



---

**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN *SELF-PROPELLED CAR BARGE* UNTUK DISTRIBUSI  
MOBIL BARU RUTE CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) -  
TANJUNG PERAK**

Bintang Jiwa  
NRP. 4111 100 096

Dosen Pembimbing  
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



---

**FINAL PROJECT - MN 141581**

**DESIGN OF SELF-PROPELLED CAR BARGE FOR DOMESTIC  
DISTRIBUTION OF NEW CARS FOR CIKARANG BEKASI  
LAUT (CBL) - TANJUNG PERAK ROUTE**

Bintang Jiwa  
NRP. 4111 100 096

Supervisor  
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

Departement of Naval Architecture and Ship Building Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN *SELF-PROPELLED CAR BARGE* UNTUK DISTRIBUSI MOBIL BARU RUTE CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PERAK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa – Desain Kapal  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**BINTANG JIWA**  
NRP.4111 100 096

Disetujui Oleh  
Dosen Pembimbing



Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

NIP. 19681212 199402 2 001

## LEMBAR PENGESAHAN

# DESAIN *SELF-PROPELLED CAR BARGE* UNTUK DISTRIBUSI MOBIL BARU RUTE CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) - TANJUNG PERAK

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Desain Kapal  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**BINTANG JIWA**  
**NRP. 4111 100 096**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing,  
  
**R. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.**  
NIP. 19681212 199402 2 001

**SURABAYA, 27 JUNI 2016**

*Dipersembahkan untuk maritim, bangsa, dan almamater*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat Rahmat dan Ridha-Nya Penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Desain Self-Propelled Car Barge Untuk Distribusi Mobil Baru Rute Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Perak**” dengan baik. Dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dari beberapa pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini Penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Ibu Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan ilmu, serta senantiasa memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak M. Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku dosen wali selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan ITS.
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan ITS.
4. Keluarga penulis, Ibu Widyawati Aziz, Bapak Asmoedji, serta Ranu Jiwa dan Bunga Hati yang selalu memberikan do’a dan dukungan serta motivasi bagi Penulis.
5. Ni Putu Suwitri Novita Sanjiwani, yang selalu menginspirasi untuk setiap karya Penulis.
6. Keluarga besar HIMATEKPAL, yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
7. Saudara-saudara P-51 (CENTERLINE), teman seperjuangan sepertumpahan darah.
8. Nabiel Mufti, Ahmad Muhtadi, Trifajar Meinanda, M. Fyan, M. Aulia, Lukky Prasteyo, dan Ghafiqi Wijdan Haq selaku keluarga kecil SEMUT “*Amiese Kampf*”.
9. Nandika Bagus Prayoga, M. Rezky Ardan, Predesta Wienpy, Zulharis Olivianto, dan Nova Eka dari PASTEL.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Demikian Laporan Tugas Akhir ini Penulis susun, dengan harapan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari dalam penulisan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, sebab tak ada gading yang tak retak. Oleh karena itu Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Bintang Jiwa,

15 Juni 2016

# DESAIN *SELF-PROPELLED CAR BARGE* UNTUK DISTRIBUSI MOBIL BARU RUTE CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PERAK

**Nama** : Bintang Jiwa  
**NRP** : 4111 100 096  
**Jurusan** : Teknik Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

## ABSTRAK

Berbagai upaya telah dilakukan Pemerintah untuk dapat mengurangi kemacetan jalur Pantura. Mulai dari pemberian jalur alternatif, pelebaran jalan, hingga pembuatan jalan tol baru. Segala upaya tersebut tidak sebanding dengan jumlah kendaraan yang terus meningkat melewati jalur Pantura, khususnya kendaraan-kendaraan barang seperti truk dan kontainer. Hal ini tidak terlepas dari geliat perekonomian yang terus tumbuh. Kawasan industri otomotif di sekitar Cikarang dan Bekasi salah satu contohnya. Jumlah produksi mobil domestik dan permintaan yang terus meningkat ini membutuhkan sarana yang baik dan cepat dalam mendistribusikan mobil baru ke berbagai daerah. Dalam beberapa tahun ini, Jawa Timur merupakan provinsi dengan tingkat permintaan mobil yang cukup tinggi di Indonesia. Oleh karena itu, salah satu solusi yang ditawarkan untuk dapat mengurangi kemacetan di jalur darat adalah berupa pengalihan transportasi darat ke sungai atau laut. Berdasarkan solusi tersebut, maka dibutuhkan alat transportasi pengangkut barang, dalam hal ini mobil, yang dapat melewati sungai dan laut. *Self-propelled car barge* diharapkan mampu menjadi inovasi yang cukup baik dalam mendistribusikan barang melalui rute Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) menuju ke Pelabuhan Tanjung Perak. Untuk mendapatkan ukuran utama yang optimum digunakan metode *optimization design approach* dengan bantuan fitur *solver* pada program *Microsoft Excel* dengan menjadikan biaya pembangunan paling minimum sebagai fungsi objektif, serta adanya batasan-batasan dari persyaratan teknis dan regulasi yang ada. Dari proses optimisasi, didapatkan ukuran utama optimum *Self-Propelled Car Barge* adalah  $L=53.10$  m,  $B=15.17$  m,  $T_{FW}=3.09$  m,  $T_{SW}=3.02$  m, dan  $H=4.66$  m, dengan estimasi biaya pembangunan sebesar \$1.435.270,56 atau setara Rp.19.281.424.757,10.

**Kata kunci:** Tol Sungai, Distribusi Mobil Baru, Sungai CBL, *Self-Propelled Car Barge*

***DESIGN OF SELF-PROPELLED CAR BARGE FOR DOMESTIC  
DISTRIBUTION OF NEW CARS FOR CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) –  
TANJUNG PERAK ROUTE***

***Name*** : **Bintang Jiwa**  
***NRP*** : **4111 100 096**  
***Departement*** : ***Naval Architecture and Ship Buliding Engineering***  
***Supervisor*** : **Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.**

***ABSTRACT***

Various efforts have been applied by the government to reduce traffic at Pantura. For examples by making the alternative routes , expanding the roads , and developing some new toll roads. The efforts is nothing compared with total number of vehicles that is increasing through Pantura, especially trucks. This cannot be separated from factor of our economy that continues to grow. The automotive industry around cikarang and bekasi is one of the examples. The number of production of domestic cars and the demand that is increasing are needed good facilities and fast to distribute some new car to various regions. In recent years, East Java were one province in Indonesia that have a high demand of cars. Hence, one of the solution offered to reduce traffic in Pantura is change the route of transport to river or sea. Based on the solution, then the vessel which could carrying goods, in this case is cars, through river and sea are needed. Self-propelled car barge expected to become innovation that would be good enough in distributes goods through route Cikarang Bekasi Laut (CBL) River to Port of Tanjung Perak. In order to obtain optimum particular dimensions, an optimization design approach assisted by the *Solver* that featured in *Microsoft Excel* - by making the minimum building cost as an objective function as well as the limitations of the technical requirements and existing regulations – has been conducted. Based on the result of optimization process, the optimum *Self-Propelled Car Barge*'s particular dimensions are L=53.10 m, B=15.17 m, T<sub>FW</sub>=3.09 m, T<sub>SW</sub>=3.02 m, and H=4.66 m, with building cost estimation of \$1.435.270,56 equal to Rp.19.281.424.757,10.

***Keywords:*** Domestic distribution of new car, CBL River, Self-Propelled Car Barge

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
LEMBAR REVISI .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1    Latar Belakang .....	1
I.2    Rumusan Masalah .....	3
I.3    Batasan Masalah .....	3
I.4    Tujuan .....	3
I.5    Manfaat .....	3
I.6    Hipotesis .....	3
I.7    Sistematika Penulisan .....	4
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
II.1    Program Tol Sungai .....	5
II.1.1    Arus Mobil Baru Untuk Kawasan Jawa Timur .....	6
II.2    Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) .....	8
II.2.1    Data Teknis dan Rencana Desain Sungai CBL .....	9
II.3    Mobil ( <i>Car</i> ) .....	10
II.3.1    Jenis Mobil .....	10
II.3.2    Ukuran Dimensi Satuan Ruang Parkir Mobil .....	11
II.4    Tongkang ( <i>Barge</i> ) .....	11
II.4.1    Kelebihan dan Kekurangan Tongkang .....	12
II.4.2    Jenis Tongkang .....	12
II.5 <i>Self-Propelled Barge</i> (SPB) .....	13
II.5.1    Jenis <i>Self-Propelled Barge</i> .....	14

II.5.2	<i>Self-Propelled Car Barge</i> .....	15
II.6	Desain Kapal.....	16
II.6.1	Tujuan Desain Kapal.....	16
II.6.2	Tahapan Desain Kapal .....	17
II.6.3	Metode Desain Kapal .....	18
II.7	Tinjauan Perhitungan Teknis Perancangan Kapal.....	19
II.7.1	<i>The Geosim Procedure</i> .....	20
II.7.2	Rasio Ukuran Utama dan Koefisien.....	21
II.7.3	Hambatan Kapal.....	22
II.7.4	Kebutuhan Daya Penggerak Kapal .....	26
II.7.5	Berat dan Titik Berat Kapal .....	29
II.7.6	Lambung Timbul Kapal ( <i>Freeboard</i> ) .....	35
II.7.7	Stabilitas Kapal .....	36
II.7.8	Batasan Kondisi Perairan .....	37
II.8	Tinjauan Perhitungan Ekonomis Perancangan Kapal .....	39
II.8.1	Biaya Pembangunan.....	39
BAB III.....		43
METODOLOGI PENELITIAN .....		43
III.1	Diagram Alir.....	43
III.2	Langkah Pengerjaan .....	44
III.2.1	Pengumpulan Data .....	44
III.2.2	Pembuatan <i>Spreadsheet</i> Penentuan Ukuran Utama Awal.....	44
III.2.3	Pembuatan <i>Spreadsheet</i> Perhitungan Teknis .....	44
III.2.4	Pembuatan <i>Spreadsheet</i> Perhitungan Ekonomis .....	45
III.2.5	Perhitungan Optimisasi Ukuran Utama.....	45
III.2.6	Pembuatan Gambar Rencana Garis.....	45
III.2.7	Pembuatan Gambar Rencana Umum .....	46
III.2.8	Kesimpulan dan Saran.....	46
BAB IV .....		47
ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS DESAIN <i>Self-Propelled Car Barge</i> .....		47
IV.1	<i>Design Statement</i> .....	47
IV.2	Analisa Batasan Sungai .....	48
IV.3	Penentuan Batasan Ukuran Utama .....	49

IV.4	Proses Model Optimisasi.....	51
IV.4.1	Penentuan Variabel Model Optimisasi .....	51
IV.4.2	Penentuan Batasan Model Optimisasi.....	52
IV.4.3	Penentuan <i>Objective Fuction</i> Model Optimisasi .....	54
IV.4.4	<i>Running</i> Model Iterasi Solver .....	54
IV.5	Analisis Terhadap Hasil Optimisasi .....	59
IV.5.1	Analisis Rasio dan Koefisien .....	59
IV.5.2	Analisis Hambatan Kapal.....	62
IV.5.3	Analisis Kebutuhan Daya Mesin Induk .....	66
IV.5.4	Analisis Pemilihan Mesin Induk .....	69
IV.5.5	Analisis Berat dan Titik Berat Kapal .....	71
IV.5.6	Analisis <i>Freeboard</i> Kapal.....	79
IV.5.7	Analisis Stabilitas.....	80
IV.5.8	Analisis Estimasi Biaya Pembangunan Kapal .....	83
IV.6	Pembuatan Rencana Garis <i>Self-Propelled Car Barge</i> .....	86
IV.7	Pembuatan Rencana Umum .....	91
BAB V	.....	95
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	95
V.1	Kesimpulan.....	95
V.2	Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA	.....	97
LAMPIRAN A	HASIL PERHITUNGAN	
LAMPIRAN B	GAMBAR <i>LINES PLAN</i> DAN <i>GENERAL ARRANGEMENT</i>	
BIODATA	PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Jalur Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (merah) .....	5
Gambar 2. 2. Skema Sistem Pengairan Sungai CBL .....	8
Gambar 2. 3. Penampang Trapesium Secara Melintang Sungai CBL .....	10
Gambar 2. 4. <i>Self-Propelled Car Barge</i> di Sungai Rhine, Jerman.....	15
Gambar 2. 5. <i>Design Spiral</i> (Friendship Systems, 2015).....	17
Gambar 2. 6. Koefisien Displasemen Berdasarkan Tipe Kapal (Parsons, 2001).....	20
Gambar 2. 7. Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal .....	27
Gambar 2. 8. Harga Koefisien <i>Deck House</i> .....	30
Gambar 2. 9. Estimasi Berat <i>Hatch Cover</i> .....	32
Gambar 2. 10. Estimasi Berat <i>Crane</i> .....	32
Gambar 2. 11. Ukuran Sungai Pada Potongan Trapesium (Rijkswaterstaat, 2011).....	38
Gambar 3. 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	43
Gambar 4. 1. Tabel <i>Template Model Optimisasi</i> .....	55
Gambar 4. 2. <i>Solver Parameters</i> .....	56
Gambar 4. 3. Kurva Lengan GZ.....	82
Gambar 4. 4. Indeks Harga Baja Per Ton (The Steel Index, June 06-12 2016).....	83
Gambar 4. 5. Proses Penyesuaian <i>Frame of Reference</i> Pada <i>software Maxsurf</i> .....	87
Gambar 4. 6. Proses Pembentukan Lambung Kapal <i>Self-Propelled Car Barge</i> .....	88
Gambar 4. 7. Hasil <i>Rendering</i> Bentuk Lambung Kapal <i>Self-Propelled Car Barge</i> .....	89
Gambar 4. 8. Gambar Rencana Garis Pada <i>Software AutoCad</i> .....	90
Gambar 4. 9. Rencana Umum .....	93

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Data Teknis Pada Awal Pembangunan Sungai CBL .....	9
Tabel 2. 2. Rencana Desain Sungai CBL.....	10
Tabel 2. 3. Harga $C_{stem}$ .....	25
Tabel 2. 4. Harga $1+k_2$ .....	25
Tabel 2. 5. Harga $li$ .....	28
Tabel 2. 6. Harga Koefisien <i>Superstructure</i> .....	30
Tabel 2. 7. Harga Koreksi $F_5$ Untuk Kapal Tipe B .....	36
Tabel 2. 8. Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur (Rijkswaterstaat, 2011) .....	38
Tabel 2. 9. Persentase Komponen Biaya Pembangunan Kapal .....	41
Tabel 4. 1. Dimensi Sungai CBL .....	48
Tabel 4. 2. Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur .....	48
Tabel 4. 3. Data Kapal Pembanding .....	50
Tabel 4. 4. Batasan Ukuran Utama Menggunakan Metode Geosim.....	51
Tabel 4. 5. Batasan Variabel Optimisasi.....	52
Tabel 4. 6. Hasil Proses Optimisasi Pada Perairan Sungai .....	57
Tabel 4. 7. Rangkuman Hasil Proses Optimisasi .....	58
Tabel 4. 8. Rekapitulasi Rasio Ukuran Utama.....	60
Tabel 4. 9. Rekapitulasi Harga Koefisien .....	60
Tabel 4. 10. Besar $V_s loss$ .....	62
Tabel 4. 11. Besar <i>Wave-making Resistance</i> ( $R_w$ ).....	63
Tabel 4. 12. Besar <i>Form Factor of Bare Hull</i> ( $1+k$ ).....	64
Tabel 4. 13. Besar <i>Friction Coefficient</i> ( $C_F$ ).....	64
Tabel 4. 14. Besar <i>Correlation Allowance</i> ( $C_A$ ).....	65
Tabel 4. 15. Rekapitulasi Besar Hambatan .....	65
Tabel 4. 16. Kebutuhan Daya EHP .....	66
Tabel 4. 17. Kebutuhan Daya DHP.....	67
Tabel 4. 18. Kebutuhan Daya SHP .....	67
Tabel 4. 19. Kebutuhan Daya BHP.....	68
Tabel 4. 20. Kebutuhan Daya MCR.....	69
Tabel 4. 21. Rekapitulasi Kebutuhan Daya Mesin Induk .....	69
Tabel 4. 22. Spesifikasi Teknis Mesin Induk.....	70
Tabel 4. 23. Spesifikasi Teknis Mesin Bantu.....	71
Tabel 4. 27. Berat Baja Bangunan Atas dan Rumah Geladak .....	72
Tabel 4. 28. Berat Koreksi Baja Kapal .....	72
Tabel 4. 29. Berat Sistem Propulsi.....	73
Tabel 4. 30. Berat Peralatan dan Perlengkapan .....	74
Tabel 4. 31. Berat <i>Crew and Consumables</i> .....	76
Tabel 4. 32. Rekapitulasi Berat dan Titik Berat LWT .....	77
Tabel 4. 33. Rekapitulasi Berat dan Titik Berat DWT.....	78
Tabel 4. 34. Rekapitulasi <i>Freeboard</i> .....	80
Tabel 4. 35. Tabel GZ.....	81

Tabel 4. 36. Kriteria Stabilitas .....	82
Tabel 4. 37. Persentase Komponen Biaya Pembangunan Kapal.....	85
Tabel 4. 38. Validasi Kriteria Hidrostatik .....	89

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

Setiap tahun, angka pengguna jalur Pantura kian meningkat, terlebih pada high season seperti lebaran (Kompas, 2013), termasuk distribusi logistik dan barang-barang kebutuhan lainnya yang masih menggunakan transportasi darat namun sayangnya tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas dan kualitas jalan raya. Pada APBN 2013, Pemerintah mengalokasikan anggaran sebesar 1,3 triliun untuk perbaikan infrastruktur jalur Pantura, dan angka tersebut tidak mengalami perubahan signifikan untuk tahun 2014 sekarang ini. Tingginya anggaran perbaikan jalur Pantura nyatanya tidak menjamin arus transportasi yang lebih baik, hal tersebut dibuktikan dengan masih banyaknya kecelakaan lalu lintas akibat jalan rusak maupun antrian kemacetan yang mencapai belasan kilometer. Fakta di atas mengakibatkan perjalanan terhambat dan memakan waktu yang lebih lama, yang berimbas pada tingginya biaya operasional dan biaya eksternal transportasi darat (Cezariska, 2015).

Pemanfaatan moda kereta api masih belum optimal dikarenakan keterbatasan infrastruktur, dimana jalur kereta api di Pulau Jawa masih menggunakan jalur tunggal (*single track*). Oleh karena itu, pengiriman barang menggunakan moda kereta api masih belum berkembang. Rencana peningkatan kapasitas jalur kereta api dengan membangun jalur ganda (*double track*) masih belum bisa dilaksanakan dikarenakan biaya investasi yang tinggi (Yoga, 2011).

Presiden Joko Widodo (Jokowi) memang dikenal kerap memberikan gebrakan-gebrakan baru terhadap kebijakan yang dikeluarkannya. Terkait dengan tujuan untuk mengembalikan identitas bangsa sebagai negara maritim, Jokowi sempat mencanangkan namun upaya untuk meningkatkan potensi maritim Indonesia tak berhenti sampai disitu, pada Kamis, 5 Februari 2015 Jokowi mengadakan pertemuan bersama Menteri BUMN, Rini Soemarno dan Direktur Utama PT. Pelindo II, Richard Joost Lino terkait dengan rencana pembangunan “Tol Sungai”. Program mengoptimalkan ini kembali bertujuan fungsi sungai atau kanal untuk jalur distribusi barang (TEMPO, 2015).

R.J. Lino mengatakan, yang dimaksud Tol Sungai adalah mengembangkan sistem pengangkutan barang berbasis jalur sungai (*inland access waterway*) sepanjang 40 kilometer dari Kawasan Industri Cikarang, Jawa Barat melewati Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) via Marunda, Jakarta Utara. Rencana ini bertujuan untuk mempercepat distribusi barang dari pabrik-pabrik di kawasan industri sekitar Bekasi, Cikarang, Cikampek, dan Karawang. Dengan kondisi lalu lintas di jalur darat yang tak bisa diprediksi, kemacetan, hingga risiko kecelakaan, dalam sehari truk hanya bisa melakukan sekali perjalanan yang idealnya dapat mencapai dua sampai tiga kali perjalanan darat, dan apabila rencana ini dapat terealisasi, biaya distribusi barang dapat diturunkan hingga 20-40%. Pada kesempatan lain, Wakil Gubernur Jawa Barat, Deddy Mizwar juga mengapresiasi rencana tersebut karena dapat meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) Jawa Barat, Ia berharap agar program ini segera terealisasi di tahun 2016 seperti yang dikutip dari (detik.com, 2015).

Sungai CBL sendiri merupakan sungai buatan yang direncanakan pada tahun 1973 dan selesai dibangun pada tahun 1980 oleh Proyek Irigasi Jatiluhur (Prosijat) dengan tujuan untuk

mengalirkan banjir (*flood control*) dan berfungsi sebagai sungai sudetan untuk Sungai Bekasi, Sungai Cikarang dan, Sungai Cisadang ke arah laut bagian utara Pulau Jawa. Disamping itu terdapat beberapa anak sungai yang juga masuk ke Sungai CBL, diantaranya Sungai Jambo, Sungai Jambe, Sungai Baru, Sungai Srengseng, dan Sungai Bojongkoneng. Sungai CBL memiliki dimensi panjang keseluruhan sepanjang 28.205,00 meter dan kedalaman antara 4–7 meter. Walaupun Sungai CBL saat ini sedang mengalami pendangkalan dasar sungai akibat sedimentasi, namun terdapat rencana dalam waktu dekat untuk dilakukannya normalisasi Sungai CBL yang ditangani oleh Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, dengan lebar desain sebesar 50 meter untuk di bagian hulu (Bendungan CBL) dan lebar sebesar 100 meter untuk dibagian muara.

Karakteristik Sungai CBL yang memiliki dimensi yang panjang tanpa adanya simpangan yang tajam serta memiliki lebar sungai yang besar dijadikan acuan bagi pemerintah pusat untuk menunjuk Sungai CBL sebagai media pendistribusian Tol Sungai menggunakan kapal tongkang. Jenis kapal tongkang dipilih dengan tujuan agar mampu menampung muatan dalam jumlah yang besar, serta adanya batasan dari kondisi perairan yang menjadikan kapal memiliki batasan maksimum terhadap ukuran sarat dan lebar kapal. Namun hal ini tidak menjadi suatu persoalan bagi jenis kapal tongkang, mengingat tongkang memiliki dimensi lebar yang besar maka mampu untuk mengimbangi ukuran sarat yang lebih kecil, karena dengan displasemen yang sama dan lebar yang lebih besar, maka besar sarat yang dibutuhkan semakin kecil. Menanggapi rancangan pemerintah dalam pembangunan Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut, maka dibutuhkan adanya studi perancangan kapal tongkang berpengerak sendiri (*self-propelled barge*) yang dapat digunakan pada perairan Sungai CBL untuk mendistribusikan barang dari kawasan industri sekitar Bekasi, Cikarang, Cikampek, dan Karawang.

Jenis kapal *Self-Propelled Car Barge* dipilih sebagai jenis kapal yang digunakan dalam studi kali ini dikarenakan terdapat beberapa kelebihan umum antara SPB dengan tongkang, diantaranya, SPB telah dilengkapi oleh bangunan atas yang lebih sederhana sebagai tempat akomodasi para ABK (Anak Buah Kapal), sistem permesinan, sistem kemudi, sistem penggerak, serta perlengkapan dan peralatan. SPB biasa digunakan pada perairan yang tenang dan tidak memerlukan kecepatan yang tinggi. SPB sendiri kini sedang ramai dikembangkan di beberapa negara maju yang umumnya dijumpai di Eropa, Amerika, dan beberapa negara maju Asia seperti Tiongkok dan Jepang. Seiring dengan berkembangnya inovasi, kini kapal SPB sudah dibagi ke dalam beberapa jenis berdasarkan fungsi dan muatannya, seperti *Self-Propelled Oil Barge* yang digunakan untuk mengangkut muatan minyak cair, *Self-Propelled Urea Barge* untuk mengangkut pupuk yang sudah direlisasikan di Indonesia, *Self-Propelled Car Barge* yang sudah digunakan di beberapa negara Eropa seperti Jerman, Perancis, dll. SPB umumnya dipilih atas pertimbangan proses produksi yang mudah dilakukan serta biaya pembangunan yang dinilai lebih murah apabila dibandingkan dengan kapal konvensional.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Sehubungan dengan latar belakang di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain *Self-Propelled Car Barge* yang optimal sesuai dengan karakteristik jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Perak, meliputi ukuran utama, Rencana Garis (*Lines Plan*), dan Rencana Umum (*General Arrangement*)?
2. Bagaimana analisis ekonomis yang meliputi biaya pembangunan terhadap *Self-Propelled Car Barge* untuk jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Perak.

## **I.3 Batasan Masalah**

Batasan-batasan masalah yang ada dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Perairan yang digunakan untuk studi kasus kali ini adalah perairan Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL), Kabupaten Bekasi, Jawa Barat dan perairan *coastal* utara Pulau Jawa.
2. Muatan berupa mobil baru maksimal 100.
3. Proses desain yang dibahas hanya sebatas *concept design*.

## **I.4 Tujuan**

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan desain *Self-Propelled Car Barge* yang optimal sesuai dengan karakteristik jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Perak, meliputi ukuran utama, Rencana Garis (*Lines Plan*), dan Rencana Umum (*General Arrangement*).
2. Mendapatkan analisis ekonomis yang meliputi biaya pembangunan terhadap *Self-Propelled Car Barge* untuk jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Perak.

## **I.5 Manfaat**

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

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan.
2. Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan dan desain *Self-Propelled Car Barge* yang sesuai, sehingga dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem distribusi mobil baru berbasis jalur sungai (*inland access waterway*).

## **I.6 Hipotesis**

Desain *Self-Propelled Car Barge* dapat diimplementasikan pada program Tol Sungai guna meningkatkan efisiensi dalam pendistribusian barang dari Kawasan Industri (Cikarang, Cikampek, Karawang, Bekasi) menuju Tanjung Perak melalui jalur Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL).

## **I.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini meliputi latar belakang dari permasalahan yang ada, perumusan dari masalah yang diangkat, batasan masalah yang dijadikan batasan dalam penelitian, tujuan dari penelitian itu sendiri, manfaat dari penelitian yang dilakukan, hipotesis, dan sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini berisi pembahasan dari dasar teori dan studi literatur yang digunakan selama penelitian, baik dasar teori yang menunjang perhitungan analisa teknis, maupun dasar teori yang digunakan dalam perhitungan analisa keekonomian.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan tahapan metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir secara berurutan dan tersruktur dari tahap pengumpulan, perhitungan analisa teknis dan keekonomian, hingga penarikan kesimpulan guna menjawab permasalahan penelitian yang ada.

### **BAB IV. ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS DESAIN *SELF-PROPELLED CAR BARGE***

Bab ini menjabarkan analisis teknis yang dikerjakan hingga didapatkannya kesimpulan teknis dari perhitungan yang dilakukan. Analisa teknis ini meliputi proses optimisasi yang di dalamnya terdapat perhitungan teknis yang disesuaikan dengan batasan dan aturan yang ada, sehingga didapatkan ukuran utama yang paling optimal. Dan juga dijelaskan mengenai analisis ekonomis yang meliputi analisis biaya pembangunan sehingga dapat diketahui besaran biaya yang dibutuhkan oleh pembangunan suatu kapal. Biaya pembangunan juga berperan penting dalam proses optimisasi yang digunakan sebagai *objective function*.

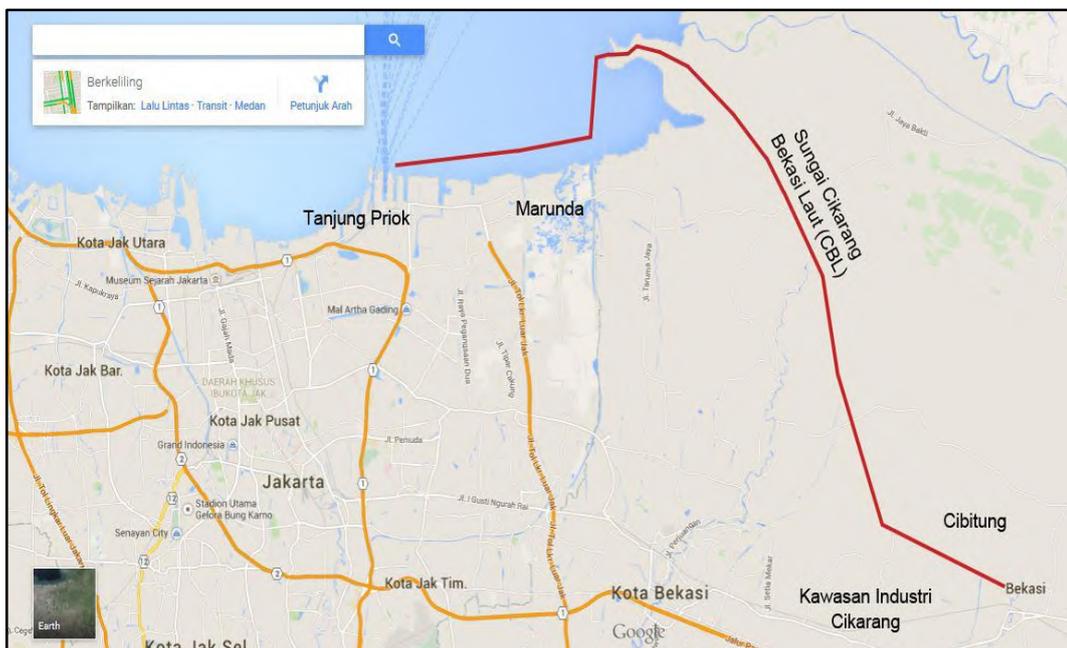
### **BAB V. PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari proses penelitian yang dilakukan guna menjawab permasalahan yang ada, serta memberikan saran perbaikan untuk penelitian kedepannya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Program Tol Sungai

Pada Kamis, 5 Februari 2015 Presiden Joko Widodo mengadakan sebuah pertemuan bersama dengan Menteri BUMN, Rini Soemarno dan Direktur Utama PT. Pelindo II, R.J. Lino terkait dengan tindak lanjut rencana pembangunan Tol Sungai yang dikembangkan oleh PT. Pelindo II. Tol Sungai sendiri merupakan sistem pengangkutan barang berbasis jalur sungai (*inland access waterway*) sepanjang 40 km dari Kawasan Industri Cikarang, Jawa Barat menuju Pelabuhan Tanjung Priok melewati Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) via Marunda, Jakarta Utara, dan diupayakan untuk dapat dilalui kapal tongkang pengangkut barang, serta dibangunnya pelabuhan peti kemas di kawasan Cibitung. Rencana ini bertujuan untuk mempercepat distribusi barang dari pabrik-pabrik di kawasan industri sekitar Bekasi, Cikarang, Cikampek, dan Karawang, mengingat kondisi lalu lintas di jalur darat yang tak bisa diprediksi, dan apabila rencana ini dapat terealisasi, biaya distribusi barang dapat diturunkan hingga 20-40%. Hal ini mendapat respon positif dari berbagai pihak, antara lain Kementerian BUMN, PT. Pelindo II, Asosiasi Kawasan Industri (AKI), DPRD Kabupaten Bekasi dan Pemerintah Daerah Jawa Barat. Program yang diperkirakan menghabiskan dana Rp. 1 triliun ini diharapkan agar dapat segera terealisasi di 2016 dan mulai di bangun pada semester dua tahun 2015. (TEMPO, 2015). Berikut adalah jalur Sungai Bekasi Cikarang Laut:



Gambar 2. 1. Jalur Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (merah)

## II.1.1 Arus Mobil Baru Untuk Kawasan Jawa Timur

Saat ini, Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pelabuhan terbesar dan tersibuk di Indonesia. Pelabuhan ini melayani kapal penumpang dan kargo baik domestik maupun mancanegara. Sebagian barang domestik yang melewati Pelabuhan Tanjung Perak berasal dari Kawasan Industri Jababeka. Kawasan Industri Jababeka dimana didalamnya meliputi daerah industri Cikarang, Bekasi, dan Karawang, yang saat ini merupakan kawasan industri terbesar di Asia Tenggara. Lebih dari 2.500 industri, baik perusahaan multinasional maupun usaha kecil menengah terdapat di kawasan industri ini, termasuk perusahaan otomotif seperti P.T. Astra International. Di dalam Kawasan Industri Jababeka ini terdapat Cikarang Dry Port (CDP) yang didesain sebagai Kawasan Pelabuhan Pelayanan Terpadu (KPPT) dengan fungsi sebagai layanan satu atap kepelabuhanan untuk penanganan kargo, baik impor maupun ekspor yang meliputi proses dokumentasi, pemeriksaan terkait bea cukai, karantina hewan dan karantina tumbuhan dapat diselesaikan di sini.

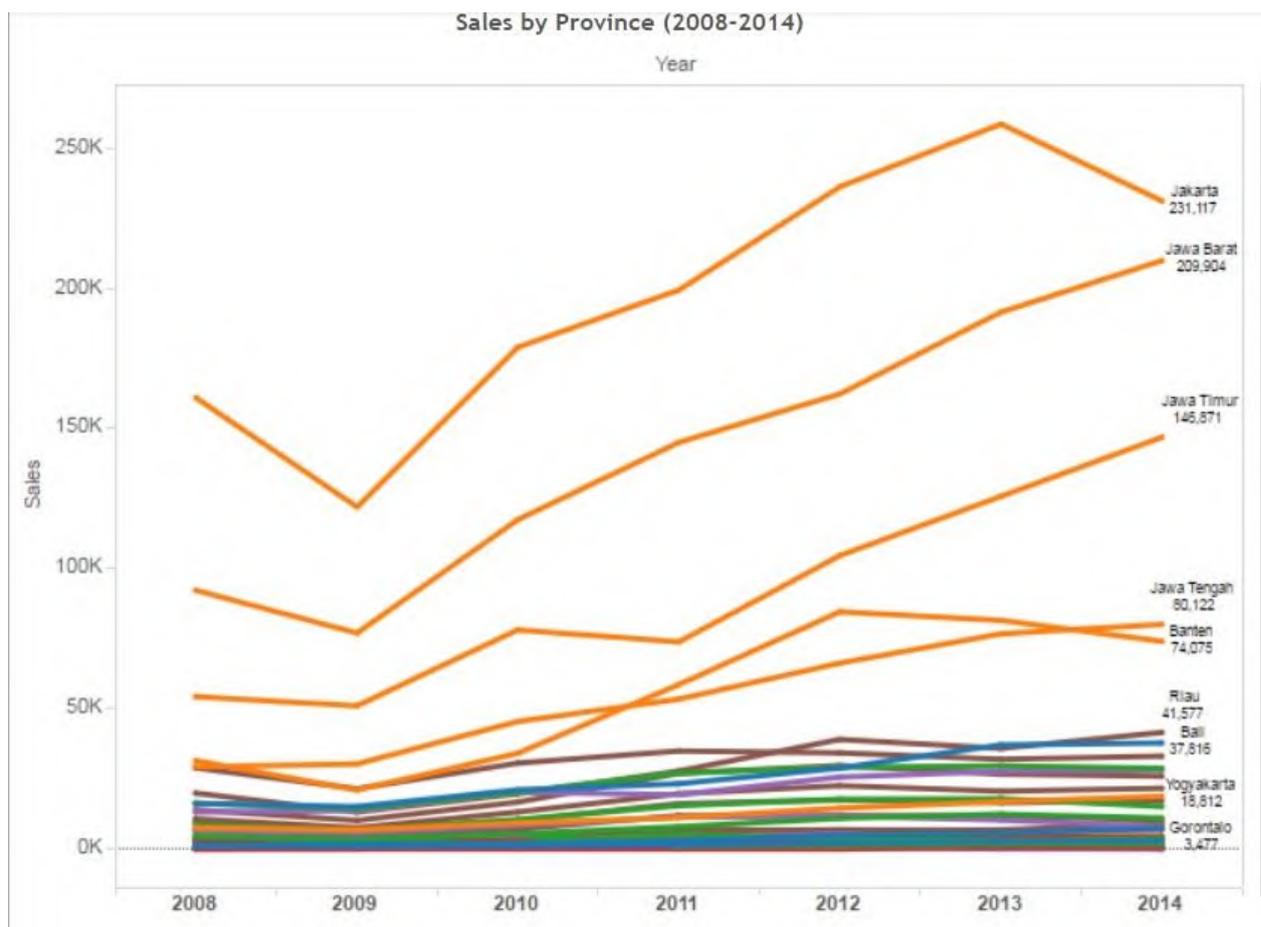
Kapasitas produksi industri otomotif di Indonesia terus bertambah. Pertambahan kapasitas produksi itu hasil total investasi USD 3.2 miliar dari Toyota, Honda, Daihatsu, Suzuki, dan Nissan. Hingga 2014 kapasitas produksi 1.928.131 unit per tahun. Pada 2012, angka itu masih sekitar 630.000 unit per tahun. Produksi mobil oleh industri otomotif di Indonesia ditujukan untuk pasar domestik dan ekspor. D2 dalam road map Pemerintah RI, pada 2020 kemampuan produksi Indonesia ditargetkan mencapai 2,6 juta unit. Dari jumlah itu, 1,6 juta unit masuk pasar domestik. Berikut kapasitas produksi mobil di Indonesia pada tahun 2014:

Tabel 2. 1. Produksi Mobil Domestik Indonesia 2014

CATEGORY		MONTH												PROD 2014	SHARE %	
		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC			
1. SEDAN TYPE	CC < 1,500 (G/D)	1,273	2,147	2,809	1,474	1,177	1,483	2,155	4,354	5,548	5,708	4,827	3,820	36,575	2.8%	
	1,501 < CC < 3,000 (G)/2,500 (D)	250	295	190	283	179	237	207	118	272	320	352	208	2,909	0.2%	
	CC > 3,001 (G)/2,500 (D)	-	-	-	-	-	-	-	-	12	25	54	38	45	174	0.0%
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>1,523</b>	<b>2,442</b>	<b>2,999</b>	<b>1,757</b>	<b>1,356</b>	<b>1,720</b>	<b>2,362</b>	<b>4,484</b>	<b>5,845</b>	<b>6,082</b>	<b>5,017</b>	<b>4,071</b>	<b>39,658</b>	<b>3.1%</b>	
2. 4X2 TYPE	CC < 1,500 (G/D)	49,555	52,469	61,090	59,570	46,882	57,034	46,273	51,833	53,581	53,478	43,355	38,587	613,705	47.3%	
	1,501 < CC < 2,500 (G/D)	10,289	10,388	11,877	11,835	8,585	12,037	9,884	9,284	10,419	10,825	8,128	7,869	121,000	9.3%	
	2,501 < CC < 3,000 (G)	2,278	2,065	2,351	2,412	1,745	2,184	1,472	2,779	2,753	2,438	2,402	2,344	27,223	2.1%	
	CC > 3,001 (G)/2,500 (D)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%	
<b>SUB TOTAL</b>	<b>62,102</b>	<b>64,922</b>	<b>75,118</b>	<b>73,617</b>	<b>57,212</b>	<b>71,255</b>	<b>57,629</b>	<b>63,896</b>	<b>66,753</b>	<b>66,739</b>	<b>53,885</b>	<b>48,800</b>	<b>761,928</b>	<b>58.7%</b>		
3. 4X4 TYPE	CC < 1,500 (G/D)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%	
	1,501 < CC < 3,000 (G)/2,500 (D)	1,199	1,185	1,180	1,437	873	1,800	932	1,782	1,535	1,508	1,123	1,501	16,035	1.2%	
	CC > 3,001 (G)/2,500 (D)	482	592	746	854	692	871	743	1,271	1,214	1,162	986	880	10,493	0.8%	
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>1,681</b>	<b>1,777</b>	<b>1,906</b>	<b>2,291</b>	<b>1,565</b>	<b>2,671</b>	<b>1,675</b>	<b>3,053</b>	<b>2,749</b>	<b>2,670</b>	<b>2,109</b>	<b>2,381</b>	<b>26,528</b>	<b>2.0%</b>	
4. BUS	GVW 5 - 10 Ton (G/D)	203	574	242	126	288	132	90	248	174	234	102	27	2,438	0.2%	
	GVW 10 - 24 Ton (G/D)	186	222	281	211	258	162	86	34	91	54	56	48	1,687	0.1%	
	GVW > 24 Ton (G/D)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%	
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>389</b>	<b>796</b>	<b>523</b>	<b>337</b>	<b>546</b>	<b>294</b>	<b>156</b>	<b>280</b>	<b>265</b>	<b>288</b>	<b>158</b>	<b>73</b>	<b>4,105</b>	<b>0.3%</b>	
5. PICK UP / TRUCK	GVW < 5 Ton (G/D)	14,284	14,004	14,829	14,218	11,197	12,871	10,858	14,170	14,127	14,087	14,167	12,822	161,232	12.4%	
	GVW 5 - 10 Ton (G/D)	9,054	9,992	10,821	10,764	8,528	8,408	4,992	6,287	8,074	7,817	5,915	4,834	95,486	7.4%	
	GVW 10 - 24 Ton (G/D)	780	800	821	708	671	949	579	452	607	569	600	501	8,037	0.6%	
	GVW > 24 Ton (G/D)	1,453	1,549	1,504	1,595	1,345	1,494	1,111	1,135	1,548	1,519	1,176	1,082	16,491	1.3%	
<b>SUB TOTAL</b>	<b>25,571</b>	<b>26,345</b>	<b>27,875</b>	<b>27,283</b>	<b>21,741</b>	<b>23,722</b>	<b>17,340</b>	<b>22,044</b>	<b>24,356</b>	<b>23,792</b>	<b>21,858</b>	<b>19,319</b>	<b>281,246</b>	<b>21.7%</b>		
6. DOUBLE CABIN	GVW < 5 Ton (G/D)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%	
	For all CC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%	
7. AFFORDABLE ENERGY SAVING CARS 4X2	CC ≤ 1200 (G)	13,486	16,228	14,845	15,814	14,196	17,740	14,478	15,928	15,058	17,815	16,118	13,572	185,058	15.3%	
	CC ≤ 1500 (D)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%	
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>13,486</b>	<b>16,228</b>	<b>14,845</b>	<b>15,814</b>	<b>14,196</b>	<b>17,740</b>	<b>14,478</b>	<b>15,928</b>	<b>15,058</b>	<b>17,815</b>	<b>16,118</b>	<b>13,572</b>	<b>185,058</b>	<b>15.3%</b>	
<b>PRODUCTION TOTAL</b>		<b>104,732</b>	<b>112,510</b>	<b>123,266</b>	<b>120,899</b>	<b>96,616</b>	<b>117,402</b>	<b>93,640</b>	<b>109,685</b>	<b>115,026</b>	<b>117,386</b>	<b>99,145</b>	<b>88,216</b>	<b>1,298,523</b>	<b>100%</b>	
<b>PRODUCTION CUM. TOTAL</b>		<b>104,732</b>	<b>217,242</b>	<b>340,508</b>	<b>461,407</b>	<b>558,023</b>	<b>675,425</b>	<b>769,065</b>	<b>878,750</b>	<b>993,776</b>	<b>1,111,162</b>	<b>1,210,307</b>	<b>1,298,523</b>			

©GAIKINDO-14

Dari tabel di atas dapat kita ketahui pasar mobil domestik di Indonesia dikuasai oleh mobil dengan ukuran kecil dan sedang dengan persentase 78%. Sementara itu, penjualan mobil di Provinsi Jawa Timur sedang berkembang pesat. Potensi untuk terus tumbuh pun masih terbuka lebar. Pasar mobil Jawa Timur menunjukkan grafik yang terus naik dari 2010 hingga 2014. Data mencatat perkembangan penjualan kendaraan bermotor di Jawa Timur berperan penting terhadap pertumbuhan industri otomotif nasional dengan menyumbang 13,1 persen dari total penjualan mobil nasional. Berikut perkembangan pasar mobil di beberapa provinsi di Indonesia:

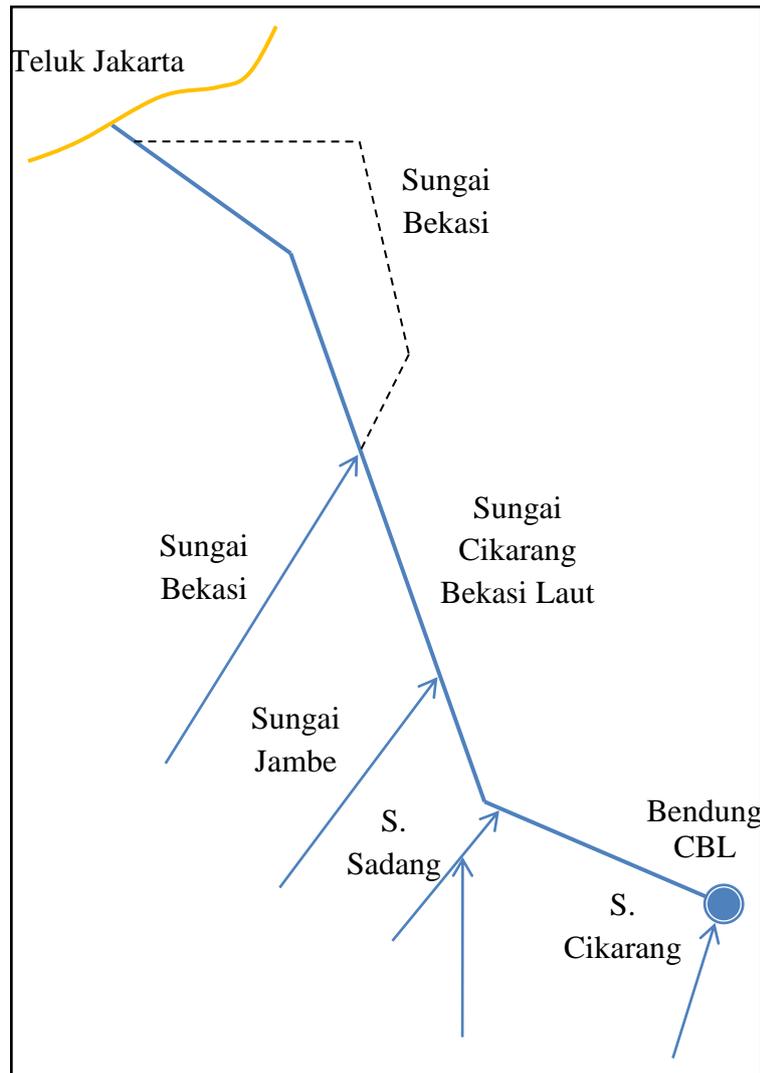


Gambar 2. 2. Grafik Penjualan Mobil Domestik Indonesia 2014

Dari data penjualan mobil domestik di atas dapat dilihat bahwa kawasan industri otomotif di Cikarang, Bekasi, dan Karawang membutuhkan sistem pendistribusian mobil baru ke Jawa Timur dalam skala yang lebih besar. dengan tujuan mengurangi beban jalur Pantura yang disebabkan volume kendaraan truk, serta guna menekan harga jual barang dengan cara meningkatkan efisiensi biaya distribusi.

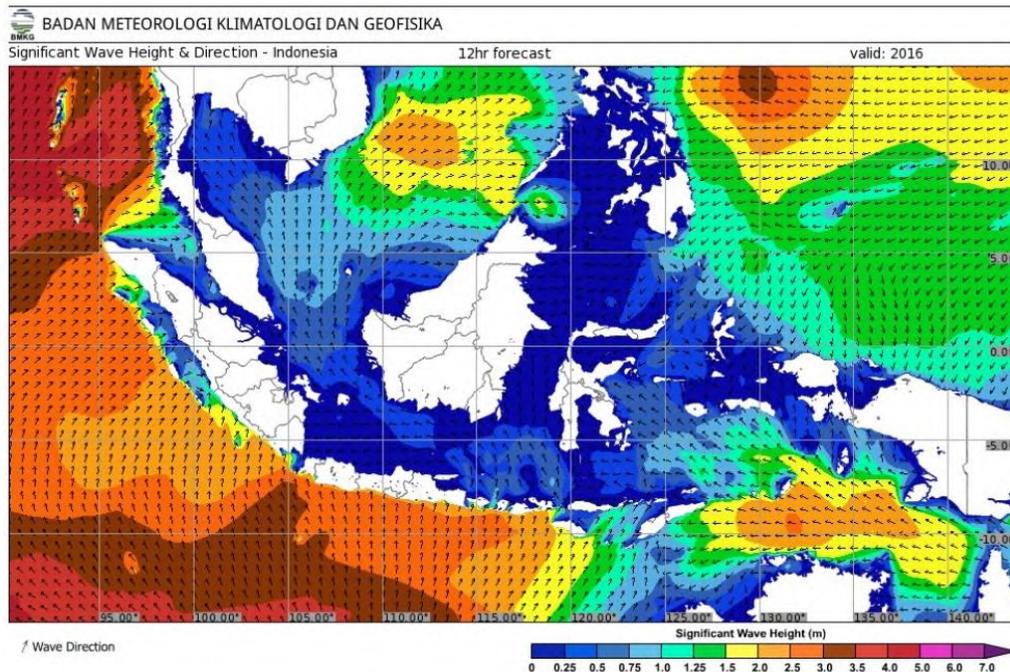
## II.2 Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) dan Perairan *Coastal* Utara Pulau Jawa

Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) merupakan kali buatan yang selesai dibangun pada tahun 1980 oleh Proyek Irigasi Jatiluhur (Prosijat) untuk mengalirkan banjir (*flood control*) dan berfungsi sebagai sungai sudetan untuk Sungai Bekasi, Sungai Cikarang dan, Sungai Cisadang. Disamping itu terdapat beberapa anak sungai yang juga masuk ke Sungai CBL, diantaranya Sungai Jambo, Sungai Jambe, Sungai Baru, Sungai Srengseng, dan Sungai Bojongkoneng. Adapun skema sistem pengairan Sungai CBL seperti berikut:



Gambar 2. 3. Skema Sistem Pengairan Sungai CBL  
(Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Perairan *coastal* utara Pulau Jawa merupakan perairan dangkal yang jaraknya tidak terlalu jauh dari garis pantai utara Pulau Jawa. Perairan ini membutuhkan sarat kapal yang rendah untuk dapat dilalui. Sehingga jenis *Self-Propelled Car Barge* sangat sesuai dengan medan yang akan dilalui. Berikut data gelombang di utara Pulau Jawa menurut BMKG:



Gambar 2. 4. Data BMKG Tinggi dan Arah Gelombang di Indonesia 2016

Berdasarkan data di atas, tinggi gelombang di perairan utara Pulau Jawa sekitar 0-0,75 m. Hal ini berguna untuk menentukan minimal *freeboard* kapal yang diperlukan untuk dapat melalui perairan tersebut.

### II.2.1 Data Teknis dan Rencana Desain Sungai CBL

Sudetan CBL atau saat ini disebut Sungai CBL direncanakan pada tahun 1973, Sungai CBL ini merupakan sudetan Sungai Cikarang dan Sungai Bekasi ke arah laut bagian utara Pulau Jawa, dan sudetan ini selesai dibangun pada tahun 1980. Sungai CBL memiliki dimensi panjang keseluruhan sepanjang 28.205,00 meter dan kedalaman antara 4–7 meter dengan data teknis pada awal pembangunan sebagai berikut:

Tabel 2. 2. Data Teknis Pada Awal Pembangunan Sungai CBL  
(Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Nama Sungai/Kali	Panjang Sungai (km)	Lebar Dasar Sungai (m)
Cikarang (Bendung CBL) – Sungai Sadang	10,060	20,00
Sungai Sadang – Sungai Jambe	2,000	30,00
Sungai Jambe – Sungai Bekasi	5,825	40,00
Sungai Bekasi – Laut	10,320	100,00

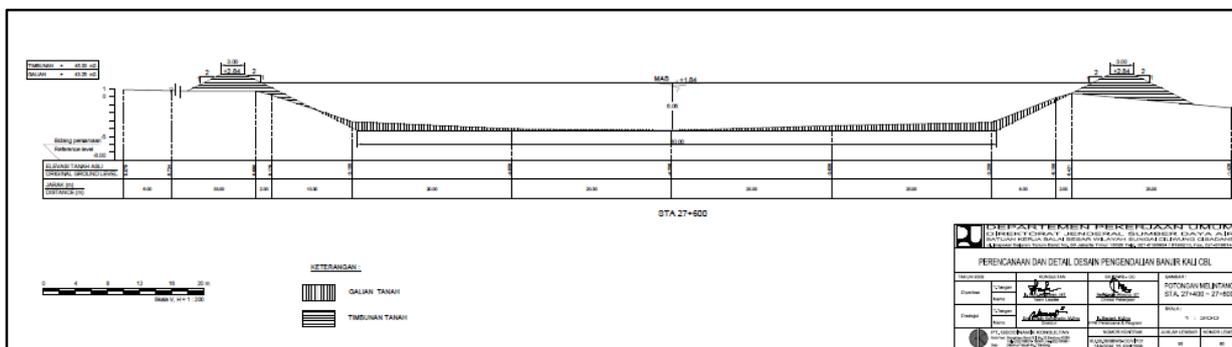
Pada tahun 2004 sudah pernah dilakukan normalisasi sungai pada ruas Sungai Bekasi – Laut sepanjang 12,00 kilometer yang dilaksanakan oleh PT. Adhi Karya. Namun pada ruas ini sudah terjadi pendangkalan dan penyempitan akibat sedimentasi yang cukup tinggi. Sehingga direncanakan untuk dilakukan normalisasi kembali dengan merencanakan kembali dimensi yang

ideal guna mengurangi dampak banjir dan genangan di sekitar Sungai CBL. Adapun rencana desain untuk normalisasi Sungai CBL sebagai berikut:

Tabel 2. 3. Rencana Desain Sungai CBL  
(Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Nama Sungai/Kali	Station Sungai yang Dinormalisasi (km)	Lebar Dasar Sungai (m)
Cikarang (Bendung CBL) – Sungai Sadang	0,20 – 6,60	-
Sungai Sadang – Sungai Jambe	9,10 – 10,50	50,00
Sungai Jambe – Sungai Bekasi	10,70 – 18,20	60,00
Sungai Bekasi – Laut	18,40 – 30,00	80,00

Selain rencana desain sungai secara umum, terdapat pula desain penampang trapesium secara melintang dari Sungai CBL seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2. 5. Penampang Trapesium Secara Melintang Sungai CBL  
(Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

## II.3 Mobil (Car)

Mobil (*car*) adalah kendaraan darat yang digerakkan oleh tenaga mesin, beroda empat atau lebih (selalu genap), biasanya menggunakan bahan bakar minyak (bensin atau solar) untuk menghidupkan mesinnya. Mobil kependekan dari *otomobil* yang berasal dari bahasa Yunani '*autos*' (sendiri) dan Latin '*movére*' (bergerak). (Wikipedia, 2013)

### II.3.1 Jenis Mobil

Terdapat beberapa jenis dari mobil menurut (Wikipedia, 2013), tergantung dari spesifikasi dan kebutuhan muatannya, namun dengan ukuran standar yang ada, diantaranya:

#### 1. Mobil Kota

Mobil kota adalah mobil kecil yang diperuntukkan untuk penggunaan di dalam kota. Berbeda dengan mobil mikro, sebuah mobil kota memiliki performa lebih tinggi dan tingkat keselamatan lebih baik. Mobil ini bisa juga dipakai untuk luar kota meskipun sebenarnya tidak dibuat untuk itu. Kapasitas mesin mobil kei dibatasi 660 cc dan panjang mobil tidak lebih dari 3.400 mm. Berat kosong mobil jenis ini sekitar 1,5-2 ton.

2. Mobil Mikro  
Mobil jenis ini merupakan jenis mobil di antara mobil dan motor. Biasanya menggunakan mesin di bawah 1000 cc dan kebanyakan untuk 2 penumpang. Beberapa malah menggunakan tiga roda. Mobil jenis ini populer di Eropa. Berat kosong mobil jenis ini sekitar 1-1,5 ton.
3. Mobil Sport  
Mobil berukuran tidak terlalu besar dengan performa dan pengendalian yang baik. Terkadang mobil ini terinspirasi dari mobil balap.
4. Mobil Konvertible  
Sebuah mobil yang mempunyai atap fleksibel sehingga bisa digunakan dengan atap terbuka atau tertutup. Biasanya juga disebut *cabriolet* atau *roadster*.
5. Mobil Off-road  
Mobil off-road biasanya merujuk pada mobil dengan penggerak 4 roda, 4WD, atau 4x4. Di beberapa negara kadang-kadang mobil berpengerak 2 roda juga disebut mobil off-road. Berat kosong mobil jenis ini sekitar 2-3 ton.
6. Mobil Sport Utility Vehicle  
Mobil SUV menggunakan konstruksi monokok dengan kemampuan off-road lebih rendah daripada mobil off-road biasa. Mobil ini terkadang juga bisa berbentuk estate/station wagon. Berat kosong mobil jenis ini sekitar 2-2,5 ton

### II.3.2 Ukuran Dimensi Satuan Ruang Parkir Mobil

Ukuran mobil berbeda-beda sesuai jenisnya. Berikut ukuran dimensi dari mobil yang dijelaskan oleh (Wikipedia, 2013) :

No.	Jenis kendaraan	Dimensi SRP, m
1a	Mobil Penumpang Gol I	2,3 x 5
1b	Mobil Penumpang Gol II	2,5 x 5
1c	Mobil Penumpang Gol III	3,0 s/d 3,6 x 5

Gambar 2. 6. Ukuran Standar Dimensi SRP Mobil (Wikipedia, 2013)

### II.4 Tongkang (*Barge*)

Tongkang (*Barge*) adalah suatu jenis kapal dengan bentuk lambung yang lebih sederhana dibandingkan dengan kapal pada umumnya. Jenis ini biasa digunakan pada perairan yang tenang dan tidak membutuhkan kecepatan yang tinggi. Pada umumnya kapal tongkang tidak memiliki sistem penggerak sendiri dan bergerak dengan bantuan kapal tunda (*tugboat*). Secara garis besar terdapat dua cara untuk menggerakkan kapal tongkang, dengan cara ditarik (*towing barge*) dan didorong (*pushing barge*). Kapal tongkang memiliki beberapa kriteria yang membedakan dengan kapal jenis lain, kapal ini memiliki dimensi lebar yang lebih besar dari kapal jenis lain dan memiliki bentuk lambung yang hampir menyerupai kotak, sehingga berdampak hambatan kapal yang cukup besar. Hal inilah yang membuat jenis kapal tongkang tidak digunakan untuk keperluan yang membutuhkan kecepatan yang tinggi.

## II.4.1 Kelebihan dan Kekurangan Tongkang

Tongkang merupakan jenis kapal yang berbeda relatif jauh dengan jenis kapal lainnya apabila dilihat dari dimensi tongkang itu sendiri. Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan tongkang, diantaranya:

### Kelebihan

1. Memiliki bentuk lambung yang sederhana sehingga dapat mempermudah proses pembangunan meminimalkan harga produksi.
2. Bentuk yang besar memiliki kestabilan melintang yang bagus.
3. Dapat digunakan pada perairan yang rendah.
4. Memiliki Cb yang besar sehingga gaya angkat besar.

### Kekurangan

1. Kemampuan olah gerak (*maneuver*) kurang bagus.
2. Memiliki hambatan yang sangat besar.
3. Energi dari sistem penggerak yang dibutuhkan lebih besar.
4. Tidak memiliki sistem penggerak sendiri.

## II.4.2 Jenis Tongkang

Tongkang memiliki karakteristik yang dapat menampung muatan dalam skala besar, proses pembangunan yang lebih mudah, dan biaya produksi yang lebih rendah dari kapal jenis lain, oleh karena itu belakangan ini makin berkembangnya inovasi dalam perancangan dan pemanfaatan tongkang. Menurut (Robert Allan Ltd. Naval Architects and Marine Engineers, 2014) tongkang sendiri umumnya digunakan untuk mengangkut muatan seperti kargo, muatan curah (pasir, batu bara, batu kerikil), kayu, minyak dan peti kemas, namun seiring berkembangnya zaman, terdapat beberapa jenis tongkang yang saat ini digunakan di dunia niaga berdasarkan fungsi dan muatannya, diantaranya adalah:

1. *Deck Cargo Barges*, merupakan jenis tongkang yang paling banyak digunakan, yang dapat difungsikan sebagai pengangkut muatan curah dan kargo.
2. *Tank Barges*, merupakan jenis tongkang yang berfungsi untuk menampung muatan minyak maupun gas dalam tangki.
3. *Self-Unloading Barges*, merupakan jenis tongkang yang memiliki peralatan bongkar muat sendiri di atas kapal, biasa digunakan untuk muatan semen, pasir, dan kerikil.
4. *Log Barges*, merupakan jenis tongkang yang difungsikan untuk mengangkut muatan kayu dan umumnya memiliki *crane* di sisi kapal untuk membantu proses bongkar muat.
5. *Covered Barges*, merupakan jenis tongkang yang dilengkapi dengan penutup kedap pada bagian atas ruang muat, hal ini ditujukan untuk pemuatan barang yang membutuhkan perlindungan dari cuaca luar.
6. *Sectional Barges*, merupakan jenis tongkang yang paling sederhana yang menyerupai ponton yang biasa digunakan sebagai media bantu untuk mengapungkan alat berat seperti mobil keruk untuk membantu proses pengerukan.
7. *Fuel Station Barges*, merupakan jenis tongkang yang berfungsi sebagai stasiun pengisian bahan bakar bagi kapal-kapal seperti kapal pribadi dan *workboat*.

8. *Spud Barges*, merupakan jenis tongkang yang memiliki tiang pancang di beberapa sisinya yang bertujuan agar tongkang dapat diam ditempat dan tidak terbawa arus.
9. *Crane Barges*, merupakan jenis tongkang yang digunakan untuk mengangkut *crane* di atasnya, pada umumnya tongkang jenis ini memiliki *spud* sebagai tiang pancang.
10. *Hopper Barges*, merupakan jenis tongkang yang tergolong standar untuk mengangkut muatan curah tanpa alat bongkar muat di atas kapal, dengan memiliki sudut kemiringan pada alas dasar ruang muat.
11. *Split Hopper Barges*, merupakan jenis tongkang yang memiliki sistem bongkar muat sendiri dengan cara membuka lambungnya dan menumpahkan muatannya ke dalam air. Tongkang jenis ini biasa digunakan untuk mengangkut pasir dalam proses reklamasi.
12. *Chip Scows*, merupakan jenis tongkang yang digunakan untuk mengangkut muatan curah seperti pasir, hanya saja jenis ini memiliki dinding ruang muat yang lebih tinggi.
13. *Chemical Barges*, merupakan jenis tongkang yang mempunyai fungsi untuk mengangkut muatan cairan kimia curah di dalam tangki.
14. *Car Barges*, merupakan jenis tongkang yang memiliki fungsi untuk mengangkut muatan berupa kendaraan yang memiliki *ramp door* sebagai akses keluar masuk dari kendaraan yang diangkut.
15. *Rail Car Barges*, hampir menyerupai *Ro-Ro Trailer Barges* yang berfungsi untuk mengangkut kendaraan, namun terdapat perbedaan pada jenis ini yang memiliki jalur setiap kendaraan.
16. *Container Barges*, merupakan jenis tongkang yang memiliki fungsi untuk mengangkut peti kemas. Terdapat beberapa tongkang pada jenis ini yang memiliki alat bongkar sendiri berupa *crane*.



Gambar 2. 7. *Car Barge* (GettyImages, 2014)

## II.5 *Self-Propelled Barge (SPB)*

Saat ini sedang marak dikembangkan inovasi mengenai tongkang berpenggerak sendiri atau *Self-Propelled Barge (SPB)*. Terdapat beberapa perbedaan umum antara SPB dengan

tongkang, diantaranya SPB telah dilengkapi oleh bangunan atas yang lebih sederhana sebagai tempat akomodasi para ABK, permesinan, sistem kemudi, sistem penggerak, serta perlengkapan dan peralatan. SPB biasa digunakan pada perairan yang tenang dan tidak memerlukan kecepatan yang tinggi. (Tabaczek, 2007) menjelaskan bahwa kapal tongkang yang beroperasi di sungai *inland waterway* dan perairan tenang pada umumnya hanya memiliki kecepatan kapal antara 10-15 km/jam. Sedangkan (Briggs Marine and Environmental Services, 2014) menjelaskan SPB dapat disebut sebagai perpaduan antara kapal tongkang dan kapal konvensional, hal ini terlihat dari bentuk lambung bagian tengah yang hampir kotak menyerupai tongkang, akan tetapi pada bagian haluan dan buritan memiliki bentuk yang menyerupai kapal konvensional.



Gambar 2. 8. *Self-Propelled Barge* di Sungai Hannover, Jerman (Wikipedia, 2013)

### II.5.1 Jenis *Self-Propelled Barge*

Sama halnya dengan kapal tongkang, SPB juga memiliki banyak jenis sesuai dengan kegunaannya, akan tetapi varian jenisnya belum sebanyak kapal tongkang, hal ini dikarenakan kapal jenis SPB merupakan jenis kapal yang tergolong baru. Adapun jenis-jenis dari SPB yang dibedakan sesuai dengan muatan yang diangkut, seperti di bawah ini:

1. *Self-Propelled Deck Barges*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang memiliki geladak untuk mengangkut berbagai macam jenis barang.
2. *Self-Propelled Oil Barge*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang berfungsi untuk membawa muatan minyak cair yang disimpan pada tangki ruang muat.
3. *Self-Propelled Urea Barge*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang membawa muatan berupa pupuk urea secara curah dengan keadaan atap ruang muat tertutup.
4. *Self-Propelled Container Barge*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang mempunyai fungsi untuk mengangkut muatan peti kemas.
5. *Self-Propelled Cement Barge*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang berfungsi untuk mengangkut muatan semen curah dengan struktur atap ruang muat tertutup dan kedap air.

6. *Self-Propelled Car Barges*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang memiliki peranan untuk membawa kendaraan, SPB jenis ini memiliki *ramp door* yang berfungsi sebagai pintu pada proses bongkar muat kendaraan.
7. *Self-Propelled Covered Barges*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang memiliki ruang muat yang tertutup dibagian atasnya, guna menjaga kontaminasi terhadap muatan dari cuaca luar.
8. *Self-Propelled Crane Barges*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang terdapat *crane* di atas geladaknya.
9. *Self-Propelled Hopper Barges*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang memiliki fungsi sebagai pengangkut muatan curah seperti pasir dan hasil tambang. SPB ini memiliki kemiringan pada dasar ruang muatnya.
10. *Self-Propelled Car Barges*, merupakan tongkang berpengerak sendiri yang memiliki muatan berupa mobil.

### II.5.2 *Self-Propelled Car Barge*

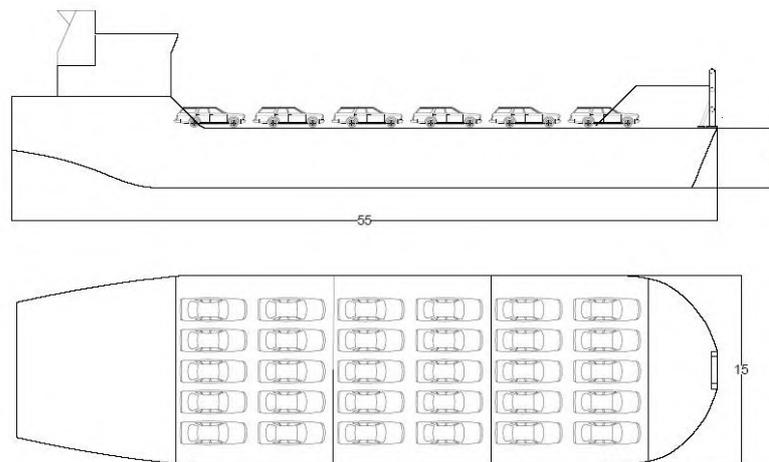
Seperti sudah dijelaskan pada poin sebelumnya, pengertian dari *Self-Propelled Car Barge* merupakan jenis kapal tongkang yang memiliki sistem penggerak sendiri yang dirancang untuk mengangkut muatan mobil. *Self-Propelled Car Barge* saat ini digunakan sebagai moda transportasi pengangkut mobil di Eropa dan Jepang semenjak tahun 2000-an. Sistem yang dikembangkan adalah pendistribusian mobil menggunakan *Self-Propelled Car Barge* melalui jalur sungai (*inland waterway*) dengan tujuan meningkatkan efisiensi biaya distribusi barang dan pengurangan beban jalan yang diakibatkan oleh truk.



Gambar 2. 9. *Self-Propelled Car Barge* di Sungai Rhine, Jerman (Hofstra University, 2014)

## II.6 Desain Kapal

Desain adalah proses untuk membuat dan menciptakan obyek baru. Dalam hal ini desain kapal dapat diartikan sebagai proses untuk membuat dan menciptakan rancangan kapal baru yang mempertimbangkan aspek teknis dengan segala batasannya dan aspek ekonomis. Pada dasarnya desain dibagi menjadi dua kategori, yaitu *invension* yang merupakan eksploitasi dari ide-ide asli untuk menciptakan suatu produk yang baru, dan *inovasion* yaitu pembaharuan atau rekayasa desain terhadap sebuah produk yang sudah ada. Keduanya memiliki tujuan yang sama yaitu untuk memperbaiki atau mempermudah dari suatu kendala yang dihadapi dari rancangan sebelumnya.



Gambar 2. 10. *Layout Awal Self-Propelled Car Barge*

### II.6.1 Tujuan Desain Kapal

Proses desain pada pembangunan kapal bertujuan untuk mempermudah, memberikan arahan yang jelas sehingga pekerjaan pembangunan kapal dapat berjalan sesuai dengan rencana dan dapat meminimalisir kesalahan dalam proses pembangunan kapal. Proses desain kapal pun bertujuan agar produk yang dihasilkan dapat mengakomodir seluruh permintaan dari pemilik kapal yang terangkum dalam *owner requirement*. *Owner requirement* merupakan kumpulan dari ketentuan yang berasal dari permintaan pemilik kapal yang selanjutnya akan dijadikan acuan dasar bagi desainer dalam merancang suatu kapal, yang pada umumnya terdiri dari ketentuan jenis kapal, jenis muatan, kapasitas muatan, kecepatan kapal, dan rute pelayaran.

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

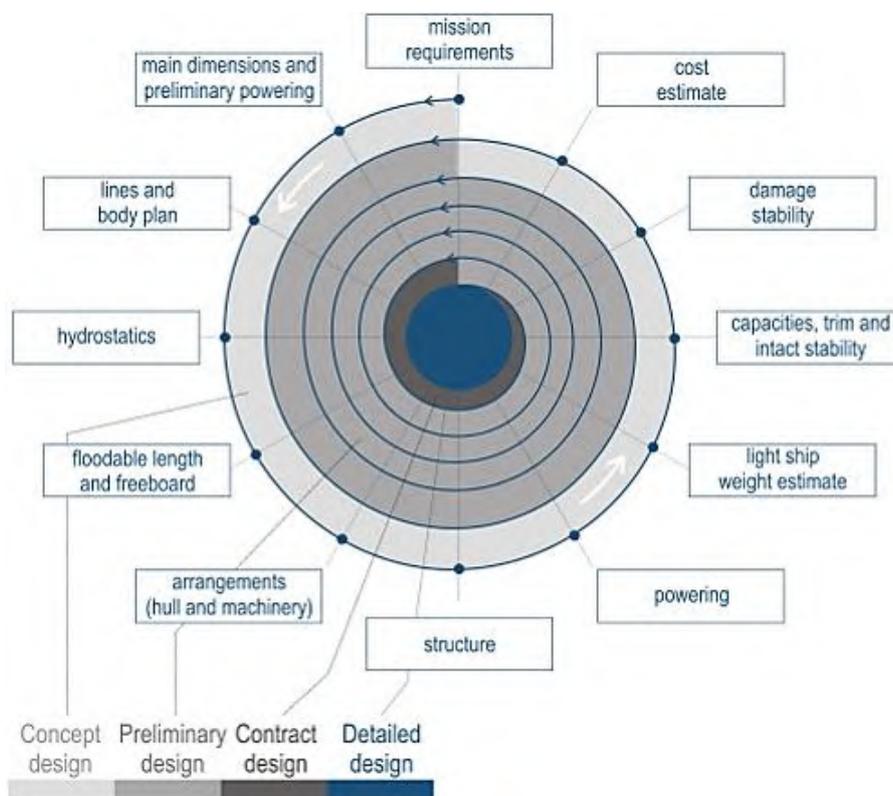
- Batasan dari pemilik kapal yang harus dipenuhi, seperti *performance* kapal, jenis dan kapasitas muatan, biaya pembangunan, biaya operasional, dll.
- Batasan fisik kapal dan persyaratan teknis yang harus dipenuhi, seperti berat dan titik berat, lambung timbul, stabilitas, persyaratan konstruksi, dll.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

## II.6.2 Tahapan Desain Kapal

Seluruh perencanaan dan analisis dalam proses mendesain kapal dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Proses ini biasa disebut dengan proses desain spiral. Pada desain spiral proses desain dibagi ke dalam 4 tahapan, yaitu: *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design*.

### 1. *Concept design*

Merupakan tahapan awal dalam proses desain dimana tahapan ini memiliki peranan untuk menerjemahkan *owner requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan dasar dari kapal yang akan didesain. Konsep bisa dibuat dengan menggunakan rumus pendekatan, kurva ataupun pengalaman untuk membuat perkiraan-perkiraan awal yang bertujuan untuk mendapatkan estimasi biaya konstruksi, biaya permesinan kapal dan biaya perlatan serta perlengkapan kapal. Hasil dari tahapan konsep desain ini umumnya berupa ukuran utama kapal, dan gambar secara umum.



Gambar 2. 11. *Design Spiral* (Friendship Systems, 2015)

### 2. *Preliminary Design*

Adalah tahap lanjutan dari concept design. Tahapan ini merupakan tahapan pendalaman teknis lebih dalam yang akan memberikan lebih banyak detail pada konsep desain. *Preliminary design* ini merupakan iterasi kedua pada desain spiral. Adapun yang dimaksud detail meliputi fitur-fitur yang memberikan dampak signifikan pada kapal, termasuk juga pendekatan awal biaya yang akan dibutuhkan. Selain itu, proses yang dilakukan pada tahap ini antara lain adalah perhitungan kekuatan memanjang kapal, pengembangan bagian midship kapal, perhitungan yang

lebih akurat mengenai berat dan titik berat kapal, sarat, stabilitas, dll. Pada tahap ini, dilakukan pemeriksaan yang terkait dengan *performance* kapal

### 3. Contract Design

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

### 4. Detail Design

Dalam proses mendesain kapal, tahapan *detail design* merupakan tahapan yang terakhir. Dimana pada tahapan ini dilakukan pendetailan gambar *key plan drawing* menjadi *production drawing* atau gambar produksi yang nantinya akan digunakan sebagai gambar arahan kerja untuk membangun kapal. Tahap ini mencakupi seluruh rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan operasional kapal. Disamping itu pada tahap ini diberikan pula petunjuk mengenai instalasi dan detail konstruksi.

## II.6.3 Metode Desain Kapal

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

### 1. Parent Design Approach

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

### 2. Trend Curve Approach

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

### 3. Iteratif Design Approach

Merupakan sebuah metode desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping, testing, dan analyzing*. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan berdasarkan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada.

#### 4. *Parametric Design Approach*

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

#### 5. *Optimization Design Approach*

Optimisasi merupakan suatu proses untuk mendapatkan beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu. Optimisasi biasa digunakan untuk mencari suatu nilai minimum atau maksimum yang ditetapkan sejak awal sebagai *objective function*. Terdapat beberapa komponen optimisasi yang terlibat dalam setiap proses iterasi, yaitu:

- *Variable* (Variabel)  
Variabel adalah nilai yang dicari dalam proses optimisasi.
- *Parameter* (Parameter)  
Parameter adalah nilai yang besarnya tidak berubah selama satu kali proses optimisasi karena adanya syarat-syarat tertentu. Parameter dapat diubah setelah satu kali proses optimisasi untuk menyelidiki kemungkinan diperolehnya hasil yang lebih baik dalam proses berikutnya.
- *Constanta* (Konstanta)  
Konstanta adalah nilai yang tidak berubah besarnya selama proses optimisasi tuntas dilakukan. Konstanta memiliki nilai yang pasti dan tidak akan berubah.
- *Constrain* (Batasan)  
Batasan adalah nilai batas yang telah ditentukan. Batasan ini menjadi syarat apakah hasil optimisasi tersebut dapat diterima atau tidak.
- *Objective Function* (Fungsi Objektif)  
Fungsi objektif adalah hubungan antara semua atau beberapa *variable* serta parameter yang nilainya akan dioptimalkan. Fungsi objektif juga disesuaikan dengan permintaan, apakah nilai yang diharapkan merupakan nilai minimum atau maksimum.

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

## II.7 Tinjauan Perhitungan Teknis Perancangan Kapal

Dalam merancang sebuah kapal, dibutuhkan perhitungan teknis untuk menunjang pembangunan kapal yang baik. Perhitungan tersebut meliputi penentuan ukuran utama kapal, hambatan kapal, daya penggerak kapal, dan titik berat kapal.

## II.7.1 The Geosim Procedure

Dalam bukunya, (Barrass, 2004) *Geosim Procedure* merupakan metode penentuan ukuran utama yang digunakan ketika sebuah permintaan memiliki kesamaan geometris dengan kapal pembanding, dalam hal ini dapat digunakan satu kapal pembanding sebagai acuan. Metode ini biasa digunakan untuk menentukan ukuran utama pada kapal jenis baru dikarenakan keberadaan kapal yang masih terbatas dengan menggunakan koefisien perbandingan geometris ukuran utama (K). Data yang dibutuhkan untuk menggunakan metode ini adalah ukuran utama kapal seperti panjang kapal (L), lebar kapal (B), sarat kapal (T), dan tinggi kapal (H) dengan  $C_D$  (*Coefficient Displacement*) dan  $C_B$  (*Coefficient Block*) yang dihasilkan memiliki nilai yang hampir serupa.

Adapun tahapan dalam penentuan ukuran utama menggunakan *Geosim Procedure* seperti di bawah ini:

1. Menentukan nilai DWT (*Deadweight Tonnes*) kapal yang akan dirancang ( $W_2$ ),
2. Pengumpulan data kapal yang akan dijadikan sebagai kapal acuan meliputi ukuran utama (L, B, T, H, DWT, dan displasemen). Kapal yang akan dijadikan sebagai kapal acuan harus dengan tipe kapal yang sama dengan rasio ukuran utama yang memenuhi persyaratan.
3. Ukuran utama kapal yang akan dirancang ( $L_2, B_2, T_2$ , dan  $H_2$ .) didapat dari ukuran utama kapal acuan ( $L_1, B_1, T_1$ , dan  $H_1$ .) yang dikalikan dengan koefisien geometris (K).
4. Koefisien geometris (K) didapatkan dari persamaan geosim di bawah ini:

$$\begin{aligned} (L_2 / L_1)^3 &= W_2 / W_1 \\ L_2 / L_1 &= (W_2 / W_1)^{1/3} \\ L_2 / L_1 &= K \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} W_2 &= \text{DWT kapal yang dirancang} && (\text{ton}) \\ W_1 &= \text{DWT kapal acuan} && (\text{ton}) \end{aligned}$$

5. Ukuran utama kapal yang dirancang didapatkan dari perhitungan:

$$\begin{aligned} L_2 &= K \times L_1 && (\text{m}) \\ B_2 &= K \times B_1 && (\text{m}) \\ T_2 &= K \times T_1 && (\text{m}) \\ H_2 &= K \times H_1 && (\text{m}) \end{aligned}$$

6. Mencari nilai  $C_D$  dan  $C_B$  dari kapal acuan seperti berikut:

Vessel type	$C_{\text{cargo DWT}}$	$C_{\text{total DWT}}$
large tankers	0.85 - 0.87	0.86 - 0.89
product tankers	0.77 - 0.83	0.78 - 0.85
container ships	0.56 - 0.63	0.70 - 0.78
Ro-Ro ships	0.50 - 0.59	
large bulk carriers	0.79 - 0.84	0.81 - 0.88
small bulk carriers	0.71 - 0.77	
refrigerated cargo ships	0.50 - 0.59	0.60 - 0.69
fishing trawlers	0.37 - 0.45	

Gambar 2. 12. Koefisien Displasemen Berdasarkan Tipe Kapal (Parsons, 2001)

$C_D$  = Koefisien perbandingan antara DWT dan displacement (ton) pada keadaan muatan penuh di *summer loaded waterline* (SLWL).

$$C_D = \frac{DWT \text{ (ton)}}{Displacement \text{ (ton)}}$$

$C_B$  = Koefisien perbandingan antara volume kapal yang tercelup air dan volume balok kapal ( $L \times B \times T$ ).

$$C_B = \frac{Displacement \text{ (ton)}}{L \times B \times T \times \rho}$$

7. Setelah didapatkan ukuran utama yang baru maka dilakukan pengecekan terhadap hasil perhitungan.

$$\Delta_2 = L_2 \times B_2 \times T_2 \times C_B \times \rho \quad (\text{ton})$$

Dimana:

$$\Delta_2 = \text{Displasemen kapal dirancang} \quad (\text{ton})$$

$$\rho = \text{Masa jenis air laut} \quad (\text{ton/m}^3)$$

8. Kesesuaian penggunaan metode geosim dapat disesuaikan dengan formula:

$$C_{D2} = DWT_2 / \Delta_2$$

Dan nilai  $C_{D2}$  diharapkan mendekati nilai  $C_{D1}$  ( $C_{D2} \approx C_{D1}$ )

## II.7.2 Rasio Ukuran Utama dan Koefisien

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

- Length-Beam Ratio (L/B)

Yaitu rasio perbandingan antara panjang dan lebar kapal. Rasio ini dapat berpengaruh terhadap hambatan kapal dan kemampuan olah gerak kapal. Batasan rasio yang dianjurkan adalah  $3,5 < L/B < 10$

- Beam-Draft Ratio (B/T)

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

- Length-Draft Ratio (L/T)

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

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

1. Froude Number ( $F_n$ )

Froude number merupakan rasio hubungan kecepatan kapal dan panjang kapal. Suatu kapal dikatakan cepat atau tidaknya tergantung besaran nilai dari *Froude Number*. Berikut formula dari  $F_n$  menurut (Lewis, 1988):

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \times L}}$$

2. Block Coefficient ( $C_B$ )

Merupakan koefisien perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dalam air dengan volume balok yang melingkupi badan kapal yang tercelup ( $L \times B \times T$ ). Adapun (Parsons, 2001) menjelaskan formula  $C_B$  seperti di bawah ini:

$$C_B = -4.22 + 27.8 \sqrt{F_n} - 39.1 F_n + 46.6 F_n^3$$

3. Midship Coefficient ( $C_M$ )

Merupakan koefisien perbandingan antara luas bidang tengah kapal yang tercelup air dengan luasan segi empat yang melingkupinya ( $B \times T$ ). Adapun formula  $C_M$  menurut (Parsons, 2001) seperti di bawah ini:

$$C_M = 1.006 - 0.0056 C_B - 3.56$$

4. Prismatic Coefficient ( $C_P$ )

Merupakan koefisien perbandingan antara volume kapal yang tercelup air dengan volume prisma kapal. Dan (Parsons, 2001) menjelaskan formula  $C_P$  seperti di bawah ini:

$$C_P = \frac{C_B}{C_M}$$

5. Waterplane Coefficient ( $C_{WP}$ )

Merupakan koefisien perbandingan antara luasan bidang permukaan air pada saat kapal muatan penuh dengan luasan persegi pada area permukaan air ( $L \times B$ ). Berikut formula  $C_{WP}$  menurut (Parsons, 2001) seperti di bawah ini:

$$C_{WP} = 0.262 + 0.760 C_P$$

### II.7.3 Hambatan Kapal

Hambatan kapal atau biasa disebut tahanan kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal dari arah yang berlawanan kapal sehingga melawan gerakan kapal pada suatu kecepatan. Perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan daya mesin yang dibutuhkan agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diharapkan. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi dari besaran hambatan kapal, seperti ukuran utama kapal, bentuk badan kapal di bawah garis air, dan kecepatan kapal yang dibutuhkan. (Lewis, 1988) menjelaskan untuk menghitung hambatan kapal, digunakan metode Holtrop dan Mennen. Formula perhitungan yang digunakan dalam menentukan harga hambatan total sebagai berikut:

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

Dimana:

P	= Masa jenis air laut	(ton/m <sup>3</sup> )
V <sub>S</sub>	= Kecepatan kapal	(m/s)
S <sub>Tot</sub>	= Luas total permukaan kapal di bawah garis air	(m <sup>2</sup> )
C <sub>F</sub>	= Koefisien gesek ( <i>Frictional coefficient</i> )	
(1+k)	= Faktor bentuk lambung	
C <sub>A</sub>	= <i>Model-ship correlation allowance</i>	
R <sub>W</sub>	= Hambatan akibat pengaruh gelombang	(kN)
W	= Displasemen kapal	(ton)

### 1. Wave-making Resistance (R<sub>W</sub>)

*Wave-making resistance* atau yang biasa disebut hambatan gelombang adalah hambatan yang disebabkan oleh gelombang air yang timbul akibat bergeraknya kapal. Menurut (Lewis, 1988) formula untuk menghitung besar hambatan gelombang seperti di bawah ini:

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

Untuk kapal berkecepatan rendah dengan  $Fn \leq 0.4$  maka perhitungan hambatan gelombang menggunakan *Havelock Formula*.

- Koefisien C<sub>1</sub>

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{-1.3757}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} C_4 &= 0.2296 (B/L)^{0.3333} && \text{untuk } B/L \leq 0.11 \\ C_4 &= B/L && \text{untuk } 0.11 \leq B/L \leq 0.25 \\ C_4 &= 0.5 - 0.0625 L/B && \text{untuk } B/L \geq 0.25 \end{aligned}$$

- iE = Setengah dari besar sudut masuk garis air

$$iE = 125.67 (B/L) - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551 (LCB + (6.8 (T_a - T_f)/T))^3$$

Dimana:

$$\begin{aligned} T &= \text{Sarat kapal} && (\text{m}) \\ T_a &= \text{Sarat kapal di after peak} && (\text{m}) \\ T_f &= \text{Sarat kapal di fore peak} && (\text{m}) \end{aligned}$$

- Koefisien C<sub>2</sub>

C<sub>2</sub> = Koefisien pengaruh dari penggunaan bulbous bow

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

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{BT} &= \text{Luasan bulbous bow} && (\text{m}^2) \\ r_B &= \text{Jari-jari efektif bulbous bow} && (\text{m}) \\ r_B &= 0.56 A_{BT}^{0.5} \\ i &= T_f - h_B - 0.4464 r_B \\ h_B &= \text{Tinggi bulbous bow} && (\text{m}) \end{aligned}$$

Dan untuk kapal tanpa bulbous bow, C<sub>2</sub> = 1

- Koefisien  $C_3$

$C_3$  = Koefisien pengaruh dari transom

$$C_3 = 1 - \frac{0.8 A_T}{B \times T \times C_M}$$

Dimana:

$A_T$  = Luasan transom pada keadaan kecepatan kapal nol ( $m^2$ )

- Koefisien  $m_1$

$$m_1 = 0.01404 (L/T) - 1.7525 \left( V^{1/3}/L \right) - 4.7932 (B/L) - C_5$$

Dimana:

$C_5$  = Koefisien dengan fungsi koefisien prismatic ( $C_P$ )

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

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

- Koefisien  $m_2$

$$m_2 = C_6 \times 0.4 e^{-0.034 \times Fn^{-3.29}}$$

Dimana:

$C_6$  = Koefisien dengan fungsi  $L^3/V$

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

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

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

- Koefisien  $\lambda$

$\lambda$  = Koefisien dengan fungsi  $L/B$

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

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

- Gaya berat ( $W$ )

$$W = \rho \times g \times V \quad (\text{kN})$$

Dimana:

$P$  = Masa jenis air laut ( $\text{ton}/m^3$ )

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$V$  = Volume displasemen ( $m^3$ )

## 2. Form Factor of Bare Hull (1+k)

*Form factor of bare hull* adalah faktor dari pengaruh bentuk lambung kapal, yang di dalamnya meliputi faktor bentuk lambung itu sendiri dan faktor penambahan bentuk lambung lainnya, serta luasan dari permukaan lambung dan luasan dari penambahan bentuk lambung lainnya. Adapun formula menurut (Lewis, 1988) untuk menghitung harga dari faktor pengaruh bentuk lambung seperti di bawah ini:

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

- Faktor  $1+k_1$

$1+k_1$  = Faktor pengaruh dari bentuk lambung

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

Dimana:

$c$  = Koefisien pengaruh bentuk *afterbody*

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

Tabel 2. 4. Harga  $C_{stern}$

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

- Faktor  $1+k_2$

$1+k_2$  = Faktor pengaruh dari penambahan bentuk lambung

$$1 + k_2 = \frac{\sum (S_i \times (1 + k_2))}{\sum S_i}$$

Dimana:

$S$  = Luasan untuk masing-masing penambahan permukaan basah ( $m^2$ )

$1+k_2$  = Harga faktor penambahan bentuk lambung dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 2. 5. Harga  $1+k_2$

Harga $1+k_2$	Tipe Penambahan Permukaan
1.3 - 1.5	<i>Rudder of single screw ship</i>
2.8	<i>Spade type rudders of twin screw ships</i>
1.5 - 2	<i>Skeg-rudders of twin-screw ships</i>
3.0	<i>Shaft Brackets</i>
2.0	<i>Bossings</i>
1.4	<i>Bilge keels</i>
2.8	<i>Stabilizer fins</i>
2.0	<i>Shafts</i>
2.7	<i>Sonar dome</i>

- Total Luas Permukaan Basah ( $S_{tot}$ )

$S_{tot}$  = Total luasan permukaan basah

$$S_{Tot} = S + S_{App}$$

Dimana:

$S$  = Luas permukaan lambung kapal di bawah garis air

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

$S_{App}$  = Luas permukaan komponen kapal selain lambung kapal di bawah garis air dan dihitung luasan masing-masing untuk setiap komponennya.

### 3. Friction Coefficient ( $C_F$ )

*Friction coefficient* atau biasa disebut dengan koefisien gesek adalah koefisien dari hambatan gesek yang terjadi pada kapal selama kapal berlayar. (Lewis, 1988) menjelaskan terdapat formula perhitungan untuk menghitung koefisien gesek seperti di bawah ini:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

- $Rn$  = Reynolds number

Dimana:

$$Rn = \frac{Vs \times LWL}{\nu_s}$$

$Vs$  = Kecepatan kapal (m/s)

$LWL$  = Panjang garis air (m)

$\nu_s$  = Viskositas kinematis untuk air laut

$\nu_s$  =  $1.1883 \times 10^{-6}$  (m/s)

### 4. Correlation Allowance ( $C_A$ )

(Lewis, 1988) menjelaskan *correlation allowance* merupakan faktor penambahan terhadap nilai hambatan kapal yang disebabkan oleh adanya efek kekasaran pada lambung selama kapal mendapatkan hambatan kapal. Formula  $C_A$  dirumuskan pada konferensi International Towing Tank Conference (ITTC) pada 1963 di London, Inggris. Adapun formula dalam menentukan harga  $C_A$  seperti di bawah ini:

- Untuk keadaan  $T_F / LWL > 0.04$  digunakan perhitungan:

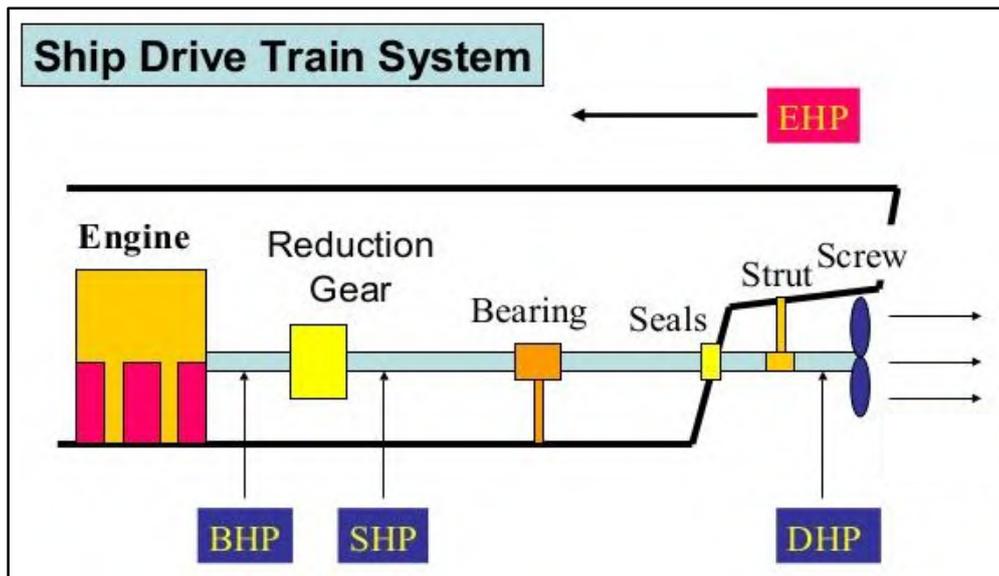
$$C_A = 0.006 (LWL + 100)^{0.16} - 0.00205$$

- Untuk keadaan  $T_F / LWL < 0.04$  digunakan perhitungan:

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

## II.7.4 Kebutuhan Daya Penggerak Kapal

Untuk menggerakkan suatu kapal dibutuhkan sebuah sistem penggerak yang dapat membuat kapal bergerak maju. Macam dari sistem penggerak kapal sangatlah bervariasi, baik itu sistem penggerak dengan bantuan mesin maupun tanpa bantuan mesin, namun sampai saat ini sistem penggerak dengan bantuan mesin masih dinilai sebagai sistem yang paling efisien dalam mengoperasikan kapal-kapal niaga. Agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan maka perlu untuk disesuaikan dengan kapasitas dan daya dari mesin penggerak utama (*main engine*). Oleh karena itu diperlukannya perencanaan dan perhitungan terhadap kebutuhan daya penggerak kapal. Secara garis besar perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal dapat dibagi menjadi beberapa komponen daya seperti pada skema di bawah ini:



Gambar 2. 13. Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal

Seperti dilihat pada gambar di atas, kebutuhan daya mesin penggerak utama (*break horse power*) dapat dicari setelah melakukan perhitungan komponen daya yang ada sebelumnya secara beruntun. Berikut penjabaran dari masing-masing komponen daya menurut (Lewis, 1988):

1. Effective Horse Power (EHP)

EHP merupakan daya yang dibutuhkan untuk melawan hambatan yang terjadi pada kapal sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan harga EHP:

$$EHP = R_T \times V_s$$

Dimana:

- EHP = Effective Horse Power (HP) / (kW)
- $R_T$  = Hambatan total kapal (kN)
- $V_s$  = Kecepatan dinas kapal (m/s)

2. Delivery Horse Power (DHP)

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

$$DHP = EHP / \eta_D$$

Dimana:

- EHP = Effective Horse Power (HP) / (kW)
- $\eta_D$  = Efisiensi baling-baling (*propeller efficiency*)
- $\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_O$
- $\eta_H$  = Efisiensi lambung (*hull efficiency*)
- $\eta_H = (1 - t) / (1 - w)$

Dimana:

$w$  = *Wake friction*

$w = 2 \times C_B^5 (1 - C_B) + 0.04$  untuk kapal dengan *twin screw*

$t$  = *Thrust deduction*

$t = 0.70 w + 0.06$  untuk kapal dengan *twin screw*

- $\eta_R$  = Efisiensi relatif-rotatif (*relative-rotative efficiency*)

$\eta_R = 0.9737 + 0.111 (C_p - 0.0225 LCB) + (-0.06325 P/D)$

Dimana:

$P/D$  = *Pitch ratio*

$LCB$  = Panjang terhadap titik apung

- $\eta_o$  = *Open water efficiency*

### 3. Shaft Horse Power (SHP)

SHP merupakan daya yang dibutuhkan setelah melewati *stern tube* dan *bearing*. Terdapat pengurangan daya akibat adanya penurunan efisiensi *stern tube* dan *bearing*. Adapun perhitungan yang digunakan untuk menentukan besaran daya SHP:

$$SHP = DHP / \eta_S \eta_B$$

Dimana:

$DHP$  = *Delivery Horse Power* (HP) / (kW)

$\eta_S \eta_B$  = Efisiensi *stern tube* dan *bearing*

$\eta_S \eta_B = 0.98$ , untuk peletakan *main engine* di bagian belakang kapal

$\eta_S \eta_B = 0.97$ , untuk peletakan *main engine* di bagian tengah kapal

### 4. Break Horse Power (BHP)

BHP merupakan daya yang dibutuhkan oleh mesin penggerak utama yang telah melewati sistem transmisi. Daya BHP yang dibutuhkan lebih besar dari SHP akibat adanya pengurangan daya yang diakibatkan pengurangan efisiensi transmisi. Untuk mendapatkan harga BHP dapat ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$BHP = SHP / \eta_T$$

Dimana:

$BHP$  = *Break Horse Power* (HP) / (kW)

$\eta_T$  = *Transmission efficiency*

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

$li$  = Koefisien terhadap penggunaan komponen sistem penggerak

Tabel 2. 6. Harga  $li$

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

### 5. Maximum Continuous Rating (MCR)

MCR merupakan margin pada kebutuhan daya mesin penggerak utama (BHP) yang disebabkan oleh penambahan adanya *power design margin* yang merupakan margin penambahan akibat perencanaan kebutuhan daya mesin masih banyak menggunakan pendekatan, dan *power service margin* mengingat mesin akan mengalami penurunan performa seiring waktu penggunaannya. MCR juga digunakan sebagai daya yang digunakan dalam pemilihan *main engine*. Berikut merupakan tahapan untuk mendapatkan harga MCR:

$$MCR = BHP(1 + M_D)/(1 - M_S)$$

Dimana:

$M_D$  = Power design margin

$M_D$  = 3 – 5 %

$M_S$  = Power service margin

$M_S$  = 15 – 25 %

## II.7.5 Berat dan Titik Berat Kapal

Pada proses mendesain kapal, perhitungan berat dan titik berat menjadi aspek yang penting untuk diperhatikan, mengingat berat dan titik berat dapat berpengaruh pada perhitungan dan batasan teknis lainnya seperti trim, stabilitas, perhitungan kekuatan, dll. Perhitungan berat pada kapal pada umumnya terbagi menjadi dua komponen, yaitu LWT (*Lightweight Tonnage*) dan DWT (*Deadweight Tonnage*).

### 1. Berat *Lightweight Tonnage* (LWT)

LWT digolongkan menjadi beberapa bagian, diantaranya adalah berat komponen baja, berat peralatan dan perlengkapan, dan berat permesinan.

#### a. Berat Komponen Baja Kapal

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

#### i. Berat Baja Di Bawah Geladak Utama

Merupakan berat baja kapal di bawah geladak utama meliputi berat kulit lambung dan konstruksi lambung. Menurut (Schneekluth & Betram, 1998) untuk jenis kapal *cargo ship* dihitung dengan formula:

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

Dimana:

$W_{HS}$  = Berat baja di bawah geladak utama (ton)

$V_u$  = Volume kapal di bawah geladak utama (m<sup>3</sup>)

$C_{ST}$  = 0.090 ~ 0.100

$C_{BD}$  = *Block coefficient to waterline tangential to topmost continuous deck*

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

- $C_1 = 0.25$       untuk kapal dengan *little frame flare*  
 $C_1 = 0.4 - 0.7$       untuk kapal dengan *marked frame flare*

ii. Berat Bangunan Atas dan Rumah Geladak

Pada dasarnya seluruh bangunan kapal yang berada di atas geladak utama merupakan bagian dari dua komponen yaitu bangunan atas (*superstructure*) dan rumah geladak (*deck house*). Dimana *superstructure* meliputi *poop* dan *forecastle*, sementara *deck house* meliputi bangunan di atas *superstructure*. Untuk menghitung berat dari *superstructure* dan *deck house* menurut (Schneekluth & Betram, 1998) dapat digunakan formula sebagai berikut:

$$W_n = V_n \times C_n$$

Dimana:

$V_n$  = Volume bangunan yang akan dicari (m<sup>3</sup>)

$C_n$  = Koefisien berat baja bangunan yang akan dicari (ton/m<sup>3</sup>)

Untuk koefisien berat baja bangunan kapal dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

$F_o / F_u$  = Perbandingan antara luas geladak *layer* di atasnya dengan *layer* di bawahnya

Tabel 2. 7. Harga Koefisien *Superstructure*

Type <i>Superstructure</i>	Harga Koefisien Berat Baja <i>Superstructure</i>
Forecastle dengan panjang kapal $\geq 140$ m	0.1 ton/m <sup>3</sup>
Forecastle dengan panjang kapal $\approx 120$ m	0.13 ton/m <sup>3</sup>
Poop	0.075 ton/m <sup>3</sup>

$F_o/F_u$	Layer				
	I	II	III	IV	Wheelhouse
1.0	0.057	0.056	0.052	0.053	0.040
1.25	0.064	0.063	0.059	0.060	0.045
1.5	0.071	0.070	0.065	0.066	0.050
1.75	0.078	0.077	0.072	0.073	0.055
2.0	0.086	0.084	0.078	0.080	0.060
2.25	0.093	0.091	0.085	0.086	0.065
2.5	0.100	0.098	0.091	0.093	0.070

Gambar 2. 14. Harga Koefisien *Deck House*

iii. Berat Koreksi Baja Kapal

Di dalamnya meliputi berat konstruksi sekat, *double bottom*, dan dudukan mesin induk.

- Berat Konstruksi Sekat

$$W_{BC} = 25\% \times W_{HS}$$

Dimana:

$W_{HS}$  = Berat baja di bawah geladak utama (ton)

- Berat Konstruksi Alas Ganda (*Double Bottom*)

$$W_{DB} = V_{DB} \times C_{DB}$$

Dimana:

$$V_{DB} = \text{Volume } double \text{ bottom} \quad (\text{m}^3)$$

$$C_{DB} = \text{Koefisien berat konstruksi } double \text{ bottom} \quad (\text{ton/m}^3)$$

$$C_{DB} = 0.1 \text{ ton/m}^3$$

- Berat *Engine Foundation*

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

Dimana:

$$BHP = \text{Break Horse Power} \quad (\text{kW})$$

$$n = \text{Putaran mesin utama} \quad (\text{rpm})$$

b. Berat Komponen Sitem Kapal

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

- Berat *Propulsion units*
- Berat *Electrical units*
- Berat *Other units*

i. Berat Sistem Propulsi

- Berat Mesin Utama (*Main Engine*)

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

- Berat *Gear Box*

$$W_{GB} = (0.3 \sim 0.4) BHP/n$$

- Berat Baling-Baling

$$W_{Prop} = D^3 \times K$$

Dimana:

$$D = \text{Diameter } propeller \quad (\text{m})$$

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

$$ds = \text{Diameter poros } propeller \quad (\text{m})$$

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

$A_E/A_O$  = Perbandingan antara luas *propeller expanded* dengan luas lingkaran

$Z$  = Jumlah daun *propeller*

- Berat Poros Baling-Baling

$$M = M/Ls \times Ls$$

Dimana:

$$Ls = \text{Panjang poros } propeller \quad (\text{m})$$

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

$$DHP = \text{Delivery Horse Power} \quad (\text{kW})$$

ii. Berat Sistem Kelistrikan

$$W_E = 0.001 \times BHP \times (15 + 0.014 \times BHP)$$

iii. Berat Sistem Permesinan Lainnya

$$W_{MO} = (0.04 \sim 0.07) \times BHP$$

c. Berat Peralatan dan Perlengkapan

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

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

Untuk perhitungan *hatch cover* dapat menggunakan:

	Weight in kg/m hatchway length				
Hatchway breadth [m]	6	8	10	12	14
Load 1.75 t/m <sup>2</sup>	826	1230	1720	2360	3150
1 container layer	826	1230	1720	2360	3150
2 container layers	945	1440	2010	2700	3550

Gambar 2. 15. Estimasi Berat *Hatch Cover*

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

Untuk estimasi berat *crane* yang terpasang di atas kapal dapat dilihat di bawah ini:

Max. load (t)	Weight (t) at max. working radius			
	15 m	20 m	25 m	30 m
10	18	22	26	
15	24	28	34	
20		32	38	45
25		38	44	54
30		42	48	57
35		46	52	63

Gambar 2. 16. Estimasi Berat *Crane*

iii. Group III, untuk berat peralatan dan perlengkapan di ruang akomodasi (*living quarter*)

$$W_{III} = Vn \times C_{III}$$

Dimana:

Vn = Volume bangunan yang akan dicari (m<sup>3</sup>)

C<sub>III</sub> = Koefisien berat E&O group III (ton/m<sup>3</sup>)

= 160 ~ 170 kg/m<sup>2</sup> fungsi luasan tipe kapal kargo berukuran kecil dan sedang

= 60 ~ 70 kg/m<sup>3</sup> fungsi volume tipe kapal kargo berukuran kecil dan sedang

= 180 ~ 200 kg/m<sup>2</sup> fungsi luasan tipe kapal kargo dan tanker berukuran besar

= 80 ~ 90 kg/m<sup>3</sup> fungsi volume tipe kapal kargo dan tanker berukuran besar

iv. Group IV, untuk peralatan dan perlengkapan lainnya

$$W_{IV} = (L \times B \times H)^{2/3} \times C_{IV}$$

Dimana:

C<sub>IV</sub> = 0.18 ~ 0.26 (ton/m<sup>2</sup>)

## 2. Berat *Deadweight Tonnage* (DWT)

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

### a. Berat Muatan (*Payload*)

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

### b. Berat *Crew* dan *Consumables*

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

Dimana:

$$C_{C\&E} = \text{Koefisien berat crew} \quad (\text{ton/orang})$$

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

$$n_{Crew} = \text{Jumlah crew} \quad (\text{orang})$$

### c. Berat Air Tawar (*Fresh Water*)

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

Dimana:

$$C_{FW} = \text{Koefisien berat air tawar} \quad (\text{ton/orang hari})$$

$$C_{FW} = 0.17$$

### d. Berat *Provision and Store*

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

Dimana:

$$C_{PR} = \text{Koefisien berat provision and store} \quad (\text{ton/orang hari})$$

$$C_{PR} = 0.01$$

### e. Berat Bahan Bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO)

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

Dimana:

$$SFR = \text{Specific Fuel Rate} \quad (\text{ton/kW jam})$$

$$MCR = \text{Maximum Continuous Rating} \quad (\text{kW})$$

$$R = \text{Jarak pelayaran} \quad (\text{km})$$

$$Vs = \text{Kecepatan dinas kapal} \quad (\text{m/s})$$

$$\text{Margin} = 10\%$$

### f. Berat Bahan Bakar *Marine Diesel Oil* (MDO)

$$W_{DO} = C_{DO} \times W_{Fuel} \quad (\text{ton})$$

Dimana:

$$C_{DO} = \text{Koefisien berat bahan bakar MDO}$$

$$= 0.2$$

g. Berat Lubrication Oil (Minyak Pelumas)

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

Dimana:

$$P_{LO} = \text{Masa jenis minyak pelumas} \quad (\text{ton/m}^3)$$

### 3. Titik Berat

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

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

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

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

### 4. Batasan Berat dan Titik Berat

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

a. Koreksi Displasemen

Merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara gaya apung dan gaya berat. Adapun batasan maksimum dari harga selisih antara gaya apung dan gaya berat sebesar 5 % dari harga gaya apung.

$$\frac{B - G}{B} \times 100 \% \leq 5 \%$$

Dimana:

B = Gaya apung atau displasemen (ton)  
G = Gaya berat atau LWT + DWT (ton)

b. Koreksi Titik Berat

Koreksi titik berat merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara jarak titik apung dan jarak titik berat. Untuk batasan maksimum dari harga selisih antara jarak titik apung dan jarak titik berat sebesar 1 % dari harga panjang garis air.

$$\frac{LCB - LCG}{LWL} \times 100 \% \leq 1 \%$$

Dimana:

LCB = Jarak titik apung searah memanjang (m)  
LCG = Jarak titik berat searah memanjang (m)  
LWL = Panjang garis air (m)

## II.7.6 Lambung Timbul Kapal (*Freeboard*)

Lambung timbul atau biasa disebut *freeboard* adalah jarak yang diukur secara vertikal pada bagian *midship* kapal dari tepi garis geladak hingga garis air di area *midship*. *Freeboard* merupakan aspek penting dalam perencanaan desain kapal, hal ini dikarenakan *freeboard* digunakan juga sebagai daya apung cadangan kapal dan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan, baik keselamatan muatan, *crew*, dan kapal itu sendiri. Terdapat beberapa peraturan mengenai batasan-batasan dari *freeboard* yaitu PGMI (Peraturan Garis Muat Indonesia) dan peraturan internasional ICLL (*International Convention on Load Lines*) tahun 1996 di London, Inggris.

Dalam menentukan besaran *freeboard* menurut ICLL, tipe kapal dibedakan menjadi dua tipe menurut kriterianya, yaitu:

- Kapal Tipe A, adalah kapal yang memiliki kriteria seperti:
  - Kapal yang didesain memuat muatan cair curah
  - Kapal dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, serta ditutup penutup bermaterial baja yang kedap.
  - Kapal dengan kemampuan menyerap air atau gas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.
  - Contoh jenis kapal yang termasuk pada tipe A adalah *Tanker* dan *LNG Carrier*.
- Kapal Tipe B, adalah kapal yang tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A.

Untuk perhitungan besar nilai *freeboard* dilakukan dengan menggunakan batas tinggi minimum *freeboard* yang sudah ditentukan sesuai tabel *freeboard*, dan penambahan atau pengurangan dari beberapa koreksi yang telah ditentukan. Adapun tahapan dalam menentukan besaran tinggi minimum *freeboard*, seperti:

1. Menentukan besar tinggi minimum *freeboard* yang sudah ditentukan dalam tabel *freeboard* sesuai tipe kapal yang berdasarkan fungsi panjang kapal ( $F_1$ ). Apabila ukuran panjang kapal tidak tersedia, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai  $F_1$ .

2. Untuk kapal dengan panjang antara 24 - 100 meter dilakukan koreksi penambahan tinggi *freeboard* ( $F_2$ ) dengan formula:  

$$F_2 = 7.5 (100 - L)(0.35 - E/L) \quad (\text{mm})$$
 atau,  

$$F_2 = 0.09 (328 - L)(0.35 - E/L) \quad (\text{inches})$$
 Dimana:  
 $L$  = Panjang kapal dalam satuan *feet* (ft)  
 $E$  = Panjang efektif dari *superstructure* (m)
3. Dilakukan koreksi penambahan koefisien blok ( $C_B$ ), apabila kapal memiliki harga  $C_B$  lebih dari 0.68 ( $F_3$ ), dengan formula:  

$$F_3 = (C_B + 0.68)/1.36 \quad (\text{mm})$$
4. Kapal dengan ukuran tinggi lebih dari  $L/15$  maka dilakukan koreksi penambahan tinggi ( $F_4$ ), dengan formula:  

$$F_4 = (D - L/15) R \quad (\text{mm})$$
 Dimana:  
 $R = L/0.48$  untuk kapal dengan  $L < 120$  m  
 $R = 250$  untuk kapal dengan  $L > 120$  m
5. Koreksi pengurangan tinggi *freeboard* dapat dilakukan berdasarkan fungsi panjang efektif *superstructure* ( $F_5$ ) dengan ketentuan di bawah ini:

Tabel 2. 8. Harga Koreksi  $F_5$  Untuk Kapal Tipe B

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

### II.7.7 Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali kepada kedudukan kesetimbangan dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain :

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

Keseimbangan statis suatu benda dibedakan atas tiga macam, yaitu :

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

Terdapat beberapa metode dalam menentukan besaran kapal. Untuk metode yang digunakan untuk desain *Self-Propelled Car Barge* ini sesuai dengan metode yang dijelaskan oleh (Manning) yang mempertimbangkan besar lengan pengembali GZ. Untuk perhitungan GZ dapat didapatkan seperti berikut:

$$GZ = GG' \sin \phi + b_1 \sin 2\phi + b_2 \sin 4\phi + b_3 \sin 6\phi$$

Dimana:

$\Phi$  = sudut inklinasi

$$GG' = KG' - KG$$

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

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

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

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

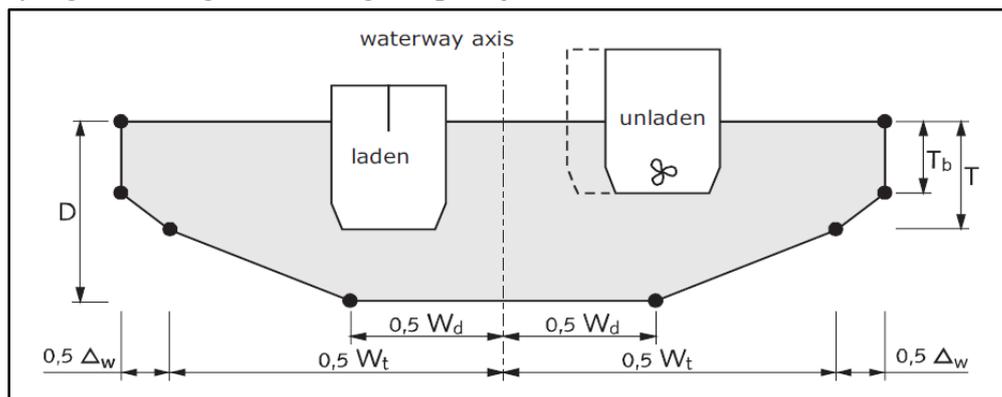
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 30° adalah 0.055 m.rad.
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 40° adalah 0.09 m.rad.
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ antara sudut oleng 30°-40° adalah 0.03 m.rad.
- Lengan statis GZ pada sudut oleng  $\geq 30^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.20 m.
- Jarak GM pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0.15 m.
- Lengan statis (GZ) maksimum terjadi tidak boleh kurang dari 25°.

## II.7.8 Batasan Kondisi Perairan

Seiring berkembangnya inovasi dalam dunia perkapalan dan semakin tingginya kebutuhan akan sarana transportasi, saat ini kapal tidak hanya dioperasikan pada daerah

pelayaran laut saja, melainkan digunakan pula untuk beroperasi di perairan sungai atau biasa disebut dengan *inland waterway*. Di beberapa negara maju dan berkembang, perairan sungai tidak hanya dimanfaatkan sebagai sarana transportasi, namun juga digunakan sebagai sarana pariwisata.

Akan tetapi terdapat batasan perairan yang perlu diperhatikan mengingat sungai memiliki dimensi ukuran yang terbatas. Dimensi sungai sangatlah berpengaruh terhadap penentuan ukuran utama kapal, seperti lebar kapal dibatasi oleh lebar sungai, sarat kapal dibatasi oleh kedalaman sungai, panjang kapal dibatasi oleh lebar sungai apabila kapal tersebut perlu memutar balik, dan tinggi kapal di atas sarat dibatasi oleh *air draft* atau ketinggian maksimum apabila terdapat bangunan yang melintang di atas sungai seperti jembatan.



Gambar 2. 17. Ukuran Sungai Pada Potongan Trapesium (Rijkswaterstaat, 2011)

Apabila dilihat pada gambar di atas terdapat keterangan ukuran yang perlu untuk diperhatikan, berikut ini merupakan penjabaran terhadap keterangan-keterangan di atas:

- D = Kedalaman sungai minimum (m)
- $T_b$  = Sarat kapal dalam kondisi muatan kosong (m)
- T = Sarat kapal dalam kondisi muatan penuh (m)
- $W_d$  = Lebar dasar sungai minimum (m)
- $W_t$  = Lebar sungai minimum pada ketinggian dasar kapal (m)
- $\Delta_w$  = Lebar sungai tambahan akibat pengaruh angin (m)

Dalam penentuan batasan minimum ukuran lebar dan sarat kapal, batasan dimensi sungai dibedakan menjadi tiga berdasarkan jenis penggunaan jalur pelayaran kapal, yaitu penggunaan sungai dengan satu jalur kapal (*single-line*), dua jalur kapal dengan jarak normal (*two-line normal*), dan dua jalur kapal dengan jarak yang sempit (*two-line narrow*). Berikut merupakan batasan ukuran sungai sesuai dengan jenis pelayarannya:

Tabel 2. 9. Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur (Rijkswaterstaat, 2011)

Jalur Pelayaran	$W_d$	$W_t$	$\Delta_w$	D
Single-line	$B_{max}$	$2 \times B_{max}$	$0.05 L$	$1.2 \times T_{max}$
Two-line Narrow	$2 \times B_{max}$	$3 \times B_{max}$	$0.05 L$	$1.2 \times T_{max}$
Two line Normal	$2 \times B_{max}$	$4 \times B_{max}$	$0.05 L$	$1.2 \times T_{max}$

## II.8 Tinjauan Perhitungan Ekonomis Perancangan Kapal

Dalam proses merancang kapal terdapat dua aspek yang harus diperhitungkan, yaitu aspek teknis dan aspek ekonomis yang saling berkaitan, dimana hasil dari analisa teknis dapat mempengaruhi perhitungan ekonomis, begitu juga sebaliknya. Salah satu tujuan dari proses mendesain kapal yang utama adalah mampu menghasilkan desain kapal dengan kriteria teknis yang memenuhi persyaratan dan mampu meningkatkan efisiensi pada aspek ekonomis. Aspek ekonomis yang dipertimbangkan dalam mendesain kapal antara lain dibedakan menjadi dua jenis biaya, yaitu biaya pembangunan yang merupakan kebutuhan biaya untuk membangun kapal dari tahap awal hingga kapal selesai dibangun, serta biaya operasional kapal yang mana merupakan biaya yang perlu dikeluarkan selama kapal beroperasi.

### II.8.1 Biaya Pembangunan

Menurut (PERTAMINA, 2007) pada dasarnya biaya pembangunan terdiri dari dua jenis biaya yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). *Direct cost* merupakan jenis biaya yang secara langsung dikeluarkan untuk pembangunan fisik kapal, antara lain adalah biaya untuk pembelian material dan baja, sistem dan permesinan, biaya pekerja, biaya *launching* dan *testing*, serta biaya inspeksi dan sertifikasi. Sementara *indirect cost* adalah biaya yang digunakan untuk membiayai kebutuhan kapal secara tidak langsung seperti biaya desain, biaya asuransi, biaya pengiriman barang, biaya garansi, dll. Terdapat 5 tahapan dalam perhitungan estimasi biaya pembangunan berdasarkan tingkat akurasi dan kelengkapan data-data dari setiap *equipment* yang digunakan. Estimasi biaya pembangunan memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda sesuai dengan tingkat penyelesaian pekerjaan.

#### 1. *Conceptual or screening estimate (estimate class 5)*

Estimasi yang dibuat berdasarkan data proyek sejenis yang pernah dibuat di waktu lalu atau menggunakan *parametric model*, *judgement*, dan *analogy*. Estimasi ini dibuat dengan tingkat penyelesaian lingkup pekerjaan 0% s.d. 2% dan memiliki tingkat akurasi berkisar antara batas bawah -20% s.d. -50% dan batas atas +30% s.d. +100%.

#### 2. *Study or feasibility estimate (estimate class 4)*

Estimasi yang dibuat berdasarkan *equipment factored* atau menggunakan *parametric model*. Dibuat dengan tingkat penyelesaian lingkup pekerjaan 1% s.d. 15% dan memiliki tingkat keakurasian berkisar antara batas bawah -15% s.d. -30% dan batas atas +20% s.d. +50%.

#### 3. *Budgetary or control estimate (estimate class 3)*

Estimasi yang dibuat dengan menggunakan metode *semi-detailed unit cost* yaitu estimasi yang dibuat berdasarkan data-data *equipment* yang lebih terperinci. Estimasi ini dibuat dengan tingkat penyelesaian lingkup pekerjaan 10% s.d. 40% dan memiliki tingkat keakurasian berkisar antara batas bawah -10% s.d. -20% dan batas atas +10% s.d. +30%.

#### 4. *Control or bid/tender estimate (estimate class 2)*

Estimasi yang dibuat dengan menggunakan metode *detailed unit cost* yaitu estimasi yang dibuat berdasarkan data-data *equipment* yang lengkap/detail. Estimasi ini dibuat dengan tingkat

penyelesaian lingkup pekerjaan 30% s.d. 70% dan memiliki tingkat keakurasian berkisar antara batas bawah -5% s.d. -15% dan batas atas +5% s.d. +20%.

5. *Check estimate (estimate class 1)*

Estimasi yang dibuat menggunakan metode *detailed unit cost* dilengkapi dengan detail material *take-off*, yaitu estimasi yang dibuat berdasarkan data-data *equipment* dan jumlah material yang akurat. Estimasi ini dibuat dengan tingkat penyelesaian lingkup pekerjaan 50% s.d. 100% dan memiliki keakurasian berkisar antara batas bawah -3% s.d. -10% dan batas atas +3% s.d. +15%.

Pada tahap *conceptual or screening estimate* digunakan estimasi biaya untuk setiap komponen berdasarkan persentase dari masing-masing komponen menurut (PERTAMINA, 2007) sebagai berikut:

Tabel 2. 10. Persentase Komponen Biaya Pembangunan Kapal

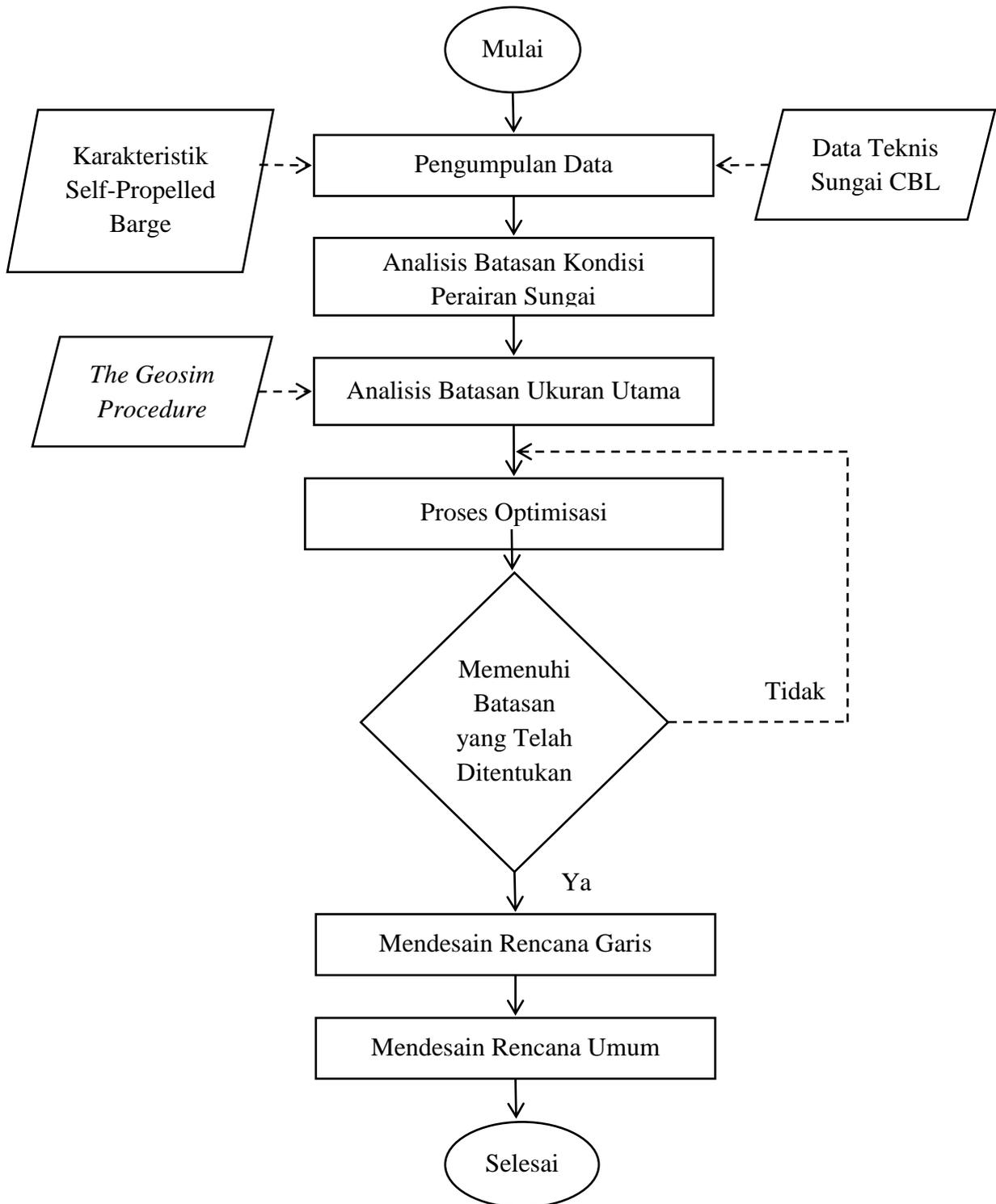
Cost	Detail	%
<b>Direct Cost</b>	1. Hull Part	
	1.a. Steel plate and profile	21.00
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7.00
	1.c. Piping, valves and fittings	2.50
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2.00
	1.e. Coating (BWT only)	1.50
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1.00
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0.30
	Subtotal (1)	35.30
	2. Machinery Part	
	2.a. Propulsion system and accessories	12.00
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3.50
	2.c. Boiler and Heater	1.00
	2.d. Other machinery in in E/R	3.50
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2.50
	2.f. Machinery spare part and tool	0.50
	Subtotal (2)	23.00
	3. Electric Part	
	3.a. Electric power source and accessories	3.00
	3.b. Lighting equipment	1.50
	3.c. Radio and navigation equipment	2.50
	3.d. Cable and equipment	1.00
	3.e. Electric spare part and tool	0.20
	Subtotal (3)	8.20
	4. Construction cost	
	Consumable material, rental equipment and labor	20.00
	Subtotal (4)	20.00
5. Launching and testing		
Subtotal (5)	1.00	
6. Inspection, survey and certification		
Subtotal (6)	1.00	
TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	88.50	
<b>Indirect Cost</b>	7. Design cost	3.00
	8. Insurance cost	1.00
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2.50
	TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)	6.50
<b>Margin</b>	TOTAL III	5.00
<b>GRAND TOTAL (I + II + III)</b>		<b>100.00</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## III.1 Diagram Alir

Tahapan dari metodologi yang digunakan digambarkan pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3. 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

## III.2 Langkah Pengerjaan

Di bawah ini akan dijelaskan tahapan pengerjaan yang akan dilakukan dari tahapan awal pengumpulan data hingga tahapan akhir menggambar desain Rencana Garis dan desain Rencana Umum.

### III.2.1 Pengumpulan Data

Hal yang pertama kali dilakukan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir adalah pengumpulan data yang dilakukan dengan tujuan mendapatkan data yang digunakan sebagai acuan untuk proses perhitungan kedepannya. Jenis data yang digunakan adalah data sekunder, hal ini dikarenakan sulit untuk dilakukannya pengumpulan data secara primer. Berikut data yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

1. Karakteristik Sungai Cikarang Bekasi Laut

Data yang di dalamnya terdapat penjelasan mengenai data teknis Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Data ini diperlukan guna dijadikan acuan sebagai batasan daerah pelayaran, mengingat besar dan batasan ukuran sungai yang ada sangat mempengaruhi dari desain kapal yang akan melewati sungai tersebut meliputi kedalaman dan lebar sungai. Untuk data teknis dari Sungai CBL didapatkan secara sekunder dari Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwing Cisadane, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

2. Kebutuhan Mobil

Desain suatu kapal sangat dipengaruhi oleh kebutuhan muatan yang terangkum dalam *owner requirement*, meliputi jenis dan kapasitas muatan. Oleh karena itu kebutuhan akan kapasitas muatan mobil sangatlah dibutuhkan. Untuk penentuan kapasitas muatan yang akan digunakan dalam penelitian kali ini disesuaikan dengan dimensi Sungai CBL.

### III.2.2 Pembuatan *Spreadsheet* Penentuan Ukuran Utama Awal

*Self-Propelled Car Barge* merupakan jenis kapal yang tergolong baru dan keberadaan kapal yang masih terbatas, hal ini ditambah dengan daerah operasi di perairan sungai, membuat kapal dengan kriteria seperti ini sulit untuk ditemukan untuk dijadikan kapal acuan dalam penentuan ukuran utama awal dengan metode kapal pembanding. Oleh karena keterbatasan tersebut, metode yang digunakan dalam penentuan ukuran utama awal adalah dengan menggunakan metode *The Geosim Procedure*. *Geosim Procedure* merupakan metode penentuan ukuran utama yang digunakan ketika sebuah permintaan memiliki kesamaan geometris dengan kapal pembanding, dalam hal ini dapat digunakan satu kapal pembanding (*parent ship*). Dalam proses desain digunakan asumsi bahwa infrastruktur penunjang pada program Tol Sungai telah siap dan tersedia.

### III.2.3 Pembuatan *Spreadsheet* Perhitungan Teknis

Setelah dilakukan pembuatan *spreadsheet* penentuan ukuran utama, maka selanjutnya dilakukan pembuatan *spreadsheet* perhitungan teknis yang nantinya akan digunakan sebagai *constrain* dalam proses optimisasi ukuran utama. *Spreadsheet* perhitungan teknis yang

digunakan meliputi perhitungan rasio dan koefisien, hambatan kapal, kebutuhan sistem propulsi, pembagian ruang muat, berat dan titik berat, lambung timbul, dan stabilitas kapal, yang sebelumnya telah disesuaikan dengan dasar teori yang ada.

### III.2.4 Pembuatan *Spreadsheet* Perhitungan Ekonomis

Apabila pembuatan *spreadsheet* perhitungan teknis telah selesai dilakukan, maka tahapan berikutnya adalah pembuatan *spreadsheet* perhitungan ekonomis yang di dalamnya meliputi perhitungan biaya pembangunan, yang dijadikan *objective function* dari proses optimisasi ukuran utama kapal, dimana dengan tujuan kapal yang dibangun dapat menghasilkan biaya pembangunan seminimal mungkin dengan batasan teknis yang terpenuhi.

### III.2.5 Perhitungan Optimisasi Ukuran Utama

Metode penentuan ukuran utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode optimisasi, dimana metode optimisasi adalah metode yang digunakan untuk mencari nilai optimum baik itu nilai maksimum ataupun minimum dari suatu fungsi matematis. Pada metode ini, fungsi tidak dapat berdiri sendiri tetapi ada batasan-batasannya, oleh karena itu sebelum dilakukannya perhitungan dengan metode tersebut, harus terlebih dahulu dilakukan penentuan *objective function*, *variabel design*, *parameter*, *constant*, dan *constrain*.

1. *Objective Function* : Fungsi objektif merupakan fungsi dari *design variable* yang akan menghasilkan suatu harga, apakah tujuan dari penelitian ingin mencari nilai maksimum atau minimum. Untuk *objective function* yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah biaya pembangunan yang paling minimum.
2. *Variable Design* : Nilai yang akan dicari berdasarkan *objective function*. Nilai ini akan menyesuaikan dengan *constrain* yang ada guna mendapatkan fungsi objektif yang optimum. *Variable design* yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah panjang kapal, lebar kapal, sarat kapal, dan tinggi kapal.
3. *Parameter* : Nilai yang ditetapkan sebagai acuan dalam proses perhitungan, seperti kapasitas muatan kapal yang sudah ditentukan berdasarkan *owner requirement*.
4. *Constant* : Besaran nilai yang sudah pasti dan tidak akan berubah selama proses optimisasi. Konstanta yang digunakan diantaranya adalah, berat jenis air tawar, berat jenis air laut, berat jenis muatan, gravitasi, dll.
5. *Constrain* : Nilai-nilai yang digunakan sebagai batasan dari perhitungan optimisasi, dimana hasil dari perhitungan teknis dengan input *design variable* tidak diperbolehkan untuk melewati batasan yang telah disesuaikan dengan aturan yang berlaku. *Constrain* yang digunakan diantaranya meliputi, batasan *Froude Number*, rasio ukuran utama, koreksi berat, koreksi titik berat, lambung timbul, stabilitas kapal, dan batasan perairan sungai.

### III.2.6 Pembuatan Gambar Rencana Garis

Setelah dilakukan perhitungan dan didapatkan ukuran utama kapal yang optimum, maka tahapan pembuatan gambar Rencana Garis (*Lines Plan*) dapat dilakukan. Pembuatan gambar Rencana Garis diawali dengan bantuan *software* Maxsurf untuk pembuatan model awal hingga

didapatkan desain yang sesuai dengan sifat hidrostatis dari kapal tersebut, meliputi kesesuaian ukuran utama, berat, titik berat, dan koefisien-koefisien. Apabila model sudah sesuai dengan hidrostatis dalam perhitungan, maka Rencana Garis yang meliputi *Body Plan*, *Sheer Plan*, dan *Half Breadth Plan* dapat dipindahkan dari Maxsurf dan diselesaikan dengan bantuan *software* AutoCAD untuk dilakukan pendetailan gambar.

### **III.2.7 Pembuatan Gambar Rencana Umum**

Gambar Rencana Umum (*General Arrangement*) merupakan gambar yang berisi tentang *layout* dan denah tata letak ruang di atas kapal. Pembuatan gambar Rencana Umum sepenuhnya dikerjakan dengan bantuan *software* AutoCAD yang memanfaatkan *outline* dari Rencana Garis yang sudah dikerjakan sebelumnya.

### **III.2.8 Kesimpulan dan Saran**

Tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan dan pemberian saran, dimana kesimpulan di dalamnya dapat menjawab permasalahan yang ada dalam Tugas Akhir ini berupa ukuran utama yang optimum dan estimasi kebutuhan biaya pembangunan yang didapatkan dari hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan selama penelitian. Sementara saran yang diberikan berupa masukan untuk penyempurnaan terhadap penelitian ini kedepannya.

## BAB IV

### ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS DESAIN *SELF-PROPELLED CAR BARGE*

#### IV.1 *Design Statement*

Proses mendesain kapal memiliki tujuan agar produk kapal yang dihasilkan dapat mengakomodir seluruh permintaan dari pemilik kapal yang terangkum dalam *owner requirement*. *Owner requirement* merupakan kumpulan dari ketentuan yang berasal dari permintaan pemilik kapal yang selanjutnya akan dijadikan acuan dasar bagi desainer dalam merancang suatu kapal.

Seiring dengan isu yang dipublikasikan oleh pemerintah pusat mengenai program pembangunan Tol Sungai yang dikembangkan oleh PT. Pelindo II yang merupakan sistem pengangkutan barang berbasis jalur sungai (*inland access waterway*) sepanjang 40 km dari Kawasan Industri Cikarang, Jawa Barat, dan diupayakan untuk dapat dilalui kapal tongkang pengangkut barang. Dan kepadatan distribusi barang yang melewati jalur Pantura semakin ramai, sehingga membutuhkan solusi distribusi barang selain melewati jalur darat. Dari pernyataan di atas, maka dapat disimpulkan untuk dijadikan data *owner requirement* dari Program Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut – Tanjung Perak sebagai berikut:

1. Jenis kapal yang digunakan untuk program ini adalah *self-propelled barge (SPB)*, mengingat sebagian perairan yang dilalui adalah sungai yang memerlukan kemampuan olah gerak kapal yang cukup baik dikarenakan adanya batasan dari dimensi sungai itu sendiri.
2. Jenis muatan yang akan dimuat adalah mobil (*car*), untuk mengangkut barang dari Kawasan Industri Cikarang menuju Tanjung Perak.
3. *Payload* atau kapasitas muatan maksimal 100 unit.
4. Kapal didesain dengan kecepatan 8 knot (4,116 m/detik), dengan estimasi waktu pelayaran normal yang dibutuhkan adalah 56,7 jam untuk pelayaran satu arah.
5. Radius pelayaran dari Bendung CBL menuju Pelabuhan Tanjung Priok sepanjang 40 km, dengan 28,2 km melalui perairan sungai dan 811,12 km melalui perairan laut.

Data di atas merupakan data yang akan digunakan sebagai parameter acuan dalam mendesain *Self-Propelled Car Barge* pada program Tol Sungai CBL-Tanjung Priok secara umum. Untuk besar kebutuhan terhadap kapasitas muatan dapat dihitung dengan langkah di bawah ini:

Setelah melewati proses optimasi, maka diketahui bahwa jumlah kapasitas muatan yang dapat ditampung oleh ukuran utama kapal adalah 80 unit, oleh karena itu kebutuhan *payload* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Payload} &= \text{Jumlah mobil} \times \text{Berat mobil} \\ \text{Jumlah muatan mobil} &= 80 \text{ unit (30 unit ukuran sedang + 50 unit ukuran kecil)} \\ \text{Berat mobil} &= 2,5 \text{ ton / unit ukuran sedang dan 2 ton / unit ukuran kecil} \\ \text{Payload} &= (30 \times 2,5 \text{ ton}) + (50 \times 2 \text{ ton}) \\ &= 190 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sedangkan estimasi kebutuhan awal DWT (*Deadweight Tonnage*) dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned} \text{DWT}_{\text{Awal}} &= \text{Payload} + 10 \% \\ \text{Payload} &= 190 \text{ ton} \\ &= 190 + 10\% \\ &= 209 \text{ ton} \end{aligned}$$

## IV.2 Analisa Batasan Sungai

Dalam mendesain kapal dengan penggunaan sebagai sarana transportasi sungai memiliki hal lebih yang harus diperhatikan apabila dibandingkan dengan proses mendesain kapal dengan daerah operasi di laut. Hal yang harus diperhatikan adalah kondisi teknis ukuran sungai yang dapat membatasi ukuran utama dari kapal yang akan melintasinya, meliputi kedalaman sungai, lebar sungai, dan ketinggian jembatan, yang dalam hal ini diasumsikan bahwa jembatan pada Sungai CBL sudah disesuaikan dengan program Tol Sungai, sehingga ketinggian jembatan (*air draft*) sudah sesuai. Sedangkan Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) merupakan kali buatan yang bertujuan untuk mengalirkan banjir (*flood control*) dan berfungsi sebagai sungai sudetan untuk Sungai Bekasi, Sungai Cikarang dan, Sungai Cisadang. Untuk kondisi sungai CBL sendiri memiliki data teknis panjang keseluruhan sepanjang 28.205 m dan kedalaman antara 4–7 m, dengan detail ukuran seperti di bawah ini:

Tabel 4. 1. Dimensi Sungai CBL  
(Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Nama Sungai/Kali	Panjang Sungai (km)	Lebar Dasar Sungai (m)
Cikarang (Bendung CBL) – Sungai Sadang	10,060	-
Sungai Sadang – Sungai Jambe	2,000	50,00
Sungai Jambe – Sungai Bekasi	5,825	60,00
Sungai Bekasi – Laut	10,320	80,00

Dari data teknis Sungai CBL di atas, maka dapat diketahui yang menjadi batasan dimensi sungai adalah dengan kedalaman minimum 4 m, dan lebar minimum 50 m. Data inilah yang dijadikan batasan bagi ukuran utama kapal yang akan didesain. Adapun perhitungan batasan ukuran utama yang dibatasi sesuai dengan keadaan sungai yang ada. Berikut merupakan batasan ukuran sungai sesuai dengan jenis pelayarannya menurut (Rijkswaterstaat, 2011):

Tabel 4. 2. Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur

Jalur Pelayaran	Wd	Wt	$\Delta w$	D
Single-line	$B_{\max}$	$2 \times B_{\max}$	0.05 L	$1.2 \times T_{\max}$
Two-line Narrow	$2 \times B_{\max}$	$3 \times B_{\max}$	0.05 L	$1.2 \times T_{\max}$
Two line Normal	$2 \times B_{\max}$	$4 \times B_{\max}$	0.05 L	$1.2 \times T_{\max}$

Dalam program Tol Sungai CBL-Tanjung Periok digunakan dua jalur pelayaran (*two-line narrow*), oleh karena itu sesuai dengan batasan yang telah diatur di atas, maka diperoleh dimensi lebar minimum kapal sebagai berikut:

Diketahui:

$$W_w = \text{Lebar total sungai minimum}$$

$$W_w = W_t + \Delta w$$

$$W_w = 50 \text{ m}$$

$$B_{\max} = W_t / 3$$

Dimana:

$$W_t = W_w - \Delta w$$

$$B_{\max} = (W_w - \Delta w) / 3$$

$$\Delta w = 0.05 \times L$$

$$= 2.655 \text{ m}$$

Maka:

$$B_{\max} = (50 - 2.655) / 3$$

$$B_{\max} = 15.7817 \text{ m}$$

Sedangkan sarat minimum kapal yang sesuai dengan kondisi sungai yang ada adalah:

$$T_{\max} = D / 1.2$$

Dimana:

$$D = 4 \text{ m}$$

Maka:

$$T_{\max} = 4 / 1.2$$

$$= 3.3333 \text{ m}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa kapal yang akan melintasi Sungai CBL harus memiliki ukuran utama dengan lebar maksimum 15.7817 m dan sarat maksimum 3.333 m, yang mana harga batasan perairan sungai ini juga digunakan sebagai batasan dalam proses optimisasi ukuran utama kapal.

### IV.3 Penentuan Batasan Ukuran Utama

Pada umumnya untuk jenis kapal dengan jumlah keberadaan yang masih terbatas seperti kapal *Self-Propelled Car Barge* menggunakan metode *Geosim Procedure* dalam menentukan ukuran utama awal. (Barrass, 2004) menjelaskan *Geosim Procedure* merupakan metode penentuan ukuran utama yang digunakan ketika sebuah permintaan memiliki kesamaan geometris dengan kapal pembanding. Penentuan ukuran utama dilakukan berdasarkan koefisien perbandingan geometris ukuran utama (K). Dan data yang dibutuhkan untuk menggunakan metode ini adalah ukuran utama kapal seperti panjang kapal (L), lebar kapal (B), sarat kapal (T), dan tinggi kapal (H), dengan  $C_D$  (*Coefficient Displacement*) dan  $C_B$  (*Coefficient Block*) yang dihasilkan memiliki nilai yang hampir serupa.

Langkah awal dalam menggunakan metode ini adalah menentukan terlebih dahulu kapal pembanding yang akan digunakan. Kapal pembanding ditentukan berdasarkan kesamaan jenis kapal dan muatan yang diangkut. Berikut merupakan kapal pembanding yang digunakan dalam menentukan batasan ukuran utama:

Tabel 4. 3. Data Kapal Pemanding

Nama Kapal	DWT (ton)	Dis. (ton)	L (m)	B (m)	T (m)	H (m)	C <sub>D</sub>	C <sub>B</sub>
Sardius	1000	1619	51,37	15,00	2,50	4,00	0,618	0,820
Polaris	2000	3219	74,48	17,40	3,20	5,00	0,621	0,757
Barco	2000	3333,3	86,0	11,45	3,90	4,25	0,601	0,847
Tossa	4181	5562,28	72,70	20,00	4,00	5,70	0,753	0,930

Setelah didapatkan data ukuran utama kapal pemanding, maka dilakukan perhitungan batasan ukuran utama awal menggunakan metode Geosim seperti di bawah ini:

1. Batasan ukuran utama kapal yang akan dirancang ( $L_2$ ,  $B_2$ ,  $T_2$ , dan  $H_2$ ,) didapat dari ukuran utama kapal acuan ( $L_1$ ,  $B_1$ ,  $T_1$ , dan  $H_1$ ,) yang dikalikan dengan koefisien geometris ( $K$ ).

2. Koefisien geometris ( $K$ ) didapatkan dari persamaan Geosim di bawah ini:

Dengan contoh perhitungan menggunakan kapal acuan Sinar Padang.

Diketahui:

$$K = L_2 / L_1$$

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

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

Dimana:

$$W_2 = \text{DWT kapal yang dirancang} \\ = 1584 \text{ ton}$$

$$W_1 = \text{DWT kapal acuan} \\ = 4181 \text{ ton}$$

Maka:

$$L_2 / L_1 = (1584 / 4181)^{1/3} \\ = 0.7236$$

$$K = 0.7236$$

3. Ukuran utama kapal yang dirancang didapatkan dari perhitungan:

$$L_2 = K \times L_1 = 0.7236 \times 72.70 = 52.602 \text{ m}$$

$$T_2 = K \times T_1 = 0.7236 \times 4.00 = 2.894 \text{ m}$$

$$B_2 = K \times B_1 = 0.7236 \times 20.00 = 14.472 \text{ m}$$

$$H_2 = K \times H_1 = 0.7236 \times 5.70 = 4.125 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan dari empat kapal pemanding, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 4. Batasan Ukuran Utama Menggunakan Metode Geosim

	LPP (m)	B (m)	T (m)	H (m)
Sardius	68.910	16.099	2.961	4.626
Polaris	59.882	17.485	2.914	4.663
Barco	79.568	10.594	3.608	3.932
Tossa	52.602	14.472	2.894	4.124
<b>Nilai Minimum</b>	52.602	10.594	2.894	3.932
<b>Nilai Maksimum</b>	79.568	17.485	3.608	4.663

Jika dilihat pada tabel di atas maka dapat ditentukan batasan minimum dan maksimum yang dapat digunakan sebagai batasan variabel dari ukuran utama pada tahapan proses optimisasi.

#### IV.4 Proses Model Optimisasi

Terdapat beberapa macam metode dalam mendesain kapal salah satunya adalah metode optimisasi, yang merupakan suatu proses untuk mendapatkan beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu. Optimisasi biasa digunakan untuk mencari suatu nilai minimum atau maksimum yang ditetapkan sejak awal sebagai *objective function*. Terdapat beberapa komponen optimisasi yang terlibat dalam setiap proses iterasi, antara lain adalah penentuan *objective function*, *changing variable*, *constrain*, dan *constant*. Proses optimisasi penentuan ukuran utama kapal dibantu dengan perangkat lunak *Microsoft-Excel* yang tersedia program *Solver* yang dapat melakukan optimisasi dengan proses iterasi.

##### IV.4.1 Penentuan Variabel Model Optimisasi

Variabel adalah nilai yang dicari dalam proses optimisasi. Nilai variabel digunakan sebagai input untuk dilakukannya perhitungan terhadap batasan-batasan yang ada. Adapun variabel yang digunakan untuk melakukan proses optimisasi ukuran utama *Self-Propelled Car Barge* antara lain adalah ukuran panjang kapal, lebar kapal, sarat kapal, dan tinggi kapal. Untuk ukuran utama awal ini digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan formula yang akan digunakan dalam perhitungan teknis. Ukuran utama awal digunakan dari salah satu kapal pembanding yang telah dilakukan penyesuaian ukuran dengan metode Geosim. Kapal pembanding yang digunakan adalah kapal *Self-Propelled Car Barge* Tossa, dengan ukuran utama:

- L = 52.602 m
- B = 14.472 m
- T = 2.894 m
- H = 4.124 m

#### IV.4.2 Penentuan Batasan Model Optimisasi

Batasan atau *constrain* dalam proses optimisasi adalah suatu nilai yang menjadi tolak ukur minimum atau maksimum dari persyaratan teknis yang sudah ditentukan dengan tujuan perhitungan teknis yang dihasilkan dari penentuan variabel tidak keluar dari batasan yang sudah ditentukan dalam peraturan *rules* dan klasifikasi. Adapun batasan yang digunakan dalam proses optimisasi ukuran utama *Self-Propelled Car Barge* pada Program Tol Sungai, sebagai berikut:

##### 1. Batasan Variabel Ukuran Utama

Variabel ukuran utama diberikan batasan maksimum dan minimum dengan tujuan agar data ukuran utama optimal yang akan diperoleh tidak keluar dari referensi kapal pemandang. Nilai batasan minimum dan maksimum kapal diperoleh dari hasil perhitungan geometris dari kapal pemandang dengan menunakan metode Geosim. Bertikut ini merupakan batasan minimum dan maksimum dari variabel ukuran utama kapal:

Tabel 4. 5. Batasan Variabel Optimisasi

Ukuran Utama Kapal	Nilai Minimum (m)	Nilai Maksimum (m)
Panjang Kapal (L)	52.602	79.568
Lebar Kapal (B)	10.594	17.485
Sarat Kapal (T)	2.894	3.608
Tinggi Kapal (H)	3.932	4.663

##### 2. Batasan Kondisi Perairan Sungai

Untuk kapal yang beroperasi di perairan sungai tentunya memiliki batasan lebih yang perlu untuk diperhatikan, yaitu batasan yang dipengaruhi oleh keadaan dimensi suatu sungai yang dapat mempengaruhi ukuran utama kapal, terutama untuk lebar dan sarat kapal. Dari persyaratan menurut (Rijkswaterstaat, 2011) mengenai batasan maksimum ukuran utama untuk kapal yang melewati perairan sungai, didapatkan batasan maksimum ukuran kapal yang melewati Sungai CBL adalah:

- Lebar maksimum kapal adalah 15.782 m.
- Sarat maksimum kapal adalah 3.333 m.

##### 3. Batasan Froude Number (Fn)

Merupakan batasan yang dipengaruhi oleh fungsi kecepatan dan panjang kapal. Batasan minimum Fn ditentukan berdasarkan fungsi panjang maksimum kapal pemandang, dan harga Fn maksimum ditentukan berdasarkan fungsi panjang minimum kapal pemandang. Berikut merupakan batasan *froude number* (Fn) yang digunakan:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \times L}}$$

Dimana:

V = Kecepatan kapal

= 8.00 knot

L<sub>min</sub> = 52.602 m

$$L_{\max} = 79.568 \text{ m}$$

Maka:

$$Fn_{\min} = 0.147$$

$$Fn_{\max} = 0.181$$

#### 4. Batasan Rasio Ukuran Utama

Rasio ukuran utama merupakan perbandingan antar setiap komponen ukuran utama guna mengetahui kriteria dari kapal tersebut, baik itu perbandingan antara panjang dan lebar kapal ( $L/B$ ) yang dapat mempengaruhi hambatan dan olah gerak kapal, perbandingan antara lebar dan sarat kapal yang mempengaruhi stabilitas utuh kapal, serta perbandingan panjang dan sarat yang berpengaruh pada kekuatan memanjang kapal. Rasio ukuran utama untuk setiap kapal memiliki batasan yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik setiap kapal. Untuk batasan rasio ukuran utama *Self-Propelled Car Barge* ditentukan dengan besaran harga seperti berikut:

- $3.5 < L/B < 10$
- $1.8 < B/T < 5$
- $10 < L/T < 30$

#### 5. Batasan Berat dan Titik Berat

Mengingat kapal merupakan benda yang terapung bebas di atas air maka keadaan dari keseimbangan kapal menjadi penting untuk diperhatikan. Keseimbangan kapal dapat dibagi menjadi dua, searah memanjang dan melintang kapal. Hal ini sangat dipengaruhi oleh nilai berat dan titik berat kapal. Oleh karena itu perlu adanya batasan terhadap nilai berat dan titik berat agar kapal dapat beroperasi dalam kondisi *even keel*. Di bawah ini merupakan batas maksimum dan minimum dari koreksi berat dan titik berat kapal:

- Untuk koreksi berat ditentukan batasan nilai maksimum dari selisih antara gaya apung ( $\Delta$ ) dan gaya berat ( $LWT+DWT$ ) terhadap dispasemen adalah 5%.
- Sedangkan untuk koreksi titik berat, nilai maksimum dari selisih antara jarak titik gaya apung ( $LCB$ ) dan jarak titik gaya berat ( $LCG$ ) terhadap panjang garis air ( $LWL$ ) adalah 1%.

#### 6. Batasan Freeboard

Batasan *freeboard* merupakan batasan terhadap jarak minimum dari lambung timbul kapal yang diukur secara vertikal menurun dari bagian tepi geladak utama kapal di area *midship* hingga ketinggian garis air. Batasan *freeboard* diperlukan dengan tujuan keselamatan *crew*, muatan, dan kapal. Untuk besaran nilai dari batasan minimum *freeboard* dapat disesuaikan dengan peraturan (International Convention on Load Lines, 1966). Batasan terdiri dari batas jarak minimum *freeboard* yang sudah diatur dalam tabel *freeboard* serta penambahan dan pengurangan ukuran *freeboard* dikarenakan adanya koreksi pada beberapa aspek.

#### 7. Batasan Stabilitas

Stabilitas kapal merupakan salah satu aspek yang dipengaruhi oleh keseimbangan kapal pada arah melintang kapal. Stabilitas kapal penting untuk diperhatikan karena berhubungan dengan *motion* kapal yang berdampak pada aspek keselamatan, oleh karena itu ditentukanlah

batasan-batasan stabilitas yang terangkum dalam (Intact Stability Code, 1974). Berikut ini merupakan kriteria stabilitas untuk seluruh jenis kapal di atas 24 m, yaitu:

- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng  $30^\circ$  adalah 0.055 m.rad.
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng  $40^\circ$  adalah 0.09 m.rad.
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ antara sudut oleng  $30^\circ$ - $40^\circ$  adalah 0.03 m.rad.
- Lengan statis GZ pada sudut oleng  $\geq 30^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.20 m.
- Jarak GM pada sudut oleng  $0^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.15 m.
- Lengan statis (GZ) maksimum terjadi tidak boleh kurang dari  $25^\circ$ .

#### IV.4.3 Penentuan *Objective Function* Model Optimisasi

*Objective function* atau fungsi objektif adalah hubungan dari semua atau beberapa variabel serta parameter yang nilainya akan dioptimalkan. Fungsi objektif juga disesuaikan dengan tujuan dari proses optimisasi, apakah nilai yang diharapkan merupakan nilai minimum atau maksimum. Pada proses optimisasi penentuan ukuran utama *Self-Propelled Car Barge* ini memiliki tujuan untuk mendapatkan ukuran utama kapal optimal yang mampu meningkatkan efisiensi dari biaya pembangunan, dengan mempertimbangkan aspek teknis untuk memenuhi persyaratan teknis yang ada. Pada model optimisasi ini digunakan *objective function* dengan nilai paling minimum dari biaya pembangunan.

#### IV.4.4 *Running Model Iterasi Solver*

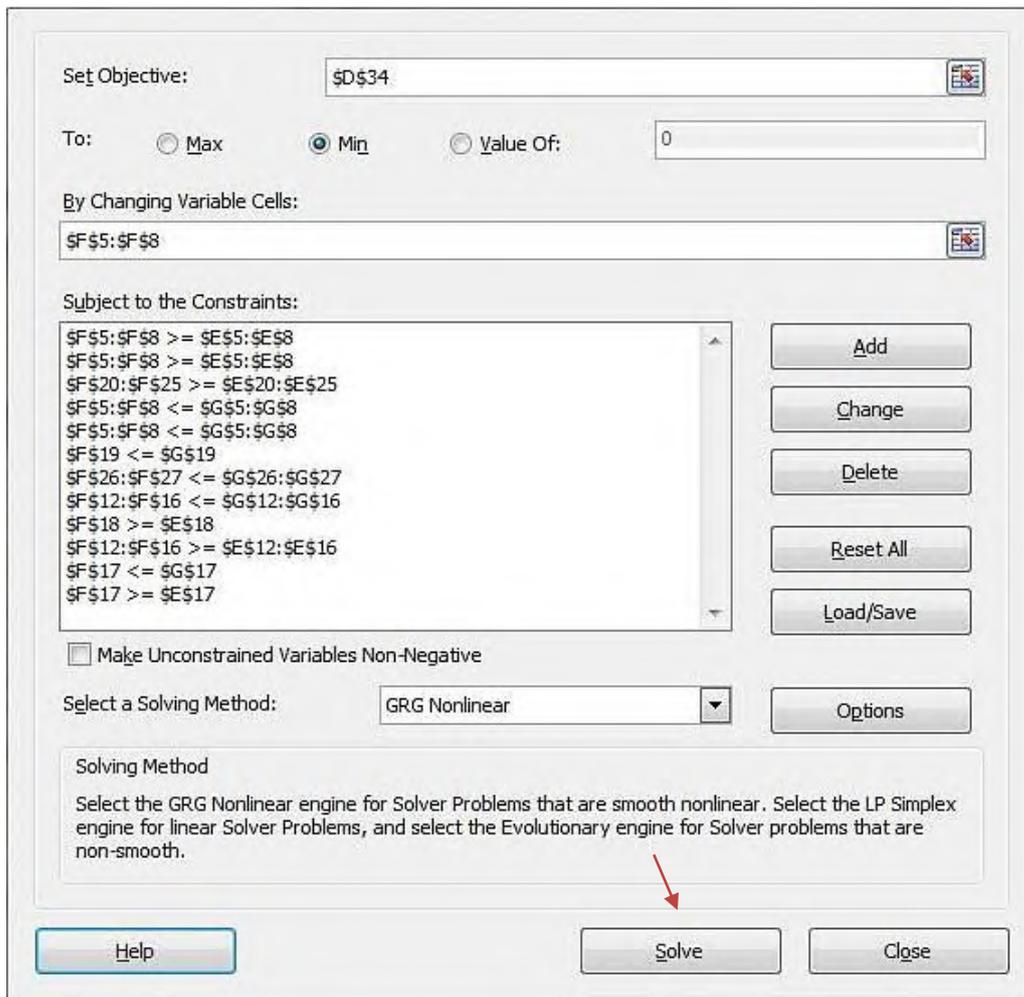
Dalam melakukan perhitungan optimisasi, dapat digunakan berbagai macam metode perhitungan, untuk proses optimisasi penentuan ukuran utama *Self-Propelled Car Barge* kali ini digunakan proses optimisasi dengan bantuan program *Solver* pada perangkat lunak *Microsoft-Excel 2010*. Program *Solver* sendiri merupakan program optimisasi dengan menggunakan metode iterasi *Generalized Reduced Gradient (GRG) Non-linear* yang digunakan pada pemecahan permasalahan *smooth nonlinear*. Meningat desain kapal ini memiliki dua kondisi perairan, maka model optimisasi yang dijadikan acuan adalah perairan sungai, mengingat masa jenis air sungai membutuhkan kapal untuk memiliki sarat yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan ukuran utama kapal yang optimal terdapat beberapa tahapan yang perlu untuk diperhatikan, dengan langkah sebagai berikut:

1. Membuat model *solver* pada *Microsoft-Excel 2010* dengan menginput data-data dari *spreadsheet* perhitungan yang digunakan sebagai *constrain* selama proses optimisasi berlangsung ke dalam tabel model optimisasi, dimana di dalamnya disediakan untuk *cell* bagi *changing variable*, *constrain* dan *objective function*.

OPTIMIZING							
CHANGING VARIABLE							
	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Main Dimensions	Length	m	L	52.602		79.568	REJECTED
	Breadth	m	B	10.594		17.485	REJECTED
	Draft	m	T	2.894		3.608	REJECTED
	Height	m	H	3.932		4.663	REJECTED
CONSTRAINT							
	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Froude Number	$F_n = V / (g \times L_{pp})^{0.5}$		$F_n$	0.147		0.181	REJECTED
Ratio	Length / Breadth		L/B	3.5		10	REJECTED
	Breadth / Draft		B/T	1.8		5	REJECTED
	Length / Draft		L/T	10		30	REJECTED
Displacement	Displacement Correction ( $\Delta - (LWT + DWT)$ )	%		0		5	REJECTED
Center of Mass	Center of Mass Correction (LCB - LCG)	%		0		1	REJECTED
Freeboard	Minimum freeboard	mm	$F_s$	1.012			REJECTED
Trim	Maximum trim	m				0.531	REJECTED
Stabilitas	The area GZ curve up to $\theta = 40^\circ$ angle of heel	m.rad	$e 0 - 30^\circ$	0.055			REJECTED
	The area GZ curve up to $\theta = 30^\circ$ angle of heel	m.rad	$e 0 - 40^\circ$	0.090			REJECTED
	The area GZ curve at $\theta = 30^\circ - 40^\circ$ angle of heel	m.rad	$e 30^\circ - 40^\circ$	0.030			REJECTED
	The righting lever GZ at an angle of heel $30^\circ$	m	$GZ 30^\circ$	0.200			REJECTED
	The maximum righting arm	Degree ( $^\circ$ )	$\theta_{Max}$	25			REJECTED
	The initial metacentric height $GM_0$	m	$GM^\circ$	0.150			REJECTED
Waterway Constraint	Maximum vessel draft	m	$T_{max}$			3.33333	REJECTED
	Maximum vessel breadth	m	$B_{max}$			15.782	REJECTED
Objective Function							
	ITEM	UNIT	VALUE				
Building Cost	Direct Cost	\$					
	Indirect Cost	\$					
	Margin Cost	\$					
	Total Cost	\$					

Gambar 4. 1. Tabel *Template* Model Optimisasi

2. Setelah tabel model optimisasi sudah dibuat maka langkah selanjutnya adalah memproses program *solver* dengan cara menginput data ke dalam *solver parameters*:
  - i. Menentukan *objective function* dengan memasukan *cell* biaya pembangunan dan memilih opsi untuk membuat minimum harga.
  - ii. Memasukan *cell* dari *changing variable* berupa ukuran utama dan menentukan batasannya.
  - iii. Menambahkan *constrain* dari komponen batasan yang sudah ditentukan dan memilih hubungan antar *cell*. ( $\leq$ ,  $=$ , atau  $\geq$ ).
  - iv. Apabila semua data sudah lengkap dan benar dimasukan, maka model *solver* siap untuk diproses dengan cara klik tombol "Solve".



Gambar 4. 2. *Solver Parameters*

3. Setelah diproses maka keluarlah hasil dari optimisasi berupa ukuran kapal yang optimum, apabila hasil *solver* sudah sesuai dengan yang diharapkan maka dipilih tombol “*Keep Solver Solution*”, apabila tidak maka pilih tombol “*Restore Original Values*” untuk mengembalikan ke harga semula.

Dari proses optimisasi dengan bantuan program *solver* yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil ukuran utama optimal dan perhitungan teknis sebagai berikut:

OPTIMIZING – FW CONDITION							
CHANGING VARIABLE							
Main Dimensions	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
	Length	m	L	52.602	53.096736	79.568	ACCEPTED
	Breadth	m	B	10.594	15.17050	17.485	ACCEPTED
	Draft	m	T	2.894	3.09091	3.608	ACCEPTED
	Height	m	H	3.932	4.66278	4.663	ACCEPTED
CONSTRAIN							
	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Froude Number	$F_n = V / (g \times L_{pp})^{0.5}$		$F_n$	0.147	0.177	0.181	ACCEPTED
Ratio	Length / Breadth		L/B	3.5	3.500	10	ACCEPTED
	Breadth / Draft		B/T	1.8	4.908	5	ACCEPTED
	Length / Draft		L/T	10	17.178	30	ACCEPTED
Displacement	Displacement Correction ( $\Delta - (LWT + DWT)$ )	%		0	0.079	5	ACCEPTED
Center of Mass	Center of Mass Correction (LCB - LCG)	%		0	0.308	1	ACCEPTED
Freeboard	Minimum freeboard	mm	$F_s$	1.012	1.572		ACCEPTED
Stabilitas	The area GZ curve up to $\Theta = 40^\circ$ angle of heel	m.rad	$e_{0-30^\circ}$	0.055	0.677		ACCEPTED
	The area GZ curve up to $\Theta = 30^\circ$ angle of heel	m.rad	$e_{0-40^\circ}$	0.090	0.921		ACCEPTED
	The area GZ curve at $\Theta = 30^\circ - 40^\circ$ angle of heel	m.rad	$e_{30^\circ-40^\circ}$	0.030	0.244		ACCEPTED
	The righting lever GZ at an angle of heel $30^\circ$	m	$GZ_{30^\circ}$	0.200	0.544		ACCEPTED
	The maximum righting arm	Degree ( $^\circ$ )	$\Theta_{Max}$	25	25.018		ACCEPTED
	The initial metacentric height $GM_0$	m	$GM^\circ$	0.150	1.979		ACCEPTED
Waterway Constrain	Maximum vessel draft	m	$T_{max}$		3.091	3.33333	ACCEPTED
	Maximum vessel breadth	m	$B_{max}$		15.170	15.782	ACCEPTED
OBJECTIVE FUNCTION							
Building Cost	ITEM	UNIT	VALUE				
	Direct Cost	\$	1228266.24				
	Indirect Cost	\$	90211.64				
	Margin Cost	\$	69393.57				
	Total Cost	\$	1387871.46				

Tabel 4. 6. Hasil Proses Optimisasi Pada Perairan Sungai

Tabel 4. 7. Rangkuman Hasil Proses Optimisasi

<b>SUMMARY</b>			
<b>Owner Requirement</b>			
Jenis Kapal =		<i>Self-propelled Car Barge</i>	
Jenis Muatan =		<i>Car (Mobil)</i>	
Payload =		100	unit
Kecepatan Dinas =		8	kn
Rute Pelayaran =		Kawasan Industri Cikarang - Tanjung Perak (via Sungai CBL)	
Radius Pelayaran =		4531.8575	nm
Daerah Pelayaran =		Perairan Domestik (Indonesia)	
<b>Criteria</b>		<b>Inland Waterway (FW)</b>	<b>Oceangoing (SW)</b>
<b>Main Dimension</b>	<i>Length (L<sub>PP</sub>)</i> =	53.097 m	53.097 m
	<i>Length (L<sub>WL</sub>)</i> =	55.221 m	55.221 m
	<i>Breadth (B)</i> =	15.170 m	15.170 m
	<i>Draft (T)</i> =	3.091 m	3.016 m
	<i>Height (H)</i> =	4.663 m	4.663 m
	<i>Vol. Disp. (V̄)</i> =	2107.306 m <sup>3</sup>	2055.908 m <sup>3</sup>
	<i>Disp. Ton (Δ)</i> =	2107.306 ton	2107.306 ton
<b>Ratio and Coefficient</b>	L/B =	3.500	3.500
	B/T =	4.908	5.000
	L/T =	17.178	17.608
	C <sub>B</sub> =	0.814	0.814
	C <sub>M</sub> =	0.994	0.994
	C <sub>P</sub> =	0.818	0.818
	C <sub>WP</sub> =	0.884	0.884
<b>Resistance and Powering</b>	R <sub>T</sub> =	34.189 kN	33.575 kN
	P <sub>Req.</sub> =	210.894 x 2 kW	203.365 x 2 kW
	P <sub>MainEngine</sub> =	279 x 2 kW	279 x 2 kW
	P <sub>GenReq.</sub> =	52.723 x 2 kW	50.841 x 2 kW
	P <sub>Generator</sub> =	60 x 2 kW	60 x 2 kW
<b>Mass and Center of Mass</b>	DWT =	1444.167 ton	1444.093 ton
	LWT =	664.802 ton	682.823 ton
	LWT + DWT =	2108.968 ton	2126.916 ton
	LCB =	25.528 m (FP)	25.528 m (FP)
	LCG =	25.358 m (FP)	25.333 m (FP)
	Freeboard =	1571.869 m	1647.257 m
<b>Stability</b>	e 0 - 30° =	0.677 m.rad	0.701 m.rad
	e 0 - 40° =	0.921 m.rad	0.983 m.rad
	e 30° - 40° =	0.244 m.rad	0.282 m.rad
	GZ 30° =	0.544 m	0.594 m
	Θ Max =	25.018 Degree (°)	26.254 Degree (°)
	GM° =	1.979 m	1.971 m
<b>Building Cost</b>	\$ Direct =	\$1,228,266.24	\$1,270,214.45
	\$ Indirect =	\$90,211.64	\$93,292.59
	\$ Margin =	\$69,393.57	\$71,763.53
	\$ Total =	\$1,387,871.46	\$1,435,270.56
	Rp Total =	Rp18,512,817,404	Rp19,145,073,999

## IV.5 Analisis Terhadap Hasil Optimisasi

Setelah dilakukan proses optimisasi terhadap ukuran utama *Self-Propelled Car Barge* dan didapatkan hasil seperti yang tertera pada Tabel 4.6, maka dapat dianalisa bahwa terdapat perbedaan hasil nilai di beberapa kriteria antara kondisi pelayaran perairan sungai (*inland waterway*) dan pelayaran perairan laut (*oceangoing*). Hal ini disebabkan oleh perbedaan penggunaan masa jenis air, dimana pada pelayaran sungai digunakan masa jenis air tawar ( $1 \text{ ton/m}^3$ ) dan pelayaran laut digunakan masa jenis air laut ( $1.025 \text{ ton/m}^3$ ).

Dari penggunaan masa jenis air yang berbeda akan berdampak pada perbedaan volume displasemen ( $\text{m}^3$ ) yang dihasilkan, karena dalam perhitungan displasemen (ton) di dalamnya terdapat komponen masa jenis air, yang apabila digunakan dengan nilai yang berbeda maka akan menghasilkan volume displasemen yang berbeda pula. Dapat dilihat pada formula berikut ini:

$$\Delta = V \times \rho$$

$$V = L \times B \times T \times C_B$$

$$\Delta = (L \times B \times T \times C_B) \times \rho$$

Maka dapat disimpulkan jika suatu kapal beroperasi pada dua perairan dengan masa jenis yang berbeda, maka kapal tersebut akan memiliki satu harga displsemen ton, namun dengan dua harga volume displasemen yang berbeda. Apabila dilihat dari formula di atas, jika harga L, B, dan  $C_B$  bernilai konstan dan terjadi perubahan masa jenis air, maka dimensi yang berubah secara signifikan adalah harga sarat kapal, hal ini dikarenakan kapal tongkang (*barge*) memiliki bentuk yang menyerupai kotak dengan  $C_B$  dan  $C_M$  yang besar, sehingga apabila terjadi perubahan sarat akibat perbedaan masa jenis air maka harga dari ukuran panjang dan lebar kapal tidak terlalu terpengaruhi.

Jika dilihat dalam kasus ini, dikarenakan adanya perbedaan sarat kapal pada dua kondisi perairan, maka mengakibatkan harga dari perhitungan teknis yang lainnya pun ikut berbeda, begitu juga dengan perhitungan biaya pembangunan yang juga dipengaruhi oleh ukuran utama.

### IV.5.1 Analisis Rasio dan Koefisien

Ukuran utama merupakan komponen penting dalam pertimbangan teknis mendesain kapal karena ukuran utama kapal dapat mempengaruhi batasan desain yang lainnya. Setelah didapatkan ukuran utama optimal, maka tahapan awal adalah melakukan perhitungan rasio dan koefisien. Berikut merupakan analisa terhadap hasil perhitungan rasio dan koefisien:

Diketahui:

$L_{PP} = 53.10$	m	$V_S = 8.00$	kn
$B = 15.17$	m	$= 4.12$	m/s
$T_{FW} = 3.09$	m	$\rho_{FW} = 1.000$	ton/m <sup>3</sup> (air tawar)
$T_{SW} = 3.02$	m	$\rho_{SW} = 1.025$	ton/m <sup>3</sup> (air laut)
$H = 4.66$	m	$g = 9.81$	m/s <sup>2</sup>

Dari data yang diketahui, maka didapatkan besar rasio ukuran utama sebagai berikut:

Tabel 4. 8. Rekapitulasi Rasio Ukuran Utama

Rasio	Min	Harga	Max	Status	Keterangan Harga Rasio Rasio
L/B	3.5	3.5	10.0	Memenuhi	Memiliki hambatan kapal besar
B/T <sub>FW</sub>	1.8	4.9	5.0	Memenuhi	Memiliki stabilitas yang kaku
B/T <sub>SW</sub>	1.8	5.0	5.0	Memenuhi	Memiliki stabilitas yan kaku
L/T <sub>FW</sub>	10	17.2	30	Memenuhi	Memiliki kekuatan memanjang yang cukup
B/T <sub>SW</sub>	10	17.6	30	Memenuhi	Memiliki kekuatan memanjang yang cukup

Menurut (Tabaczek, 2007) kapal yang beroperasi pada *inland waterway* umumnya memiliki kecepatan dinas kapal 10-15 km/jam. Dalam menentukan perhitungan hidrostatis dan perhitungan lainnya, selain ukuran utama kapal, terdapat komponen lain yang berperan terhadap perhitungan teknis suatu kapal, yaitu koefisien-koefisien yang merupakan fungsi dari perbandingan dimensi ukuran utama kapal. Berikut hasil perhitungan terhadap koefisien-koefisien kapal mengacu pada formula yang dijelaskan oleh (Parsons, 2001):

Tabel 4. 9. Rekapitulasi Harga Koefisien

Koefisien	Harga
<i>Froude Number</i> (Fn)	0.177
<i>Block Coefficient</i> (C <sub>B</sub> )	0.814
<i>Midship Coefficient</i> (C <sub>M</sub> )	0.994
<i>Prismatic Coefficient</i> (C <sub>P</sub> )	0.818
<i>Waterplane Coefficient</i> (C <sub>WP</sub> )	0.884

Setelah diketahui besar harga dari masing-masing koefisien, maka didapatkan analisa seperti berikut:

- Dikarenakan Fn merupakan fungsi dari kecepatan dinas dan panjang kapal, dimana harga dari keduanya adalah konstan untuk kedua kondisi perairan, maka Fn untuk pelayaran perairan sungai sama dengan Fn untuk pelayaran perairan laut.
- Dari hasil perhitungan di atas dapat dijelaskan bahwa harga C<sub>B</sub> merupakan fungsi dari Fn. Secara tidak langsung bahwa perhitungan C<sub>B</sub> sangat dipengaruhi oleh kecepatan dinas dan panjang kapal. Apabila kecepatan dinas kapal semakin tinggi maka menghasilkan C<sub>B</sub> yang semakin besar, sedangkan apabila panjang kapal semakin besar maka menghasilkan C<sub>B</sub> yang semakin kecil. Pada kasus kapal *Self-Propelled Car Barge* ini dapat dilihat bahwa rasio kecepatan kapal memiliki harga yang kecil sehingga menghasilkan C<sub>B</sub> yang cukup besar.
- Hasil perhitungan C<sub>M</sub> menjadi besar karena harga berbanding lurus dengan harga C<sub>B</sub>, mengingat harga C<sub>B</sub> yang tidak kecil mengakibatkan harga C<sub>M</sub> menjadi besar dan hampir menyerupai kotak.
- Harga C<sub>P</sub> dari suatu kapal akan mempengaruhi besar hambatan kapal yang digunakan dalam pertimbangan untuk menentukan beberapa koefisien hambatannya.

- Besaran harga  $C_{WP}$  dipengaruhi oleh harga  $C_B$  dan  $C_M$  yang terakumulasi menjadi  $C_P$ , harga  $C_{WP}$  berbanding lurus dengan harga  $C_P$  dan biasa digunakan dalam perhitungan untuk penentuan luasan permukaan basah.

Setelah diketahui besaran masing-masing koefisien, maka ditentukan besar harga panjang garis air, displasemen, dan jarak terhadap titik apung kapal. Seperti perhitungan di bawah ini:

- Length of Waterline ( $L_{WL}$ )

Merupakan panjang kapal pada ketinggian tepat di garis air. Berbeda dengan  $L_{PP}$  yang digunakan untuk kebutuhan konstruksi,  $L_{WL}$  umum digunakan untuk kebutuhan menghitung kriteria hidrostatis, baik itu koefisien, displasemen, hambatan, dll. Pada umumnya besar harga  $L_{PP}$  berada pada batas antara 0.96-0.97 dari harga  $L_{WL}$ , maka dapat ditarik persamaan bahwa besar harga  $L_{WL}$  sama dengan 1.03-1.04 harga  $L_{PP}$ . Pada kapal *Self-Propelled Car Barge* ini didapatkan harga  $L_{WL}$  sebesar:

$$\begin{aligned} L_{WL} &= 104 \% L_{PP} \\ &= 55.2206 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Dikarenakan *Self-Propelled Car Barge* memiliki  $C_B$  yang besar dengan bentuk yang menyerupai kotak, maka  $L_{WL}$  pada perairan sungai dan  $L_{WL}$  pada perairan laut dianggap sama karena hanya memiliki perbedaan sarat yang kecil.

- Displasemen Ton ( $\Delta$ )

Adalah berat total dari air yang dipindahkan oleh kapal tersebut selama kapal tercelup dalam air. Displasemen ton merupakan fungsi dari volume displasemen dan masa jenis air. Berikut merupakan panjabaran perhitungan displasemen ton menurut (Parsons, 2001):

Untuk perairan sungai:

$$\begin{aligned} \Delta &= L \times B \times T_{FW} \times C_B \times \rho_{FW} \\ &= 2107.306 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perairan laut didapatkan:

$$\begin{aligned} \Delta &= L \times B \times T_{SW} \times C_B \times \rho_{SW} \\ &= 2107.306 \text{ ton} \end{aligned}$$

Perhitungan di atas dapat dianalisa bahwa untuk dua kondisi perairan yang berbeda memiliki satu harga displasemen ton yang sama, akan tetapi berdampak pada perbedaan volume displasemen dan ukuran utama, pada hal ini adalah perbedaan harga sarat kapal.

- Volume Displasemen ( $V$ )

Yaitu volume dari air yang dipindahkan oleh kapal tersebut. Besar harga dari volume displasemen dipengaruhi oleh ukuran utama dan koefisien blok dari suatu kapal. Dan berikut ini merupakan analisa terhadap volume displasemen:

Pada perairan sungai:

$$\begin{aligned} V &= L \times B \times T_{FW} \times C_B \\ &= 2107.31 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

Sedangkan pada perairan laut:

$$V = L \times B \times T_{SW} \times C_B$$

$$= 2055.91 \quad m^3$$

Terjadi perbedaan dari harga volume displasemen di dua keadaan, hal ini dikarenakan adanya perbedaan masa jenis di kedua perairan yang berdampak pada perbedaan sarat kapal.

#### IV.5.2 Analisis Hambatan Kapal

Hambatan kapal merupakan aspek penting dalam pemilihan mesin penggerak utama kapal, terutama pada proses desain kapal dengan dua kondisi perairan seperti sungai dan laut. Ada hal yang harus diperhatikan dalam melakukan perhitungan hambatan pada perairan sungai, karena terdapat batasan pada kondisi kedalaman sungai. Menurut studi yang dilakukan (HydroComp Inc., 2013) kedalaman sungai yang dangkal (*shallow water*) dapat memperlambat kecepatan kapal karena adanya *sinkage* atau *squat* yang diakibatkan oleh efek Bernoulli. Oleh karena itu kecepatan kapal di perairan sungai membutuhkan margin kecepatan yang lebih agar kapal dapat melaju dengan kecepatan yang diinginkan. Jumlah kecepatan kapal yang hilang dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Tabel 4. 10. Besar  $V_s$  loss

$F_{NH}$	0.0 - 0.4	0.6	0.8	1.0
$V_s$ loss	0%	1%	4%	14%

$F_{NH}$  = Depth Froude Number

$$F_{NH} = 0.164 \times \frac{V_{KT}}{(H_M)^{0.5}}$$

Dimana:

$V_{KT}$  = Kecepatan kapal (knot)

$H_M$  = Kedalaman sungai (m)

Maka:

$$F_{NH} = 0.656$$

$$V_s \text{ loss} = 1.84 \% \text{ (didapatkan dari hasil interpolasi)}$$

Dari kecepatan yang hilang sebesar 1.84% maka kecepatan aktual adalah 7.85 knot sehingga harus didesain sebesar 8.15 knot (4.19 m/s) agar kapal mampu berlayar dengan kecepatan 8.00 knot. Kecepatan ini hanya digunakan pada pelayaran di perairan sungai, karena pada perairan laut hal ini dapat diabaikan.

Setelah diketahui berapa besar kecepatan dinas yang dibutuhkan untuk berlayar di perairan sungai, maka selanjutnya dilakukan perhitungan besar hambatan kapal dengan dua kecepatan yang berbeda. Berikut merupakan hasil analisa terhadap perhitungan hambatan kapal menggunakan metode Holtrop and Mennen menurut (Lewis, 1988):

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

Dimana:

P	= Masa jenis air laut	(ton/m <sup>3</sup> )
V <sub>S</sub>	= Kecepatan kapal	(m/s)
S <sub>Tot</sub>	= Luas total permukaan kapal di bawah garis air	(m <sup>2</sup> )
C <sub>F</sub>	= Koefisien gesek ( <i>Frictional coefficient</i> )	
(1+k)	= Faktor bentuk lambung	
C <sub>A</sub>	= <i>Model-ship correlation allowance</i>	
R <sub>W</sub>	= Hambatan akibat pengaruh gelombang	(kN)
W	= Displasemen kapal	(ton)

### 1. *Wave-making Resistance (R<sub>W</sub>)*

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

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

Kapal berkecepatan rendah dengan  $Fn \leq 0.4$  maka perhitungan hambatan gelombang menggunakan *Havelock Formula*, untuk perhitungan rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal, dengan rekapitulasi perhitungan *wave-making resistance* sebagai berikut:

Tabel 4. 11. Besar *Wave-making Resistance (R<sub>W</sub>)*

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
Fn	0.177	-	-
C <sub>4</sub>	0.275	-	Untuk $0.11 \leq B/L \leq 0.275$
(T/B) <sup>1.0796</sup>	0.180	-	-
iE	55.410	° (derajat)	-
C <sub>1</sub>	22.884	-	-
C <sub>2</sub>	1	-	Untuk luas <i>bulbous bow</i> = 0 m <sup>2</sup>
C <sub>3</sub>	1	-	Untuk luas <i>transom</i> = 0 m <sup>2</sup>
D	-0.9	-	Untuk $Fn \leq 0.4$
C <sub>5</sub>	1.152	-	Untuk $C_p \geq 0.8$
m <sub>1</sub>	-2.625	-	-
C <sub>6</sub>	-1.694	-	Untuk $L^3 / V \leq 512$
m <sub>2</sub>	-2.611 x 10 <sup>-5</sup>	-	-
Λ	1.091	-	Untuk $L/B < 12$
W	20672.7	kN	-
R <sub>W</sub> /W	8.69 x 10 <sup>-5</sup>	-	-
R <sub>W</sub>	1.80	kN	-

## 2. *Form Factor of Bare Hull (1+k)*

Faktor ini dari pengaruh bentuk lambung kapal di dalamnya meliputi faktor bentuk lambung itu sendiri dan faktor penambahan bentuk lambung lainnya. Adapun komponen untuk menghitung harga dari faktor pengaruh bentuk lambung seperti di bawah ini:

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

Tabel 4. 12. Besar *Form Factor of Bare Hull (1+k)*

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
L/L <sub>R</sub>	4.484	-	Untuk L <sub>R</sub> /L = 0.223
C <sub>Stern</sub>	0	-	Untuk bentuk belakang normal
c	1	-	-
1+k <sub>1</sub>	1.469	-	-
(1+k <sub>2</sub> ) <sub>i</sub>	1.5	-	Untuk <i>spade rudder (twin screw)</i>
S <sub>Kemudi</sub>	5.974	m <sup>2</sup>	Untuk satu daun kemudi = 2.987 m <sup>2</sup>
ΣS <sub>i</sub>	5.974	-	-
1+k <sub>2</sub>	1.5	-	-
WSA	985.476	m <sup>2</sup>	-
S <sub>App</sub>	5.974	m <sup>2</sup>	-
1+k	1.470	-	-

## 3. *Friction Coefficient (C<sub>F</sub>)*

Koefisien gesek adalah koefisien dari hambatan gesek yang terjadi pada kapal selama kapal berlayar. Terdapat formula perhitungan untuk menghitung koefisien gesek seperti di bawah ini:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

Tabel 4. 13. Besar *Friction Coefficient (C<sub>F</sub>)*

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
νS	1.1883 x 10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /det	Untuk air laut
Rn	194769934.7	-	-
C <sub>F</sub>	0.00190	-	-

## 4. *Correlation Allowance (C<sub>A</sub>)*

Merupakan faktor penambahan terhadap nilai hambatan kapal yang disebabkan oleh adanya efek kekasaran pada lambung selama kapal mendapatkan hambatan kapal. Untuk menghitung besar C<sub>A</sub> dapat digunakan formula sesuai dengan International Towing Tank Conference (ITTC) seperti di bawah ini:

Tabel 4. 14, Besar *Correlation Allowance* ( $C_A$ )

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
T/L <sub>WL</sub>	0.05597	-	-
C <sub>A</sub>	62.670 x 10 <sup>-5</sup>	-	Untuk T/L <sub>WL</sub> > 0.4

5. *Total Resistance* ( $R_T$ )

Setelah keseluruhan komponen hambatan telah dihitung, maka dapat diperoleh besar hambatan total dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 & (1+k) &= 1.46999 \\
 V_s &= 4.19 \text{ m/sec} & C_A &= 0.00063 \\
 S_{Tot} &= 991.45 \text{ m}^2 & R_w &= 1.80 \text{ kN} \\
 C_F &= 0.00190 & W &= 20672.7 \text{ kN} \\
 R_T &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{Tot} [ C_F (1+k) + C_A ] + R_w / W * W \\
 &= 29729.6 \text{ N} \\
 &= 29.730 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6. *Resistance Margin*

*Resistance Margin* atau biasa disebut *sea margin* merupakan margin yang diberikan akibat adanya penambahan hambatan kapal yang disebabkan bertambahnya kekasaran lambung kapal oleh korosi dan *fouling* pada lambung kapal. Berikut merupakan besar hambatan total yang sudah diberikan penambahan margin:

$$\begin{aligned}
 \text{Margin} &= 10 - 15 \% R_T \\
 R_T + \text{Margin} &= R_T + 15\% \\
 &= 34.189 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jadi hambatan total yang diterima *Self-Propelled Car Barge* pada perairan sungai adalah sebesar 33.033 kN. Sedangkan hambatan total *Self-Propelled Car Barge* pada perairan laut didapatkan melalui proses yang sama dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 15, Rekapitulasi Besar Hambatan

Jenis Hambatan	Perairan Sungai	Perairan Laut
$\rho$	1 ton/m <sup>3</sup>	1.025 ton/m <sup>3</sup>
V <sub>s</sub>	8.15 knot	8.00 knot
R <sub>w</sub>	1.80 kN	1.83 kN
(1+k)	1.46993	1.46872
C <sub>F</sub>	0.0019	0.0019
C <sub>A</sub>	0.00063	0.00063
R <sub>T</sub>	29.730 kN	29.196 kN
R <sub>T</sub> + Margin	34.189 kN	33.575 kN

Pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa harga hambatan kapal pada pelayaran perairan sungai memiliki harga yang lebih besar. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan masa jenis air dan kecepatan dinas kapal yang didesain.

#### IV.5.3 Analisis Kebutuhan Daya Mesin Induk

Sebelum dilakukan pemilihan mesin induk (*main engine*), perlu diketahui terlebih dahulu untuk kebutuhan daya penggerak. Kebutuhan daya penggerak dihitung guna mendapatkan besar daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal melawan besar hambatan sesuai dengan kecepatan yang diharapkan. Terdapat beberapa komponen dalam perhitungan daya kapal, seperti EHP, DHP, SHP, dan BHP.

Pada jenis kapal *Self-Propelled Car Barge* yang memiliki sarat yang rendah umumnya memiliki dua baling-baling (*twin-screw*). Hal ini dikarenakan bagian buritan *Self-Propelled Car Barge* memiliki bentuk yang datar dan kaku sehingga tidak mampu mengalirkan aliran air sampai ke bagian tengah buritan. Oleh karena itu digunakan dua *propeller* pada buritan kapal guna dapat menjangkau aliran air untuk masuk ke dalam baling-baling. Diameter dari *propeller* yang didesain ditentukan sebesar  $\frac{2}{3}$  sarat untuk kebutuhan satu kapal, dan bagi kapal dengan penggerak *twin-screw*, maka besar diameter masing-masing propeller adalah setengah dari kebutuhan diameter untuk satu kapal atau setara dengan  $\frac{1}{6}$  sarat. Berikut hasil dari perhitungan kebutuhan mesin induk untuk pelayaran perairan sungai:

##### 1. *Effective Horse Power (EHP)*

EHP merupakan daya yang dibutuhkan yang dipengaruhi oleh fungsi hambatan total dan kecepatan kapal agar kapal dapat berlayar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan harga EHP menurut (Lewis, 1988):

$$EHP = RT \times Vs$$

Tabel 4. 16, Kebutuhan Daya EHP

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
$R_T$	34.189	kN	Kebutuhan satu kapal
$V_s$	4.191	m/s	$V_s = 8.15$ kn
EHP	143.296	kW	Kebutuhan satu kapal
	192.163	HP	Kebutuhan satu kapal
EHP/SCREW	71.648	kW	Kebutuhan satu <i>screw</i>
	96.082	HP	Kebutuhan satu <i>screw</i>

2. *Delivery Horse Power (DHP)*

Terdapat penambahan daya yang dibutuhkan untuk sampai di *propeller* yang diakibatkan oleh adanya pengurangan dari efisiensi lambung, efisiensi relatif-rotatif, dan *open water efficiency*. Berikut merupakan perhitungan dalam menentukan harga DHP menurut (Lewis, 1988):

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D}$$

Tabel 4. 17. Kebutuhan Daya DHP

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
w	0.19693	-	Untuk kapal <i>twin screw</i>
T	0.19785	-	Untuk kapal <i>twin screw</i> dengan strut
$\eta_H$	0.99885	-	-
$\eta_R$	0.99650	-	Untuk P/D = 1.00
$\eta_O$	0.550	-	Untuk estimasi awal
$\eta_D$	0.54745	-	-
EHP	143.296	kW	Kebutuhan satu kapal
DHP	261.753	kW	Kebutuhan satu kapal
	351.017	HP	Kebutuhan satu kapal
DHP/SCREW	130.877	kW	Kebutuhan satu <i>screw</i>
	175.508	HP	Kebutuhan satu <i>screw</i>

3. *Shaft Horse Power (SHP)*

SHP merupakan daya yang dibutuhkan setelah melewati *stern tube* dan *bearing*. Terdapat pengurangan daya akibat adanya penurunan efisiensi *stern tube* dan *bearing*. Adapun perhitungan yang digunakan untuk menentukan besaran daya SHP menurut (Parsons, 2001):

$$SHP = \frac{DHP}{\eta_S \eta_B}$$

Tabel 4. 18. Kebutuhan Daya SHP

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
$\eta_S \eta_B$	0.98	-	Untuk kamar mesin dibelakang
DHP	261.753	kW	Kebutuhan satu kapal
SHP	267.095	kW	Kebutuhan satu kapal
	358.180	HP	Kebutuhan satu kapal
SHP/SCREW	133.548	kW	Kebutuhan satu <i>screw</i>
	179.090	HP	Kebutuhan satu <i>screw</i>

#### 4. Break Horse Power (BHP)

Daya BHP yang dibutuhkan lebih besar dari SHP akibat adanya pengurangan daya yang diakibatkan pengurangan efisiensi tranmisi. Untuk mendapatkan harga BHP dapat ditentukan dengan perhitungan menurut (Parsons, 2001) sebagai berikut:

$$BHP = \frac{SHP}{\eta_T}$$

Tabel 4. 19. Kebutuhan Daya BHP

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
<i>li</i>	0.010	-	Untuk <i>gear reduction</i>
<i>li</i>	0.005	-	Untuk <i>trust bearing</i>
<i>li</i>	0.010	-	Untuk <i>reversing gear path</i>
$\eta_T$	0.9752	-	-
SHP	267.095	kW	Kebutuhan satu kapal
BHP	273.888	kW	Kebutuhan satu kapal
	367.289	HP	Kebutuhan satu kapal
BHP/SCREW	136.944	kW	Kebutuhan satu <i>screw</i>
	183.645	HP	Kebutuhan satu <i>screw</i>

#### 5. Maximum Continous Rating (MCR)

Setelah didapatkan besar daya motor induk yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapl sesuai dengan kecepatannya, tahapan terakhir adalah menghitung kebutuhan MCR yang merupakan kebutuhan daya mesin penggerak utama (BHP) yang telah diberikan margin oleh adanya penambahan dari *power desaign margin* dan *power service margin*. MCR juga digunakan sebagai daya yang digunakan dalam pemilihan *main engine*. Berikut merupakan tahapan untuk mendapatkan harga MCR menurut (Parsons, 2001):

$$MCR = BHP \frac{1 + M_D}{1 - M_S}$$

Tabel 4. 20. Kebutuhan Daya MCR

Komponen	Harga	Satuan	Keterangan
BHP	273.888	kW	Kebutuhan satu kapal
M <sub>v</sub>	10	%	Margin pelayaran (Indonesia)
BHP + M <sub>v</sub>	301.277	kW	-
M <sub>D</sub>	5	%	Margin desain 3-5 %
M <sub>S</sub>	25	%	Margin pemakaian 15-25 %
MCR	421.787	kW	Kebutuhan satu kapal
	565.626	HP	Kebutuhan satu kapal
MCR/ <sub>SCREW</sub>	210.894	kW	Kebutuhan satu <i>screw</i>
	282.813	HP	Kebutuhan satu <i>screw</i>

Setelah dilakukan analisa kebutuhan daya mesin induk *Self-Propelled Car Barge* pada pelayaran perairan sungai, maka selanjutnya dihitung untuk kebutuhan mesin induk pada pelayaran perairan laut. Rekapitulasi hasil analisa kebutuhan mesin induk dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 21. Rekapitulasi Kebutuhan Daya Mesin Induk

<i>Power</i>	Perairan Sungai	Perairan Laut
$R_T$	34.189 kN	33.575 kN
EHP	143.296 kW	138.180 kW
DHP	261.753 kW	252.409 kW
SHP	267.095 kW	257.560 kW
BHP	273.888 kW	264.110 kW
MCR	421.787 kW	406.730 kW
MCR / Screw	210.894 kW	203.365 kW

Jika dilihat pada tabel di atas, dapat dianalisa bahwa kebutuhan daya mesin induk pada pelayaran perairan sungai memiliki harga yang lebih besar, Hal ini dikarenakan input dari hambatan kapal yang memiliki harga yang lebih besar pada pelayaran perairan sungai, mengingat harga kebutuhan daya mesin induk berbanding lurus dengan besar hambatan kapal.

#### IV.5.4 Analisis Pemilihan Mesin Induk

Dari hasil analisa kebutuhan daya mesin induk yang sudah dilakukan sebelumnya, maka dapat diketahui besar kebutuhan daya minimum untuk setiap mesin induk. Kebutuhan daya ditentukan dengan dipilih harga terbesar dengan tujuan mesin induk dapat mengakomodir kebutuhan daya di dua kondisi perairan. Oleh karena itu kebutuhan daya mesin induk minimum ditentukan sebesar 210.894 kW untuk setiap mesin, yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam pemilihan mesin induk.

Adapun kriteria yang harus diperhatikan dalam pertimbangan pemilihan mesin induk yaitu kebutuhan daya mesin, ukuran mesin induk yang dapat mempengaruhi dalam perencanaan kamar mesin, serta berat mesin induk yang mempengaruhi dalam perhitungan berat kapal. Seluruh kriteria mesin induk didapatkan dari keterangan yang tertera pada katalog mesin. Dari seluruh pertimbangan yang ada, maka dipilih mesin induk MAN-D2866 yang diproduksi oleh MAN Nutzfahrzeuge Group dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

Tabel 4. 22. Spesifikasi Teknis Mesin Induk

<b>MAN-D2866</b>	
<i>Type of Engine</i>	LXE 40
<i>Bore</i>	128 mm
<i>Stroke</i>	155 mm
<i>Displacement</i>	11.97 l
<i>Normal Rating</i>	279 kW
<i>Rated Speed</i>	1800 rpm
<i>Torque at Rated Speed</i>	1480 Nm
<i>Max. Torque</i>	1564 Nm
<i>At Speed</i>	1500 rpm
<i>Specific Fuel Consumption</i>	206 g/kWh
<i>Fuel Consumption</i>	69 l/h
<i>Fuel Density</i>	890 kg/m <sup>3</sup>
<b>Dimensions:</b>	
<i>Length</i>	1.448 m
<i>Width</i>	0.897 m
<i>Height</i>	1.148 m
<i>Shaft-Top</i>	0.817 m
<i>Weight</i>	1.02 Ton

Setelah diketahui jenis mesin induk dan besar daya yang dibutuhkan, maka selanjutnya dilakukan analisa terhadap penentuan mesin bantu (*auxiliary engine*) yang digunakan sebagai *generator set* yang memiliki fungsi untuk pembangkit sumber listrik guna memenuhi kebutuhan pasokan listrik di atas kapal. Perhitungan kebutuhan daya mesin bantu diestimasikan sebesar 25% dari besar daya mesin induk dengan penggunaan dua buah unit mesin bantu. Berikut ini merupakan analisa terhadap kebutuhan daya mesin bantu:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{AuxReq.}} &= 25\% \times 421.787 \text{ kW} \\
 &= 105.447 \text{ kW} \\
 &= 141.406 \text{ HP} \\
 \text{Jumlah} &= 2 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{AuxReq.}} &= 52.723 \text{ kW/unit} \\
 &= 70.703 \text{ HP/unit}
 \end{aligned}$$

Ditentukan penggunaan mesin bantu sebanyak dua unit dengan masing-masing daya yang dibutuhkan sebesar 50.8412 kW. Untuk pemilihan jenis mesin bantu dapat dilihat pada katalog mesin bantu dan disesuaikan dengan data teknis yang ada meliputi kebutuhan daya dan dimensi mesin. Jenis mesin bantu yang digunakan adalah CAT Diesel Engine C4.4 In-line 4 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. 23. Spesifikasi Teknis Mesin Bantu

CAT Diesel Engine C4.4 In-line 4		<i>Dimensions:</i>	
<i>Type of Aux. Engine</i>	D60-8S Single Phase	Length	1.932 m
<i>Bore</i>	105 mm	<i>Width</i>	1.11 m
<i>Stroke</i>	127 mm	<i>Height</i>	1.767 m
<i>Displacement</i>	4.4 l	<i>Weight</i>	1.021 ton
<i>Normal Rating</i>	60 kW		
<i>Rated Speed</i>	1800 rpm		
<i>Fuel Consumption</i>	19.5 l/h		
<i>Fuel Density</i>	0.85 kg/l		

#### IV.5.5 Analisis Berat dan Titik Berat Kapal

Kondisi keseimbangan kapal merupakan salah satu aspek yang penting untuk diperhatikan. Pada dasarnya keseimbangan kapal dipengaruhi oleh kondisi pembebanan kapal yang meliputi berat dan titik berat kapal. Perencanaan terhadap berat dan titik berat dapat berpengaruh pada perhitungan dan batasan teknis lainnya seperti trim, stabilitas, perhitungan kekuatan, dll. Perhitungan berat pada kapal pada umumnya terbagi menjadi dua komponen, yaitu LWT dan DWT.

##### 1. Berat *Light Weight Tonnage* (LWT)

LWT digolongkan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

- Berat komponen baja,
- Berat komponen sistem, dan
- Berat peralatan dan perlengkapan.

##### a. Berat Komponen Baja Kapal

Merupakan seluruh berat dari komponen baja yang meliputi berat baja di bawah geladak utama, berat sistem keamanan peti kemas, dan berat dari bangunan atas dan rumah geladak.

##### i. Berat Baja Di Bawah Geladak Utama

Menurut (Schneekluth & Betram, 1998) untuk jenis kapal *cargo ship* dihitung dengan formula:

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

Dimana:

$$\begin{aligned}
W_{HS} &= \text{Berat baja di bawah geladak utama} && (\text{ton}) \\
V_u &= \text{Volume kapal di bawah geladak utama} && (\text{m}^3) \\
C_{ST} &= 0.090 \sim 0.100 \\
C_{BD} &= \text{Block coefficient to waterline tangential to topmost continuous deck} \\
C_{BD} &= C_B + C_1 (H - T)/T (1 - C_B) \\
C_{ST} &= 0.093 \quad (\text{diambil}) \\
C_1 &= 0.25 \quad \text{untuk kapal dengan } \textit{small flare} \\
C_{BD} &= 1.547 \\
V_u &= 3056.7 \quad \text{m}^3 \\
W_{HS} &= 465.285 \quad \text{ton}
\end{aligned}$$

ii. Berat Bangunan Atas dan Rumah Geladak

Perhitungan bangunan diatas geladak utama umumnya dibagi ke dalam dua komponen yaitu bangunan atas (*superstructure*) dan rumah geladak (*deck house*). Berikut merupakan perhitungan berat *superstructure* dan rumah geladak yang didapatkan dengan menggunakan metode (Schneekluth & Betram, 1998):

Tabel 4. 24. Berat Baja Bangunan Atas dan Rumah Geladak

Layer	Dimensi (m)			Volume (m <sup>3</sup> )	Koefisien (ton/m <sup>3</sup> )	Berat (ton)
	Panjang	Lebar	Tinggi			
Forecastle	7.65	15.17	2.50	145.160	0.1185	17.201
Poop	10.6	15.17	2.50	201.376	0.075	15.103
Deckhouse	7.96	10.50	2.50	104.534	0.093	9.722
Wheelhouse	5.30	7.50	2.50	49.778	0.055	2.738
<b>Total Berat W<sub>S&amp;D</sub></b>						44.764

iii. Berat Koreksi Baja Kapal

Merupakan penambahan berat dari baja kapal selain baja lambung kapal dan baja konstruksi lambung. Berikut merupakan perhitungan dari komponen berat koreksi baja kapal:

Tabel 4. 25. Berat Koreksi Baja Kapal

Komponen Berat		Koefisien	Berat (ton)	Keterangan
Konstruksi sekat	W <sub>BC</sub>	0.25 W <sub>HS</sub>	11.632	W <sub>HS</sub> = 465.285 ton
Konstruksi <i>double bottom</i>	W <sub>DB</sub>	0.1 V <sub>DB</sub>	42.535	V <sub>DB</sub> = 425.352 m <sup>3</sup>
Konstruksi dudukan mesin	W <sub>EF</sub>	-	0.472	P <sub>Engine</sub> = 558 kW
				n <sub>Engine</sub> = 1800 rpm
Total berat koreksi baja			54.640	

Setelah didapatkan besar berat dari masing-masing komponen baja, maka dapat dihitung total berat baja kapal yang diperlukan, seperti:

$$\begin{aligned} \text{Total } W_S &= \text{Jumlah keseluruhan berat komponen baja} \\ W_S &= W_{HS} + W_{CS} + W_{S\&D} + W_{CS} \\ &= 579.628 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Berat Komponen Sistem Kapal

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

- Berat *Propulsion units*
- Berat *Electrical units*
- Berat *Other units*
- *Special weight* pada kapal jenis tertentu, dan dalam kasus ini tidak diperhitungkan.

i. Berat Sistem Propulsi

Dalam perhitungan berat sistem propulsi diketahui data yang sudah didapatkan pada proses sebelumnya, seperti:

$$\begin{aligned} D &= 2.010 \text{ m} \\ A_E/A_O &= 0.40 \\ Z &= 4 \text{ blade} \end{aligned}$$

Dari data di atas maka didapatkan rekapitulasi berat sistem propulsi sebagai berikut:

Tabel 4. 26. Berat Sistem Propulsi

Komponen Berat		Berat (ton)	Keterangan
Mesin induk ( <i>main engine</i> )	$W_{E/Screw}$	1.020	Disesuaikan dengan katalog mesin MAN-D2866
	$W_E$	2.040	
Gear box	$W_{GB/Screw}$	0.740	Koefisien (0.3~0.4) = 0.4 n = 110 rpm
	$W_{GB}$	1.480	
Baling-baling ( <i>propeller</i> )	$W_{Prop/Screw}$	0.350	K = 0.043 ds = 0.120 m
	$W_{Prop}$	0.700	
Poros baling-baling ( <i>propeller shaft</i> )	$M/Screw$	0.373	$L_S = 4.2 \text{ m}$ $M/L_S = 0.089 \text{ ton/m}$
	M	0.746	
Total sistem propulsi	$W_{PU}$	4.965	Untuk dua rangkaian propulsi

ii. Berat Sistem Kelistrikan

Yang termasuk ke dalam komponen sistem kelistrikan antara lain adalah *generator* dan *drive engine*.

$$W_{Agg} = 0.001 \times BHP \times (15 + 0.014 \times BHP)$$

$$W_{Agg} = \text{Berat sistem kelistrikan (ton)}$$

$$BHP = 406.73 \text{ kW (kebutuhan seluruh kapal)}$$

Maka:

$$W_{Agg} = 0.001 \times P_B \times (15 + 0.014 \times P_B)$$

$$= 8.41696 \text{ ton}$$

- iii. Berat Persisteman Lainnya
- $$W_{MO} = (0.04 \sim 0.07) \times BHP$$
- $W_{MO}$  = Berat sistem permesinan lainnya
- diambil = 0.04
- Maka :
- $$W_{MO} = 0.04 \times 406.730$$
- $$= 16.2692 \text{ ton}$$

Setelah diketahui berat dari setiap kelompok sistem, maka dapat dihitung berat total dari komponen sistem, seperti:

$$\begin{aligned} \text{Total } W_{EP} &= \text{Jumlah keseluruhan berat permesinan pada kapal.} \\ &= W_{PU} + W_{Agg} + W_{MO} \\ &= 4.965 + 8.42 + 16.27 \\ &= 29.651 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Berat Peralatan dan Perlengkapan

Berat peralatan dan perlengkapan menurut (Schneekluth & Betram, 1998) secara garis besar dibagi menjadi 4 kelompok (*group*), yaitu:

- i. *Group I*, untuk berat dari penutup palkah ruang muat (*hatch cover*). Untuk berat grup I desain kapal *Self-Propelled Car Barge* tidak menggunakan *hatch cover*, maka komponen ini tidak diperhitungkan.
- ii. *Group II*, untuk berat peralatan bongkar muat (*cargo handling / access equipment*). Untuk berat grup II desain kapal *Self-Propelled Car Barge* tidak menggunakan *cargo handling*, maka komponen ini tidak diperhitungkan.
- iii. *Group III*, untuk berat peralatan di ruang akomodasi (*living quarter*). Dikarenakan desain kapal *Self-Propelled Car Barge* masuk ke dalam tipe kapal kargo berukuran kecil dan sedang, maka koefisien berat E&O ( $C_{E\&O}$ ) yang digunakan berdasarkan fungsi volume adalah  $60 \text{ kg/m}^3$ .
- iv. *Group IV*, merupakan berat perlengkapan dan peralatan lainnya, seperti seistem *mooring and anchoring*, sistem alat keselamatan, tangga, pintu kedap pada area luar akomodasi, *manhole covers*, peralatan pemadam kebakaran, dll.

Tabel 4. 27. Berat Peralatan dan Perlengkapan

Group	Komponen Berat	Volume (m <sup>3</sup> )	Koefisien (ton/m <sup>3</sup> )	Berat E&O (ton)
I ( <i>hatch cover</i> )	(N/A)	-	-	-
II ( <i>cargo handling</i> )	(N/A)	-	-	-
III ( <i>living quarter</i> )	<i>Forecastle</i>	145.160	0.060	8.710
	<i>Poop</i>	201.376	0.060	12.083
	<i>Deckhouse</i>	104.534	0.060	6.272
	<i>Wheelhouse</i>	49.778	0.060	2.987
IV ( <i>miscellaneous</i> )	-	241.625	0.180	43.493
Total berat E&O				73.543

d. Total Berat LWT

Apabila nilai berat dari komponen LWT yang meliputi berat komponen baja, berat komponen sistem dan berat peralatan dan perlengkapan, maka dapat diketahui berat total LWT sebesar:

$$\begin{aligned} \text{LWT} &= W_S + W_{EP} + W_{E\&O} \\ &= 579.628 + 29.651 + 73.543 \\ &= 682.823 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. ***Dead Weight Tonnage (DWT)***

DWT merupakan berat diluar berat kosong kapal yang dapat dipindahkan, yang mana terdiri atas beberapa komponen, meliputi berat muatan (*payload*), bahan bakar, berat minyak pelumas, berat air tawar, berat *provision*, berat orang (*crew* dan penumpang), dan berat barang bawaan. Perhitungan DWT ini dilakukan untuk satu kali perjalanan *round trip*.

a. Berat Muatan (*Payload*)

Besar *payload* yang ditentukan dalam desain *Self-Propelled Car Barge* ini sebesar 100 unit dengan perhitungan berat seperti:

$$\begin{aligned} \text{Payload} &= \text{Jumlah mobil} \times \text{Berat mobil} \\ \text{Jumlah mobil} &= 80 \text{ unit} \\ \text{Berat mobil} &= 2,5 \text{ ton / unit} \\ \text{Payload} &= 80 \times 2,5 \\ &= 200 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Penentuan Jumlah *Crew* (ABK)

Sebelum mencari harga berat dari *crew* dan *consumables*, maka terlebih dahulu untuk mencari jumlah ABK (Anak Buah Kapal) dengan perhitungan menurut (Parsons, 2001) seperti:

$$Z_c = C_{St} \times C_{Dk} \times (CN \times 35 / 10^5)^{1/6} + C_{Eng} \times (BHP / 10^5)^{1/3} + \text{Cadets}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} C_{St} &= 1.2 \quad \text{Koefisien Steward Deck (1.2 - 1.33)} \\ C_{Dk} &= 11.5 \quad \text{Koefisien Deck Departement (11.5 - 14.5)} \\ C_{Eng} &= 8.5 \quad \text{Koefisien Engine Departement (8.5 - 11.0)} \\ CN &= (L \times B \times H) / 1000 \\ &= (53.10 \times 15.17 \times 4.66) / 1000 \\ &= 3.75589 \\ BHP &= 565.626 \quad \text{HP} \\ \text{Cadets} &= \text{Perwira tambahan} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Z_c &= 8.08195 \\ &\approx 8 \quad \text{Orang} \end{aligned}$$

Dari total enam orang *crew* yang didapatkan, maka ditentukan susunan *crew* seperti, *captain*, *chief engineer*, *officer*, *engineer*, *quarter master*, dan *chief cook*.

c. Berat Crew and Consumables

Merupakan berat yang dibutuhkan untuk kebutuhan operasional ABK, meliputi berat crew dan bawanya, berat air tawar, dan berat persediaan makanan. Berikut merupakan rekapitulasi berat crew and consumables sesuai dengan (Schneekluth & Betram, 1998):

Tabel 4. 28. Berat Crew and Consumables

Komponen Berat		Kofisien Berat (ton/orang hari)	Jumlah Crew (orang)	Durasi Pelayaran	Berat (ton)
Crew	$W_{C\&E}$	0.17	8	3 hari	3.06
Air tawar	$W_{FW}$	0.17	8	3 hari	3.06
Provision and Store	$W_{PR}$	0.01	8	3 hari	0.18
Total Crew and Consumables			8	3 hari	6.30

d. Berat Bahan Bakar Heavy Fuel Oil (HFO)

$$W_{Fuel} = SFR \times MCR \times (R/Vs) \times Margin$$

Dimana:

- $W_{Fuel}$  = Berat bahan bakar HFO (ton)  
 $SFR$  = Specific Fuel Rate (ton/kW jam)  
 $MCR$  = Maximum Continuous Rating (kW)  
 $R$  = Jarak pelayaran (km)  
 $V_s$  = Kecepatan dinas kapal (m/s)

Margin= 10%

Maka:

$$W_{Fuel} = (0.00019 \times 406.730 \times (840.00 / 4.12)) + 10 \% = 17.9925 \text{ ton}$$

e. Berat Bahan Bakar Marine Diesel Oil (MDO)

$$W_{DO} = C_{DO} \times W_{Fuel}$$

Dimana:

- $W_{DO}$  = Berat bahan bakar MDO (ton)  
 $C_{DO}$  = Koefisien berat bahan bakar MDO = 0.2

$$W_{Fuel} = \text{Berat bahan bakar HFO (ton)}$$

Maka:

$$W_{DO} = 0.2 \times 17.9925 = 3.59849 \text{ ton}$$

f. Berat Lubrication Oil (Minyak Pelumas)

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

Dimana:

- $W_{LO}$  = Berat minyak pelumas (ton)  
 $\rho_{LO}$  = Masa jenis minyak pelumas (ton/m<sup>3</sup>)

Maka:

$$\rho_{LO} = 900 \text{ kg/m}^3 = 0.9 \text{ ton/m}^3$$

$$W_{LO} = 406.730 \times 0.90 \times (840.00 / 4.12) \times 10^{-6} \times 1.4$$

$$= 0.1085 \text{ ton}$$

g. Total Berat DWT

Setelah diketahui masing-masing berat dari komponen DWT, maka berat total DWT dapat dihitung seperti:

$$DWT = \text{Payload} + W_{C\&E} + W_{FW} + W_{PR} + W_{Fuel} + W_{DO} + W_{LO}$$

$$= 220 + 17.9925 + 3.59849 + 0.1085 + 1.652 + 0.330 + 0.010$$

$$= 23.799 \text{ ton}$$

### 3. Titik Berat

Perhitungan jarak titik berat kapal dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu jarak titik berat secara memanjang (*longitudinal center of gravity / LCG*) dan jarak titik berat secara vertikal (*vertical center of gravity / VCG*) atau biasa disebut dengan KG yaitu jarak antara *keel* dan titik berat kapal. Titik berat diestimasi pada bagian tengah masing-masing komponen. Berikut hasil analisa terhadap perhitungan titik berat:

Tabel 4. 29. Rekapitulasi Berat dan Titik Berat LWT

Komponen Berat		Berat (ton)	Titik Berat (m)	
			KG	LCG (FP)
<b><i>Lightweight Tonnage (LWT)</i></b>				
<u>Komponen Baja Kapal</u>				
1	Baja Di Bawah Geladak Utama	465.285	2.058	25.608
2	Peralatan Keamanan	14.940	7.279	24.137
3	Bangunan Atas dan Rumah Geladak	44.764	6.762	30.253
4	Koreksi Komponen Baja	54.640	0.876	24.342
	<b>Total Komponen Baja</b>	<b>579.628</b>	<b>2.444</b>	<b>25.809</b>
<u>Komponen Sistem Kapal</u>				
1	Sistem Propulsi	4.965	2.125	47.858
2	Sistem Kelistrikan	8.417		
3	Sistem Lainnya	16.269		
	<b>Total Komponen Sistem</b>	<b>29.651</b>	<b>2.125</b>	<b>47.858</b>
<u>Peralatan dan Perlengkapan Kapal</u>				
1	Group III (Ruang Akomodasi)	30.051	6.932	34.396
2	Group IV (Peralatan Lainnya)	43.492	4.663	26.548
	<b>Total Peralatan dan Perlengkapan</b>	<b>73.543</b>	<b>5.590</b>	<b>29.755</b>
<b>Total Lightweight Tonnes (LWT)</b>		<b>682.823</b>	<b>2.769</b>	<b>27.192</b>

Tabel 4. 30. Rekapitulasi Berat dan Titik Berat DWT

Komponen Berat		Berat (ton)	Titik Berat (m)	
			KG	LCG (FP)
<b>Deadweight Tonnage (LWT)</b>				
<u>Payload</u>				
1	<i>Payload (Car)</i>	220	7.291	24.137
<u>Crew dan Provisions</u>				
1	<i>Crew (ABK)</i>	3.060	6.746	47.486
2	<i>Air Tawar</i>	3.060	3.839	52.587
3	<i>Provision and Store</i>	0.180	5.913	47.929
	<b>Total Crew dan Provision</b>	<b>6.30</b>	<b>5.310</b>	<b>49.976</b>
<u>Minyak dan Bahan Bakar</u>				
1	<i>Heavy Fuel Oil (HFO)</i>	17.992	0.379	43.369
2	<i>Marine Diesel Oil (MDO)</i>	3.598	0.379	42.994
3	<i>Minyak Pelumas</i>	0.1085	0.569	42.719
	<b>Total Minyak dan Bahan Bakar</b>	<b>21.993</b>	<b>0.380</b>	<b>226.971</b>
<b>TOTAL Deadweight Tonnes (DWT)</b>		<b>1463.799</b>	<b>7.278</b>	<b>24.454</b>

Dari hasil perhitungan berat dan titik berat yang didapatkan seperti tabel di atas, maka dapat ditentukan berat dan titik berat gabungan (LWT + DWT) sebesar:

Diketahui:

$$LWT = 682.823 \quad \text{ton}$$

$$KG_{LWT} = 2.769 \quad \text{m}$$

$$LCG_{LWT} = 27.192 \quad \text{m}$$

$$DWT = 1463.799 \quad \text{ton}$$

$$KG_{DWT} = 7.278 \quad \text{m}$$

$$LCG_{DWT} = 24.454 \quad \text{m}$$

$$KG_{Tot} = \frac{(LWT \times KG_{LWT}) + (DWT \times KG_{DWT})}{(LWT + DWT)}$$

$$= 5.83073 \quad \text{m}$$

$$LCG_{Tot} = \frac{(LWT \times LCG_{LWT}) + (DWT \times LCG_{DWT})}{(LWT + DWT)}$$

$$= 25.3331 \quad \text{m}$$

#### 4. Batasan Berat dan Titik Berat

Untuk mengetahui apakah berat dan titik berat memenuhi koreksi atau tidak, maka dibutuhkan data dari perhitungan berat dan titik berat sebelumnya. Diketahui harga berat dan titik berat sebesar:

LWT+DWT	= 2128.601	ton
Displasemen ton ( $\Delta$ )	= 2107.306	ton
LCG	= 25.333	m dari FP
LCB	= 25.528	m dari FP
LWL	= 55.2206	m

a. Koreksi Displasemen

Merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara gaya apung dan gaya berat. Adapun batasan maksimum dari harga selisih antara gaya apung dan gaya berat sebesar  $\pm 5$  % dari harga gaya apung.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\Delta - (LWT + DWT)}{\Delta} \times 100 (\%) \leq 5\% \\
 &= \frac{2107.306 - (2126.916)}{2107.306} \times 100 (\%) \\
 &= 0.931 \%
 \end{aligned}$$

Dikarenakan hasil koreksi berat kurang dari 5 %, maka status koreksi berat adalah memenuhi, dan kapal dinyatakan dapat mengapung sesuai dengan jumlah muatan yang ditentukan.

b. Koreksi Titik Berat

Merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara jarak titik apung dan jarak titik berat. Untuk batasan maksimum dari harga selisih antara jarak titik apung dan jarak titik berat sebesar  $\pm 1$  % dari harga panjang garis air.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{LCB - LCG}{LWL} \times 100 (\%) \leq 5\% \\
 &= \frac{25.528 - 25.333}{55.2206} \times 100 (\%) \\
 &= 0.353\%
 \end{aligned}$$

Apabila melihat hasil koreksi titik berat yang kurang dari 1 %, maka status koreksi titik berat adalah memenuhi.

#### IV.5.6 Analisis *Freeboard* Kapal

*Freeboard* atau lambung timbul merupakan aspek penting dalam perencanaan desain kapal, hal ini dikarenakan *freeboard* digunakan sebagai daya apung cadangan kapal dan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan, baik keselamatan muatan, *crew*, dan kapal itu sendiri. Secara teknis jarak *freeboard* dapat diukur secara vertikal pada bagian *midship* kapal dari tepi garis geladak hingga garis air di area *midship*. Dalam ICLL, perhitungan *freeboard* dibedakan terhadap dua tipe sesuai dengan jenis kapal dan kriterianya, yaitu kapal tipe A yang memiliki kriteria sebagai kapal yang didesain memuat muatan cair curah, memiliki akses bukaan ke kompartemen yang kecil, serta ditutup penutup bermaterial baja yang kedap, dan memiliki kemampuan menyerap air atau gas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh. Contoh jenis kapal yang termasuk pada tipe A adalah *Tanker* dan *LNG Carrier*. Sedangkan kapal tipe B,

adalah kapal yang tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A. Untuk jenis *Self-Propelled Car Barge* pada program Tol Sungai ini termasuk ke dalam kapal tipe B. Adapun perhitungan tinggi *freeboard* minimum yang diatur dalam ICLL menurut (IMO, 1966), seperti berikut:

Tabel 4. 31. Rekapitulasi *Freeboard*

Koreksi		<i>Freeboard</i> (mm)	Keterangan
Standar <i>freeboard</i> minimum	F <sub>1</sub>	479.161	Dilihat pada tabel <i>freeboard</i> Tipe kapal B
Koreksi penambahan Fungsi panjang kapal	F <sub>2</sub>	2.052	L = 53.10 m E = 18.27 m
Koreksi penambahan Fungsi C <sub>B</sub> kapal	F <sub>3</sub>	528.570	C <sub>B</sub> > 0.68 C <sub>B</sub> = 0.814
Koreksi penambahan Fungsi tinggi kapal	F <sub>4</sub>	124.224	H > L/15 R = 110.62
Koreksi pengurangan Fungsi bangunan atas	F <sub>5</sub>	121.787	E = 0.344 L F <sub>5</sub> = 25.147% F <sub>1</sub>
Total minimum tinggi <i>freeboard</i>	F <sub>Tot</sub>	1012.219	F <sub>1</sub> + F <sub>2</sub> + F <sub>3</sub> + F <sub>4</sub> - F <sub>5</sub>

Setelah didapatkan seluruh hasil koreksi, maka didapatkan besar total minimum *freeboard* yang dibutuhkan. Dan selisih antara H-T harus melebihi dari *freeboard* minimum yang disyaratkan.

$$\begin{aligned}
 F_{Tot} &= \text{Freeboard minimum yang dibutuhkan.} \\
 &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - F_5 \\
 &= 1012.219 \text{ mm} \\
 H-T &= 1647 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai H-T lebih besar dari F<sub>Tot</sub>, maka desain ini memenuhi persyaratan tinggi minimum *freeboard*.

#### IV.5.7 Analisis Stabilitas

Salah satu aspek yang penting untuk diperhitungkan dalam mendesain suatu kapal adalah stabilitas kapal, yaitu kemampuan kapal untuk kembali kepada kedudukan kesetimbangan dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Terdapat beberapa metode dalam menentukan besaran kapal. Untuk metode yang digunakan untuk desain *Self-Propelled Car Barge* ini sesuai dengan metode yang dijelaskan oleh (Manning) yang mempertimbangkan besar lengan pengembali GZ. Untuk perhitungan GZ dapat didapatkan seperti berikut:

$$GZ = GG' \sin \phi + b_1 \sin 2\phi + b_2 \sin 4\phi + b_3 \sin 6\phi$$

Dimana:

$$\Phi = \text{sudut inklinasi}$$

$$GG' = KG' - KG$$

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

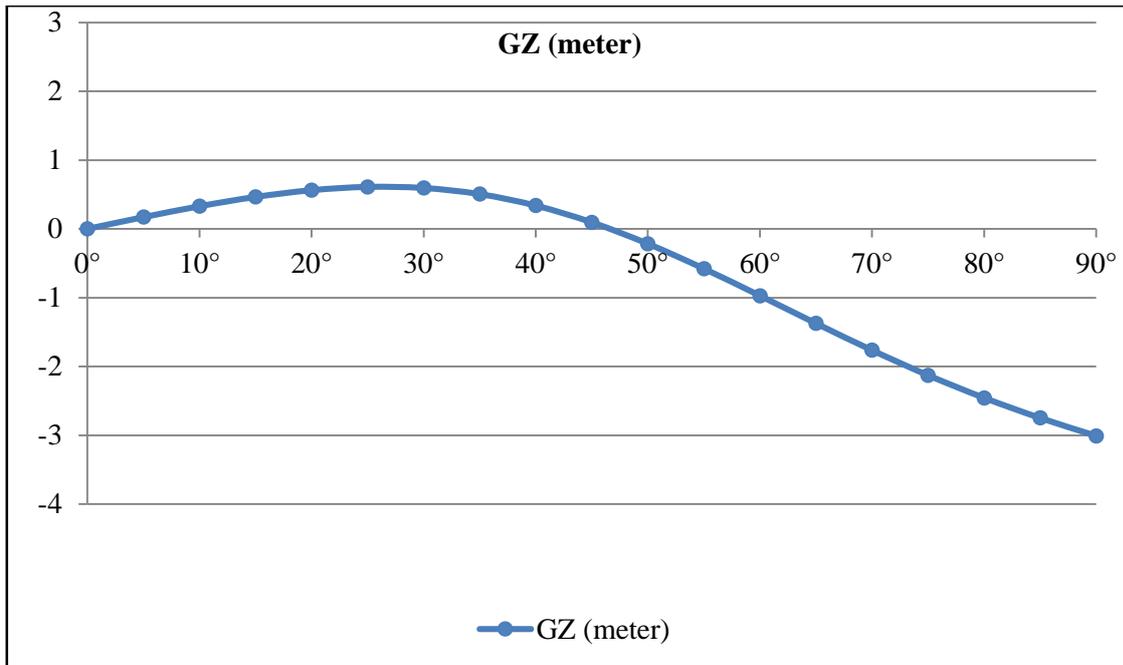
$$b_2 = \frac{G'M_0 + G'M_{90}}{8}$$

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

Dari formula di atas, maka didapatkan besar lengan GZ pada masing-masing sudut inklinasi ( $\phi$ ), seperti rekapitulasi berikut:

Tabel 4. 32. Tabel GZ

$\phi$	$GG' \sin \phi$	$b_1 \sin 2 \phi$	$b_2 \sin 4 \phi$	$b_3 \sin 6 \phi$	GZ (ft)	GZ (m)
0°	0	0	0	0	0	0
5°	-0.8601	1.22717	0.30105	-0.1098	0.55828	0.17016
10°	-1.7137	2.41705	0.56578	-0.1902	1.07893	0.32886
15°	-2.5542	3.53349	0.76228	-0.2197	1.52192	0.46388
20°	-3.3753	4.54257	0.86683	-0.1902	1.8439	0.56202
25°	-4.1707	5.41363	0.86683	-0.1098	1.99996	0.60959
30°	-4.9343	6.12019	0.76228	-3E-17	1.94816	0.5938
35°	-5.6604	6.64079	0.56578	0.10983	1.656	0.50475
40°	-6.3434	6.95962	0.30105	0.19024	1.10748	0.33756
45°	-6.9782	7.06699	1.1E-16	0.21967	0.30848	0.09403
50°	-7.5598	6.95962	-0.301	0.19024	-0.711	-0.2167
55°	-8.0839	6.64079	-0.5658	0.10983	-1.8991	-0.5788
60°	-8.5465	6.12019	-0.7623	5.4E-17	-3.1886	-0.9719
65°	-8.944	5.41363	-0.8668	-0.1098	-4.507	-1.3737
70°	-9.2735	4.54257	-0.8668	-0.1902	-5.788	-1.7642
75°	-9.5324	3.53349	-0.7623	-0.2197	-6.9808	-2.1278
80°	-9.7187	2.41705	-0.5658	-0.1902	-8.0577	-2.456
85°	-9.8311	1.22717	-0.301	-0.1098	-9.0148	-2.7477
90°	-9.8686	8.7E-16	-2E-16	-8E-17	-9.8686	-3.008



Gambar 4. 3. Kurva Lengan GZ

Dari besar GZ yang sudah didapatkan pada perhitungan sebelumnya, maka didapatkan kriteria stabilitas yang dijadikan acuan dalam persyaratan yang diatur oleh (IMO, 1974) sebagai berikut:

- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 30° adalah 0.055 m.rad.
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 40° adalah 0.09 m.rad.
- Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ antara sudut oleng 30°-40° adalah 0.03 m.rad.
- Lengan statis GZ pada sudut oleng  $\geq 30^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.20 m.
- Jarak GM pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0.15 m.
- Lengan statis (GZ) maksimum terjadi tidak boleh kurang dari 25°.

Dari persyaratan di atas, maka dapat disimpulkan apakah kriteria desain kapal sudah memenuhi kriteria stabilitas yang disyaratkan oleh (IMO, 1974) seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 33. Kriteria Stabilitas

Kriteria	Batasan Stabilitas	Harga Stabilitas	Satuan	Status
e 0 - 30°	0.055	0.70	m.rad	Memenuhi
e 0 - 40°	0.09	0.98	m.rad	Memenuhi
e 30 - 40°	0.03	0.28	m.rad	Memenuhi
GZ 30°	0.2	0.59	m	Memenuhi
GM 0°	0.15	1.97	m	Memenuhi
$\phi^\circ$ maksimum	25	26.25	° (derajat)	Memenuhi

#### IV.5.8 Analisis Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

Mengingat tahapan desain yang digunakan dalam desain ini baru sebatas *conceptual design*, maka estimasi biaya pembangunan kapal yang digunakan adalah tahap *conceptual or screening estimate* atau tingkatan estimasi kelas 5 yang merupakan tingkatan paling awal dalam proses penentuan biaya pembangunan. Estimasi yang dibuat berdasarkan data proyek sejenis yang pernah dibuat di waktu lalu atau menggunakan *parametric model, judgement, dan analogy*. Estimasi ini dibuat dengan tingkat penyelesaian lingkup pekerjaan 0% s.d. 2% dan memiliki tingkat akurasi berkisar antara batas bawah -20% s.d. -50% dan batas atas +30% s.d. +100%.

Tahapan pertama dalam melakukan estimasi biaya pembangunan adalah menentukan komponen biaya yang dijadikan acuan, dalam hal ini adalah biaya dari komponen baja yang dibutuhkan. Besar biaya komponen baja didapatkan dari berat baja kapal yang dikalikan dengan harga baja per satuan ton. Diketahui berat komponen baja seberat 579.628 ton dan harga baja didapatkan dari indeks harga baja menurut (The Steel Index, June 06-12 2016). Berikut perhitungan kebutuhan biaya komponen baja yang dibutuhkan:

Reference Prices for Week of June06 - 12, 2016(Week 26)							
The Steel Index Reference Prices (Exports/Imports)							
		1-week change		4-week change		Low*	High*
<b>Chinese Exports to EU/USA (FOB China Port)</b>							
HRC (USD/tonne)	514	▲ 3	+0.6%	▼ 1	-0.2%	502	555
CRC (USD/tonne)	583	= 0	0.0%	▼ 11	-1.9%	583	632
<b>Chinese Exports to Asia (FOB China Port)</b>							
HRC (USD/tonne)	506	▲ 1	+0.2%	▼ 1	-0.2%	505	551
<b>Asean Imports (CFR Asean Port)</b>							
HRC (USD/tonne)**	539	▲ 2	+0.4%	▼ 5	-0.9%	533	580
CRC (USD/tonne)	592	= 0	0.0%	▼ 15	-2.5%	592	648
Plate (USD/tonne)	520	▼ 2	-0.4%	▼ 6	-1.1%	520	554

\* Past 12 months \*\* SAE grade. Price shown is weekly average of daily prices

Gambar 4. 4. Indeks Harga Baja Per Ton (The Steel Index, June 06-12 2016)

$$\begin{aligned}
 \$ \text{ Steel Plate} &= W_s \times UP_s \\
 W_s &= 579.63 \text{ ton} \\
 UP_s &= \text{Unit Price Baja} \\
 &= \$520.0 / \text{ton} \\
 \$ \text{ Steel Plate} &= \$301406.818 \\
 \% \text{ Total Cost} &= 21 \%
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui besar harga komponen baja yang dibutuhkan, maka dihitung biaya pembangunan dari komponen lainnya berdasarkan harga baja yang dijadikan acuan dan persentase dari masing-masing komponen sesuai (PERTAMINA, 2007). Contoh perhitungan biaya dari persentase yang ada didapatkan sebagai berikut:

$$\text{\$ Komponen} = (\% \text{ Komponen} / \% \text{ Acuan}) \times \text{\$ Acuan}$$

Sebagai contoh: Ingin mencari biaya detail dari design cost (\\$ Desain)

$$\begin{aligned} \% \text{ Desain} &= 3.00 \% \text{ (Total Cost)} \\ \% \text{ Acuan} &= \% \text{ Steel and profile} \\ &= 21.00 \% \text{ (Total Cost)} \\ \$ \text{ Acuan} &= \$ \text{ Steel and profile} \\ &= \$301406.818 \\ \% \text{ Desain} &= (3.00 / 21.00) \times 301406.82 \\ &= \$43058.12 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, maka didapatkan besar biaya pembangunan dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4. 34. Persentase Komponen Biaya Pembangunan Kapal

Cost	Detail	%	\$
<b>DIRECT COST</b>	1. Hull Part		
	1.a. Steel plate and profile	21.00	\$301,406.82
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7.00	\$100,468.94
	1.c. Piping, valves and fittings	2.50	\$35,881.76
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2.00	\$28,705.41
	1.e. Coating (BWT only)	1.50	\$21,529.06
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1.00	\$14,352.71
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0.30	\$4,305.81
	Subtotal (1)	35.30	\$506,650.51
	2. Machinery Part		
	2.a. Propulsion system and accessories	12.00	\$172,232.47
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3.50	\$50,234.47
	2.c. Boiler and Heater	1.00	\$14,352.71
	2.d. Other machinery in in E/R	3.50	\$50,234.47
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2.50	\$35,881.76
	2.f. Machinery spare part and tool	0.50	\$7,176.35
	Subtotal (2)	23.00	\$330,112.23
	3. Electric Part		
	3.a. Electric power source and accessories	3.00	\$43,058.12
	3.b. Lighting equipment	1.50	\$21,529.06
	3.c. Radio and navigation equipment	2.50	\$35,881.76
	3.d. Cable and equipment	1.00	\$14,352.71
	3.e. Electric spare part and tool	0.20	\$2,870.54
	Subtotal (3)	8.20	\$117,692.19
	4. Construction cost		
	Consumable material, rental equipment and labor	20.00	\$287,054.11
Subtotal (4)	20.00	\$287,054.11	
5. Launching and testing			
Subtotal (5)	1.00	\$14,352.71	
6. Inspection, survey and certification			
Subtotal (6)	1.00	\$14,352.71	
<b>TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>	<b>88.50</b>	<b>\$1,270,214.45</b>	
<b>INDIRECT COST</b>	7. Design cost	3.00	\$43,058.12
	8. Insurance cost	1.00	\$14,352.71
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2.50	\$35,881.76
	<b>TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)</b>	<b>6.50</b>	<b>\$93,292.59</b>
<b>MARGIN</b>	<b>TOTAL III</b>	<b>5.00</b>	<b>\$71,763.53</b>
<b>GRAND TOTAL (I + II + III)</b>		<b>100.00</b>	<b>\$1,435,270.56</b>

Dari rincian estimasi biaya pembangunan di atas, maka diketahui estimasi biaya pembangunan total sebesar 1.435.270,56 USD. Kurs jual USD terhadap Rupiah menurut indeks mata uang Bank Indonesia per tanggal 14 Juni 2016 sebesar Rp. 13.339,00. Maka estimasi biaya pembangunan total dalam Rupiah sebesar Rp.19.145.073.999,00.

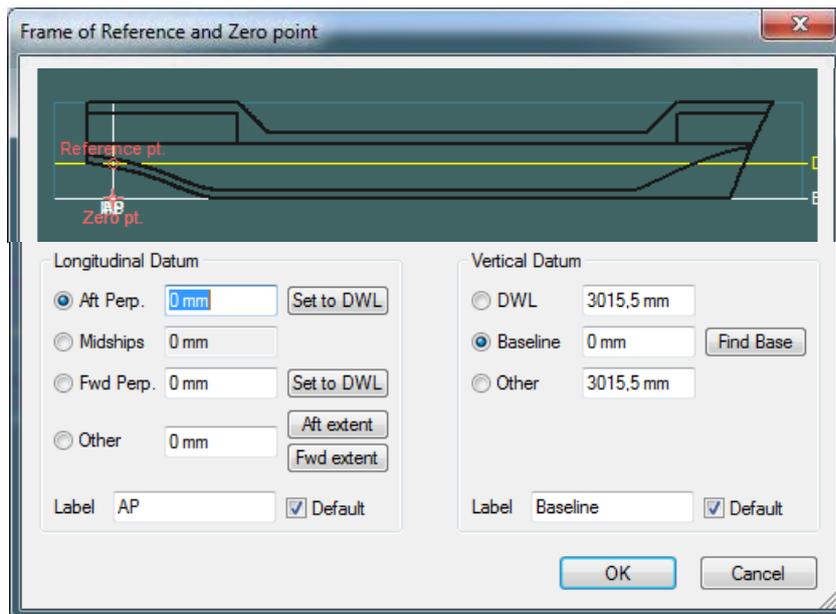
#### **IV.6 Pembuatan Rencana Garis *Self-Propelled Car Barge***

Menurut (Tim Kurikulum SMK Perkapalan, Departemen Pendidikan Nasional, 2003) Rencana Garis atau *Lines Plan* merupakan ambar potongan dan penampakan kapal yang diproyeksikan ke bidang diametral, bidang garis air, dan bidang tengah kapal. Gambar Rencana Garis ini dijadikan pegangan utama atau merupakan dasar bagi perencana untuk melaksanakan perancangan kapal secara lengkap, mulai dari menghitung karakteristik kapal, menentukan pembagian ruang di kapal, menentukan daya muat kapal, serta menghitung dan memeriksa kemampuan olah gerak kapal selama pelayaran.

Dalam proses pembuatan barge ini, pembuatan rencana garis dilakukan di software *Maxsurf*. Caranya adalah dengan perpaduan antara *Maxsurf* dengan *AutoCad*. Pada program *Maxsurf* juga disediakan beberapa desain dasar kapal, seperti *Tanker Bow, series 60, ship 1, ship 2, ship 3*, dan sebagainya. Dengan memanfaatkan desain dasar tersebut (berupa bagian bentuk kapal), maka dapat dibuat bagian kapal lainnya dengan menggunakan bentuk-bentuk dasar seperti model kapal yang dipilih.

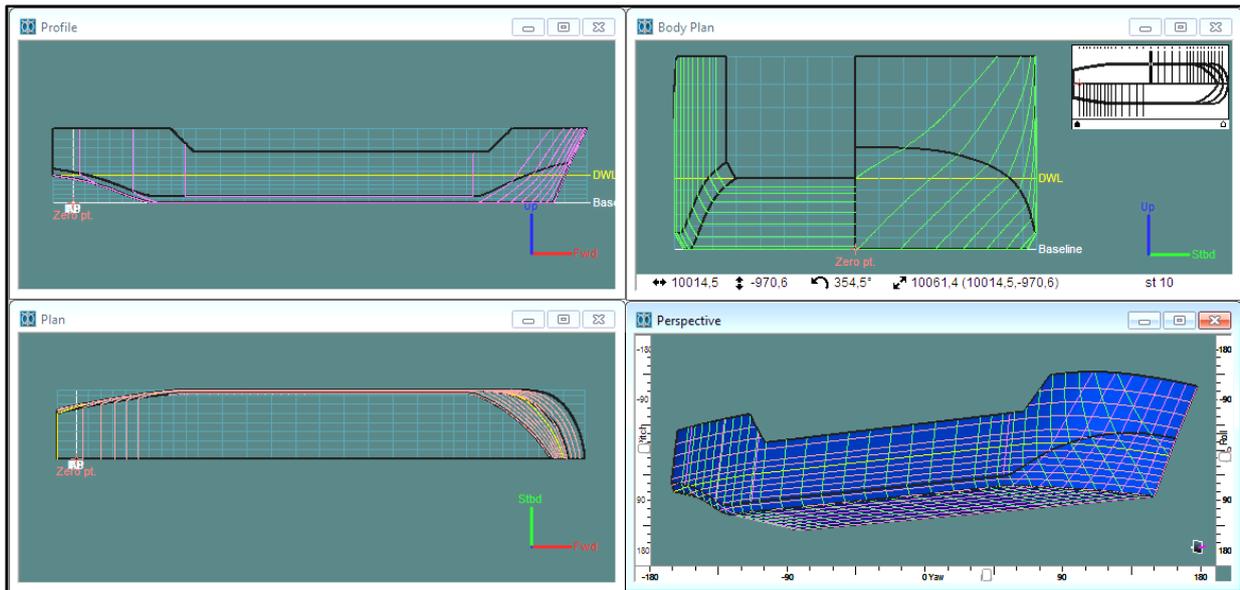
Mengingat desain kapal *Self-Propelled Car Barge* ini memiliki dua kondisi pelayaran, maka kriteria teknis yang dijadikan acuan dalam mendesain Rencana Garis adalah desain dengan kondisi pelayaran laut mengingat perairan laut memiliki olah gerak gelombang yang lebih besar apabila dibandingkan dengan kondisi perairan sungai. Berikut tahapan dalam mendesain Rencana Garis:

1. Pada tahap awal, dilakukan pembuatan *surface* yang akan digunakan. Jumlah *surface* ditentukan berdasarkan kebutuhan guna mempermudah selama proses mendesain Rencana Garis. *Surface* tersebut diatur sedemikian rupa agar didapatkan bentuk kapal yang sesuai. Panjang, lebar, tinggi, dan sarat disesuaikan dengan ukuran utama yang telah didapatkan dari proses optimasi.
2. Selanjutnya adalah pembentukan bagian haluan dan buritan. Bagian inilah yang dibutuhkan kejelian dalam mengatur *control point* agar permukaan *smooth*. Semakin *smooth* bentuk model, maka semakin kecil hambatan kapal yang diterima.



Gambar 4. 5. Proses Penyesuaian *Frame of Reference* Pada software *Maxsurf*

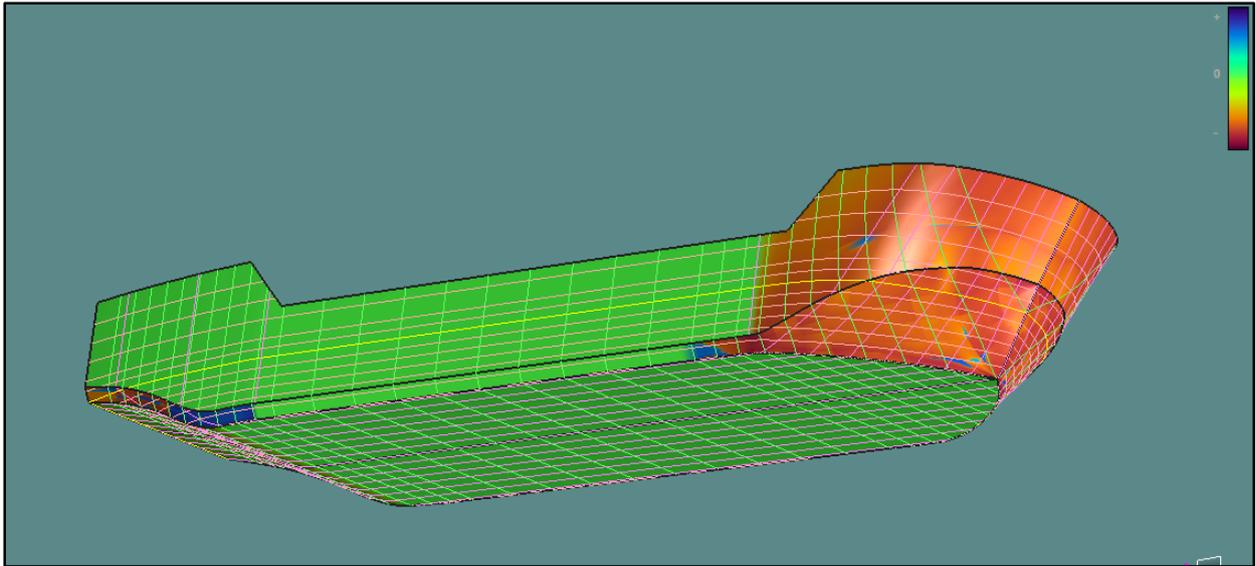
3. Berikutnya adalah menentukan panjang, lebar, tinggi dari model yang dibuat. Caranya yaitu dengan mengubah ukuran *surface* pada menu *surface > size*. Untuk panjang diisi dengan  $L_{oa}$ , agar  $L_{pp}$  bisa didapat sesuai ketika di set pada waktu *frame of references*. Lebar dan tinggi disamakan dengan hasil perhitungan. Sedangkan untuk mengatur jumlah dan letak dari *station*, *Buttock Line*, dan *Water Line* dengan mengakses menu *data > grid spacing*. Adapun jarak yang ditentukan dalam perencanaan *grid spacing* sebagai berikut:
- *Station* (ST.), jumlah *station* digunakan sebanyak 31 bidang sepanjang  $L_{PP}$  dengan jarak interval 0.5 *station* pada ST. 0-5 dan 15-20, dan jarak interval 1 *station* pada ST. 5-15. Hal ini dilakukan karena diperlukannya pendetailan pada bagian haluan dan buritan kapal.
  - *Buttock lines* (BL), digunakan 9 bidang dengan jarak interval masing masing 1 m pada BL 0-7 dan 1 bidang pada kondisi lebar maksimum kapal.
  - *Water lines* (WL), jumlah WL yang digunakan sebanyak 13 bidang dengan interval 0.5 m pada WL 0-4 m, dan interval 1 m untuk WL 4-7 m dengan kedudukan WL 3m digantikan ketinggian sarat pada WL 3.02 m guna mengetahui bidang garis air kapal tersebut dan penambahan WL 8.16 sebagai ketinggian maksimum kapal.



Gambar 4. 6. Proses Pembentukan Lambung Kapal *Self-Propelled Car Barge*

4. Untuk melihat *smooth* atau tidaknya permukaan, di dalam *Maxsurf* telah disediakan pandangan dari beberapa sudut, yaitu tampak depan/belakang, tampak samping, tampak atas, dan pandangan perspektif. Garis-garis dari berbagai sudut pandang itulah yang nantinya akan dijadikan rencana garis. Garis tersebut dapat kita atur dengan *control point*, semakin banyak *control point* yang dibuat maka permukaan model akan semakin *smooth*. *Control point* disesuaikan dengan beberapa hal yaitu:

- Dimensi, *control point* yang diatur selama mendesain Rencana Garis tidak dianjurkan untuk melebihi dari dimensi ukuran utama yang sudah ditentukan dalam perhitungan teknis.
- Kriteria hidrostatis, *control point* diatur sedemikian rupa sehingga hasil hidrostatis dari desain yang dihasilkan oleh *Maxsurf* sesuai dengan kriteria hidrostatis pada perhitungan teknis. Kriteria hidrostatis yang perlu diperhatikan meliputi nilai dimensi, koefisien, berat, dan titik berat.
- *Render*, merupakan fasilitas yang disediakan *Maxsurf* berupa proyeksi gambar 3 dimensi yang dapat menunjukkan tingkat kemulusan bentuk lambung kapal dari suatu desain. *Control point* disesuaikan dengan hasil *render* dengan tujuan agar desain lambung yang dihasilkan memiliki tingkat kemulusan yang tinggi yang dapat dilihat dari gradasi warna yang ada.



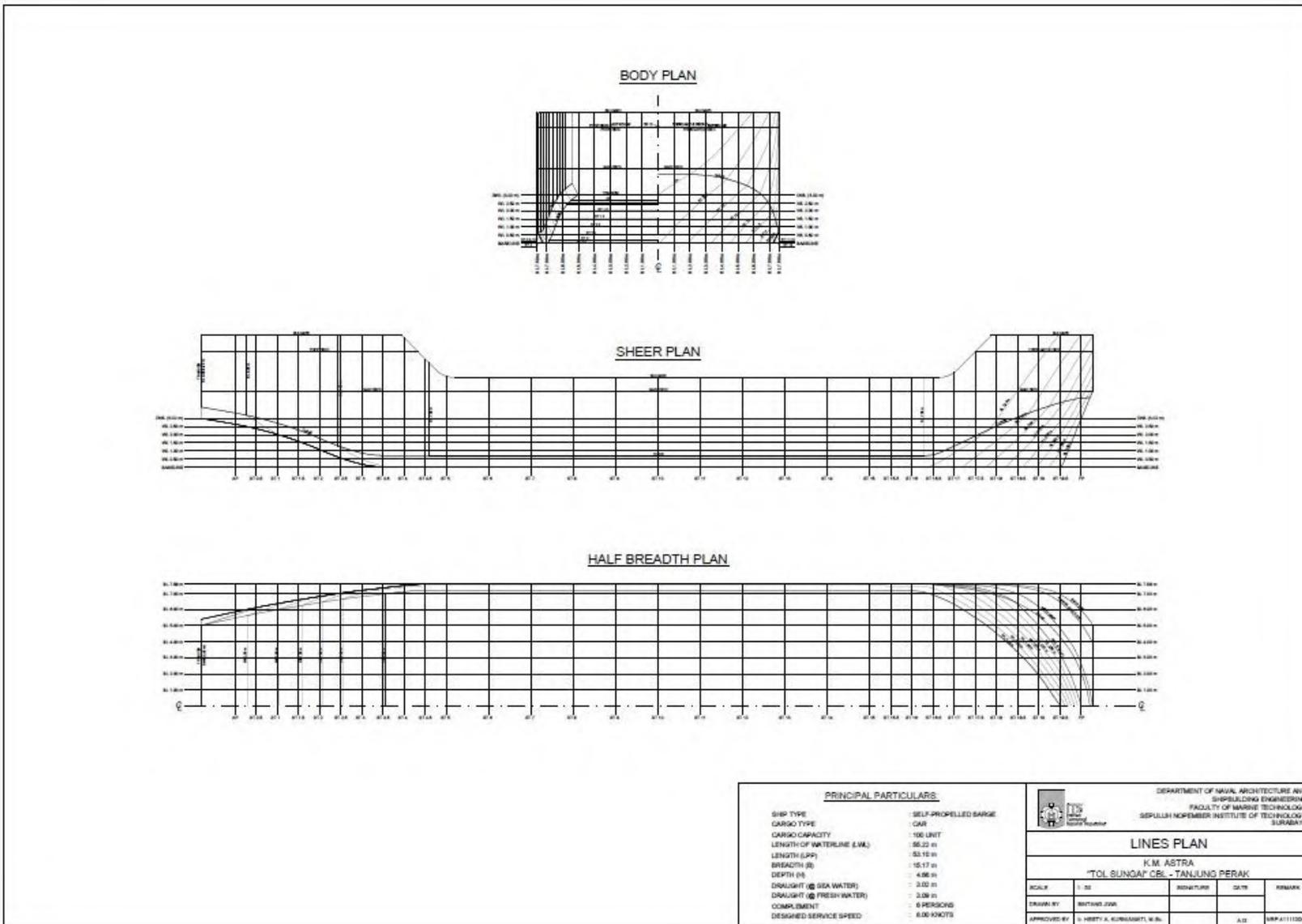
Gambar 4. 7. Hasil *Rendering* Bentuk Lambung Kapal *Self-Propelled Car Barge*

5. Setelah ukuran sesuai kemudian ditentukan sarat dari model ini. Untuk memasukkan nilai sarat kapal dilakukan dengan mengakses *menu data > frame of references*. Pada menu ini akan tampak panjang  $L_{wl}$  kapal. Setelah sarat kapal ditentukan selanjutnya dilakukan pengecekan nilai hidrostatis dari model yang dibuat, yaitu dengan mengakses *menu data > calculate hydrostatic*. Dan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 35. Validasi Kriteria Hidrostatik

Kriteria	Maxsurf	Analisa Teknis	Satuan
Displasemen Ton	2107.306	2107.306	Ton
Volume Displasemen	2055.908	2055.908	m <sup>3</sup>
Sarat Kapal	3.016	3.016	m
Ketinggian Tercelup	3.016	3.016	m
Panjang Garis Air ( $L_{wl}$ )	55.221	55.221	m
Lebar Kapal (WL)	15.170	15.170	m
WSA	1042.849	978.02	m <sup>2</sup>
<i>Waterplane Area</i>	776.858	740.581	m <sup>2</sup>
$C_p$	0.819	0.818	
$C_B$	0.814	0.814	
$C_M$	0.994	0.994	
$C_{WP}$	0.927	0.884	

6. Apabila *control point* telah disesuaikan, maka desain Rencana Garis dapat dipindahkan dari perangkat lunak *Maxsurf* ke *AutoCad* guna dilakukan pendetailan terhadap gambar Rencana Garis lebih lanjut, meliputi penambahan keterangan gambar, kotak gambar, penggunaan garis teknik, dll.



Gambar 4. 8. Gambar Rencana Garis Pada *Software AutoCad*

## IV.7 Pembuatan Rencana 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, ruang kamar mesin, dan ruang akomodasi atau *superstructure*. Selain itu juga direncanakan penempatan peralatan-peralatan, letak jalan (koridor), dan beberapa sistem perlengkapan lainnya. Dalam pembuatan Rencana Umum ini dilakukan sepenuhnya dengan bantuan *software AutoCad*. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan gambar Rencana Umum, seperti:

### 1. Perencanaan Peletakan Sistem Konstruksi Kapal

Sistem konstruksi kapal yang digunakan harus diperhatikan dan disesuaikan dengan Rencana Umum kapal tersebut. Sistem konstruksi kapal yang harus diperhatikan antara lain adalah penentuan jarak gading dan penentuan letak sekat seperti dibawah ini:

- Sistem konstruksi yang digunakan adalah konstruksi melintang mengingat kapal ini memiliki panjang kapal 53.10 meter yang masih masuk dalam ke dalam kriteria konstruksi melintang.
- Jumlah gading yang digunakan sebanyak 88 gading dengan 3 gading di belakang AP, dan 84 gading di depan AP (nomor gading -3 sampai 84).
- Jarak gading yang digunakan adalah 750 mm untuk nomor gading -3 sampai 14, untuk gading 14 sampai 74 memiliki jarak gading 625 mm, dan 750 mm untuk nomor gading 74 sampai 84.
- Jumlah sekat ditentukan sebanyak lima buah, yaitu sekat tubrukan pada nomor gading 74, sekat kamar mesin pada nomor gading 14, sekat buritan pada nomor gading 8 dan dua buah sekat ruang muat pada nomor gading 34 dan 54.
- Kapal ini memiliki double bottom dengan ketinggian 800 mm pada nomor gading 8 sampai 74.

### 2. Perencanaan Ruang Muat

Dalam merencanakan ruang muat *Self-Propelled Car Barge*, ditentukan pertimbangan sebagai berikut:

- Muatan mobil diletakkan diatas geladak dan di dalam ruang muat yang terdapat di bawah geladak dengan tujuan untuk menambah kekuatan melintang kapal, mengingat kapal ini memiliki dimensi yang lebar.
- Muatan mobil dirancang untuk dapat dikombinasikan antara mobil ukuran kecil dan sedang saja.
- Untuk setiap mobil diberi jarak celah antar *bay* sebesar 76 mm, jarak celah antar *row* sebesar 25 mm.

### 3. Perencanaan Ruang Akomodasi dan Kamar Mesin

Sebelum merancang tata letak ruang akomodasi terlebih dahulu untuk diketahui kebutuhan akan ruang muat yang akan digunakan. Terdapat aspek lain yang harus diperhatikan seperti adanya pengaruh *dwelling time*. *Dwelling time* adalah ukuran waktu

yang dibutuhkan sejak muatan dibongkar dari kapal sampai dengan keluar dari kawasan pelabuhan. (Suprpto, 2015) memaparkan, untuk Indonesia Pelabuhan Tanjung Perak memiliki rata-rata waktu *dwelling time* yang masih belum memenuhi target yaitu 5,5 hari sedangkan Singapura 1 hari dan Malaysia 2 sampai 3 hari. Hal inilah yang dijadikan pertimbangan dalam penentuan ruang muat dimana para *crew* diberikan fasilitas ruang akomodasi karena adanya *dwelling time* di pelabuhan yang menghabiskan waktu lebih dari sehari.

Ruang akomodasi terletak bagian dibelakang kapal antara nomor gading -3 sampai 14. Ruang akomodasi dibagi kedalam tiga geladak, yaitu *main deck*, *poop deck*, dan *navigation deck*. Penggunaan tiga geladak akomodasi didasari pada kebutuhan jumlah *crew* yang sedikit.

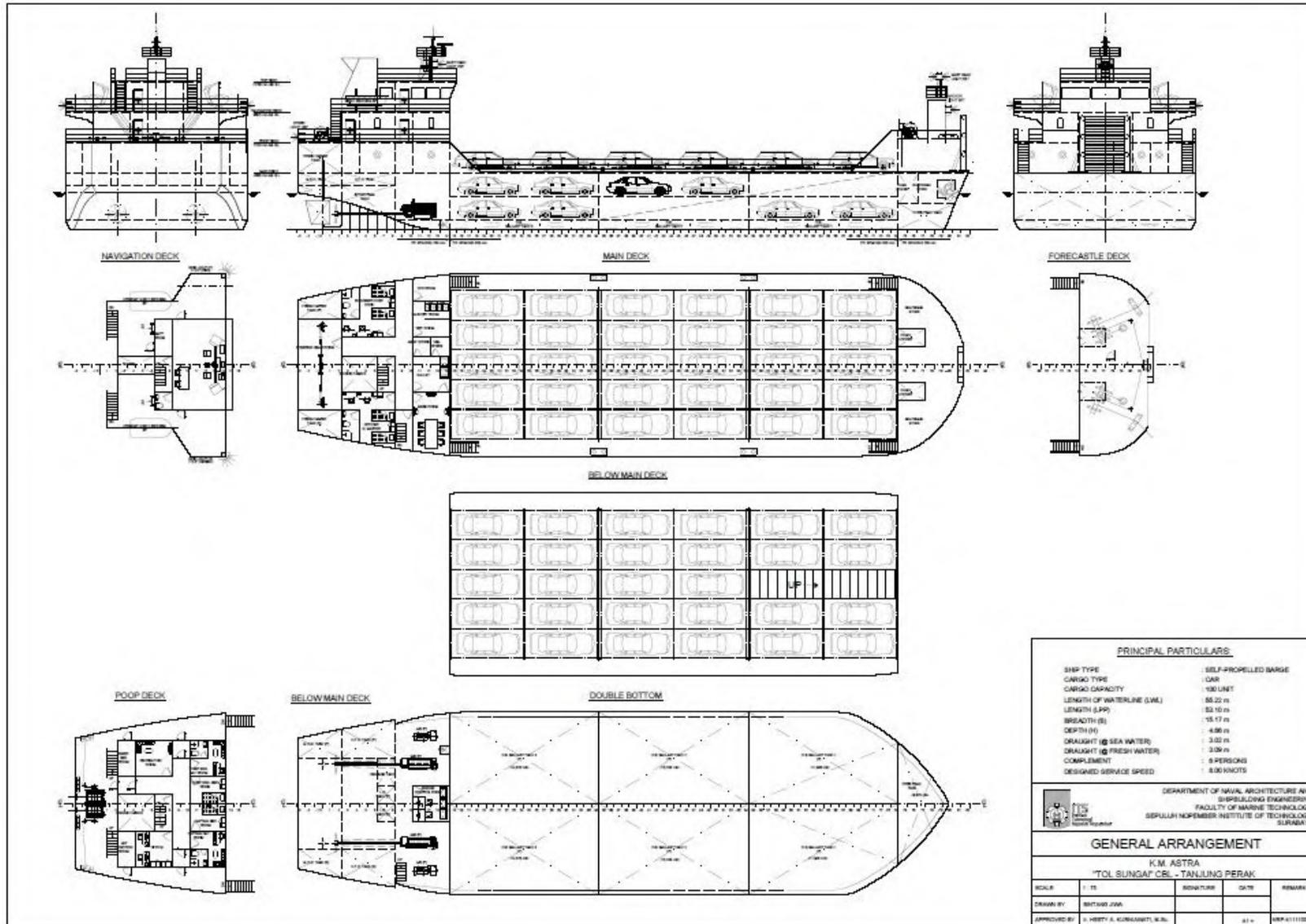
- Pada geladak *main deck* dipusatkan ruang untuk aktivitas para *crew* meliputi ruang *mess room*, *galley*, *provision store*, ruang *laundry*, ruang CO<sup>2</sup>, *steering gear room*, serta ruang tidur *officer*, *quarter master*, *engineer*, dan *chief cook* mengingat kapal memiliki kemungkinan untuk adanya waktu tunggu bongkar muat di pelabuhan yang bisa memakan waktu lebih dari satu hari.
- Geladak *poop deck* ditempatkan sebagai ruang kerja, ruang rekseasi *crew*, serta kamar *chief engineer* dan *captain*.
- Dan geladak *navigation deck* digunakan sebagai *wheel house* untuk ruang kendali kapal, dan terdapat peralatan keselamatan berupa *life boat* di kedua sisi geladak ini.
- Lebar akses jalan di dalam geladak akomodasi sebesar 1500 mm untuk seluruh tingkat geladak akomodasi.
- Kamar mesin terletak di bawah geladak *main deck* pada nomor gading 8 sampai 14. Dimana didalamnya terletak dua buah *main engine* dan dua buah *auxiliary engine* dan terdapat *engine control room* sebagai pusat kontrol terhadap sistem permesinan kapal.

#### 4. Perencanaan Peletakan Tangki

Peletakan tangki direncanakan sebagai berikut:

- Terdapat enam buah *ballast tank* yang terletak pada alas ganda dengan susunan pembagian tiga tangki searah memanjang, dan dua tangki searah melintang.
- Tangki bahan bakar yang meliputi tangki *heavy fuel oil (HFO)*, *marine diesel oil (MDO)*, dan minyak pelumas terletak pada nomor gading 2 sampai 8 di ketinggian 1 meter di bawah *main deck*.
- Tangki *after peak tank* terletak dibelakang sekat buritan pada nomor gading -3 sampai 8 dan *fore peak tank* pada nomor gading 74 sampai 82.

Dari pertimbangan diatas, maka didapatkan gambar Rencana Umum *Self-Propelled Car Barge* seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4. 9, Rencana Umum

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

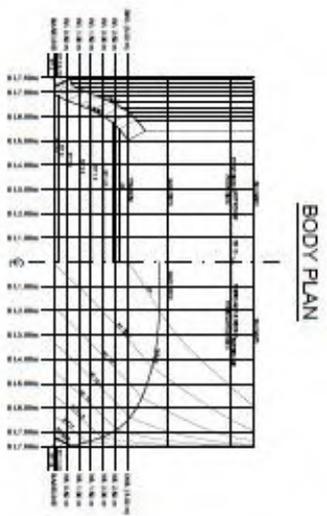
**LAMPIRAN A**  
**HASIL PERHITUNGAN**

<b>SUMMARY - FW (INLAND WATERWAY)</b>				
<b>Owner Requirement</b>				
Jenis Kapal =	Self-Propelled Car Barge			
Jenis Muatan =	Car (Mobil)			
Payload =	80	unit		
Kecepatan Dinas =	8	kn		
Rute Pelayaran =	Cikarang Bekasi Laut (CBL) - Tanjung Perak			
Radius Pelayaran =	453,564	nm		
Daerah Pelayaran =	Perairan Domestik (Indonesia)			
<b>Main Dimension</b>				
Length (L) =	53,097	m		
Length of Waterline (L <sub>WL</sub> ) =	55,221	m		
Breadth (B) =	15,170	m		
Waterway Draft (T <sub>FW</sub> ) =	3,091	m		
Oceangoing Draft (T <sub>SW</sub> ) =	3,016	m		
Height (H) =	4,663	m		
Displacement (∇) =	2107,306	m <sup>3</sup>		
Displacement (Δ) =	2107,306	ton		
<b>Ratio and Coefficient</b>				
L/B =	3,500			
B/T =	4,908			
L/T =	17,178			
C <sub>B</sub> =	0,814			
C <sub>M</sub> =	0,994			
C <sub>P</sub> =	0,818			
C <sub>WP</sub> =	0,884			
<b>Resistance and Powering</b>				
R <sub>T</sub> =	34,189	kN		
P <sub>Req.</sub> =	210,894	x 2 kW		
P <sub>MainEngine</sub> =	279	x 2 kW	MAN-D2866	
P <sub>GenReq.</sub> =	52,723	x 2 kW		
P <sub>Generator</sub> =	60	x 2 kW	CAT Diesel Engine C4.4 In-line 4	
<b>Mass and Center of Mass</b>				
DWT =	1444,167	ton		
LWT =	664,802	ton		
LWT + DWT =	2108,968	ton		
LCB =	25,528	m (FP)		
LCG =	25,358	m (FP)		
Freeboard =	1571,869	m		
Trim =	-0,145	m (Trim Haluan)		
<b>Building Cost</b>				
\$ Direct =	\$1.228.266,24			
\$ Indirect =	\$90.211,64			
\$ Margin =	\$69.393,57			
\$ Total =	\$1.387.871,46			
Rp Total =	Rp18.644.665.148			

Cost	Detail	%	\$
DIRECT COST	<b>1. Hull Part</b>		
	1.a. Steel plate and profile	21,00	\$291.453,01
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7,00	\$97.151,00
	1.c. Piping, valves and fittings	2,50	\$34.696,79
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2,00	\$27.757,43
	1.e. Coating (BWT only)	1,50	\$20.818,07
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1,00	\$13.878,71
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0,30	\$4.163,61
	<b>Subtotal (1)</b>	<b>35,30</b>	<b>\$489.918,62</b>
	<b>2. Machinery Part</b>		
	2.a. Propulsion system and accessories	12,00	\$166.544,57
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3,50	\$48.575,50
	2.c. Boiler and Heater	1,00	\$13.878,71
	2.d. Other machinery in in E/R	3,50	\$48.575,50
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2,50	\$34.696,79
	2.f. Machinery spare part and tool	0,50	\$6.939,36
	<b>Subtotal (2)</b>	<b>23,00</b>	<b>\$319.210,44</b>
	<b>3. Electric Part</b>		
	3.a. Electric power source and accessories	3,00	\$41.636,14
	3.b. Lighting equipment	1,50	\$20.818,07
	3.c. Radio and navigation equipment	2,50	\$34.696,79
	3.d. Cable and equipment	1,00	\$13.878,71
	3.e. Electric spare part and tool	0,20	\$2.775,74
	<b>Subtotal (3)</b>	<b>8,20</b>	<b>\$113.805,46</b>
	<b>4. Construction cost</b>		
	Consumable material, rental equipment and labor	20,00	\$277.574,29
<b>Subtotal (4)</b>	<b>20,00</b>	<b>\$277.574,29</b>	
<b>5. Launching and testing</b>			
<b>Subtotal (5)</b>	<b>1,00</b>	<b>\$13.878,71</b>	
<b>6. Inspection, survey and certification</b>			
<b>Subtotal (6)</b>	<b>1,00</b>	<b>\$13.878,71</b>	
<b>TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>	<b>88,50</b>	<b>\$1.228.266,24</b>	
INDIRECT COST	<b>7. Design cost</b>	<b>3,00</b>	<b>\$41.636,14</b>
	<b>8. Insurance cost</b>	<b>1,00</b>	<b>\$13.878,71</b>
	<b>9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee,</b>	<b>2,50</b>	<b>\$34.696,79</b>
	<b>TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)</b>	<b>6,50</b>	<b>\$90.211,64</b>
MARGIN	<b>TOTAL III</b>	<b>5,00</b>	<b>\$69.393,57</b>
<b>GRAND TOTAL (I + II + III)</b>		<b>100,00</b>	<b>\$1.387.871,46</b>

**LAMPIRAN B**

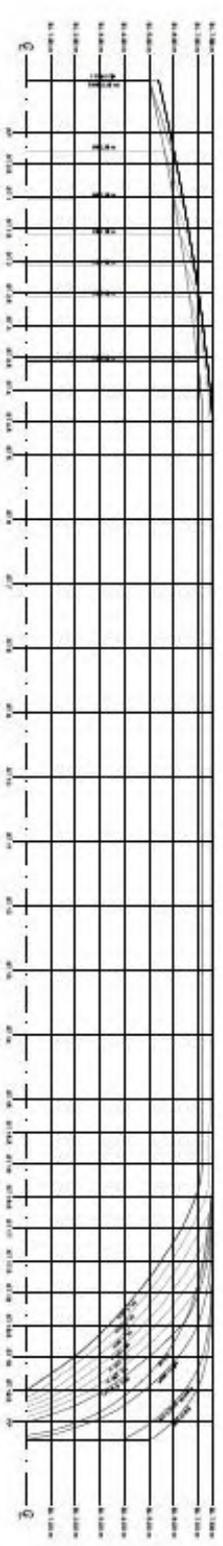
**GAMBAR *LINES PLAN* DAN *GENERAL ARRANGEMENT***



BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF BREADTH PLAN

PRINCIPAL PARTICULARS

SHIP TYPE	SELF-PROPELLED BARGE
CARGO CAPACITY	CUBIC METRE
LENGTH OF WATERLINE (LWL)	58.23 m
LENGTH (LPP)	53.15 m
BREADTH (B)	15.17 m
DEPTH (D)	4.96 m
DRAUGHT @ SEA WATER	3.02 m
DRAUGHT @ FRESH WATER	3.08 m
DISPLACEMENT	8 PERSONS
DESIGNED SERVICE SPEED	4.00 KNOTS



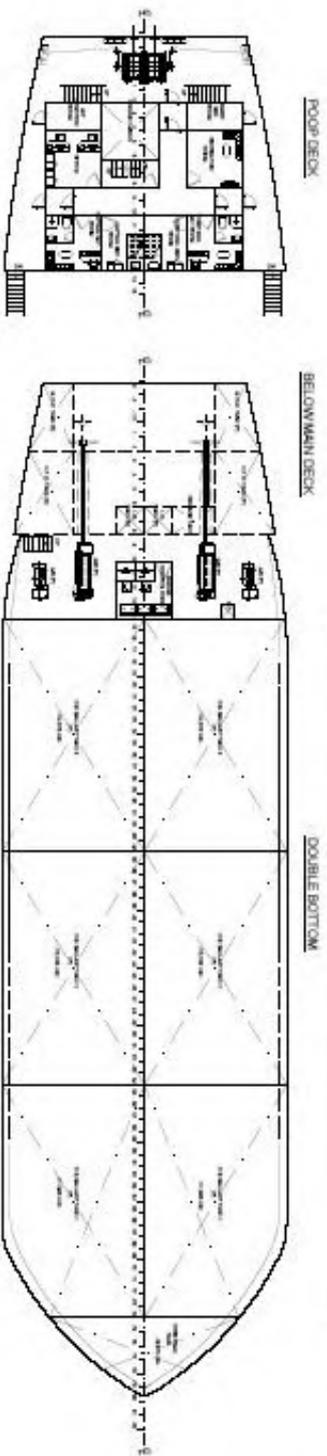
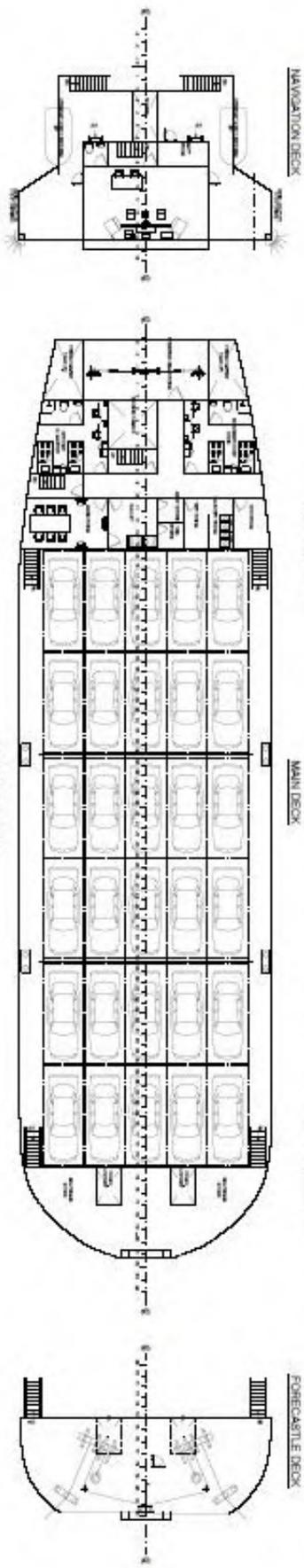
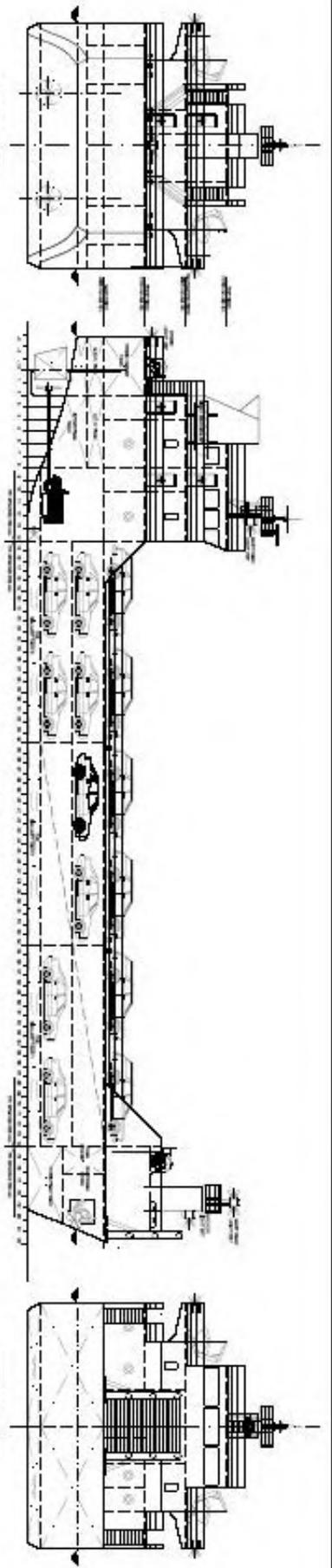
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND  
 MARINE ENGINEERING  
 MALAYSIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
 SEREMBAN, NEGERI SEMBILAN, MALAYSIA

LINES PLAN

K.M. ASTRA  
 TOL SINGAPUR CEM. TANJUNG PERAK

SCALE	1:50	REVISION	DATE	REMARK
DRAWN BY	WIRYONO ZUM			
APPROVED BY	S. HERRI A. KURNIAWATI, S.M.A.			

100411110208



**PRINCIPAL PARTICULARS**

SHIP TYPE	SELF-POWERED BARGE
CARGO TYPE	CAR
CARGO CAPACITY	100 UNIT
LENGTH OF WATERSIDE (LWL)	88.22 m
LENGTH (LOA)	93.10 m
BREADTH (B)	15.17 m
DEPTH (D)	4.96 m
DRAUGHT @ SEA WATER	3.02 m
DRAUGHT @ FRESH WATER	3.26 m
COMPLEMENT	5 PERSONS
DESIGNED SERVICE SPEED	4.80 KNOTS

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND  
 MARINE ENGINEERING  
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
 SEPULUH MAREPANE INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
 SURABAYA

**GENERAL ARRANGEMENT**

KIM ASTRA			
"TOL SUNGAI CER" TANJUNGPINANG PERAW			
SCALE	1 : 15	NOOR HANAN	DATE
DRAWN BY	SEPTIANI ANA		REVISION
APPROVED BY	DR. VIKTORIA S. KUSUMASANTI, S.T., S.E.		NOV 11 2023

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Dari analisis yang telah dilakukan baik teknis maupun ekonomis, maka dari Tugas Akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Ukuran utama optimum untuk *Self-Propelled Car Barge* yang digunakan dalam program Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut – Tanjung Perak yang telah memenuhi kriteria persyaratan teknis dari hasil optimisasi dengan biaya pembangunan paling minimum sebagai fungsi objektifnya adalah sebagai berikut:
  - Untuk kondisi pelayaran di perairan sungai didapatkan:  
L : 53.097 m  
B : 15.170 m  
T<sub>FW</sub> : 3.091 m  
H : 4.663 m
  - Sedangkan untuk kondisi pelayaran di perairan laut didapatkan:  
L : 53.097 m  
B : 15.170 m  
T<sub>sw</sub> : 3.016 m  
H : 4.663 m

Untuk desain Rencana Garis dan Rencana Umum *Self-Propelled Car Barge* dapat dilihat pada Lampiran Gambar.

2. Total estimasi biaya pembangunan yang dibutuhkan *Self-Propelled Car Barge* berkapasitas 80 unit untuk program Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut – Tanjung Perak yang didapatkan melalui proses optimisasi dengan batasan teknis sesuai peraturan dan persyaratan yang ada adalah sebesar \$1.435.270,56 atau setara dengan Rp. 19.145.073.999,00

#### **V.2 Saran**

Saran kedepannya yang dapat diberikan dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Dikarenakan permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini merupakan kebijakan dari pemerintah pusat, maka diharapkan adanya tinjauan lebih lanjut terhadap kebijakan ini, terlebih untuk aspek ekonomi dan geografis transportasi pada program Tol Sungai ini.
2. Mengingat *Self-Propelled Car Barge* ini didesain untuk melalui dua kondisi perairan yang berbeda yaitu perairan sungai dan laut, maka diharapkan adanya pembahasan yang lebih mendetail terhadap kemampuan olah gerak kapal ini, terutama pada kondisi pelayaran di perairan sungai, mengingat sungai memiliki batasan dimensi perairan yang perlu diperhatikan.

3. Perlu adanya peninjauan lebih rinci terhadap aspek konstruksi dan kekuatan kapal mengingat program Tol Sungai ini memiliki kemungkinan untuk direalisasikan, sementara pada Tugas Akhir ini masih banyak digunakan perhitungan secara pendekatan.
4. Serta diharapkan adanya perhitungan dan analisis yang riil terhadap biaya pembangunan yang dibutuhkan untuk membangun *Self-Propelled Car Barge* guna mendukung terealisasinya program Tol Sungai ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barrass, D. B. (2004). *Ship Design and Performance for Masters and Mates*. Oxford: Elsevier.
- Briggs Marine and Environmental Services. (2014). *Self Propelled Barges*. Dipetik February 8, 2015, dari [briggsmarine.com](http://www.briggsmarine.com/marine/vessel-charter/self-propelled-barges/): <http://www.briggsmarine.com/marine/vessel-charter/self-propelled-barges/>
- detik.com. (2015, February 6). *Pengusaha Tak Sabar Angkutan Kontainer Via Sungai Segera Beroperasi di Bekasi*. Dipetik February 6, 2015, dari Detik Finance: <http://finance.detik.com/read/2015/02/06/100534/2825373/4/pengusaha-tak-sabar-angkutan-kontainer-via-sungai-segera-beroperasi-di-bekasi>
- Friendship Systems. (2015). *R & D*. Dipetik June 16, 2015, dari [friendship-systems.com](http://www.friendship-systems.com/about-us/newsletter/frameworker-2011/r-and-d): <https://www.friendship-systems.com/about-us/newsletter/frameworker-2011/r-and-d>
- Hofstra University. (2014). *Self Propelled Barge, Rhine River*. Dipetik February 8, 2015, dari The Geography of Transport System: [https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/container\\_barge\\_seine\\_river.html](https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/container_barge_seine_river.html)
- HydroComp Inc. (2013). *When Does Shallow Water Become a Problem?* Durham, USA: [hydrocomp.com](http://hydrocomp.com).
- IMO. (1966). *International Convention on Load Lines*. London: Lloyd's Register.
- IMO. (1974). *Intact Stability Code*. IMO.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume II*. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Manning, G. C. (t.thn.). *The Theory ad Technicque of Ship Design*.
- Maritim Media. (2013). *Tipe Kargo dan Kemasan*.
- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. Michigan: University of Michigan.
- Pemerintah Kabupaten Bekasi. (2015, February 6). *Sungai Cikarang Bekasi Laut*. Dipetik February 6, 2015, dari Pemerintah Kabupaten Bekasi: <http://bekasikab.go.id/berita-kali-cbl-mulai-dangkal-menjadi-penyebab-banjir.html>
- PERTAMINA. (2007). *Estimasi Harga Pembangunan Kapal Baru*. Jakarta: PERTAMINA.
- Rijkswaterstaat. (2011). *Waterway Guidelines*. Netherland: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Robert Allan Ltd. Naval Architects and Marine Engineers. (2014). *Barges Design*. Dipetik February 8, 2015, dari Robert Allan Ltd.: <http://www.ral.ca/designs/barges.html>

- Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane. (2008). *Laporan Perencanaan dan Detail Desain Pengendalian Banjir Sungai CBL*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Schneekluth, H., & Betram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy (second edition)*. Oxford: Plant A Tree.
- Sewaterway. (2014). *San Antonio Barge Canal*. Dipetik February 8, 2015, dari [webatu.com](http://sawaterway.webatu.com/): <http://sawaterway.webatu.com/>
- Supraptono. (2015, June 24). Dwelling Time Harus Dipercepat. (K. Sindo, Pewawancara)
- Tabaczek, T. (2007). *Analysis of Hull Resistance of Pushed Barges in Shallow Water*. Polish Maritim Research.
- TEMPO. (2015, Februari 5). *Rini Laporkan Progress Proyek Waterway ke Jokowi*. Dipetik February 6, 2015, dari TEMPO.co: <http://www.tempo.co/read/news/2015/02/05/090640134/Rini-Laporkan-Progres-Proyek-Waterway-ke-Jokowi>
- The Steel Index. (June 08-14 2015). *Steel Index Reference Prices*. [thesteelindex.com](http://thesteelindex.com).
- Tim Kurikulum SMK Perkapalan, Departemen Pendidikan Nasional. (2003). *Konsep Dasar Perkapalan "Rencana Garis"*. Surabaya: Departemen Pendidikan Nasional.

## BIODATA PENULIS



**BINTANG JIWA.** lahir di Jakarta pada 20 Januari 1992. Dibesarkan di Jakarta, penulis merupakan anak sulung dari 3 bersaudara. Penulis mulai mengenyam pendidikan dasar di SD Strada Nawar dan lulus pada tahun 2004. Kemudian lulus dari SMP Strada Nawar pada tahun 2007 dan menamatkan SMA Pangudi Luhur pada tahun 2010. Saat SMA, kegemarannya pada alam bebas membuat penulis tergabung pada organisasi Pecinta Alam SMA, Amalaberta Palas, dengan nomor anggota tetap AMPL48/07/07. Dan terpilih menjadi Ketua AMPALAS untuk periode 2008-2009. Dalam masa jabatan penulis, AMPALAS menjadi tuan rumah untuk pertemuan PAPL Se-Indonesia yang dilaksanakan di

Taman Nasional Gunung Gede-Pangrango pada tahun 2009.

Ketertarikan penulis pada dunia teknik mengantarkan penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 di Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011 dan menyelesaikan studinya pada tahun 2016. Selama studi di Teknik Perkapalan ITS, penulis turut ambil bagian dalam SAMPAN 6 sebagai penanggung jawab acara Gowes dan menjadi Kadiv Isu Sosial Biro Kajian dan Strategis HIMATEKPAL periode 2013-2014. Selain itu penulis juga mempunyai kegemaran lain seperti bermain *game* dan mengoleksi *model kit*.

*“Time has no limit, but your time is limited.”* –Bintang Jiwa

[jjwabintang12@gmail.com](mailto:jjwabintang12@gmail.com)

(+6282143181848)