



**UNIVERSITAS PERTAHANAN**

**STUDI PERANCANGAN LAMBUNG (*HULL*) KAPAL  
PERANG *FRIGATE* 4000 TON**

**HANUNG BAYU SETIAWAN**

**NIM: 120170404002**

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN  
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI DAYA GERAK**

**BOGOR  
FEBRUARI 2019**



**UNIVERSITAS PERTAHANAN**

**STUDI PERANCANGAN LAMBUNG (*HULL*) KAPAL  
PERANG *FRIGATE* 4000 TON**

**HANUNG BAYU SETIAWAN**

**NIM: 120170404002**

Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam  
Menempuh Gelar Magister Pertahanan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN  
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI DAYA GERAK**

**BOGOR  
FEBRUARI 2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Hanung Bayu Setiawan, S.T.  
NIM : 120170404002  
Program Studi : Teknologi Daya Gerak  
Judul : Analisis Perancangan Lambung (*Hull*) Kapal Perang  
*Frigate* 4000 Ton

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Pertahanan pada Program Studi Teknologi Daya Gerak Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Laksda TNI Dr. Ir. Suyono Tamrin, M. Eng. Sc (.....)

Pembimbing II: Dr Eng. Ressa Oktavianty (.....)

Penguji I : Kol. Laut Dr. I Nengah P.A, S.T, M. Si (Han) (.....)

Penguji II : Dr. Jupriyanto, S.T., M.T (.....)

Penguji III : Kol. Kes Dr. Sovian Aritonang, S.Si, M. Si (.....)

Ditetapkan di : Bogor

Tanggal : Februari 2019

## **PERNYATAAN ORISINALITAS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya atau bagian kata yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, Februari 2019

Hanung Bayu Setiawan

## **PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Hanung Bayu Setiawan  
NIM : 120171212017  
Program Studi : Teknologi Daya Gerak  
Fakultas : Teknologi Pertahanan  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Hak Bebas Royalty Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas ilmiah saya berjudul:

### **Analisis Perancangan Lambung (*Hull*) Kapal Perang *Frigate* 4000 Ton**

Beserta perangkat yang ada jika diperlukan. Dengan Hak Bebas Royalty Noneksklusif ini Universitas Pertahanan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta/Karya intelektual dari tesis ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran penuh tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bogor, Februari 2019

Hanung Bayu Setiawan

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya milik Allah SWT Tuhan Semesta Alam yang menggenggam seluruh kehidupan dunia dan tidak lupa salam dan Shalawat kepada Nabi penutup zaman Rasulullah Muhammad SAW. Atas segala RahmatNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Pertahanan pada Program studi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik moril atau materiil. Sehingga penyusunan laporan Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Letnan Jenderal TNI Dr. Tri Legionosuko, S.IP, M.AP, Selaku Rektor Universitas Pertahanan.
2. Romie O. Bura, B.Eng.(Hons), MRAeS., Ph.D, Selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan
3. Brigadir Jenderal TNI Deni D.A.R M.Si (Han) Selaku Wakil Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan
4. Kol. Kes. Dr. Sovian Aritonang M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Daya Gerak dan penguji ketiga dalam sidang tesis ini.
5. Laksamana Muda TNI Dr. Ir. Suyono Thamrin M.Eng Sc. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah meluangkan banyak waktu untuk membina dan mengarahkan penulis dalam penyusunan Tesis ini dengan sangat baik.
6. Dr. Eng Ressa Oktavianty selaku Dosen Pembimbing II, yang telah meluangkan waktu untuk membina, memberi saran dan mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
7. Kolonel Laut (E) Dr. I Nengah P.A, S.T, M. Si (Han) sebagai penguji pertama dalam sidang tesis ini

8. Dr. Jupriyanto, S.T., M.T sebagai penguji kedua dalam sidang tesis ini
9. Ibu Hidayatun, dan Bapak Suwarna yang telah mendukung penulis baik moril, materil, spiritual, dan banyak hal yang penulis tidak bisa jabarkan. Terimakasih banyak
10. Adek-adekku Tercinta Gandung Tirta Setiaji, Faliha Salsabila dan Keluarga Besar Bapak Alm. Soekandar serta Keluarga Besar Bapak Suwito Arjo Loso.
11. Indah Permatawati tercinta yang selalu memberi semangat dalam penyelesaian Tesis ini
12. Rekan-rekan seperjuangan Teknologi Daya Gerak Cohort 1. Mayor Czi Asril Arifin ST., M. Abdi S.Gilman, ST., Imastuti, S.Pd dan Putri Herdiana W, S.Pd dan Rekan-rekan Teknologi Daya Gerak Cohort 2 yang membantu segala keperluan penulis dalam penulisan Tesis.
13. Keluarga besar Mahasiswa Cohort IX Universitas Pertahanan
14. Rekan- rekan ruang 101 Inaldy Luther (MB), Ilham Gultom (MP) Teuku Muda Raja Dharma Bentara (AW), Finda Novrian (MP), Arinaldo Habib Pratama (MP), Asror (DRK) Ahmad Wafi Fauzi selaku Pangkopur 101 (DRK), Erdianta Sitepu (MB).
15. Rekan diskusi dalam tesis ini, Rani Agustiani (KE), Rifki (KE), Filya Rizky Lestari (TP) dan Dyan Herjuna (TSJ), dan semua rekan-rekan diskusi penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu
16. Rekan rekan Anshula Patriot dan senior Anshula Universitas Pertahanan.
17. Dr. Eng Deddy Crismianto, MT. Kepala Departemen Teknik Perkapalan Undip yang telah memberikan arahan dan dukungan kepada penulis.
18. Keluarga besar NAVAL ARCHITECTURE 2010, yang selalu mendukung dalam pembuatan Tesis ini.
19. Rekan Forum Diskusi HYDROTEC, Heri Setiawan dan Azizul Miftah yang banyak membantu menyelesaikan penelitian.

20. Serta berbagai pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu namanya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap kepada Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan Tesis ini. Semoga dapat bermanfaat bagi dan atas segala bantuan yang diberikan penulis mengucapkan terimakasih.

Bogor, Februari 2019

Hanung Bayu Setiawan

## ABSTRAK

### Analisis Perancangan Lambung (*Hull*) Kapal Perang *Frigate* 4000 Ton

Hanung Bayu Setiawan

Perancangan lambung kapal dan analisis kapal perang *frigate* 4000 ton dilakukan dengan melakukan *benchmarking* terhadap data lambung kapal yang tersedia dan telah dikembangkan, penelitian ini difokuskan pada penentuan parameter geometri lambung yang menekankan pada karakteristik hidrostatis, stabilitas dan *seakeeping frigate* itu sendiri. Analisis perhitungan dalam penelitian ini menggunakan asumsi empat kondisi muatan dengan tiga variasi kecepatan kapal yang berbeda, Hasil analisis Stabilitas nilai GZ terbesar pada kondisi 4 = 6,825 m. periode keolengan tercepat terjadi pada kondisi 4 dengan nilai T = 5,822 detik. Hasil Analisis Olah Gerak (*Seakeeping*) Nilai *Heaving* nilai terkecil terjadi dengan nilai *motion* = 0,153 m<sup>2</sup>, *velocity* 0,015 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, *acceleration* 0,011 m<sup>2</sup>/s<sup>4</sup>. Nilai *rolling* terkecil terjadi dengan nilai *motion* = 0 deg<sup>2</sup>, *velocity* 0 (rad/s)<sup>2</sup>, *acceleration* 0 (rad/s/s)<sup>2</sup>. Nilai *pitching* terkecil terjadi dengan nilai *motion* = 0,200 deg<sup>2</sup>, *velocity* 0 (rad/s)<sup>2</sup>, *acceleration* 2x10<sup>-5</sup> (rad/s/s)<sup>2</sup>. Kapal ini memiliki karakteristik yang sesuai dengan kondisi laut di Indonesia dengan nilai stabilitas sesuai dengan peraturan IMO *Section A.749*

Kata Kunci: Kapal Perang, *Frigate*, Lambung, Stabilitas, *Seakeeping*

## **ABSTRACT**

### ***The Analysis of the Hull Design of Frigate Warships 4000 tons***

Hanung Bayu Setiawan

*The hull design and analysis of frigate warship 4000 tonnage was conducted by benchmarking hull data from available frigate that have been developed, this research was focused on determining the geometri parameter of hull emphasizing on the characteristic of hydrostatic, stability and seakeeping of the frigate itself. Analysis of calculations in this study uses the assumption of four load conditions with three different variations in ship speed. Results of analysis stability of the maximum GZ value occurs in Fourth conditions  $4 = 6.825$  m. the fastest unsteady period occurs in condition 4 with a value of  $T = 5.822$  seconds. The result of seakeeping analysis The smallest value of Heaving value occurs at  $0^\circ$  speed of 20 knots with a motion value  $= 0.153$  m<sup>2</sup> velocity  $0.015$  m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, acceleration  $0,011$  m<sup>2</sup>/s<sup>4</sup>. The smallest rolling value occurs at conditions  $0^\circ$  and  $180^\circ$  speeds of 10, 20 and 30 knots with motion values  $= 0$  deg<sup>2</sup>, velocity  $0$  (rad/s)<sup>2</sup>, acceleration  $0$  (rad/s/s)<sup>2</sup>. The smallest pitching value occurs in  $90^\circ$  speed of 30 knots with a motion value  $= 0.200$  deg<sup>2</sup>, velocity  $0$  (rad/s)<sup>2</sup>, acceleration  $2 \times 10^{-5}$  (rad/s/s)<sup>2</sup>. This ship has characteristics that are in accordance with the Indonesian sea conditions with the value of stability in accordance with the rules of IMO Section A.749*

*Keywords: Warships, Frigates, Hull, Stability, Seakeeping*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERYATAAN ORISINALITAS .....	iii
PERYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACK .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Teoretis .....	8
1.5 Manfaat Praktis .....	8
<b>BAB II KAJIAN TEORETIS .....</b>	<b>9</b>
2.1 Ilmu Pertahanan .....	9
2.2 Teknologi Pertahanan .....	10
2.3 Kapal Kelas <i>Frigate</i> .....	12
2.4 Perancangan Kapal dan Ukuran Utama Kapal .....	13
2.5 Metode Perancangan .....	14
2.5.1 Metode Perbandingan .....	14
2.5.2 Metode Statistik .....	15
2.5.3 Metode Iterasi .....	15

2.5.4 Metode Kompleks .....	15
2.6 Regresi Linear .....	15
2.7 Metode Optimasi .....	17
2.8 Rencana Garis .....	18
2.9 Perencanaan Umum .....	19
2.10 Perhitungan Hidrostatik .....	20
2.11 Perhitungan Stabilitas .....	24
2.12 Perhitungan Olah Gerak (Seakeeping).....	27
2.12.1 Gerakan Heaving .....	28
2.12.1 Gerakan Pitching.....	29
2.12.1 Gerakan Rolling.....	30
2.13 Penelitian Terdahulu .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	33
3.2.1 Tempat Penelitian .....	33
3.2.2 Waktu Penelitian .....	33
3.2 Materi Penelitian .....	33
3.2.1 Data Primer .....	33
3.2.2 Data Sekunder .....	34
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	34
3.3.1 Studi literatur.....	34
3.4 Tahap Analisis dan Pengolahan Data.....	34
3.4.1 Melakukan pengumpulan data ukuran.....	34
3.4.2 Optimasi Ukuran Kapal .....	35
3.4.3 Pemodelan Linesplan.....	35
3.4.4 Membuat Perencanaan Umum.....	35
3.4.5 Menganalisis Perhitungan Hidrostatik .....	35
3.4.6 Menganalisis Perhitungan Hambatan.....	35
3.4.7 Menganalisis Perhitungan Stabilitas.....	36
3.4.8 Menganalisis Perhitungan Olah Gerak.....	36

3.5 Rancangan Penelitian .....	36
3.6 Flowchart .....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Gambaran Umum Perancangan Kapal.....	39
4.1.1 Konsep Desain .....	39
4.1.2 Pra Perencanaan .....	40
4.2 Perencanaan Ukuran Utama Kapal.....	40
4.2.1 Kapal Pembanding .....	40
4.2.2 Menentukan Ukuran Utama Kapal Fregat .....	41
4.2.3 Menentukan LENGHT Kapal Baru .....	41
4.2.4 Menentukan BREADHT Kapal Baru .....	42
4.2.5 Menentukan DRAFT Kapal Baru .....	43
4.2.6 Menentukan Cb Kapal Baru .....	44
4.2.7 Ukuran Utama Kapal Frigate Baru .....	46
4.3 Perencanaan Model Kapal .....	47
4.3.1 Perencanaan Garis ( <i>Linesplan</i> ) .....	47
4.3.2 Perencanaan Umum .....	50
4.3.2.1 Perhitungan LWT.....	50
4.3.2.2 Perhitungan DWT .....	54
4.3.2.3 Perhitungan <i>Payload</i> .....	56
4.4 Analisis Hambatan & Daya Kapal.....	57
4.5 Analisis Hidrostatik Kapal .....	58
4.6 Analisis Stabilitas Kapal .....	60
4.6.1 Perencanaan Kondisi Muatan.....	61
4.6.2 Analisis dan Perhitungan pada 6 Kondisi .....	63
4.6.3 Perhitungan Periode Oleng Kapal .....	68
4.7 Analisis Olah Gerak ( <i>Seakeeping</i> ) Kapal.....	69
4.7.1 Penggunaan <i>Software Maxsurf Motion</i> .....	70
4.7.2 Analisis dan Perhitungan Maxsurf Seakeeping .....	73

<b>BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....</b>	<b>78</b>
5.1 Kesimpulan .....	78
5.2 Rekomendasi .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>803</b>

## DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 1.1 Peta Konflik di wilayah Natuna dan Laut China Selatan..	2
2. Gambar 1.2 Alur Laut Kepulauan Indonesia .....	3
3. Gambar 1.3 Kapal Frigate Admiral Grigorovich Rusia .....	5
4. Gambar 2.1 Tema Penelitian Teknologi Pertahanan dan Keamanan .	11
5. Gambar 2.2 Ship Design Spiral (Evans, 1959) .....	14
6. Gambar 2.3 Gambar Bodyplan sebelum dan setelah Optimasi .....	18
7. Gambar 2.4 Linesplan Kapal .....	19
8. Gambar 2.5 Sumbu gerak pada kapal .....	24
9. Gambar 2.6 Ketiga Kondisi Stabilitas.....	25
10. Gambar 2.7 Enam gerakan bebas sumbu pada kapal .....	28
11. Gambar 4.1 Konsep desain kapal frigate PMIDU-HBS X-01.....	40
12. Gambar 4.2 Grafik Linear antara Displacement dengan Length .....	44
13. Gambar 4.3 Grafik Linear antara Displacement dengan Breadth.....	45
14. Gambar 4.4 Grafik Linear antara Displacement dengan Draft .....	46
15. Gambar 4.5 Grafik Linear antara Displacement dengan Cb.....	47
16. Gambar 4.6 Optimasi bentuk lambung lama dengan lambung baru ...	48
17. Gambar 4.7 Linesplan Kapal Frigate PMIDU-HBS X-01 .....	50
18. Gambar 4.8 Linesplan Kapal Frigate DTMB 5415 .....	51
19. Gambar 4.9 Perbandingan Froude Number LWL dengan Volume.....	59
20. Gambar 4.10 Perbandingan Holtrop Resistnce dengan Power.....	60
21. Gambar 4.11 Grafik kurva Hidrostatik.....	62
22. Gambar 4.12 Posisi titik Berat dan Loadcase pada Kapal Frigate .....	64
23. Gambar 4.13 Nilai GZ kapal <i>Frigate</i> pada kondisi Loadcase 1 .....	67
24. Gambar 4.14 Nilai GZ kapal <i>Frigate</i> pada kondisi Loadcase 2 .....	67
25. Gambar 4.15 Nilai GZ kapal <i>Frigate</i> pada kondisi Loadcase 3 .....	68
26. Gambar 4.16 Nilai GZ kapal <i>Frigate</i> pada kondisi Loadcase 4 .....	68
27. Gambar 4.17 Nilai GZ kapal <i>Frigate</i> pada kondisi Loadcase 5 .....	69
28. Gambar 4.17 Nilai GZ kapal <i>Frigate</i> pada kondisi Loadcase 6 .....	69
29. Gambar 4.19 Gerakan pada Sumbu Kapal.....	71

30. Gambar 4.20 Alur <i>transfer function</i> dalam <i>seakeeping performance</i> ..	72
31. Gambar 4.21 Spectra gelombang JONSWAP .....	73
32. Gambar 4.22 Ilustrasi Arah Masuk Gelombang (Wave Heading) .....	75
33. Gambar 4.23 Grafik Spectra Remote Location Heading 10 knot .....	75
34. Gambar 4.27 Grafik Spectra Remote Location Heading 20 knot .....	75
35. Gambar 4.28 Grafik Spectra Remote Location Heading 30 knot .....	76

## DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1 Tema riset Teknologi Daya Gerak (Sumber Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045) .....	11
2. Tabel 2.2 Minimum Essential Force (MEF) tahap II TNI .....	12
3. Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu .....	32
4. Tabel 3.1 Timeline Pelaksanaan Penelitian .....	34
5. Tabel 3.2 Tabel Rancangan penelitian .....	37
6. Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal Pembanding.....	41
7. Tabel 4.2 Perhitungan Length Kapal Baru .....	43
8. Tabel 4.3 Perhitungan Breath Kapal Baru .....	44
9. Tabel 4.4 Perhitungan Draft Kapal Baru .....	45
10. Tabel 4.5 Perhitungan CB Kapal Baru .....	46
11. Tabel 4.6 Karakteristik Kapal Frigat XF-01 UNHAN .....	50
12. Tabel 4.7 Karakteristik Kapal Pembanding DTMB .....	51
13. Tabel 4.8 Tabel Lengkung Hidrostatik .....	61
14. Tabel 4.9 Kondisi Loadcase Kapal Fregat .....	63
15. Tabel 4.10 Hasil Analisa Stabilitas.....	66
16. Tabel 4.11 Periode Oleng Kapal.....	70
17. Tabel 4.12 Beaufort Wind Force Scale .....	74
18. Tabel 4.13 Number Of Wave Heading .....	74
19. Tabel 4.14 Nilai <i>Motion</i> , <i>Velocity</i> dan <i>Acceleration</i> .....	75

## DAFTAR SINGKATAN

AL	: Angkatan Laut
ALKI	: Alur Laut Kepulauan Indonesia
ALPAHANKAM	: Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan
B	: <i>Breadth</i>
BI	: <i>Buttock Line</i>
BT	: <i>Ballast Tank</i>
C <sub>B</sub>	: <i>Block Coeffisient</i>
C <sub>M</sub>	: <i>Midship Coeffisient</i>
CP	: Prismatic Coefficient
C <sub>WL</sub>	: <i>Coefficient of Water Line</i>
D	: <i>Draft/Draught</i>
DOT	: <i>Diesel Oil Tnk</i>
DWT	: <i>Deadweight Tonnage</i>
FOT	: <i>Fuel Oil Tank</i>
FWT	: <i>Fresh Water Tank</i>
H	: <i>Height</i>
IMO	: <i>International Maritime Organization</i>
KB	: <i>Keel to Center of Bouyancy</i>
L	: <i>Lenght</i>
LBM	: <i>Longitudinal Center of Bouyancy to Metacenter</i>
LCB	: <i>Longitudinal Center of Bouyancy</i>
LCF	: <i>Longitudinal Center of Floatation</i>
LKM	: <i>Longitudinal of Keel to Metacenter</i>
LOA	: <i>Lenght Overall</i>
LPP	: <i>Lenght Between Perpendicular</i>

LWL	: <i>Lenght of Waterline</i>
LWT	: <i>Lightweight Tonnage</i>
MSA	: <i>Midship of Section Area</i>
MTC	: <i>Moment to change Trim one Centimeter</i>
NSP	: <i>Nederlandsch Scheepbouwkundig Proefstation</i>
OPV	: <i>Off-shore Patrol Vessel</i>
OR	: <i>Operations Research</i>
SIGMA	: <i>Ship Integrated Geometrical Modularity Approach</i>
TBM	: <i>Transverse Center of Bouyancy to Metacenter</i>
TKM	: <i>Transverse of Keel to Metacenter</i>
TNI	: <i>Tentara Nasional Indonesia</i>
TPC	: <i>Ton Per Centimetre Immersion</i>
UNCLOS	: <i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>
WL	: <i>Water Line</i>
WPA	: <i>Water Plan Area</i>
WSA	: <i>Wetted Surface Area</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia dinyatakan secara internasional sebagai negara kepulauan terbesar di dunia melalui *United Nations Convention on the Law of the Sea* (UNCLOS) 1982. Dengan jumlah lebih dari 17.506 pulau, Indonesia mempunyai predikat negara kepulauan terbesar di dunia. Di antara ribuan pulau tersebut, ada 92 di antaranya yang merupakan pulau-pulau kecil terluar yang berbatasan langsung dengan sepuluh negara tetangga yakni Malaysia, Singapura, Thailand, India, Australia, Vietnam, Filipina, Republik Palau, Timor Leste dan Papua New Guinea<sup>1</sup>. Adanya perbatasan wilayah yang sampai saat ini belum selesai penyelesaiannya mempunyai potensi konflik yang tinggi terhadap negara yang langsung berbatasan dengan Indonesia. Adanya keberadaan potensi konflik dan isu keamanan di wilayah laut sangat berhubungan dengan fungsi inti dari pertahanan wilayah laut yang semakin strategis dalam fungsi dan kepentingan negara-negara dunia yang mendorong dalam usaha untuk meningkatkan pertahanan dan keamanan<sup>2</sup>. Di wilayah laut, bagi banyak negara menjadi lokasi strategis untuk keperluan ekonomi, diplomasi, dan sebagai fungsi pertahanan. Banyak negara yang mengalami konflik dikarenakan perebutan wilayah laut, sebagai contoh wilayah Laut Cina selatan yang menjadi medan konflik 6 negara.

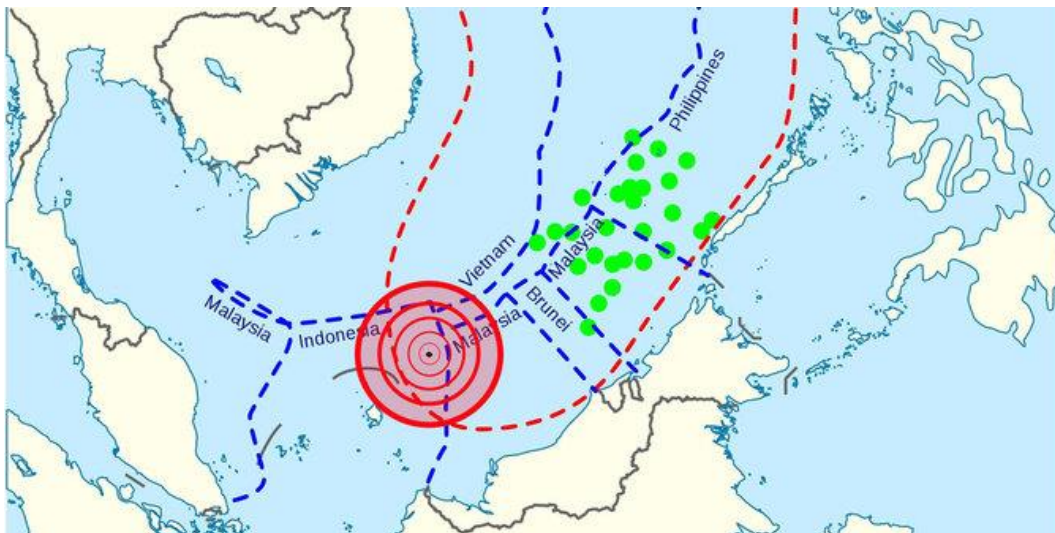
Diwilayah konflik Laut China Selatan, China memulai kegiatan infasifnya dengan membangun beberapa fasilitas di Pulau Spartly dan pulau karang, pembangunan landasan pesawat di atas Pulau Spartly tanpa ada persetujuan negara sengketa lainnya. Membuat negara anggota asean

---

<sup>1</sup> Asana, R., Suwartiningsih, S. and Nugroho, A.B.H., 2017. Kebijakan Pertahanan Indonesia Terhadap Pulau-Pulau Kecil Terluar Pada Masa Pemerintahan Jokowi. *Cakrawala*, 6(1), pp.35-58.

<sup>2</sup> SAMUEL, Samuel; WINDYANDARI, Aulia.2013, *Perancangan Kapal Perang Multipurpose Tipe Katamaran Untuk Kondisi Perairan Ambalat..* ISSN 2301-9069.

yang berkonflik dengan China (Taiwan, Malaysia, Brunei, Filipina dan Vietnam) di Wilayah Laut China Selatan memiliki keyakinan bahwa China telah melanggar perjanjian yang telah disepakati, dari keterangan tersebut maka ancaman di masa depan yang kemungkinan terjadi konflik antara negara ASEAN dengan China<sup>3</sup>, dari keterangan tersebut maka ancaman di masa depan yang kemungkinan terjadi konflik antara negara ASEAN dengan China. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1 mengenai peta konflik di Laut China Selatan.



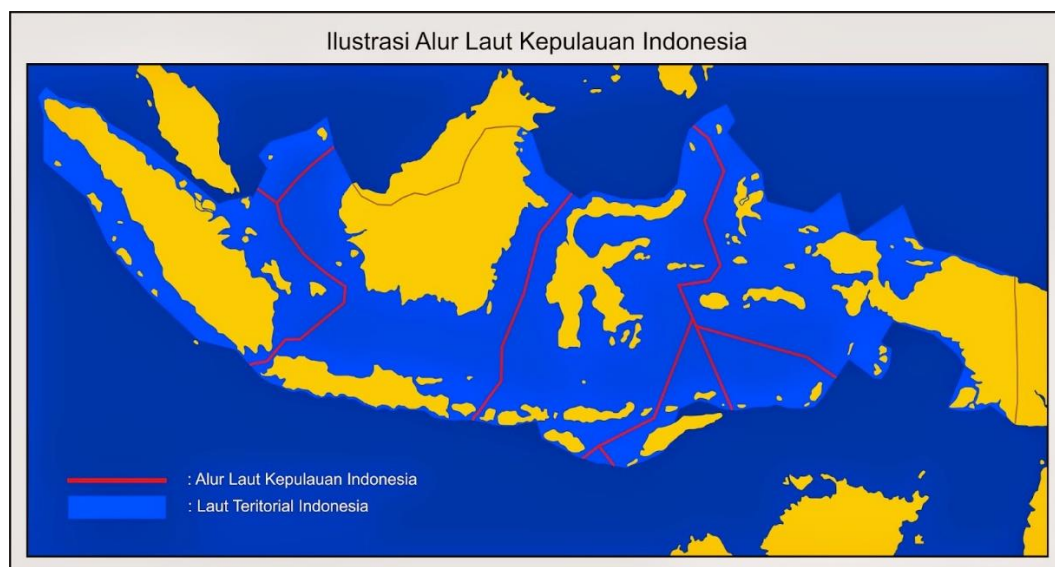
Gambar 1.1 Peta Konflik di wilayah Natuna dan Laut China Selatan

Sumber : [www.merdeka.com/dunia/ini-peta-lokasi-bentrok-tni-al-al-china-di-laut-natuna.html](http://www.merdeka.com/dunia/ini-peta-lokasi-bentrok-tni-al-al-china-di-laut-natuna.html), 2018

Selain potensi konflik yang ada di laut natuna utara, jalur Alur Laut Kepulauan Indonesia atau ALKI yang ditunjukkan pada Gambar 1.2 juga mempunyai banyak potensi konflik antara lain, melintasnya kapal dan pesawat ilegal atau tanpa ijin, aksi spionase atau penyusupan kapal dan pesawat musuh, dan penyelundupan barang terlarang dari luar Indonesia. ALKI terlahir setelah *United Nations Convention on the Law of the Sea* (UNCLOS) di tahun 1982 (yang disahkan dengan UU No. 17 Tahun 1985) dan telah dinyatakan sebagai hukum positif internasional sejak 16

<sup>3</sup> Bahri, M. 2016. "Kebijakan Freedom Of Navigation Amerika Serikat Di Laut China Selatan". Jurnal Skripsi. FISIP.UNHAS MAKASAR

November 1994, Dunia telah mengakui hak Indonesia sebagai Negara Kepulauan.



Gambar 1.2 Alur Laut Kepulauan Indonesia

Sumber : <http://maritimnews.com/pemanfaatan-alki-bagi-pembangunan-wilayah-tertinggal>, 2018

Peningkatan pertahanan di wilayah laut perlu dilakukan dengan meningkatkan kemampuan dibidang teknologi pertahanan laut yang berhubungan dengan teknologi kapal perang, pada dasarnya teknologi kapal perang selalu meliputi bidang perancangan ukuran bentuk, dimensi dan tata kelola dan ruang hidrodinamika struktur mesin pendorong dan mesin bantu serta teknologi industri yang semua saling berkaitan, di abad ke 20 ini, jika diperhatikan telah banyak penemuan dan perkembangan teknologi baru dalam bidang ilmu dan teknologi perkapalan yang mempunyai pengaruh terhadap global<sup>4</sup>.

Saat ini TNI-AL tidak memiliki cukup armada untuk mengamankan wilayah perairan Indonesia. Alusista TNI-AL masih memberi tempat kepada kapal-kapal perang produksi lamaeaks Jerman Timur dan Belanda. Bahkan untuk negara maritim seperti Indonesia, TNI-AL hanya memiliki dua unit

<sup>4</sup> Soegiono, 1994 "PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PERKAPALAN DI INDONESIA, Pidato, Naval Architecture and Ship Building Engineering", ITS 623.83

kapal selam kelas Cakra dan dua unit kelas Nagapasa yang tentu saja belum memadai untuk membentengi wilayah laut Indonesia. Kondisi ini jelas membuat wilayah laut Indonesia sangat rentan akan penyusup baik yang bermotif ekonomi seperti pencurian ikan dan perompakan maupun yang terkait dengan misi intelejen asing. Angkatan laut negara-negara tetangga maupun negara lain telah memiliki alutsista yang memadai untuk mempertahankan wilayah lautan mereka. Saat ini tren yang muncul adalah perlombaan negara-negara untuk membangun angkatan laut dengan kategori *blue waters navy*<sup>5</sup>.

Perkembangan teknologi kapal perang semakin pesat seiring majunya ilmu pengetahuan. Perkembangan teknologi kapal perang yang begitu signifikan terjadi pada sistem tenaga pendorong, radar, sistem kontrol hingga persenjataan yang digunakan. Dalam terminologi kapal perang permukaan di angkatan laut, terdapat beberapa jenis kapal perang dimulai dari *Fast Attack Craft* (kapal serang cepat), *Off-shore Patrol Vessel* (OPV), korvet, *frigate*, perusak, hingga penjelajah. Selain diklasifikasikan berdasarkan fungsi operasionalnya, pengelompokan ini juga berdasarkan data dari bobot dari kapal tersebut<sup>6</sup>.

Kapal *frigate* identik dengan *escort* atau pengawal, termasuk jenis dari berbagai kapal perang, korvet, kapal torpedo perusak/penghancur dan kapal pengawalan, yang terutama berkaitan dengan perjalanan jalur perdagangan yang aman dan perluasan fungsi dari kapal ini adalah, sebagai kapal yang dapat menjadi kapal anti kapal selam dan kapal pengawal rudal<sup>7</sup>. Kemudian dalam upaya menambah dan memodernisasi alpahankam, TNI Angkatan laut memesan sejumlah empat kapal perang

---

<sup>5</sup> Rachmad, Angga Nurdin., "Tantangan dan Peluang Perkembangan Teknologi Pertahanan Global Bagi Pembangunan Kekuatan Pertahanan Indonesia" Jurusan Hubungan Internasional, Universitas Jenderal Achmad Yani.

<sup>6</sup> Muktiwibowo, Rio., 2018" *Manajemen Teknologi Pt Pal Indonesia Dalam Pembangunan Kapal Perusak Kawal Rudal*" Tesis Industri Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>7</sup> Bernard, Ireland & John Parker," *The illustrated encyclopedia of destroyer, frigate & submarine*", Southwater

berjenis korvet generasi paling modern dari dok dan galangan Royal Schelde, Belanda. Secara bertahap, dari tahun 2007 TNI Angkatan Laut menerima empat korvet baru dari Belanda dari klas SIGMA (*Ship Integrated Geometrical Modularity Approach*) klas Diponegoro.

Dari hal tersebut maka diperlukan teknologi perancangan kapal perang terbaru sesuai dengan kondisi laut di Indonesia dengan menggunakan metode yang ada dan disesuaikan dengan sarana dan prasarana Penelitian dan Pengembangan yang ada di Indonesia. Jika dibandingkan dengan negara tetangga kapal perang *frigate* Indonesia kalah dalam segi tonasse misalnya dengan negara Australia dengan *frigate* Type 26 nya, memiliki Tonasse 6000 Dwt dengan jarak jangkau jelajah 7000 mil laut dan *Formidable-Classnya* singapura dengan tonasse 3100 dwt dan jarak jangkau 4000 mil laut, sedangkan KRI Martadinata hanya memiliki 2300 dwt dengan jarak jangkau jelajah 3000 mil laut.

Karakteristik bentuk lambung mempengaruhi desain dan kinerja semua sistem dan disiplin lain yang terlibat dalam desain kapal. Penilaian dampak karena variasi bentuk lunas harus diatasi melalui proses yang mencakup keseluruhan sintesis desain, serta, prediksi misi efektivitas dan biaya. Dampak potensial dari perubahan bentuk lambung pada keseluruhan misi efektivitas dan biaya seringkali tidak jelas dan interaksi antara solusi desain sulit diprediksi. Dalam banyak kasus, solusi desain tertentu akan menghasilkan peningkatan dalam satu bidang kerja dengan mengurangi yang lain. Oleh karena itu seluruh ruang desain harus dieksplorasi untuk mengidentifikasi sebagian besar konfigurasi desain yang optimal dalam hal efektivitas misi dan biaya.



Gambar 1.3 Kapal *frigate* Admiral Grigorovich Rusia

Sumber : <https://www.merdeka.com/dunia/ini-admiral-grigorovich-lawan-sebanding-kapal-perang-as-di-suriah.html>, 2018

Berdasarkan keterangan tersebut di atas perlu adanya penelitian dan inovasi desain kapal perang yang memiliki bobot mati yang besar dalam meningkatkan daya jelajah kapal, stabilitas yang bagus ketika kapal bermanuver, memiliki desain lambung yang mampu melewati level sea state 6-7 dan memiliki kecepatan maksimal 30 knot, sehingga pada saatnya dapat menjadi jawaban atas Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan (Alpahankam) dalam mengatasi masalah keamanan dan pertahanan yang pada saat ini berkembang dan menjawab kebutuhan alutsista laut yang dibutuhkan TNI angkatan laut dimasa yang akan datang.

Kebutuhan kapal perang salah satunya adalah bentuk aliran air di lambung kapal untuk meningkatkan kecepatan kapal dan meminimalkan hambatan pada lambung kapal, meningkatkan olah gerak kapal dan menjaga stabilitas kapal. Didalam penelitian ini difokuskan pada perancangan lambung kapal (*hull*) dengan kriteria yang dibutuhkan pada kapal perang khususnya di kapal *frigate*, Untuk merancang lambung kapal, sesuatu yang dibutuhkan terlebih dahulu adalah gambar rancangannya. Dalam perencanaan, yang harus diperhatikan adalah permintaan dari pemesan kapal. Data teknis yang dibutuhkan ini biasanya terdiri dari lima

komponen utama yaitu tipe dan jenis kapal, muatan (jenis dan kapasitas muat), kecepatan, rute pelayaran dan sarat batas kapal.

Analisis pada penelitian ini berdasarkan penyesuaian dari kajian data lapangan yang dilengkapi validasi dari perangkat lunak terhadap aspek hidrodinamika, stabilitas kapal dan olah gerak. Dari hasil penelitian ini akan didapatkan suatu desain yang optimal dan rasional. Secara umum hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat banyak dan menjadi sumbangsih bagi bangsa dalam bidang teknologi kelautan. Sehingga kontribusi pada penelitian ini dapat membantu dan bermanfaat untuk menjadi solusi pertahanan Indonesia Khususnya untuk membantu ketersediaan alpahankam TNI Angkatan Laut

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengoptimisasi geometri lambung kapal frigate berdasarkan *benchmarking* dari beberapa data pembandingan ?
2. Bagaimana menganalisis hidrostatik, stabilitas dan olah gerak kapal sebagai dasar penentuan peningkatan manuver pada kapal frigate yang di rencanakan ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengoptimisasi geometri lambung kapal frigate berdasarkan *benchmarking* dari beberapa data pembandingan
2. Menganalisis hidrostatik, stabilitas dan olah gerak kapal sebagai dasar penentuan peningkatan manuver pada kapal frigate yang di rencanakan

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang Lingkup Penelitian yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan dan tujuan yang diharapkan adalah :

1. Optimasi menggunakan metode perbandingan geometri hull dan metode iterasi dengan menentukan *benchmarking* dari data perbandingan.
2. Stabilitas yang dianalisis dalam penelitian ini adalah stabilitas awal dan stabilitas statis dengan variasi sudut  $-30^{\circ}$  sampai  $180^{\circ}$ .
3. Perhitungan Stabilitas menggunakan *hull* kapal dengan asumsi beban menggunakan *displacement* kapal yaitu 4000 ton
4. Hidrostatik digambarkan dalam grafik yang memuat kondisi trim dan kenaikan air per 1/10 sarat kapal.

## 1.5 Manfaat Penelitian

### 1.5.1 Manfaat Teoretis

Dapat memberikan sumbangsih terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang perancangan pada teknologi pertahanan khususnya teknologi kapal perang yaitu untuk memberikan masukan tentang jenis dan ukuran kapal perang yang sesuai dengan laut di Indonesia yang berdasarkan klasifikasi kapal perang sesuai yang di rekomendasikan oleh IMO (*International Maritime Organization*).

### 1.5.2 Manfaat Praktis

Setelah penelitian ini selesai diharapkan dapat memacu lebih banyak penelitian di teknologi pertahanan khususnya kapal perang, terkait masalah perancangan kapal perang, dan penentuan notasi didalamnya berdasarkan metode yang telah ada dan umum digunakan dalam ilmu perkapalan, diharapkan menjadi salah satu rekomendasi untuk TNI AL dalam membangun Kapal Perang Republik Indonesia (KRI).

## BAB II KAJIAN TEORETIS

### 2.1 Ilmu Pertahanan

Lahirnya suatu ilmu harus melalui pentahapan dalam kaidah filsafat ilmu yaitu ontology (pengalaman tentang fenomena) dan kemudian melahirkan epistemologi, serta kesepakatan dari para ahlinya sehingga fenomena yang memiliki hukum/dalil/teori yang berlaku umum (obyektif, rasional, teori, metode, bersifat universal) dan didukung oleh pengetahuan - pengetahuan lain yang memperkuat sehingga menjadi bangunan suatu ilmu tersendiri, serta dari aspek aksiologi mempunyai asas manfaat bagi kehidupan manusia<sup>8</sup>. Pertama dalam aspek ontologi ilmu pertahanan adalah obyek yang mencerminkan sikap negara dalam menjaga dan membangun kehidupan dan keberlanjutan negara yang bersangkutan, kebutuhan-kebutuhan yang secara filosofis dari keberadaan sebuah negara berangkat dari kebutuhan pertahanan terhadap ancaman terhadap negara tersebut<sup>9</sup>, Ilmu pertahanan dari sisi Ilmu politik adalah sebuah konsep keilmuan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan, diambil dari pernyataan Morgenthau dalam rangka mempertahankan hidup, setiap makhluk hidup membutuhkan rasa aman. Kedua dalam aspek epistemologi sebuah ilmu pengetahuan yang telah dibahas sebelumnya, ilmu pertahanan diperoleh dari sebuah penelitian dengan menggunakan berbagai metode penelitian yang ada dan melewati muti metode yang selanjutnya hasil dari penelitian ini dapat dipelajari dalam monodisiplin, multidisiplin dan transdisiplin sebagai sebuah keilmuan. Dan yang ketiga Ilmu pertahanan dalam Aksiologi dalam kenyataannya ilmu ini telah eksis dalam kehidupan berbangsa dan bernegara sejak awal abad ke 21, Artinya bahwa ilmu

---

<sup>8</sup> Gumilar., Nugroho, 2015, *"Ilmu Pertahanan Dan Pendidikan Bela Negara Dalam Pembangunan Wilayah Perbatasan"*, WIRA Volume 54 /No. 38/Mei-Juni 2015 Hal 5, Kemhan RI

<sup>9</sup> Tippe., Syarifuddin 2016 *" Ilmu Pertahanan : Sejarah, Konsep dan Implementasi"* Salemba Humanika:Jakarta

pertahanan telah memiliki sumbangsih terhadap keilmuan, kajian dan praktek terhadap kebijakan pertahanan suatu negara,

## 2.2 Teknologi Pertahanan

Sejak lima tahun terakhir, pengadaan peralatan pertahanan dan keamanan meningkat cukup signifikan seiring dengan meningkatnya anggaran pertahanan sebagai dampak pertumbuhan ekonomi. Penelitian dan pengembangan peralatan pertahanan dan keamanan mulai menjadi perhatian yang terus ditingkatkan serta bersinergi dengan ke industri pertahanan. Dalam lima tahun ke depan, kegiatan riset diarahkan untuk penguasaan teknologi peralatan di bidang hankam yang mencakup: roket/rudal, kapal perang, radar, dan kendaraan tempur<sup>10</sup>.

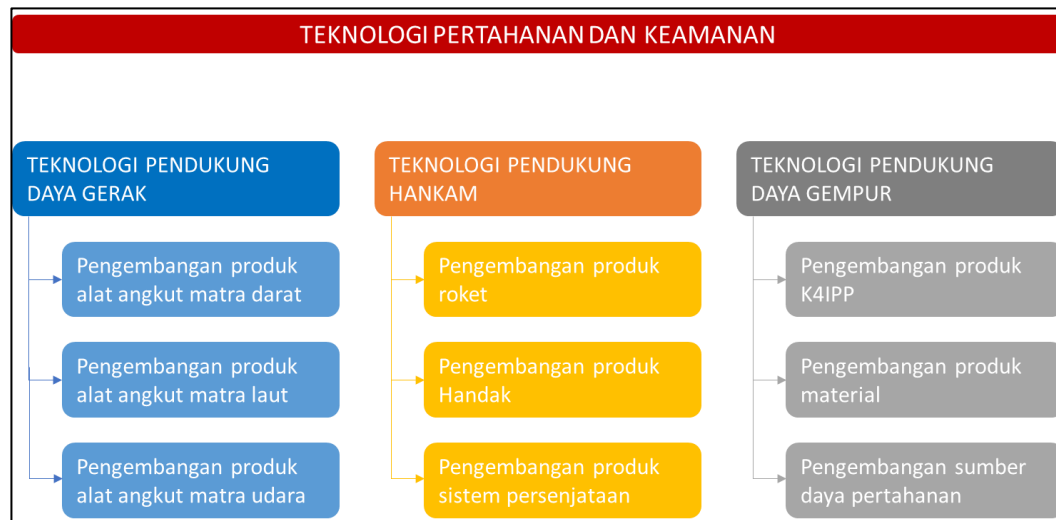
Peralatan pertahanan dan keamanan merupakan suatu peralatan yang mempunyai spesifikasi khusus dan tingkat teknologi yang cukup tinggi, sehingga kegiatan penelitian dan pengembangan untuk mewujudkan dan mendorong kemandirian industri pertahanan. Aspek penguasaan teknologi dicapai melalui strategi: *joint research, joint production, dan joint development*. Sedangkan tingkat pengembangan melalui empat fase, yaitu:

1. Konsep Desain Teknologi
2. Produksi Purwarupa dan Pengujian
3. Produksi and Pembelian
4. Produksi Serial

Pemilihan judul penelitian dengan fokus tema produk/ riset Teknologi pertahanan dan keamanan yang dikeluarkan oleh Ristekdikti tahun 2017 – 2024, didalam gambar 2.1 dijelaskan tema yang disarankan dalam penelitian ristekdikti. Dalam penelitian ini difokuskan pada penelitian desain kapal perang yang merupakan penelitian teknologi daya gerak yang masuk dalam teknologi pertahanan dan keamanan.

---

<sup>10</sup> RISTEKDIKTI, 2017. "Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045".  
<http://rim.ristekdikti.go.id>



Gambar 2.1 Tema Penelitian Teknologi Pertahanan dan Keamanan

Sumber : Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045 (diolah oleh Penulis), 2017

Untuk mendapatkan tema dan judul penelitian yang spesifik dan representatif pada fokus penelitian Pertahanan dan Keamanan. Tema penelitian yang didapatkan secara *top-down*, kemudian diintegrasikan dengan tema/topik riset yang bersifat *bottom-up*.

Tabel 2.1 Tema riset Teknologi Daya Gerak

TEMA RISET	TOPIK RISET	DUKUNGAN ANGGARAN	INSTITUSI TERKAIT	TARGET	LINK RIPIN 2015-2035
Teknologi Pendukung Daya Gerak	Pengembangan produk alat angkut matra darat	Kemenhan	Kemenhan Kemenperin BPPT	Kendaraan tempur medium tank	Mesin dan Perlengkapan Komponen
	Pengembangan produk alat angkut matra laut	Kemenhan	Kemenhan Kemenperin LIPI BPPT	Kapal perang antiradar	Mesin dan Perlengkapan Komponen
	Pengembangan produk alat angkut matra udara	Kemenhan	Kemenhan Kemenperin LAPAN BPPT	Pesawat tanpa awak jangkauan >200km	Mesin dan Perlengkapan Komponen

Sumber : Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045, 2017

Selain dari tabel 2.1 yang menyajikan saran penelitian teknologi pertahanan dan keamanan, didalam MEF atau *Minimum essential Force* TNI AL, pengadaan alutsista yang dibutuhkan oleh TNI AL pada MEF tahap II

adalah 48 kapal dengan rincian seperti pada tabel 4.2 disebutkan beberapa kebutuhan TNI AL antara lain:

Tabel 2.2 *Minimum Essential Force (MEF)* tahap II TNI AL

No.	Jenis Kapal	Banyak
1.	Kapal Selam Diesel Elektrik (KSDE)	2 unit
2.	Perusak Kawal Rudal (PKR) <i>Destroyer</i>	2 unit
3.	Perusak Kawal Rudal (PKR) <i>Frigate</i>	4 unit
4.	Perusak Kawal Rudal (PKR) Korvet	4 unit
5.	Kapal Cepat Rudal (KCR)	4 unit
6.	Kapal BR	2 unit
7.	Kapal <i>Offshore Patrol Vessel</i> (OPV)	6 unit
8.	Kapal PC-40	10 unit
9.	Kapal LHD/MA	2 unit
10.	Kapal Angkut Tank	2 unit
11.	Kapal Bantu Cair Minyak (BCM)	2 unit
12.	Kapal <i>Landing Platform Dock</i> (LPD)	1 unit
13.	Kapal BU (Bantu Umum)	2 unit
14.	Kapal BRS	1 unit

Sumber : MEF Tahap II TNI AL, 2018

### 2.3 Kapal *Frigate*

Kapal *frigate* identik dengan "escort" atau pengawal, termasuk jenis dari berbagai kapal perang, korvet, kapal torpedo perusak/penghancur dan kapal pengawalan, yang terutama berkaitan dengan perjalanan jalur perdagangan yang aman dan perluasan fungsi dari kapal ini adalah, sebagai kapal yang dapat menjadi kapal anti kapal selam dan kapal pengawal rudal<sup>11</sup>.

Kapal *frigate* modern mulai diperkenalkan inggris pada perang dunia dengan merekrut pelaut *Trawler* untuk bergabung dalam angkatan laut

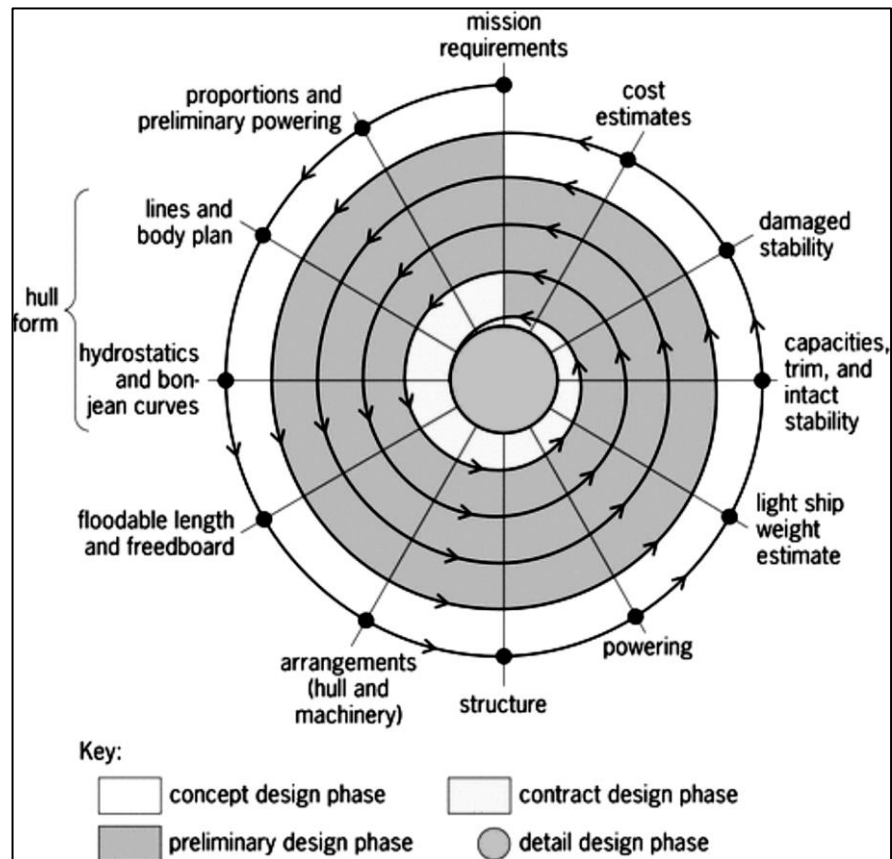
<sup>11</sup> Bernard, Ireland & John Parker, "The illustrated encyclopedia of destroyer, frigate & submarine", Southwater

Kerajaan Inggris dengan membentuk *klass* tambahan, meskipun banyak kapal pukat komersial dipekerjakan oleh angkatan laut Inggris sebagai kapal pengawalan, pada penugasan tambahan ini telah membangun beberapa kelas tambahan "*Admiralty Trawler*".

Pengertian umum mengenai kapal *frigate* berdasarkan beratnya biasanya dianggap sebagai kapal dengan berat lebih dari 3000 ton. Perannya adalah untuk melindungi kapal lain dari kelompok serangannya, bagian utama tugas pokok kapal ini adalah untuk melindungi armada kapal lainnya dari pesawat tempur, kapal permukaan dan kapal selam lawan. *Frigate* tidak memiliki definisi spesifik yang berarti bahwa kapal ini memiliki kesamaan dengan korvet, kapal perusak dan bahkan kapal penjelajah, bahkan kapal-kapal tempur *Littoral* oleh beberapa dianggap sebagai *frigate*. berdasarkan *NATO NAVAL SHIP CODE*, *frigate* mempunyai *range* ukuran *displacement* antara 1730 ton sampai 10220 ton dengan ukuran panjang antara 78 sampai 142 meter.

#### **2.4 Perancangan Kapal dan Ukuran Utama Kapal.**

Langkah langkah dalam desain kapal dilakukan secara berulang-ulang (iterasi) mulai dari *mission requirement* sampai dengan detail kapal. J. Evans memvisualisasikan proses desain kapal dalam spiral pada tahun 1959.



Gambar 2.1 Ship Design Spiral

Sumber: *Ship Theory*, Evans, 1959

## 2.5 Metode Perencanaan

Dalam proses perancangan kapal, salah satu faktor yang cukup signifikan untuk dipertimbangkan adalah penetapan metode rancangan sebagai salah satu upaya untuk menghasilkan output rancangan yang optimal dan memenuhi berbagai kriteria yang disyaratkan. Beberapa metode perancangan kapal yang digunakan dalam teknik perkapalan adalah antara lain:

### 2.5.1 Metode Perbandingan

Merupakan metode perancangan kapal yang mensyaratkan adanya satu kapal pembanding dengan tipe yang sama dan telah memenuhi kriteria rancangan (*stabilitas*, *seakeeping*, struktur, dll) dan dapat menghasilkan

rancangan yang lebih baik. Ukuran utama kapal baru didapat dari mengalikan ukuran kapal pembanding dengan faktor skala.

### **2.5.2 Metode Statistik**

Merupakan metode perancangan kapal yang menggunakan data kapal yang telah beroperasi dan memenuhi kriteria rancangan. Data statistik kapal pembanding kemudian ditentukan dengan persamaan-persamaan dan didapat data kapal baru.

### **2.5.3 Metode Iterasi**

Rancangan kapal dengan metode iterasi pada dasarnya pengembangan dari metode statistik tetapi dilakukan secara berulang-ulang untuk mendapatkan koreksi yang baru. Ukuran kapal yang didapatkan akan cukup akurat karena telah banyak dilakukan koreksi terhadap perhitungan statistik data kapalnya.

### **2.5.4 Metode Kompleks**

Pada metode perancangan dengan metode kompleks seluruh ukuran kapal dihitung dengan persamaan matematis sehingga ketelitiannya cukup akurat dan tidak diperlukan koreksi ulang, metode ini jarang digunakan karena tingkat kesulitannya yang tinggi, kecuali jika dikombinasikan dengan metode lain.

## **2.6 Regresi Linear**

Regresi Linear Sederhana adalah Metode Statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara Variabel Faktor Penyebab (X) terhadap Variabel Akibatnya. Faktor Penyebab pada umumnya dilambangkan dengan X atau disebut juga dengan Predictor sedangkan Variabel Akibat dilambangkan dengan Y atau disebut juga dengan *Response*. Regresi Linear Sederhana atau sering disingkat dengan SLR (*Simple Linear Regression*) juga merupakan salah satu Metode Statistik yang dipergunakan dalam produksi untuk melakukan peramalan

ataupun prediksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas<sup>12</sup>. Jika memiliki data yang terdiri atas dua atau lebih variabel, adalah sewajarnya untuk suatu cara bagaimana variabel-variabel tersebut berhubungan. Hubungan yang diperoleh pada umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematika yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel.

Setelah diketahui bentuk hubungan antara variabel itu, selanjutnya ialah menentukan hubungan tersebut dirumuskan dalam suatu persamaan matematis. Kemudian disusun dalam suatu persamaan garis yang merepresentasikan persamaan matematisnya. Garis ini dikenal dengan nama garis regresi. Dalam hal lainnya didapat *regresi nonlinear*.

Jika regresi Y atas X ini linear, maka persamaannya dapat dituliskan dalam bentuk linear :

$$Y = a + bX$$

Dimana :

Y = Variabel Response atau Variabel Akibat (Dependent)

X = Variabel Prediksi atau Variabel Faktor Penyebab (Independent)

a = konstanta

b = koefisien regresi (kemiringan); besaran *response* yang di timbulkan pada besaran prediksi

Untuk menentukan koefisien-koefisien a dan b ini akan digunakan Metode kuadrat paling kecil, harga-harga a dan b dapat dihitung berdasarkan sekumpulan data sebanyak n buah dengan menggunakan sistem persamaan:

---

<sup>12</sup> Analisis Regresi Linear Sederhana (Simple Linear Regression)

<https://teknikelektronika.com/analisis-regresi-linear-sederhana-simple-linear-regression/>

$$\sum_{i=1}^n Y_i = an + b \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i^2 - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

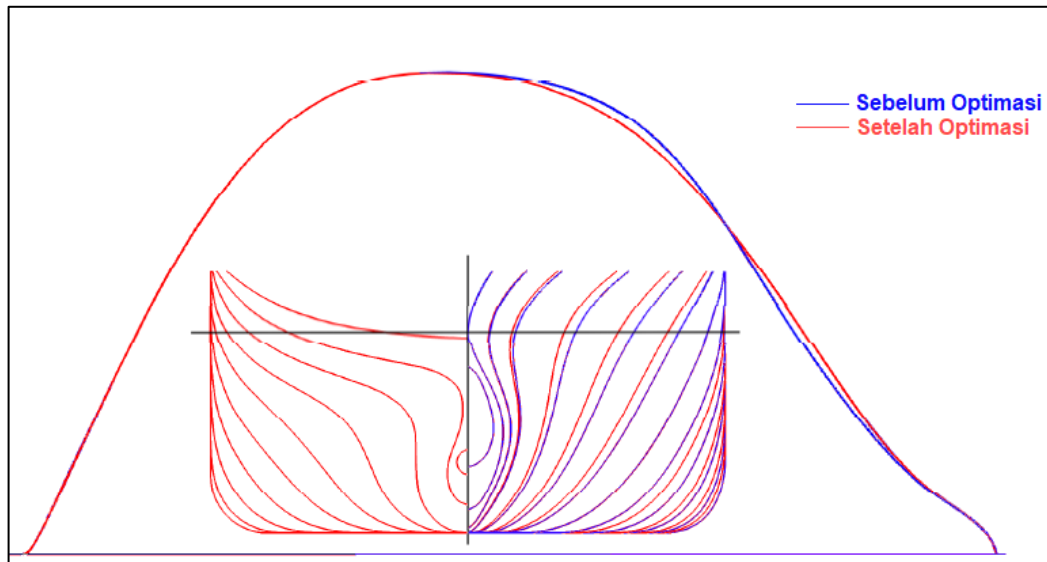
## 2.7 Metode Optimisasi

Dalam menentukan sebuah ukuran, luasan dan dimensi suatu bangun ruang yang menggunakan data pembanding, dalam bidang teknik dikenal dengan metode optimisasi. Optimasi adalah merupakan suatu kegiatan untuk mendapatkan data atau hasil yang paling baik dari pilihan yang ada dan di sediakan. Tujuan dari setiap keputusan yang diambil adalah untuk meminimalkan usaha yang dilakukan atau memaksimalkan keuntungan yang diperoleh. Usaha atau keuntungan tersebut secara praktek dinyatakan sebagai fungsi dengan variabel keputusan yang akan dicari nilai optimalnya. Metode untuk mencari nilai optimal tersebut dikenal sebagai teknik program matematika (*mathematical programming technique*) yang merupakan bagian dari ilmu *operations research* (OR)<sup>13</sup>. Metode optimasi untuk mengubah dimensi lambung kapal digunakan *metode Lackenby*. Metode ini tidak mengubah panjang kapal asalkan tidak memiliki panel datar terendam di ujung, seperti Transom. Oleh dan karena adanya Transom, penggunaan *metode Lackenby* akan menggeser ujung - ujung kapal, sehingga mengubah panjang kapal<sup>14</sup>. Metode ini dapat

<sup>13</sup> Agus Sugiyono, 2006 "Perkembangan Dan Aplikasi Teknik Optimasi Untuk Perencanaan Energi" Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi

<sup>14</sup> Jose C. "Antonio, Hull adjustment towards hydrostatic requirements", Tecnico Lisboa

memodifikasi bentuk lambung dengan cara yang sederhana dengan mengubah koordinat titik-titik station, misalnya dari titik X ke X<sup>I</sup> ke X<sup>II</sup>,<sup>15</sup>. Metode *Lackenby* hanya melibatkan Perubahan *Station* ke arah depan dan arah belakang, dan menggeser *Parallel Middle Body*, tetapi tidak mengubah bentuk kapal secara visual.



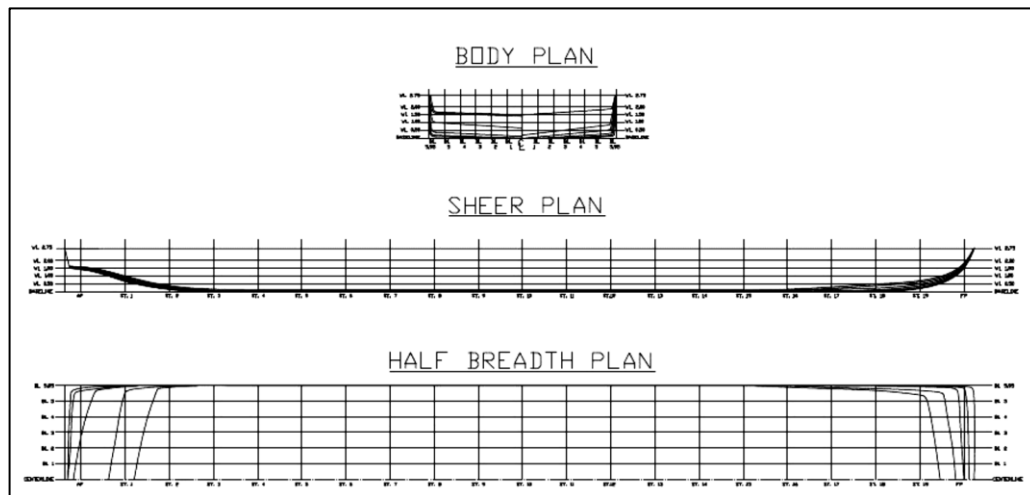
Gambar 2.2 Gambar Bodyplan sebelum dan setelah Optimasi

Sumber: *Hull optimization with Lackenby- Shipflow* (diolah kembali oleh penulis), 2018

## 2.8 Rencana Garis (*Linesplan*)

Rencana Garis merupakan gambar potongan dan penampang kapal yang di proyeksikan ke bidang diametral ( bidang tegak memanjang yang melalui sumbu kapal atau *centre line*, bidang garis air, dan bidang tengah kapal yang dilihat dari samping, depan, atas dan digambarkan dalam bentuk garis (*lines*). Gambar Rencana Garis ini menjadi pegangan utama atau merupakan dasar bagi perencana untuk melaksanakan perancangan kapal secara lengkap. Ada beberapa metode untuk perhitungan dan penggambaran rencana garis kapal, misalnya NSP, *Scheltema de here* atau menggunakan series 60.

<sup>15</sup> David Hally - Normand Gilbert, 1987 "A Program For Modifying Computer Representations Of Ship Hulls" DTIC Defense Research Establishment Atlantic. Canada



Gambar 2.3 *Linesplan* Kapal

Sumber : Febriani Rohmadhana, 2016

## 2.9 Perancangan Umum

Rencana umum dari sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai perancangan atau penyusunan atau dapat dikatakan juga sebagai penentuan atau penandaan dari semua ruangan yang dibutuhkan, ruangan yang dimaksud seperti ruang muat dan ruang kamar mesin dan akomodasi. Di samping itu juga direncanakan penempatan peralatan-peralatan dan beberapa sistem dan perlengkapan lainnya.

Dalam merancang sebuah kapal tidak dapat dihindari adanya berbagai macam kepentingan yang akan saling bertentangan dan itu akan didapatkan pada penyusunan rencana umum ini.

Pekerjaan dalam membuat rencana umum adalah penentuan lokasi ruangan utama dan batas dari *hull* kapal dan *superstructure*, ruangan yang dimaksud:

1. Ruang akomodasi dalam hal ini ruang navigasi.
2. Ruang kamar mesin.
3. Tangki-tangki.
4. Beberapa ragam ruangan lainnya (*equipment room*).

Pada saat yang bersamaan juga ditentukan kebutuhan lain seperti :

1. Sekat kedap masing-masing ruangan.
2. Stabilitas yang cukup.
3. Struktur konstruksi.
4. Penyediaan jalan yang cukup.

Permasalahan dalam penyusunan rencana umum biasanya tergantung dari tipe kapal yang direncanakan. Namun pada dasarnya pembuatan rencana umum untuk semua tipe memiliki kesamaan dalam hal-hal tertentu seperti dalam penyusunan ruangan akomodasi dan daya mesin meskipun untuk kapal yang berbeda akan menyebabkan terjadinya perbedaan kapasitas. Rencana umum adalah suatu proses yang berangsur-angsur di susun dan ini dari percobaan, penelitian, dan masukan dari data-data kapal yang sudah ada (pembanding). Informasi yang mendukung pembuatan rencana umum:

1. Volume ruangan untuk ruangan kamar mesin yang ditentukan dari *type* mesin dan dimensi mesin.
2. Penentuan tangki-tangki terutama perhitungan volume seperti tangki untuk minyak, ballast, pelumas mesin.
3. Penentuan volume ruangan akomodasi jumlah crew, penumpang dan standar akomodasi.
4. Penentuan dimensi kapal (L, B, H, T, cb).
5. *Lines plan* yang telah dibuat sebelumnya.

## 2.10 Perhitungan Hidrostatik

Beberapa parameter karakteristik dihitung untuk kapal dapat mengambang, yang dapat langsung digunakan untuk mendapatkan sifat stabilitas kapal atau digunakan untuk mengevaluasi parameter stabilitas lainnya, disebut hidrostatika kapal. Agar perancang dapat mengembangkan bentuk lambung yang baru, atau kapten kapal untuk memahami parameter stabilitas, penting bagi keduanya untuk dapat memahami makna dan signifikansi praktis dari setiap parameter hidrostatik dari kapal permukaan.

yang pertama dilakukan dalam pengerjaan hidrostatis adalah mengelompokkan keterangan dan kriteria kemudian mendefinisikannya<sup>16</sup>. Komponen- komponen yang terdapat pada lengkung hidrostatis adalah:

#### 1. *Water Plan Area (WPA)*

WPA adalah luas bidang garis air yang telah kita rencanakan dalam *Lines Plan* dari tiap-tiap *water line*. Kemungkinan-kemungkinan bentuk WPA ditinjau dari bentuk alas kapal antara lain:

- Untuk kapal dengan *rise of floor*, pada 0 m WL luas garis air adalah nol karena luasan *water line* hanya berupa garis lurus (*base-line*), sehingga lengkung WPA dimulai dari titik (0,0).
- Untuk kapal tanpa *rise of floor*, pada 0 m WL ada luasan yang terbentuk pada garis dasar sehingga luas garis air tidak sama dengan nol.

#### 2. *Coefficient of Water Line (C<sub>WL</sub>)*

$C_{WL}$  adalah nilai perbandingan antara luas bidang garis air tiap *water line* dengan sebuah segi empat dengan panjang L dan lebar B dimana L adalah panjang maksimum dari tiap *water line* dan B adalah lebar maksimum dari tiap *water line*.

#### 3. *Ton Per Centimetre Immersion (TPC)*

TPC adalah jumlah ton yang diperlukan untuk mengadakan perubahan sarat kapal sebesar 1 cm. Bila kita menganggap tidak ada perubahan luas garis air pada perubahan sarat sebesar 1 cm, atau pada perubahan 1 cm tersebut dinding kapal dianggap vertikal. Jadi kalau kapal ditenggelamkan sebesar 1 cm, maka perubahan volume adalah hasil kali luas garis air dengan tebal pelat pada garis air tersebut.

#### 4. *Midship of Section Area (MSA)*

MSA adalah luas *moulded* kapal pada *section midship* untuk tiap-tiap sarat kapal.

---

<sup>16</sup> Soumya Chakraborty, 2018 "Ship Stability – Introduction to Hydrostatics and Stability of Surface Ships" <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/ship-stability-introduction-hydrostatics-stability-surface-ships/>

5. *Midship Coefficient ( $C_M$ )*

$C_M$  adalah perbandingan luas penampang *midship* kapal dengan luas suatu penampang dengan lebar  $B$  dan tinggi  $T$  untuk tiap *water line*.

6. *Block Coefficient ( $C_B$ )*

$C_B$  adalah perbandingan isi karene dengan balok dengan panjang  $L$ , lebar  $B$  dan tinggi  $T$ . Hal ini juga berlaku untuk tiap-tiap *water line*.

7. *Prismatic Coefficient ( $C_p$ )*

$C_p$  adalah perbandingan volume karene dengan volume prisma dengan luas penampang *midship* kapal dan panjang  $L$ .

8. *Moment to change Trim one Centimeter (MTC)*

MTC adalah momen yang diperlukan untuk mengadakan trim sebesar 1 cm. Satuannya dalam Ton meter.

9. *Displacement Due to one centimeter of Trim by stern (DDT)*

DDT adalah besarnya perubahan *displacement* kapal yang diakibatkan oleh perubahan trim kapal sebesar 1 cm.

10. *Displacement ( $\Delta$ )*

Displacement adalah berat air laut yang dipindahkan karena adanya volume badan kapal yang tercelup ke dalam air (karene) termasuk juga akibat tambahan adanya pelat karene. Jadi *displacement* di sini adalah penjumlahan dari *displacement moulded* dengan *shell displacement*.

11. *Displacement Moulded ( $\Delta_{mld}$ )*

*Displacement moulded* adalah berat air laut yang dipindahkan karena adanya volume karene tanpa kulit. Nilai ini didapat dari perkalian volume karene dengan berat jenis air laut yaitu 1,025.

12. *Shell Displacement*

*Shell Displacement* adalah berat air laut yang dipindahkan karena adanya kulit/pelat pada karene. Semua satuan displacement dalam ton.

13. *Wetted Surface Area (WSA)*

WSA adalah luas permukaan badan kapal yang tercelup dalam air pada setiap *water line*-nya. WSA didapat dari jumlah perkalian *half girth*

dengan faktor luas pada setiap station dan setiap *water line*-nya.

14. *Longitudinal Center of Bouyancy to Metacenter (LBM)*

LBM adalah jarak titik tekan *bouyancy* secara memanjang terhadap titik metasentra. Satuannya dalam meter (m).

15. *Longitudinal of Keel to Metacenter (LKM)*

LKM adalah letak metasentra memanjang terhadap lunas kapal untuk tiap-tiap sarat kapal. Satuannya dalam meter(m). LKM didapat dari penjumlahan LBM dengan KB.

16. *Longitudinal Center of Bouyancy ( LCB)*

Lcb atau  $\Phi B$  adalah jarak titik tekan *bouyancy* terhadap penampang *midship* kapal untuk setiap sarat kapal. Satuannya dalam meter. Tanda negatif (-) dan positif (+) menunjukkan letaknya ada di depan *midship* (+) dan di belakang *midship* (-).

17. *Longitudinal Center of Flootation (LCF)*

Lcf atau  $\Phi F$  adalah jarak titik berat garis air terhadap penampang tengah kapal untuk setiap sarat kapal. Satuannya dalam meter. Seperti juga Lcb tanda (-) dan (+) menunjukkan bahwa titik Lcf terletak didepan dan di belakang *midship*.

18. *Keel to Center of Bouyancy (KB)*

KB adalah jarak titik tekan *bouyancy* ke lunas kapal. Satuannya dalam meter.

19. *Transverse Center of Bouyancy to Metacenter (TBM)*

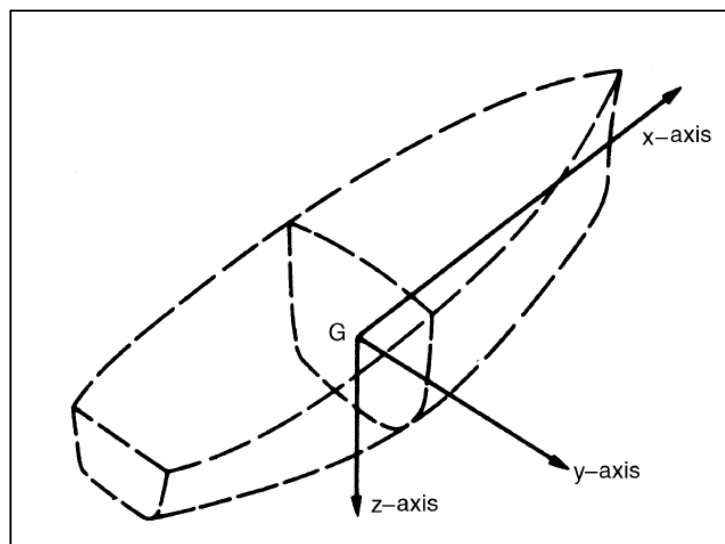
TBM adalah jarak titik tekan *bouyancy* ( gaya tekan ke atas air ) secara melintang terhadap titik metasentra. Satuannya dalam meter (m).

20. *Transverse of Keel to Metacenter (TKM)*

TKM adalah letak titik metasentra melintang terhadap lunas kapal untuk tiap-tiap *water line*-nya. Satuannya dalam meter (m).

## 2.11 Perhitungan Stabilitas

Istilah stabilitas mengacu pada kecenderungan badan kapal atau sistem untuk kembali ke keadaan semula setelah mengalami gangguan kecil. Dalam stabilitas statis yang sangat spesifik di mana kapal yang melayang tegak diharapkan akan kembali ke tegak setelah diterpa angin atau gelombang. Jika badan kapal mengambang sangat stabil maka akan kembali dengan cepat ke tegak dan dapat menimbulkan mabuk perjalanan; jika hanya stabil, gangguan yang tidak kecil dapat menyebabkannya terbalik<sup>17</sup>. Karena itu stabilitas harus tepat dalam kisaran kondisi di mana bejana dapat menemukan dirinya selama operasi dan kehidupannya, bahkan rusak atau salah penanganan.



Gambar 2.7 Sumbu gerak pada kapal

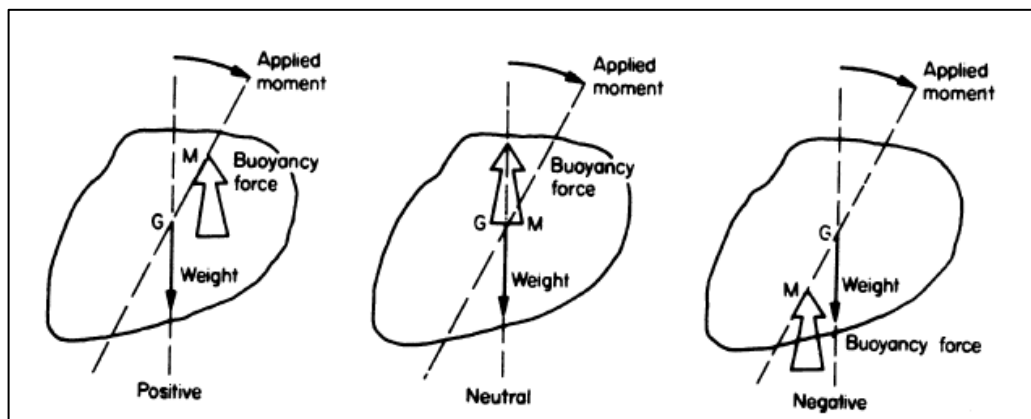
Sumber: Basic Ship Theory, K.J. Rawson, E.C. Tupper, 2001

Translasi sepanjang sumbu x, yang horizontal, mengarah ke tidak ada gaya resultan sehingga kapal berada dalam keseimbangan netral untuk jenis gangguan ini. Translasi sepanjang sumbu y juga menyebabkan tidak ada gaya resultan sehingga kapal berada dalam keseimbangan netral untuk jenis gangguan ini. Untuk badan mengambang. Translasi sepanjang sumbu

<sup>17</sup> Rawson, K.J., Tupper, E.C., 2001. Basic Ship Theory, fifth ed. ButterworthHeinemann, Oxford.

z dalam arah positif menghasilkan gaya apung yang diperbesar yang akan cenderung menggerakkan kapal dalam arti negatif dari z, yaitu cenderung mengembalikan kapal ke keadaan kesetimbangan dan kapal dengan demikian stabil untuk jenis gangguan ini. Kasus khusus dari badan kapal yang benar-benar tenggelam dipertimbangkan kemudian.

Rotasi tentang sumbu x, tumit, menghasilkan momen yang bertindak di kapal yang tidak memungkinkan generalisasi dan kapal dapat menampilkan keseimbangan yang stabil, netral atau tidak stabil. Rotasi tentang sumbu y, trim, mengarah ke kondisi yang mirip dengan tumit. Rotasi tentang sumbu z, yaw, tidak menghasilkan gaya atau momen sehingga kapal berada dalam keseimbangan netral untuk jenis gangguan ini.



Gambar 2.8 Ketiga Kondisi Stabilitas

Sumber: Basic Ship Theory, K.J. Rawson, E.C. Tupper, 2001

Jarak GM disebut tinggi metasentra dan dikatakan positif ketika M terletak di atas G. Ini adalah kondisi keseimbangan yang stabil, karena harus M terletak di bawah G saat bertindak pada badan kapal cenderung meningkatkan  $\beta$  dan badan kapal tidak stabil. Jika M dan G bertepatan dengan ekuilibrium adalah netral. Persyaratan yang penting dalam persamaan stabilitas adalah bahwa:

1. *Bouyancy* harus sama dengan berat kapal ( $W=B$ ).
2. Titik B Harus Segaris vertikal dengan G.
3. Titik G harus dibawah M (MG Positif).

Pada setiap kapal posisi tinggi titik bouyancy dan titik berat (G) dalam hubungan saling mempengaruhi dan ini juga akan berpengaruh terhadap stabilitas kapal.

$$MG = MB + KB - KG$$

$$MG_m = MB_m + KB_m - KG_m$$

Dimana

$$m = \text{monohull}$$

$$MB_m = I_{xxm}/V_m$$

$$MG_m = I_{xxm}/V_m + KB_m - KG_m$$

Pada kapal katamaran jika mengalami oleng, maka momen stabilitas yang akan dihasilkan cukup besar, karena setiap lambungnya akan memberikan gaya tekan keatas. Dalam rancangan, langkah-langkah yang dapat ditempuh untuk meningkatkan stabilitas kapal antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Ratio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal (B/T) dipilih nilai yang maksimal.
2. Penggunaan konstruksi lunas bilga atau sirip (*stabilizer fin*) pada sisi-sisi kapal (pada area bilga) yang akan bekerja secara dinamis untuk mengembalikan kapal ke posisi normal setelah terjadi kemiringan kapal.
3. Untuk rancangan kapal dengan konstruksi lambung tunggal, dianjurkan untuk menggunakan bentuk lambung *Planing Mono Hull*, sementara untuk konstruksi lambung ganda (*twin hull*) seperti catamaran maupun SWATH ( *Small Waterplane Area Twin Hull* ) kondisi stabilitasnya sudah optimal. Perhitungan stabilitas kapal

dalam tahapan rancangan harus meliputi stabilitas pada kondisi kapal kosong (tanpa muatan) dan stabilitas pada kondisi muatan dengan prosentase tertentu hingga muatan penuh. Optimalisasi stabilitas kapal dapat dilakukan dengan pengaturan pengisian tanki-tanki *ballast* pada kapal tersebut.

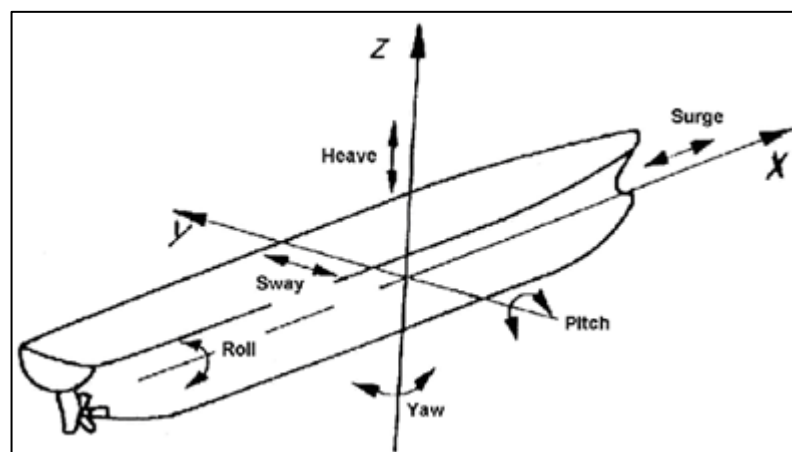
## 2.12 Perhitungan Olah Gerak (*Seakeeping*)

Dasar dari Teori *Seakeeping* adalah gerakan pada kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi :

- *rolling*
- *pitching*
- *yawing*

Gerakan *linear*, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya meliputi :

- *surgin*
- *swaying*
- *heaving*



Gambar 2.9 Enam gerakan bebas sumbu pada kapal

Sumber: Basic Ship Theory, K.J. Rawson, E.C. Tupper, 2001

Keterangan :

- Rolling* : gerakan bersudut sesuai dengan sumbu X berupa olengan ke arah *starboard-portside*.
- Pitching* : gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Y berupa anggukan *by the bow-by the stern*
- Yawing* : gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Z berupa putaran
- Surging* : gerakan linear terhadap sumbu X
- Swaying* : gerakan linear terhadap sumbu Y
- Heaving* : gerakan linear terhadap sumbu Z

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

### 2.12.1 Gerakan *Heaving*

Ketika kapal dipaksa bergerak ke dalam air dari posisi keseimbangannya maka akan melepaskan daya apungnya, jika gaya apungnya lebih besar dari bebannya maka kapal akan bergerak tegak lurus untuk mencapai titik keseimbangan awal (normal). Jika berat beban lebih berat daya apung akan memperlambat gerakan *heaving* kapal hingga mencapai posisi nol atau normal, berat beban akan membuat kapal bergerak ke bawah maka kapal harus memiliki gaya apung yang besar untuk mengembalikan kapal ke posisi semula yang disebut merespon gaya *restoring force*.

Percepatan yang mengarah kebawah akan meningkat dan kembali sampai posisi keseimbangan dicapai. Ketika *buoyancy* menjadi seimbang dengan berat atau beban, oleh karena daya gerak kapal akan berpindah (gerakan) secara kontinyu sampai keadaan terakhir dicapai ke posisi kapal semula. Gerakan yang bergetar ini dikenal dengan gerakan *heaving*, gerakan yang terjadi selalu arah gerakan kebalikan.

Suatu badan kapal memiliki suatu gerakan percepatan di suatu medium fluida yang berlanjut mengalami suatu gaya yang lebih besar dari massa. Akselerasi kenaikan kekuatan ini dapat digambarkan sebagai produk akselerasi badan kapal dan suatu kuantitas dimensi yang sama ketika massa itu dimasukkan, ditambahkan dasar ini diperlukan untuk *inertial force*. Penambahan massa pada kapal untuk kembali pada posisi semula disebut *added mass* dengan koefisien pembalik.

Gaya yang berlawanan dengan arah gerakan sehingga mengurangi *amplitude* dari gerakan disebut *damping force* gaya damping selalu berlawanan arah dengan gerakan kapal, sehingga menghasilkan pengurangan yang signifikan terhadap amplitudo gerakan atau gerakan, koefisien damping secara normal tergantung pada faktor berikut ini :

1. Jenis gerakan yang bergetar
2. Frekuensi goyangan
3. Format kapal

Diberikan *bouyancy* tambahan yang berlaku pada suatu badan kapal ketika tenggelam untuk suatu *draft* lebih dalam. Jika diasumsi tidak ada perubahan penting pada *waterplan area* selama bergerak, jumlah air yang dipindahkan sama dengan berat jenis untuk menghindari kapal tenggelam disebut *restoring force*. *Restoring force* untuk *heaving* adalah gaya apung tambahan yang memberikan gaya pada badan kapal untuk kembali pada posisi semula, pada saat kapal berada pada sarat.

### **2.12.2 Gerakan *Pitching***

Empat momen yang berpengaruh pada saat gerakan *pitching* adalah :

- *Added mass inertial moment*
- *Damping moment*
- *Exciting moment*
- *Restoring moment*

Penambahan massa momen inerti untuk *pitching* dapat dihitung pada *moment inertia* dibawah badan kapal (*sectional area curve*). Dimana diasumsikan bahwa panjang distribusi massa sama dengan panjang displacement. *Damping coefficient* dapat diperoleh oleh metode dari potongan, yang ditentukan untuk masing-masing bagian dan kemudian mengintegrasikan pada keseluruhan panjangnya.

*Exciting moment* Dalam kaitan dengan ketidakseimbangan momen yang disebabkan oleh ombak pada tengah kapal seperti di kasus gelombang. Gerakan anggukan atau naik turun kapal dapat dikurangi dengan distribusi tekanan hidrostatis.

### 2.12.3 Gerakan *Rolling*

Persamaan gerak untuk *rolling* pada umumnya sama dengan *pitching*, *damping force* yang bekerja selama gerakan *rolling* berlangsung sangat dipengaruhi oleh beberapa kombinasi dari beberapa faktor antara lain :

1. Pembentukan gelombang
2. Pergeseran air yang terjadi pada permukaan atau yang terjadi pada pusaran air (*eddy making*)
3. Adanya konstruksi tambahan seperti *bilge keels*, *skeg*, atau konstruksi sejenis lainnya
4. Tahanan angin yang terjadi pada kapal
5. Energi yang hilang selama gerakan *rolling*
6. Tegangan permukaan

Akibat yang ditimbulkan pada factor 1, 2, 3 dinyatakan lebih signifikan daripada akibat dari factor 4, 5, 6 yang dinyatakan lebih rendah. Sama halnya dengan gerakan *heaving* dan *pitching* nilai damping koefisien sangat penting. Selama gerakan *rolling* berlangsung, namun nilai damping koefisien ini lebih kecil dengan nilai faktor pembesaran antara 5 -10.

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang analisis desain lambung kapal berdasarkan pada subyek dan obyek penelitian tertentu telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada penelitian terdahulu, terlihat perbedaan antara penelitian yang akan dilaksanakan dengan penelitian yang telah dilaksanakan.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Nama peneliti	Jurnal	Pokok Bahasan	Metode
1.	<i>Development of Frigate Designs with good Seakeeping Characteristics</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thomas Eefsen</li> <li>• Frans van Walree</li> <li>• Daniele Peri</li> <li>• Peter van Terwisga</li> <li>• Hans Otto Kristensen</li> <li>• Roberto Dattola</li> <li>• Marcel Visser</li> </ul>	<i>9th Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Luebeck Travemuende, Germany 2004</i>	desain konsep monohull frigate tingkat lanjut. Berdasarkan desain induk dari 120m frigate, tujuh alternatif bentuk dan konsep lambung yang berbeda telah dikembangkan.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Numerik</li> <li>• Perbandingan desain</li> </ul>
2.	<i>Multidisciplinary Design Optimization</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daniele Peri</li> <li>• Emilio F. Campana</li> </ul>	<i>INSEAN—The Italian Ship Model Basin, Via di</i>	optimasi hidrodinamik. Untuk kapal perang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Numerik</li> </ul>

	<i>of a Naval Surface Combatant</i>		<i>Vallerano 139, 00128, Rome, Italy</i>	permukaan, model kapal DTMB 5415	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimasi desain</li> </ul>
3.	Perancangan Kapal Perang Multipurpose Tipe Katamaran Untuk Kondisi Perairan Ambalat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aulia Windyandari</li> <li>• Samuel</li> </ul>	Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik UNDIP	Analisis desain kapal berdasarkan nilai hidrostatis, stabilitas dan olah gerak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis numerik</li> <li>• Metode perbandingan</li> </ul>
4.	<i>Head Sea Slamming Pressures Prediction on a Frigate Ship Hull (A Numerical Study)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wibowo. H. Nugroho</li> <li>• Ahmad. S. Mujahid</li> </ul>	<i>Indonesian Hydrodynamics Laboratory (IHL), UPT – BPPH, BPPT</i>	Analisis Perancangan Kapal Frigate berdasarkan data pembandingan kapal yang sudah ada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Numerik</li> <li>• metode Stavovy &amp; dan Chuang</li> </ul>
5	<i>Hull Shape Optimization for Wave Resistance Using Panel Method</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krishna M. Karri</li> </ul>	<i>University of New Orleans Theses and Dissertations</i>	Fokus studi mengenai wave resistance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Numerik</li> </ul>

Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

#### 3.1.1 Tempat penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di Universitas Pertahanan.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 15 september 2018 sampai dengan 10 Februari 2019.

Tabel 3.1 Timeline Pelaksanaan Penelitian

NO	KEGIATAN	BULAN(2018)												BULAN(2019)														
		JULI			AGUSTUS			SEPTEMBER			OKTOBER			NOVEMBER			DESEMBER			JANUARI			FEBRUARI			MARET		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Tahap Persiapan Penelitian																											
	a. Mengumpulkan Studi Literatur dan Teori																											
	b. Pelaksanaan Perizinan Penelitian																											
	c. Mengidentifikasi Dan merumuskan Masalah																											
	d. Penyusunan Proposal																											
	e. Ujian Proposal																											
	d. Evaluasi																											
2	Tahap Pelaksanaan Penelitian																											
	a. Analisis Desain																											
	b. Perhitungan Analisis Desain																											
	c. Perancangan Model																											
	d. Pengujian Model																											
	e. Evaluasi																											
3	Tahap Penyusunan Laporan																											
4	Sidang Tesis																											
	a. Perbaikan dan Revisi Hasil Sidang																											
	b. Penyelesaian Administrasi Tesis																											

Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018

### 3.2 Materi Penelitian

Materi penelitian merupakan keseluruhan data yang dibutuhkan untuk melaksanakan penelitian. Data yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Selain itu materi penelitian lainnya dapat berupa teori- teori dan referensi sebagai penunjang dalam penelitian ini.

#### 3.2.1 Data Primer

Data-data penelitian antara lain:

1. *Design Requirement* kapal frigate
2. Ukuran utama kapal Pembanding

### 3.2.2 Data Sekunder

1. Aturan spesifikasi militer *North Atlantic Treatment Organization* (NATO), STANAG NATO, ANEP 77 NATO
2. Aturan *International Maritime Organization*
3. Aturan *Royal Intitute of Naval Architect* (RINA)

### 3.3 Metode Pengumpulan

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah Studi literatur, dilakukan untuk membantu penyelesaian penelitian tugas akhir ini. Studi literatur dilakukan menggunakan *textbook*, jurnal ilmiah, website dan lainnya. Dengan adanya studi literature yang diambil dari *textbook*, jurnal ilmiah, *website* dan lainnya dapat menjadi landasan teori untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

### 3.4 Tahap Analisis dan Pengolahan Data

Data yang didapat dari hasil observasi mengenai kondisi perairan di Indonesia. Data–data tersebut digunakan menentukan ukuran utama kapal Frigate yang sesuai dengan kondisi perairan di Indonesia. Data – data tersebut kemudian diambil data yang paling ekstrim atau terbesar untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimal dengan tujuan kapal tersebut memiliki olah gerak yang baik. Tahapan Pengolahan data tersebut meliputi:

#### 3.4.1 Melakukan pengumpulan data ukuran

Data ukuran utama kapal didapat dari proses regresi linear dengan data pembanding sebanyak 7 kapal dengan range ukuran *displacement* antara 3000 – 5800, dari data pembanding didapatkan ukuran spesifik seperti panjang kapal (*Lenght*), lebar kapal (*Breadth*), sarat kapal (*Draft*) dan Koefisien Blok (*Cb*).

### **3.4.2 Optimasi Ukuran Kapal**

Ukuran kapal yang didapatkan pada regresi linear selanjutnya dilakukan optimasi dengan metode mengubah koordinat perpotongan titik *station*, *Buttock Line* dan *Waterline*, disesuaikan sampai dengan ukuran yang dikehendaki sesuai dengan rancangan desain.

### **3.4.3 Pemodelan Linesplan**

Setelah ukuran utama yang sesuai dengan rancangan desain didapatkan, lalu dilakukan desain kapal dengan menggunakan metode formdata.

### **3.4.4 Membuat Perencanaan Umum**

Pada perancangan ruangan dan muatan kapal dilakukan berdasarkan kondisi kebutuhan kapal ketika berlayar, perencanaan umum meliputi perhitungan berat baja kapal, perhitungan berat senjata dan peralatan, perhitungan bahan bakar dan terakhir perhitungan muatan. Dalam perencanaan umum ini juga menentukan titik berat pada setiap kebutuhan di kapal tersebut.

### **3.4.5 Analisis Perhitungan hidrostatik**

Analisis hidrostatik dilakukan untuk mengetahui nilai karakteristik kapal pada tiap garis air, pada perancangan kapal ini menggunakan water line 1/10 sarat, pada analisis ini menggunakan bantuan perangkat lunak *Bentley Maxsurf Student Version 20.0*. Data hasil dari analisis hidrostatik digunakan selanjutnya untuk menyelesaikan analisis stabilitas

### **3.4.6 Analisis Perhitungan hambatan**

Analisis hambatan menggunakan metode holtrop, dimana metode ini digunakan untuk kapal jenis monohull, hasil dari analisis perhitungan ini berupa data *froude number*, hambatan total dan daya total yang dibutuhkan kapal untuk mengatasi hambatan.

### 3.4.7 Analisis Perhitungan Stabilitas

Istilah stabilitas mengacu pada kecenderungan badan kapal atau sistem untuk kembali ke keadaan semula setelah mengalami gangguan kecil. Dalam stabilitas statis yang sangat spesifik di mana kapal yang melayang tegak diharapkan akan kembali ke tegak setelah diterpa angin atau gelombang, pada perhitungan stabilitas istilah titik berat, metacentra dan boyancy menjadi pokok penting dalam perhitungannya, didalam analisis stabilitas ini, peneliti menggunakan perangkat lunak *Bentley Maxsurf Stability (student version)* dalam proses pengolahan data. Output dari perhitungan stabilitas adalah momen gravitasi dan bouyancy yang terjadi pada kapal yang dapat mempengaruhi periode keolengan pada kapal.

### 3.4.8 Menganalisis Perhitungan Olah gerak (*Seakeeping*)

Dalam analisis olah gerak kapal pergerakan kapal sesuai dengan sumbu utama kapal yang dibagi dengan 3 gerakan yaitu Heaving, Pitching dan rolling sangat berpengaruh besar terhadap gerakan kapal ketika berada di lautan, peneliti menggunakan perangkat lunak *Bentley Maxsurf Motion (student version)* dalam proses pengolahan data. Output dari perhitungan Olah gerak adalah *Wave Spectra, Motion, Velocity* dan *Acceleration* yang terjadi pada kapal yang dapat mempengaruhi *manouverability* kapal.

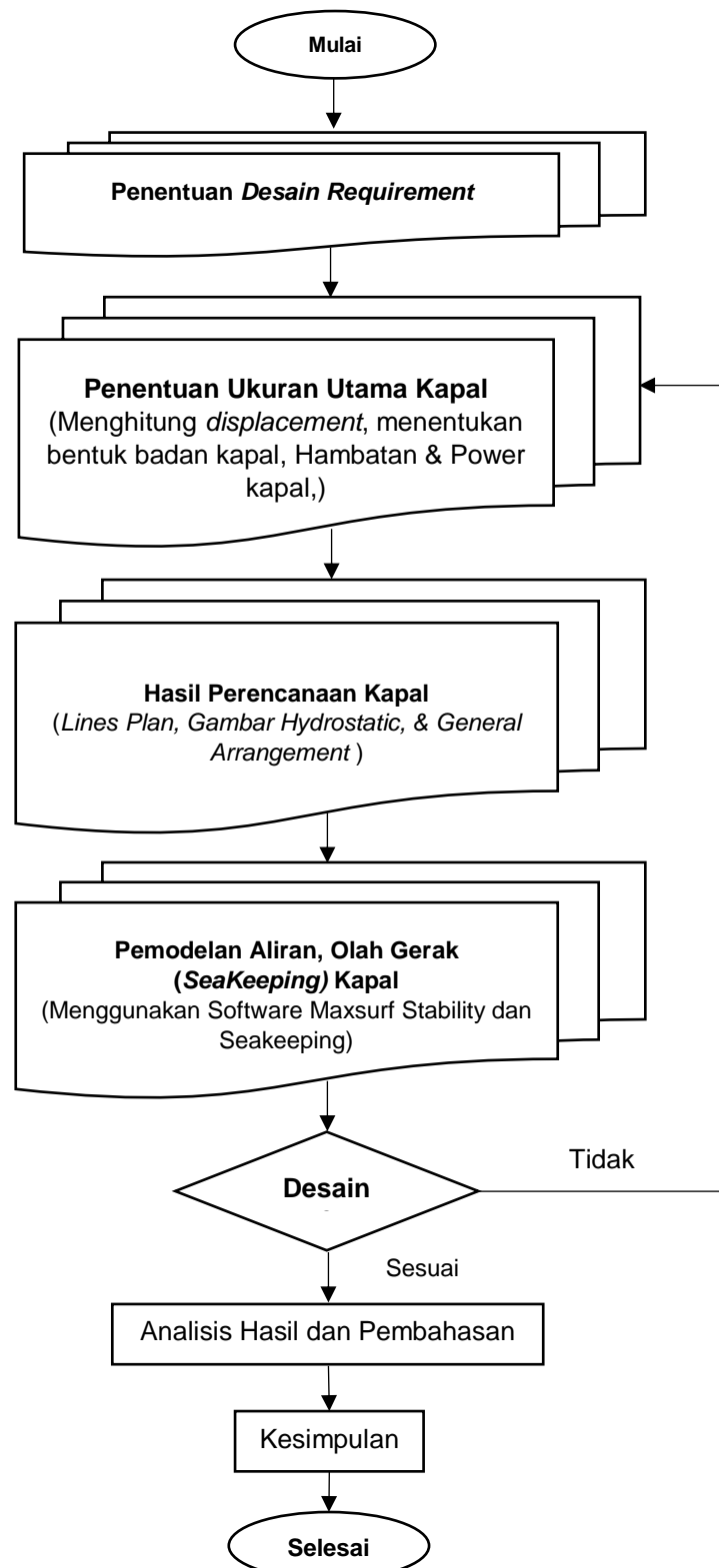
## 3.5 Tabel Rancangan Penelitian

No	Judul Tesis	"Analisis Perancangan Lambung (Hull) Kapal Perang Frigate 4000 Dwt
	Uraian Kegiatan	Keterangan
1.	Masalah Penelitian	- Bagaimana mengoptimisasi geometri lambung kapal <i>frigate</i> berdasarkan <i>benchmarking</i> dari beberapa data pembandingan ?

		- Bagaimana menganalisis hidrostatik , stabilitas dan olah gerak kapal sebagai dasar penentuan peningkatan manuver pada kapal <i>frigate</i> yang di rencanakan ?
2.	Variabel Penelitian	a. Linesplan Kapal b. Hidrodinamika kapal c. Stabilitas Kapal d. Olah gerak Kapal
3.	Teknik Pengumpulan data	a. Data didapatkan dengan metode perbandingan antara kapal pembanding dengan faktor skala. b. Data sekunder menggunakan aturan klas dan aturan spesifikasi militer.
4.	Teknik Pengolahan Data	Dengan menggunakan perhitungan numerik dibantu dengan software pengolah data berupa Autocad, Delfship, Maxsurf, Seakeeping dan software pengolah data statistik.
5.	Output data	Gambar, grafik serta tabel ukuran tentang: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ukuran Utama Kapal</li> <li>b. <i>Linesplan</i></li> <li>c. Kurva hidrostatik</li> <li>d. Data stabilitas</li> <li>e. Data seakeeping</li> <li>f. Rencana umum</li> </ul>

Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018

### 3.6 Flowchart



Sumber : Diolah Oleh Penulis, 2018

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

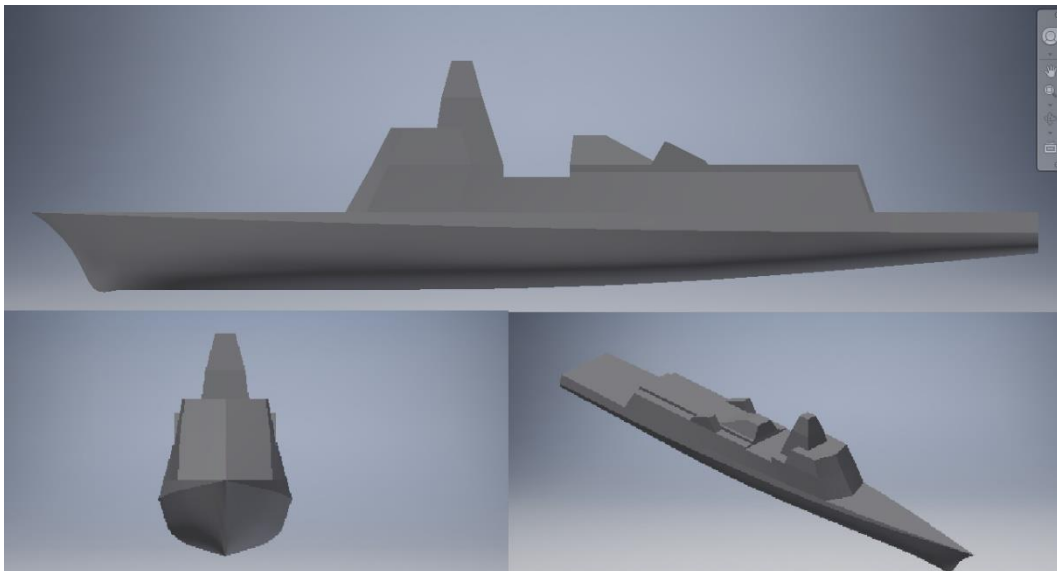
#### 4.1 Gambaran Umum Perancangan Kapal

Tahap perencanaan desain lambung kapal merupakan bagian primer dalam merencanakan sebuah kapal. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan bentuk lambung kapal yang paling optimal, yang berarti lambung yang direncanakan mempunyai kemampuan operasional yang bagus dalam hal hambatan dan manuvering di laut, dan pada akhirnya memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Untuk mendapatkan bentuk lambung yang bagus. Kajian dalam bab ini menjelaskan mengenai perhitungan menentukan ukuran utama kapal yang kemudian di optimasi sehingga menghasilkan gambar perancangan (*linesplan*) dan hasil dari pra perancangan tersebut berupa data hidrostatis, stabilitas dan olah gerak (*seakeeping*). Seluruh perancangan, pemodelan dan analisis akan menggunakan perangkat lunak komputer dan hasil dari analisis akan di jadikan model fisik 3 dimensi.

##### 4.1.1 Konsep Desain

Konsep desain merupakan usaha awal untuk mengubah mission requirement atau desain requirement yang dipersyaratkan kedalam karakteristik teknik dan karakteristik bidang perkapalan, hal ini meliputi ukuran-ukuran utama kapal seperti: panjang, lebar, dalam, sarat, koefisien block, power dan alternatifnya yang memenuhi kecepatan yang diminta, jarak jelajah, volume muatan dan *deadweight*, termasuk estimasi *light weight* kapal awal yang diperoleh dari kurva, formula, dan pengalaman. Pada penelitian ini konsep yang direncanakan adalah desain *hull* dengan karakteristik kapal *frigate* dengan *displacement* 4000 ton, dengan kecepatan 30 knot dan digunakan coefisien blok 0,43. Perencanaan kapal memiliki desain *freeboard* yang rendah dengan alasan jika terjadi pertempuran laut lambung kapal susah untuk dibidik, tinggi *freeboard* yang

direncanakan adalah 4.5 meter, selain itu kapal yang direncanakan memiliki bentuk menara atau *mass* prisma empat sisi seperti kapal perang modern, dengan bentuk ini kapal sulit untuk terlacak pada radar karena bentuknya.



Gambar 4.1 Konsep desain kapal *frigate* PMIDU-HBS X-01

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.1.2 Praperencanaan.

Praperencanaan menindak lanjuti karakteristik utama kapal. Faktor-faktor kontrol seperti panjang, lebar, daya, dan *deadweight* mungkin belum mengalami perubahan pada langkah ini karena akan terus dilakukan iterasi.

### 4.2 Perencanaan Ukuran Utama Kapal

#### 4.2.1 Kapal Perbandingan

Dalam penentuan ukuran utama kapal ini, metode yang digunakan adalah metode perbandingan (*comparison method*) dengan menggunakan metode regresi linier (*linier regression method*). Dan didapatkan ukuran utama kapal perbandingan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal Perbandingan

No	<i>Frigate</i>	$\Delta$ ( <i>Tonnage</i> )	L (meter)	B (meter)	T (meter)	<i>cb</i>
1	Álvaro de Bazán-Class	5,800	146.70	18.60	4.75	0.45
2	Sachsen-Class	5,800	143.00	17.44	6.00	0.39
3	Admiral Gorshkov-Class	5,400	135.00	16.00	4.50	0.56
4	Fridtjof Nansen-Class	5,290	134.00	16.80	4.60	0.51
5	Daegu-Class	3,592	122.00	14.00	4.00	0.53
6	La Fayette-Class	3,200	125.00	15.40	4.10	0.41
7	Maharaja Lela-Class	3,100	111.00	14.20	3.85	0.51

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.2.2 Menentukan Ukuran Utama Kapal Frigate

Untuk menentukan ukuran utama sebuah kapal dalam pra perancangan ini digunakan metode kapal perbandingan (Comparison Method), dengan mengoptimasikan perbandingan ukuran utama kapal perbandingan, kemudian mengambil satu komponen variabel utama dari ukuran utama kapal, pada perancangan ini variabel utama yang diambil adalah beban total kapal atau volume benaman kapal (*displacement*). Sedangkan metode untuk mempermudah perbandingan di gunakan metode regresi linier untuk memperoleh ukuran utama kapal Frigate.

#### 4.2.3 Menentukan *LENGHT* Kapal Baru

Tabel 4.2 Perhitungan *Lenght* Kapal Baru

<i>Frigate</i>	x	y	$x^2$	$y^2$	xy
1 Álvaro de Bazán-Class	5800	146,70	33640000	21520,89	850860,00
2 Sachsen-Class	5800	14300	33640000	20449,00	829400,00
3 Admiral Gorshkov-Class	5400	135,00	29160000	18225,00	729000,00
4 Fridtjof Nansen-Class	5290	134,00	27984100	17956,00	708860,00
5 Daegu-Class	3592	122,00	12902464	14884,00	438224,00
6 La Fayette-Class	3200	125,00	10240000	15625,00	400000,00
7 Maharaja Lela-Class	3100	111,00	9610000	12321,00	344100,00
	32182	916,70	157176564	120980,89	4300444,00

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

$$a = (\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy) / n(\sum x^2) - (\sum x)^2$$

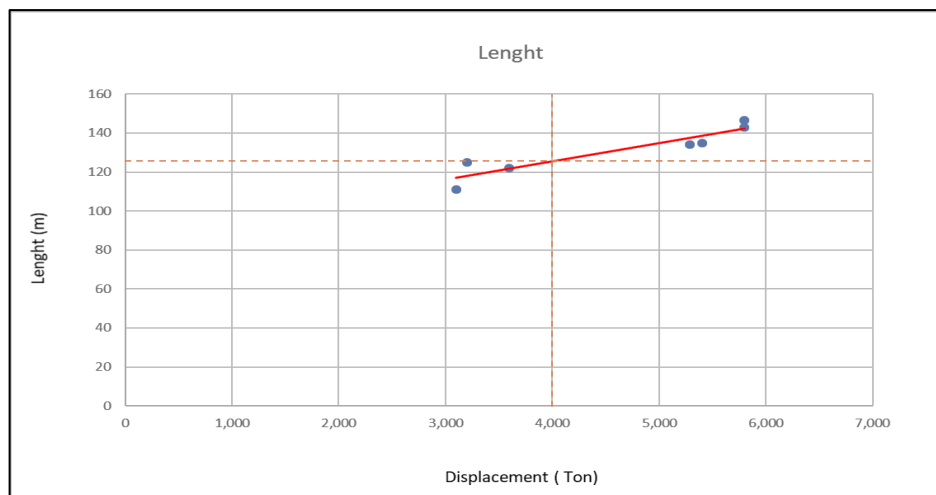
$$= 88$$

$$b = (n \sum xy - \sum x \sum y) / (n \sum x^2 - (\sum x)^2)$$

$$= 0.009323371$$

$$y = a + bx$$

$$= 125,3870944 \approx 125,40 \text{ m}$$



Gambar 4.2 Grafik Linear antara *Displacement* dengan *Lenght*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.2.4 Menentukan *BREADTH* Kapal Baru

Tabel 4.3 Perhitungan *Breadth* Kapal Baru

	<i>Frigate</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i> <sup>2</sup>	<i>y</i> <sup>2</sup>	<i>xy</i>
1	<i>Álvaro de Bazán-Class</i>	5800	18,60	33640000	345,96	107880
2	<i>Sachsen-Class</i>	5800	17,44	33640000	304,15	101152
3	<i>Admiral Gorshkov-Class</i>	5400	16,00	29160000	256,00	86400
4	<i>Fridtjof Nansen-Class</i>	5290	16,80	27984100	282,24	88872
5	<i>Daegu-Class</i>	3592	14,00	12902464	196,00	50288
6	<i>La Fayette-Class</i>	3200	15,40	10240000	237,16	49280
7	<i>Maharaja Lela-Class</i>	3100	14,20	9610000	201,64	44020
		32182	112,44	157176564	1823,15	527892

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

$$a = (\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy) / (n(\sum x^2) - (\sum x)^2)$$

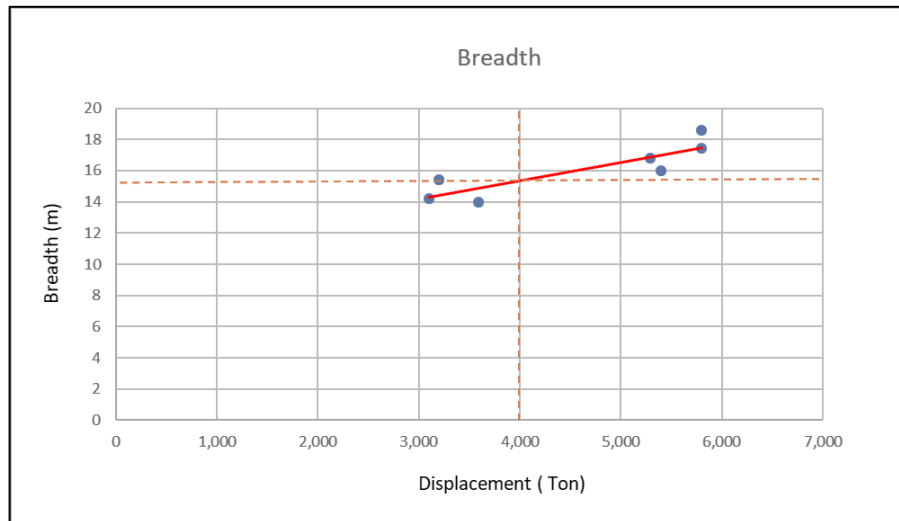
$$= 11$$

$$b = (n \sum xy - \sum x \sum y) / (n \sum x^2 - (\sum x)^2)$$

$$= 0.001188136$$

$$y = a+bx$$

$$= 15,35303066 \approx 15,4 \text{ m}$$



Gambar 4.3 Grafik Linear antara *Displacement* dengan *Breadth*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.2.5 Menentukan *DRAFT* Kapal Baru

Tabel 4.4 Perhitungan *Draft* Kapal Baru

	<i>Frigate</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i> <sup>2</sup>	<i>y</i> <sup>2</sup>	<i>xy</i>
1	<i>Álvaro de Bazán-Class</i>	5800	4,75	33640000	22,56	27550
2	<i>Sachsen-Class</i>	5800	6,00	33640000	36,00	34800
3	<i>Admiral Gorshkov-Class</i>	5400	4,50	29160000	20,25	24300
4	<i>Fridtjof Nansen-Class</i>	5290	4,60	27984100	21,16	24334
5	<i>Daegu-Class</i>	3592	4,00	12902464	16,00	14368
6	<i>La Fayette-Class</i>	3200	4,10	10240000	16,81	13120
7	<i>Maharaja Lela-Class</i>	3100	3,85	9610000	14,82	11935
		32182	31,8	157176564	147,605	150407

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

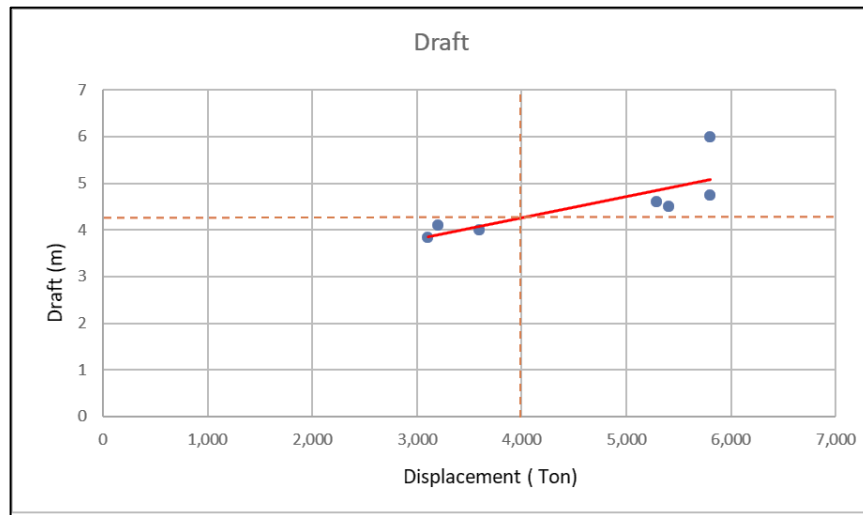
$$= 2$$

$$b = \frac{(n \sum xy - \sum x \sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$= 0,000456378$$

$$y = a+bx$$

$$= 4,2702039 \approx 4,28 \text{ m}$$



Gambar 4.4 Grafik Linear antara *Displacement* dengan *Draft*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.2.6 Menentukan *Coefisien Blok Kapal Baru*

Tabel 4.5 Perhitungan  $C_B$  Kapal Baru

<i>Frigate</i>	x	y	$x^2$	$y^2$	xy
1 <i>Álvaro de Bazán-Class</i>	5800	0,45	33640000	0,2025	2610
2 <i>Sachsen-Class</i>	5800	0,39	33640000	0,1521	2262
3 <i>Admiral Gorshkov-Class</i>	5400	0,56	29160000	0,3136	3024
4 <i>Fridtjof Nansen-Class</i>	5290	0,50	27984100	0,25	2645
5 <i>Daegu-Class</i>	3592	0,52	12902464	0,2704	1867.84
6 <i>La Fayette-Class</i>	3200	0,41	10240000	0,1681	1312
7 <i>Maharaja Lela-Class</i>	3100	0,51	9610000	0,26	1581
	32182	3,34	157176564	1,6168	15301,84

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

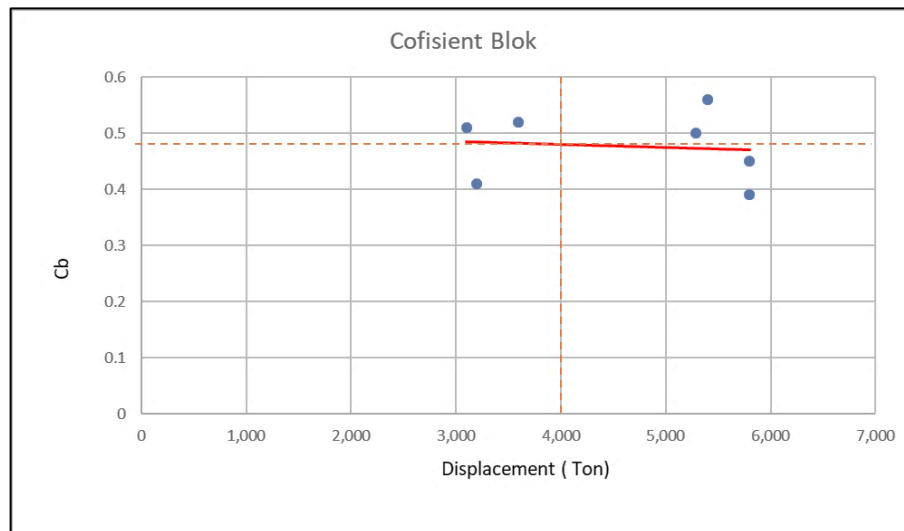
$$= 1$$

$$b = \frac{(n \sum xy - \sum x \sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$= -0,00000580901591$$

$$y = a + bx$$

$$= 0,480613329 \approx 0,48 \text{ m}$$



Gambar 4.5 Grafik Linear antara *Displacement* dengan *Cb*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### Ukuran Utama Hasil Regresi Linear

$$LWL = 125,40$$

$$B = 15,4$$

$$T = 4,28$$

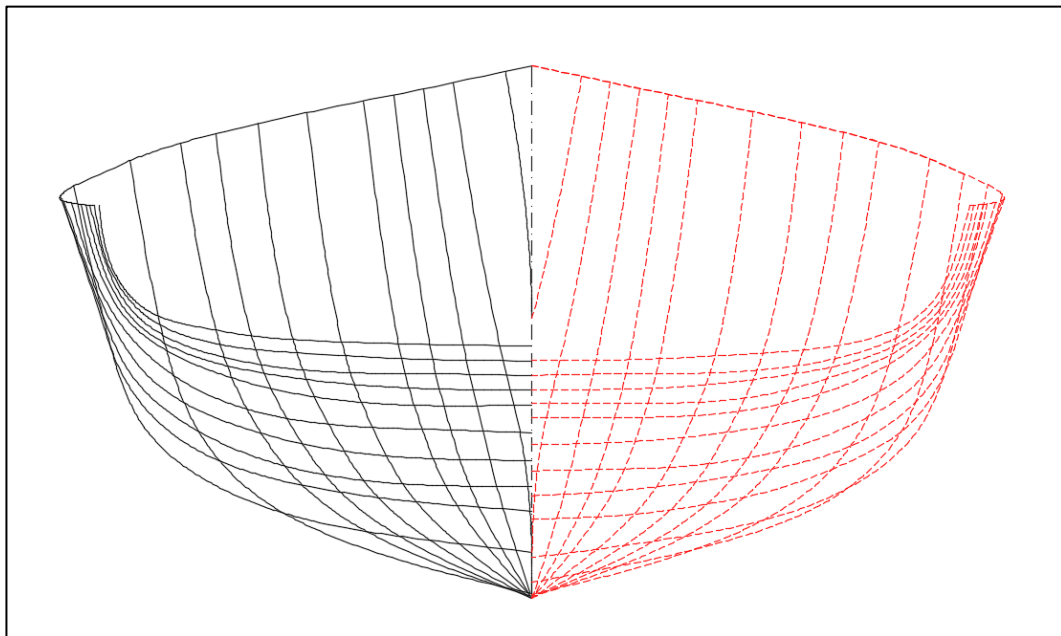
$$Cb = 0,48$$

$$\Delta = 4000 \text{ ton}$$

Hasil diatas jika langsung digunakan sebagai ukuran utama kapal akan mengalami ketidak-seimbangan antara perbandingan L/B, B/H dan B/T. ketidak seimbangan ini terlihat di gambar kapal yang terlalu ramping, tetapi memiliki *coefisien blok* yang besar untuk kecepatan yang direncanakan yaitu 30 Knot, *Cb* juga berpengaruh terhadap besar hambatan dan daya mesin yang dibutuhkan, untuk perancangan kapal Frigate ini *Cb* yang direncanakan yaitu 0,43.

Mengubah Ukuran Utama dapat dilakukan dengan cara manual yaitu dengan fairing langsung pada *waterline* dan station atau secara otomatis dengan menggunakan metode *Lackenby* dengan cara menginputkan nilai *Cb* dan *displacement* pada *software* tertentu, untuk meningkatkan keakuratan, dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu mengubah

secara langsung *waterline*, *station* tanpa mengubah displacement tetap yaitu 4000 ton, setelah didapatkan kapal dengan ukuran baru dengan sesuai dengan konsep desain kapal yang diharapkan, gambar dibawah menjelaskan transformasi bentuk hull lama dengan *hull* baru hasil optimasi dengan garis hitam adalah kapal sebelum dioptimasi dan garis merah putus-putus adalah kapal sesudah optimasi.



Gambar 4.6 Optimasi bentuk lambung lama dengan lambung baru

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.2.7 Ukuran Utama Kapal *Frigate* Baru

Setelah dilakukan perancangan awal berdasarkan ukuran utama diatas lalu dioptimasi sesuai dengan karakteristik kapal yang direncanakan, maka didapat ukuran kapal yang akan di rencanakan selanjutnya sebagai berikut :

LOA	:123,00 meter
Lpp	:118,00 meter
LWL	:118,00 meter
B	:16,85 meter

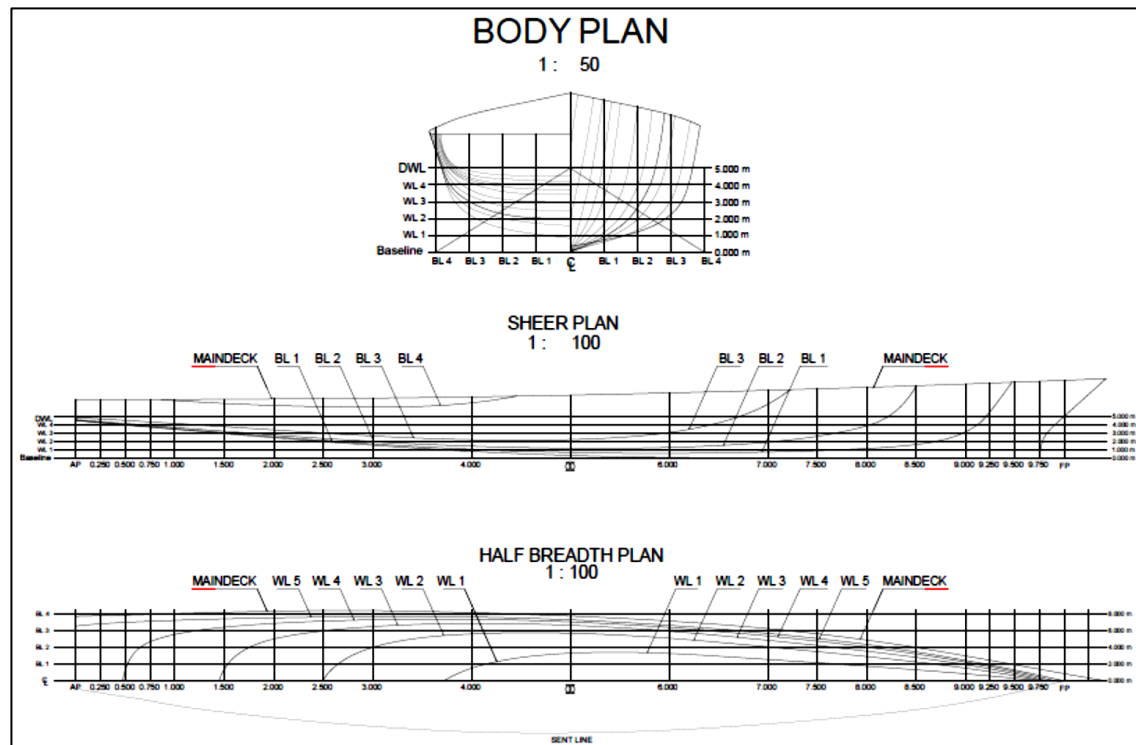
H	:9,50 meter
T	:5,00 meter
Cb	:0,43
Vs	:20 Knot
V <sub>max</sub>	:30 Knot
Tonnase	: 4000 ton

### 4.3 Perencanaan Model Kapal

Setelah didapatkan ukuran utama kapal pengerjaan selanjutnya adalah perancangan model, perancangan model pada teknologi perkapalan dimulai dari perencanaan garis, perencanaan umum dan yang terakhir adalah perencanaan permesinan dan sistem, di dalam penelitian ini hanya melakukan pada tahap perencana garis atau *linesplan*. Pemodelan hull form 3-D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Modeler Advanced 20 V8i Bentley* dan semua obyek perbandingan tersebut dikaji dengan bantuan perangkat lunak dari *Formation Design System Suite* yaitu *maxsurf resistance*, *maxsurf stability*, *maxsurf motion*.

#### 4.3.1 Perencanaan Garis (*Linesplan*)

Pada Penelitian ini perancangan *linesplan* menggunakan pengukuran *formdata* dalam teknik perancangannya.

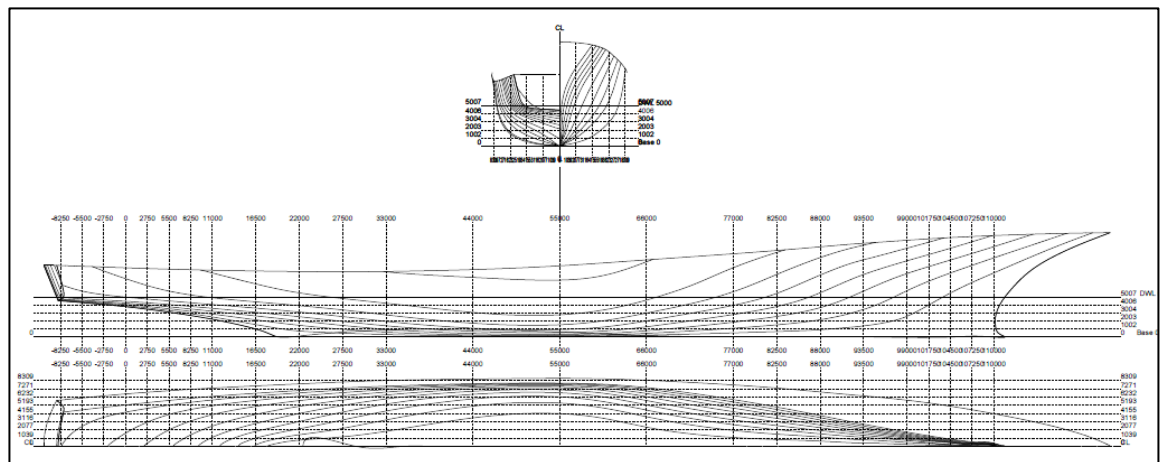
Gambar 4.7 Linesplan Kapal *Frigate* PMIDU-HBS X-01

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Tabel 4.6 Karakteristik Kapal *Frigate* PMIDU-HBS X-01

Measurement	Value	Units
1 Displacement	4000 t	
2 Volume (displaced)	3903.031 m <sup>3</sup>	
3 Draft Amidships	5 m	
4 WL Length	118.005 m	
5 Beam max on WL	15.401 m	
6 Beam extents on WL of station with max area	14.74 m	
7 Beam on WL of station with max area	14.74 m	
8 Beam extents on WL amidships	14.618 m	
9 Beam on WL amidships	14.618 m	
10 Wetted Area	1864.406 m <sup>2</sup>	
11 Max sect. area	52.614 m <sup>2</sup>	
12 Waterpl. Area	1421.877 m <sup>2</sup>	
13 Prismatic coeff. (Cp)	0.629	
14 Block coeff. (Cb)	0.43	
15 Max Sect. area coeff. (Cm)	0.772	
16 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.782	
17 LCB length	57.924 from zero pt. (+ve fwd) m	
18 LCF length	49.432 from zero pt. (+ve fwd) m	

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.8 Linesplan Kapal DTMB 5415

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Tabel 4.7 Karakteristik Kapal Pembanding DTMB 5415 (tanpa sonar dome dengan skala *displacemen* 4000 tonnase )

Measurement	Value	Units
1 Displacement	3978 t	
2 Volume (displaced)	3881.087 m <sup>3</sup>	
3 Draft Amidships	4.79 m	
4 WL Length	115.213 m	
5 Beam max on WL	15.064 m	
6 Beam extents on WL c	15.064 m	
7 Beam on WL of stator	15.064 m	
8 Beam extents on WL z	14.909 m	
9 Beam on WL amidship	14.909 m	
10 Wetted Area	1762.335 m <sup>2</sup>	
11 Max sect. area	57.536 m <sup>2</sup>	
12 Waterpl. Area	1292.898 m <sup>2</sup>	
13 Prismatic coeff. (Cp)	0.585	
14 Block coeff. (Cb)	0.467	
15 Max Sect. area coeff. (Cm)	0.797	
16 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.745	
17 LCB length	47.544 from zero pt. (+ve fwd) m	
18 LCF length	43.492 from zero pt. (+ve fwd) m	

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

### 4.3.2 Perencanaan Umum

Rencana umum dari sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai perancangan di dalam penentuan atau penandaan dari semua ruangan yang dibutuhkan, ruangan yang dimaksud seperti ruang muat dan ruang kamar mesin dan akomodasi, dalam hal ini disebut *superstructure* (bangunan atas). Di samping itu juga direncanakan penempatan peralatan-peralatan dan letak jalan-jalan dan beberapa sistem dan perlengkapan lainnya. Ada 4 bagian/karakteristik rencana umum menurut *Ship Design and Construction*:

1. Penentuan lokasi ruang muat.
2. Penentuan batas-batas ruang termasuk kamar pribadi.
3. Penentuan dan pemilihan perlengkapan kamar mandi.
4. Penentuan jalan atau lintasan yang cukup.

Langkah pertama yang dihadapi dalam membuat rencana umum adalah penentuan lokasi ruangan dan batas dari lambung kapal dan bangunan atas, ruangan yang dimaksud antara lain:

1. Ruang kamar mesin.
2. Ruang muat.
3. Tangki-tangki.
4. Beberapa ruangan lainnya.

Rencana umum adalah suatu proses yang berangsur-angsur di susun dari percobaan, penelitian, dan masukan dari data-data kapal yang sudah ada (pembanding).

#### 4.3.2.1 Perhitungan LWT

##### a. Perhitungan berat baja kapal

Menurut rumus *Watson, RINA 1977 (Lectures on Ship Design And Ship Theory, Herald Poehls)*

$$E = L (B + T) + 0,85 L (H - T) + 0,85 \Sigma I_h$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 E &= \text{Parameter steel weight} \\
 \Sigma lh &= (l_1 \times h_1) + (l_2 \times h_2) + (l_3 \times h_3) \\
 L &= \text{Lpp kapal} \\
 B &= \text{Lebar Kapal} \\
 H &= \text{Tinggi kapal} \\
 T &= \text{Sarat Kapal} \\
 l_1 &= \text{panjang 1}^{\text{ST}} \text{ deck} \\
 l_2 &= \text{panjang 2}^{\text{ND}} \text{ deck} \\
 l_3 &= \text{Panjang Bridge deck} \\
 l_4 &= \text{Panjang Navigation deck} \\
 h_1 &= \text{tinggi 1}^{\text{ST}} \text{ deck} \\
 h_2 &= \text{tinggi 2}^{\text{ND}} \text{ deck} \\
 h_3 &= \text{tinggi Bridge deck} \\
 h_4 &= \text{tinggi Navigation deck} \\
 E &= 118.(16.85+9.50) +0,85.118(9.50-5) \\
 &+0,85.(65.65 \times 2.40) +0,85(40.73 \times 2,40) \\
 &+0,85(13.00 \times 2,40) +0,85(10.85 \times 2,65) \\
 &= 3828,624825
 \end{aligned}$$

Berat baja kapal  $W_{st}$

$$\begin{aligned}
 W_{st} &= k.E^{1,36} \text{ (Tons)}, \\
 k &= 0,023 \text{ untuk kapal Frigate}
 \end{aligned}$$

$$= 0,023 \times (3828.624825)^{1,36}$$

$$= 1716,587948$$

Perhitungan diatas untuk kapal dengan  $C_b = 0,7$  yang diukur pada  $0,8H$ , maka perlu diukur kapal dengan  $C_b = 0,43$

$$C_b(0,8H) = C_b + (1 - C_b) \times [(0,8H - T)/3T]$$

$$= 0,43 + (1 - 0,43) \times [(0,8 \times 9,50 - 5)/(3 \times 5)]$$

$$C_b(0,8H) = 0,5288$$

Sehingga berat baja kapal

$$W_{st} = W_{st}' \{1 + 0,5 (C_{b,0,8H} - 0,7)\}$$

$$= 1119,513879 \{1 + 0,5 (0,5288 - 0,7)\}$$

$$= 1569,650 \text{ ton}$$

## b. Perhitungan Berat Senjata dan Peralatan

### 1. Turret

Pada perancangan ini digunakan *turret* MK 45 BaE system 76 mm, dengan berat komponen turret 24 ton. Jika pada sistem turret menggunakan MK 45 Bae System 76 mm, maka Ammunition Handling System juga menggunakan dari Bae System yang dapat digunakan untuk amunisi ukuran 5 inchi jenis apapun. Ammunition Handling system ini mempunyai berat konstruksi kosong 60 Ton

### 2. Peluncur Rudal Vertikal

Peluncur rudal didalam perancangan kapal perang ini menggunakan VL MICA dengan jumlah peluncur 12 Tabung berat total peluncur VL MICA adalah 6 ton

### 3. Peluncur Torpedo

Peluncur torpedo yang digunakan dalam perancangan kapal perang ini memiliki bobot maksimal 3 ton

#### 4. **SeaRAM**

*Close in weapon system* yang digunakan pada perancangan kapal perang ini dengan berat maksimal 8 ton.

#### 5. **Light Artillery**

Berupa senjata mesin ringan yang direncanakan terletak di bagian *superstructure* belakang, senjata ini berfungsi sebagai anti pesawat dan kapal-kapal boat cepat direncanakan dengan kapasitas maksimal 1 ton.

### c. **Perhitungan Mesin dan Perlengkapan**

#### 1. **Mesin Penggerak Utama Kapal**

Mesin penggerak utama kapal menggunakan mesin MTU diesel 2x *Diesel Engines 20V 1163 M74* dan Turbin gas LM2500 Marine Gas Turbine dengan berat total 139 ton.

#### 2. **Mesin bantu Kapal/Generator**

Generator yang dibutuhkan untuk mensuplai listrik ke peralatan-peralatan di kapal sejumlah 4 x generator dengan beban maksimal 15 ton.

#### 3. **Peralatan Kapal**

Peralatan di kapal meliputi jangkar, winlass, capstan dan crane direncanakan beban Maksimal sebesar 15 ton.

### d. **Perhitungan berat sistem Radar, Elektronik dan Komunikasi**

#### 1. **Radar**

Radar di rencanakan menggunakan mast berbentuk limas dengan 4 bidang sisi kapal, radar dibedakan menjadi 2 radar besar untuk jarak jauh dan radar untuk sistem komunikasi, beban maksimal radar di rencanakan 15 Ton.

#### 2. **CMS dan Elektronik**

Combat management Sistem dan sistem elektronika direncanakan memiliki berat maksimal 5 ton.

### 3. Antena Komunikasi

Antena Komunikasi dan sistem elektroniknya direncanakan memiliki berat maksimal 5 ton.

#### e. Perhitungan *Light Weight Tonnage*

$LWT$  = Berat baja kapal + Berat senjata + Berat mesin + Berat peralatan Komunikasi

$$\begin{aligned} LWT &= 1569,648019 + 102 + 169 + 25 \\ &= 1865,648 \approx 1866 \text{ Ton} \end{aligned}$$

#### 4.3.2.2 Perhitungan *Deadweight Tonnage*

Dari perhitungan  $LWT$  maka kita dapat menentukan  $DWT$  kapal yaitu:

$$DWT = \Delta - LWT$$

Jadi,

$$\begin{aligned} DWT &= 4000 - 1866 \\ &= 2134 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### a. Berat *Fuel oil (Wfo)*

dimana:

$$a = \text{Radius pelayaran} = 4000 \text{ Nautical miles}$$

$$V = \text{Kecepatan dinas} = 20 \text{ Knots}$$

$$EHP_{Me} = 98\% \times HP_{Me}$$

$$= 98\% \times 32000$$

$$= 31360 \text{ HP}$$

$$EHP_{Ae} = 20\% \times EHP_{Me}$$

$$= 20\% \times 31360$$

$$= 6272 \text{ HP}$$

$$C_f = \text{Koefisien berat pemakaian bahan bakar untuk diesel}$$

$$= 0.18 \text{ ton/BHP/jam (0.17 ~ 0.18)}$$

$$Pf = 212,60 \text{ Ton}$$

Untuk cadangan bahan bakar ditambah 10% :

$$Pf = 110\% \times 212,50$$

$$Pf = 233,871 \text{ Ton}$$

Spesifikasi volume bahan bakar = 1,25 m<sup>3</sup>/ton

$$Vf = 233,871 / 1,25$$

$$Vf = 187,0968 \text{ m}^3$$

Untuk tangki yang diletakan di dasar ganda ditambah 10 %

$$Vf = 110\% \times 187,0968$$

$$= 205,806 \text{ m}^3$$

b. Berat *Diesel oil (Wdo)*

*Cl* = Koefisien berat minyak lumas

$$= 0,18 \text{ Kg/HPjam}$$

$$EHP Ae = 6272 \text{ HP}$$

$$Pd = 38,72 \text{ Ton}$$

Untuk cadangan minyak lumas ditambah 10% :

$$Pd = 110\% \times 38,72$$

$$Pd = 43,025 \text{ Ton}$$

Spesifikasi volume minyak lumas = 1,25 m<sup>3</sup>/ton

$$Vd = 43,025 / 1,25$$

$$Vd = 34,42 \text{ m}^3$$

c. Berat *Lubricant oil (Wlo)*

*Cl* = Koefisien berat minyak lumas

$$= 0,0025 \text{ Kg/HPjam (0,002 ~ 0,0025)}$$

$$Pl = 36,40 \text{ Ton}$$

Untuk cadangan minyak lumas ditambah 10% :

$$Pl = 110\% \times 36,40$$

$$Pl = 40,045 \text{ Ton}$$

Spesifikasi volume minyak lumas = 1,25 m<sup>3</sup>/ton

$$Vl = 40,045 / 1,25$$

$$Vl = 32,036 \text{ m}^3$$

d. Air Tawar ( $W_{fw}$ )

Berat air tawar untuk pendingin mesin :

Dimana :

$$\begin{aligned} C_{fw} &= \text{Koefisien pemakaian air pendingin mesin} \\ &= 0,02 \text{ Kg/BHP/jam } (0,02 \sim 0,05) \text{ Kg/BHP/jam} \end{aligned}$$

Jadi :

$$P_{fw} = 238,149 \text{ Ton}$$

Untuk cadangan 10% :

$$\begin{aligned} P_{fw} &= 110\% \times 238,149 \\ &= 264,61 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Spesifikasi volume air tawar =  $1 \text{ m}^3/\text{ton}$

Jadi volume tangki air tawar yang diperlukan :

$$\begin{aligned} V_{fw} &= 1 \times P_a \\ &= 1 \times 264,61 \\ V_{fw} &= 264,61 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

e. Berat Cadangan ( $Pr$ )

Untuk mengatasi adanya kesalahan – kesalahan dalam perencanaan maka perlu disediakan berat cadangan :

$$\begin{aligned} W_r &= 1\% \text{ displacement kapal} \\ W_r &= 0,01 \times 4000 \text{ ton} \\ &= 40 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka berat komponen *DWT* keseluruhannya adalah :

$$\begin{aligned} W_{total} &= W_{fo} + W_{do} + W_{lo} + W_{fw} + Pr \\ &= 233,871 + 43,025 + 40,045 + 264,61 + 40 \\ &= 621,55 \approx 622 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 4.3.2.3 Perhitungan Payload

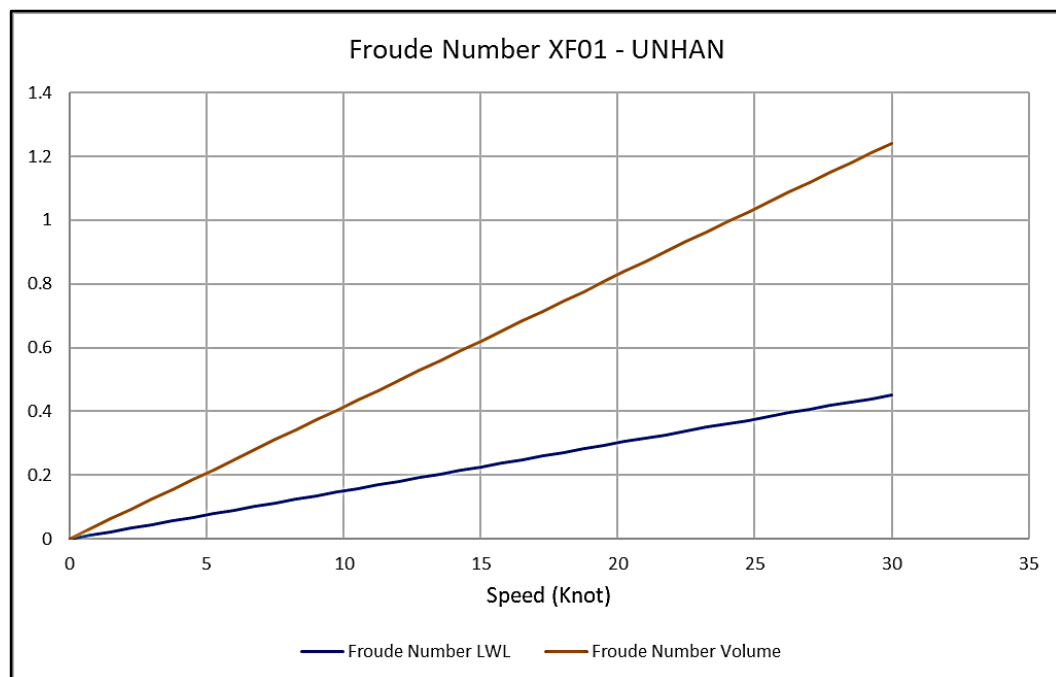
Dari hasil diatas maka besarnya *payload* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Payload} &= DWT - W_{total} \\ &= 2134 - 622 \\ &= 1512 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jadi muatan bersih 1514 ton, *Payload* dibagi 2 menjadi *Payload 1* seberat 800 Ton diletakan di belakang untuk Keperluan Crew dan Peralatan berat Pendukung, *Payload 2* seberat 712 Ton diletakan di depan untuk muatan amunisi, rudal, Torpedo dan Senjata ringan berhubungan dengan *DWT*

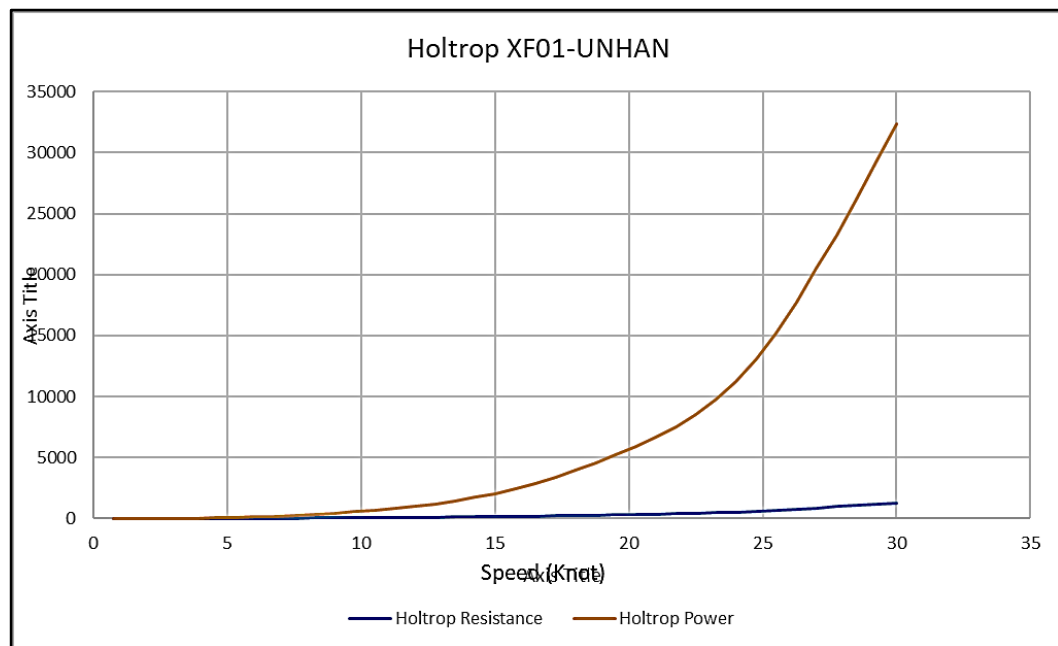
#### 4.4 Analisis Hambatan dan Daya Kapal

Berdasarkan desain dan data kapal hasil pemodelan diatas kemudian dapat dihitung besarnya tahanan kapal dengan metode *Holtrop*. perhitungan tahanan ini menggunakan perangkat lunak *maxsurf resistance*. Dengan cara memasukan model kapal yang telah dibuat di program *Maxsurf modeler advanced*, kemudian setelah disimpan dalam bentuk *.msd file* model kapal dapat langsung di-*running*. Dari hasil *running* dengan efisiensi 80 % tersebut didapatkan nilai *resistance* yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik pada desain kapal seperti dibawah ini :



Gambar 4. 9 Perbandingan Froude Number LWL dengan Volume

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4. 10 Perbandingan Holtrop Resistance dengan Holtrop Power

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Hasil perhitungan tahanan kapal dengan menggunakan metode holtrop dan efisiensi yang di gunakan adalah 80 % , kecepatan 0 knot hingga ke kecepatan maksimal yaitu 30 knot, hambatan yang di hasilkan pada kecepatan maksimal adalah 1281,700 KN. Sedangkan daya yang dibutuhkan kapal pada kecepatan maksimal adalah 33159,266 HP.

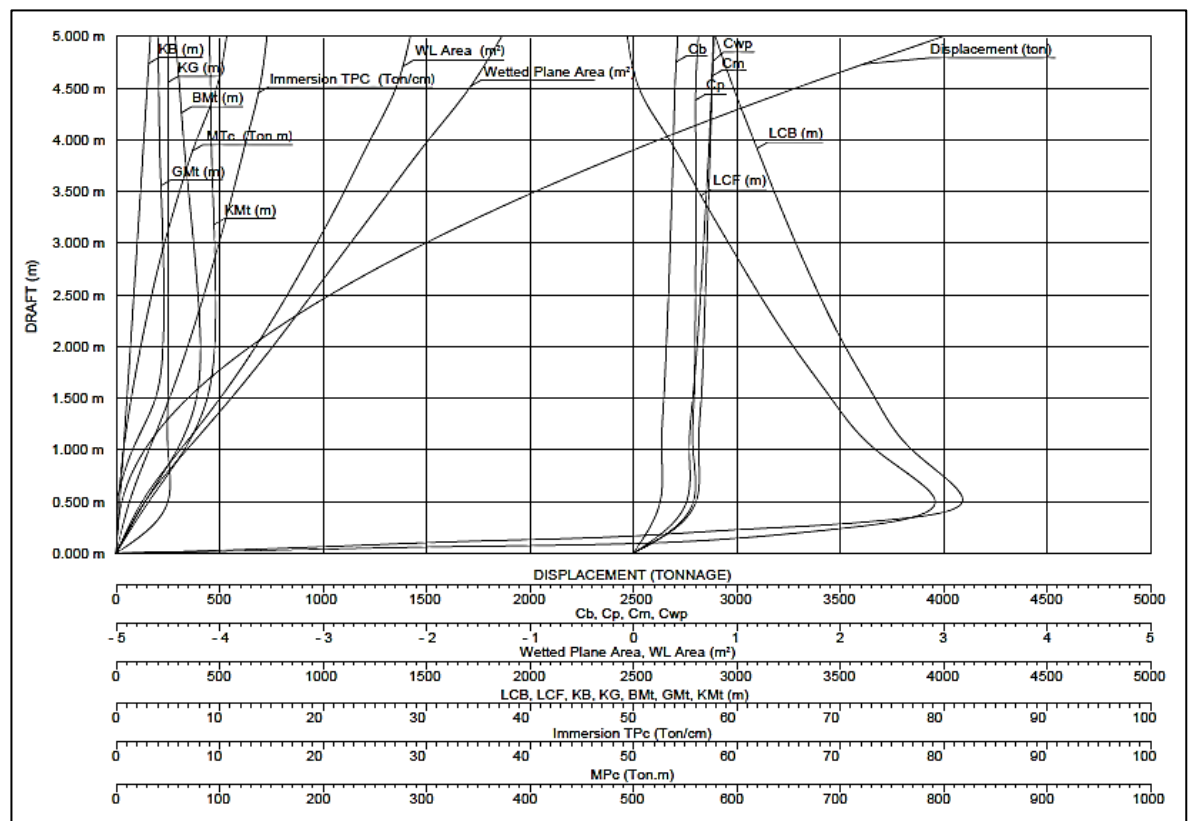
#### 4.5 Analisis Hidrostatik Kapal

Fungsi hidrostatik adalah untuk mengetahui sifat-sifat badan kapal yang tercelup di dalam air, atau dengan kata lain untuk mengetahui sifat-sifat karene. Cara yang paling umum untuk menggambarkan kurva-kurva hidrostatik adalah dengan membuat dua sumbu saling tegak lurus. Sumbu mendatar adalah garis dasar kapal (base-line). Sedangkan garis vertikal menunjukkan sarat tiap water line yang dipakai sebagai titik awal pengukuran kurva hidrostatik. Berikut adalah tabel dan grafik hasil analisis kurva hidrostatik.

Tabel 4.8 Tabel Lengkung Hidrostatik

HIDROSTATIC CURVE TABLE										
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Draft	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Displacement (t)	27.60	138.10	346.70	649.60	1035.00	1496.00	2028.00	2625.00	3287.00	4000.00
Heel (deg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Draft at FP (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
Draft at AP (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
Draft at LCF (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
Trim (+ve by stern) (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
WL Length (m)	61.27	71.93	80.06	87.26	94.00	100.46	106.71	112.81	118.79	119.21
Beam max extents on WL (m)	3.41	6.89	9.67	11.55	12.85	13.77	14.39	14.79	15.10	15.40
Wetted Area (m <sup>2</sup> )	139.89	341.09	555.89	757.16	945.58	1132.70	1320.73	1510.68	1707.74	1863.72
Waterpl. Area (m <sup>2</sup> )	125.92	309.67	502.65	674.37	827.70	969.43	1102.93	1228.46	1351.96	1421.80
Prismatic coeff. (Cp)	0.58	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60	0.62
Block coeff. (Cb)	0.26	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	0.43
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.52	0.54	0.58	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.76	0.77
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77
LCB from zero pt. (+ve fwd) (m)	81.81	76.94	73.37	70.47	67.96	65.71	63.61	61.63	59.69	57.93
LCF from zero pt. (+ve fwd) (m)	79.18	73.44	69.11	65.46	62.20	59.21	56.31	53.48	50.54	49.43
KB (m)	0.35	0.70	1.04	1.38	1.71	2.03	2.35	2.67	2.99	3.30
KG (m)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
BMt (m)	2.80	5.88	7.76	8.14	7.91	7.48	7.00	6.51	6.13	5.72
BML (m)	885.99	606.08	498.74	434.36	394.61	371.29	358.91	352.11	350.12	316.44
GMt (m)	-1.85	1.58	3.80	4.52	4.62	4.51	4.35	4.18	4.12	4.02
GML (m)	881.35	601.78	494.78	430.74	391.31	368.32	356.26	349.78	348.11	314.75
KMt (m)	3.15	6.58	8.80	9.52	9.62	9.51	9.35	9.18	9.12	9.02
KML (m)	886.35	606.78	499.78	435.74	396.31	373.32	361.26	354.78	353.11	319.75
Immersion (TPC) (tonne/cm)	1.29	3.17	5.15	6.91	8.48	9.94	11.31	12.59	13.86	14.57
MTc (tonne.m)	2.06	7.04	14.54	23.71	34.33	46.71	61.23	77.82	96.97	106.71
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) (to	-0.89	3.80	23.00	51.26	83.38	117.88	153.86	191.73	236.24	280.63
Max deck inclination (deg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trim angle (+ve by stern) (deg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.11 grafik kurva Hidrostatik

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.6 Analisis Stabilitas Kapal

Stabilitas merupakan salah satu hal yang penting dalam sebuah perencanaan dari desain kapal maka untuk dapat menjamin keselamatan kapal dalam pelayarannya, untuk itu kapal harus mempunyai keseimbangan mantap atau stabilitas yang baik, atau kapal harus mampu melawan semua gaya-gaya dari luar yang menyebabkan kemiringan, sehingga kapal dapat kembali keposisi semula. Kapal yang kaku akan kembali ke posisi tegak dalam periode yang sangat cepat. Kondisi seperti ini menyebabkan kapal mempunyai nilai MSI (*Motion Sickness of Incident*) yang cenderung tinggi. Namun pada dasarnya stabilitas adalah kapal dengan momen pembalik (*righting moment*) yang cukup untuk membuat

kapal kembali ke posisi tegak ketika mendapat gaya dari luar yang menyebabkan olengan.

Sebagai persyaratan yang wajib tentunya stabilitas kapal harus mengacu pada peraturan yang telah diakui seperti *International Maritime Organisation (IMO)*. Dalam perhitungan stabilitas ini, kapal diasumsikan dengan 6 kondisi yang menggambarkan kondisi operasional kapal yang mungkin terjadi. Penentuan stabilitas kapal ini menggunakan kriteria-kriteria yang telah tersedia dalam perangkat lunak *Maxsurf Stability*.

#### 4.6.1 Perencanaan Kondisi Muatan

Pada studi penelitian ini perhitungan stabilitas menggunakan paket perhitungan pada *Maxsurf stability* dan ditinjau pada 6 (enam) kondisi yang merepresentasikan *load condition* pada saat kapal beroperasi di laut lepas. Sedangkan persyaratan stabilitas mengacu pada *standard requirements* yang telah ditetapkan oleh IMO. Dalam menghitung stabilitas suatu kapal kita harus membuat variasi muatan pada beberapa kondisi sehingga diketahui stabilitas untuk tiap kondisinya, seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4.9 Kondisi Loadcase Kapal Frigate

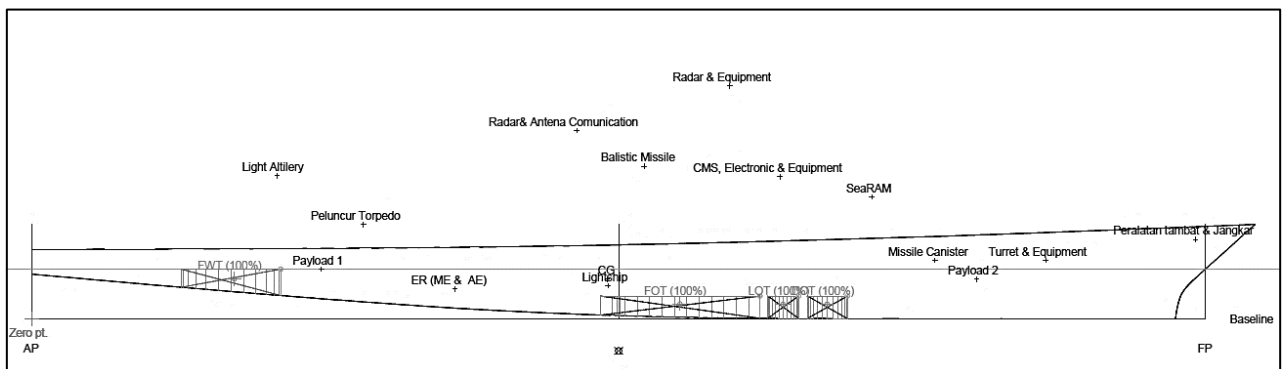
ITEM	KONDISI					
	1	2	3	4	5	6
Lightship	1	1	1	1	1	1
ER	1	1	1	1	1	1
Radar & Equipment	1	1	1	1	1	1
Radar & Anthena Comunication	1	1	1	1	1	1
CMS, Electronic and Equipment	1	1	1	1	1	1
Turret & Equipment	1	1	1	1	1	1
Missile Canister	12	12	12	12	12	12
Light Altillery	2	2	2	2	2	2
SeaRAM	1	1	1	1	1	1
Peralatan tambat + Jangkar	1	1	1	1	1	1
Payload 1	100%	50%	25%	0%	0%	0%
Payload 2	100%	50%	25%	0%	0%	0%
FOT	100%	50%	25%	100%	50%	25%
LOT	100%	50%	25%	100%	50%	25%

DOT	100%	50%	25%	100%	50%	25%
FWT	100%	50%	25%	100%	50%	25%

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Tabel 4.9 diatas menunjukkan variasi kondisi kapal maupun payload dari enam kondisi kapal. Untuk lebih lengkapnya akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Kondisi pertama merupakan kondisi ketika kapal sedang beroperasi dengan kondisi payload dan semua tangki terisi 100%.
2. Kondisi kedua merupakan pada saat kapal beroperasi dengan kondisi payload 50% dan semua tangki terisi 50%.
3. Kondisi ketiga merupakan pada saat kapal beroperasi dengan kondisi payload 20% dan semua tangki terisi 25%.
4. Kondisi keempat merupakan kondisi ketika kapal sedang beroperasi dengan kondisi payload kosong dan semua tangki terisi 100%.
5. Kondisi kedua merupakan kondisi ketika kapal sedang beroperasi dengan kondisi payload kosong dan semua tangki terisi 50%.
6. Kondisi ketiga merupakan kondisi ketika kapal sedang beroperasi dengan kondisi payload kosong dan semua tangki terisi 25%.



Gambar 4.12 Posisi titik Berat dan Loadcase pada Kapal Frigate

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### **4.6.2 Analisis dan Perhitungan Stabilitas Pada 6 Kondisi, Dengan Standart Kriteria International Maritime Organization (IMO)**

Salah satu otoritas di bidang maritim yang telah diakui adalah International Maritime Organisation (IMO). Standart stabilitas yang ditetapkan IMO adalah mengenai lengan stabilitas (GZ). Berikut ini adalah kriteria IMO yang digunakan :

1. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1 :
  - a. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $0^{\circ}$ –  $30^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,15 m.deg.
  - b. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $0^{\circ}$ –  $40^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,16 m.deg.
  - c. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $30^{\circ}$ –  $40^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.
2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2 : nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut  $30^{\circ}$ –  $180^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.
3. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.3 : sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan  $25^{\circ}$  (deg). Intact 1.2 : sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan  $10^{\circ}$  (deg)
4. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4 : nilai GM awal pada sudut  $0^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

Berikut ini adalah tabulasi dari hasil perhitungan stabilitas kapal pada kondisi I s/d kondisi VIII dengan standart kriteria IMO yang terangkum dalam bentuk tabel 4.10 :

Tabel 4.10 Hasil Analisa Stabilitas Kapal

Kriteria	Value	Units	Kondisi Aktual					
			1	2	3	4	5	6
3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	35.937	34.47	31.709	46.01	38.4708	37.188
3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	56.96	56.88	51.597	74.571	63.8721	61.857
3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	21.023	22.4	19.888	28.56	25.4014	24.668
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	2.137	2.334	2.035	3.002	2.756	2.704
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	40	43.6	40.9	45.5	48.2	49.1
3.1.2.4: Initial GMT	0.15	m	5.148	4.779	4.344	6.825	5.547	5.386
Status			Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Untuk menjaga stabilitas, maka harus diketahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas kapal, diantaranya adalah:

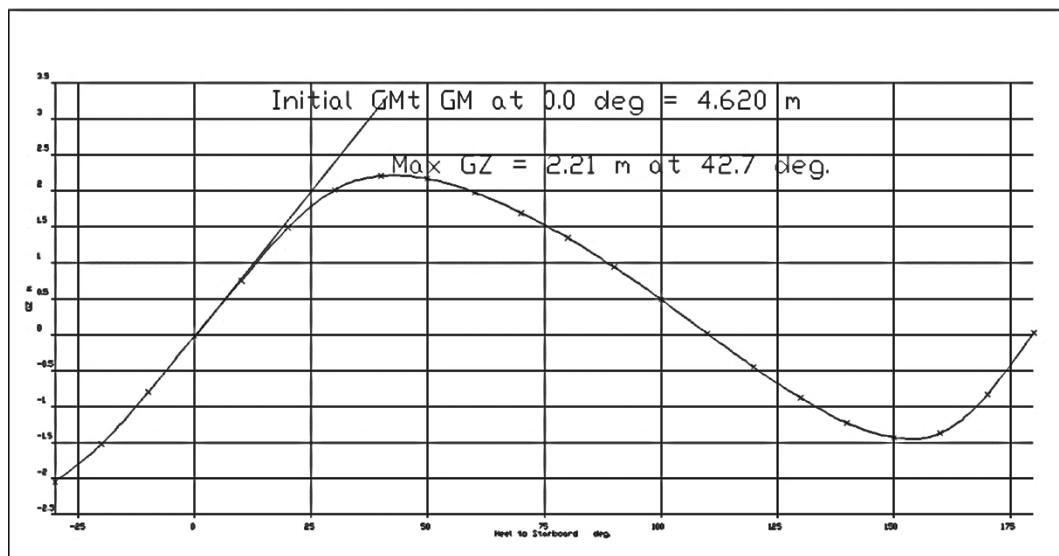
1. Nilai dari GM, semakin besar nilai dari GM semakin baik kemampuan balik pada posisi semula setelah kapal mengalami oleng.
2. Semakin besar lengan momen, semakin besar momen kopel (righting moment) yang terjadi. Sehingga memiliki lengan pengembali yang lebih besar.
3. Faktor bentuk dipengaruhi oleh letak titik G (titik berat), semakin rendah titik berat kapal maka nilai dari GM semakin besar.
4. Faktor berat dipengaruhi oleh letak titik B (titik tekan keatas dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang ada didalam air). Jadi titik B ini dipengaruhi oleh bentuk kapal dibawah permukaan air, semakin besar nilai WSA semakin baik karena merupakan titik tekan keatas yang menyebabkan letak metasentra menjadi lebih tinggi.

Secara keseluruhan dari hasil stabilitas berdasarkan kriteria dari IMO, kapal *Fregate* memiliki stabilitas baik ditinjau dari kemampuan stabilitas kapal yang mampu memenuhi persyaratan dari IMO.



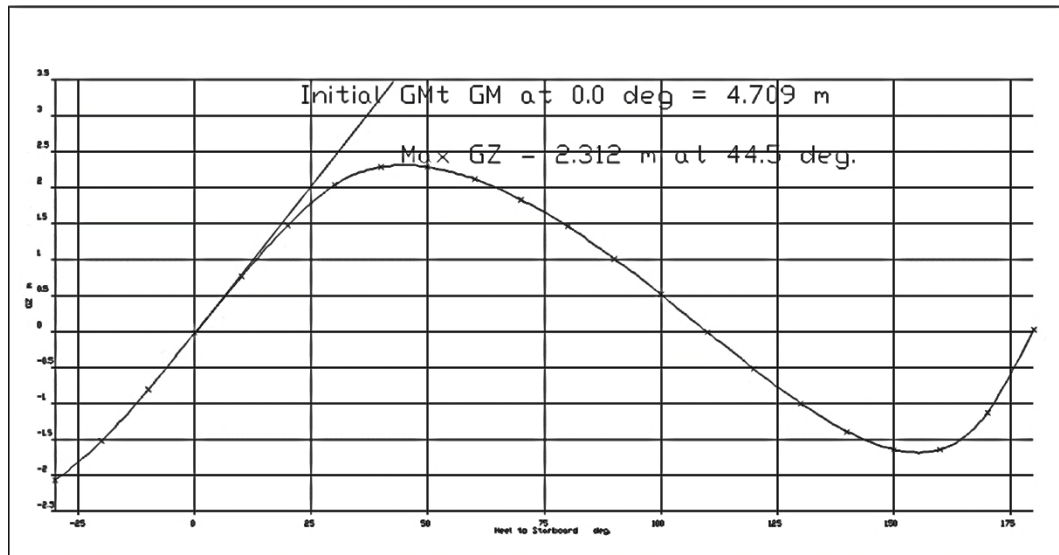
Gambar 4.13 Nilai GZ kapal *Frigate* pada kondisi *Loadcase 1*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



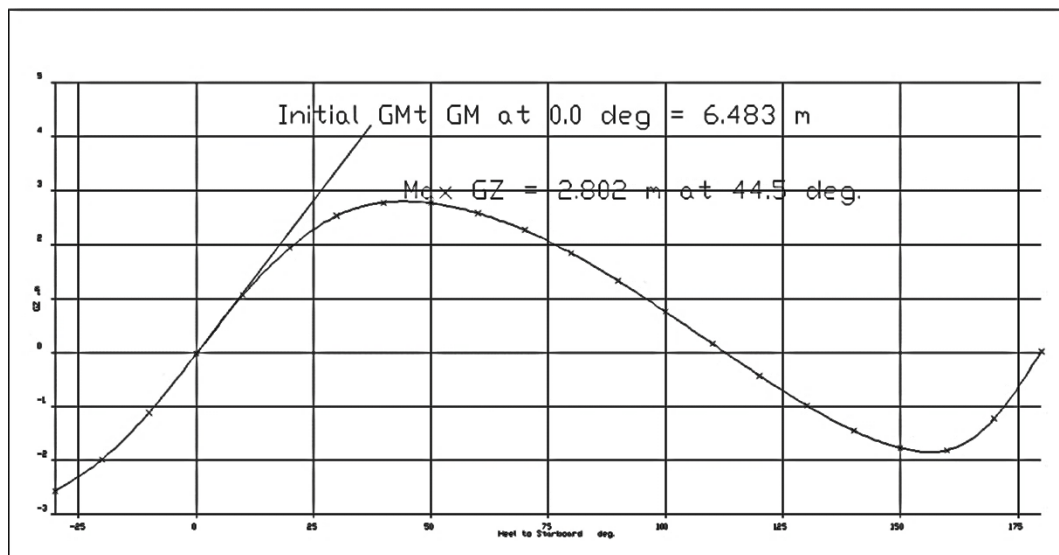
Gambar 4.14 Nilai GZ kapal *Frigate* pada kondisi *Loadcase 2*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



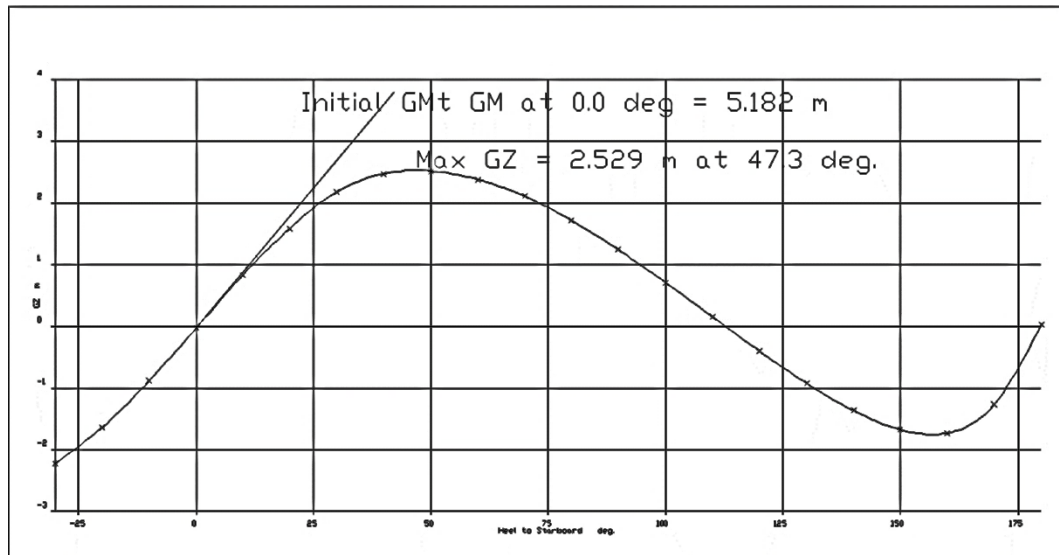
Gambar 4.15 Nilai GZ kapal *Frigate* pada kondisi *Loadcase 3*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



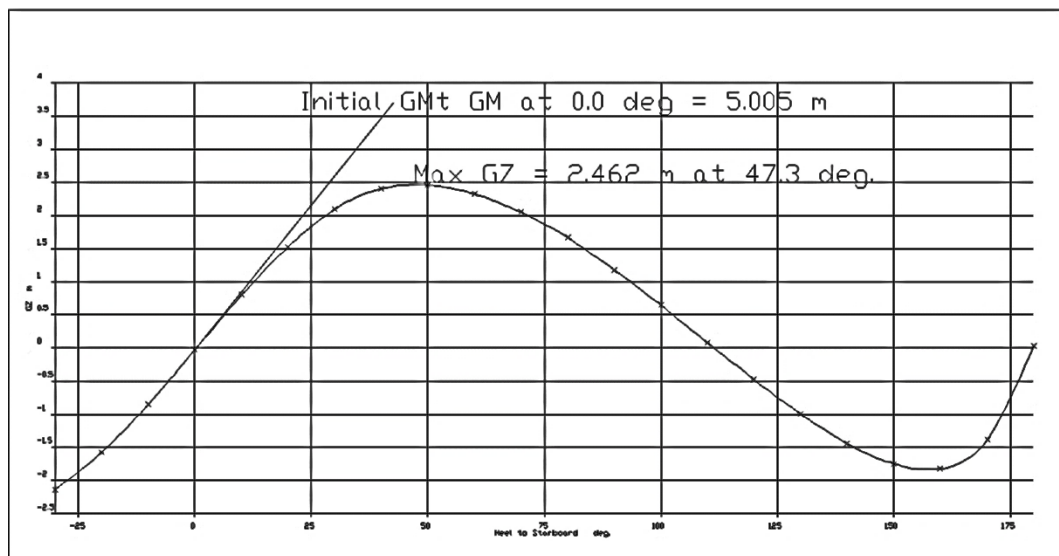
Gambar 4.16 Nilai GZ kapal *Frigate* pada kondisi *Loadcase 4*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.17 Nilai GZ kapal *Frigate* pada kondisi *Loadcase 5*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.18 Nilai GZ kapal *Frigate* pada kondisi *Loadcase 6*

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Gambar 4.13 dan tabel 4.18 diatas menunjukkan nilai GZ untuk kapal pada kondisi *loadcase* 1 sampai 6. Dengan adanya kurva lengan stabilitas (GZ) tersebut maka dapat diketahui besarnya nilai momen pada tiap- tiap sudut oleng.

### 4.6.3 Perhitungan Periode Olang Kapal

Periode olang adalah waktu yang diperlukan kapal untuk kembali ke posisi semula pada saat terjadi olangan. Dengan asumsi perairan tenang. Rumus perhitungan periode olang menurut standar IMO adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{2CB}{\sqrt{MG}}$$

Dimana:

T = Periode olang (detik)

B = Lebar kapal (m)

C =  $0,373 + 0,023 (B/d) - 0,043(L/100)$

MG = *Metacentra Gravity* (m)

Perhitungan periode olang kapal pada tiap kondisi ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Periode Olang Kapal

Kondisi	B (m)	d (m)	MG (m)	C	T (s)
1	16.85	2.137	5.148	0.5036	7.4801
2	16.85	2.334	4.779	0.4883	7.5275
3	16.85	2.035	4.344	0.5127	8.2899
4	16.85	3.002	6.825	0.4514	5.8224
5	16.85	2.756	5.547	0.4629	6.6232
6	16.85	2.704	5.386	0.4656	6.7608

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

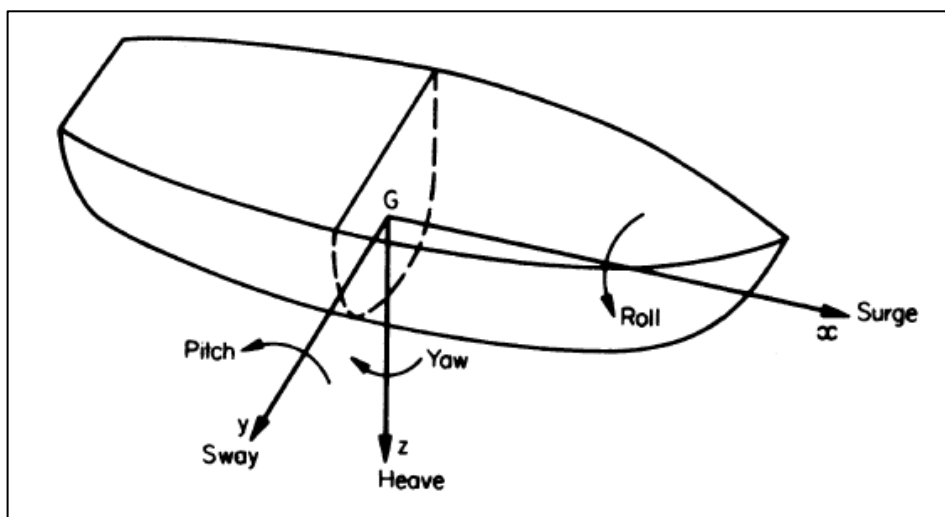
Jika sebuah kapal memiliki nilai MG kecil, maka nilai periode olang besar sehingga kapal menjadi lambat untuk ke posisi tegak / ke posisi semula (momen penegak kecil). Begitu pula sebaliknya, jika kapal memiliki nilai MG besar, maka nilai periode olang kecil sehingga kapal menjadi cepat untuk ke posisi tegak/ ke posisi semula ( momen penegak besar ).

Tabel 4.11 di atas, menunjukkan bahwa Pada kondisi *Loadcase 4* Kapal *Frigate* memiliki nilai MG yang besar dan periode olang yang kecil, sehingga pada kondisi 4, kapal mempunyai kemampuan untuk kembali ke

posisi tegak yang cepat pula. Artinya pada kondisi 4 kapal memiliki periode oleng yang kecil karena memiliki momen pembalik dan momen kopel (righting moment) yang cukup besar.

#### 4.7 Analisis Olah Gerak (*Seakeeping*) Kapal

Istilah umum kelayakan laut harus mencakup semua aspek desain kapal yang memengaruhi kemampuannya untuk tetap berada di laut dalam segala kondisi dan untuk melaksanakan tugas yang ditentukan. Karena itu, harus mencakup pertimbangan kekuatan, stabilitas dan daya tahan, di samping faktor-faktor yang lebih langsung dipengaruhi oleh gelombang. Dalam penelitian ini, istilah *seakeeping* digunakan untuk mencakup fitur-fitur yang lebih terbatas ini, yaitu *motions, speed and power in waves, wetness and slamming*<sup>18</sup>. Pada desain kapal *Frigate XF01-UNHAN*, prediksi olah gerak kapal yang akurat sangat diperlukan. Kualitas dari kinerja *hull form*, keadaan dimana kapal oleng, atau tenggelam (*Ultimate Loss of Performance*) pada tiap kondisi gelombang dapat diketahui secara pasti bahkan dalam kondisi *extreme* sekalipun.

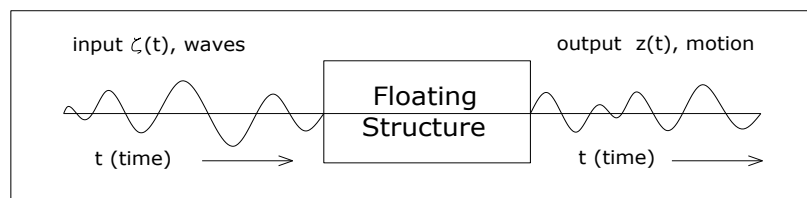


Gambar 4.19 Gerakan pada Sumbu Kapal

Sumber : Basic Ship Theory Volume 2, 2001

<sup>18</sup> Rawson, K.J., Tupper, E.C., 2001. "Basic Ship Theory Vol. 2", fifth ed. Butterworth Heinemann

Pada prinsipnya alur kerja olah gerak kapal dapat diartikan sebagai berikut, kapal adalah suatu *electronic filter*. Pada saat menerima sinyal (*Waves Ocean*) sinyal tersebut disaring kemudian ditransfer kembali sebagai output yang dalam hal ini adalah gerakan kapal (*Ship Motion*). Prinsip kerja inilah yang menjadi dasar dari pemecahan dalam banyak penelitian mengenai *seakeeping performance*.



Gambar 4.20 Alur *transfer function* dalam *seakeeping performance*

Sumber: Diolah oleh Penulis, 2018

Filter transfer tersebut merupakan suatu fungsi numeric non dimensional yang disebut *Response Amplitude Operators* (RAOs). Masing-masing gerak kapal mempunyai karakteristik dan RAOs tersendiri. Ada 2 (dua) metode analisis utama untuk memperkirakan RAOs yaitu metode domain waktu (*Time Domain Methode*) dan metode domain frekuensi (*Frequency Domain Methode Strip Theory*). Metode (*Frequency Domain Methode Strip Theory*) inilah yang terintegrasi pada beberapa *software* komersial yang sering digunakan, salah satunya adalah *maxsurf motion*. *Software* ini merupakan bagian dari *Maxsurf Design and Analysis Suite*.

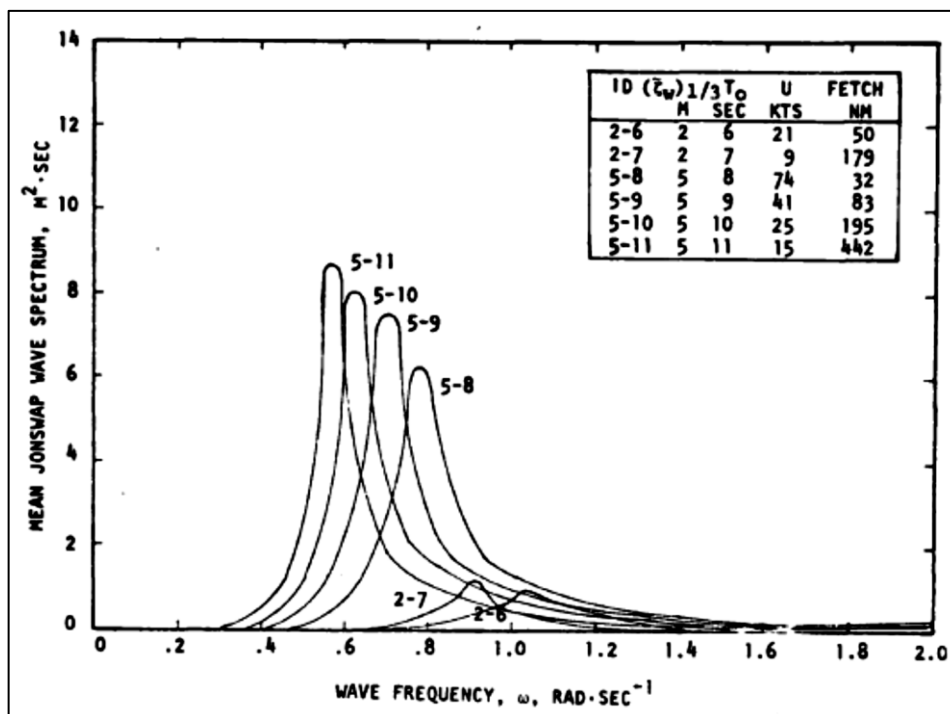
#### 4.7.1 Penggunaan *Software maxsurf motion*

Pada penelitian ini perhitungan olah gerak kapal menggunakan program *maxsurf motion*. Program merupakan salah satu perangkat lunak yang mempunyai kemampuan untuk analisa *seakeeping performance* diantara beberapa *software* komersial yang telah ada. Berikut ini adalah beberapa pengaturan dalam penggunaan *maxsurf motion* untuk perhitungan olah gerak kapal, antara lain :

### 1. Penggunaan Spektra Gelombang (*Wave Spectrum*)

Pada penelitian ini spektra gelombang yang digunakan adalah spektra gelombang *JONSWAP*. Jenis Spektra ini dikembangkan pada tahun 1968 dengan nama *Joint North Sea Wave Project* (Perairan Kepulauan/ Tertutup) dan direkomendasikan oleh ITTC 17<sup>th</sup> pada tahun 1984. Spektra ini memiliki puncak yang lebih tinggi dan lebih sempit dari pada spektra sebelumnya yang pernah direkomendasikan oleh ITTC 15<sup>th</sup> pada tahun 1978 yakni spektra *Bretschneider*.

Saat ini khususnya di Indonesia formulasi spektra jenis ini banyak digunakan pada analisis bangunan lepas pantai. Dengan asumsi bahwa spektra ini merepresentasikan kondisi gelombang yang buruk sehingga analisis yang dihasilkan adalah semakin meningkatkan derajat keamanan dari kemampuan bertahan di laut.



Gambar 4.21 Spectra gelombang *JONSWAP*

Sumber : DTNS, *A Modified Jonswap Spectrum Dependent Only On Wave Height And Period*, 1987

## 2. Kondisi Perairan (*Sea Condition*)

Kondisi perairan pada penelitian ini mengacu pada kondisi laut berdasarkan *Beaufort Wind Force Scale*, dengan peninjauan pada 3 (tiga) variasi kondisi laut dengan parameter yang berbeda meliputi 1/3 tinggi gelombang tertinggi (*significant wave height*), periode gelombang (*wave period*), dan kecepatan angin (*Sustained Wind Speed*). Variasi kondisi laut tersebut adalah ombak kecil (*Slight*), ombak sedang (*Moderate*), ombak besar (*Rough*).

Tabel 4.12 *Beaufort Wind Force Scale*

<i>Sea State Code</i>	<i>Sustained Wind Speed (Knots) Range</i>	<i>Wave Height(m) Range</i>	<i>Wave Periode (s)</i>	<i>Description</i>
3	7 - 10	1 - 2	7,5	<i>Slight</i>
4	11 - 16	2 - 3	8,8	<i>Moderate waves of some length.</i>
5	17 -21	3 - 4	9,7	<i>Rough</i>
6	21 - 27	4 - 5,5	10,6	<i>Rough – Very rough</i>

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

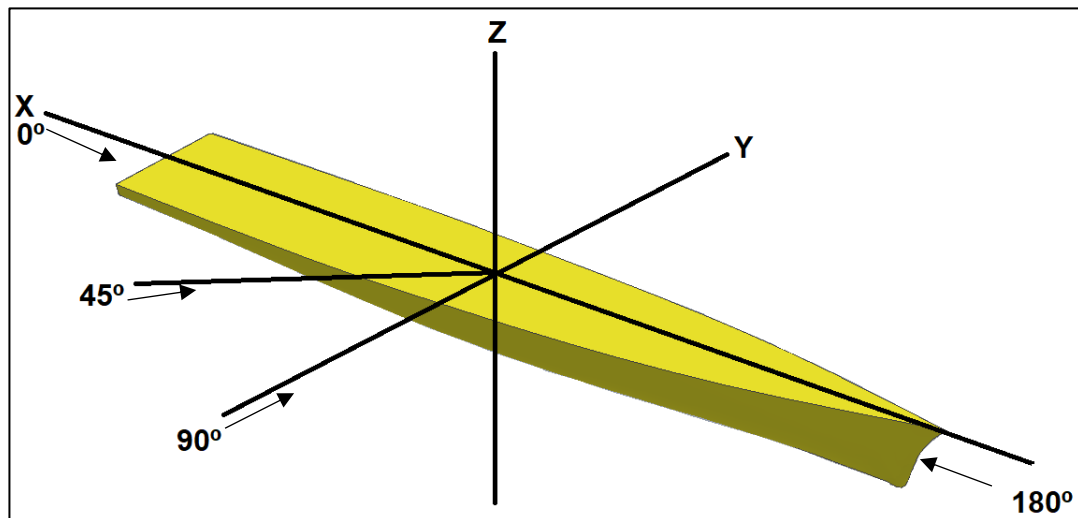
## 3. Pengaturan Sudut Masuk Gelombang (*Wave Heading*)

Sudut masuk gelombang yang dimaksud disini adalah arah datang gelombang yang diukur dari bagian belakang kapal. Pada penelitian ini sudut masuk gelombang ditinjau dari 4 (empat) arah yang secara garis besar merepresentasikan arah gelombang ketika menerpa badan kapal saat beroperasi di laut lepas.

Tabel 4.13 *Number Of Wave Heading*

No.	Wave Heading	Description
1	<i>0 degrees</i>	<i>Following Seas</i>
2	<i>45 degrees</i>	<i>Stern Quartering Seas</i>
3	<i>90 degrees</i>	<i>Beam Seas</i>
4	<i>180 degrees</i>	<i>Head Seas</i>

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.22 Ilustrasi Arah Masuk Gelombang (*Wave Heading*)

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

#### 4.7.2 Analisis dan Perhitungan *Maxsurf Seakeeping*

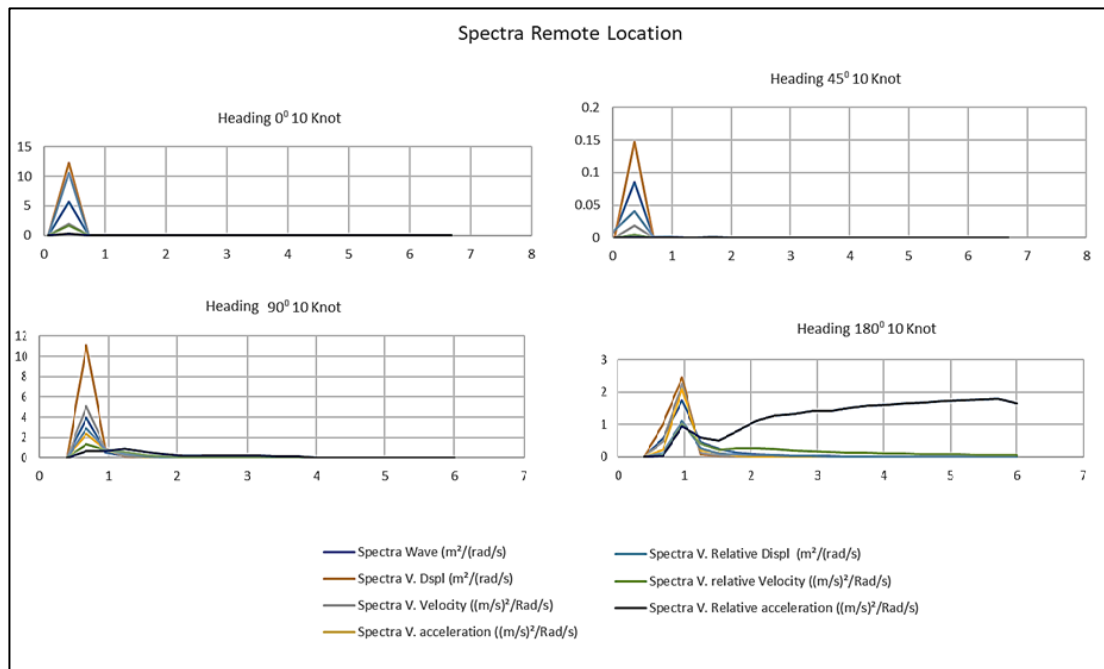
Salah satu metode perhitungan olah gerak kapal adalah metode *Frequency Domain Methode/ Strip Theory*. Output perhitungan adalah sebagai berikut dalam Tabel 4.14 :

Tabel 4.14 Nilai *Motion*, *Velocity* dan *Acceleration*

ITEM	Wave Heading	Motion	Velocity	Acceleration
	0°	0.14200 m <sup>2</sup>	0.02400 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.00400 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
	45°	1.05200 m <sup>2</sup>	0.07300 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.01800 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
	90°	1.05200 m <sup>2</sup>	0.61700 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.46700 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
	180°	0.25900 m <sup>2</sup>	0.18900 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.15400 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
10 Knot	0°	0.00000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	45°	62.18000 deg <sup>2</sup>	0.00728 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00338 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	90°	117.46000 deg <sup>2</sup>	0.02494 (rad/s) <sup>2</sup>	0.02212 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	180°	0.00000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	0°	1.35000 deg <sup>2</sup>	0.00007 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00001 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	45°	1.50000 deg <sup>2</sup>	0.00012 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00003 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	90°	0.31000 deg <sup>2</sup>	0.00005 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00003 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	180°	1.91000 deg <sup>2</sup>	0.00046 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00040 (rad/s/s) <sup>2</sup>

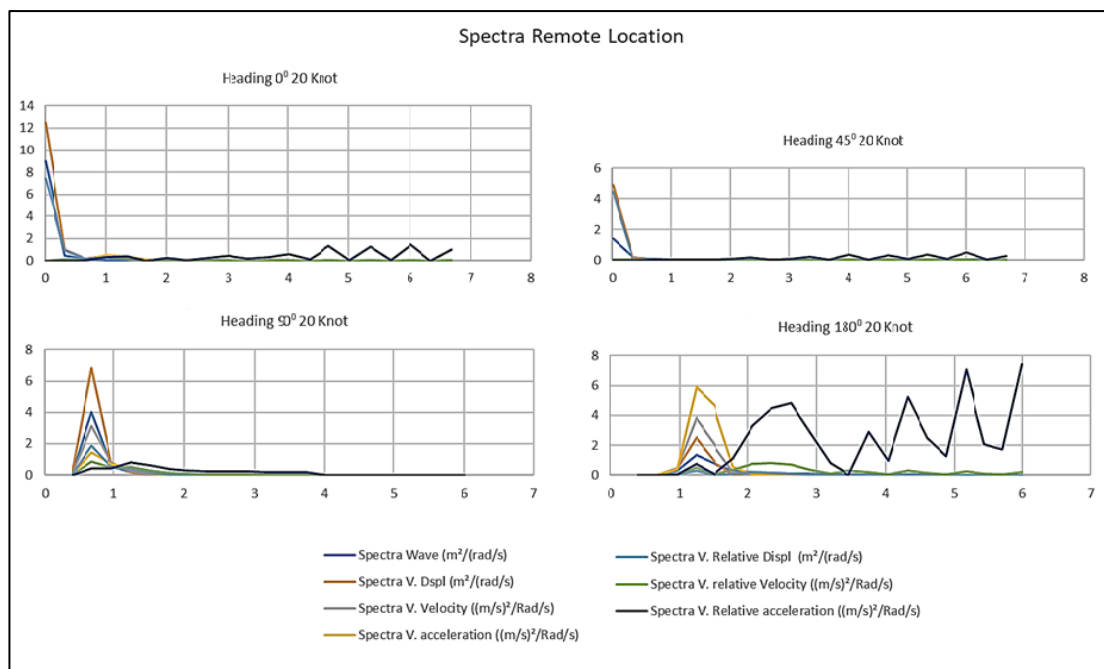
20 Knot	Heaving	0°	0.15300 m <sup>2</sup>	0.01500 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.01100 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
		45°	0.86800 m <sup>2</sup>	0.03300 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.00400 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
		90°	0.86800 m <sup>2</sup>	0.50600 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.38500 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
		180°	0.54500 m <sup>2</sup>	0.63100 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.78700 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
	Rolling	0°	0.00000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		45°	21.78000 deg <sup>2</sup>	0.00298 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00344 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		90°	117.46000 deg <sup>2</sup>	0.02494 (rad/s) <sup>2</sup>	0.02212 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		180°	0.00000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	Pitching	0°	1.04000 deg <sup>2</sup>	0.00002 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00002 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		45°	1.14000 deg <sup>2</sup>	0.00004 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		90°	0.25000 deg <sup>2</sup>	0.00004 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00002 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		180°	1.94000 deg <sup>2</sup>	0.00072 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00095 (rad/s/s) <sup>2</sup>
30 Knot	Heaving	0°	0.28600 m <sup>2</sup>	0.07300 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.10900 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
		45°	0.74900 m <sup>2</sup>	0.01500 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.00600 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
		90°	0.74900 m <sup>2</sup>	0.42800 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.32200 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
		180°	0.79000 m <sup>2</sup>	1.24700 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	2.09100 m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>
	Rolling	0°	0.00000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		45°	33.97000 deg <sup>2</sup>	0.00630 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00593 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		90°	117.46000 deg <sup>2</sup>	1.24700 (rad/s) <sup>2</sup>	0.02212 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		180°	0.00000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s/s) <sup>2</sup>
	Pitching	0°	1.80000 deg <sup>2</sup>	0.00009 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00011 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		45°	1.53000 deg <sup>2</sup>	0.00002 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00001 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		90°	0.20000 deg <sup>2</sup>	0.00000 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00002 (rad/s/s) <sup>2</sup>
		180°	1.64000 deg <sup>2</sup>	0.00084 (rad/s) <sup>2</sup>	0.00149 (rad/s/s) <sup>2</sup>

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



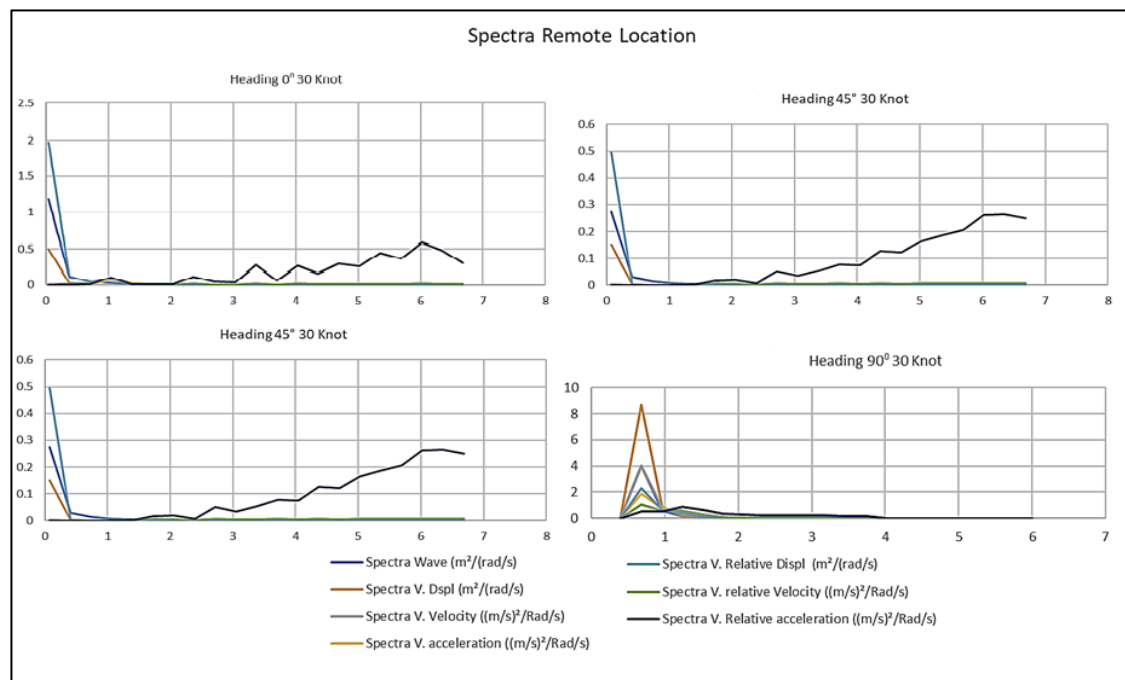
Gambar 4.23 Grafik Spectra Remote Location 10 knot

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.24 Grafik Spectra Remote Location Heading 20 knot

Sumber: Analisis Peneliti, 2018



Gambar 4.31 Grafik Spectra Remote Location 30 knot

Sumber: Analisis Peneliti, 2018

Hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan, hasil nilai *amplitude* tersebut tampak bahwa arah gelombang (*heading*) mempengaruhi respon kapal. Tiap kapal memiliki respon yang berbeda terhadap masing-masing heading. Tidak semua *heading* membahayakan keselamatan kapal. Selain itu hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak ada intervensi gelombang dari arah lain. Sehingga pada wave heading 0 dan 180 derajat tidak terjadi gerakan *rolling*. Pada *heading* 0 dan 180 derajat Kapal *Frigate* mempunyai amplitude gerakan *Heaving* lebih besar di banding 90 dan 45. Untuk kondisi *pitching* yang lebih besar adalah kondisi 45 dan 90 derajat di banding 45 dan 90 derajat. Kemudian untuk kondisi *rolling* kondisi 45 dan 90 derajat yang lebih besar, karena kondisi 0 dan 180 derajat tidak mempunyai nilai.

Sedangkan nilai kecepatan (*velocity*) yang di maksud disini adalah fungsi numerik yang terdiri dari 2 variabel yaitu jarak (m) dan waktu (s) pada tiap-tiap gerakan kapal. Tingkat kenyamanan kapal tergantung pada seberapa cepat gerakan kapal. Semakin cepat gerakan kapal mengakibatkan periode gerakan kapal semakin cepat. Hal ini tentunya

membuat kapal semakin tidak nyaman. Sama halnya dengan grafik nilai amplitude yang berpengaruh linier terhadap kondisi gelombang. Demikian juga dengan grafik kecepatan pada tiap gerak *heave*, *pitch*, *roll*. Semakin buruk kondisi gelombang maka kecepatan gerakan semakin tinggi. Dengan demikian jelas bahwa kapal akan semakin tidak nyaman apabila kondisi gelombang semakin tinggi.

Dari hasil analisa *velocity* diatas menunjukkan bahwa arah masuk gelombang (*wave heading*) mempengaruhi kenyamanan kapal. Pada *heading* 0 dan 180 derajat kapal mempunyai kecepatan gerakan (*velocity*) *heaving* lebih besar di banding 90 dan 45 derajat. Untuk kondisi *pitching* yang lebih cepat adalah kondisi 45 dan 90 derajat di banding 0 dan 180 derajat. Dan untuk kondisi *rolling* (*velocity*) yang lebih besar kondisi 45 dan 90 derajat di bandingkan dengan 0 dan 180 derajat yang tidak memiliki nilai *rolling velocity* untuk kapal *Frigate PMIDU-HBS X-01*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN REKOMENDASI**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan penulis yaitu Perancangan kapal *Frigate* PMIDU-HBS X-01, dapat disimpulkan beberapa informasi teknis sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan metode perbandingan dari kapal *frigate* yang digunakan oleh berbagai negara dan dilakukan optimasi ukuran utama kapal perang, telah didapatkan ukuran yang sesuai dengan wilayah laut Indonesia.
2. Berdasarkan analisis menggunakan software Maxsurf Stability dan Motion didapatkan hasil analisis berupa :
  - Hasil perhitungan hidrostatis kapal *frigate* telah sesuai dengan karakteristik kapal *frigate*.
  - Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa kapal memiliki nilai yang bagus atau *PASS* yang telah sesuai dengan IMO *Section A.749(18) Chapter 3*.
  - Hasil Analisis Olah Gerak (Seakeeping) Nilai *Heaving*, Nilai *Rolling*, Nilai *Pitching* sebagai dasar penentuan manuvering kapal sudah dianalisis dan didapatkan hasil yang sesuai dengan karakteristik kapal *frigate*.

#### **5.2 Rekomendasi**

Rekomendasi dari penulis antara lain:

1. Menjadi literatur dasar perancangan kapal perang di tingkat penelitian dan pengembangan pertahanan Laut di Indonesia khususnya di Universitas Pertahanan.
2. Universitas Pertahanan agar menjadi khazanah keilmuan yang baru dilingkungan civitas akademika Universitas Pertahanan.

3. Kementerian Pertahanan agar menjadi rekomendasi perencanaan pengadaan kapal perang Indonesia dimasa yang akan datang.
4. TNI Angkatan Laut agar menjadi rekomendasi pembangunan kapal perang atau KRI yang akan dibutuhkan dimasa mendatang.
5. BUMNIP dibidang perkapalan agar menjadi pedoman dan referensi dalam pembangunan kapal perang indonesia yang bar

## DAFTAR PUSTAKA

- Bernard, Ireland & John Parker, *"The illustrated encyclopedia of destroyer, frigate & submarine"*, Southwater
- Evans, J.1959. *"Basic Design Concepts"*. Naval Engineers Journal, 671-678
- Direktorat Jenderal Strategi Pertahanan,. 2015 " Buku Putih Pertahanan Indonesia" Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.
- International Maritime Organization. 1993, " RESOLUTION A.749(18)" Code On Intact Stability For All Types Of Ships Covered By Imo Instruments.
- North Atlantic Treaty Organization. 2014, *"NATO STANDARD ANEP-77 NAVAL SHIP CODE Edition F Version 1* Allied Naval Engineering Publication.
- O'Rourke, Ronald. 2006, "Navy DDG-1000 (DD(X)), CG(X), and LCS Ship Acquisition Programs: Oversight Issues and Options for Congress".
- Rawson, K.J., Tupper, E.C., 2001. *"Basic Ship Theory Vol 1"*, fifth ed. Butterworth-Heinemann,
- Rawson, K.J., Tupper, E.C., 2001. *"Basic Ship Theory Vol 2"*, fifth ed. Butterworth-Heinemann,
- RISTEKDIKTI, 2017. *"Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045"*. <http://rim.ristekdikti.go.id>
- Santosa, IGM. 1999. *"Perencanaan Kapal"*, ITS:Surabaya
- The Society of Naval Architects and Marine Engineers.1998. *"Principles of Naval Architecture Second Revision: Resistance, Propulsion and Vibration Vol. II"* 601 Pavonia Avenue Jersey City, NJ
- Tippe, Syarifuddin, 2016. "Ilmu Pertahanan; Sejarah, Konsep, Teori dan Implementasi" Salemba Humanika:Jakarta
- Tupper, E.C, 2013. *"Introduction To Naval Architecture"*, Fifth Ed Butterworth-Heinemann

## Jurnal

- Bahatmaka, Aldias., 2013, "*Perancangan Lambung Small Waterplane Area Twin Hull (SWATH) Kapal Protector dengan Sistem Unmanned Surface Vehicle (USV) untuk perairan Ambalat*". Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, Semarang
- Bahri, M. 2016. "*Kebijakan Freedom Of Navigation Amerika Serikat Di Laut China Selatan*.Jurnal Skripsi". FISIP.Unhas Makasar
- David Hally - Normand Gilbert, 1987 "A Program For Modifying Computer Representations Of Ship Hulls" DTIC Defense Research Establishment Atlantic. Canada
- Evans, J. (1959). Basic Design Concepts. Naval Engineers Journal
- Jose C. "Antonio, Hull adjustment towards hydrostatic requirements", Tecnico Lisboa
- Karri, Krishna M., "Hull Shape Optimization for Wave Resistance Using Panel Method" (2010). University of New Orleans Theses and Dissertations. 1188.
- Mistree, F., Smith, W., Bras, B., & Allen, J. (1990). "*Decision-Based Design: A Contemporary Paradigm for Ship Design*". Annual Meeting. San Francisco: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Naval Engineers Journal, 2016,"*Weight Design Margins in Naval Ship Design-A Rational Approach*", ASNE
- Patrick, Andrew Stevens, 2016 "Naval Ship Preliminary Arrangements for Operability and Reduced Vulnerability" Master of Thesis, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University
- SAMUEL, Samuel; Windyandari, Aulia.2013, "*Perancangan Kapal Perang Multipurpose Tipe Katamaran Untuk Kondisi Perairan Ambalat*". ISSN 2301-9069.
- Scholcz, T.P. & Veldhuis, Christian. (2017). *Multi-Objective Surrogate Based Hull-Form Optimization Using High-Fidelity Rans*

*Computations*". Maritime Research Institute Netherlands (MARIN)  
Haagsteeg 2, 6708 PM Wageningen, The Netherlands

Sugiyono, Agus. 2006 "Perkembangan Dan Aplikasi Teknik Optimasi Untuk  
Perencanaan Energi" Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan  
Komputasi

Wahyono. S.K.1970."Strategi Pertahanan Laut Dalam Rangka Ketahanan  
*Nasional*". Jurnal Ketahanan. UGM

### **Internet**

Analisis Regresi Linear Sederhana (Simple Linear Regression)  
<https://teknikelektronika.com/analisis-regresi-linear-sederhana-simple-linear-regression/>(diakses pada 16 desember 2017)

Beijing Bantah Kapal Penjaga Pantai China Masuk Wilayah  
RI.<http://internasional.kompas.com/read/2016/03/21/21313861/Beijing.%20Bantah.Kapal.Penjaga.Pantai.China.%20Masuk.Wilayah.RI>  
(diakses pada 16 desember 2017)

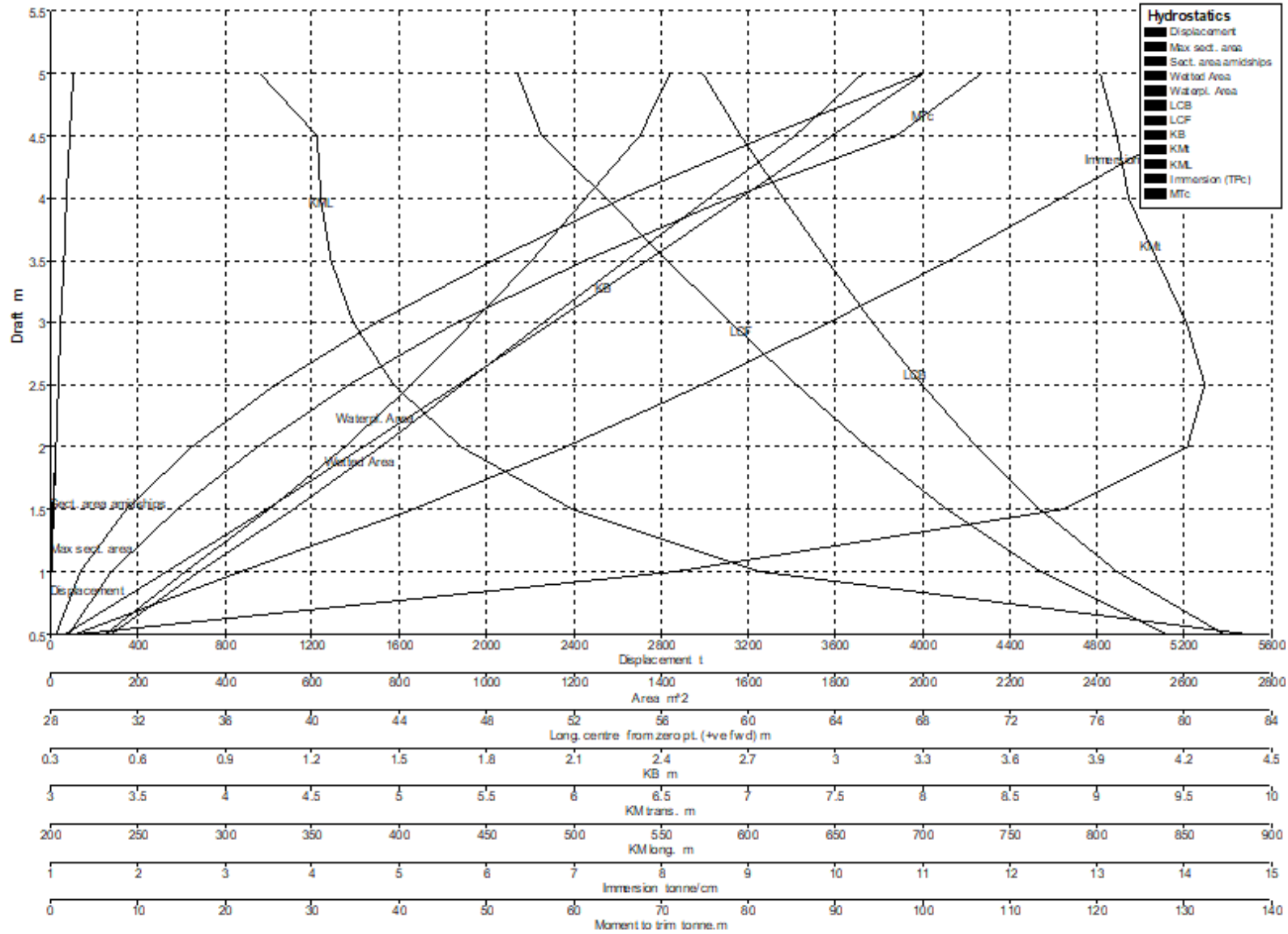
Nine Dash Line China di LCS Tak Punya Dasar Hukum.  
<https://international.sindonews.com/read/1137570/40/nine-dash-line-china-di-lcs-tak-punya-dasar-hukum-1473259660> (diakses pada 16  
Desember 2017)

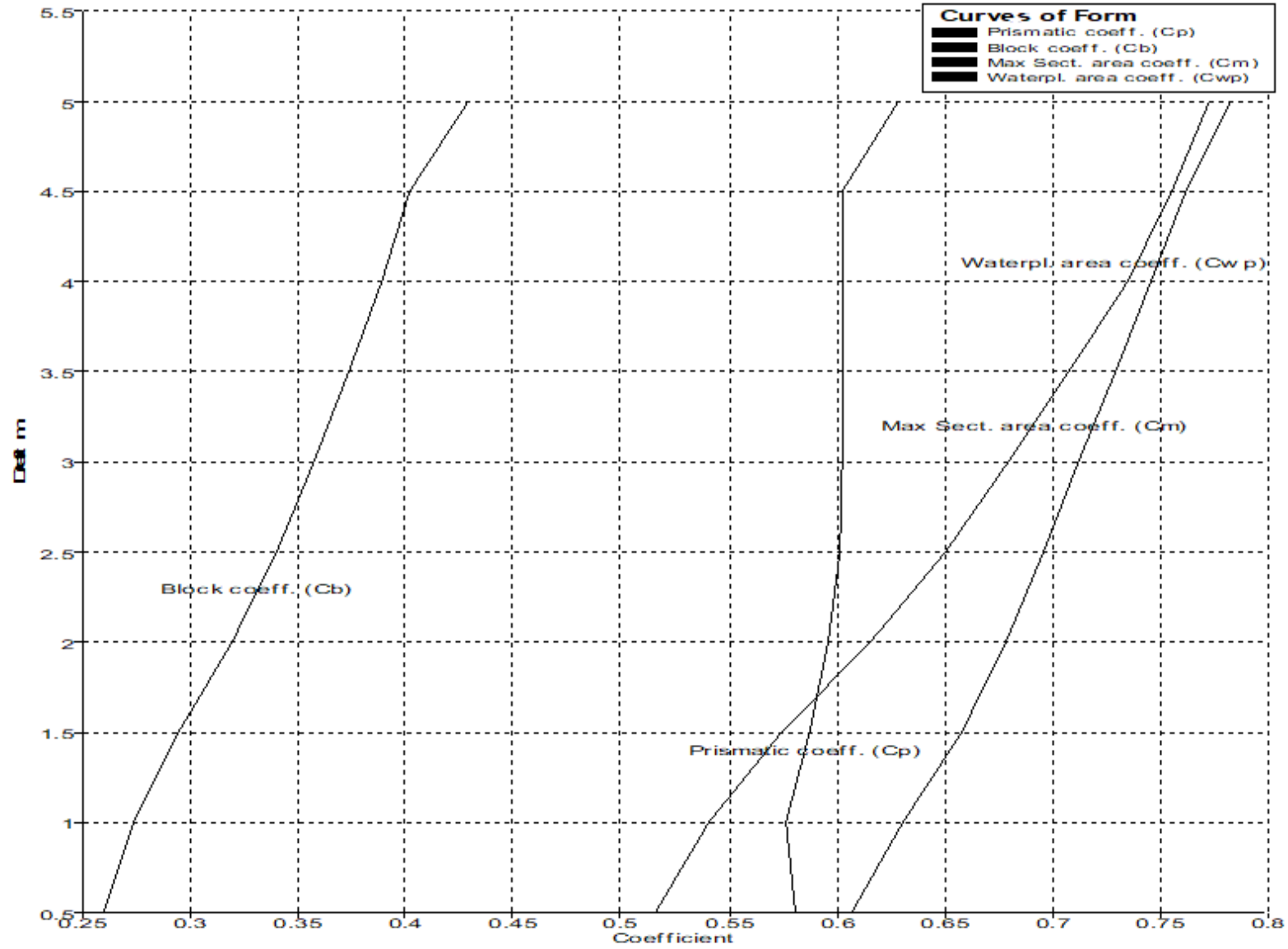
Soumya Chakraborty,2018 "*Ship Stability – Introduction to Hydrostatics and  
Stability of Surface Ships*" <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/ship-stability-introduction-hydrostatics-stability-surface-ships/>

### **Lain-lain**

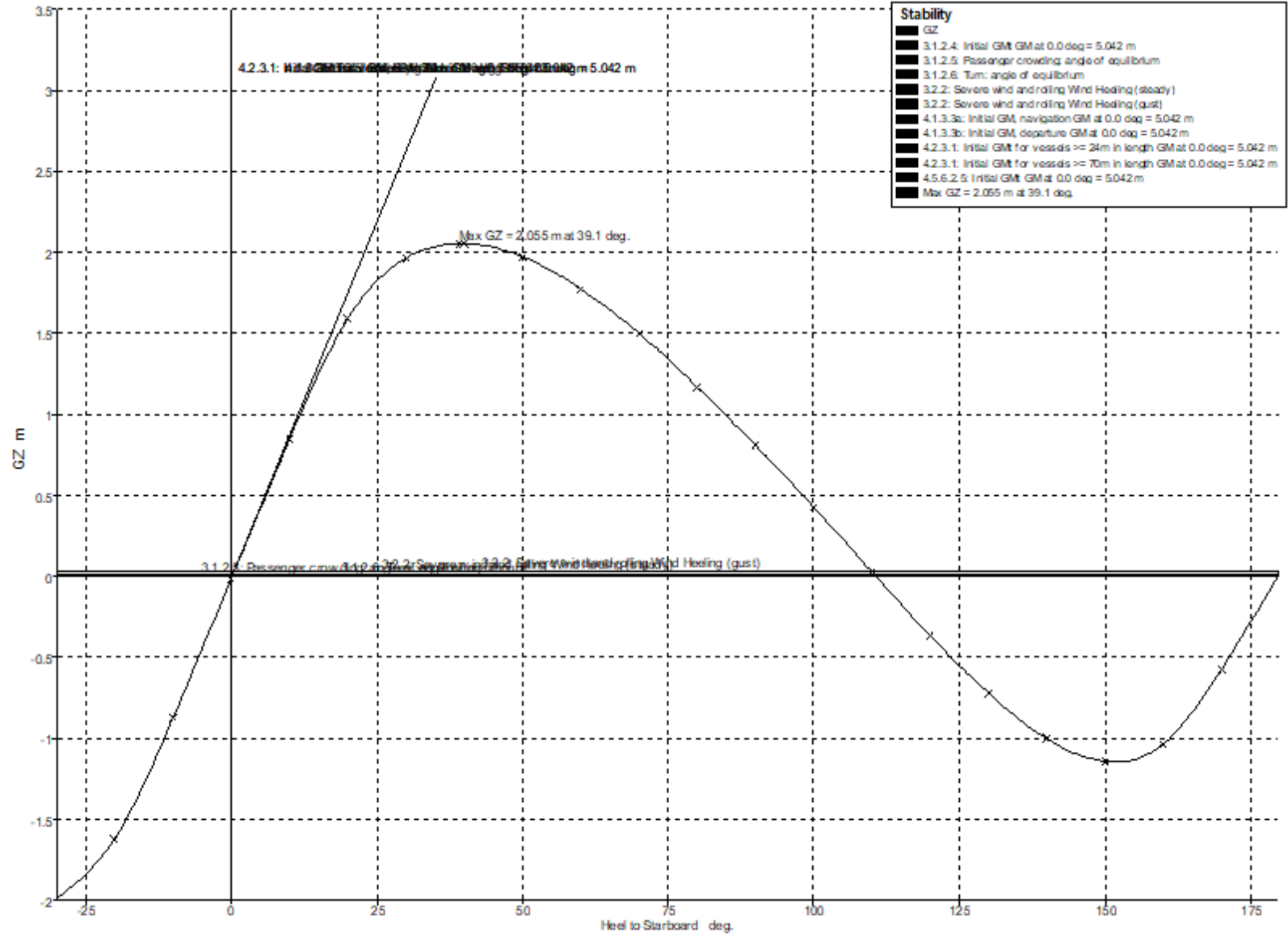
Soegiono,1994, "*Perkembangan Teknologi Perkapalan Di Indonesia*",  
dikutip pada Pidato di departemen Naval Architecture and Ship  
Building Engineering, ITS 623.83 Soe p,











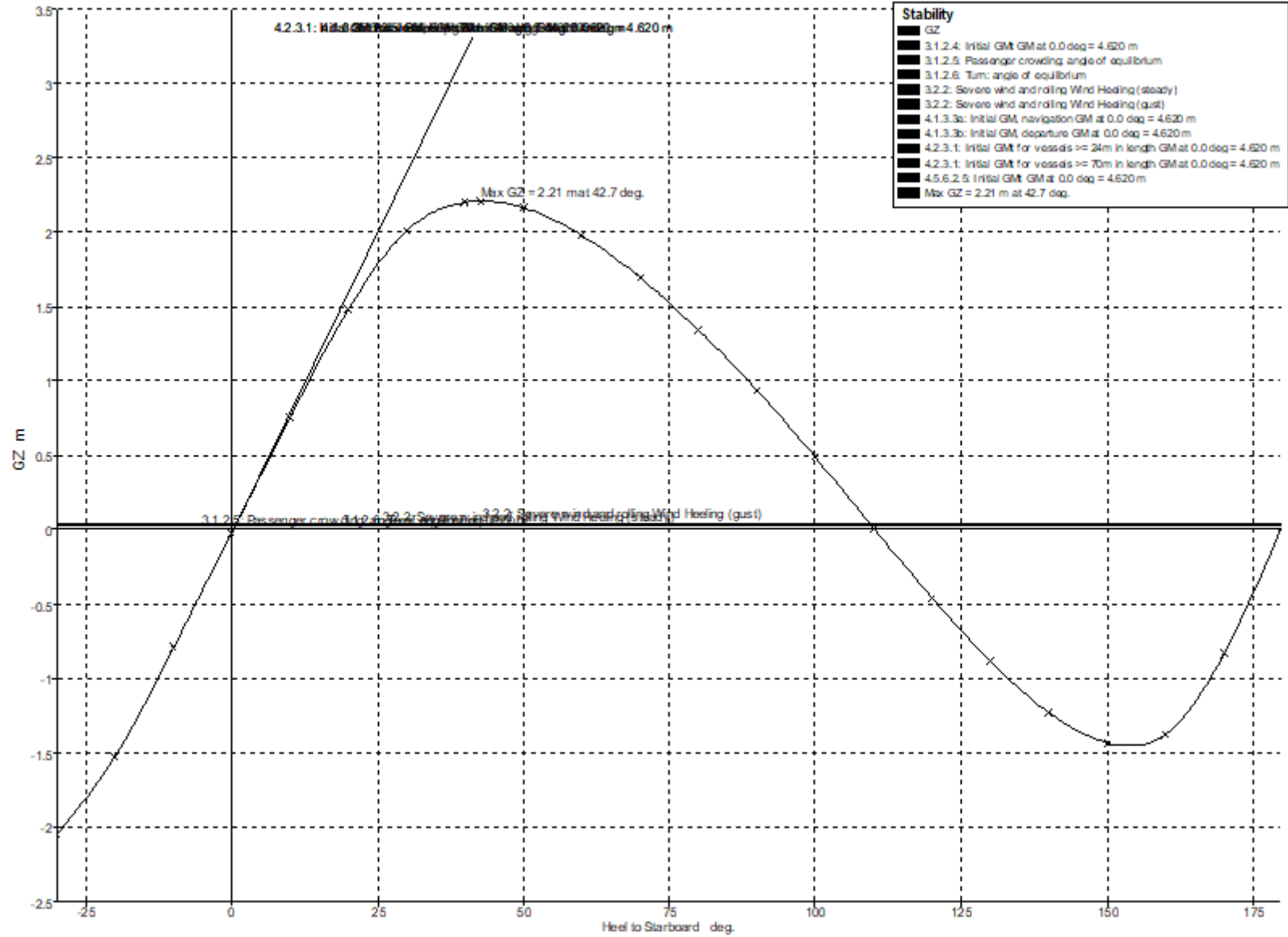
Heel to Starboard deg	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	-1.99	-1.621	-0.873	-0.014	0.845	1.595	1.965	2.055	1.972	1.776	1.499	1.168	0.808
Area under GZ curve from zero heel m.deg	35.4458	17.1611	4.4484	-0.0254	4.1734	16.5949	34.7044	54.9792	75.2273	94.0455	110.4747	123.8459	133.7458
Displacement t	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Draft at FP m	5.092	5.088	5.016	4.985	5.017	5.088	5.092	5.103	5.147	5.251	5.483	6.232	n/a
Draft at AP m	4.386	4.596	4.905	5.011	4.904	4.596	4.386	4.25	4.13	3.987	3.767	3.199	n/a
WL Length m	118.11	118.104	118.023	117.988	118.024	118.104	118.11	118.122	118.172	118.288	118.551	119.942	121.348
Beam max extents on WL m	11.746	14.682	15.522	15.402	15.522	14.682	11.746	10.02	8.939	8.322	8.052	8.104	8.598
Wetted Area m <sup>2</sup>	1959.732	1874.7	1844.091	1863.469	1844.087	1874.693	1959.742	2008.994	2039.598	2061.246	2078.048	2092.361	2101.581
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1068.813	1281.109	1400.214	1422.015	1400.161	1281.111	1068.813	924.333	832.495	777.74	750.844	748.799	761.411
Prismatic coeff. (Cp)	0.649	0.636	0.631	0.629	0.631	0.636	0.649	0.665	0.679	0.692	0.702	0.705	0.707
Block coeff. (Cb)	0.535	0.467	0.432	0.43	0.431	0.467	0.535	0.572	0.588	0.589	0.576	0.528	0.456
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	57.866	57.864	57.855	57.856	57.862	57.864	57.866	57.869	57.867	57.872	57.872	57.872	57.872
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	57.77	53.784	50.473	49.412	50.476	53.784	57.77	60.35	62.286	63.903	65.35	66.801	67.649
Max deck inclination deg	30.0013	20.0012	10.0001	0.0126	10.0001	20.0012	30.0013	40.001	50.0007	60.0005	70.0003	80.0001	90
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.343	-0.239	-0.0537	0.0126	-0.0551	-0.239	-0.3432	-0.4144	-0.4938	-0.6136	-0.833	-1.4721	-90

100	110	120	130	140	150	160	170	180
0.428	0.027	-0.367	-0.723	-1.003	-1.143	-1.036	-0.572	0.014
139.9424	142.2235	140.5064	135.013	126.299	115.4251	104.2484	95.9871	93.1673
4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
-2.713	-3.581	-3.917	-4.113	-4.258	-4.378	-4.462	-4.438	-4.417
-5.57	-5.031	-4.856	-4.786	-4.769	-4.801	-4.924	-5.173	-5.263
116.637	116.483	116.821	117.032	117.189	117.32	117.414	117.39	117.369
8.493	8.347	8.581	9.187	10.27	12.076	14.923	15.503	15.392
2105.612	2114.732	2129.389	2148.032	2174.94	2218.695	2293.471	2333.631	2319.233
754.647	754.018	779.836	834.294	925.533	1066.207	1266.637	1401.975	1418.802
0.746	0.758	0.767	0.78	0.795	0.811	0.803	0.802	0.801
0.46	0.464	0.459	0.452	0.441	0.428	0.409	0.428	0.422
57.872	57.876	57.872	57.871	57.869	57.868	57.869	57.867	57.88
66.907	65.302	63.794	62.166	60.208	57.54	53.507	49.742	48.894
99.9999	109.9998	119.9997	129.9997	139.9996	149.9995	159.9989	169.9939	179.5893
-1.3871	-0.7043	-0.4559	-0.3269	-0.2482	-0.2053	-0.2243	-0.3566	-0.4107

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 22.364 m)		15	n/a
Deck Edge (immersion pos = 23.606 m)		15.5	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	34.7044	Pass	+1001.27
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	54.9792	Pass	+966.19
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	20.2748	Pass	+1079.52
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.055	Pass	+927.50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	39.1	Pass	+56.36
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	5.042	Pass	+3261.33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.2	Pass	+98.38
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.2	Pass	+98.38
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	0.4	Pass	+97.69
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	2.38	Pass	+97.03
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	285.84	Pass	+185.84
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.1: Area 0 to 40	4.5837	m.deg	54.9792	Pass	+1099.45
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0.250	m	2.055	Pass	+722.00
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3a: Initial GM, navigation	0.000	m	5.042	Pass	infinite
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3b: Initial GM, departure	0.100	m	5.042	Pass	+4942.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 24m in length	0.350	m	5.042	Pass	+1340.57
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 70m in length	0.150	m	5.042	Pass	+3261.33
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.1: GZ area between 0 and angle of maximum GZ	3.1513	m.deg	53.1113	Pass	+1585.38
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.2: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	20.2748	Pass	+1079.52
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	0.200	m	2.055	Pass	+927.50
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.4: Angle of maximum GZ	15.0	deg	39.1	Pass	+160.61
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.5: Initial GMt	0.150	m	5.042	Pass	+3261.33
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area to 30	57.2958	m.deg	34.7044	Fail	-39.43
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area 0 to 40	57.2958	m.deg	54.9792	Fail	-4.04
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.2: Area 30 to 40	57.2958	m.deg	20.2748	Fail	-64.61
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	1.000	m	2.055	Pass	+105.50
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.4: Value of maximum GZ	1.000	m	2.055	Pass	+105.50
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.5: Area under GZ curve to downflooding	57.2958	m.deg	142.2337	Pass	+148.24





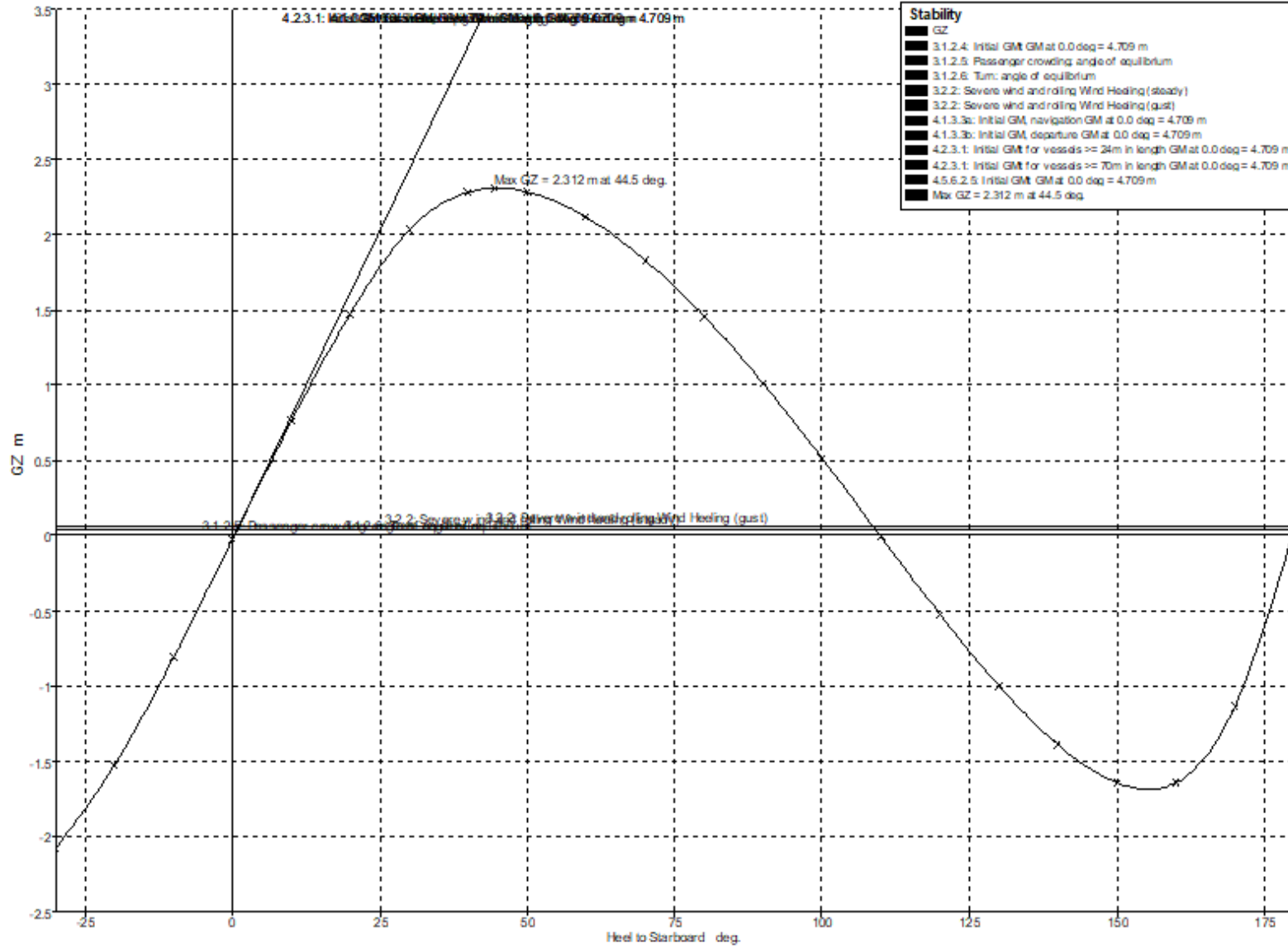
Heel to Starboard deg	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	-2.047	-1.521	-0.793	-0.019	0.756	1.485	2.014	2.203	2.166	1.98	1.695	1.343	0.94
Area under GZ curve from zero heel m.deg	33.7165	15.7501	4.0577	-0.0345	3.6876	14.9802	32.7266	54.0611	76.0461	96.8768	115.3199	130.5558	142.0123
Displacement t	2951	2951	2951	2951	2951	2951	2952	2951	2951	2951	2951	2951	2951
Draft at FP m	4.083	4.015	3.902	3.841	3.901	4.017	4.082	4.051	3.962	3.831	3.584	2.9	n/a
Draft at AP m	3.222	3.928	4.398	4.564	4.399	3.926	3.224	2.446	1.472	0.014	-2.681	-10.419	n/a
WL Length m	116.986	116.916	116.8	116.739	116.799	116.918	116.984	116.947	116.842	116.688	116.402	116.659	122.037
Beam max extents on WL m	12.916	14.459	14.91	14.985	14.91	14.459	12.916	10.823	9.594	8.906	8.62	8.738	8.3
Wetted Area m^2	1603.336	1575.871	1612.42	1642.2	1612.444	1575.852	1603.461	1638.345	1663.579	1682.516	1697.326	1706.399	1707.972
Waterpl. Area m^2	1092.336	1246.121	1298.846	1338.1	1298.901	1246.066	1092.305	950.318	855.245	797.81	768.609	760.189	738.902
Prismatic coeff. (Cp)	0.623	0.615	0.604	0.599	0.604	0.615	0.623	0.636	0.651	0.665	0.68	0.691	0.672
Block coeff. (Cb)	0.442	0.426	0.416	0.406	0.416	0.426	0.442	0.489	0.515	0.524	0.519	0.482	0.441
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	58.404	58.388	58.393	58.388	58.387	58.396	58.398	58.424	58.419	58.443	58.455	58.466	58.469
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	56.819	52.88	51.158	49.857	51.155	52.884	56.819	59.902	62.082	63.9	65.61	67.446	67.648
Max deck inclination deg	30.002	20	10.0028	0.351	10.0028	20	30.002	40.0037	50.0044	60.0043	70.0034	80.0019	90
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.4179	-0.0426	0.241	0.351	0.242	-0.0439	-0.4165	-0.7796	-1.2088	-1.853	-3.0394	-6.4401	-90

100	110	120	130	140	150	160	170	180
0.489	0.013	-0.455	-0.882	-1.228	-1.43	-1.374	-0.834	0.019
149.1887	151.7042	149.473	142.7359	132.0912	118.6574	104.3107	92.8913	88.6807
2951	2951	2951	2951	2951	2951	2952	2951	2951
-6.261	-5.591	-5.404	-5.337	-5.341	-5.388	-5.476	-5.546	-5.538
-19.312	-11.603	-8.943	-7.551	-6.666	-6.067	-5.69	-5.616	-5.678
119.76	118.643	118.451	118.379	118.383	118.434	118.532	118.609	118.601
7.793	7.702	7.903	8.406	9.268	10.633	13.108	15.918	15.755
1715.271	1727.364	1742.522	1763.745	1795.866	1850.788	1953.124	2128.785	2124.454
721.623	721.175	744.043	792.151	872.321	998.127	1194.348	1467.524	1467.88
0.698	0.719	0.737	0.757	0.782	0.81	0.813	0.796	0.795
0.451	0.45	0.442	0.433	0.425	0.419	0.406	0.391	0.388
58.467	58.461	58.451	58.451	58.421	58.405	58.398	58.39	58.399
66.672	65.289	63.917	62.39	60.602	58.399	55.215	49.672	49.175
99.9981	109.9968	119.9963	129.9965	139.9975	149.9988	159.9998	169.9999	179.9321
-6.3111	-2.9163	-1.7178	-1.0752	-0.6434	-0.3297	-0.1038	-0.0343	-0.0679

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 22.364 m)		20.7	n/a
Deck Edge (immersion pos = 23.606 m)		21.4	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	32.7266	Pass	+938.51
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	54.0611	Pass	+948.39
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	21.3345	Pass	+1141.17
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.210	Pass	+1005.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	42.7	Pass	+70.91
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	4.620	Pass	+2980.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.2	Pass	+97.55
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.2	Pass	+97.55
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	0.6	Pass	+95.97
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	3.02	Pass	+96.22
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	306.12	Pass	+206.12
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.1: Area 0 to 40	4.5837	m.deg	54.0611	Pass	+1079.42
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0.250	m	2.210	Pass	+784.00
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3a: Initial GM, navigation	0.000	m	4.620	Pass	infinite
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3b: Initial GM, departure	0.100	m	4.620	Pass	+4520.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 24m in length	0.350	m	4.620	Pass	+1220.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 70m in length	0.150	m	4.620	Pass	+2980.00
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.1: GZ area between 0 and angle of maximum GZ	3.1513	m.deg	60.0813	Pass	+1806.55
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.2: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	21.3345	Pass	+1141.17
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	0.200	m	2.210	Pass	+1005.00
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.4: Angle of maximum GZ	15.0	deg	42.7	Pass	+184.85
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.5: Initial GMt	0.150	m	4.620	Pass	+2980.00
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area to 30	57.2958	m.deg	32.7266	Fail	-42.88
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area 0 to 40	57.2958	m.deg	54.0611	Fail	-5.65
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.2: Area 30 to 40	57.2958	m.deg	21.3345	Fail	-62.76
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	1.000	m	2.210	Pass	+121.00
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.4: Value of maximum GZ	1.000	m	2.210	Pass	+121.00
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.5: Area under GZ curve to downflooding	57.2958	m.deg	151.708 3	Pass	+164.78





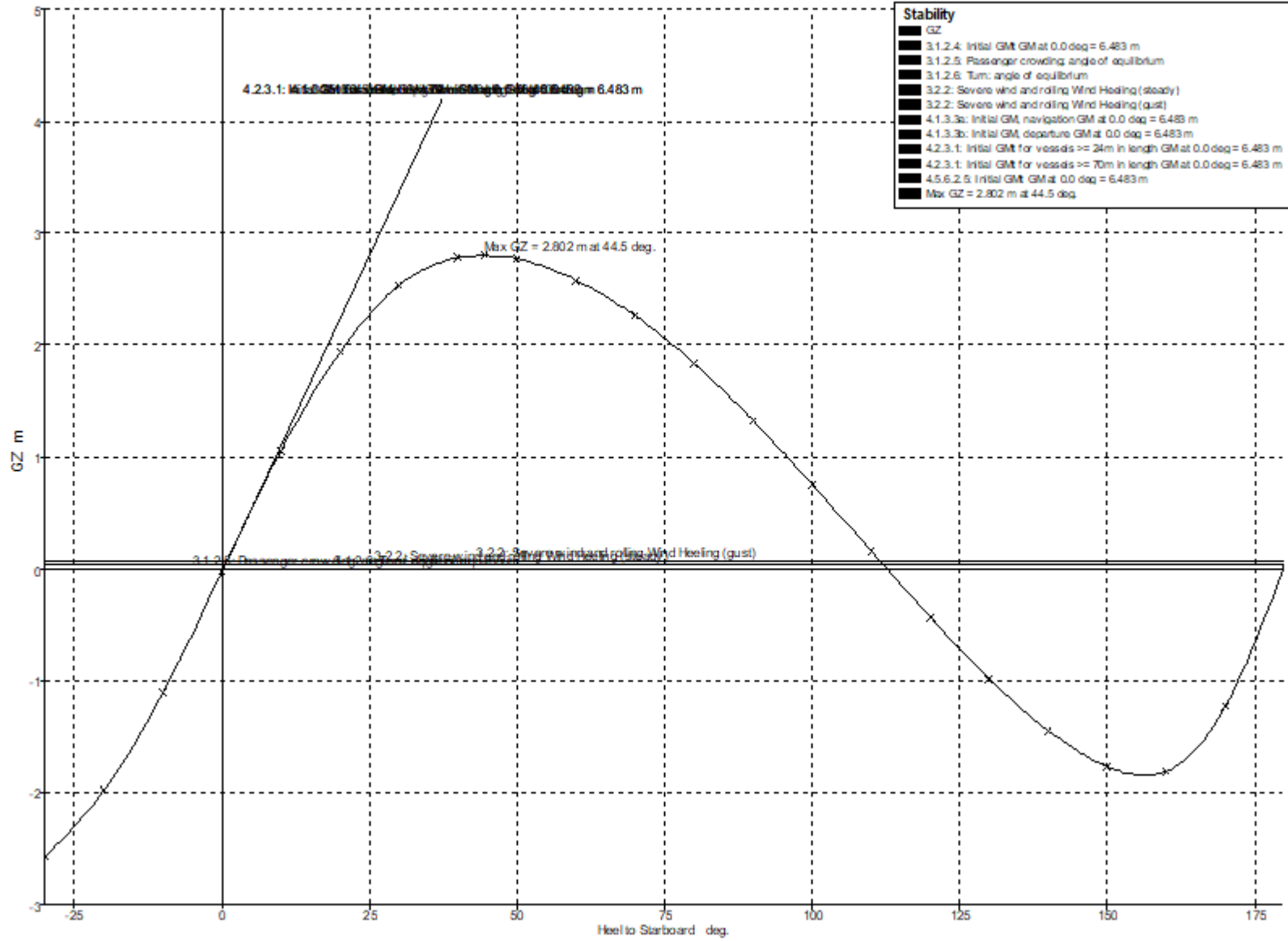
Heel to Starboard deg	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	-2.077	-1.522	-0.808	-0.023	0.762	1.478	2.036	2.287	2.287	2.118	1.832	1.461	1.014
Area under GZ curve from zero heel m.deg	34.0214	15.9365	4.1764	-0.0419	3.7223	15.0077	32.786	54.654	77.6922	99.8334	119.6633	136.196	148.6254
Displacement t	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2426	2427	2426	2426	2426	2426
Draft at FP m	3.539	3.444	3.316	3.246	3.317	3.444	3.541	3.508	3.374	3.135	2.666	1.241	n/a
Draft at AP m	2.679	3.574	4.122	4.32	4.122	3.574	2.677	1.579	0.164	-1.961	-5.93	-17.353	n/a
WL Length m	116.414	116.334	116.228	113.96	116.229	116.334	116.416	116.376	116.242	116.015	115.65	115.164	120.194
Beam max extents on WL m	13.009	13.771	14.476	14.738	14.476	13.771	13.009	11.204	9.918	9.2	8.918	9.148	7.87
Wetted Area m^2	1427.638	1437.486	1479.918	1496.311	1479.887	1437.561	1427.585	1453.703	1475.635	1491.884	1502.996	1507.235	1504.44
Waterpl. Area m^2	1078.7	1166.202	1227.75	1254.848	1227.697	1166.265	1078.743	948.279	855.774	796.984	762.515	738.261	703.981
Prismatic coeff. (Cp)	0.607	0.598	0.585	0.589	0.585	0.598	0.607	0.615	0.629	0.644	0.66	0.674	0.658
Block coeff. (Cb)	0.407	0.416	0.401	0.392	0.401	0.416	0.407	0.442	0.471	0.483	0.481	0.447	0.447
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	58.824	58.818	58.796	58.8	58.801	58.814	58.832	58.85	58.87	58.891	58.912	58.929	58.934
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	56.077	53.477	51.759	51.135	51.762	53.475	56.079	59.437	61.842	63.81	65.636	67	66.485
Max deck inclination deg	30.002	20.0001	10.0074	0.5215	10.0073	20.0001	30.002	40.0054	50.0073	60.0077	70.0065	80.0038	90
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.418	0.0627	0.3916	0.5215	0.3908	0.0632	-0.4195	-0.9366	-1.5584	-2.4725	-4.1666	-8.9546	-90

100	110	120	130	140	150	160	170	180
0.516	-0.006	-0.521	-0.996	-1.388	-1.64	-1.641	-1.133	0.023
156.3028	158.858	156.2012	148.5653	136.5567	121.2697	104.5695	90.1466	84.2489
2426	2426	2426	2426	2427	2426	2427	2426	2426
-8.219	-6.684	-6.207	-6.002	-5.915	-5.909	-5.973	-6.076	-6.08
-26.305	-14.969	-11.048	-8.985	-7.675	-6.763	-6.135	-5.845	-5.885
121.345	119.772	119.31	119.101	119.01	119.007	119.082	119.201	119.205
7.456	7.358	7.52	7.945	8.656	9.782	11.858	15.814	15.919
1514.746	1526.291	1542.161	1563.728	1597.858	1655.574	1763.334	1981.116	2029.806
694.392	694.985	714.813	757.023	827.723	940.382	1122.998	1430.598	1488.223
0.666	0.692	0.715	0.74	0.77	0.805	0.82	0.79	0.789
0.436	0.433	0.426	0.418	0.413	0.412	0.407	0.373	0.366
58.931	58.921	58.905	58.885	58.869	58.841	58.82	58.806	58.811
66.161	65.028	63.748	62.329	60.724	58.78	56.046	50.906	49.304
99.9964	109.994	119.993	129.9937	139.9955	149.9981	159.9999	169.9994	179.9052
-8.7142	-4.0165	-2.3494	-1.4482	-0.8547	-0.4147	-0.079	0.112	0.0948

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 26.091 m)		24.7	n/a
Deck Edge (immersion pos = 27.333 m)		25.4	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	32.7860	Pass	+940.40
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	54.6540	Pass	+959.88
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	21.8680	Pass	+1172.21
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.312	Pass	+1056.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	44.5	Pass	+78.18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	4.709	Pass	+3039.33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.3	Pass	+97.10
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.3	Pass	+97.10
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	0.8	Pass	+94.89
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	3.23	Pass	+95.96
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	305.75	Pass	+205.75
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.1: Area 0 to 40	4.5837	m.deg	54.6540	Pass	+1092.36
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0.250	m	2.312	Pass	+824.80
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3a: Initial GM, navigation	0.000	m	4.709	Pass	infinite
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3b: Initial GM, departure	0.100	m	4.709	Pass	+4609.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 24m in length	0.350	m	4.709	Pass	+1245.43
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 70m in length	0.150	m	4.709	Pass	+3039.33
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.1: GZ area between 0 and angle of maximum GZ	3.1513	m.deg	65.1236	Pass	+1966.56
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.2: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	21.8680	Pass	+1172.21
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	0.200	m	2.312	Pass	+1056.00
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.4: Angle of maximum GZ	15.0	deg	44.5	Pass	+196.97
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.5: Initial GMt	0.150	m	4.709	Pass	+3039.33
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area to 30	57.2958	m.deg	32.7860	Fail	-42.78
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area 0 to 40	57.2958	m.deg	54.6540	Fail	-4.61
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.2: Area 30 to 40	57.2958	m.deg	21.8680	Fail	-61.83
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	1.000	m	2.312	Pass	+131.20
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.4: Value of maximum GZ	1.000	m	2.312	Pass	+131.20
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.5: Area under GZ curve to downflooding	57.2958	m.deg	158.861 7	Pass	+177.27





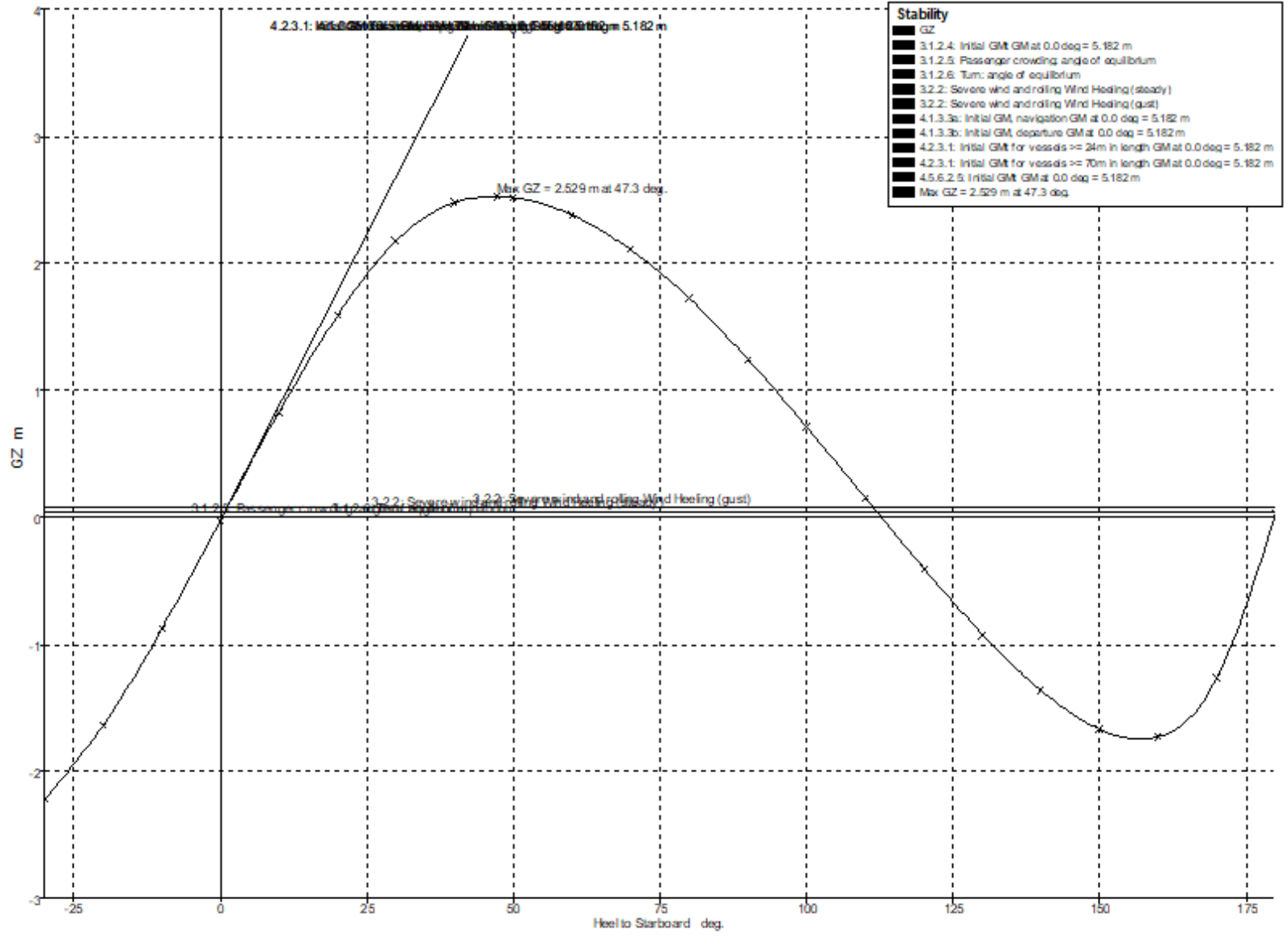
Heel to Starboard deg	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	-2.574	-1.979	-1.104	-0.023	1.06	1.936	2.535	2.781	2.77	2.581	2.263	1.842	1.326
Area under GZ curve from zero heel m.deg	44.2905	21.3782	5.7253	-0.041	5.2839	20.4686	43.0942	69.9399	97.8699	124.7501	149.0633	169.6722	185.5741
Displacement t	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483
Draft at FP m	3.12	3.083	2.99	2.935	2.989	3.085	3.119	2.996	2.737	2.303	1.473	-1.124	n/a
Draft at AP m	3.169	3.957	4.451	4.623	4.452	3.956	3.171	2.248	1.071	-0.689	-3.974	-13.357	n/a
WL Length m	116.047	116.031	115.971	115.935	115.97	116.033	116.046	115.939	115.746	115.505	115.247	112.809	117.39
Beam max extents on WL m	13.041	13.898	14.575	14.797	14.575	13.897	13.041	11.258	10.055	9.377	9.153	8.418	7.666
Wetted Area m^2	1460.559	1459.405	1504.89	1541.023	1504.909	1459.391	1460.59	1484.528	1504.513	1521.518	1528.219	1521.408	1523.727
Waterpl. Area m^2	1068.129	1190.437	1255.65	1304.506	1255.694	1190.394	1068.095	939.223	849.097	791.809	757.08	713.755	684.891
Prismatic coeff. (Cp)	0.614	0.608	0.596	0.589	0.596	0.608	0.614	0.622	0.634	0.648	0.661	0.686	0.672
Block coeff. (Cb)	0.412	0.421	0.416	0.4	0.416	0.421	0.412	0.442	0.463	0.47	0.462	0.483	0.461
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	56.412	56.399	56.41	56.409	56.404	56.406	56.406	56.426	56.44	56.456	56.475	56.489	56.492
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	55.752	52.251	50.437	48.975	50.434	52.255	55.751	59.006	61.361	63.264	64.986	65.179	64.869
Max deck inclination deg	30	20.0038	10.0241	0.8197	10.0242	20.0038	30	40.0008	50.002	60.0027	70.0026	80.0016	90
Trim angle (+ve by stern) deg	0.024	0.4244	0.7095	0.8197	0.7104	0.4232	0.0251	-0.3633	-0.809	-1.4526	-2.6433	-5.9184	-90

100	110	120	130	140	150	160	170	180
0.755	0.161	-0.43	-0.98	-1.447	-1.764	-1.807	-1.226	0.023
196.0104	200.5982	199.2369	192.1379	179.9078	163.7061	145.4879	129.7032	123.343
2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483	2483
-10.616	-7.907	-7.041	-6.631	-6.41	-6.307	-6.288	-6.327	-6.319
-22.275	-12.97	-9.742	-8.046	-6.975	-6.237	-5.753	-5.589	-5.649
122.309	121.097	120.221	119.794	119.561	119.455	119.442	119.489	119.479
7.34	7.284	7.477	7.932	8.657	9.788	11.715	15.912	15.873
1535.059	1549.629	1566.987	1590.297	1626.189	1685.886	1797.168	2021.687	2032.887
679.993	688.759	711.946	757.062	831.597	949.512	1142.172	1467.572	1485.758
0.659	0.682	0.707	0.734	0.767	0.808	0.854	0.84	0.839
0.433	0.429	0.423	0.416	0.412	0.415	0.423	0.41	0.405
56.49	56.479	56.465	56.447	56.437	56.405	56.404	56.389	56.398
64.812	64.269	63.182	61.859	60.282	58.328	55.577	50.287	49.494
99.9985	109.9978	119.9978	129.9986	139.9995	150	159.9986	169.9938	179.6745
-5.6428	-2.4569	-1.3113	-0.6869	-0.2744	0.0339	0.2597	0.358	0.3255

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 1.242 m)		21.6	n/a
Deck Edge (immersion pos = 4.97 m)		22.4	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	43.0942	Pass	+1267.50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	69.9399	Pass	+1256.32
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	26.8457	Pass	+1461.80
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.802	Pass	+1301.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	44.5	Pass	+78.18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	6.483	Pass	+4222.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.2	Pass	+97.99
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.2	Pass	+97.99
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	0.6	Pass	+96.45
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	2.54	Pass	+96.83
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	293.19	Pass	+193.19
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.1: Area 0 to 40	4.5837	m.deg	69.9399	Pass	+1425.84
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0.250	m	2.802	Pass	+1020.80
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3a: Initial GM, navigation	0.000	m	6.483	Pass	infinite
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3b: Initial GM, departure	0.100	m	6.483	Pass	+6383.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 24m in length	0.350	m	6.483	Pass	+1752.29
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 70m in length	0.150	m	6.483	Pass	+4222.00
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.1: GZ area between 0 and angle of maximum GZ	3.1513	m.deg	82.6462	Pass	+2522.61
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.2: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	26.8457	Pass	+1461.80
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	0.200	m	2.802	Pass	+1301.00
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.4: Angle of maximum GZ	15.0	deg	44.5	Pass	+196.97
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.5: Initial GMt	0.150	m	6.483	Pass	+4222.00
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area to 30	57.2958	m.deg	43.0942	Fail	-24.79
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area 0 to 40	57.2958	m.deg	69.9399	Pass	+22.07
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.2: Area 30 to 40	57.2958	m.deg	26.8457	Fail	-53.15
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	1.000	m	2.802	Pass	+180.20
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.4: Value of maximum GZ	1.000	m	2.802	Pass	+180.20
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.5: Area under GZ curve to downflooding	57.2958	m.deg	200.816 8	Pass	+250.49





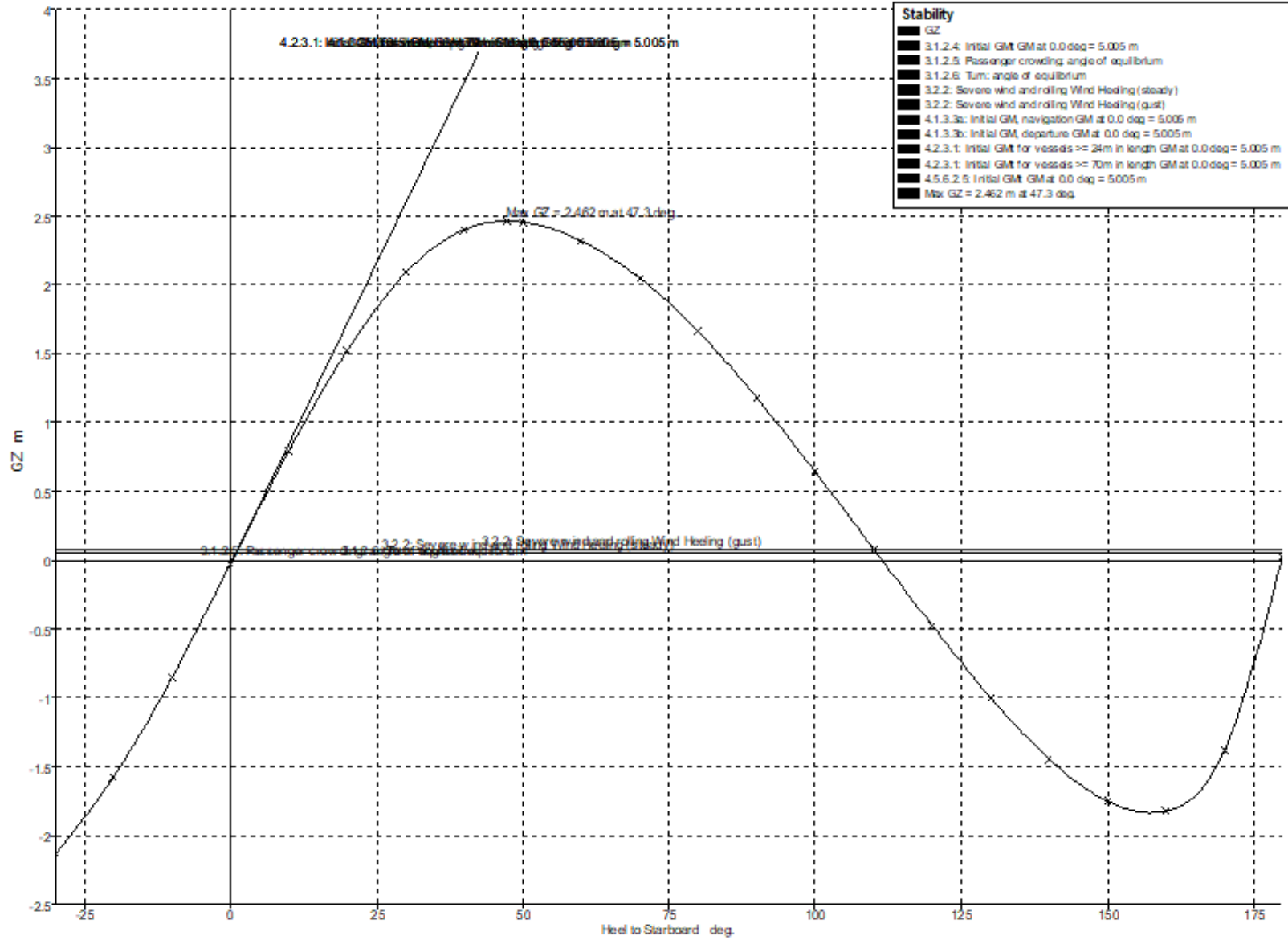
Heel to Starboard deg	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	-2.224	-1.638	-0.88	-0.026	0.83	1.59	2.179	2.478	2.52	2.379	2.106	1.723	1.244
Area under GZ curve from zero heel m.deg	36.6958	17.2907	4.5672	-0.0464	4.0636	16.2673	35.313	58.8444	84.0123	108.6347	131.1587	150.3895	165.2892
Displacement t	2192	2192	2192	2192	2192	2192	2192	2192	2193	2192	2192	2192	2192
Draft at FP m	3.039	2.961	2.841	2.772	2.842	2.96	3.039	2.968	2.752	2.367	1.604	-0.886	n/a
Draft at AP m	2.659	3.587	4.152	4.357	4.151	3.588	2.659	1.488	-0.028	-2.31	-6.586	-18.797	n/a
WL Length m	115.977	115.93	115.857	113.956	115.858	115.93	115.977	115.911	115.75	115.53	115.28	112.819	117.591
Beam max extents on WL m	12.765	13.436	14.269	14.628	14.269	13.436	12.765	11.351	10.138	9.438	9.2	8.331	7.566
Wetted Area m^2	1355.864	1375.143	1422.739	1445.105	1422.71	1375.151	1355.864	1376.131	1395.194	1411.209	1415.669	1407.342	1409.514
Waterpl. Area m^2	1058.379	1134.081	1202.13	1237.048	1202.081	1134.1	1058.378	937.736	849.206	790.316	750.416	704.196	674.75
Prismatic coeff. (Cp)	0.602	0.593	0.579	0.58	0.578	0.593	0.602	0.606	0.618	0.633	0.646	0.671	0.657
Block coeff. (Cb)	0.399	0.412	0.4	0.386	0.4	0.412	0.399	0.42	0.443	0.454	0.449	0.482	0.455
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	57.753	57.737	57.714	57.719	57.72	57.733	57.753	57.773	57.793	57.817	57.842	57.859	57.865
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	55.446	53.125	51.337	50.553	51.34	53.124	55.446	58.874	61.399	63.434	65.162	65.264	64.984
Max deck inclination deg	30.0004	20.002	10.0194	0.7693	10.0194	20.002	30.0004	40.0031	50.0055	60.0065	70.0059	80.0035	90
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.1843	0.3043	0.6362	0.7693	0.6354	0.3047	-0.1842	-0.7182	-1.3496	-2.2697	-3.97	-8.6313	-90

100	110	120	130	140	150	160	170	180
0.711	0.153	-0.403	-0.923	-1.365	-1.671	-1.732	-1.265	0.026
175.0963	179.4255	178.1616	171.4871	159.9644	144.6379	127.344	111.7076	105.0435
2192	2192	2192	2192	2193	2192	2192	2192	2192
-10.501	-7.888	-7.057	-6.67	-6.468	-6.381	-6.382	-6.458	-6.464
-27.787	-15.663	-11.459	-9.246	-7.842	-6.863	-6.183	-5.841	-5.871
122.716	121.021	120.217	119.825	119.617	119.53	119.541	119.633	119.639
7.223	7.144	7.303	7.676	8.312	9.31	11.088	15.328	15.975
1420.725	1434.484	1451.096	1473.952	1509.466	1568.496	1678.352	1912.79	1984.099
668.668	674.591	694.638	734.88	801.991	909.7	1087.934	1412.256	1496.64
0.645	0.673	0.699	0.728	0.763	0.805	0.844	0.815	0.813
0.425	0.421	0.414	0.408	0.406	0.41	0.418	0.393	0.372
57.862	57.851	57.833	57.81	57.795	57.761	57.749	57.729	57.723
64.949	64.339	63.252	61.964	60.491	58.678	56.158	51.324	49.452
99.9967	109.9947	119.9942	129.9953	139.9973	149.9994	159.9998	169.9957	179.7121
-8.3341	-3.7701	-2.1365	-1.2506	-0.6674	-0.2339	0.097	0.2998	0.2879

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 21.121 m)		25.7	n/a
Deck Edge (immersion pos = 22.364 m)		26.4	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	35.3130	Pass	+1020.58
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	58.8444	Pass	+1041.15
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	23.5314	Pass	+1268.98
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.529	Pass	+1164.50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	47.3	Pass	+89.09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	5.182	Pass	+3354.67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.3	Pass	+97.07
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.3	Pass	+97.07
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	0.9	Pass	+94.66
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	3.24	Pass	+95.95
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	303.91	Pass	+203.91
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.1: Area 0 to 40	4.5837	m.deg	58.8444	Pass	+1183.78
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0.250	m	2.529	Pass	+911.60
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3a: Initial GM, navigation	0.000	m	5.182	Pass	infinite
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3b: Initial GM, departure	0.100	m	5.182	Pass	+5082.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 24m in length	0.350	m	5.182	Pass	+1380.57
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 70m in length	0.150	m	5.182	Pass	+3354.67
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.1: GZ area between 0 and angle of maximum GZ	3.1513	m.deg	77.1242	Pass	+2347.38
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.2: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	23.5314	Pass	+1268.98
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	0.200	m	2.529	Pass	+1164.50
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.4: Angle of maximum GZ	15.0	deg	47.3	Pass	+215.15
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.5: Initial GMt	0.150	m	5.182	Pass	+3354.67
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area to 30	57.2958	m.deg	35.3130	Fail	-38.37
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area 0 to 40	57.2958	m.deg	58.8444	Pass	+2.70
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.2: Area 30 to 40	57.2958	m.deg	23.5314	Fail	-58.93
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	1.000	m	2.529	Pass	+152.90
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.4: Value of maximum GZ	1.000	m	2.529	Pass	+152.90
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.5: Area under GZ curve to downflooding	57.2958	m.deg	179.637 7	Pass	+213.53





Heel to Starboard deg	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
GZ m	-2.137	-1.575	-0.849	-0.027	0.795	1.524	2.09	2.402	2.455	2.321	2.048	1.662	1.18
Area under GZ curve from zero heel m.deg	35.3301	16.6758	4.4222	-0.0497	3.8814	15.5852	33.8302	56.5134	80.9834	104.9906	126.9341	145.5713	159.842
Displacement t	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047
Draft at FP m	2.996	2.904	2.775	2.704	2.776	2.904	2.995	2.952	2.761	2.4	1.669	-0.767	n/a
Draft at AP m	2.405	3.388	3.987	4.203	3.987	3.388	2.406	1.109	-0.579	-3.127	-7.904	-21.548	n/a
WL Length m	115.941	115.886	115.808	111.938	115.809	115.885	115.94	115.898	115.754	115.546	115.3	112.824	117.701
Beam max extents on WL m	12.504	13.187	14.095	14.523	14.095	13.187	12.504	11.372	10.172	9.471	9.224	8.285	7.513
Wetted Area m^2	1303.518	1329.856	1376.921	1391.274	1376.884	1329.868	1303.545	1321.451	1339.873	1355.137	1358.457	1349.451	1351.55
Waterpl. Area m^2	1049.79	1102.635	1170.04	1196.341	1169.983	1102.659	1049.769	935.693	848.217	788.346	746.108	698.739	668.922
Prismatic coeff. (Cp)	0.594	0.584	0.569	0.58	0.569	0.584	0.594	0.597	0.609	0.624	0.636	0.661	0.648
Block coeff. (Cb)	0.395	0.407	0.391	0.381	0.391	0.407	0.395	0.408	0.432	0.444	0.442	0.479	0.45
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	58.568	58.541	58.516	58.518	58.521	58.537	58.561	58.583	58.608	58.635	58.663	58.683	58.69
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	55.332	53.672	51.974	51.602	51.977	53.67	55.331	58.815	61.438	63.544	65.263	65.338	65.078
Max deck inclination deg	30.0009	20.0012	10.0166	0.7279	10.0166	20.0012	30.0009	40.0049	50.008	60.0091	70.008	80.0047	90
Trim angle (+ve by stern) deg	-0.2871	0.2347	0.5888	0.7279	0.5881	0.2352	-0.2861	-0.8947	-1.6211	-2.6819	-4.6381	-9.9878	-90

100	110	120	130	140	150	160	170	180
0.643	0.082	-0.476	-0.997	-1.441	-1.751	-1.822	-1.381	0.027
168.983	172.6154	170.6314	163.2202	150.9491	134.8442	116.7332	100.0038	92.671
2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047
-10.447	-7.88	-7.067	-6.692	-6.498	-6.419	-6.431	-6.521	-6.537
-30.582	-17.031	-12.334	-9.86	-8.289	-7.188	-6.407	-5.975	-5.982
122.938	120.989	120.219	119.845	119.647	119.569	119.592	119.702	119.719
7.161	7.068	7.205	7.543	8.125	9.057	10.785	15.024	16.025
1362.696	1376.009	1392.263	1414.938	1450.1	1508.349	1616.85	1852.654	1959.912
662.106	666.382	684.528	721.853	785.083	887.159	1057.549	1377.61	1501.754
0.636	0.666	0.693	0.723	0.759	0.8	0.833	0.799	0.796
0.419	0.415	0.408	0.403	0.402	0.407	0.413	0.382	0.354
58.687	58.674	58.654	58.628	58.61	58.573	58.546	58.535	58.526
65.059	64.417	63.338	62.085	60.664	58.924	56.516	51.918	49.437
99.9956	109.9927	119.9918	129.9928	139.9954	149.9984	160	169.9966	179.7306
-9.6836	-4.4346	-2.5555	-1.5381	-0.8695	-0.373	0.0116	0.2651	0.2694

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 27.333 m)		27.6	n/a
Deck Edge (immersion pos = 28.576 m)		28.3	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	33.8302	Pass	+973.53
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	56.5134	Pass	+995.94
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	22.6832	Pass	+1219.63
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.462	Pass	+1131.00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	47.3	Pass	+89.09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	5.005	Pass	+3236.67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10.0	deg	0.3	Pass	+96.74
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10.0	deg	0.3	Pass	+96.74
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16.0	deg	1.0	Pass	+93.95
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80.00	%	3.42	Pass	+95.72
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100.00	%	301.66	Pass	+201.66
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.1: Area 0 to 40	4.5837	m.deg	56.5134	Pass	+1132.92
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.2: Maximum GZ	0.250	m	2.462	Pass	+884.80
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3a: Initial GM, navigation	0.000	m	5.005	Pass	infinite
4.1 Cargo ships carrying timber deck cargoes	4.1.3.3b: Initial GM, departure	0.100	m	5.005	Pass	+4905.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 24m in length	0.350	m	5.005	Pass	+1330.00
4.2 Fishing vessel	4.2.3.1: Initial GMt for vessels >= 70m in length	0.150	m	5.005	Pass	+3236.67
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.1: GZ area between 0 and angle of maximum GZ	3.1513	m.deg	74.2754	Pass	+2256.98
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.2: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	22.6832	Pass	+1219.63
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	0.200	m	2.462	Pass	+1131.00
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.4: Angle of maximum GZ	15.0	deg	47.3	Pass	+215.15
4.5 Offshore supply vessel	4.5.6.2.5: Initial GMt	0.150	m	5.005	Pass	+3236.67
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area to 30	57.2958	m.deg	33.8302	Fail	-40.96
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.1: Area 0 to 40	57.2958	m.deg	56.5134	Fail	-1.37
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.2: Area 30 to 40	57.2958	m.deg	22.6832	Fail	-60.41
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.3: Maximum GZ at 30 or greater	1.000	m	2.462	Pass	+146.20
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.4: Value of maximum GZ	1.000	m	2.462	Pass	+146.20
4.9 Container ships >100m. IMPORTANT - requires C as defined in 4.9.2.6	4.9.2.5: Area under GZ curve to downflooding	57.2958	m.deg	172.6795	Pass	+201.38

## RIWAYAT HIDUP PENELITI



**Hanung Bayu Setiawan**, lahir di Klaten pada tanggal 19 Mei 1992, anak pertama dari pasangan Suwarna S.Pd dengan Hidayatun. Menyelesaikan pendidikan SD Negeri 2 Kalikebo tahun 2004, SMP Negeri 1 Cawas tahun 2007, SMA Negeri 1 Cawas tahun 2010, Sarjana (S1) Universitas Diponegoro Departemen Teknik Perkapalan, melanjutkan Program Magister (S-2) di Universitas Pertahanan Program studi Teknologi Daya Gerak. Penelitian yang telah dihasilkan adalah “Analisis Teknis Komposit Serat Daun Gebang (*Corypha Utan L.*) Sebagai Alternatif Bahan Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak” dan “Analisis Perancangan Lambung (*Hull*) Kapal Perang *Frigate* 4000 Ton”. Berbagai pendidikan dan pelatihan yang telah di ikuti salah satunya yaitu Summer Camp Indonesia-Turki 2011, Pengalaman kerja magang peneliti antara lain di PT. Dok Kodja Bahari II Jakarta dan PT. Biro Klasifikasi Indonesia Cilegon.