$
$$W_0 = 270.520224 \text{ ton}$$

X.2 Group IV (Miscellaneous) Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 172

Berat yang termasuk dalam group IV adalah :

Anchors, chains, hawsers, Anchor-handling and mooring winches, chocks, bollards, hawse pipes. Steering gear, wheelhouse console, control console (excluding rudderbody). 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.

W_{IV} = Berat peralatan dan perlengkapan yang lain-lain

$$W_{IV} = (L \times B \times H)^{2/3} \times C$$
$$C_{IV} = 0.18 \sim 0.26 \text{ ton/m}^3$$
$$= 0.26$$

$$W_{IV} = (50,41 \times 12,900 \times 7,000)^{2/3} \times 0,260$$
$$= 71.41284138 \text{ ton}$$

X.3 Total Equipment and Outfitting Weight Calculation

TOTAL $W_{E\&O}$ = Jumlah keseluruhan berat peralatan dan perlengkapan

$$W_{E\&O} = W_{IV}$$
$$= 0.071$$
$$= 341.933 \text{ ton}$$

X.4 Position of Equipment and Outfitting Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

X.4.1 W_0 Miscellaneous

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$\begin{aligned} KG_{GIV} &= 1.00 \sim 1.05 H \\ &= \\ &= 7.00 \text{ m} \\ W_{IV} &= 270.520 \text{ ton} \end{aligned}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$\begin{aligned} LCG_{GIV} &= 0.5 \times L \\ &= \text{ton} \\ &= 25.205 \text{ m (FP)} \\ &= 0.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

X.4.2 KG and LCG Miscellaneous

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$\begin{aligned} KG_{GIV} &= 1.00 \sim 1.05 H \\ &= 1.00 \times 7,000 \\ &= 7.00 \text{ m} \\ W_{IV} &= 71.413 \text{ ton} \end{aligned}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$\begin{aligned} LCG_{GIV} &= 0.5 \times L \\ &= 0.5 \times 0.050 \text{ ton} \\ &= 25.205 \text{ m (FP)} \\ &= 0.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

X.4.3 TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$\begin{aligned} KG_{E\&O} &= ((KG_{GIII} \times W_{GIII}) + (KG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O} \\ W_{E\&O} &= 341.933 \text{ ton} \\ KG_{E\&O} &= \\ &= 7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{E\&O} &= ((LCG_{GIII} \times W_{GIII}) + (LC_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O} \\ W_{E\&O} &= 341.933 \text{ ton} \\ LCG_{E\&O} &= \\ &= 25.205 \text{ m (FP)} \\ &= 0.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

Consumable and Crew Calculation

Input Data :

L =	50.41	m	Vs =	6.687	m/s
H =	7.00	m	=	13	knot
B =	12.90	m	=	24.07392	km/jam
T =	4.45	m	Jarak pelayaran terjauh =	919.47	km
			Lama Pelayaran =	38.1936137	jam
			BHP =	1465.73834	kW
			=	1992.81784	HP
			LWL =	52.4264	m

dari titik 4 ke 1 yaitu Pelabuhan Trisakti ke T.Priok

Perhitungan :

Consumable :

• Scientist & Crew Weight

C_{CRE} =	0.17	ton/person	Jumlah Scientist & Crew =	57
W_{CRE} = 0.17×59				
=	9.69	ton		

• Fuel Gas (LNG)

SFR =	0.00017477	ton/kWh	: dari katalog mesin	Density =	0.47	ton/m ³
MCR =	1465.74	kW				
Margin =	0.1					
$W_{FO} = SFR * MCR * S/Vs * (1 + margin)$						
=	4.305	ton				
$V_{FO} = W_{fo}/0.45 + (4% * W_{fo}/0.45)$						
$V_{FO} =$	9.5258	m ³				

; S/Vs yang digunakan untuk mode gas adalah 40% dari total kebutuhan pelayaran dilaut

• Fuel Oil (MDO)

Gas Mode (MDO as pilot fuel)

SFR =	0.0001975	ton/kWh
MCR =	1465.738335	kW
Margin =	0.1	
$W_{FO} = SFR * MCR * S/Vs * margin$		
=	7.297	ton
$V_{FO} =$	8.624	m ³
Wfo total =	19.459	ton
Vfo total =	22.9973414	m ³

Diesel Mode (MDO as main fuel)

SFR =	197.5	g/kWh
=	0.000198	ton/kWh
Margin =	0.1	
W =	12.16	ton
Density =	0.880	ton/m ³
V =	14.37	m ³

[1+(5% ~ 10%)] WFO

$V_{fo} = (W_{fo} + 4% * W_{fo}) / \rho$

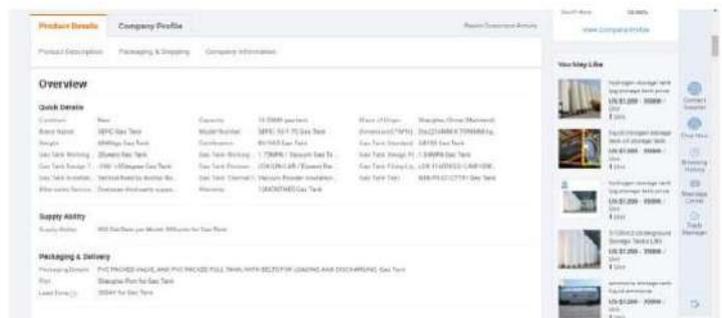
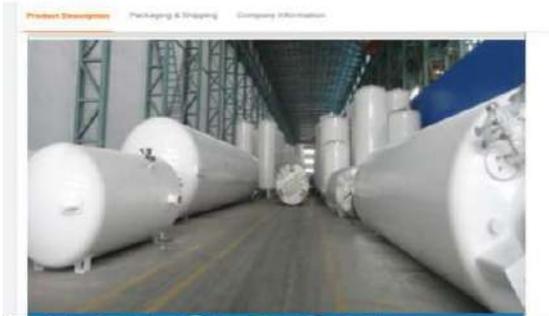
• Genset Oil (MDO)

SFR =	0.0002038	ton/kWh	
MCR =	455	kW	
$W_{DO} =$	3.896	ton	
$V_{DO} =$	9.031	m ³	

$V_{do} = (W_{do} + 2% * W_{do}) / \rho$

TOTAL MDO =	23.355	ton
	32.029	m ³

Setelah mendapatkan total kebutuhan LNG yang dapat diangkut MPRV, selanjutnya memilih tangki penyimpanan LNG dimana tangki LNG khusus yang memiliki sistem pendingin untuk menjaga wujud LNG tetap dalam keadaan cair selama operasional. Adapun tangki yang dipilih adalah *cryogenic tank* berkapasitas 5 m³ berjumlah 2 buah tangki sehingga mampu memenuhi kebutuhan LNG untuk berlayar yaitu sebesar 9,528 m³. Kebutuhan LNG yang hanya mampu dibawa kapal sebesar 40% dari total kebutuhan berlayar dipengaruhi karena kapasitas ruang penyimpanan tangki di kapal tidak cukup jika menggunakan mode gas seluruhnya, sehingga kebutuhan bahan bakar 60% lainnya digantikan oleh MDO dimana mesin *dual fuel* secara bertahap menggantikan LNG ketika akan habis. Berikut adalah katalog *cryogenic tank* penyimpanan LNG beserta spesifikasinya.



Gas Tank Specification:

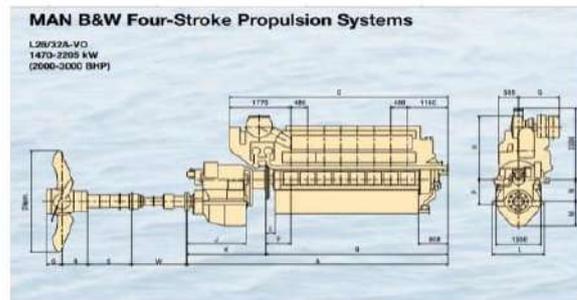
LOX/LIN/LAR/LCO2 CRYOGENIC STORAGE GAS TANK SPECIFICATION						
Items	Specification	Valid Volum	Working pressure	Dimension	Empty Weight	Note
1		M3	MPA	MM	KG	
2	CFL-5/1.0	5	1.0	ø2216x4405	4130	
3	CFL-5/1.75	5	1.75	ø2216x4405	4400	
4	CFL10/1.0	10	1.0	ø2216x7098	6250	
5	CFL-10/1.75	10	1.75	ø2216x7098	6861	
6	CFL-15/0.8	15	0.8	ø2616x6520	7380	
7	CFL-15/1.75	15	1.75	ø2616x6520	8501	
8	CFL-20/0.8	20	0.8	ø2616x8030	8925	
9	CFL-20/1.75	20	1.75	ø2616x8830	10378	
10	CFL-30/0.8	30	0.8	ø2616x11070	12166	
11	CFL-30/1.75	30	1.75	ø2616x11070	14300	
12	CFL-50/0.8	50	0.8	ø3020x12685	19494	
13	CFL-50/1.75	50	1.75	ø3020x12685	23050	

Tangki yang dipilih berkapasitas 5 m3 dan berjumlah 2 buah tangki, dan dimensi/ukuran tangki dapat dimuat pada kapal sesuai aturan dan regulasi.

PERBANDINGAN KEBUTUHAN BAHAN BAKAR JIKA MENGGUNAKAN MESIN DIESEL BIASA (KONVENSIONAL)

Untuk mengetahui efisiensi dari penggunaan Mesin Dual Fuel maka dibandingkan dengan mesin diesel biasa yang memiliki daya mesin hampir sama, dalam hal ini dibandingkan dengan mesin MAN B&W L28/32A-VO

Daya = 2300.000 HP
 RPM = 210
 L = 6892 mm
 W = 1090 mm
 H = 3880 mm
 Dry mass = 2 ton
 SFRfuel = 181 g/kWh
 SFRlub = 1 g/kWh



Specific consumption

ENGINE Type	FUEL OIL				LUBRICATING OIL	
	g/kWh	g/BHPs	85% mcr	g/kWh	g/BHPs	
L28/32A	188	138	187	137	1,0	0,7

Diesel Mode
 SFR = 198 g/kWh
 = 0.000198 ton/kWh
 Margin = 0.1
 W = 12.19 ton
 Density = 0.910 ton/m3
 V = 13.93 m3

PERBANDINGAN KEBUTUHAN BAHAN BAKAR JIKA MENGGUNAKAN MESIN DIESEL BIASA (KONVENSIONAL)					
	Konvensional		Dual Fuel		
Kebutuhan MDO	12.19	ton/trip	Kebutuhan LNG	9.5258	m ³
Harga MDO	\$ 405	per ton	Harga LNG	\$ 8	per MMBtu
Harga MDO	Rp5.727.510	per ton	Harga LNG	\$ 180,09	per m ³
Harga MDO	Rp69.834.645	per trip	Harga LNG	Rp2.545.560.00	per m ³
Harga MDO	Rp1.396.692.898	per tahun	Harga LNG	Rp24.248.539.1	per trip
			Harga LNG	Rp484.970.783	per tahun
			Kebutuhan MDO	7.297	ton/trip
			Harga MDO	\$ 405	per ton
			Harga MDO	Rp5.727.510	per ton
			Harga MDO	Rp41.794.977	per trip
			Harga MDO	Rp835.899.537	per tahun
TOTAL HARGA	Rp1.396.692.898	per tahun	TOTAL HARGA	Rp1.320.870.320	per tahun
		Persentase =		-5.42872221	% (Lebih Hemat)

• Lubrication Oil (ME dan AE)

Main Engine

SFR = 0.0000004 ton/kWh
 MCR = 1465.738335 kW
 Margin = 0.1
 W_{LO} = 0.025 ton
 V_{LO} = 0.028 m3

Generator

SFR = 0.0000006 ton/kWh
 MCR = 455 kW
 Margin = 0.1
 W_{LO} = 0.023 ton
 V_{LO} = 0.027 m3

TOTAL LUBE OIL = 0.048 ton
 = 0.055 m3

• Fresh Water

		1702.6		
range =	919.47 mil laut	1702580.0 m		
Vs =	13 knot	6.7 m/s		
day =	21.0	254602.8 s		
W_{FW1} =	0.07 ton/(person.day)	2.9 days		
=	83.790 ton			
$W_{FW\ tot}$ =	93.754			
ρ_{FW} =	1 ton/m ³	WFW2 =	=	air tawar untuk pendingin mesin
$V_{FW} = W_{FW\ tot}/\rho_{FW} + (4\%W_{FW\ tot}/\rho_{FW})$			=	$(2 - 5) \cdot BHP \cdot 10^{-3}$
=	97.50425277 m ³		=	9.9640892 ton

• Provision and Store

W_{PR} =	0.01 ton/(person.day)			
=	59 * 0.01			
=	0.570 ton	Asumsi Lama penelitian di laut =	21	hari
=	11.97 ton			
Wconsumable =	$W_{FO} + W_{DO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR} + W_{CS\&G}$			
=	40.705 + 8.912 + 0.176 + 13.961 + 0.821 + 3.91			
=	153.086 ton			

Titik berat air tawar

• Dimensi tangki

T_{FW} =	3.2	m
B_{FW} =	6.000	m
$L_{FW} = V_{FW}/(T_{FW} * B_{FW}) =$	5.063	m
Diambil =	5.300	m
Volume Tangki Aktual =	97.504	m ³
Volume Tangki Desain =	102.078	m ³

Titik berat lubrication oil

• Dimensi tangki

$t_{LO} = h_{do} =$	0.8	m
$B_{LO} =$	1.300	m
$L_{LO} =$	2.000	m
Volume Tangki Aktual =	0.055	m ³
Volume Tangki Desain =	2.080	m ³

Titik berat Diesel oil

• Dimensi tangki

$t_{DO} =$	0.800	m
$B_{DO} =$	1.300	m
$L_{DO} =$	2.000	m
Diambil =	1.200	m
Volume Tangki Aktual =	0.100	m ³
Volume Tangki Desain =	1.248	m ³

Titik berat Fuel oil Tank

• Dimensi tangki

$t_{FO} =$	1.000	m
$B_{FO} =$	6.000	m
$L_{FO} =$	4	m
Volume Tangki Aktual =	32.029	m ³
Volume Tangki Desain =	24	m ³

Titik berat LNG Tank

• Dimensi tangki

$t_{FO} =$	1.500	m
$B_{FO} =$	4.200	m
$L_{FO} =$	4	m
Volume Tangki Aktual =	9.526	m ³
Volume Tangki Desain =	25.2	m ³

Titik berat Ballast Water FP

• Dimensi tangki

$t_{BW} =$	1.000	m
$B_{BW} =$	6.000	m

$L_{BW} =$	2.5	m
Volume Tangki Desain =	15	m ³

Titik berat Ballast Water AP

• Dimensi tangki

$t_{BW} =$	1.000	m
$B_{BW} =$	8.000	m
$L_{BW} =$	3	m
Volume Tangki Desain =	24	m ³

Titik berat Sewage

$t_{FO} =$	1.000	m
$B_{FO} =$	10.700	m
$L_{FO} =$	11.77570093	m
Diambil =	11.8	m
Volume Tangki Aktual =	126.000	m ³
Volume Tangki Desain =	126.26	m ³

Rekapitulasi Perhitungan LWT & DWT Dan Koreksi *Displacement*

Dead Weight Tonnage (DWT)			
No.	Item	Value	Unit
1	Berat Crew Kapal dan Barang Bawaan		
	Jumlah Peneliti dan Crew Kapal	57	persons
	Berat Peneliti dan Crew Kapal	75	kg/persons
	Berat barang bawaan	20	kg/persons
	Berat Total Peneliti dan Crew Kapal	4275	kg
	Berat Total Barang Bawaan Peneliti dan Crew Kapal	1500	kg
	Berat Total	5775	kg
		5.775	ton
2	Berat Peralatan Penelitian		
	Total Kebutuhan Peralatan Penelitian	17077	kg
	Berat Total	17.077	ton
3	Berat Bahan Bakar Mesin Induk (HFO)		
	Berat Bahan Bakar Mesin Induk (HFO)	19459.289	kg
	Berat Bahan Bakar Mesin Induk (LNG)		
	Berat Bahan Bakar Mesin Induk (LNG)	4304.937	kg
	Berat Bahan Bakar Genset (HFO)		
	Berat Bahan Bakar Genset (HFO)	3895.821	kg
	Berat Total (LNG)	4304.937	kg
		4.305	ton
	Berat Total (HFO)	23355.110	kg
		23.355	ton
4	Berat Air Tawar		
	Berat Air Tawar	93754.089	kg
	Berat Total	93754.089	kg
		93.754	ton
5	Berat Sewage		
		119700	kg
		119.700	ton
6	Berat Provision		
		11970	kg
		11.970	ton
7	Berat Minyak Pelumas		
		54.971	kg
		0.055	ton

Total DWT			
No.	Komponen Berat Kapal Bagian DWT	Value	Unit
1	Berat Peneliti & Crew Kapal dan Barang Bawaan	5.775	ton
2	Berat Kebutuhan Peralatan Penelitian	17.077	ton
2	Berat Bahan Bakar (HFO)	23.355	ton
3	Berat Bahan Bakar (LNG)	4.305	ton
4	Berat Air Tawar	93.754	ton
5	Berat Sewage	119.700	ton
6	Berat Provision	11.970	ton
7	Berat Minyak Pelumas	0.055	ton
	Total	275.991	ton

Light Weight Tonnage (LWT)			
No.	Item	Value	Unit
1	Berat Lambung (Hull) Kapal		
	Dengan menggunakan metode/rumus pendekatan, didapatkan berat baja kapal :		
	Berat baja kapal (Wst)	763222.78	kg
	Berat Total	763.223	ton
3	Berat Equipment & Outfitting		
	Dengan menggunakan metode/rumus pendekatan, didapatkan berat baja kapal :		
	Berat equipment & Outfitting (W _{e&o})	341933.065	kg
	Berat Total	341.933	ton

4	Berat Permesinan Kapal		
	Berat Total	189861.04	kg
		189.861	ton

Total LWT			
No.	Komponen Berat Kapal Bagian LWT	Value	Unit
1	Berat Lambung (Hull) kapal	763.223	ton
2	Berat Equipment & Outfitting	341.933	ton
3	Berat Permesinan kapal	189.861	ton
Total		1295.017	ton

Koreksi Displacement			
No.	Komponen Berat Kapal	Value	Unit
1	Berat Kapal Bagian DWT	275.991	ton
2	Berat Kapal Bagian LWT	1295.017	ton
Total		1571.008	ton
Displacement Kapal		1669.692	ton
Koreksi Displacement Kapal		98.684	ton
Persentase		5.910	%

Batas koreksi Displacement (2-10%)

*Karena selisih gaya angkat lebih besar dari gaya berat dan dengan selisih yang masih masuk dalam persyaratan, maka dipastikan kapal ini dapat MENGAPUNG.

Rekapitulasi Berat dan Titik Berat						
No.	Item	W (Ton)	LCG _{Midship} (m)	KG (m)	W x LCG	W x KG
Komponen DWT :						
1	Berat Peneliti & Crew Kapal dan Barang Bawaan	5.775	-1.671	5.714	-9.65003	32.99835
2	Berat Kebutuhan Peralatan Peneliti	17.077	-4.512	7.040	-77.0514	120.2221
3	Berat Bahan Bakar	23.355	-3.472	0.750	-81.0889	17.51633
4	Berat Air Tawar	93.754	12.171	3.110	1141.08	291.5752
5	Berat Sewage	119.700	1.854	0.750	221.924	89.775
6	Berat Provision	11.970	22.878	7.810	273.85	93.4857
7	Berat Minyak Pelumas	0.055	-8.772	0.750	-0.48221	0.041228
Komponen LWT :						
1	Berat Lambung (Hull) kapal	763.223	-1.43516837	6.476615	-1095.35	4943.1
2	Berat Equipment & Outfitting	341.933	0.416	7.512	142.389	2568.675
3	Berat Permesinan kapal	189.861	-12.967	2.311	-2461.93	438.7689
Total		1566.703			-1946.31	8596.16
		Σ1			Σ2	Σ3

$$\begin{aligned}
 LCG_M \text{ (Dari Midship)} &= W.LCGM/W &= \Sigma 2/\Sigma 1 \\
 &= -1.242 &= \text{m} \\
 KG &= W.KG/W &= \Sigma 3/\Sigma 1 \\
 &= 5.487 &= \text{m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Trim

Input Data

L =	50.410	m	Vol. Disp =	1628.968	m ³
B =	12.900	m	KG =	5.487	m ³
T =	4.450	m	LCG dr Midship =	-1.242	m
Cm =	0.972		LCB dr Midship =	-1.360	m
Cb =	0.541				
Cwp =	0.659				-0.87%
Cvp =	0.821		Lwl	52.426	142.48

Hydrostatic Properties

KB

(Parametric Design chapter 11 page 18)

$$\begin{aligned}
 KB/T &= 0.90 - 0.30Cm - 0.1Cb \\
 &= 0.9 - (0.3 \times 0.995) - (0.1 \times 0.81) \\
 &= 0.5543 \\
 KB &= 2.47 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

0.5501

BM_T

(Parametric Design chapter 11 page 19)

$$\begin{aligned}
 C_{IT} &= 0.1216 Cwp - 0.0410 \\
 &= (0.1216 \times 0.883) - 0.0410 \\
 &= 0.0391 \\
 I_T &= C_{IT} \cdot L \cdot B^3 \\
 &= 0.0664 \times 136.6 \times 23^3 \\
 &= 4233.548006 \\
 B_{MT} &= \text{jarak antara titik tekan buoyancy terhadap titik metacenter secara melintang} \\
 B_{MT} &= I_T / \text{vol} \\
 &= 110411 / 22970.79 \\
 &= 2.60 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

BM_L

$$\begin{aligned}
 C_{iL} &= \text{longitudinal inertia coefficient} \\
 C_{iL} &= 0.350 Cwp^2 - 0.405 Cwp + 0.146 \\
 &= (0.35 \times 0.883^2) - (0.405 \times 0.883) + 0.146 \\
 &= 0.0311 \\
 I_L &= \text{moment of inertia of waterplane relative to ship's longitudinal axis} \\
 I_L &= C_{iL} \cdot B \cdot L^3 \\
 &= 0.0613 \times 23 \times 136.6^3 \\
 &= 51388 \\
 BM_L &= \text{jarak antara titik tekan buoyancy terhadap titik metacenter secara memanjang} \\
 BM_L &= I_L / \text{vol} \\
 &= 3596523 / 22970.79 \\
 &= 31.55 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$GM_L = B_{ML} + KB - KG$$

$$= 156.57 + 4.41 - 7.02$$

$$= 28.53 \quad m$$

$$Trim = T_A - T_F$$

$$Trim = (LCG - LCB) \cdot L / G_{ML}$$

$$= 0.207 \quad m$$

0.2326053

Kondisi trim= **Trim Buritan**

(karena jika nilai trim < 0 maka trim haluan; trim > 0 maka trim buritan; trim = 0 maka even keel)

Batasan Trim

LCG-LCB = 0.117 m

0.5%Lpp = 0.252

Kondisi Total = **OK** (karena selisih LCG & LCB < 0.5% Lpp)

Trim Summary			
No	Item	Hasil	Satuan
1	KB/T	0,5543	m
2	KB	2,47	m
4	IT	4233,5	
5	BMT	2,60	m
6	CIL	0,0311	
7	IL	51388	
8	BML	31.55	m
9	GML	28.53	m
10	Trim	0.16	m

Perhitungan Trim					
No	Kondisi Loadcase	Syarat	Nilai MPRV	Kondisi Trim	Status
1	Loadcase I	0.252	0.060	Trim Buritan	Pass
2	Loadcase II	0.252	0.204	Trim Buritan	Pass
3	Loadcase III	0.252	-0.032	Trim Haluan	Pass
4	Loadcase IV	0.252	0.113	Trim Buritan	Pass

Freeboard Calculation

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

Input Data :

LPP	=	50.410	m	
LWL	=	52.426	m	
T	=	4.450	m	2550.0
H	=	7.000	m	
d	=	85%*H		; H = Moulded Depth
	=	5.950	m	
$L_{1(1)}$	=	$96\% * LWL_{0.85D}$		
	=	50.329	m	
$L_{1(2)}$	=	LPP		
	=	50.410	m	
L_1	=	50.410	m	; L_1 diambil yang terbesar
B	=	12.900	m	
Cb	=	$\nabla / (L_1 * B * d)$		
	=	0.421		
Tipe Kapal	=	B		(International Convention on Load Line 1996 as modified 1998 and 2003 - Regulation 27 Type of Ship)

Freeboard Standard (Fb) / Lambung Timbul Standar

International Convention on Load Line 1996 as modified 1998 and 2003 - Table 28.2

(2) Type "B" ships

The tabular freeboard for type "B" ships shall be determined from table 28.2:

Table 28.2 Freeboard table for type "B" ships

Length of Ship (m)	Freeboard increase (mm)	Length of Ship (m)	Freeboard increase (mm)	Length of ship (m)	Freeboard increase (mm)
50	443	96	1190	142	2151
51	455	97	1209	143	2171

Dari Tabel dapat diketahui :

X	=	50.410
X1	=	50
X2	=	51.00
Y	=	?
Y1	=	443
Y2	=	455

Interpolasi :

$$Y = Y1 + ((Y2 - Y1) / (X2 - X1)) * (X - X1)$$

$$= 447.92$$

Sehingga, Freeboard Standar adalah :

$$Fb_1 = 447.92 \text{ mm}$$

Koreksi

1. Koreksi Koefisien Blok (Cb)

Jika $Cb \geq 0.68$, maka Fb_1 harus dikalikan faktor :

$$= Fb_1 * (Cb + 0.68) / 1.36$$

$$Cb = 0.421$$

Maka, Tidak ada Koreksi.

$$Fb_2 = 447.92 \text{ mm}$$

2. Koreksi Tinggi (Depth)

Apabila $D > L/15$ maka Fb ditambah dengan :

$$= Fb_2 + (R * (H - (L/15)))$$

$$D = 5.95 \quad D > L/15 \text{ maka ada koreksi tinggi}$$

$$L/15 = 3.36$$

$$Fb_3 = Fb_2 + (R * (H - (L/15)))$$

untuk $L < 120 \text{ m}$; $R = L/0.48$

untuk $L > 120 \text{ m}$; $R = 250$

$$\begin{aligned}
\text{maka nilai R} &= 105.0208333 \\
\text{Fb}_3 &= \text{Fb}_2 + (\text{R}(\text{H}-(\text{L}/15))) && 1719.9 \\
&= 830.1258194 \text{ mm} && 382.21
\end{aligned}$$

3. Koreksi Bangunan Atas

Berdasarkan ketentuan BKI Vol. II Section XVI/1.1 bangunan atas kapal yang lebarnya mencapai 96% Lebar kapal termasuk s

Pada kapal ini terdapat bangunan atas yang lebarnya mencapai 96% lebar kapal yaitu *Shelter Deck*.

panjang (Ls) = 39.27 m

lebar (Bs) = selebar setempat kapal

= 13.00 m

tinggi (hs) = 2.20

•Freeboard menurut Tabel atau tabular freeboard untuk ; **(Regulation 29)**

— - kapal type 'B'

— - panjangnya di antara 24 m dan 100 m

— - mempunyai bangunan atas tertutup dengan panjang efektif sampai 35 % L (artinya < 35%)

Harus ditambah dengan ;

$$7.5(100 - L) \left(0.35 - \frac{E_1}{L} \right) \quad [mm]$$

L = panjang kapal menurut Regulation 3

E₁ = panjang efektif menurut Regulation 35, tetapi tidak termasuk trunk

Jika panjang efektif > 35 % maka tidak ada koreksi.

Panjang Efektif bangunan atas tertutup: **(Regulation 35)**

$$l_1 = 25.34 \text{ m}$$

$$l_2 = 13.93 \text{ m}$$

$$S = l_1 + (l_2/2)$$

$$= 32.305 \text{ m}$$

Standard Height of Superstructure (h) for L 31<L<75 are 1.8 m

hs > h then, E₁ = S

Sehingga panjang efektif bangunan atas ini adalah ;

$$E_1 = 32.305 \text{ m}$$

Persentase E₁ = **64.08** % L

Panjang efektif bangunan atas diatas 35 % L , maka tidak ada koreksi untuk bangunan atas.

$$\text{Fb}_4 = 830.13 \text{ mm}$$

4. Koreksi Sheer

Pada kapal ini tidak ada *sheer* , sehingga;

$$\text{Fb}_5 = 830.13 \text{ mm}$$

Rekapitulasi Freeboard			
No.	Item	Result	Unit
1	Tipe Kapal	Tipe B	
2	Freeboard Standard (Fb)	447.92	mm
Koreksi-koreksi			
3	Koreksi kapal Ukuran < 100 m	0.00	mm
	Koreksi Cb	0.00	mm
	Koreksi Tinggi	382.21	mm
	Koreksi Bangunan Atas	0.00	mm
	Koreksi Sheer	0.00	mm
Total Freeboard		830.13	mm
Actual Freeboard		2550	mm
Status/Remark		OK	

Kondisi Loadcase

Kondisi Loadcase

- 1) Kondisi pertama merupakan kondisi berat kapal kosong(LWT)
- 2) Kondisi kedua diasumsikan kapal saat mau berangkat berlayar, dan kondisi tiap tangki nya 100%.
- 3) Kondisi ketiga diasumsikan kapal saat mau berangkat berlayar, dan kondisi tiap tangki nya 50%.
- 4) Kondisi keempat diasumsikan saat kondisi kapal setelah melakukan pelayaran dan sisa tiap tangkinya tinggal 10%.

Tabel x.y Hasil Running perhitungan stabilitas menurut standar IMO A.749 (18)

Ch 3. Kriteria luasan area di bawah kurva lengan pengembali (GZ Curve) dengan sudut oleng 0°-30°

Kondisi	Area 0° to 30°		
	Requirement (m.deg)	Kapal MPRV (m.deg)	Status
I	3.151	53.739	Pass
II	3.151	50.133	Pass
III	3.151	49.871	Pass
IV	3.151	51.103	Pass

Tabel x.y Hasil Running perhitungan stabilitas menurut standar IMO A.749 (18)

Ch 3. Kriteria luasan area di bawah kurva lengan pengembali (GZ Curve) dengan sudut oleng 0°-40°

Kondisi	Area 0° to 40°		
	Requirement (m.deg)	Kapal MPRV (m.deg)	Status
I	5.157	93.038	Pass
II	5.157	87.155	Pass
III	5.157	86.519	Pass
IV	5.157	88.487	Pass

Tabel x.y Hasil Running perhitungan stabilitas menurut standar IMO A.749 (18)

Ch 3. Kriteria luasan area di bawah kurva lengan pengembali (GZ Curve) dengan sudut oleng 30°-40°

Kondisi	Area 30° to 40°		
	Requirement (m.deg)	Kapal MPRV (m.deg)	Status
I	1.719	39.299	Pass
II	1.719	37.023	Pass
III	1.719	36.649	Pass
IV	1.719	37.384	Pass

Tabel x.y Hasil Running perhitungan stabilitas menurut standar IMO A.749 (18)

Ch 3. Kriteria lengan pengembali GZ pada sudut oleng $\geq 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,200 meter

Kondisi	Max GZ at 30° or Greater		
	Requirement (m)	Kapal MPRV (m)	Status
I	0.200	5.831	Pass
II	0.200	5.438	Pass
III	0.200	5.382	Pass
IV	0.200	5.510	Pass

Tabel x.y Hasil Running perhitungan stabilitas menurut standar IMO A.749 (18)

Ch 3. Kriteria lengan pengembali GZ maksimum terjadi pada kondisi oleng sebaiknya tidak boleh kurang dari 25°

Kondisi	Angle of Maximum GZ ($\theta_{Max} \geq 25^\circ$)		
	Requirement (deg)	Kapal MPRV (deg)	Status

I	25.000	73.600	Pass
II	25.000	72.700	Pass
III	25.000	72.700	Pass
IV	25.000	72.700	Pass

Tabel x.y Hasil Running perhitungan stabilitas menurut standar IMO A.749 (18)

Ch 3. Kriteria tinggi titik metacenter awal (GMo) tidak boleh kurang dari 0,15 meter

Kondisi	Initial GMt		
	Requirement (m)	Kapal MPRV (m)	Status
I	0.150	7.015	Pass
II	0.150	6.500	Pass
III	0.150	6.478	Pass
IV	0.150	6.665	Pass

Rekapitulasi Kondisi Loadcase						
No	Requirement	Loadcase I	Loadcase II	Loadcase III	Loadcase IV	Status
1	Area 0° to 30° (m.deg)	53.739	50.133	49.871	51.103	Pass
2	Area 0° to 40° (m.deg)	93.038	87.155	86.519	88.487	Pass
3	Area 30° to 40° (m.deg)	39.299	37.023	36.649	37.384	Pass
4	Max GZ at 30° or Greater (m)	5.831	5.438	5.382	5.510	Pass
5	Angle of Maximum GZ ($\theta_{Max} \geq 25^\circ$)	73.600	72.700	72.700	72.700	Pass
6	Initial GMt (m)	7.015	6.500	6.478	6.665	Pass

LAMPIRAN B
RENCANA GARIS *MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL*

BODY PLAN

TABLE OF HALF-BREADTH

ST/WL	WL 1.2 m	WL 2 m	WL 3 m	WL 4 m	WL 5 m	WL 6 m	WL 7 m	WL 8 m	WL 9.4 m	WL 10.4 m
TRANSOM	-	-	-	-	5.074	5.648	5.962	-	-	-
AP	-	-	-	5.077	5.592	5.888	-	-	-	-
ST 1	-	-	5.585	6.084	6.259	6.342	-	-	-	-
ST 2	-	-	5.155	6.184	6.373	6.386	6.421	-	-	-
ST 3	-	1.418	6.006	6.363	6.395	6.401	6.428	-	-	-
ST 4	-	5.330	6.391	6.393	6.422	6.424	6.431	-	-	-
ST 5	-	5.992	6.549	6.418	6.432	6.438	6.443	-	-	-
ST 6	4.811	6.126	6.272	6.427	6.440	6.444	6.446	-	-	-
ST 7	5.395	6.145	6.365	6.422	6.443	6.448	6.448	-	-	-
ST 8	5.348	6.076	6.349	6.421	6.442	6.448	6.449	-	-	-
ST 9	5.153	5.898	6.202	6.404	6.408	6.417	6.418	-	-	-
ST 10	4.874	5.632	6.183	6.370	6.400	6.411	6.413	6.413	-	-
ST 11	4.646	5.429	6.096	6.367	6.384	6.432	6.436	6.440	6.439	6.440
ST 12	4.412	5.202	5.848	6.184	6.303	6.358	6.368	6.370	6.370	6.373
ST 13	4.138	4.928	5.596	5.970	6.115	6.308	6.383	6.410	6.435	6.450
ST 14	3.822	4.546	5.219	5.614	5.796	5.841	5.859	5.896	5.942	5.988
ST 15	3.563	4.085	4.651	5.123	5.310	5.350	5.376	5.396	5.401	5.413
ST 16	2.721	3.366	3.894	4.396	4.638	4.703	4.729	4.736	4.722	4.817
ST 17	1.863	2.473	2.982	3.467	3.760	3.858	3.909	3.916	4.038	4.113
ST 18	0.848	1.436	1.932	2.378	2.699	2.839	2.937	3.012	3.136	3.275
ST 19	-	0.249	0.767	1.173	1.480	1.682	1.843	1.989	2.205	2.343
FP	-	-	-	-	0.146	0.427	0.651	0.816	1.100	1.463

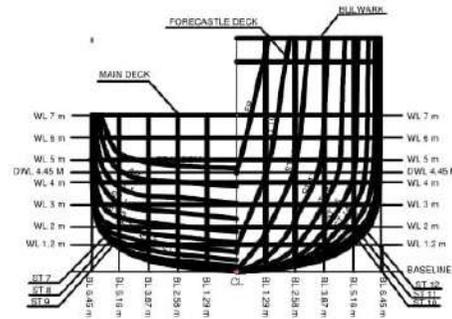
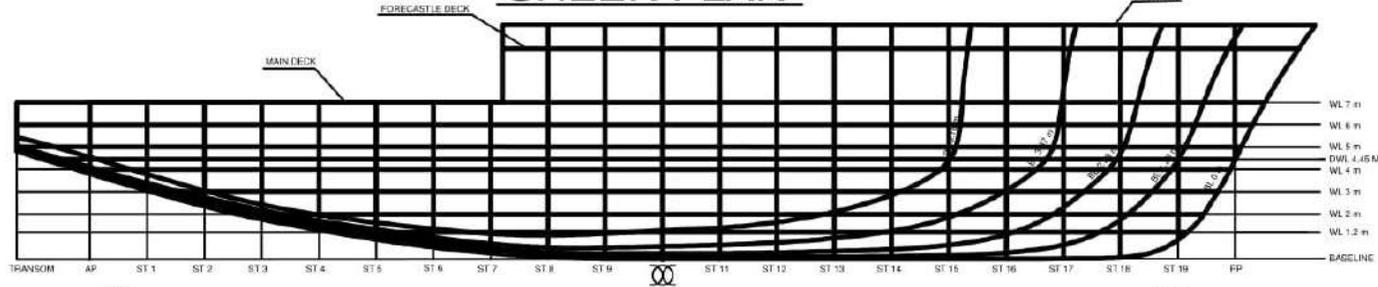


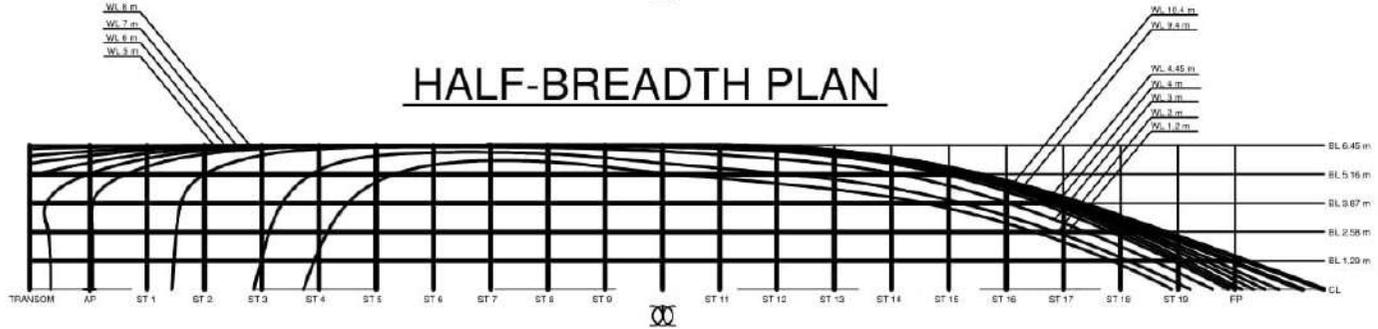
TABLE OF HEIGHT ABOVE BASELINE

ST/WL	BL 0 m	BL 1.20 m	BL 2.58 m	BL 3.87 m	BL 5.16 m
TRANSOM	4.653	4.650	4.618	4.568	5.073
AP	4.019	4.025	4.021	4.027	4.425
ST 1	3.303	3.334	3.340	3.345	3.358
ST 2	2.584	2.629	2.676	2.747	3.062
ST 3	1.966	1.999	2.023	2.183	2.412
ST 4	1.366	1.461	1.567	1.708	1.848
ST 5	0.884	1.010	1.143	1.311	1.567
ST 6	0.476	0.521	0.706	0.753	1.308
ST 7	0.223	0.334	0.468	0.462	1.097
ST 8	0.066	0.166	0.291	0.507	1.052
ST 9	0.000	0.103	0.211	0.316	1.026
ST 10	0.000	0.061	0.217	0.307	1.049
ST 11	0.000	0.084	0.252	0.480	1.085
ST 12	0.000	0.083	0.306	0.813	1.849
ST 13	0.087	0.699	0.251	0.372	2.522
ST 14	0.084	0.128	0.403	1.287	2.926
ST 15	0.084	0.108	0.613	1.813	4.117
ST 16	0.196	0.354	1.071	7.957	-
ST 17	0.360	0.729	2.228	6.159	-
ST 18	0.791	1.504	4.617	-	-
ST 19	1.655	4.332	-	-	-
FP	4.468	0.766	-	-	-

SHEER PLAN



HALF-BREADTH PLAN

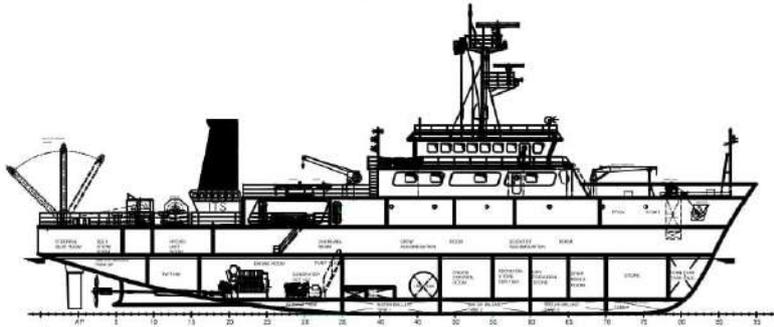


PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	Research Vessel
LENGTH OVERALL (LOA)	97 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (LBP)	88.41 m
BREADTH (B)	12.90 m
DRAUGHT (H)	3.00 m
DRAUGHT (L)	4.40 m
SERVICE SPEED (Vn)	13.0008
COMPLEMENTS	37 Persons
MAIN ENGINE POWER	2010 HP

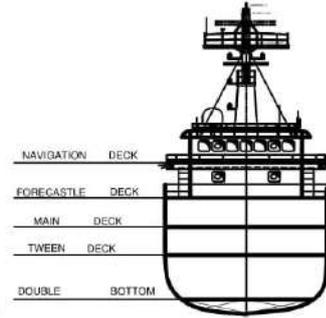
	DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING			
	FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY			
	SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA			
MPRV GIBRENA				
LINESPLAN				
SCALE	1:100	SIGNATURE	DATE	REVISION
DRAWN BY	Hakim Ginting			DH11154000005
	Ir. Heedy Anis Nurriswani, M.Sc.			01

LAMPIRAN C
RENCANA UMUM *MULTI-PURPOSE RESEARCH VESSEL*

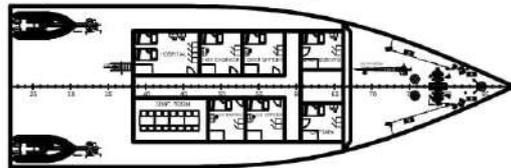
SIDE ELEVATION



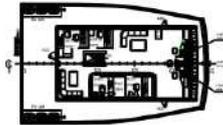
FRONT ELEVATION



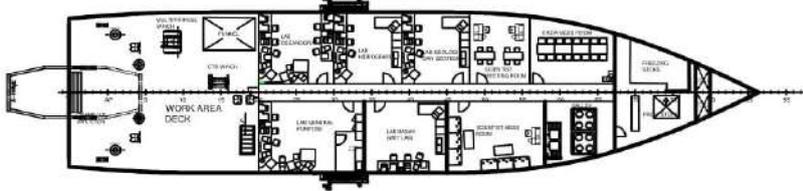
FORECASTLE DECK



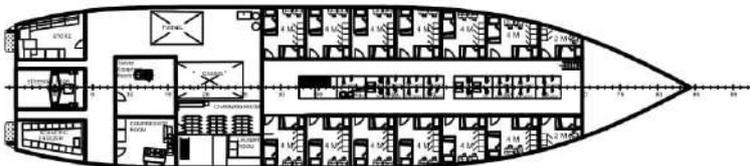
NAVIGATION DECK



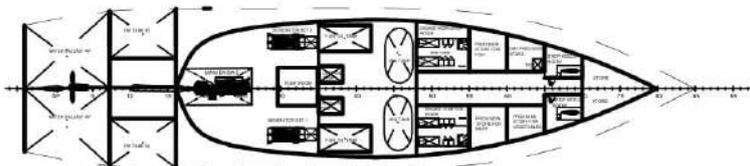
MAIN DECK



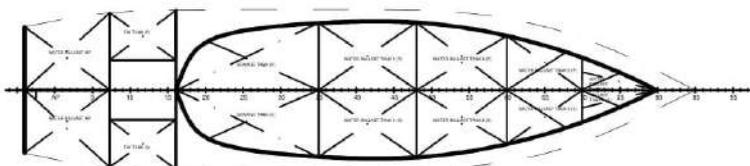
TWEEN DECK



DOUBLE BOTTOM



BELOW DOUBLE BOTTOM

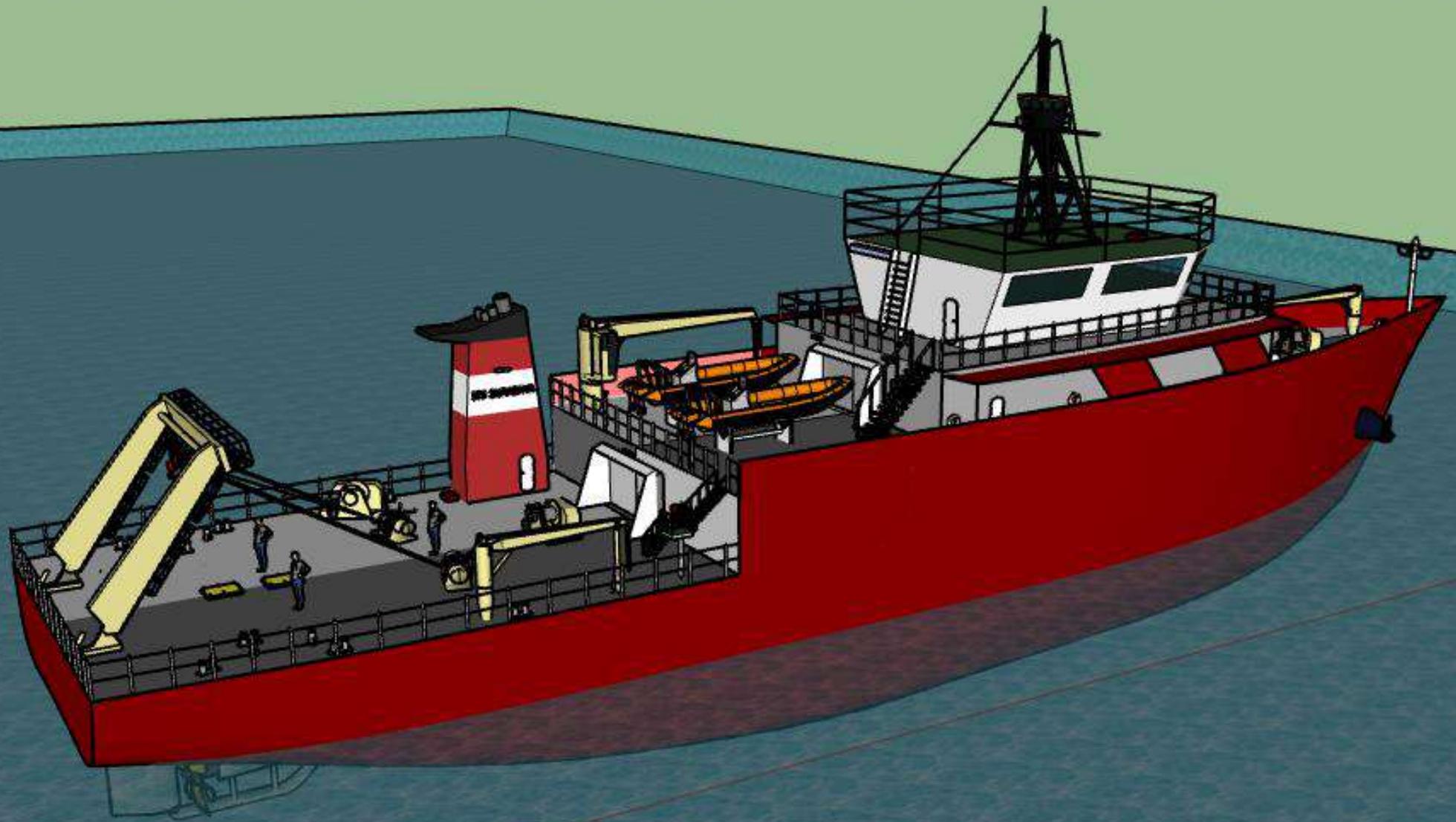


PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	Research vessel
LENGTH OVERALL (LO)	87 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (LBP)	58.41 m
BREADTH (B)	12.30 m
HEIGHT (D)	7.00 m
DRAUGHT (T)	4.40 m
SERVICE SPEED (V)	12 knots
COMPLEMENT	87 persons
MAIN ENGINE POWER	2810 HP

	DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING			
	FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY			
	SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA			
MPRV GIBRENA				
GENERAL ARRANGEMENT				
SCALE	1:100	SIGNATURE	DATE	REVISI
DRAWN BY	Nababan Ginting			011-28403328
	T. Heady Andri Kurniawan, M.Sc.			AS

LAMPIRAN D
SAFETY PLAN DUAL FUEL MULTI-PURPOSE RESEARCH
VESSEL

LAMPIRAN E
PEMODELAN 3D







LAMPIRAN F
KATALOG PERALATAN RISET

1. CTDs Profiler (Conductivity, Temperature, Density, Water Sampler)



2. Accoustic Doppler Current Profiler



3. Gravity Corer



4. Multi-purpose Winch



5. Multi-purpose Crane



6. EK500 Fish Finder (Echo Sounder)



7. Side Scan Sonar (SSS)



8. Sound Velocity Sensor



BIODATA PENULIS



Hebron Ginting, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Kabanjahe pada 11 September 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Bhayangkari, kemudian melanjutkan ke SD Negeri 8 Kabanjahe, SMP Santa Maria Kabanjahe dan SMAN 2 Balige. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN undangan.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi Staff Perlengkapan *Sub-event* SFSC SAMPAN 10 ITS, Kepala Divisi Pelatihan Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) HIMATEKPAL ITS 2017/2018 serta Kepala Departemen Internal Mahasiswa Bona Pasogit (MBP) ITS.

Selain itu, Penulis juga memiliki kesempatan untuk mengikuti beberapa pelatihan, baik pelatihan pembentukan *soft skill* seperti LKMM Pra-TD, maupun pelatihan yang menunjang kebutuhan akademis selama perkuliahan, seperti pelatihan perangkat lunak AutoCAD, Maxsurf, dan ANSYS.

Email: hegints@gmail.com