



TUGAS AKHIR - MN141581

**DESAIN *DREDGER* BERBASIS JALUR SUNGAI PADA
PROGRAM “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL)
- TANJUNG PRIOK”**

MUHAMMAD RIZAL ARSYAD JAELANI
NRP. 4112 100 070

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

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - MN141581

**DESIGN OF INLAND WATERWAYS DREDGER ON “TOL
SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) - TANJUNG
PRIOK” PROGRAM**

MUHAMMAD RIZAL ARSYAD JAELANI
NRP. 4112 100 070

Supervisor
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *DREDGER* BERBASIS JALUR SUNGAI PADA PROGRAM “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PRIOK”

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Kapal - Desain Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD RIZAL ARSYAD JANELANI
NRP. 4112 100 070

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



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

SURABAYA, JUNI 2016

LEMBAR REVISI

DESAIN *DREDGER* BERBASIS JALUR SUNGAI PADA PROGRAM “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PRIOK”

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 22 Juni 2016

Bidang Studi Rekayasa Kapal - Desain Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

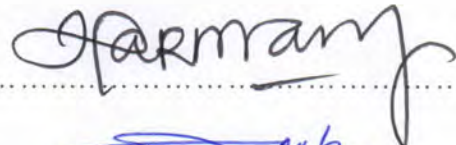
Oleh:

MUHAMMAD RIZAL ARSYAD JAELANI

NRP. 4112 100 070

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

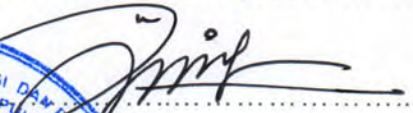
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.



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



M. Sholikhhan Arif, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.



SURABAYA, JUNI 2016

DESAIN *DREDGER* BERBASIS JALUR SUNGAI PADA PROGRAM “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PRIOK”

Nama Mahasiswa : Muhammad Rizal Arsyad Jaelani
NRP : 4112 100 070
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

ABSTRAK

Presiden Joko Widodo mengadakan pertemuan bersama Direktur Utama PT. Pelindo II (Persero) dan Menteri Kementrian Badan Usaha Milik Negara (BUMN) terkait dengan rencana pembangunan program Tol Sungai di jalur Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Program Tol Sungai yang dimaksud adalah mengembangkan jalur angkutan kontainer berbasis jalur sungai sepanjang 25 mil laut dari (kawasan industri) Cikarang, Jawa Barat menuju ke Pelabuhan Tanjung Priok melalui sungai CBL via Marunda, Jakarta Utara. Program ini bertujuan untuk mengoptimalkan fungsi sungai atau kanal untuk jalur distribusi barang guna menekan biaya transportasi logistik yang selama ini melalui jalur darat. Menanggapi rencana pemerintah dalam program pembangunan Tol sungai Cikarang menuju Pelabuhan Tanjung Priok, maka perlu dilakukan kegiatan pengerukan awal dan kegiatan pemeliharaan secara berkala pada sungai guna menjaga kedalaman sungai CBL. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah kapal keruk yang diharapkan dapat menjadi solusi untuk melakukan pekerjaan pengerukan pada sungai CBL. Jenis kapal keruk yang dipilih adalah jenis Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD), mengingat jenis kapal keruk ini memiliki karakteristik yang cocok dengan kriteria dan kondisi sungai CBL. Untuk mendapatkan ukuran utama TSHD 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 hasil ukuran utama optimum TSHD adalah $L=50,811$ m, $B=12,447$ m, $H=4,779$ m, $T_{FW}=3,142$ m, dan $T_{SW}=3,065$ m dengan estimasi biaya pembangunan sebesar \$1.213.905,69 atau setara dengan Rp16.600.160.326.

Kata kunci: pengerukan, Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL), Tol Sungai, Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)

DESIGN OF INLAND WATERWAYS DREDGER ON “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PRIOK” PROGRAM

Author : Muhammad Rizal Arsyad Jaelani
ID No. : 4112 100 070
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisor : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

ABSTRACT

President Joko Widodo held a meeting with President Director of PT. Pelindo II (Persero) and Minister of Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Ministry related to the development plan of Tol Sungai program on Cikarang Bekasi Laut (CBL) river. The purpose of Tol Sungai program is to develop an inland access waterway container-based transport system from Cikarang Industrial Area, West Java to Port of Tanjung Priok along 25 nautical miles through Cikarang Bekasi Laut (CBL) river via Marunda, North Jakarta. The program aims to optimize the function of river or canal for distribution of goods, in order to reduce logistic cost for transportation through road. Responding to government's plans in development Tol Sungai program from Cikarang to the Port of Tanjung Priok, it is necessary to do the capital dredging activities and maintenance dredging activities on the river in order to keep the depth of CBL river. Therefore, dredger is expected to be a solution to do the dredging work on the CBL river. The selected type of dredger is Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD), considering this type of dredger has characteristics that match the criteria and conditions of the CBL river. In order to obtain optimum particular dimensions, an optimization design approach, assisted by 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 TSHD's particular dimensions are $L=50,811$ m, $B=12,447$ m, $H=4,779$ m, $T_{FW}=3,142$ m, dan $T_{SW}=3,065$ m with building cost estimation of \$1.213.905,69 or equal to Rp16.600.160.326.

Keywords: Cikarang Bekasi Laut (CBL) River, dredging, Tol Sungai, Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Batasan Masalah	3
I.4. Tujuan	3
I.5. Manfaat	4
I.6. Hipotesis	4
I.7. Sistematika Penulisan	4
Bab II STUDI LITERATUR.....	7
II.1. Program Tol Sungai	7
II.2. Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)	8
II.2.1. Tinjauan Umum dan Skema Sistem Sungai CBL	8
II.2.2. Data Teknis dan Rencana Normalisasi Sungai CBL.....	9
II.3. Gambaran Umum Pengerukan.....	11
II.3.1. Klasifikasi Pengerukan	11
II.3.2. Tujuan Pengerukan	11
II.3.3. Metode Pengerukan	12
II.3.4. Pemilihan Jenis Alat Keruk	13
II.3.5. Material yang Dikeruk.....	15
II.3.6. Volume Keruk dan Desain	16
II.3.7. Lokasi Pembuangan Material (<i>Dumping Area</i>).....	16
II.4. Berbagai Jenis Kapal Keruk.....	17
II.4.1. Kapal Keruk Mekanis	17
II.4.2. Kapal Keruk Hidrolis	22
II.4.3. Kapal Keruk Mekanis - Hidrolis	24
II.5. Peralatan Bantu Pengerukan	27
II.6. Desain Kapal.....	28
II.6.1. Tujuan Desain Kapal	28
II.6.2. Tahapan Desain Kapal.....	29
II.6.3. Metode Desain Kapal	31
II.7. Tinjauan Perhitungan Teknis Desain Kapal	33
II.7.1. <i>The Geosim Procedure</i>	33
II.7.2. Rasio Ukuran Utama dan Koefisien	34
II.7.3. Hambatan Kapal	36

II.7.4.	Kebutuhan Daya Penggerak Kapal.....	43
II.7.5.	Berat dan Titik Berat Kapal.....	46
II.7.6.	Lambung Timbul Kapal (<i>Freeboard</i>).....	53
II.7.7.	Stabilitas Kapal.....	56
II.7.8.	Batasan Kondisi Perairan.....	58
II.8.	Tinjauan Perhitungan Ekonomis Desain Kapal	59
II.8.1.	Biaya Pembangunan	59
II.9.	<i>Layout</i> Awal.....	62
Bab III METODOLOGI PENELITIAN.....		63
III.1.	Diagram Alir Pengerjaan.....	63
III.2.	Tahapan Pengerjaan	64
III.2.1.	Pengumpulan Data	64
III.2.2.	Analisis dan Pengolahan Data	64
III.2.3.	Pembuatan <i>Spreadsheet</i> Penentuan Ukuran Utama Awal, Perhitungan Teknis, dan Perhitungan Ekonomis.....	64
III.2.4.	Pembuatan Model Optimisasi Desain	65
III.2.5.	Proses Optimisasi, Analisis Teknis dan Analisis Ekonomis.....	66
III.2.6.	Desain Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>).....	66
III.2.7.	Desain Rencana Umum (<i>Rencana Umum</i>).....	67
III.2.8.	Kesimpulan dan Saran	67
Bab IV ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS DESAIN <i>DREDGER</i>		69
IV.1.	Skenario Pengerukan.....	69
IV.2.	Perhitungan Volume Material Yang Akan Dikeruk.....	70
IV.3.	Dasar Pemilihan Jenis <i>Dredger</i>	74
IV.4.	Penanganan Material Hasil Kerukan.....	76
IV.5.	Peralatan Pengerukan pada TSHD (<i>Dredging Equipment</i>).....	76
IV.6.	Analisis Perhitungan Kapasitas Produksi Kegiatan Pengerukan Per Hari.....	78
IV.6.1.	Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Kegiatan Pengerukan	80
IV.7.	<i>Design Statement</i>	81
IV.8.	Batasan Dimensi Sungai.....	82
IV.9.	<i>The Geosim Procedure</i>	84
IV.10.	Model Optimisasi Desain	86
IV.10.1.	Penentuan <i>Changing Variable</i>	87
IV.10.2.	Penentuan <i>Constraint</i>	87
IV.10.3.	Penentuan <i>Objective Function</i>	88
IV.10.4.	Running Model Iterasi <i>Solver</i>	89
IV.11.	Analisis Terhadap Hasil Perhitungan Teknis	94
IV.11.1.	Rasio dan Koefisien Bentuk Kapal (<i>Hullform Coefficient</i>).....	95
IV.11.2.	Hambatan Kapal (<i>Ship Resistance</i>).....	98
IV.11.3.	Analisis Kebutuhan Daya Penggerak Kapal	106
IV.11.4.	Analisis Pemilihan Mesin Penggerak Kapal.....	111
IV.11.5.	Analisis Kebutuhan Ruang Muat	114
IV.11.6.	Estimasi Berat dan Titik Berat.....	116
IV.11.7.	Kalkulasi Lambung Timbul (<i>Freeboard</i>)	134
IV.11.8.	Analisis Stabilitas Kapal	137
IV.11.9.	Pemeriksaan Kondisi <i>Trim</i>	144
IV.12.	Analisis Terhadap Hasil Perhitungan Ekonomis.....	146
IV.12.1.	Estimasi Biaya Pembangunan Kapal	146
IV.13.	Desain Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>)	151

IV.14. Desain Rencana Umum (<i>General Arrangement</i>).....	156
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN.....	159
V.1. Kesimpulan.....	159
V.2. Saran.....	160
DAFTAR PUSTAKA.....	161
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS DAN EKONOMIS – PERAIRAN SUNGAI	
LAMPIRAN B PERHITUNGAN TEKNIS DAN EKONOMIS – PERAIRAN LAUT	
LAMPIRAN C RENCANA GARIS <i>TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER</i> (TSHD)	
LAMPIRAN D RENCANA UMUM <i>TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER</i> (TSHD)	
LAMPIRAN E KATALOG <i>MAIN ENGINE, AUXILIARY ENGINE, DREDGE PUMP,</i>	
DAN <i>TRAILING PIPE</i>	
LAMPIRAN F BERITA TENTANG PROGRAM “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI	
LAUT (CBL) – TANJUNG PRIOK”	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1, Jalur Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok (kuning)	7
Gambar II.2, Skema Sistem Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)	8
Gambar II.3, Tipikal Rencana Penampang Sungai CBL.....	10
Gambar II.4, Penampang Trapesium Secara Melintang Sungai CBL.....	10
Gambar II.5, <i>Soil Texture Triangle</i>	16
Gambar II.6, <i>Grab/Clamshell Dredger</i>	19
Gambar II.7, <i>Backhoe Dredger</i>	19
Gambar II.8, <i>Dipper Dredger</i>	20
Gambar II.9, <i>Bucket Dredger</i>	21
Gambar II.10, <i>Dustpan Dredger</i>	22
Gambar II.11, <i>Plain Suction Dredger (PSD)</i>	23
Gambar II.12, <i>Water Injection Dredger</i>	24
Gambar II.13, <i>Bucket Wheel Dredger</i>	25
Gambar II.14, <i>Cutter Suction Dredger (CSD)</i>	26
Gambar II.15, <i>Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)</i>	27
Gambar II.16, <i>Design Spiral</i>	29
Gambar II.17, Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal	43
Gambar II.18, Ukuran Sungai pada Potongan Melintang Trapesium	58
Gambar II.19, <i>Layout Awal Penampang Memanjang TSHD</i>	62
Gambar II.20, <i>Layout Awal Penampang Melintang TSHD</i>	62
Gambar III.1, Diagram Alir Pengerjaan	63
Gambar IV.1, Skenario Pengerukan Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)	69
Gambar IV.2, Lokasi Kegiatan <i>Capital Dredging</i> pada Sungai CBL.....	71
Gambar IV.3, Lokasi Kegiatan <i>Maintenance Dredging</i> pada Sungai CBL	73
Gambar IV.4, <i>Dutch Draghead</i>	77
Gambar IV.5, <i>Cycle Time per One Cut Equation</i>	78
Gambar IV.6, <i>Dredging Volume per Day Equation</i>	79
Gambar IV.7, Ukuran Sungai pada Potongan Melintang	83
Gambar IV.8, <i>Window Solver Parameters</i>	90
Gambar IV.9, Sketsa Dimensi Mesin Induk.....	112
Gambar IV.10, Sketsa Dimensi Mesin Bantu	114
Gambar IV.11, Bentuk Penampang Melintang <i>Hopper</i> yang Direncanakan	114
Gambar IV.12, Pandangan Atas Perencanaan Tangki pada <i>Maxsurf Stability Enterprise</i>	139
Gambar IV.13, Kotak Dialog <i>Density</i> pada <i>Maxsurf Stability Enterprise</i>	139
Gambar IV.14, Kotak Dialog <i>Criteria</i> pada <i>Maxsurf Stability Enterprise</i>	143
Gambar IV.15, Indeks Harga Baja per Satuan Ton	146
Gambar IV.16, Bidang Tengah Kapal (<i>Midship</i>)	151
Gambar IV.17, Bidang Diametral	152
Gambar IV.18, Bidang Garis Air	152
Gambar IV.19, Penyesuaian Data di <i>Dialog Box Frame Of Reference</i>	153
Gambar IV.20, Proses Pembentukan Lambung TSHD	154

DAFTAR TABEL

Tabel II.1, Data Teknis pada Awal Pembangunan Sungai CBL	9
Tabel II.2, Data Teknis Sungai CBL setelah Dilakukan Normalisasi pada Tahun 2004	9
Tabel II.3, Jenis Alat Keruk Berdasarkan Jenis Tanah.....	13
Tabel II.4, Pemilihan Alat Keruk Berdasarkan Kemampuan Alat	14
Tabel II.5, Ukuran Partikel Material	15
Tabel II.6, Harga C_{stern}	39
Tabel II.7, Harga $1+k_2$	40
Tabel II.8, Harga li	45
Tabel II.9, Harga Koefisien <i>Superstructure</i>	47
Tabel II.10, Harga Koefisien Deck House	47
Tabel II.11, Harga Estimasi Berat <i>Hatch Cover</i>	49
Tabel II.12, Harga Estimasi Berat <i>Crane</i>	49
Tabel II.13, Harga Koreksi F_5 untuk Kapal Tipe B.....	54
Tabel II.14, Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur	59
Tabel II.15, Persentase Komponen Biaya Pembangunan Kapal	61
Tabel IV.1, Hasil Rekapitulasi Total Volume Material untuk Kegiatan <i>Capital Dredging</i>	70
Tabel IV.2, Total Volume Material Kegiatan <i>Capital Dredging</i> untuk <i>River Channel</i>	72
Tabel IV.3, Total Volume Material Kegiatan <i>Capital Dredging</i> untuk <i>Estuary Channel</i>	72
Tabel IV.4, Total Volume Material Kegiatan <i>Maintenance Dredging</i> untuk <i>Estuary dan River Channel</i>	73
Tabel IV.5, Perbandingan Jenis <i>Dredger</i>	75
Tabel IV.6, Rekapitulasi Hasil Siklus Waktu untuk 3 Skenario Pengerukan	79
Tabel IV.7, Rekapitulasi Hasil Kapasitas Produksi TSHD per Hari untuk 3 Skenario Pengerukan	80
Tabel IV.8, Rekapitulasi Hasil Waktu yang Dibutuhkan untuk Kegiatan Pengerukan.....	80
Tabel IV.9, Dimensi Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL).....	82
Tabel IV.10, Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur Pelayaran	83
Tabel IV.11, Data Kapal Pembanding	85
Tabel IV.12, Batasan Ukuran Utama Menggunakan Metode <i>The Geosim Procedure</i>	86
Tabel IV.13, Batasan Variabel Ukuran Utama Optimisasi	87
Tabel IV.14, Tabel <i>Template Model Optimisasi</i>	89
Tabel IV.15, Hasil Proses Optimisasi pada Perairan Sungai.....	92
Tabel IV.16, Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teknis di 2 Kondisi Perairan	93
Tabel IV.17, Rekapitulasi Rasio Ukuran Utama	95
Tabel IV.18, Rekapitulasi Koefisien-Koefisien Bentuk Badan Kapal	96
Tabel IV.19, Besar Kecepatan Kapal yang Hilang (%).....	98
Tabel IV.20, Rekapitulasi Nilai <i>Wave-Making Resistance</i> (R_W)	100
Tabel IV.21, Rekapitulasi Nilai <i>Form Factor of Bare Hull</i> ($1+k$)	101
Tabel IV.22, Rekapitulasi Nilai <i>Friction Coefficient</i> (C_F)	102
Tabel IV.23, Rekapitulasi Nilai <i>Correlation Allowance</i> (C_A).....	102
Tabel IV.24, Rekapitulasi Nilai <i>Suction Pipe Resistance</i> ($R_{pipe} + F_{Mom}$)	104
Tabel IV.25, Rekapitulasi Nilai <i>Total Resistance</i> (R_T)	105
Tabel IV.26, Rekapitulasi Nilai <i>Total Resistance</i> Ditambah dengan <i>Sea Margin</i>	105
Tabel IV.27, Rekapitulasi Kebutuhan Daya EHP	106

Tabel IV.28, Rekapitulasi Kebutuhan Daya DHP.....	107
Tabel IV.29, Rekapitulasi Kebutuhan Daya SHP.....	108
Tabel IV.30, Rekapitulasi Kebutuhan Daya BHP	109
Tabel IV.31, Rekapitulasi Kebutuhan Daya BHP _{MCR}	110
Tabel IV.32, Spesifikasi Teknis Mesin Induk	111
Tabel IV.33, Spesifikasi Teknis Mesin Bantu	113
Tabel IV.34, Variasi Ukuran Penampang Melintang <i>Hopper</i>	115
Tabel IV.35, Rekapitulasi Perhitungan Berat Baja di Bawah Geladak Utama	117
Tabel IV.36, Rekapitulasi Perhitungan Berat Bangunan Atas dan Rumah Geladak.....	117
Tabel IV.37, Rekapitulasi Perhitungan Koreksi Berat Baja Kapal	118
Tabel IV.38, Rekapitulasi Total Berat Komponen Baja Kapal	119
Tabel IV.39, Rekapitulasi Perhitungan Berat Sistem Propulsi.....	119
Tabel IV.40, Rekapitulasi Perhitungan Berat Sistem Kelistrikan	120
Tabel IV.41, Rekapitulasi Perhitungan Berat Sistem Permesinan yang Lainnya	121
Tabel IV.42, Rekapitulasi Total Berat Komponen Sistem Kapal.....	121
Tabel IV.43, Rekapitulasi Total Berat Peralatan dan Perlengkapan Kapal.....	122
Tabel IV.44, Rekapitulasi Perhitungan Berat dari Komponen LWT	123
Tabel IV.45, Rekapitulasi Perhitungan Berat dari Komponen DWT	129
Tabel IV.46, Rekapitulasi Berat dan Titik Berat untuk LWT dan DWT	130
Tabel IV.47, Rekapitulasi Berat dan Titik Berat Gabungan (LWT+DWT).....	132
Tabel IV.48, Rekapitulasi Koreksi <i>Displacement</i>	133
Tabel IV.49, Rekapitulasi Koreksi Titik Berat.....	134
Tabel IV.50, Rekapitulasi Lambung Timbul (<i>Freeboard</i>) Minimum.....	135
Tabel IV.51, Rekapitulasi Persyaratan <i>Freeboard</i> yang Diizinkan.....	136
Tabel IV.52, Kapasitas 100% dan Titik Berat Seluruh Tangki	140
Tabel IV.53, Data Kondisi Pemuatan Saat <i>Loadcase</i> 1	141
Tabel IV.54, Pemeriksaan Kapasitas Tangki.....	142
Tabel IV.55, Hasil Analisis Stabilitas untuk <i>Loadcase</i> 1 hingga <i>Loadcase</i> 6.....	144
Tabel IV.56, Hasil Analisis Stabilitas untuk <i>Loadcase</i> 7 hingga <i>Loadcase</i> 12.....	144
Tabel IV.57, Hasil Pemeriksaan Kondisi Trim untuk <i>Loadcase</i> 1 hingga <i>Loadcase</i> 6.....	145
Tabel IV.58, Hasil Pemeriksaan Kondisi Trim untuk <i>Loadcase</i> 7 hingga <i>Loadcase</i> 12.....	145
Tabel IV.59, Rekapitulasi Harga Komponen Baja Kapal	147
Tabel IV.60, Hasil Perhitungan Harga Komponen Lain dengan Acuan Persentase dan Harga dari Komponen Baja Kapal	148
Tabel IV.61, Rekapitulasi Biaya Pembangunan Kapal pada Perairan Sungai	149
Tabel IV.62, Rekapitulasi Biaya Pembangunan Kapal pada Perairan Laut	150
Tabel IV.63, Validasi Kriteria Hidrotatis	155

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Menanggapi munculnya gagasan Presiden Joko Widodo (Jokowi) untuk mengembalikan identitas bangsa sebagai Negara maritim, yaitu mengenai proyek “Tol Laut”. Pada Kamis, 5 Februari 2015 Jokowi mengadakan pertemuan bersama Direktur Utama PT. Pelindo II (Persero), Richard Joost Lino dan Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Rini Soemarno di Istana Merdeka terkait dengan rencana pembangunan Tol Sungai/*waterway* di jalur Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Program ini bertujuan untuk mengoptimalkan fungsi sungai atau kanal untuk jalur distribusi barang guna menekan biaya transportasi logistik yang selama ini melalui jalur darat (Okezone, 2015).

Menurut pemaparan R.J. Lino, yang dimaksud dari Tol Sungai adalah mengembangkan jalur angkutan kontainer berbasis jalur sungai atau *inland access waterway* sepanjang 25 mil laut dari (kawasan industri) Cikarang, Jawa Barat menuju ke Pelabuhan Tanjung Priok melalui sungai CBL via Marunda, Jakarta Utara. Jalur angkutan laut Cikarang – Marunda – Tanjung Priok ini diupayakan untuk dapat dilalui kapal tongkang pengangkut peti kemas berkapasitas maksimal 60 kontainer (GOBEKASI, 2015). Program ini dibuat untuk mengurangi penggunaan truk angkutan dari pelabuhan ke kawasan industri dan sebaliknya yang selama ini menimbulkan kemacetan dan polusi. Strategi ini dinilai akan lebih efisien baik dari waktu maupun biaya logistik, karena dengan kapasitas maksimal 60 kontainer sekali jalan, kondisi ini bisa mengurangi antrean truk kontainer sepanjang 3 km (Nusantara Maritime News, 2015).

Pada kesempatan lain, Sekretaris Komisi A DPRD Bekasi, Muhtadi Muntaha menilai kalau rencana program ini akan memberikan dampak positif bagi masyarakat Kabupaten Bekasi. Pasalnya, dengan dijadikannya sungai CBL sebagai jalur angkutan sungai, maka akan menghidupkan sektor ekonomi warga di tepi sungai tersebut. Selain itu, rencana program ini juga dapat meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) Kabupaten Bekasi yang saat ini diketahui sebesar Rp 3.9 Miliar. Tetapi, ketika disinggung soal kondisi sungai CBL saat ini yang banyak sampah dan juga dangkal, Muhtadi mengatakan kalau pemerintah pusat perlu melakukan normalisasi sungai terlebih dahulu sebelum merealisasikan rencana tersebut (GOBEKASI, 2015). Selain itu, 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 atau yang biasa disebut sudetan CBL atau kali CBL ini merupakan sungai yang direncanakan pada tahun 1973 dan selesai dibangun pada tahun 1980 oleh Proyek Irigasi Jatiluhur (Prosijat). Sungai CBL ini merupakan sudetan sungai Cikarang dan sungai Bekasi ke arah laut bagian utara Pulau Jawa dan berfungsi untuk mengatasi permasalahan banjir yang diakibatkan oleh sungai Cikarang dan sungai Bekasi. Disamping itu terdapat beberapa anak sungai yang juga masuk ke sungai CBL, diantaranya adalah sungai Jambe, sungai Srengseng, dan sungai Sadang.

Sungai CBL dapat dibagi menjadi 4 ruas, yaitu ruas sungai Cikarang (Bendung CBL) – sungai Sadang dengan panjang 10.060,00 meter, ruas sungai Sadang – sungai Jambe dengan panjang 2.000,00 meter, ruas sungai Jambe – sungai Bekasi dengan panjang 5.825,00 meter dan ruas sungai Bekasi – Laut dengan panjang 10.320,00 meter. Jadi, total dimensi panjang keseluruhan sungai CBL adalah 28.205,00 meter. Sungai CBL ini memiliki kedalaman bervariasi antara 4 – 7 meter dan lebar bervariasi dari antara 50 – 100 meter.

Dengan karakteristik sungai CBL yang memiliki dimensi panjang dan tanpa adanya simpangan yang tajam serta memiliki lebar sungai yang besar, sungai ini dijadikan acuan bagi pemerintah pusat untuk merealisasikan program Tol Sungai dengan 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 tongkang memiliki batasan maksimum terhadap ukuran sarat dan lebarnya. Namun hal ini tidak menjadi suatu persoalan bagi jenis kapal tongkang, mengingat jika 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 akan semakin kecil.

Menanggapi rencana pemerintah dalam pembangunan Tol Sungai Cikarang menuju Pelabuhan Tanjung Priok, maka perlu dilakukan pengerukan awal dan pemeliharaan secara berkala pada sungai guna menjaga kedalaman sungai. Salah satu inovasi yang dapat mengatasi masalah tersebut adalah membangun sebuah kapal keruk (*dredger*) yang sesuai dengan karakteristik sungai CBL.

I.2. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana menentukan jenis *dredger* yang akan digunakan?
2. Bagaimana menentukan kapasitas muatan hasil keruk yang akan diangkut?
3. Bagaimana desain *dredger* yang optimal sesuai dengan karakteristik jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok, meliputi ukuran utama, Rencana Garis (*Lines Plan*), dan Rencana Umum (*General Arrangement*)?
4. Bagaimana analisis ekonomis yang meliputi biaya pembangunan dari desain *dredger* untuk jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok?

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.
2. Proses desain yang dibahas hanya sebatas *concept design*.
3. Analisis teknis yang dilakukan pada pengerjaan Tugas Akhir ini meliputi perhitungan hambatan (*resistance*), perhitungan *power* penggerak kapal, stabilitas kapal (*ship stability*), lambung timbul (*freeboard*), perhitungan trim, pembuatan Rencana Garis (*Lines Plan*) dan Rencana Umum (*General Arrangement*).
4. Analisis ekonomis yang dilakukan pada pengerjaan Tugas Akhir ini meliputi biaya pembangunan dari desain *dredger* tanpa perhitungan biaya alat keruk (*dredging equipment*).

I.4. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan jenis *dredger* yang akan digunakan.
2. Mendapatkan kapasitas muatan hasil keruk yang akan diangkut.
3. Mendesain *dredger* yang optimal sesuai dengan karakteristik jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok, meliputi ukuran utama, Rencana Garis (*Lines Plan*) dan Rencana Umum (*General Arrangement*).
4. Menghitung analisis ekonomis yang meliputi biaya pembangunan dari desain *dredger* untuk jalur pelayaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok.

I.5. Manfaat

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

1. Bagi kalangan akademisi dan umum, pengerjaan Tugas Akhir ini dapat menjadi sumbangsih ilmu pengetahuan dalam hal desain *dredger*.
2. Bagi Pemerintah, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan dan desain *dredger* yang sesuai, sehingga dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam pengembangan program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok”.

I.6. Hipotesis

Desain *dredger* ini dapat digunakan untuk melakukan pengerukan awal dan pemeliharaan secara berkala guna menjaga kedalaman sungai dalam mendukung program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok”.

I.7. Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini meliputi dasar teori dan studi literatur mengenai program tol sungai, sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL), gambaran umum pengerukan, tujuan pengerukan, material yang dikeruk, jenis-jenis kapal keruk, peralatan bantu pengerukan, desain kapal, serta tinjauan perhitungan teknis dan ekonomis perancangan kapal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini meliputi diagram alir pengerjaan dan tahapan pengerjaan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini secara berurutan dan terstruktur dari tahap pengumpulan data, analisa dan pengolahan data, perhitungan analisis teknis dan ekonomis hingga penarikan kesimpulan guna menjawab permasalahan penelitian yang ada serta saran yang diperlukan untuk memperbaiki penelitian ini ke depannya.

BAB IV ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS DESAIN *DREDGER*

Bab ini menjelaskan analisis teknis meliputi proses optimisasi untuk mendapatkan ukuran utama hingga didapatkannya kesimpulan perhitungan teknis yang dilakukan dan analisis ekonomis yang meliputi biaya pembangunan kapal tanpa perhitungan biaya alat keruk (*dredging equipment*).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini meliputi kesimpulan yang didapatkan dari proses penelitian yang dilakukan guna menjawab permasalahan yang ada, serta memberikan saran perbaikan untuk penelitian ke depannya agar lebih baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Program Tol Sungai

Sejalan dengan program “Tol Laut” yang digagas oleh Presiden Joko Widodo (Jokowi), pada Kamis, 5 Februari 2015 Jokowi mengadakan pertemuan bersama Direktur Utama PT. Pelindo II (Persero), Richard Joost Lino dan Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Rini Soemarno di Istana Merdeka terkait dengan rencana pembangunan Tol Sungai/*waterway* di jalur Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Menurut pemaparan R.J. Lino, yang dimaksud dari Tol Sungai adalah mengembangkan jalur angkutan kontainer berbasis jalur sungai atau *inland access waterway* sepanjang 25 mil laut dari (kawasan industri) Cikarang, Jawa Barat menuju ke Pelabuhan Tanjung Priok melalui sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) via Marunda, Jakarta Utara. Jalur angkutan laut Cikarang – Marunda – Tanjung Priok ini diupayakan untuk dapat dilalui kapal tongkang pengangkut peti kemas berkapasitas maksimal 60 kontainer (GOBEKASI, 2015). Program yang diperkirakan akan menelan biaya sebesar Rp 1 Triliun ini akan mulai dibangun pada tahun 2015 mendatang dan diproyeksikan akan rampung selama dua tahun (Okezone, 2015). Jalur Tol Sungai CBL – Tanjung Priok dapat dilihat pada Gambar II.1.

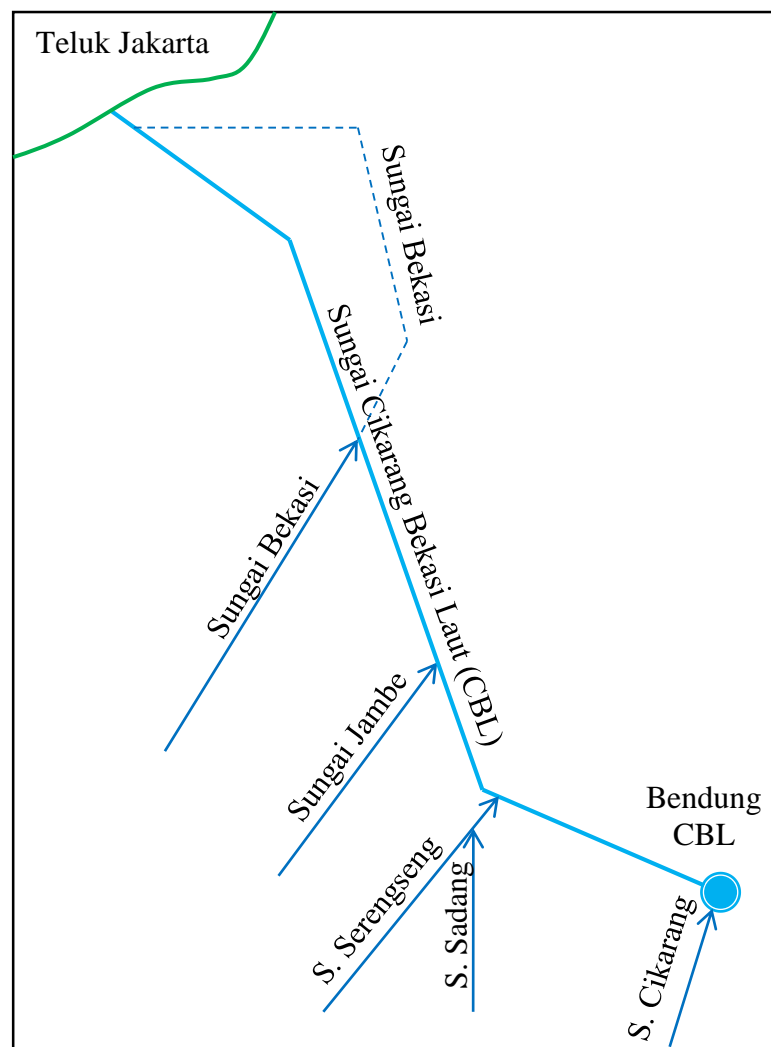


Gambar II.1, Jalur Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok (kuning) (maps.google.co.id, 2016)

II.2. Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)

II.2.1. Tinjauan Umum dan Skema Sistem Sungai CBL

Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) atau yang biasa disebut sudetan CBL atau kali CBL ini merupakan sungai yang direncanakan pada tahun 1973 dan selesai dibangun pada tahun 1980 oleh Proyek Irigasi Jatiluhur (Prosijat). Sungai CBL ini merupakan sudetan sungai Cikarang dan sungai Bekasi ke arah laut bagian utara Pulau Jawa dan berfungsi untuk mengatasi permasalahan banjir yang diakibatkan oleh sungai Cikarang dan sungai Bekasi. Disamping itu terdapat beberapa anak sungai yang juga masuk ke sungai CBL, diantaranya adalah sungai Jambe, sungai Serengseng, dan sungai Sadang yang dapat dilihat pada Gambar II.2. (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)



Gambar II.2, Skema Sistem Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)
(Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

II.2.2. Data Teknis dan Rencana Normalisasi Sungai CBL

Sungai CBL memiliki dimensi panjang keseluruhan sebesar 28.205,00 meter dan kedalaman bervariasi antara 4 – 7 meter. Pembangunan sungai CBL yang direncanakan pada tahun 1973 dan selesai dibangun pada tahun 1980, memiliki data teknis pada awal pembangunan yang dapat dilihat pada Tabel II.1 sebagai berikut:

Tabel II.1, Data Teknis pada Awal Pembangunan Sungai CBL

Ruas Wilayah	Panjang Sungai (m)	Lebar Dasar Sungai (m)
Sungai 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

Sumber: (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Pada tahun 2004, Sungai CBL sudah pernah dilakukan normalisasi oleh PT. Adhi Karya dan memiliki data teknis yang dapat dilihat pada Tabel II.2 sebagai berikut:

Tabel II.2, Data Teknis Sungai CBL setelah Dilakukan Normalisasi pada Tahun 2004

Ruas Wilayah	Station sungai yang di normalisasi (km)	Lebar Dasar Sungai (m)
Sungai 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

Sumber: (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

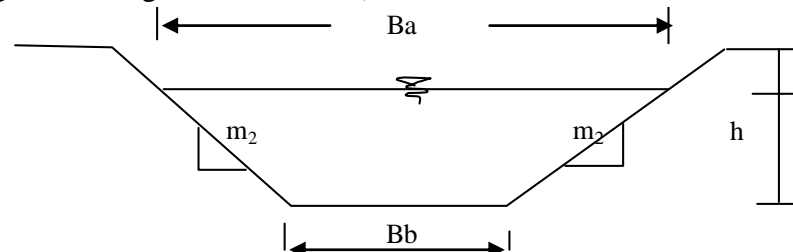
Namun setelah dilakukan normalisasi pada tahun 2004, pada ruas wilayah sungai CBL sudah terjadi pendangkalan dan penyempitan kembali yang diakibatkan oleh sedimentasi yang cukup tinggi. Sehingga direncanakan untuk dilakukan normalisasi kembali untuk mengurangi dampak banjir dan genangan di sekitar Sungai CBL.

Dalam merencanakan normalisasi kembali pada Sungai CBL, maka profil melintang Sungai CBL harus direncanakan dengan dimensi yang ideal sesuai dengan debit banjir yang terjadi untuk periode ulang perencanaan. Normalisasi saluran dimaksudkan untuk membentuk

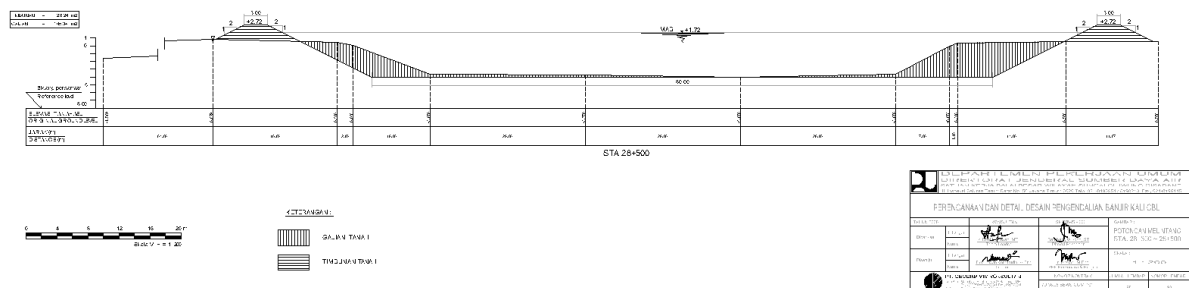
alur sungai yang seragam dan memudahkan aliran air mengalir ke hilir dengan cepat dengan mempertimbangkan alur sungai CBL yang relatif lurus dan tidak berkelok. Tujuan normalisasi di sini adalah mengembalikan dan meningkatkan kapasitas tampung Kali CBL seperti awal perencanaan (setelah dilakukan normalisasi pada tahun 2004) dengan mempertimbangkan perubahan tata guna lahan dan terjadinya alih fungsi lahan di bagian hulu DAS Cikarang dan sungai-sungai yang masuk ke CBL. Hal ini dipertimbangkan karena secara umum kondisi Sungai CBL saat ini adalah menurun kapasitas tampung airnya, di samping juga mengalami pendangkalan akibat sedimentasi dan aktivitas manusia di sekitar bantaran dan tanggul sungai.

Konsep perencanaan normalisasi Sungai CBL adalah sebagai berikut:

- Alignment sungai direncanakan dengan trase berada pada koridor Sungai CBL.
- Dimensi rencana penampang sungai disesuaikan dengan debit rencana di tiap ruas/segmen sungai.
- Bentuk penampang rencana normalisasi sungai disesuaikan dengan kondisi lingkungan di sekitarnya.
- Penampang sungai direncanakan dengan penampang trapesium kemiringan 1:1 dan 1:2 seperti pada Gambar II.3 dan Gambar II.4. (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)



Gambar II.3, Tipikal Rencana Penampang Sungai CBL
(Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)



Gambar II.4, Penampang Trapesium Secara Melintang Sungai CBL
(Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

II.3. Gambaran Umum Pengerukan

Pengerukan adalah pekerjaan mengubah bentuk dasar perairan untuk mencapai kedalaman dan lebar yang dikehendaki atau untuk mengambil material dasar laut perairan yang dipergunakan untuk keperluan tertentu. (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

Menurut (Mahendra, 2014), pengerukan merupakan bagian dari Ilmu Sipil, yang memiliki pengertian pemindahan material dari dasar bawah air dengan menggunakan peralatan keruk atau setiap kegiatan yang merubah konfigurasi dasar atau kedalaman perairan seperti laut, sungai, danau, pantai ataupun daratan sehingga mencapai elevasi tertentu dengan menggunakan peralatan kapal keruk.

II.3.1. Klasifikasi Pengerukan

1. Berdasarkan pemanfaatan material keruk, dibagi atas:
 - a. Pekerjaan pengerukan yang hasil material keruknya tidak dimanfaatkan atau dibuang, sesuai rekomendasi dari syahbandar dan penyelenggara pelabuhan terdekat.
 - b. Pekerjaan pengerukan yang hasil material keruknya dapat dimanfaatkan, dimana hasil pemanfaatannya harus mendapatkan persetujuan dari instansi yang berwenang.
2. Berdasarkan jenis kegiatan, dibagi atas:
 - a. Kegiatan pembangunan atau pengerukan awal (*Capital Dredging*)
Capital dredging adalah pengerukan yang pertama kali dilaksanakan dalam rangka pembangunan pelabuhan, pendalaman kolam pelabuhan atau alur pelayaran, dan pembuatan alur baru.
 - b. Kegiatan pengerukan pemeliharaan (*Maintenance Dredging*)
Maintenance dredging adalah pengerukan yang dilaksanakan secara rutin berkala dalam rangka memelihara kedalaman kolam pelabuhan, alur masuk pelabuhan dan alur pelayaran. (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.2. Tujuan Pengerukan

1. Pelayaran (Navigasi)
 Untuk pemeliharaan, perluasan, dan perbaikan sarana lalu lintas air dan pelabuhan. Untuk membuat pelabuhan, memperdalam *turning basin* (kolam pelabuhan), dan fasilitas lainnya.

2. Pengendalian banjir (*Flood Control*)

Untuk memperbaiki atau memperlancar aliran sungai dengan memperdalam dasar sungai atau fasilitas pengendali banjir lainnya seperti bendungan dan tanggul.

3. Konstruksi dan reklamasi

Untuk mendapatkan material bangunan seperti pasir, kerikil, dan tanah liat atau untuk menimbun lahan dengan material kerukan sebagai tempat membangun daerah industri, pemukiman, jalan, dan sebagainya.

4. Pertambangan (*Mining*)

Untuk memperoleh mineral, permata, logam mulia, dan pupuk.

5. Untuk tujuan lainnya

Untuk penggalian pondasi di bawah air dan penanaman pipa saluran air atau pembuatan terowongan. Untuk membuang polutan dan mendapatkan air yang berkualitas. (Rohim, 2003)

II.3.3. Metode Pengerukan

1. Pekerjaan pengerukan secara garis besar dapat dibagi dalam tiga proses utama, yakni: penggalian, pengangkutan, dan pembuangan.
2. Metode pekerjaan pengerukan dapat dilaksanakan dengan jenis kapal keruk *hopper* dan kapal keruk *non hopper*.
3. Untuk material keruk yang keras, semisal karang, pekerjaan pengerukan dapat dilaksanakan dengan beberapa cara, yaitu:
 - a. Penggalian material karang dengan metode mekanikal kemudian pemindahan material keruk dengan sistem pengerukan yang normal.
 - b. Penggalian material karang dengan metode peledakan karang kemudian pemindahan material keruk dengan sistem pengerukan yang normal.
 - c. Penggalian material karang dengan metode pemecahan karang melalui gelombang pendek atau *microwave*.
 - d. Pemotongan karang dengan menggunakan peralatan tekanan tinggi.
4. Penggalian material keruk karang dengan metode peledakan harus mendapat izin dari instansi yang berwenang. (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.4. Pemilihan Jenis Alat Keruk

1. Pemilihan jenis kapal keruk sangat penting dikarenakan dapat meningkatkan hasil yang lebih efisien dan lebih ekonomis, optimalisasi pengerukan, dan untuk mengurangi dampak dari sedimentasi.
2. Jenis alat keruk berdasar penggeraknya dibedakan berdasarkan yang memiliki alat penggerak sendiri dan tanpa alat penggerak sendiri, dimana masing-masing jenis alat keruk memiliki kinerja berbeda untuk berbagai keadaan cuaca dan material tanah dasarnya.
3. Pemilihan jenis dan kapasitas kapal keruk ditentukan oleh:
 - a. Maksud dan tujuan dilakukan pengerukan (pemeliharaan kedalaman alur/kolam pelabuhan dan pembuatan alur/kolam pelabuhan);
 - b. Kedalaman awal alur atau kolam;
 - c. Lokasi pekerjaan;
 - d. Jenis material keruk (pasir, lumpur, tanah liat/*clay* dan karang);
 - e. Volume keruk;
 - f. Jarak ke area pembuangan (*dumping area*).
4. Pemilihan alat keruk harus disesuaikan dengan jenis material dasar yang dikeruk sebagaimana Tabel II.3 di bawah ini:

Tabel II.3, Jenis Alat Keruk Berdasarkan Jenis Tanah

JENIS TANAH			JENIS ALAT KERUK					
Klasifikasi	Keadaan	N	<i>Pump Dredger</i>	<i>Hopper Dredger</i>	<i>Grab Dredger</i>	<i>Bucket Dredger</i>	<i>Dipper Dredger</i>	<i>Rock Breaker</i>
Tanah Lempung	Sangat Lunak	<4	√	√	√	√		
	Lunak	4	√	√	√	√		
	Sedang	10	√	√	√	√		
	Keras	10	√		√	√		
	Lebih keras	20	√		√	√	√	√
	Sangat keras	20	√		√	√	√	√
Tanah Kepasiran	Lunak	<10	√	√	√	√		
	Sedang	10	√	√	√	√		
	Keras	20	√	√	√	√		
	Lebih keras	20	√		√	√	√	√

	Sangat keras	30	√		√	√	√	√
Tanah	Lunak	<30	√	√	√	√	√	√
Lempung Berkerikil	Keras	>30	√	√	√	√	√	√
Tanah	Lunak	<30	√		√	√	√	√
Kepasiran Berkerikil	Keras	>30	√		√	√	√	√
	Sangat Lunak	40	√		√	√	√	√
	Lunak	50			√	√	√	√
Batu	Sedang	50			√	√	√	√
	Keras	60			√			√
	Lebih keras	60			√			√
	Sangat keras	60	√		√			√
Kerikil	Lepas		√		√	√		
	Menyatu				√	√	√	

Sumber: (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2006)

5. Pemilihan alat keruk harus disesuaikan dengan kemampuan alat keruk sebagaimana

Tabel II.4 di bawah ini:

Tabel II.4, Pemilihan Alat Keruk Berdasarkan Kemampuan Alat

Kemampuan Alat Keruk	<i>Bucket Dredger</i>	<i>Grab Dredger</i>	<i>Backhoe Dredger</i>	<i>Suction Dredger</i>	<i>Cutter Dredger</i>	<i>Trailer Dredger</i>	<i>Hopper Dredger</i>
Dapat mengeruk material pasir	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Dapat mengeruk material lempung	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
Dapat mengeruk material batuan	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
Memiliki kabel jangkar	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya

Kedalaman pengerukan maksimum (m)	30	>100	20	70	25	100	50
Dapat digunakan pada kondisi offshore	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya
Pengangkutan menggunakan pipa	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
Pengerukan secara akurat	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
Dapat mengeruk tanah padat langsung di tempat	Ya	Ya	Ya	Tidak	Terbatas	Tidak	Tidak

Sumber: (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2006)

II.3.5. Material yang Dikeruk

Jenis material yang akan dikeruk biasanya tidak sama, misalnya tanah gambut, tanah liat, endapan lumpur, karang, pasir, kerikil, serta batu pecah. Jenis material akan menentukan pemilihan kapal keruk yang paling efektif, kecepatan produksi pengerukan, kemungkinan kontaminasi, pembuangan atau penggunaan material keruk. Penentuan jenis material keruk dilakukan dengan mengambil sampel pada lokasi proyek, kemudian diteliti untuk diketahui karakteristiknya secara lengkap. Ukuran partikel material dapat dilihat pada Tabel II.5 sedangkan persentase campuran material dapat dilihat pada Gambar II.5.

Tabel II.5, Ukuran Partikel Material

Name	Particle Diameter (mm)
Clay	< 0,002
Silt	0,002 to 0,05
Very fine sand	0,05 to 0,10
Fine sand	0,10 to 0,25
Medium sand	0,25 to 0,5
Coarse sand	0,5 to 1,0
Very coarse sand	1,0 to 7,0
Gravel	2,0 to 75,0
Rock greater	> 75,0 (around 2 inches)

Sumber: (Mahendra, 2014)



Gambar II.5, *Soil Texture Triangle*
(United States Department of Agriculture (USDA), 2016)

II.3.6. Volume Keruk dan Desain

1. Jumlah volume pengerukan alur pelayaran dan kolam pelabuhan dinyatakan dalam satuan meter kubik (m^3) dan desain kedalaman dengan satuan meter *Low Water Spring* (m LWS)
2. Volume keruk dan desain dihitung berdasarkan volume profil melintang sesuai peta hasil pemeruman awal (*predredge sounding*)
3. Dalam perhitungan volume tersebut sudah dimasukkan faktor dan perkiraan tingkat pengendapan yang terjadi selama pelaksanaan pengerukan. (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.7. Lokasi Pembuangan Material (*Dumping Area*)

1. Lokasi pembuangan material (*dumping area*) hasil keruk dapat dipilih dengan persyaratan tidak diperbolehkan di alur-pelayaran, kawasan lindung, kawasan suaka alam, taman nasional, taman wisata alam, kawasan cagar budaya dan ilmu pengetahuan, sempadan pantai, kawasan terumbu karang, kawasan mangrove, kawasan perikanan dan budidaya, kawasan pemukiman, dan daerah lain yang sensitif terhadap pencemaran sesuai dengan ketentuan perundang-undangan.

2. Lokasi pembuangan material keruk yang lokasinya di perairan, dibuang pada jarak 12 (dua belas) mil dari garis pantai dan/atau pada kedalaman lebih dari 20 (dua puluh) meter setelah dilakukan studi lingkungan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
3. Tempat pembuangan material keruk di darat harus mendapat persetujuan dari pemerintah daerah setempat dan instansi yang berwenang. (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.4. Berbagai Jenis Kapal Keruk

Secara operasional kapal keruk dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Kapal keruk tanpa mesin penggerak

Kapal keruk jenis ini untuk perpindahan dari satu tempat ke tempat lainnya dibantu dengan kapal tunda atau dengan sistem tali baja pengikat dimana satu pihak dicekamkan pada suatu jangkar dan diujung lainnya dililitkan pada suatu mesin derek. Untuk kelancaran dan ketepatan lokasi, biasanya digunakan lebih dari satu tali baja pengikat atau dengan menggunakan *spud*.

Untuk pengerukan tanah yang keras, arah gerakan kapal zig-zag, bergerak kesamping kiri kemudian maju, lalu kesamping kanan dan seterusnya. Pergerakan dilakukan dengan mengulur maupun menarik kawat-kawat pengikat yang dihubungkan dengan jangkar.

2. Kapal keruk dengan mesin penggerak sendiri

Kapal keruk jenis ini memiliki mesin penggerak sendiri yang terpisah dengan mesin pengeruknya.

Secara teknis, peralatan pengerukan pada dasarnya dapat dibagi menjadi 3 tipe, yaitu:

II.4.1. Kapal Keruk Mekanis

Tipe kapal keruk ini sederhana, mempunyai analogi dengan peralatan gali di darat. Yang termasuk jenis kapal keruk mekanis antara lain:

II.4.1.1 *Grab/Clamshell Dredger*

Peralatan kapal terdiri dari *grab* yang digerakkan dengan *crane* yang diletakkan di atas ponton dengan geladak datar. *Crane* merupakan satu unit yang berdiri sendiri, berfungsi mengangkat dan menurunkan *grab*, disamping membantu pelepasan *spud* untuk keperluan reparasi. Contoh *Grab Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.6.

Kedalaman keruk tergantung dari berat *grab*, semakin berat *grab*nya maka semakin dalam hasil galiannya. *Grab* direncanakan sedemikian rupa agar tahanannya waktu masuk kedalam air sekecil mungkin.

Tipe *grab* dapat dibedakan menjadi:

- *Grab* lumpur

Tanpa gigi, dengan pinggiran rata, dipakai untuk material lumpur dan tanah lunak.

- *Grab* garpu

Rahang bergigi, *interlock*, gigi pendek-pendek, dipakai untuk material pasir, tanah liat, dan tanah campur *gravel*.

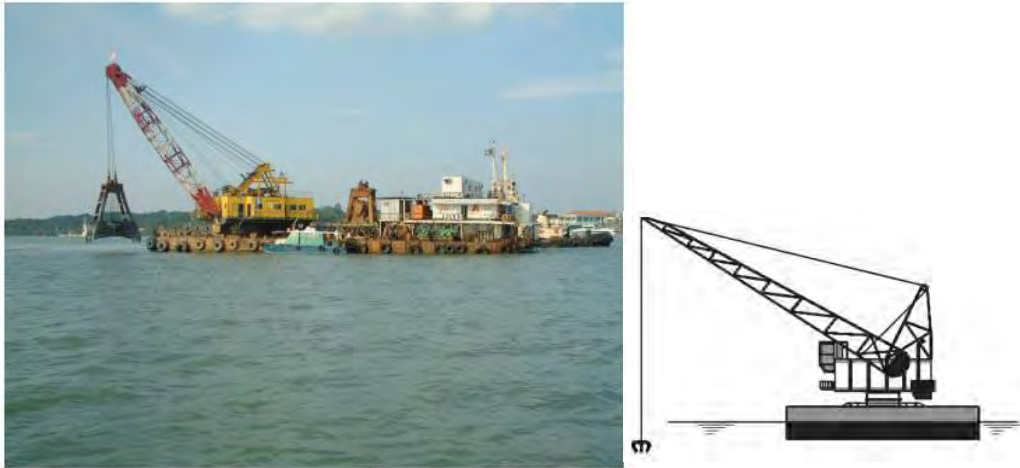
- *Grab* kaktus

Biasanya berjari empat atau lebih yang dapat menutup secara bersamaan, biasanya dipakai untuk batu-batuan besar.

Karakteristik *grab dredger*:

- Mampu mengeruk daerah yang diinginkan dengan tepat.
- Terutama dipakai untuk pengerukan di sekitar *dock*, dermaga, dan bagian sudut dari kade-kade, karena dapat merapat sampai ke tepi.
- Cocok dipakai untuk mengeruk material yang berupa pasir, tanah liat, kerikil, dan batu pecah.
- Kedalaman pengerukan praktis tak terbatas, tergantung panjang tali, tetapi makin dalam, produksi akan semakin berkurang karena waktu mengangkat yang akan semakin lama.
- Beroperasi tanpa mengganggu lalu lintas kapal lainnya.
- Dapat bekerja secara baik pada air yang bergelombang.
- Dapat dipakai untuk menggali material padat ataupun tanah asli (*insitusoil*).
- Kapasitas pengerukannya kecil.
- Kabel *crane* mudah terbelit.
- Hasil pengerukan tidak merata, sehingga sukar menentukan dalamnya hasil pengerukan.

Untuk keperluan operasi, kapal keruk ini dilengkapi dengan dua buah *spud* dan *spul-spul* penggulung kawat baja yang digunakan untuk mengangkat maupun menurunkan *spud*. Kapal bergerak sedikit demi sedikit secara zig-zag dengan mengatur pengangkatan *spud* dan penarikan/penguluran tali jangkar. (Rohim, 2003)



Gambar II.6, *Grab/Clamshell Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.4.1.2 *Backhoe Dredger*

Kapal keruk ini pada dasarnya adalah *pontoon* yang dipasang alat pemindah tanah berupa *backhoe*, yang bekerja dengan sistem mekanis (tarikan tali baja) ataupun dengan sistem hidrolis. Contoh *Backhoe Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.7.

Karakteristik *backhoe dredger*:

- Dapat menggali bermacam-macam material seperti pasir, tanah liat, kerikil, dan batu maupun karang.
- Tidak dapat bergerak sendiri, membutuhkan jangkar untuk menempatkan pada posisi pengerukan.
- Kecepatan produksinya rendah. (Rohim, 2003)



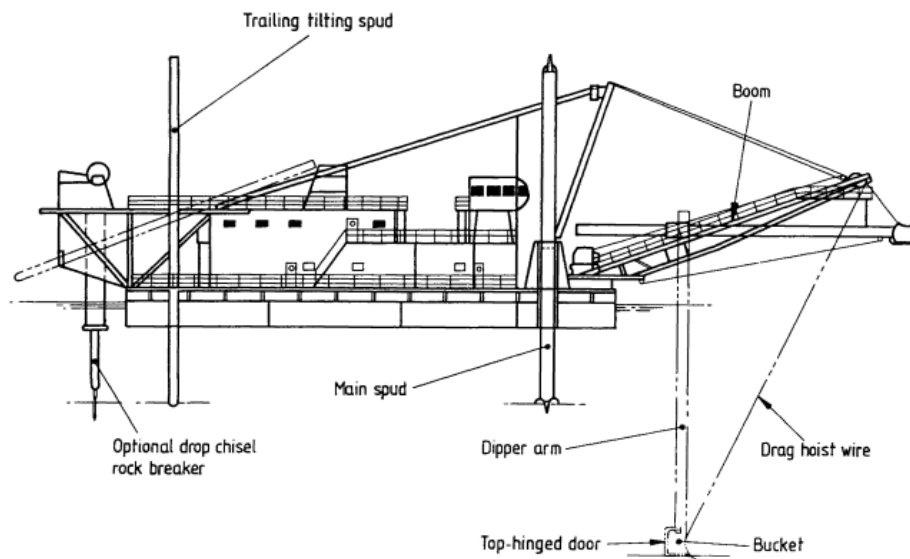
Gambar II.7, *Backhoe Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.4.1.3 Dipper Dredger

Kapal keruk *dipper* ini seperti sekop yang bertenaga, kadang-kadang sekop dilengkapi dengan mata penembus batu. Kapal ini memiliki dua buah *spud* depan yang dipakai untuk mengangkat tongkang agar berada di atas garis air guna menambah daya gali, dan satu *spud* belakang yang disebut *kicking spud* yang digunakan untuk menggerakkan tongkang ke arah depan maupun belakang. Contoh *Dipper Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.8.

Karakteristik *dipper dredger*:

- Cocok untuk mengeruk batu karang dan lapisan tanah yang keras dan padat, karena memiliki tenaga pengungkit dan desak yang besar.
- Dapat digunakan untuk membuang pondasi bawah laut yang tidak terpakai.
- Jumlah crew sedikit (5-6 orang).
- Bisa menggali jalannya sendiri, juga dapat menggali tebing yang curam tanpa takut longsor. (Rohim, 2003)



Gambar II.8, *Dipper Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.4.1.4 Bucket Dredger

Kapal keruk ini menggunakan timba yang disusun pada rangkaian rantai ban yang berputar dimana padanya dilekatkan timba-timba pengeruk. Pengerukan dengan kapal keruk ini biasanya dilakukan pada kolam pelabuhan atau pada kanal, dan juga digunakan untuk menggali mineral (penambangan) di lepas pantai.

Gerakan rantai ban dengan timbanya merupakan gerak berputar mengelilingi *ladder*. *Ladder* dapat digerakkan naik turun sesuai dengan kedalaman pengerukan yang diinginkan dengan menggunakan tali baja. Tali baja ini dililitkan pada sistem drum yang digerakkan *winch*. Ujung bawah rantai masuk kedalam tanah yang mau dikeruk, sehingga gerak timba mempunyai berat sendiri yang besar, kemudian menggali tanah tersebut. Karena gerakan rantai ban timba tersebut terus menerus, maka timba pengeruk akan terangkat keatas permukaan dengan membawa tanah galian.

Disebabkan gerakan rantai ban timba yang terus-menerus maka jenis kapal keruk mekanis ini lebih efisien kerjanya dibanding kapal keruk jenis mekanis yang lain terutama untuk pengerukan pasir dan biji tambang.

Kapasitas keruk tiap jam berhubungan erat dengan banyaknya timba yang dipakai dan kedalaman yang dikeruk, serta kecepatan timbanya (jumlah timba per menit). Contoh *Bucket Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.9.

Karakteristik *bucket dredger*:

- Dipakai untuk berbagai jenis material dari tanah keras sampai batuan lunak.
- Kecepatan produksinya kecil serta memerlukan jangkar.
- Tidak praktis untuk jumlah pengerukan yang besar, daerah yang luas dan berkembang.
- Semakin dalam pengerukan semakin tidak efisien karena jumlah material keruk semakin berkurang.
- Terlalu bising. (Rohim, 2003)



(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

Gambar II.9, *Bucket Dredger*

II.4.2. Kapal Keruk Hidrolis

Yang dimaksud dengan hidrolis disini adalah tanah yang dikeruk bercampur dengan air laut, kemudian campuran tersebut dihisap pompa melalui pipa penghisap, selanjutnya melalui pipa pembuang dialirkan ke daerah pembuangan. Pengerukan dasar laut dengan jenis peralatan ini makin populer, karena sangat efektif. Yang termasuk tipe kapal keruk hidrolis adalah:

II.4.2.1 *Dustpan Dredger*

Kapal keruk tipe ini dinamai demikian dikarenakan ujung penghisapnya terdiri dari beberapa saluran penghisap yang disatukan dan membentuk kepala penghisap. Guna memperlancar pekerjaan penghisapan lumpur maka pada kepala penghisap dapat dipasang alat *multiple jets* (penyemprot air tekan) yang berguna untuk melepas material dari kaitan dasarnya sehingga mudah dihisap oleh pompa.

Berbentuk seperti kapal dagang biasa, kapal ini sering dilengkapi oleh bak lumpur sendiri. *Dustpan* termasuk jenis suction yang lebih khusus, dipakai di sungai dengan rate sedimen tinggi. Contoh *Dustpan Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.10.

Karakteristik kapal keruk *dustpan*:

- Efisien untuk lumpur halus.
- Bekerja sambil berjalan, karena mempunyai mesin penggerak sendiri.
- Pekerjaan masih dapat dilakukan walaupun ada gelombang.
- Kapasitas muat bisa diatur, dengan mengatur pompa sentrifugal dan pompa hisap
- Titik berat kapal rendah sehingga stabilitas kapal relatif baik.
- Pembuangan lumpur dilakukan kapal sendiri, bila bak lumpur penuh, kapal harus berhenti bekerja sehingga menambah waktu kerja.
- Tidak dapat beroperasi apabila pada lokasi pengerukan yang ada halangannya, seperti bekas pondasi dan batuan karang.
- Pengerukan terbatas pada lumpur halus. (Rohim, 2003)



Gambar II.10, *Dustpan Dredger*
(Dredge Point, 2016)

II.4.2.2 Plain Suction Dredger

Plain suction dredger adalah kapal hisap keruk stasioner (diam) dan terdiri dari beberapa *pontoon* yang disatukan dan dilakukan pengikatan. Pada kapal keruk ini setidaknya terdapat satu pompa penghisap yang terhubung dengan pipa hisap.

Dalam melakukan kegiatannya, pembuangan material hasil kerukan pada kapal ini dapat menggunakan pipa (*land and floating pipeline*) atau dipindahkan ke kapal bantu (*hopper barge*). Secara keseluruhan, prinsip kerja dari kapal keruk hisap ini sama dengan *trailing suction hopper dredger* (TSHD), hanya saja letak pipa hisap pada kapal keruk ini terletak pada depan kapal, tidak seperti TSHD yang biasanya berada pada sisi-sisi kapal. Contoh *Plain Suction Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.11.



Gambar II.11, *Plain Suction Dredger* (PSD)
(W.J. Vlasblom, 2003)

II.4.2.3 Water Injection Dredger

Kapal keruk yang memindahkan materialnya dengan menggunakan *water jet* yang menyembrotkan material yang diarahkan menuju lokasi tertentu. Tekanan *jet pump* disesuaikan dengan jenis materialnya dan diusahakan agar material tidak bertebaran kemanapun.

Dalam melakukan operasinya, kapal keruk ini sangat tergantung dari kecepatan dan arah arus air laut. *Density* dari material yang akan dipindahkan harus tidak boleh melebihi dari 1,3 ton/m³, jadi merupakan material endapan yang melayang.

Water Injection Dredger sangat cocok untuk maintenance dredging pada alur pelayaran yang pendek atau sungai, dan biayanya yang relatif murah. Tetapi diperlukan perhitungan teknis yang akurat agar material yang akan dipindahkan/dibuang pada lokasi yang dituju dapat dikendalikan (Mahendra, 2014). Contoh *Water Injection Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.12.



Gambar II.12, *Water Injection Dredger*
(Shoft Shipyard Dredging, 2016)

II.4.3. Kapal Keruk Mekanis - Hidrolis

Kapal keruk jenis ini merupakan kapal keruk yang dalam beroperasinya menggunakan metode gabungan antara mekanis dan hidrolis. Yang termasuk kapal keruk mekanis – hidrolis adalah:

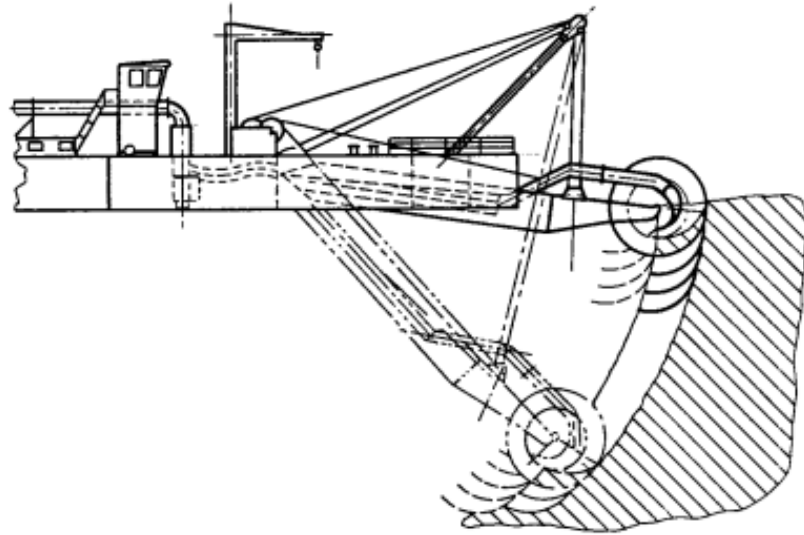
II.4.3.1 *Bucket Wheel Dredger*

Bucket Wheel Dredger atau bisa disebut Kapal keruk timba merupakan kapal keruk pertama yang ada di Indonesia, yaitu pada jaman penjajahan Belanda. Kapal ini sering dipergunakan dan dioperasikan untuk penambangan timah di Pulau Bangka.

Tipe kapal keruk ini dapat mengeruk sampai kedalaman 100 meter dengan cara menyesuaikan banyaknya dan kemampuan *bucket wheel*-nya. Oleh sebab itu, produksi pengerukan kapal ini ditentukan dari kedalaman pengerukan, kapasitas *bucket*, jenis material yang dikeruk dan kecepatan putar *bucket wheel*.

Dalam operasionalnya, pergerakan kapal ini menggunakan winch yang terhubung dengan jangkar, biasanya sebanyak 6 unit. 4 unit winch digunakan saat mengeruk dan 2 unit winch digunakan untuk pergerakan maju dan mundur kapal. Masing-masing winch membutuhkan tali kawat (*sling*) sepanjang minimal 100 m. Oleh sebab itu, kapal ini membutuhkan area yang luas dalam beroperasi.

Material yang dikeruk oleh kapal ini sangat beragam, dari yang lunak sampai yang keras. Biasanya dalam beroperasi, kapal ini dibantu oleh *Hopper Barge* yang digunakan untuk menampung dan membuang material hasil kerukannya (Mahendra, 2014). Contoh *Bucket Wheel Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.13.



Gambar II.13, *Bucket Wheel Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.4.3.2 *Cutter Suction Dredger (CSD)*

Cutter Suction Dredger (CSD) merupakan salah satu jenis dari kapal keruk yang dilengkapi dengan kepala pemotong berputar di pintu masuk pengisap yang dapat memotong material keras seperti kerikil dan batu menjadi bagian-bagian kecil. Material yang dikeruk kemudian disedot oleh pompa pengisap, kemudian dapat dikeluarkan ke darat menggunakan pompa dan pipa yang mengapung atau dimuat ke tongkang lain yang memiliki *hopper* dan ditambah di dekat kapal CSD tersebut.

Sebagian besar *Cutter Suction Dredger* merupakan kapal keruk yang stasioner, dengan kata lain, kapal tidak berlayar selama kegiatan pengerukan. Dalam beberapa kasus dimana ukuran dari kapal keruk tipe CSD ini cukup besar, kapal keruk ini memiliki sistem penggerak sendiri, sehingga tidak perlu ditarik oleh kapal lain. Biasanya CSD memiliki dua buah *spudcan* serta dua jangkar. *Spudcan* berguna sebagai poros bergerak CSD, dua jangkar untuk menarik ke kiri dan kanan (Jan De Nul Group, 2016). Contoh *Cutter Suction Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.14.



Gambar II.14, *Cutter Suction Dredger (CSD)*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.4.3.3 Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)

Trailing Suction Hopper Dredger merupakan salah satu jenis dari kapal keruk yang menyeret pipa pengisap ketika bekerja dan mengisi material yang diisap tersebut ke satu atau beberapa tangki penampung (*hopper*) di dalam kapal. Ketika tangki penampung sudah penuh, kapal ini akan berlayar ke lokasi pembuangan dan membuang material tersebut melalui pintu yang ada di bawah kapal atau dapat pula memompa material tersebut ke luar kapal.

Kapal ini merupakan kapal yang cepat dalam perkembangannya, baik dari segi ukuran, teknologinya, dan variasi dalam beroperasinya. Contoh *Trailing Suction Hopper Dredger* dapat dilihat pada Gambar II.15.

Karakteristik *trailing suction hopper dredger*:

- Persiapan operasi, mobilisasi, dan demobilisasi dari TSHD sangat mudah karena kapal memiliki mesin penggerak sendiri.
- Cocok untuk volume pengerukan yang besar.
- Dapat beroperasi dengan jarak angkut yang jauh, seperti mengeruk material untuk reklamasi.

- Kapal ini mengeruk dengan selalu bergerak dan tidak menggunakan sling serta jangkar pada saat beroperasi, sehingga tidak mengganggu lalu lintas kapal lainnya jika beroperasi di pelabuhan atau daerah sibuk lainnya. (Mahendra, 2014)



Gambar II.15, *Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2006)

II.5. Peralatan Bantu Pengerukan

1. Bak lumpur bercelah (*Split Barge*)

Split barge berfungsi sebagai tempat manampung hasil kerukan, terutama pada kapal keruk timba atau cangkram. Ada dua jenis *split barge*, yaitu:

- Split barge* dengan mesin penggerak sendiri (*Self Propelled*)
- Split barge* tanpa mesin penggerak sendiri (*Non Self Propelled*)

2. Kapal Tunda (*Tug Boat*)

Kapal tunda berfungsi untuk membantu olah gerak kapal kaeruk, dan juga untuk menarik alat-alat bantu lain yang tidak memiliki motor penggerak sendiri (*self propelled*)

3. Tongkang

Tongkang merupakan berupa bak tanpa mesin penggerak dan memiliki permukaan atas rata (*flat top*) sehingga dapat berfungsi untuk memuat peralatan lain seperti pipa, *pontoon*, *crane*, dan sebagainya.

4. *Survey Boat*

Digunakan untuk melakukan alat bantu pada survei, biasanya berkekuatan mesin dibawah 500 PK.

5. Crane

Berfungsi untuk membantu bongkar muat peralatan. Dapat berupa *crane* darat maupun *crane* apung (*floating crane*)

II.6. Desain Kapal

II.6.1. Tujuan Desain Kapal

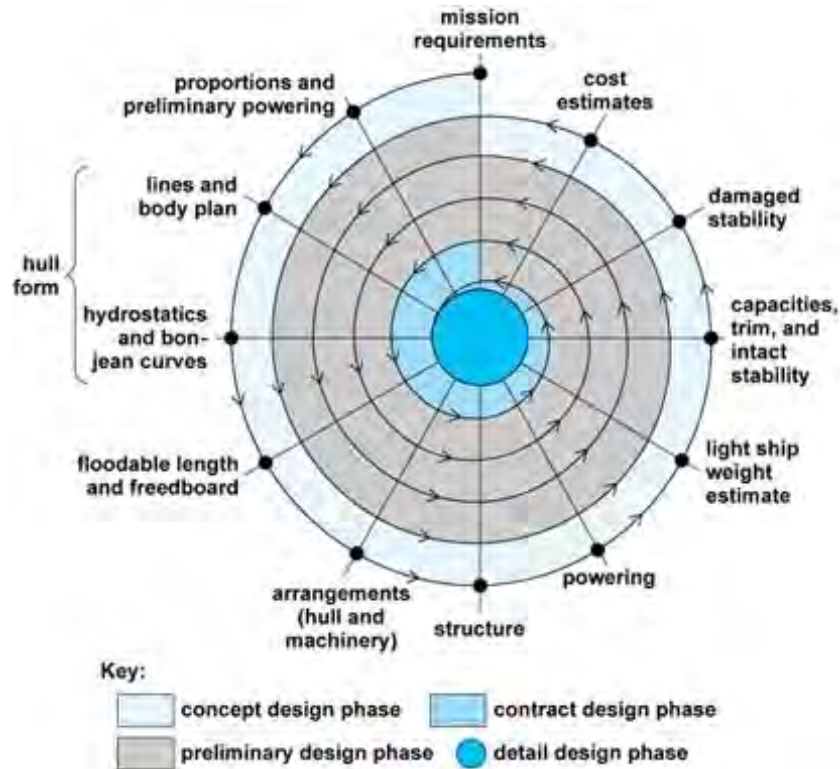
Proses desain pada pembangunan kapal bertujuan untuk mempermudah, memberikan arahan yang jelas sehingga pekerjaan pembangunan kapal dapat berjalan sesuai dengan rencana dan dapat meminimalisir kesalahan dalam proses pembangunan kapal.

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

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

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

II.6.2. Tahapan Desain Kapal



Gambar II.16, *Design Spiral*
(Access Science, 2011)

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar II.16, 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:

1. *Concept design*

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

2. *Preliminary Design*

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

3. *Contract Design*

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

4. *Detail Design*

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

II.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*

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

2. *Trend Curve Approach*

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

3. *Iteratif Design Approach*

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

4. *Parametric Design Approach*

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

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. (Haq, 2015)

II.7. Tinjauan Perhitungan Teknis Desain Kapal

II.7.1. *The Geosim Procedure*

Menurut (Barrass, 2004) dalam bukunya yang berjudul *Ship Design and Performance for Masters and Mates, The Geosim Procedure* merupakan salah satu 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 *The 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 ($L_2, B_2, T_2, \text{ dan } H_2$) didapat dari ukuran utama kapal acuan ($L_1, B_1, T_1, \text{ dan } H_1$) yang dikalikan dengan koefisien geometris (K).
4. Koefisien geometris (K) didapatkan dari persamaan *geosim* di bawah ini:

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

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

$$L_2 / L_1 = K$$

Dimana:

$$W_2 = \text{DWT kapal yang dirancang} \quad (\text{ton})$$

$$W_1 = \text{DWT kapal acuan} \quad (\text{ton})$$

5. Ukuran utama kapal yang dirancang didapatkan dari perhitungan:

$$L_2 = K \times L_1 \quad (\text{m})$$

$$B_2 = K \times B_1 \quad (\text{m})$$

$$T_2 = K \times T_1 \quad (\text{m})$$

$$H_2 = K \times H_1 \quad (\text{m})$$

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

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:

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

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

8. Kesesuaian penggunaan metode *geosim* dapat disesuaikan dengan formula:

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

Dan nilai C_{D2} diharapkan mendekati nilai C_{D1} ($C_{D2} \approx C_{D1}$) (Barrass, 2004)

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)

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

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

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

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

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

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 (Fn)*

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

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

2. *Block Coefficient (CB)*

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

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

Menurut (W.J. Vlasblom, 2007), biasanya C_B pada *dredger* yang beroperasi di sungai memiliki nilai minimum 0,78 dan nilai maksimum 0,85

3. *Midship Coefficient (CM)*

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

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

4. *Prismatic Coefficient (CP)*

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

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

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 dari C_{WP} menurut (Parsons, 2001):

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

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. Menurut (Lewis, 1988), untuk menghitung hambatan kapal, digunakan metode Holtrop dan Mennen, serta perhitungan hambatan tambahan untuk *dredger* dari (W.J. Vlasblom, 2007). Formula perhitungan yang digunakan dalam menentukan harga hambatan total sebagai berikut:

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

Dimana:

P	= Massa jenis air laut	(ton/m ³)
V _S	= Kecepatan kapal	(m/s)
S _{Tot}	= Luas total permukaan kapal di bawah garis air	(m ²)
C _F	= Koefisien gesek (<i>Frictional coefficient</i>)	
(1+k)	= Faktor bentuk lambung	
C _A	= <i>Model-ship correlation allowance</i>	
R _W	= Hambatan akibat pengaruh gelombang	(kN)
W	= Displasemen kapal	(ton)
R _{pipe}	= <i>The hydro-visco components</i>	(N)
F _{mom}	= <i>Momentum force</i>	(N)

1. Wave-making Resistance (R_w)

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_1

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

Dimana:

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

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

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

- iE = 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:

$$T = \text{Sarat kapal} \quad (\text{m})$$

$$T_a = \text{Sarat kapal di after peak} \quad (\text{m})$$

$$T_f = \text{Sarat kapal di fore peak} \quad (\text{m})$$

- Koefisien C_2

C_2 = Koefisien pengaruh dari penggunaan bulbous bow

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

Dimana:

$$A_{BT} = \text{Luasan bulbous bow} \quad (\text{m}^2)$$

$$r_B = \text{Jari-jari efektif bulbous bow} \quad (\text{m})$$

$$r_B = 0.56 A_{BT}^{0.5}$$

$$i = T_f - h_B - 0.4464 r_B$$

$$h_B = \text{Tinggi bulbous bow} \quad (\text{m})$$

Dan untuk kapal tanpa bulbous bow, $C_2 = 1$

- 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

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

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

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

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

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

- Koefisien λ

λ = 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 = Massa jenis air laut (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. Menurut (Lewis, 1988), formula 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*

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

Harga C_{stern} dapat dilihat pada Tabel II.6 di bawah ini:

Tabel II.6, Harga C_{stern}

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

Sumber: (Lewis, 1988)

- 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 II.7

Tabel II.7, Harga 1+k₂

Harga 1+k ₂	Tipe Penambahan Permukaan
1.3 - 1.5	<i>Rudder of single srew 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>

Sumber: (Lewis, 1988)

- 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. Menurut (Lewis, 1988), 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)

νs = Viskositas kinematis untuk air laut

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

4. Correlation Allowance (C_A)

Menurut (Lewis, 1988), *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 $T_F / L_{WL} > 0.04$ digunakan perhitungan:

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

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

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

5. Suction Pipe Resistance (R_{pipe})

Pada *dredger*, menurut (W.J. Vlasblom, 2007) terdapat komponen hambatan tambahan selain *viscous resistance* dan *wave-making resistance* yaitu *suction pipe resistance*. Hal ini dikarenakan pada *dredger* tipe TSHD akan terdapat pipa pengisap yang berada di bawah air saat *dredger* ini melakukan operasi pengerukan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perhitungan komponen hambatan tambahan pada *dredger* ini.

Suction Pipe Resistance dibagi menjadi 2 komponen besar, yaitu:

- *The hydro-visco components*

The hydro-visco components terbagi lagi menjadi 2, yaitu:

- Hambatan dalam arah tegak lurus pipa

$$R_{pipe} = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho_w \times v \cdot \sin\beta \times |v \cdot \sin\beta| \times L \times D$$

$$R_{pipe} = Drag Force \quad (N)$$

Dimana:

$$C_D = Drag coefficient$$

ρ_w	= Density water	(kg/m ³)
v	= Trail speed	(m/s)
β	= Pipe angle	(°)
L	= Pipe length	(m)
D	= Pipe diameter	(m)

b. Hambatan dalam arah paralel pipa

$$R_{Pipe} = C_L \times \frac{1}{2} \times \rho_w \times v \cdot \cos\beta \times |v \cdot \cos\beta| \times L \times D$$

$$R_{Pipe} = \text{Lift Force} \quad (\text{N})$$

Dimana:

C_L	= Lift coefficient	
ρ_w	= Density water	(kg/m ³)
v	= Trail speed	(m/s)
β	= Pipe angle	(°)
L	= Pipe length	(m)
D	= Pipe diameter	(m)

Setelah mendapatkan nilai dari kedua hambatan tersebut, maka dicari nilai rata-rata untuk kemudian dijadikan nilai tambahan *suction pipe resistance* dari *the hydro-visco components*

- *Momentum force*

$$F_{mom} = Q \times \rho_{mix} \times V_{Trail}$$

$$F_{Mom} = \text{Momentum force} \quad (\text{N})$$

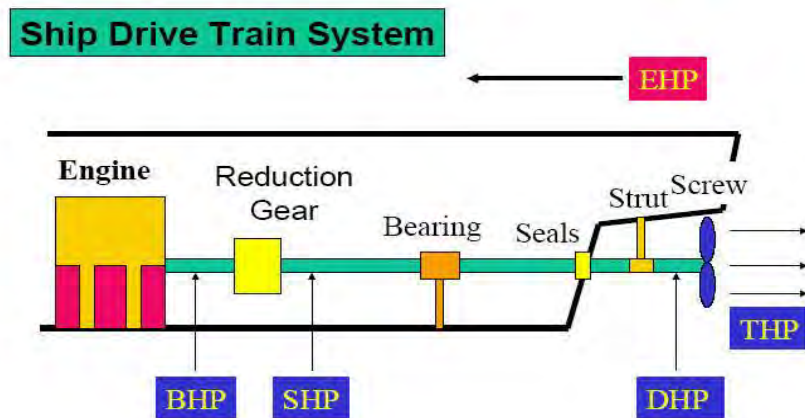
Dimana:

Q	= Pump Capacity	(m ³ /s)
ρ_{mix}	= Density mixture	(kg/m ³)
V_{Trail}	= Trail speed	(m/s)

Setelah mendapatkan nilai tambahan *suction pipe resistance* dari *momentum force*. Maka nilai *suction pipe resistance* ini dapat dimasukkan ke perhitungan total hambatan (R_T).

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 II.17, Skema Pembagian Daya Penggerak Kapal (Teacher Buet, 2015)

Seperti dilihat pada Gambar II.17, 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:

$$EHP = \text{Effective Horse Power} \quad (\text{HP}) / (\text{kW})$$

$$R_T = \text{Hambatan total kapal} \quad (\text{kN})$$

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

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:

$$EHP = \text{Effective Horse Power} \quad (\text{HP}) / (\text{kW})$$

$$\eta_D = \text{Efisiensi baling-baling (propeller efficiency)}$$

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

- $\eta_H = \text{Efisiensi lambung (hull efficiency)}$

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

Dimana:

$$w = \text{Wake friction}$$

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

$$t = \text{Thrust deduction}$$

$$t = 0.70 w + 0.06 \quad \text{untuk kapal dengan twin screw}$$

- $\eta_R = \text{Efisiensi relatif-rotatif (relative-rotative efficiency)}$

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

Dimana:

$$P/D = \text{Pitch ratio}$$

$$LCB = \text{Panjang terhadap titik apung}$$

- $\eta_O = \text{Open water efficiency}$

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:

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

$$\eta_S \eta_B = \text{Efisiensi stern tube dan bearing}$$

$\eta_S \eta_B = 0.98$, 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 sitem tranmisi. 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 berikut:

$$BHP = SHP / \eta_T$$

Dimana:

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

η_T = *Transmission efficiency*

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

li = Harga koefisien terhadap penggunaan komponen sistem penggerak dapt dilihat pada Tabel II.8

Tabel II.8, Harga li

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

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

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

1. Berat *Lightweight Tonnage* (LWT)

LWT digolongkan menjadi beberapa bagian, yaitu:

a. Berat Komponen Baja Kapal

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

i. Berat Baja Di Bawah Geladak Utama

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

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

Dimana:

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

Vu = Volume kapal di bawah geladak utama (m^3)

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 (m³)

C_n = Koefisien berat baja bangunan yang akan dicari (ton/m³)

Untuk koefisien berat baja bangunan kapal dapat dilihat pada Tabel II.9 dan Tabel II.10

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

Tabel II.9, Harga Koefisien *Superstructure*

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

Sumber: (Schneekluth & Betram, 1998)

Tabel II.10, Harga Koefisien Deck House

F_o/F_u	<i>Layer</i>				<i>Wheelhouse</i>
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	
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

Sumber: (Schneekluth & Betram, 1998)

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 *Engine Foundation*

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

Dimana:

BHP = *Break Horse Power* (kW)

n = Putaran mesin utama (rpm)

b. Berat Komponen Sistem Kapal

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

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

i. Berat Sistem Propulsi

- Berat Mesin Utama (*Main Engine*)

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

- Berat *Gear Box*

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

- 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 Tabel II.11:

Tabel II.11, Harga Estimasi Berat *Hatch Cover*

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

Sumber: (Schneekluth & Betram, 1998)

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

Untuk estimasi berat *crane* yang terpasang di atas kapal dapat dilihat pada Tabel II.12:

Tabel II.12, Harga Estimasi Berat *Crane*

<i>Max. load (t)</i>	<i>Weight (t) at max. working radius</i>			
	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

Sumber: (Schneekluth & Betram, 1998)

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

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

Dimana:

$$Vn = \text{Volume bangunan yang akan dicari} \quad (\text{m}^3)$$

$$C_{III} = \text{Koefisien berat E\&O group III} \quad (\text{ton/m}^3)$$

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

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

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

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

- iv. Group IV, untuk peralatan dan perlengkapan lainnya

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

Dimana:

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

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's requirements* 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)*

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

Dimana:

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

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

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

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

$$Margin = 10\%$$

- 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:

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

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, dan lain-lain.

Untuk perhitungan jarak titik berat kapal dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu jarak titik berat secara memanjang (*longitudinal center of gravity / LCG*) untuk mengetahui dimana letak titik berat secara memanjang, yang pada umumnya menjadikan titik AP, *midship*, atau FP sebagai titik acuannya, dan jarak titik berat secara vertikal (*vertical center of gravity / VCG*) guna mengetahui letak titik berat secara vertikal, yang pada umumnya menjadikan dasar lunas (*keel*) sebagai titik acuan untuk mengukur VCG. Adapun formula yang digunakan untuk mencari letak titik berat gabungan, 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 pada Tabel II.13:

Tabel II.13, 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

Berdasarkan acuan dari (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010), lambung timbul pada kapal keruk (*dredger*) diperbolehkan untuk lebih rendah dibandingkan dengan yang diatur pada peraturan internasional ICLL (*International Convention on Load Lines*) tahun 1996 di London, Inggris. Pedoman DR-68 merupakan hasil

diskusi kerja dari “*Joint Working Group on dredger operating at Reduced Freeboard*”. Grup tersebut diwakili oleh badan klasifikasi, industri pengerukan, industri perkapalan, dan badan pengawas dari Negara Belgia, Perancis, Jerman, Belanda, Amerika Serikat, dan Inggris. Tujuan dari pedoman DR-68 ini adalah untuk menentukan kriteria desain, konstruksi, standar survei dan langkah-langkah keamanan operasional untuk kapal keruk yang beroperasi dengan lambung timbul kurang dari lambung timbul minimum yang diatur pada ICLL.

Pedoman DR-68 berlaku untuk kapal keruk berukuran >500 GT yang diatur dalam International Tonnage Convention (ITC) pada tahun 1969 dan kapal keruk yang berada pada tahap pembangunan saat atau setelah 1 Januari 2010. Sedangkan kapal keruk yang sudah dibangun sebelum tanggal 1 Januari 2010, dapat menerapkan pengurangan freeboard dengan memperhatikan peraturan dan mematuhi semua kondisi pada pedoman DR-68.

Kapal keruk diperbolehkan untuk memiliki lambung timbul kurang dari lambung timbul minimum (ICLL) pada kondisi memuat, membawa, dan melakukan operasi pembuangan hasil muatan keruk. Perhitungan pengurangan lambung timbul yaitu:

$$F_{Dredging} = F_1 - \frac{2}{3} \times F_1 \quad (\text{mm})$$

Dimana:

F_1 = minimum *freeboard* yang sudah ditentukan dalam tabel *freeboard* sesuai tipe kapal yang berdasarkan fungsi panjang kapal pada ICLL (mm)

Besarnya nilai lambung timbul musim panas (*summer freeboard*) yang dimasukkan ke dalam perhitungan, harus tanpa dikurangi atau ditambahkan dengan koreksi-koreksi yang ada.

Selain diperbolehkannya kapal keruk untuk beroperasi pada lambung timbul yang kurang dari lambung timbul minimum (ICLL), kapal keruk juga diperbolehkan untuk beroperasi dengan *Minimum Bow Height* yang kurang dari *Minimum Bow Height* sebagaimana diatur pada ICLL. Perhitungan pengurangan Minimum Bow Height pada kapal keruk yaitu:

$$BH_{min. Dredging} = BH_{min} - F_{Dredging} \quad (\text{mm})$$

Dimana:

BH_{min} = perhitungan Minimum Bow Height yang diatur pada ICLL (mm)

$F_{Dredging}$ = lambung timbul kapal keruk saat beroperasi (mm)

II.7.7. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali kepada kedudukan keseimbangan 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 *dredger* 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:

Φ = sudut inklinasi

$$GG' = KG' - KG$$

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

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

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

Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut telah memenuhi kriteria stabilitas yang diatur pada (Intact Stability Code, 1974) dan kriteria tambahan untuk *dredger* yang diatur pada (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010). Kriteria persyaratan dalam perhitungan stabilitas kapal yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

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

Kriteria-kriteria persyaratan dalam perhitungan stabilitas kapal yang telah disebutkan diatas harus dapat memenuhi pada beberapa kondisi pemuatan yang diatur juga pada (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010), yaitu:

1. Terdapat muatan
 - a. *Hopper* terisi penuh muatan homogen hingga sampai ke tepi atas *hopper* dengan massa jenis kepadatan sesuai yang direncanakan. (massa jenis = $0,886 \text{ ton/m}^3$)
Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi, yaitu:
 - Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 1*)
 - Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 2*)
 - Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 3*)
 - b. *Hopper* terisi penuh atau sebagian muatan homogen dengan massa jenis kepadatan yang bervariasi (1 ton/m^3)
Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi, yaitu:
 - Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 4*)
 - Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 5*)
 - Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 6*)

- c. *Hopper* terisi penuh atau sebagian muatan homogen dengan massa jenis kepadatan yang bervariasi ($1,2 \text{ ton/m}^3$)

Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi, yaitu:

- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 7*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 8*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 9*)

2. Tidak terdapat muatan

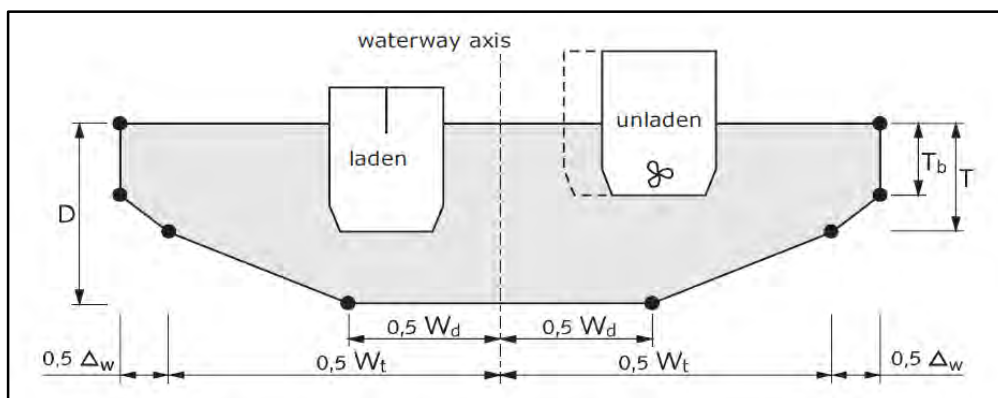
Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi:

- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 10*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 11*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 12*)

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 access 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. Sketsa ukuran sungai pada potongan melintang trapesium dapat dilihat pada Gambar II.18:



Gambar II.18, Ukuran Sungai pada Potongan Melintang 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)
Δw	= 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*). Dapat dilihat pada Tabel II.14, batasan ukuran sungai sesuai dengan jenis pelayarannya:

Tabel II.14, Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur

Jalur Pelayaran	W _d	W _t	Δw	D
Single-line	B _{max}	2 x B _{max}	0.05 L	1.2 x T _{max}
Two-line Narrow	2 x B _{max}	3 x B _{max}	0.05 L	1.2 x T _{max}
Two line Normal	2 x B _{max}	4 x B _{max}	0.05 L	1.2 x T _{max}

Sumber: (Rijkswaterstaat, 2011)

II.8. Tinjauan Perhitungan Ekonomis Desain 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) dapat dilihat pada Tabel II.15:

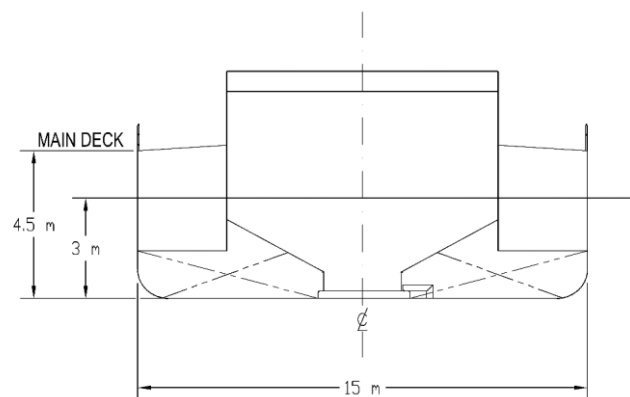
Tabel II.15, Persentase Komponen Biaya Pembangunan Kapal

Cost	Detail	%
Direct Cost	1. Hull Part	
	1.a. Steel plate and profile	21.00
	1.b. Hull outfit, deck machiney 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	

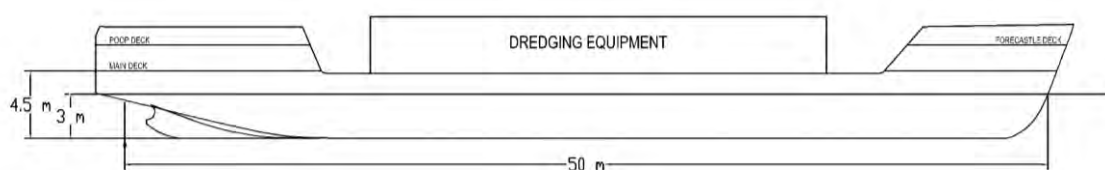
	Consumable material, rental equipment and labor	20.00
	Subtotal (4)	20.00
	5. Launching and testing	
	Subtotal (5)	1.00
	6. Inspection, survey and certification	
	Subtotal (6)	1.00
	TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	88.50
Indirect Cost	7. Design cost	3.00
	8. Insurance cost	1.00
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2.50
	TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)	6.50
Margin	TOTAL III	5.00
GRAND TOTAL (I + II + III)		100.00

II.9. Layout Awal

Dalam mendesain sebuah kapal, diperlukan *layout awal* pada kapal untuk menunjukkan gambaran umum mengenai desain yang akan dibentuk. Berikut merupakan *layout awal* untuk dredger tipe *Trailing Suction Hopper Dredger* (TSHD) yang dapat dilihat pada Gambar II.19 dan Gambar II.20:



Gambar II.20, *Layout Awal Penampang Melintang TSHD*

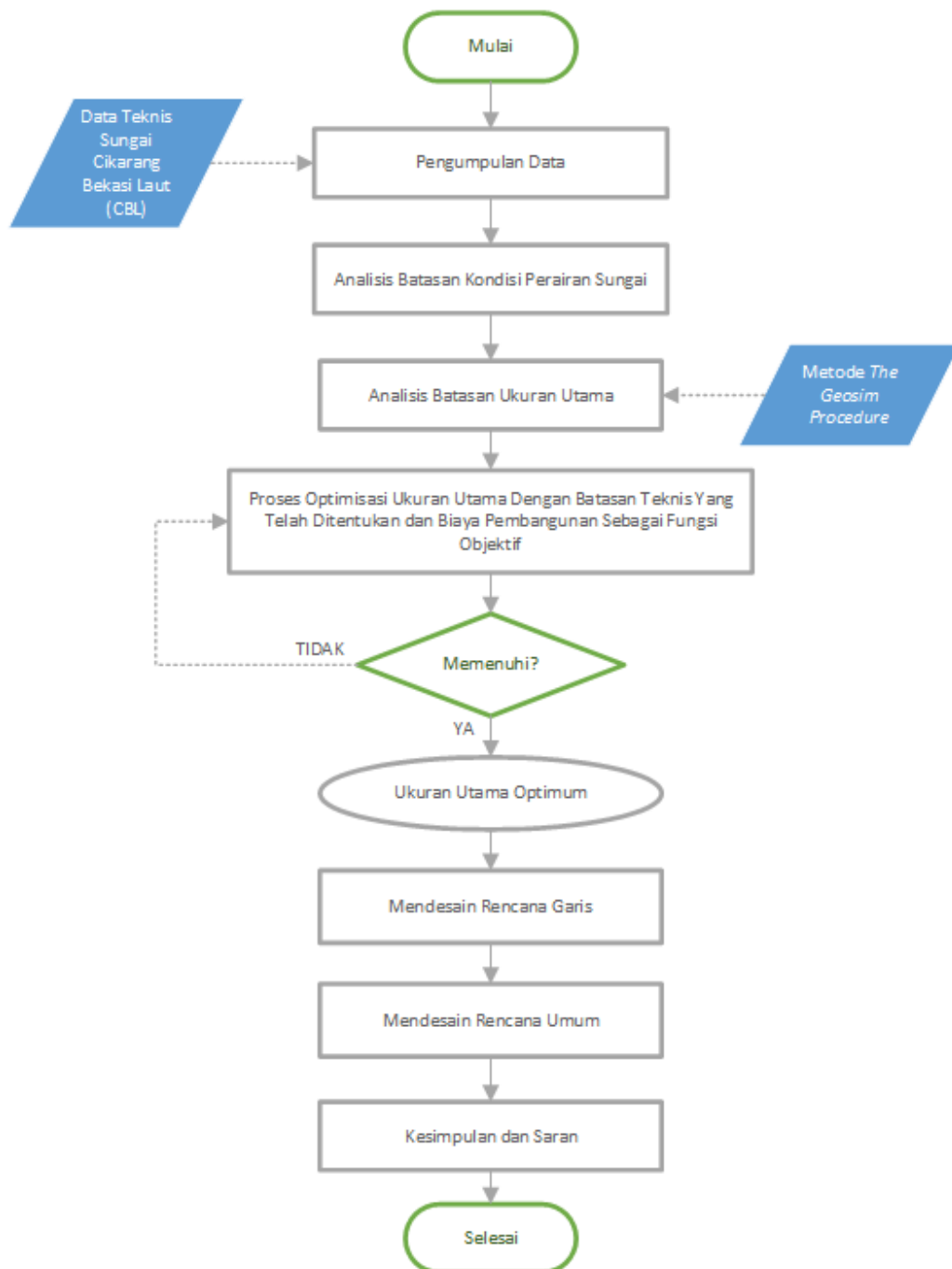


Gambar II.19, *Layout Awal Penampang Memanjang TSHD*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Diagram Alir Pengerjaan

Tahapan dari metodologi penelitian yang digunakan, digambarkan pada diagram alir pada Gambar III.1 di bawah ini:



Gambar III.1, Diagram Alir Pengerjaan

III.2. Tahapan Pengerjaan

Pada Bab III.2 ini akan dijelaskan tahapan pengerjaan yang akan dilakukan dari tahap pengumpulan data hingga tahap menggambar desain Rencana Garis dan desain Rencana Umum.

III.2.1. Pengumpulan Data

Dalam melakukan pengerjaan Tugas Akhir, tahap awal yang perlu dilakukan adalah melakukan pengumpulan data. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh data primer dan/atau data sekunder yang berkaitan dengan permasalahan atau kondisi yang terjadi pada kasus yang akan dikaji dalam penelitian ini. Dalam melakukan penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder, hal ini dikarenakan terdapat kesulitan untuk dilakukannya pengumpulan data secara primer. Data sekunder yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian ini meliputi: Karakteristik Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) dan laju sedimentasi pada Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Sedangkan data-data pendukung dalam melakukan penelitian ini dapat bersumber dari buku, jurnal, maupun penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mempunyai topik atau lokasi penelitian yang sama dengan penelitian ini.

III.2.2. Analisis dan Pengolahan Data

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

III.2.3. Pembuatan Spreadsheet Penentuan Ukuran Utama Awal, Perhitungan Teknis, dan Perhitungan Ekonomis.

Dredger merupakan kapal keruk yang sudah cukup banyak didesain dan dibangun di dunia. Tetapi, keberadaan *dredger* yang dapat beroperasi di sungai masih terbatas, hal ini menyebabkan kesulitan dalam mencari *dredger* dengan kriteria seperti ini untuk dijadikan kapal pembanding dalam penentuan ukuran utama awal dengan metode kapal pembanding. Oleh karena itu, *spreadsheet* penentuan ukuran utama awal dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *The Geosim Procedure*. Metode *The Geosim Procedure* dapat digunakan untuk menentukan ukuran utama awal ketika sebuah permintaan memiliki kesamaan geometris dengan kapal pembanding, dalam hal ini dapat digunakan satu kapal pembanding.

Setelah melakukan penentuan ukuran utama awal dengan menggunakan metode *The Geosim Procedure*, maka selanjutnya dilakukan pembuatan *spreadsheet* perhitungan teknis yang telah disesuaikan dengan dasar teori yang ada. *Spreadsheet* perhitungan teknis yang dibuat dan digunakan ini meliputi perhitungan rasio dan koefisien kapal, hambatan kapal, kebutuhan sistem propulsi serta pemilihan mesin, berat dan titik berat kapal, lambung timbul kapal (*freeboard*), kondisi trim, dan stabilitas kapal. *Output* yang dihasilkan dari *spreadsheet* perhitungan teknis ini akan digunakan sebagai batasan (*constraint*) dalam melakukan proses optimisasi ukuran utama.

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan *spreadsheet* perhitungan ekonomis yang di dalamnya meliputi perhitungan biaya pembangunan kapal. *Output* yang dihasilkan dari *spreadsheet* perhitungan ekonomis ini akan digunakan sebagai *objective function* dalam melakukan proses optimisasi ukuran utama kapal.

III.2.4. Pembuatan Model Optimisasi Desain

Untuk menentukan ukuran utama dalam penelitian ini digunakan metode optimisasi. Metode optimisasi adalah metode yang digunakan untuk mencari nilai optimum dari suatu fungsi matematis baik itu nilai minimum ataupun nilai maksimum. Dalam melakukan metode optimisasi, diperlukan beberapa penentuan yaitu:

1. Fungsi tujuan (*Objective function*)

Objective function merupakan fungsi dari *changing variable* yang akan menghasilkan suatu nilai atau harga sesuai dengan tujuannya apakah mencari nilai minimum atau nilai maksimum. Dalam penelitian ini, *objective function* yang digunakan adalah nilai minimum dalam biaya pembangunan kapal.

2. Variabel peubah (*Changing variable*)

Changing variable merupakan nilai yang dicari berdasarkan *objective function*. Nilai ini akan berada pada *range* yang dibatasi oleh *constraint* yang ada guna mendapatkan *objective function* yang optimum. Dalam penelitian ini, *changing variable* yang digunakan adalah panjang kapal, lebar kapal, tinggi kapal, sarat kapal, dan koefisien blok kapal.

3. Batasan (*Constraint*)

Constraint merupakan nilai yang digunakan sebagai batasan dari perhitungan optimisasi. Nilai *constraint* yang digunakan berasal dari perhitungan teknis yang telah disesuaikan dengan dasar teori dan aturan yang berlaku dan batasan perairan sungai.

4. *Parameter*

Parameter merupakan nilai yang telah ditetapkan sebagai acuan dalam proses perhitungan seperti kapasitas hopper dan kapasitas muatan kapal.

5. Konstanta (*Constants*)

Constants merupakan nilai yang sudah pasti dan tidak akan berubah seperti berat jenis air laut, berat jenis air tawar, berat jenis muatan, nilai gravitasi, dan lain-lain.

III.2.5. Proses Optimisasi, Analisis Teknis dan Analisis Ekonomis

Setelah dilakukan pembuatan model optimisasi desain, maka selanjutnya dilakukan proses optimisasi. Proses optimisasi di sini menggunakan *Generalized Reduced Gradient Method*. Dimana pada *Generalized Reduced Gradient Method* ini dapat dilakukan dengan dua metode iterasi yaitu *Newton-Raphson* dan *Conjugate*. Proses optimisasi ini dilakukan dengan bantuan komputer, dengan menggunakan *Microsoft Excel* dan fitur *solver*-nya. Penggunaan fitur *solver* pada *Microsoft Excel* ini karena dasar dari proses optimisasi yang dilakukan *Microsoft Excel* ini adalah dengan menggunakan metode iterasi *Newton-Raphson* dan *Conjugate*. Setelah dilakukan proses optimisasi maka telah didapatkan *output* berupa nilai ukuran utama yang paling optimum dari model optimisasi desain *dredger* ini. Hasil dari proses optimisasi ini kemudian dilakukan analisis secara teknis dan ekonomis yang membuktikan bahwa pembuatan model optimisasi ini meliputi unsur-unsur optimisasi dan proses optimisasinya berjalan dengan baik dan sesuai.

III.2.6. Desain Rencana Garis (*Lines Plan*)

Tahapan selanjutnya setelah mendapatkan ukuran utama optimum dan melakukan perhitungan teknis dan ekonomis adalah tahapan pembuatan gambar Rencana Garis (*Lines Plan*). Awal pembuatan gambar Rencana Garis dilakukan dengan menggunakan software *Maxsurf Modeler Advanced*. Dalam software *Maxsurf Modeler Advanced*, dibuat model awal kapal hingga didapatkan desain yang sesuai antara sifat hidrostatis dari kapal yang dihasilkan dari software *Maxsurf Modeler Advance* dengan perhitungan teknis yang sudah dilakukan. Kesesuaian yang didapatkan harus meliputi nilai ukuran utama, *displacement*, titik apung, dan koefisien-koefisien kapal. Apabila sudah menemukan kesesuaian, maka Rencana Garis yang meliputi *Body Plan*, *Sheer Plan*, dan *Half Breadth Plan* dapat dipindahkan dari software *Maxsurf Modeler Advance* ke software *AutoCAD* untuk dilakukan penyelesaian dan pendetailan Rencana Garis.

III.2.7. Desain Rencana Umum (*Rencana Umum*)

Setelah menyelesaikan gambar Rencana Garis, maka dapat dilakukan tahapan yaitu gambar Rencana Umum (*General Arrangement*). Gambar Rencana Umum merupakan gambar yang berisi tentang layout dan denah tata letak ruang yang berada di atas kapal. Pembuatan gambar Rencana Umum dapat memanfaatkan outline yang didapatkan dari hasil gambar Rencana Garis dan dilakukan dengan menggunakan software AutoCAD.

III.2.8. Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan harus mampu menjawab permasalahan yang ada dalam Tugas Akhir ini berupa jenis *dredger* yang sesuai dengan karakteristik sungai CBL, kapasitas muatan hasil keruk, ukuran utama optimum dan estimasi biaya pembangunan yang didapatkan dari hasil analisa dan perhitungan, serta gambar Rencana Garis dan Rencana Umum. Sedangkan saran yang diberikan berupa masukan untuk penyempurnaan terhadap penelitian ini ke depannya.

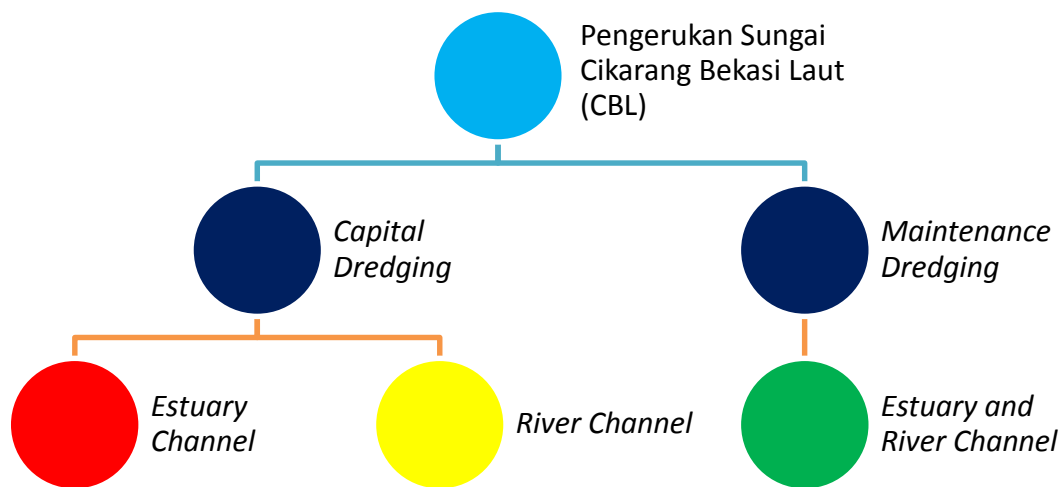
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS DESAIN *DREDGER*

IV.1. Skenario Pengerukan

Untuk merealisasikan program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut – Tanjung Priok”, diperlukan dua jenis kegiatan pengerukan yang dapat menjaga kedalaman sungai CBL tersebut. Skenario pengerukan yang direncanakan dapat dilihat dalam Gambar IV.1 dibawah ini.



Gambar IV.1, Skenario Pengerukan Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)

Dua jenis kegiatan pengerukan yang diperlukan yaitu kegiatan pembangunan atau pengerukan awal (*capital dredging*) dan kegiatan pengerukan pemeliharaan (*maintenance dredging*). Kegiatan *capital dredging* dibagi kembali menjadi dua jenis kegiatan pengerukan yaitu kegiatan pengerukan di muara sungai (*estuary channel*) dan kegiatan pengerukan di alur sungai (*river channel*), sedangkan kegiatan *maintenance dredging* langsung meliputi kegiatan pengerukan di muara sungai dan di alur sungai (*estuary and river channel*).

Perencanaan skenario pengerukan seperti pada Gambar IV.1 dikarenakan terdapat perbedaan pada lokasi pembuangan (*dumping area*) dari material hasil pengerukan. Untuk kegiatan *capital dredging* (*estuary channel*) dan *maintenance dredging* (*estuary and river channel*), material hasil pengerukan akan dibuang di perairan pada jarak 12 (dua belas) mil dari garis pantai dan/atau pada kedalaman lebih dari 20 (dua puluh) meter. Sedangkan kegiatan *capital dredging* (*river channel*), material hasil pengerukan akan dibuang di darat yaitu pada tepi sungai. Pembuangan material di tepi sungai ini disesuaikan dengan rencana penampang sungai yang dijelaskan pada sub-sub bab II.2.2 serta Gambar II.3 dan Gambar II.4.

IV.2. Perhitungan Volume Material Yang Akan Dikeruk

Perhitungan volume material yang akan dikeruk didapatkan dari hasil kali luas profil melintang tanah yang akan dikeruk dengan panjang area pengerukan. Hasil total volume material yang didapatkan untuk tiap skenario, menurut (Mahendra, 2014) pada bukunya perlu ditambah *margin* 10% dari volume total karena faktor *over dredging* pada *dredger* dan juga menurut (Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2006) perlu ditambah *margin* 5% dari volume total karena faktor tingkat sedimentasi sungai CBL.

Berdasarkan data dari (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008), didapatkan profil melintang sungai CBL pada tiap ruas 100 m. Dari profil melintang sungai CBL tersebut didapatkan pula luas profil melintang tanah yang akan dikeruk pada kegiatan *capital dredging* yang dapat dilihat pada Tabel IV.1:

Tabel IV.1, Hasil Rekapitulasi Total Volume Material untuk Kegiatan *Capital Dredging*

Ruas	Luas profil melintang tanah (m ²)	Luas profil melintang tanah Rata-rata (m ²)	DL ¹ (m)	Volume (m ³)
KM 0+0 - 0+900	0,00	0,00	100	0
KM 1+0 - 1+900	0,00	0,00	100	0
KM 2+0 - 2+900	0,00	0,00	100	0
KM 3+0 - 3+900	0,00	0,00	100	0
KM 4+0 - 4+900	0,00	0,00	100	0
KM 5+0 - 5+900	0,00	0,00	100	0
KM 6+0 - 6+900	0,00	0,00	100	0
KM 7+0 - 7+900	0,00	0,00	100	0
KM 8+0 - 8+900	0,00	210,61	100	21.061
KM 9+0 - 9+900	210,61	548,25	100	54.825
KM 10+0 - 10+900	217,97	1.014,69	100	101.469
KM 11+0 - 11+900	330,28	898,19	100	89.819
KM 12+0 - 12+900	525,26	1.119,19	100	111.919
KM 13+0 - 13+900	489,43	1.694,64	100	169.464
KM 14+0 - 14+900	339,33	2.815,77	100	281.577
KM 15+0 - 15+900	558,86	2.131,30	100	213.130
KM 16+0 - 16+900	666,62			
KM 17+0 - 17+900	452,57			
KM 18+0 - 18+900	821,53			
KM 19+0 - 19+900	873,11			
KM 20+0 - 20+900	1.406,80			
KM 21+0 - 21+900	1.408,97			
KM 22+0 - 22+900	1.063,64			
KM 23+0 - 23+900	1.067,66			

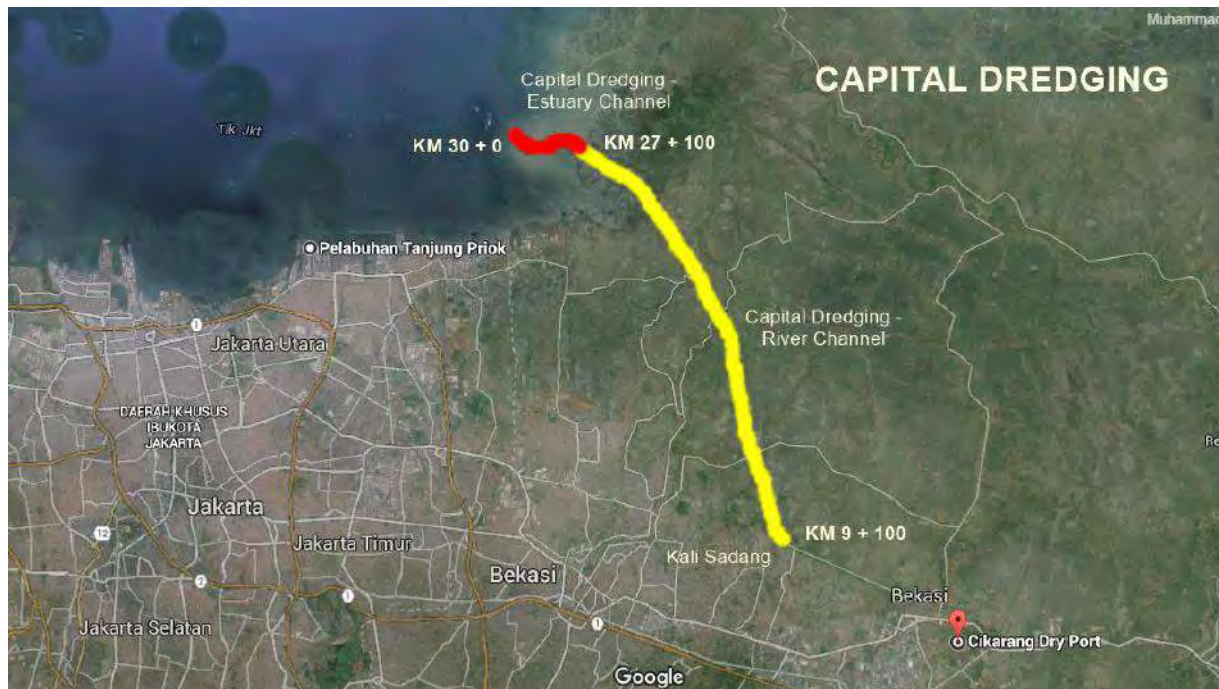
¹ DL = Langkah jarak tiap ruas sungai

KM 24+0 - 24+900	1.252,93			
KM 25+0 - 25+900	1.152,11	2.405,04	100	240.504
KM 26+0 - 26+900	1.333,78			
KM 27+0 - 27+900	933,23	2.267,01	100	226.701
KM 28+0 - 28+900	1.148,99			
KM 29+0 - 30+0	1.867,36	3.016,35	100	301.635
			Total	1.812.104

Sumber: (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Pada Tabel IV.1 dapat dilihat hasil rekapitulasi total volume material untuk kegiatan *capital dredging* pada sungai CBL, sedangkan hasil rekapitulasi yang lebih terperinci untuk tiap ruas sungai dapat dilihat pada lampiran.

Berdasarkan data yang didapatkan dan skenario pengerukan yang direncanakan pada sub bab IV.1, lokasi kegiatan *capital dredging* dapat dilihat pada Gambar IV.2.



Gambar IV.2, Lokasi Kegiatan *Capital Dredging* pada Sungai CBL
(maps.google.co.id, 2016)

Pada Gambar IV.2 dapat dilihat bahwa kegiatan *capital dredging* untuk *river channel* (warna kuning) dimulai dari KM 9 + 100 hingga KM 27 + 0 dan total volume material kegiatannya dapat dilihat pada Tabel IV.2.

Tabel IV.2, Total Volume Material Kegiatan *Capital Dredging* untuk *River Channel*

Volume dasar pengerukan dari KM 9 + 100 - KM 27 + 0	=	1.427.701,00	m ³
Over Dredging = 10% * Volume Pengerukan	=	142.770,10	m ³
Persentase Siltation Rate wilayah Tg. Priok = 5% * Volume Pengerukan	=	71.385,05	m ³
Total volume material kegiatan <i>capital dredging</i> untuk <i>river channel</i>	=	1.641.856,15	m³

Sedangkan pada Gambar IV.2 dapat dilihat pula bahwa kegiatan *capital dredging* untuk *estuary channel* (warna merah) dimulai dari KM 27 + 100 hingga KM 30 + 0 dan total volume material kegiatannya dapat dilihat pada Tabel IV.3.

Tabel IV.3, Total Volume Material Kegiatan *Capital Dredging* untuk *Estuary Channel*

Volume dasar pengerukan dari KM 27 + 100 - KM 30 + 0	=	384.403,00	m ³
Over Dredging = 10% * Volume Pengerukan	=	38.440,30	m ³
Persentase Siltation Rate wilayah Tg. Priok = 5% * Volume Pengerukan	=	19.220,15	m ³
Total volume material kegiatan <i>capital dredging</i> untuk <i>estuary channel</i>	=	442.063,45	m³

Dari Tabel IV.2 dan Tabel IV.3 dapat kita lihat total volume material kegiatan *capital dredging* untuk *river channel* dan *estuary channel* secara berturut-turut adalah 1.641.856,15 m³ dan 442.063,45 m³. Sehingga total volume material kegiatan *capital dredging* untuk dua skenario tersebut pada sungai CBL adalah 2.083.919,60 m³.

Selain kegiatan *capital dredging*, terdapat pula kegiatan *maintenance dredging* yang harus dilakukan secara berkala pada sungai CBL. Lokasi kegiatan *maintenance dredging* dapat dilihat pada Gambar IV.3.



Gambar IV.3, Lokasi Kegiatan *Maintenance Dredging* pada Sungai CBL (maps.google.co.id, 2016)

Pada Gambar IV.3 dapat dilihat bahwa kegiatan *maintenance dredging* untuk *estuary* dan *river channel* dimulai dari KM 0 + 0 hingga KM 30 + 0 dan berdasarkan data dari (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008), laju pengendapan rata-rata yang terjadi pada sungai CBL adalah 150.000 m³/tahun. Jadi, total volume material untuk kegiatannya dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4, Total Volume Material Kegiatan *Maintenance Dredging* untuk *Estuary* dan *River Channel*

Volume dasar pengerukan dari KM 0 + 0 - KM 30 + 0	=	150.000,00	m ³ /tahun
Over Dredging = 10% * Volume Pengerukan	=	15.000,00	m ³
Persentase Siltation Rate wilayah Tg. Priok = 5% * Volume Pengerukan	=	7.500,00	m ³
Total volume material kegiatan <i>maintenance dredging</i> untuk <i>estuary</i> dan <i>river channel</i>	=	172.500,00	m³/tahun

IV.3. Dasar Pemilihan Jenis *Dredger*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis *dredger* yang sesuai dengan kondisi perairan yang akan dikeruk, yaitu sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Kondisi sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) antara lain:

- Material yang akan dikeruk terdiri dari endapan alluvial perairan dangkal berupa campuran lumpur dan pasir.
- Wilayah yang akan dikeruk meliputi area sepanjang sungai CBL termasuk area ditepi-tepi sungai.
- Sarat perairan minimum pada sungai adalah 4 m *Low Water Spring* (LWS).
- Lebar dasar sungai minimum adalah 50 m.
- Total volume material kegiatan *capital dredging* sungai CBL sebesar 2.083.919,60 m³ dan total volume material kegiatan *maintenance dredging* 172.500 m³/tahun.
- Terdapat sampah di permukaan serta daerah pinggiran sungai dan diasumsikan saat melakukan kegiatan pengerukan sampah-sampah tersebut sudah dibersihkan.

Kapal keruk yang akan dipergunakan haruslah dapat memenuhi kriteria awal berdasarkan kondisi material endapan dan kondisi umum sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL).

Kriteria tersebut antara lain:

- Dapat mengeruk secara efisien dan cepat, termasuk untuk area-area ditepi sungai.
- Kapal keruk yang akan dipergunakan haruslah memiliki sarat yang cukup rendah karena dibatasi oleh kedalaman minimum sungai CBL. $T_{\max} = 3.33$ m.
- Dapat digunakan untuk menunjang pemeliharaan sungai CBL secara berkala.
- Dapat mengeruk tanpa banyak mengganggu lalu lintas kapal pada alur sungai CBL. Sesuai dengan tujuan program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok”, sungai ini akan dijadikan jalur pelayaran dengan lalu lintas dua arah.

Untuk kegiatan *capital dredging* dan *maintenance dredging* pada sungai CBL, ada 3 jenis prototipe kapal keruk yang dipertimbangkan yaitu, *Backhoe Dredger*, *Trailing Suction Hopper Dredger* (TSHD) dan *Cutter Suction Dredger* (CSD).

Tabel IV.5, Perbandingan Jenis *Dredger*

Faktor pemilihan	JENIS		
	<i>Backhoe Dredger</i>	<i>Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)</i>	<i>Cutter Suction Dredger (CSD)</i>
Biaya pembangunan awal	Murah	Mahal	Mahal
Mesin penggerak sendiri	Tidak	Ya	Tidak
Pengerukan <i>soft material</i>	Ya	Ya	Ya
Pengerukan <i>hard material</i>	Ya	Tidak	Ya
Memiliki tempat penampungan hasil kerukan (<i>hopper</i>)	Tidak	Ya	Tidak
Kedalaman pengerukan maksimum (m)	20	70	25
Hasil kerukan dapat dipindahkan melalui jalur pipa	Tidak	Ya	Ya
Lain-lain	Bentuknya kecil, memudahkan untuk mengeruk di daerah yang sempit	Cocok untuk mengeruk alur pelayaran dengan volume besar	Kapal yang station, sehingga pergerakan terbatas dan sensitif terhadap gelombang

Melihat dari uraian pada Tabel IV.5, dapat dilihat bahwa *dredger* jenis TSHD adalah alternatif yang tepat pada sungai CBL sesuai dengan kondisi sungai dan kriteria yang dibutuhkan. Pemilihan *dredger* jenis ini dikarenakan TSHD sudah memiliki mesin penggerak dan tempat penampungan hasil kerukan sendiri sehingga sangat memudahkan untuk proses mobilisasi pada saat proses pengerukan, dapat digunakan untuk mengeruk endapan material alluvial perairan dangkal berupa campuran lumpur dan pasir (*soft material*), cocok untuk pengerukan alur pelayaran dengan volume yang besar serta mampu membuang material dengan menggunakan jalur pipa (*floating and land pipeline*). Meskipun *dredger* jenis TSHD ini dari segi biaya pembangunan awal lebih mahal, tetapi mengingat kelebihan-kelebihan seperti yang telah disebutkan sebelumnya, maka *dredger* jenis TSHD ini masih jauh lebih baik untuk dipilih.

IV.4. Penanganan Material Hasil Kerukan

Material hasil kerukan dapat dimanfaatkan untuk hal lain seperti reklamasi, tetapi hal itu masih harus memerlukan penanganan lebih lanjut yang membutuhkan biaya yang mahal (biaya untuk pemadatan), sehingga akan lebih ekonomis untuk dibuang. Tempat pembuangan material hasil kerukan (*dumping area*) untuk kegiatan pengerukan sungai CBL dapat melalui dua alternatif, yaitu:

1. Pembuangan material di perairan

Dalam perencanaannya, kegiatan *capital dredging (estuary channel)* dan *maintenance dredging (estuary and river channel)*, material hasil pengerukan akan dibuang di perairan pada jarak 12 (dua belas) mil dari garis pantai dan/atau pada kedalaman lebih dari 20 (dua puluh) meter. Pembuangan material di perairan ini dapat menggunakan pintu yang berada pada dasar kapal TSHD (*bottom dumping door*).

2. Pembuangan material di darat

Dalam perencanaannya, kegiatan *capital dredging (river channel)*, material hasil pengerukan akan dibuang di darat yaitu pada tepi sungai. Pembuangan material di tepi sungai ini disesuaikan dengan penampang melintang sungai yang direncanakan dengan bentuk penampang trapesium kemiringan 1:1 dan 1:2 seperti yang dijelaskan pada sub-sub bab II.2.2. Pembuangan material di darat ini dapat menggunakan jalur pipa (*floating and land pipeline*) atau dengan menggunakan cara *rainbowing*².

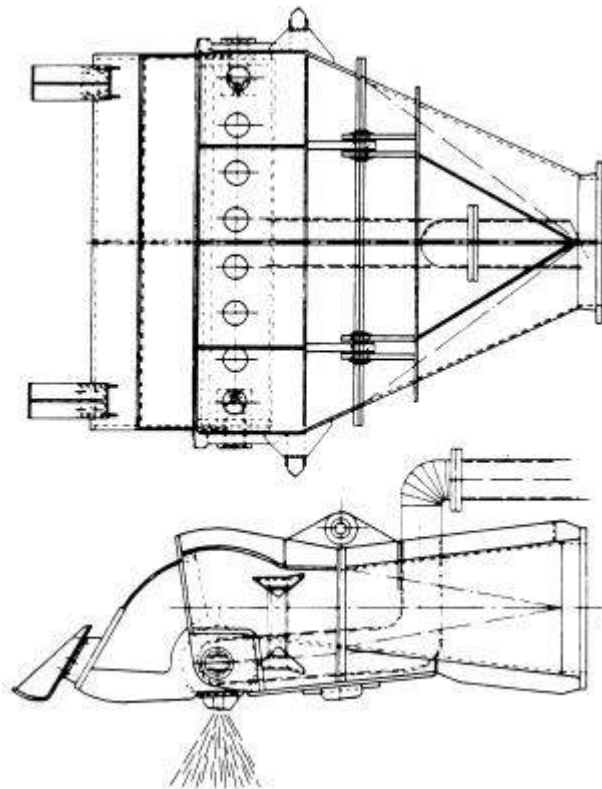
IV.5. Peralatan Pengerukan pada TSHD (*Dredging Equipment*)

Jenis kapal keruk yang dipilih berdasarkan penjelasan pada sub bab IV.3 adalah *Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)*. Besarnya kapasitas *hopper* pada TSHD ditentukan berdasarkan perhitungan berulang-ulang (*loop calculation*) yang melalui proses optimisasi yang juga dibatasi oleh perairan sungai CBL. Dari hasil perhitungan, didapatkan kapasitas *hopper* sebesar 1100 m³.

Dikarenakan kapasitas *hopper* yang akan didesain pada TSHD ini besarnya sama dengan kapasitas *hopper* pada beberapa TSHD yang sudah dibangun di dunia (*existing TSHD*), maka untuk peralatan pengerukannya dapat disesuaikan dengan TSHD yang sudah ada tersebut. Berikut merupakan peralatan pengerukan yang akan terdapat pada desain TSHD untuk program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut – Tanjung Priok”:

² Proses di mana kapal keruk membuang material dengan cara mendorong pasir yang telah dikeruk dari dasar laut atau sungai dengan membentuk seperti busur yang tinggi (bentuk pelangi) ke lokasi tertentu.

1. Kapasitas pompa pengerukan sebesar 5500 m³/jam (2 buah pompa dengan besar masing-masing 2750 m³/jam) yang dapat dilihat spesifikasinya pada Lampiran E
2. Diameter pipa keruk sebesar 500 mm yang dapat dilihat spesifikasinya pada Lampiran E.
3. Pembuangan material menggunakan pintu yang berada pada dasar kapal TSHD (*bottom dumping door*) dan menggunakan jalur pipa (*floating and land pipeline*).
4. Jenis kepala hisap (*draghead*) yang digunakan adalah *dutch draghead* yang dapat dilihat pada Gambar IV.4. *Dutch draghead* adalah jenis yang sederhana, dimana bagian kepalanya langsung tersambung dengan pipa hisap. Desain jenis ini dapat menggali semua jenis tanah baik lumpur, pasir, dan kerikil. *Jet nozzle* dan gigi pada *draghead* akan mempermudah untuk menghancurkan dan melembutkan material yang digali, sehingga hisapan dari pompa dapat mengalirkan material dengan kapasitas produksi maksimum.



Gambar IV.4, *Dutch Draghead*
(W.J. Vlasblom, 2007)

IV.6. Analisis Perhitungan Kapasitas Produksi Kegiatan Pengerukan Per Hari

Perhitungan produksi kegiatan pengerukan per hari yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 skenario sebagaimana yang sudah dijelaskan dalam sub bab IV.1 dan berdasarkan hasil pemilihan jenis *dredger* yang sudah dijelaskan dalam sub bab IV.3, jenis *dredger* yang dipilih merupakan *trailing suction hopper dredger* (TSHD). Oleh sebab itu, sebelum melakukan perhitungan produksi kegiatan pengerukan per hari, terlebih dahulu dilakukan perhitungan siklus waktu yang dibutuhkan TSHD untuk pengerukan dalam satu kali kerja (*cycle time per one cut*).

Menurut (Okude) dalam bukunya yang berjudul *Dredger and Dredging Work*, untuk menghitung siklus waktu yang dibutuhkan TSHD untuk pengerukan dalam satu kali kerja dapat menggunakan persamaan pada Gambar IV.5.

b) Cycle time per one cut (T)

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \dots \dots \dots (2)$$

Here T : Cycle time per one cut (mimute)
 T_1 : Dredging time (including overflow time)
 T_2 : Hauling time (between the dredging area and dumping area)
 T_3 : Dumping time (or other discharge time)
 T_4 : Other times (such as waiting time, preparation time, etc.)

Gambar IV.5, Cycle Time per One Cut Equation (Okude)

Dalam persamaan pada Gambar IV.5, data yang dibutuhkan untuk menghitung siklus waktu TSHD yaitu:

- Jenis material yang akan dikeruk : Endapan alluvial campuran lumpur dan pasir
- Kapasitas *hopper* pada kapal : 1100 m³
- Kapasitas pompa pada kapal : 2 x 2750 m³/jam
- Kecepatan kapal : saat mengeruk = 3 knot (5,56 km/jam)
saat berlayar = 10 knot (18,52 km/jam)

Dari data-data tersebut, maka didapatkan hasil seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV.6. Perbedaan hasil siklus waktu yang cukup jauh diantara 3 skenario pengerukan ini diakrenakan terdapat perbedaan pada jarak dari lokasi kerja ke lokasi pembuangan material (*dumping area*) sebagaimana yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.4. Untuk perhitungan siklus waktu yang lebih terperinci dapat dilihat pada lampiran.

Tabel IV.6, Rekapitulasi Hasil Siklus Waktu untuk 3 Skenario Pengerukan

No.	Skenario	Waktu (menit)
1.	<i>Capital dredging (river channel)</i>	44,00
2.	<i>Capital dredging (estuary channel)</i>	184,00
3.	<i>Maintenance dredging (estuary and river channel)</i>	378,38

Langkah selanjutnya setelah menghitung siklus waktu adalah menghitung kapasitas produksi kegiatan pengerukan per hari. Menurut (Okude) juga dalam bukunya yang berjudul *Dredger and Dredging Work*, untuk menghitung kapasitas produksi pengerukan TSHD per hari dapat menggunakan persamaan pada Gambar IV.6.

Perhitungan kapasitas produksi maksimum pengerukan per hari, yaitu:

$$V = \frac{H \times 60}{T_o + T_s} \times \left[Q_p \times M \times T_1 + \frac{Q_p \times \alpha}{M} (1 - e^{-\alpha \times T_s}) \right]$$

Ref: *Dredge and Dredging Work*, T. Okude

dimana,

H = jam kerja setiap hari (jam)

T_o = Total siklus waktu dalam satu kali kerja (menit)

T_s = waktu overflow (menit)

Q_p = kapasitas pompa (m³/jam)

M = konsentrasi rata-rata material

α = Koefisien material

T₁ = waktu untuk mengeruk (menit)

Gambar IV.6, *Dredging Volume per Day Equation*
(Okude)

Dalam persamaan pada Gambar IV.6, data yang dibutuhkan untuk menghitung kapasitas produksi pengerukan TSHD per hari selain siklus waktu yang sudah dihitung sebelumnya adalah:

- Jam kerja setiap hari : 24 jam
- Kapasitas pompa pada kapal : 2 x 2750 m³/jam
- Konsentrasi rata-rata material : 0,25 (untuk endapan lumpur dan pasir)
- Koefisien material : 0,15 (untuk endapan lumpur dan pasir)

Dari data-data yang ada, maka didapatkan hasil perhitungan kapasitas produksi kegiatan pengerukan per hari yang dapat dilihat pada Tabel IV.7. Untuk perhitungan kapasitas produksi pengerukan per hari yang lebih terperinci dapat dilihat pada lampiran.

Tabel IV.7, Rekapitulasi Hasil Kapasitas Produksi TSHD per Hari untuk 3 Skenario Pengerukan

No.	Skenario	Kapasitas produksi (m ³ /hari)
1.	<i>Capital dredging (river channel)</i>	8472,74
2.	<i>Capital dredging (estuary channel)</i>	2358,39
3.	<i>Maintenance dredging (estuary and river channel)</i>	1178,03

IV.6.1. Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Kegiatan Pengerukan

Setelah melakukan perhitungan volume material yang akan dikeruk dan kapasitas produksi kegiatan pengerukan per hari, maka dapat dilakukan perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk 3 skenario kegiatan pengerukan pada sungai CBL. Perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan pengerukan didapatkan dari hasil bagi antara total volume material yang akan dikeruk dengan kapasitas produksi kegiatan pengerukan per hari.

Tabel IV.8, Rekapitulasi Hasil Waktu yang Dibutuhkan untuk Kegiatan Pengerukan

No.	Skenario	Waktu yang dibutuhkan (hari)
1.	<i>Capital dredging (river channel)</i>	194
2.	<i>Capital dredging (estuary channel)</i>	188
3.	<i>Maintenance dredging (estuary and river channel)</i>	147

Dari hasil waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan pengerukan pada Tabel IV.8, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kegiatan *capital dredging (estuary and river channel)* akan memakan waktu sebanyak 382 hari atau setara dengan 12,7 bulan (Asumsi 1 bulan = 30 hari).
2. Kegiatan *maintenance dredging (estuary and river channel)* akan memakan waktu sebanyak 147 hari atau setara dengan 4,9 bulan (Asumsi 1 bulan = 30 hari).

IV.7. *Design Statement*

Dalam proses mendesain kapal, produk yang dihasilkan harus mampu mengakomodir seluruh permintaan dari pemilik kapal (*owner's requirements*). *Owner's requirements* sendiri merupakan kumpulan dari ketentuan-ketentuan yang berasal dari pemilik kapal yang selanjutnya akan dijadikan acuan dasar bagi desainer dalam mendesain sebuah kapal. Biasanya, di dalam *owner's requirements* terdapat 5 ketentuan utama yaitu jenis kapal, jenis muatan, kuantitas muatan, rute pelayaran dan kecepatan kapal yang diinginkan.

Seiring dengan berkembangnya isu yang dipublikasikan oleh pemerintah pusat mengenai jalur angkutan kontainer berbasis jalur sungai atau *inland access waterway* sepanjang 25 mil laut dari (kawasan industri) Cikarang, Jawa Barat menuju ke Pelabuhan Tanjung Priok melalui sungai CBL via Marunda, Jakarta Utara (program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut – Tanjung Priok” yang akan dikembangkan oleh PT. Pelindo II (Persero), dan diperlukannya upaya pengerukan awal serta pemeliharaan secara berkala pada sungai guna menjaga kedalaman sungai, maka dapat disimpulkan data *owner's requirements* dari program Tol Sungai ini adalah:

1. Jenis *dredger* yang digunakan adalah *Trailing Suction Hopper Dredger* (TSHD) seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.3
2. Jenis muatan yang akan dibawa adalah endapan alluvial perairan dangkal berupa campuran lumpur dan pasir.
3. Kapasitas *hopper* yang akan didesain adalah 1100 m³ (kapasitas *hopper* maksimum pada kapal yang dapat melalui sungai CBL).
4. Rute pelayaran adalah perairan sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL), Kabupaten Bekasi, Jawa Barat.
5. Kapal didesain dengan kecepatan 10 knot saat berlayar (18,52 km/jam) dan 3 knot saat mengeruk (5,56 km/jam).

Data di atas merupakan data yang akan dijadikan sebagai parameter acuan dalam mendesain TSHD pada program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok” secara umum.

Dalam menghitung kuantitas muatan dihitung untuk 2 kondisi, yaitu kondisi air laut (*estuary channel*) dan air tawar (*river channel*). Oleh karena itu perhitungan kebutuhan kuantitas muatan (*payload*) dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\text{Payload} = \text{Kapasitas } \textit{hopper} \text{ (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis rata-rata (ton/m}^3\text{)}$$

$$\text{dimana, kapasitas } \textit{hopper} = 1100 \text{ m}^3$$

KONDISI 1	KONDISI 2
Massa jenis lumpur = 0,746 ton/m ³	Massa jenis lumpur = 0,746 ton/m ³
Massa jenis air laut = 1,025 ton/m ³	Massa jenis air tawar = 1,000 ton/m ³
Massa jenis rata-rata = (0,746 + 1,025)/2 = 0,886 ton/m ³	Massa jenis rata-rata = (0,746 + 1,000)/2 = 0,873 ton/m ³
<i>Payload</i> = 1100 x 0,886 = 974,05 ton	<i>Payload</i> = 1100 x 0,873 = 960,30 ton

Dari hasil *payload* yang telah dihitung pada 2 kondisi tersebut, maka diambil nilai *payload* yang terbesar yaitu 974,05 ton (Kondisi 1).

Setelah didapatkan nilai *payload*, maka perlu dilakukan perhitungan estimasi total *Deadweight* (DWT). Menurut (W.J. Vlasblom, 2006), nilai DWT dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 \text{DWT} &= 1,1 \times \text{Payload} \\
 &= 1,1 \times 974,05 \text{ ton} \\
 &= 1071,46 \text{ ton} \\
 \text{DWT} &\approx 1100 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

IV.8. Batasan Dimensi Sungai

Penentuan desain *dredger* dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu batasan maksimum ukuran utama yang dapat dioperasikan di sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL). Penentuan batasan maksimum ukuran utama ini dilakukan dengan menggunakan *guideline* untuk desain *waterway*. Batasan ini hanya untuk ukuran maksimum dari sarat kapal (T) dan lebar kapal (B).

Untuk kondisi sungai CBL sendiri memiliki dimensi panjang keseluruhan sebesar 28.205,00 meter dan kedalaman bervariasi antara 4–7 meter dengan detail ukuran seperti pada Tabel IV.9 di bawah ini:

Tabel IV.9, Dimensi Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)

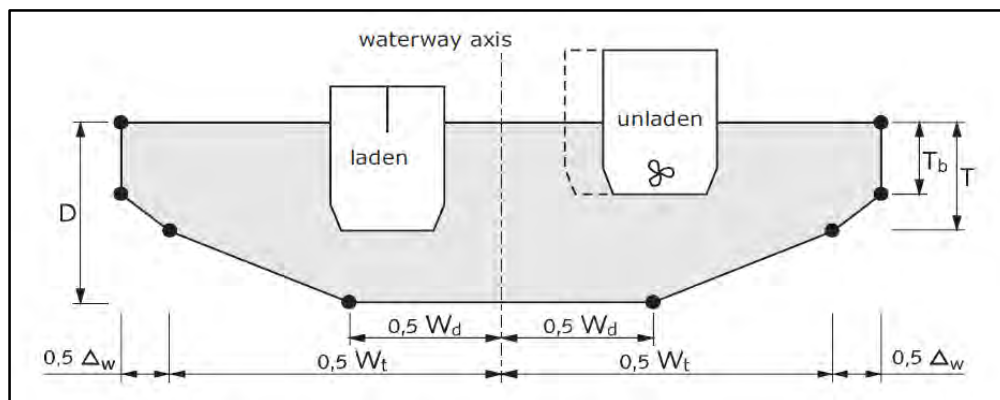
Ruas Wilayah	Panjang Sungai (m)	Lebar Dasar Sungai (m)
Sungai Cikarang (Bendung CBL) – Sungai Sadang	10.060	-
Sungai Sadang – Sungai Jambe	2.000	50,00
Sungai Jambe – Sungai Bekasi	5.825	60,00
Sungai Bekasi - Laut	10.320	80,00

Sumber: (Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2008)

Dari data teknis sungai CBL di atas, maka dapat diketahui bahwa batasan dari sungai CBL adalah kedalaman minimum sungai sebesar 4 m dan lebar minimum dasar sungai sebesar 50 m. Menurut (Rijkswaterstaat, 2011), batasan ukuran sungai yang sesuai dengan jenis penggunaan jalur pelayarannya dapat dilihat pada Tabel IV.10 beserta sketsanya pada Gambar IV.7.

Tabel IV.10, Batasan Dimensi Sungai Sesuai Penggunaan Jalur Pelayaran

Jalur Pelayaran	W _d	W _t	Δw	D
Two line Normal	2 x B _{max}	4 x B _{max}	0.05 L	1.2 x T _{max}
Two-line Narrow	2 x B _{max}	3 x B _{max}	0.05 L	1.2 x T _{max}
Single-line	B _{max}	2 x B _{max}	0.05 L	1.2 x T _{max}



Gambar IV.7, Ukuran Sungai pada Potongan Melintang

Dari batasan dimensi sungai yang ada pada Tabel IV.10, maka dapat dilakukan perhitungan untuk batasan kondisi sungai CBL. Berdasarkan tujuan dari program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok”, jalur angkutan kontainer berbasis jalur sungai atau *inland access waterway* ini akan digunakan untuk dua jalur pelayaran (*two-line narrow*). Oleh karena itu, dimensi sarat kapal maksimum (T) yang diizinkan untuk melintasi sungai CBL adalah:

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

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

Dimana,

$$D_{\text{minimum}} (\text{Sungai CBL}) = 4 \text{ m}$$

Maka,

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

$$= 3.3333 \text{ m}$$

Sedangkan, dimensi lebar kapal maksimum (B) yang diizinkan untuk melintasi sungai CBL adalah:

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

$$W_w = W_t + \Delta w$$

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

Dimana,

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

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

$$W_t = W_w - \Delta w$$

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

$$= 2.541 \text{ m}$$

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

Maka,

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

$$B_{\max} = 15.8198 \text{ m}$$

Jadi, dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa kapal yang diizinkan untuk melintasi sungai CBL harus memiliki ukuran utama dengan dimensi sarat maksimum (T) 3.3333 m dan dimensi lebar kapal maksimum (B) 15.8198 m. Hasil dari batasan dimensi sungai ini akan digunakan sebagai batasan dalam proses optimisasi ukuran utama kapal.

IV.9. *The Geosim Procedure*

Dalam menentukan ukuran utama awal dan menentukan batasan untuk mencari ukuran utama pada jenis kapal yang jumlah keberadaannya masih terbatas seperti TSHD yang beroperasi di perairan sungai, maka dapat menggunakan metode *The Geosim Procedure*. Sebagaimana yang sudah dijelaskan pada sub-sub bab II.7.1 tentang metode *The Geosim Procedure*, maka langkah awal dalam menggunakan metode ini adalah menentukan terlebih dahulu kapal pembanding yang akan digunakan. Kapal pembanding ditentukan berdasarkan kesamaan jenis kapal (TSHD). Dalam Tabel IV.11 dapat dilihat kapal pembanding yang digunakan untuk menentukan batasan ukuran utama:

Tabel IV.11, Data Kapal Pembanding

Nama Kapal	DWT (ton)	Displasemen (ton)	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)	C _B	C _D
Contender	4375	6093,31	88,4	15,5	6,00	5,53	0,785	0,718
Barito Equator	3755	4618,70	76,10	16,20	5,60	4,60	0,795	0,813
Damen TSHD 650	1020	1669	55,60	12,00	4,00	3,18	0,768	0,611
Natuna	920	1530,78	55,25	11,80	4,60	3,80	0,603	0,601

Setelah didapatkan data ukuran utama kapal pembanding, 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:

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

$$= 1100,00 \quad \text{ton}$$

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

$$= 3755 \text{ ton}$$

Maka:

$$L_2 / L_1 = (1100 / 3755)^{1/3}$$

$$= 0,6641$$

$$K = 0,6641$$

3. Ukuran utama kapal yang dirancang didapatkan dari perhitungan:

$$L_2 = K \times L_1 \qquad H_2 = K \times H_1$$

$$= 0,6641 \times 76,10 \qquad = 0,6641 \times 5.60$$

$$= 50,541 \text{ m} \qquad = 3,719 \text{ m}$$

$$\begin{array}{ll}
 B_2 & = K \times B_1 \\
 & = 0,6641 \times 16,20 \\
 & = 10,759 \text{ m}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 T_2 & = K \times T_1 \\
 & = 0,6641 \times 4,60 \\
 & = 3,055 \text{ m}
 \end{array}$$

Setelah dilakukan perhitungan dari empat kapal pembanding, maka didapatkan hasil pada Tabel IV.12:

Tabel IV.12, Batasan Ukuran Utama Menggunakan Metode *The Geosim Procedure*

	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)
Contender	55,794	9,783	3,787	3,490
Barito Equator	50,541	10,759	3,719	3,055
Damen TSHD 650	57,017	12,306	4,102	3,261
Natuna	58,641	12,524	4,882	4,033
Nilai Minimum	50,541	9,783	3,719	3,055
Nilai Maksimum	58,641	12,524	4,882	4,033

Dapat dilihat pada Tabel IV.12, hasil batasan nilai minimum dan nilai maksimum ini dapat digunakan sebagai batasan *changing variable* dari ukuran utama pada proses optimisasi.

IV.10. Model Optimisasi Desain

Penentuan ukuran utama desain *dredger* dilakukan melalui proses optimisasi. Proses optimisasi digunakan untuk mendapatkan nilai yang paling optimum dari semua batasan-batasan dalam proses desain. Metode optimisasi yang digunakan adalah menggunakan metode optimisasi *Generalized Reduction Gradient* (GRG). Metode GRG ini dapat menggunakan metode *Newton-Rophson* dan *Conjugate Gradient* sebagai metode iterasinya. Proses optimisasi dari desain *dredger* ini menggunakan fitur *solver* yang ada pada *Microsoft Excel 2013*. Penggunaan fitur *solver* Microsoft Excel ini dikarenakan metode iterasi yang digunakan adalah metode iterasi *Newton-Rophson* dan *Conjugate Gradient*.

Langkah paling awal yang dilakukan adalah pembuatan model optimisasinya. Model optimisasi ini dibuat berdasarkan hasil dari pengumpulan dan pengolahan data, hasil kajian literatur serta perhitungan teknis dan ekonomis. Pembuatan model optimisasi ini meliputi tiga unsur dari proses optimisasi yaitu *changing variable*, *constraint*, dan *objective function*.

IV.10.1. Penentuan *Changing Variable*

Changing variable adalah nilai yang ingin dicari atau dihitung berdasarkan fungsi objektifnya, nilai yang dicari antara lain ukuran utama kapal meliputi ukuran panjang kapal, lebar kapal, tinggi kapal, sarat kapal, dan koefisien blok kapal. Untuk ukuran utama awal yang dijadikan sebagai pertimbangan dalam menentukan formula yang digunakan dalam perhitungan teknis adalah salah satu ukuran utama kapal pembanding yang telah dilakukan penyesuaian dengan metode *The Geosim Procedure*, yaitu kapal Barito Equator, dengan ukuran utama $L = 50,541$ m, $B = 10,759$ m, $H = 3,719$ m, dan $T = 3,055$ m

IV.10.2. Penentuan *Constraint*

Constraint 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 sudah sesuai dengan yang ditentukan dalam peraturan *rules* dan/atau klasifikasi. Adapun *constraint* yang digunakan dalam proses optimisasi ini adalah:

1. Batasan variabel ukuran utama

Variabel ukuran utama diberikan batasan nilai minimum dan maksimum dengan tujuan agar data ukuran utama optimal yang akan diperoleh tidak keluar dari referensi kapal pembanding. Batasan ini diperoleh dari hasil perhitungan geometris yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.8 sebelumnya dengan menggunakan metode *The Geosim Procedure*. Dapat dilihat pada Tabel IV.13, batasan nilai minimum dan maksimum dari variabel ukuran utama kapal:

Tabel IV.13, Batasan Variabel Ukuran Utama Optimisasi

	L (m)	B (m)	H (m)	T (m)
Nilai Minimum	50,541	9,783	3,719	3,055
Nilai Maksimum	58,641	12,524	4,882	4,033

2. Batasan *Coefficient Block* (C_B)

Menurut (W.J. Vlasblom, 2007), koefisien blok untuk *dredger* jenis TSHD biasanya memiliki nilai dari 0,78 (minimum) hingga 0,85 (maksimum).

3. Batasan kondisi perairan sungai

Untuk kapal yang beroperasi di sungai tentunya memiliki batasan yang dipengaruhi oleh keadaan dimensi suatu sungai yang dapat mempengaruhi ukuran utama kapal, terutama ukuran sarat dan lebar kapal. Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.7, batasan maksimum ukuran kapal yang diizinkan untuk melewati sungai CBL adalah sarat (T) = 3.3333 m dan lebar (B) = 15.8198 m.

4. Batasan *Froude Number* (Fn)

Batasan *Froude Number* ini adalah batasan yang dipengaruhi oleh fungsi kecepatan dan panjang kapal. Batasan minimum Fn ditentukan berdasarkan fungsi panjang maksimum pada kapal pembanding dan batasan maksimum Fn ditentukan berdasarkan fungsi panjang minimum pada kapal pembanding.

5. Batasan rasio ukuran utama

Rasio ukuran utama merupakan perbandingan antar setiap komponen ukuran utama guna mengetahui kriteria dari kapal tersebut. Ratio antara panjang dan lebar kapal (L/B) dapat mempengaruhi hambatan dan olah gerak kapal, ratio antara lebar dan sarat kapal (B/T) dapat mempengaruhi stabilitas utuh kapal, serta ratio antara panjang dan sarat kapal (L/T) dapat mempengaruhi kekuatan memanjang kapal. Rasio ukuran utama yang digunakan dalam perhitungan teknis penelitian ini adalah:

- $3,9 < L/B < 15$
- $1,8 < B/T < 5$
- $10 < L/T < 30$

6. Batasan lambung timbul kapal (*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 tengah (*midship*) kapal 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.

Menurut (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010), *freeboard* untuk *dredger* boleh lebih rendah dari nilai *freeboard* minimum yang sudah ditentukan dalam peraturan (International Convention on Load Lines, 1966) seperti yang sudah dijelaskan pada sub-sub bab II.7.6.

IV.10.3. Penentuan *Objective Function*

Objective function adalah hubungan dari semua atau beberapa variabel serta parameter yang nilainya akan dioptimalkan. *Objective function* juga disesuaikan dengan tujuan dari proses optimisasi yang diharapkan yaitu nilai minimum atau maksimum. Pada proses optimisasi dalam

penelitian 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. Oleh sebab itu, nilai paling minimum dari biaya pembangunan akan menjadi *objective function*.

IV.10.4. Running Model Iterasi Solver

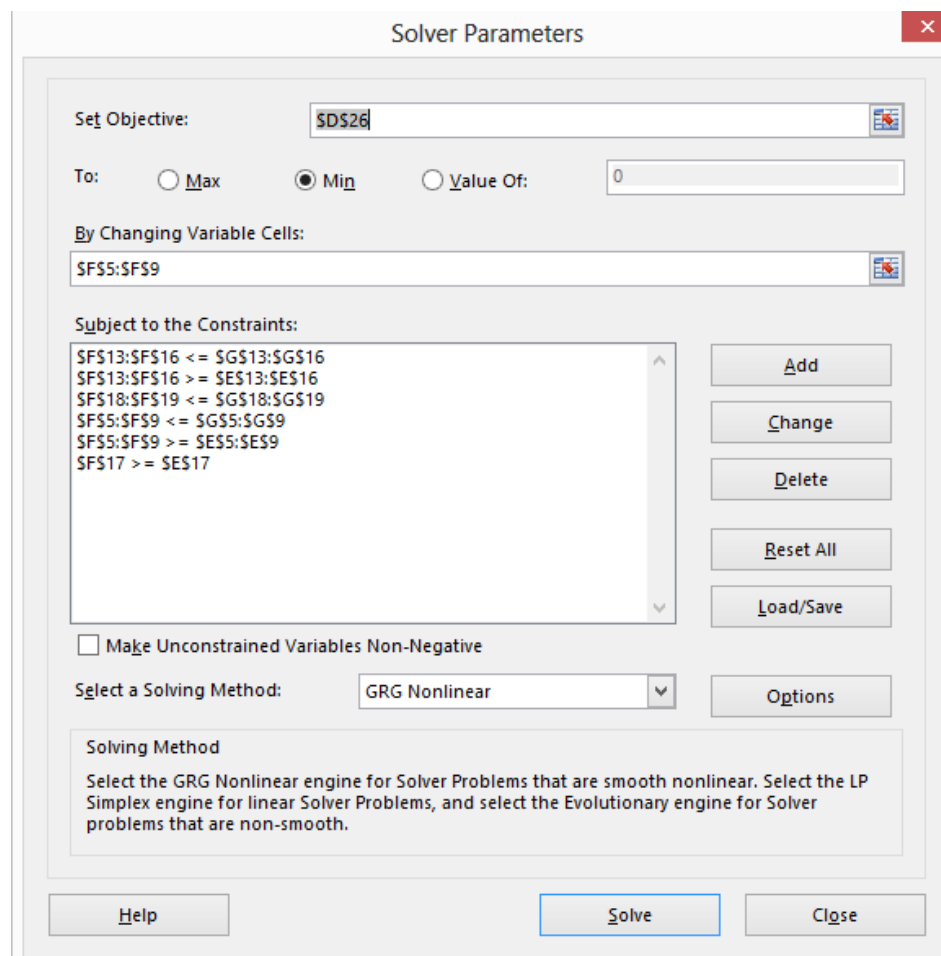
Dalam melakukan perhitungan optimisasi pada penelitian ini menggunakan fitur *solver* yang ada pada *Microsoft Excel 2013* seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.9. Mengingat desain TSHD yang direncanakan pada penelitian ini akan melewati dua kondisi perairan yaitu perairan air tawar (sungai) dan perairan laut, maka model optimisasi yang dijadikan acuan adalah model optimisasi pada kondisi di perairan sungai. Hal ini dikarenakan perairan sungai memiliki massa jenis air yang lebih rendah dibandingkan dengan massa jenis air laut, sehingga kapal di perairan sungai membutuhkan sarat yang lebih tinggi untuk mencapai nilai *displacement* (ton) yang sama dengan kapal di perairan laut. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk melakukan proses optimisasi adalah:

1. Membuat model *solver* pada *Microsoft Excel 2013* dengan memasukkan data-data dari *spreadsheet* perhitungan teknis untuk digunakan sebagai *constraint* dalam proses optimisasi. Model *solver* yang dibuat dibentuk dalam tabel model optimisasi, dimana di dalamnya disediakan *cell* untuk *changing variable*, *constraint*, dan *objective function*. Tabel *template* model optimisasi dapat dilihat pada Tabel IV.14 di bawah ini.

Tabel IV.14, Tabel *Template* Model Optimisasi

OPTIMIZATION - FRESH WATER							
Changing Variable							
Main Dimension	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
	Length	m	L	50,541		58,641	REJECTED
	Breadth	m	B	9,783		12,524	REJECTED
	Draft	m	T	3,055		4,033	REJECTED
	Height	m	H	3,719		4,882	REJECTED
	Cb			0,78		0,85	REJECTED
Constraint							
Froude Number	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
	$F_n = V / (g \times L_{pp})^{0.5}$		F_n	0,214		0,231	REJECTED
Ratio	Length / Breadth		L/B	3,9		15	REJECTED
	Breadth / Draft		B/T	1,8		5	REJECTED
	Length / Draft		L/T	10		30	REJECTED
Freeboard	Minimum freeboard	mm	F_s	0,949			REJECTED
Waterway Constraint	Maximum vessel draft	m	T_{max}			3,33333	REJECTED
	Maximum vessel breadth	m	B_{max}			16,667	REJECTED
Objective Function							
Building Cost	ITEM	UNIT	VALUE				
	Direct Cost	\$					
	Indirect Cost	\$					
	Margin Cost	\$					
	Total Cost	\$					

2. Melakukan proses program *solver* dengan cara memasukkan data ke dalam *solver parameters* seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV.8:
- Menentukan *cell* dari *changing variable* untuk nilai yang ingin dicari yaitu berupa ukuran utama (L, B, T, H, dan C_B) dan juga menentukan batasan minimum dan maksimumnya.
 - Menambahkan *constraint* dari komponen-komponen batasan yang sudah ditentukan dan memilih hubungan antar cell (\leq , $=$, atau \geq).
 - Menentukan *cell* dari *objective function* pada tujuan yang ingin dicapai yaitu berupa biaya pembangunan dengan opsi harga minimum.
 - Jika semua kebutuhan untuk melakukan proses program *solver* sudah lengkap dan benar, maka model *solver* sudah siap untuk diproses dengan cara klik tombol “*solve*”.



Gambar IV.8, Window Solver Parameters

3. Setelah dilakukan proses “solve” pada model optimisasi ini, maka akan keluar hasil ukuran utama kapal yang optimum. Apabila hasil yang keluar sudah sesuai dengan yang diharapkan maka dapat memilih tombol “Keep Solver Solution”, apabila tidak maka dapat memilih tombol “Restore Original Values” untuk mengembalikan ke posisi harga/nilai semula.

Dari proses optimisasi yang dilakukan pada kondisi perairan sungai dengan bantuan fitur *solver* pada *Microsoft Excel* 2013 ini, maka didapatkan hasil ukuran utama optimal dan perhitungan teknis yang dapat dilihat pada Tabel IV.15. Sedangkan rekapitulasi hasil perhitungan teknis pada dua kondisi perairan dapat dilihat pada Tabel IV.16.

Tabel IV.15, Hasil Proses Optimisasi pada Perairan Sungai

Changing Variable							
	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Main Dimension	Length	m	L	50,541	50,811	58,641	ACCEPTED
	Breadth	m	B	9,783	12,447	12,524	ACCEPTED
	Draft	m	T	3,055	3,142	4,033	ACCEPTED
	Height	m	H	3,719	4,779	4,882	ACCEPTED
	Cb			0,78	0,797	0,85	ACCEPTED

Constraint							
	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Froude Number	$F_n = V / (g \times L_{pp})^{0.5}$		F_n	0,214	0,226	0,231	ACCEPTED
Ratio	Length / Breadth		L/B	3,9	4,082	15	ACCEPTED
	Breadth / Draft		B/T	1,8	3,962	5	ACCEPTED
	Length / Draft		L/T	10	16,174	30	ACCEPTED
Freeboard	Minimum freeboard	mm	F_s	0,949	1,637		ACCEPTED
Waterway Constraint	Maximum vessel draft	m	T_{max}		3,142	3,33333	ACCEPTED
	Maximum vessel breadth	m	B_{max}		12,447	15,820	ACCEPTED

Objective Function			
	ITEM	UNIT	VALUE
Building Cost	Direct Cost	\$	1.052.865,16
	Indirect Cost	\$	77.329,08
	Margin Cost	\$	59.483,91
	Total Cost	\$	1.189.678,14

Tabel IV.16, Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teknis di 2 Kondisi Perairan

SUMMARY			
Owner Requirement	Jenis Kapal = Dredger		
	Tipe = Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)		
	Payload = 1100 ton		
	Kecepatan Dinas = 10 kn		
	Rute Pelayaran = Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)		
	Radius Pelayaran = 28,199 nm		
	Daerah Pelayaran = Perairan Domestik (Indonesia)		
Main Dimension	Criteria	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)
	Length (L) =	50,811 m	50,811 m
	Length of Waterline (L_{WL}) =	52,844 m	52,844 m
	Breadth (B) =	12,447 m	12,447 m
	Waterway Draft (T_{FW}) =	3,142 m	3,142 m
	Oceangoing Draft (T_{SW}) =	3,065 m	3,065 m
	Height (H) =	4,779 m	4,779 m
	Displacement (\bar{v}) =	1646,856 m ³	1606,689 m ³
Displacement (Δ) =	1646,856 ton	1646,856 ton	
Ratio and Coefficient	L/B =	4,082	4,082
	B/T =	3,962	4,061
	L/T =	16,174	16,578
	C_B =	0,797	0,797
	C_M =	0,993	0,993
	C_p =	0,802	0,802
	C_{WP} =	0,872	0,872
Resistance and Powering	R_T =	64,398 kN	61,567 kN
	$P_{Req.}$ =	510,879 x 2 kW	465,163 x 2 kW
	$P_{MainEngine}$ =	551 x 2 kW	551 x 2 kW
	$P_{GenReq.}$ =	127,720 x 2 kW	116,291 x 2 kW
	$P_{Generator}$ =	150 x 2 kW	150 x 2 kW
Mass and Center of Mass	DWT =	1085,038 ton	1075,614 ton
	LWT =	517,787 ton	520,561 ton
	LWT + DWT =	1602,825 ton	1596,175 ton
	LCB =	25,400 m (FP)	25,400 m (FP)
	LCG =	25,807 m (FP)	25,800 m (FP)
	Freeboard =	1637,250 m	1713,873 m
	Trim =	0,364 m	0,348 m
	(Trim Buritan)	(Trim Buritan)	
Building Cost	\$ Direct =	\$1.040.968,38	\$1.072.896,44
	\$ Indirect =	\$77.329,08	\$79.700,88
	\$ Margin =	\$59.483,91	\$61.308,37
	\$ Total =	\$1.177.781,36	\$1.213.905,69
	Rp Total =	Rp16.106.160.125	Rp16.600.160.326,32

IV.11. Analisis Terhadap Hasil Perhitungan Teknis

Setelah mendapatkan ukuran utama kapal melalui proses optimisasi yang dapat dilihat pada Tabel IV.15, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan teknis pada 2 kondisi perairan (perairan sungai dan perairan laut) dengan menggunakan *spreadsheet* yang sudah disiapkan sebelumnya, dan didapatkan hasil seperti yang tertera pada Tabel IV.16. Melihat hasil pada Tabel IV.16, dapat dianalisa bahwa terdapat perbedaan hasil nilai di beberapa kriteria antara kondisi pelayaran perairan sungai (*fresh water*) dan pelayaran perairan laut (*sea water*). Perbedaan nilai ini disebabkan karena perbedaan penggunaan massa jenis air, dimana pada pelayaran perairan sungai digunakan massa jenis air tawar sebesar $1,000 \text{ ton/m}^3$ dan pelayaran perairan laut digunakan massa jenis air laut sebesar $1,025 \text{ ton/m}^3$.

Dari penggunaan massa jenis air yang berbeda ini akan berdampak pada perbedaan *volume displacement* (\bar{v}) (satuan m^3) yang dihasilkan, karena di dalam perhitungan nilai *displacement* (Δ) (satuan ton) terdapat koefisien massa jenis air yang digunakan. Perhitungan nilai *displacement* (Δ) dapat dilihat pada formula di bawah ini:

$$\Delta = \bar{v} \times \rho$$

$$\bar{v} = L \times B \times T \times C_B$$

Dimana,

$$\Delta = \text{Displacement (ton)}$$

$$L = \text{Panjang kapal (m)}$$

$$\bar{v} = \text{Volume displacement (m}^3\text{)}$$

$$B = \text{Lebar kapal (m)}$$

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

$$T = \text{Sarat kapal (m)}$$

$$C_B = \text{koefisien blok kapal}$$

Maka,

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

Berdasarkan formula diatas, maka dapat disimpulkan jika suatu kapal yang beroperasi pada kondisi dua perairan dengan massa jenis air yang berbeda, maka kapal tersebut akan memiliki satu nilai *displacement* (ton) yang sama, namun memiliki dua nilai *volume displacement* (m^3) yang berbeda. Hal ini dikarenakan jika nilai panjang kapal (L), lebar kapal (B), dan koefisien blok kapal (C_B) bernilai konstan dan terjadi perubahan massa jenis air, maka dimensi yang berubah secara signifikan adalah nilai sarat kapal (T). Perbedaan sarat yang terjadi pada dua kondisi perairan yang dilakukan dalam penelitian ini tidak akan terlalu mempengaruhi nilai ukuran panjang dan lebar kapal, hal ini dikarenakan kapal yang didesain dalam penelitian ini adalah kapal dengan bentuk badan tongkang (*barge*) yang memiliki bentuk menyerupai kotak dengan nilai C_B dan C_M yang besar.

Dengan adanya perbedaan nilai sarat kapal pada dua kondisi perairan ini, maka mengakibatkan perbedaan beberapa nilai dari perhitungan teknis dan akan mengakibatkan pula perbedaan perhitungan biaya pembangunan yang juga dipengaruhi oleh ukuran utama kapal.

IV.11.1. Rasio dan Koefisien Bentuk Kapal (*Hullform Coefficient*)

Nilai ukuran utama didapatkan melalui proses optimisasi, selanjutnya adalah melakukan perhitungan rasio dan koefisien bentuk kapal. Berikut merupakan analisis terhadap hasil perhitungan rasio dan koefisien bentuk kapal:

Diketahui:

L_{pp}	= 50,811 m	V_s	= 10,00 knot
B	= 12,447 m		= 5,14 m/s
T_{FW}	= 3,142 m	ρ_{FW}	= 1,000 ton/m ³
T_{SW}	= 3,065 m	ρ_{SW}	= 1,025 ton/m ³
H	= 4,779 m	g	= 9,81 m/s ²

Dari data-data ukuran utama yang diketahui tersebut, maka didapatkan rasio ukuran utama yang dapat dilihat pada Tabel IV.17:

Tabel IV.17, Rekapitulasi Rasio Ukuran Utama

Rasio	Minimum	Maksimum	Fresh Water (FW)		Sea Water (SW)	
			Nilai	Status	Nilai	Status
L/B	3,9	15	4,082	ACCEPTED	4,082	ACCEPTED
B/T	1,8	5	3,962	ACCEPTED	4,061	ACCEPTED
L/T	10	30	16,174	ACCEPTED	16,578	ACCEPTED

Dari rekapitulasi hasil pada Tabel IV.17 dapat dilihat bahwa ukuran utama kapal yang dihasilkan melalui proses optimisasi pada penelitian ini, semua nilai rasio ukuran utama kapalnya memenuhi (berada dalam rentang nilai yang diizinkan).

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

Tabel IV.18, Rekapitulasi Koefisien-Koefisien Bentuk Badan Kapal

Koefisien	Nilai
<i>Froude Number (Fn)</i>	0,226
<i>Block Coefficient (CB)</i>	0,797
<i>Midship Section Coefficient (CM)</i>	0,993
<i>Longitudinal Prismatic Coefficient (CP)</i>	0,802
<i>Waterplane Coefficient (CWP)</i>	0,872

Dari nilai koefisien-koefisien yang didapatkan seperti pada Tabel IV.18, maka dapat dilakukan analisis seperti berikut:

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

Setelah diketahui besaran nilai dari masing-masing koefisien bentuk badan kapal, maka dapat ditentukan besar nilai panjang garis air, *volume displacement*, *displacement*, dan jarak terhadap titik apung kapal. Analisis terhadap perhitungan tersebut dapat dilihat di bawah ini:

- *Length of waterline* (L_{WL})

Length of waterline atau panjang garis air adalah panjang kapal yang diukur tepat pada ketinggian garis air. Panjang garis air ini umumnya digunakan untuk kebutuhan menghitung kriteria yang berhubungan dengan nilai hidrostatis dari sebuah kapal, baik itu koefisien, *displacement*, hambatan, dan lain-lain. Sedangkan panjang diantara dua garis *perpendicular*

(L_{PP}) umumnya digunakan untuk kebutuhan perhitungan konstruksi. Pada umumnya nilai L_{PP} berada pada rentang 0,96 – 0,97 dari nilai L_{WL} , maka dapat ditarik persamaan bahwa besar nilai L_{WL} berada pada rentang 1,03 – 1,04 dari nilai L_{PP} . Desain TSHD pada penelitian ini memiliki panjang garis air sebesar:

$$\begin{aligned} L_{WL} &= 104\% \times L_{PP} \\ &= 1,04 \times 50,811 \\ &= 52,844 \text{ m} \end{aligned}$$

Meskipun terdapat perbedaan sarat yang kecil pada dua kondisi perairan yang berbeda, tetapi karena desain TSHD ini memiliki C_B yang cukup besar dengan bentuk yang menyerupai kotak, maka L_{WL} pada perairan sungai dan L_{WL} pada perairan laut dianggap sama.

- *Volume displacement* (\bar{v})

Volume displacement yaitu volume dari air yang dipindahkan oleh kapal. Besar dari *volume displacement* ini dipengaruhi oleh ukuran utama dan koefisien blok dari kapal. Berikut merupakan analisis terhadap *volume displacement* yang dihitung berdasarkan formula dari (Parsons, 2001):

Kondisi 1 (Perairan sungai):

$$\begin{aligned} \bar{v} &= L \times B \times T_{FW} \times C_B \\ &= 1646,86 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kondisi 2 (Perairan laut):

$$\begin{aligned} \bar{v} &= L \times B \times T_{SW} \times C_B \\ &= 1606,69 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari hasil yang didapatkan tersebut terdapat perbedaan nilai *volume displacement*, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan pada sarat kapal yang digunakan dalam perhitungan untuk kedua kondisi perairan yang akan dilalui oleh kapal dalam penelitian ini.

- *Displacement* (Δ)

Displacement adalah berat total dari air yang dipindahkan oleh kapal. Besar dari nilai *displacement* merupakan fungsi dari *volume displacement* dan massa jenis air. Berikut merupakan analisis terhadap *displacement* yang dihitung berdasarkan formula dari (Parsons, 2001):

Kondisi 1 (Perairan sungai):

$$\begin{aligned} \Delta &= \bar{v} \times \rho_{FW} \\ &= 1646,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kondisi 2 (Perairan laut):

$$\begin{aligned} \Delta &= \bar{v} \times \rho_{sw} \\ &= 1646,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, untuk dua kondisi perairan yang memiliki massa jenis air yang berbeda didapatkan nilai *displacement* ton yang sama.

- *Longitudinal center of buoyancy (LCB)*

Longitudinal center of buoyancy (LCB) adalah jarak terhadap titik apung kapal (B) yang diukur secara memanjang kapal baik dari FP ataupun AP. Berikut merupakan analisis terhadap LCB diukur dari FP yang dihitung berdasarkan formula dari (Parsons, 2001):

$$\begin{aligned} \text{LCB} &= 8,80 - 38,9 \times F_n (\% L) \\ &= 0,011 \% L \\ &= 0,0054 \text{ m di depan midship} \\ &= 25,400 \text{ m dari FP} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, untuk dua kondisi perairan yang memiliki massa jenis air yang berbeda didapatkan nilai LCB yang sama. Hal ini dikarenakan pada dua kondisi perairan yang berbeda ini memiliki nilai F_n yang sama.

IV.11.2. Hambatan Kapal (*Ship Resistance*)

Menghitung nilai hambatan kapal merupakan salah satu aspek penting dalam menentukan mesin penggerak utama kapal. Dalam melakukan perhitungan hambatan pada dua kondisi perairan, diperlukan perhatian lebih pada perhitungan hambatan di kondisi perairan sungai, hal ini dikarenakan terdapat batasan pada kondisi kedalaman sungai. Menurut studi yang dilakukan (HydroComp Inc., 2013), kedalaman sungai yang dangkal (*shallow water*) dapat memperlambat kecepatan kapal dikarenakan adanya *sinkage* atau *squat effect* yang diakibatkan oleh efek Bernoulli. Oleh karena itu, kecepatan kapal yang di desain untuk perairan sungai membutuhkan *margin* kecepatan yang lebih agar kapal dapat melaju dengan kecepatan yang diinginkan. Pada Tabel IV.19 dapat dilihat analisis koreksi kecepatan kapal yang diakibatkan oleh pengaruh perairan yang dangkal:

Tabel IV.19, Besar Kecepatan Kapal yang Hilang (%)

F_{NH}	0.0 - 0.4	0,6	0,8	1,0
Vs loss	0%	1%	4%	14%

Sumber: (HydroComp Inc., 2013)

Dimana,

$$F_{NH} = \text{Depth Froude Number}$$

$$= 0,164 \times \frac{V_{KT}}{(H_M)^{0,5}}$$

$$V_{KT} = \text{ship speed (kn)}$$

$$= 10 \text{ knot (5,14 m/s)}$$

$$H_M = \text{water depth (m)}$$

$$= 4 \text{ m}$$

Maka didapatkan:

$$F_{NH} = 0,80$$

Dari nilai $F_{NH} = 0,80$ dilakukan interpolasi, maka didapatkan:

$$V_s \text{ loss} = 5\%$$

Dari kecepatan awal sebesar 10 knot (5,14 m/s) dan kecepatan hilang sebesar 5%, maka kecepatan aktual adalah 9,5 knot. Oleh sebab itu agar kapal mampu berlayar dengan kecepatan yang diinginkan yaitu 10 knot, pada perairan sungai ini kecepatan kapal perlu di desain sebesar 10,5 knot (5,4 m/s). Kecepatan yang didesain ini hanya digunakan pada perhitungan hambatan pada perairan sungai, karena pada perairan laut tidak perlu dilakukan perhitungan kecepatan yang hilang.

Perhitungan besar hambatan kapal yang dihitung dalam penelitian ini menggunakan dua kecepatan yang berbeda dikarenakan dihitung untuk dua kondisi perairan yang berbeda. Berikut merupakan analisis terhadap perhitungan hambatan kapal dengan menggunakan metode *Holtrop and Mennen* berdasarkan formula yang mengacu dari (Lewis, 1988) serta perhitungan hambatan tambahan untuk *dredger* dari (W.J. Vlasblom, 2007):

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

Dimana,

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

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

$$S_{Tot} = \text{Luas total permukaan kapal di bawah garis air} \quad (\text{m}^2)$$

$$C_F = \text{Koefisien gesek (Frictional coefficient)}$$

$$(1+k) = \text{Faktor bentuk lambung}$$

$$C_A = \text{Model-ship correlation allowance}$$

$$R_W = \text{Hambatan akibat pengaruh gelombang} \quad (\text{kN})$$

$$W = \text{Displacement kapal} \quad (\text{ton})$$

$$R_{pipe} = \text{The hydro-visco components} \quad (\text{N})$$

$$F_{mom} = \text{Momentum force} \quad (\text{N})$$

1. *Wave-making resistance* (R_w)

Wave-making resistance atau hambatan yang diakibatkan gelombang dapat dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Lewis, 1988):

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

Dikarenakan desain kapal TSHD ini memiliki nilai $Fn \leq 0,4$ maka perhitungan hambatan gelombang dapat menggunakan *Havelock Formula*. Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan *wave-making resistance* yang dapat dilihat pada Tabel IV.20:

Tabel IV.20, Rekapitulasi Nilai *Wave-Making Resistance* (R_w)

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
Fn	-	0,226	0,226	-
C₄	-	0,236	0,236	Untuk $0,11 \leq B/L \leq 0,25$
(T/B)^{1,0796}	-	0,226	0,220	-
iE	° (derajat)	46,165	46,165	-
C₁	-	11,624	11,319	-
C₂	-	1	1	$A_{BT} = 0 \text{ m}^2$ (luas bulbous bow)
C₃	-	1	1	$A_T = 0 \text{ m}^2$ (luas transom)
d	-	-0,9	-0,9	Untuk $Fn \leq 0,4$
C₅	-	1,163	1,163	Untuk $Fn \geq 0,8$
C₆	-	-1,69385	-1,69385	Untuk $L^3/V \leq 512$
m₁	-	-2,448	-2,438	-
m₂	-	$-7,251 \times 10^{-3}$	$-7,251 \times 10^{-3}$	-
λ	-	1,0488	1,0488	Untuk $L/B < 12$
W	kN	16.155,7	16.155,7	-
R_w/W	-	0,00102577	0,00103412	-
R_w	kN	16,57	16,71	-

2. Form factor of bare hull (1+k)

Form of factor of bare hull adalah faktor pengaruh dari bentuk lambung kapal. Di dalam faktor ini meliputi faktor dari bentuk lambung itu sendiri dan faktor penambahan bentuk lambung lainnya seperti tonjolan-tonjolan pada lambung (*rudder, bilge keels*, dan lain-lain). Berikut merupakan faktor pengaruh dari bentuk lambung kapal yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Lewis, 1988):

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

Dimana,

1+k = faktor bentuk lambung terhadap hambatan kapal

1+k₁ = *effective factor of bare hull*

1+k₂ = *effective factor of appendages surface*

S_{app} = total luasan penambahan permukaan basah (m²)

S_{Tot} = total luasan permukaan basah (m²)

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi *form factor of bare hull* yang dapat dilihat pada Tabel IV.21:

Tabel IV.21, Rekapitulasi Nilai *Form Factor of Bare Hull* (1+k)

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
L/L _R	-	5,051	5,051	-
C _{stern}	-	0	0	Untuk bentuk belakang normal
C	-	1	1	-
1+k ₁	-	1,403	1,402	-
(1+k ₂) _i	-	2,8	2,8	Spade-type rudder of twin screw ship
S _{kemudi}	m ²	5,810	5,669	1 sisi = 2,905 m ² (FW) 1 sisi = 2,834 m ² (SW)
∑S _i atau S _{app}	m ²	5,810	5,669	-
1+k ₂	-	2,8	2,8	-
S	m ²	818,510	811,477	-
S _{Tot}	m ²	824,320	817,145	-
1+k	-	1,413	1,412	-

3. Friction coefficient (C_F)

Friction coefficient adalah koefisien dari hambatan gesek antara air dan badan kapal yang dianggap sebagai pelat datar. Berikut merupakan *friction coefficient* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Lewis, 1988):

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

Dimana,

Rn = Reynolds Number

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi nilai *friction coefficient* yang dapat dilihat pada Tabel IV.22:

Tabel IV.22, Rekapitulasi Nilai *Friction Coefficient* (C_F)

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
vS	-	$1,13902 \times 10^{-6}$	$1,1883 \times 10^{-6}$	-
Rn	-	250.605.581,8	238.611.297,3	-
C_F	-	0,00183	0,00184	-

4. Correlation Allowance (C_A)

Correlation allowance adalah koefisien penambahan tahanan untuk hubungan timbal balik antara model dengan kapal, adanya penambahan ini dikarenakan terdapatnya efek kekasaran pada lambung kapal, berbeda dengan model kapal yang tidak memiliki efek kekasaran. Untuk menghitung nilai C_A dimana nilai $T/L_{WL} > 0,04$ dapat digunakan formula sesuai dengan *International Towing Tank Conference* (ITTC) yang mengacu dari (Lewis, 1988):

$$C_A = 0,006 \times (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205$$

Dimana,

L_{WL} = panjang garis air (m)

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi *correlation allowance* yang dapat dilihat pada Tabel IV.23:

Tabel IV.23, Rekapitulasi Nilai *Correlation Allowance* (C_A)

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
T/L_{WL}	-	0,05945	0,05800	-
C_A	-	0,00063	0,00063	Untuk $T/L_{WL} > 0,04$

5. *Suction Pipe Resistance* ($R_{\text{pipe}} + F_{\text{Mom}}$)

Suction pipe resistance adalah penambahan tahanan pada *dredger* tipe TSHD yang diakibatkan adanya pipa pengisap yang berada di bawah air saat *dredger* ini melakukan operasi pengerukan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perhitungan komponen hambatan tambahan pada *dredger* ini. Formula yang digunakan untuk menghitung *suction pipe resistance* mengacu dari (W.J. Vlasblom, 2007). *Suction Pipe Resistance* dibagi menjadi 2 komponen besar, yaitu:

- *The hydro-visco components*

The hydro-visco components terbagi lagi menjadi 2, yaitu:

- a. Hambatan dalam arah tegak lurus pipa

$$R_{\text{Pipe}} = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho_w \times v \cdot \sin\beta \times |v \cdot \sin\beta| \times L \times D$$

$$R_{\text{Pipe}} = \text{Drag Force} \quad (\text{N})$$

Dimana:

$$C_D = \text{Drag coefficient}$$

$$\rho_w = \text{Density water} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$v = \text{Trail speed} \quad (\text{m/s})$$

$$\beta = \text{Pipe angle} \quad (^\circ)$$

$$L = \text{Pipe length} \quad (\text{m})$$

$$D = \text{Pipe diameter} \quad (\text{m})$$

- b. Hambatan dalam arah paralel pipa

$$R_{\text{Pipe}} = C_L \times \frac{1}{2} \times \rho_w \times v \cdot \cos\beta \times |v \cdot \cos\beta| \times L \times D$$

$$R_{\text{Pipe}} = \text{Lift Force} \quad (\text{N})$$

Dimana:

$$C_L = \text{Lift coefficient}$$

$$\rho_w = \text{Density water} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$v = \text{Trail speed} \quad (\text{m/s})$$

$$\beta = \text{Pipe angle} \quad (^\circ)$$

$$L = \text{Pipe length} \quad (\text{m})$$

$$D = \text{Pipe diameter} \quad (\text{m})$$

Setelah mendapatkan nilai dari kedua hambatan tersebut, maka dicari nilai rata-rata untuk kemudian dijadikan nilai tambahan *suction pipe resistance* dari *the hydro-visco components*

- *Momentum force*

$$F_{mom} = Q \times \rho_{mix} \times V_{Trail}$$

$$F_{Mom} = \text{Momentum force} \quad (\text{N})$$

Dimana:

$$Q = \text{Pump Capacity} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\rho_{mix} = \text{Density mixture} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$V_{Trail} = \text{Trail speed} \quad (\text{m}/\text{s})$$

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan *suction pipe resistance* yang dapat dilihat pada Tabel IV.24:

Tabel IV.24, Rekapitulasi Nilai *Suction Pipe Resistance* ($R_{pipe} + F_{Mom}$)

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
L	m	30	30	Berdasarkan katalog pipa
D	m	0,5	0,5	Berdasarkan katalog pipa
β_{Drag}	° (derajat)	33	33	Sudut hambatan terbesar
R_{pipe} (<i>Drag Force</i>)	N	16.074,8	16.476,6	-
β_{Lift}	° (derajat)	0	0	Sudut hambatan terbesar
R_{pipe} (<i>Lift Force</i>)	N	14.291,2	14.648,5	-
R_{pipe} (<i>Average</i>)	N	15.182,99	15.562,56	-
F_{Mom}	N	2.058,42	2.087,89	-

6. *Total Resistance* (R_T)

Total resistance adalah total keseluruhan komponen hambatan yang telah dihitung, maka dapat diperoleh nilai hambatan total dengan perhitungan yang mengacu pada formula (Lewis, 1988) serta tambahan hambatan dari (W.J. Vlasblom, 2007):

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

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan hambatan kapal dan berikut merupakan rekapitulasi nilai *total resistance* yang dapat dilihat pada Tabel IV.25:

Tabel IV.25, Rekapitulasi Nilai *Total Resistance* (R_T)

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
ρ	kg/m ³	1000	1025	-
V_s	m/sec	5,4	5,14	-
S_{Tot}	m ²	824,32	817,15	-
C_F	-	0,00183	0,00184	-
(1+k)	-	1,413	1,412	-
C_A	-	0,00063	0,00063	-
R_w	kN	16,57	16,71	-
W	kN	16.155,7	16.155,7	-
R_{Pipe}	N	15.182,99	15.562,56	-
F_{Mom}	N	2.058,42	2.087,89	-
R_T	N	55.511,4	53.536,7	-
R_T	kN	55,998	53,537	-

7. Resistance Margin

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

$$\text{Margin} = 10 - 15\% R_T$$

$$R_T + \text{Margin} = R_T + 15\%$$

Tabel IV.26, Rekapitulasi Nilai *Total Resistance* Ditambah dengan *Sea Margin*

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
R_T	kN	55,998	53,537	-
$R_T + \text{Margin}$	kN	64,398	61,567	Margin = 15%

Dapat dilihat pada Tabel IV.26 bahwa harga hambatan total kapal pada perairan sungai memiliki harga yang lebih besar. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan massa jenis air perairan dan juga kecepatan dinas kapal yang didesain.

IV.11.3. Analisis Kebutuhan Daya Penggerak Kapal

Setelah mendapatkan nilai total hambatan kapal dengan *margin*, maka dapat dilakukan perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal. Besarnya kebutuhan daya penggerak kapal harus mampu untuk melawan besarnya hambatan sesuai dengan kecepatan yang diharapkan. Di dalam perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal, terdapat beberapa komponen seperti EHP, DHP, SHP, dan BHP.

Umumnya apabila suatu kapal yang didesain memiliki sarat yang rendah, maka akan memiliki dua baling-baling (*twin screw*). Hal ini dikarenakan bagian buritan kapal memiliki bentuk yang datar dan kaku sehingga tidak akan mampu mengalirkan aliran air sampai ke bagian tengah buritan. Oleh karena itu digunakan dua baling-baling pada buritan kapal guna dapat menjangkau aliran air untuk masuk ke dalam baling-baling. Diameter dari baling-baling yang didesain ditentukan sebesar $\frac{1}{2}$ dari sarat untuk satu baling-baling. Besarnya diameter yang didesain tersebut dikarenakan diperlukannya juga *clearance* yang cukup pada baling-baling kapal dengan bagian buritan kapal mengingat sarat perairan yang rendah. Berikut hasil dari perhitungan kebutuhan daya penggerak kapal:

1. *Effective Horse Power* (EHP)

Effective horse power adalah daya yang dibutuhkan untuk mendorong kapal yang mempunyai tahanan total pada kecepatan dinas. Berikut merupakan nilai *effective horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Lewis, 1988):

$$EHP = R_T \times V_s$$

Dimana,

$$R_T = \text{Hambatan total} \quad (\text{kN})$$

$$V_s = \text{kecepatan kapal} \quad (\text{m/s})$$

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan kebutuhan daya *effective horse power* yang dapat dilihat pada Tabel IV.27:

Tabel IV.27, Rekapitulasi Kebutuhan Daya EHP

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
R_T	kN	64,398	61,567	R _T + Margin 15%
V_s	m/s	5,40	5,14	-

EHP	kW	347,857	316,729	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	466,484	424,740	
EHP/Screw	kW	173,928	158,364	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	233,242	212,370	

2. Delivery Horse Power (DHP)

Delivery horse power adalah daya yang diberikan kepada baling-baling pada kecepatan dinas yang besarnya telah dikurangi oleh kerugian pada hambatan daya yang dialirkan dari poros ke baling-baling. Berikut merupakan nilai *delivery horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Lewis, 1988):

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D} \qquad \eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_O$$

Dimana,

EHP = *Effective Horse Power* (kW/HP)

η_D = *Propeller efficiency*

η_H = *Hull efficiency*

η_R = *Relative-rotative efficiency*

η_O = *open water efficiency*

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan *delivery horse power* yang dapat dilihat pada Tabel IV.28:

Tabel IV.28, Rekapitulasi Kebutuhan Daya DHP

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
w	-	0,195	0,195	Untuk kapal twin screw
t	-	0,196	0,196	Untuk kapal twin screw
η_H	-	0,998	0,998	-
η_R	-	0,999	0,999	Untuk P/D = 1.00
η_O	-	0,550	0,550	Untuk Ae/Ao = 0,55
η_D	-	0,549	0,549	-
EHP	kW	347,857	316,729	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	466,484	424,740	
EHP/Screw	kW	173,928	158,364	

	HP	233,242	212,370	Kebutuhan untuk satu baling-baling
DHP	kW	634,084	577,343	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	850,320	774,230	
DHP/Screw	kW	317,042	288,671	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	425,160	387,115	

3. Shaft Horse Power (SHP)

Shaft horse power adalah daya yang diberikan kepada baling-baling melalui porosnya pada kecepatan dinas yang besarnya telah dikurangi oleh kerugian pada *shafting arrangement* (*bearing* dan *stern tube*). Berikut merupakan nilai *shaft horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Parsons, 2001):

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

Dimana,

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

$\eta_S \eta_B$ = *Stern tube and line bearing efficiency*

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan *shaft horse power* yang dapat dilihat pada Tabel IV.29:

Tabel IV.29, Rekapitulasi Kebutuhan Daya SHP

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
$\eta_S \eta_B$	-	0,98	0,98	Kamar mesin di belakang
DHP	kW	634,084	577,343	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	850,320	774,230	
DHP/Screw	kW	317,042	288,671	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	425,160	387,115	
SHP	kW	647,024	589,125	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	867,674	790,030	
SHP/Screw	kW	323,512	294,563	

HP	433,837	395,015	Kebutuhan untuk satu baling-baling
----	---------	---------	---------------------------------------

4. Break Horse Power (BHP)

Break horse power adalah daya yang diberikan kepada baling-baling melalui porosnya pada kecepatan dinas yang besarnya telah dikurangi oleh kerugian pada efisiensi transmisi. Berikut merupakan nilai *break horse power* yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Parsons, 2001):

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

Dimana,

SHP = *Shaft Horse Power* (kW/HP)

η_T = *Transmission efficiency*

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan *break horse power* yang dapat dilihat pada Tabel IV.30:

Tabel IV.30, Rekapitulasi Kebutuhan Daya BHP

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
<i>li</i>	-	0,010	0,010	<i>each gear reduction</i>
<i>li</i>	-	0,005	0,005	<i>thrust bearing</i>
<i>li</i>	-	0,010	0,010	<i>reversing gear path</i>
η_T	-	0,975	0,975	-
SHP	kW	647,024	589,125	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	867,674	790,030	
SHP/Screw	kW	323,512	294,563	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	433,837	395,015	
BHP	kW	729,827	604,108	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	978,714	810,122	
BHP/Screw	kW	364,913	302,054	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	489,357	405,061	

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

Setelah mendapatkan besar daya penggerak kapal yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal sesuai dengan kecepatannya, maka tahap terakhir adalah menghitung kebutuhan BHP *maximum continuous rating*. BHP_{MCR} adalah kebutuhan daya mesin penggerak utama kapal (BHP) yang telah diberikan penambahan dari *voyage margin*, *power design margin*, dan *power service margin*. Nilai BHP_{MCR} ini yang nantinya akan menjadi acuan dalam pemilihan *main engine*. Berikut merupakan nilai BHP_{MCR} yang dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Parsons, 2001):

$$BHP_{MCR} = (BHP + M_V) \frac{1 + M_D}{1 - M_S}$$

Dimana,

BHP = Break horse power (kW/HP)

M_V = Margin pelayaran (Indonesia) $\approx 10\%$

M_D = Margin desain $\approx 3-5\%$

M_S = Margin pemakaian $\approx 15-25\%$

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan propulsi kapal dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan BHP_{MCR} yang dapat dilihat pada Tabel IV.31:

Tabel IV.31, Rekapitulasi Kebutuhan Daya BHP_{MCR}

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
M_V	%	10	10	Margin pelayaran
M_D	%	5	5	Margin desain
M_S	%	25	25	Margin pemakaian
BHP	kW	729,827	604,108	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	978,714	810,122	
BHP/Screw	kW	364,913	302,054	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	489,357	405,061	
BHP_{MCR}	kW	1021,758	930,326	Kebutuhan untuk satu kapal
	HP	1370,199	1247,587	
$BHP_{MCR}/Screw$	kW	510,879	465,163	Kebutuhan untuk satu baling-baling
	HP	685,100	623,794	

Dari hasil rekapitulasi kebutuhan daya BHP_{MCR} pada Tabel IV.31, dapat dilihat bahwa kebutuhan daya mesin induk berbanding lurus dengan nilai hambatan total. Hal itu dapat dilihat

dikarenakan *input* nilai hambatan pada kapal yang berlayar di perairan sungai memiliki nilai hambatan yang lebih besar dari kapal yang berlayar di perairan laut. Sehingga, kebutuhan daya mesin induk pada perairan sungai lebih tinggi dibandingkan dengan kebutuhan daya mesin induk pada perairan laut.

IV.11.4. Analisis Pemilihan Mesin Penggerak Kapal

Dari hasil analisis kebutuhan daya penggerak kapal pada sub-sub bab IV.9.4, maka sudah dapat diketahui besar kebutuhan daya minimum yang dibutuhkan untuk setiap mesin induk agar dapat menggerakkan kapal. Kebutuhan daya yang dipilih merupakan kebutuhan daya yang terbesar dengan tujuan agar mesin induk dapat mengakomodir kebutuhan daya di dua kondisi perairan yang ada. Oleh karena itu, kebutuhan daya mesin induk minimum yang dibutuhkan pada desain TSHD ini sebesar 1021,758 kW atau 1370,199 HP. Karena desain TSHD ini menggunakan dua unit baling-baling yang disebabkan karena adanya batasan oleh sarat perairan yang rendah, maka akan menggunakan pula dua unit mesin induk yang besar daya minimumnya masing-masing sebesar 510,879 kW atau 685,100 HP.

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

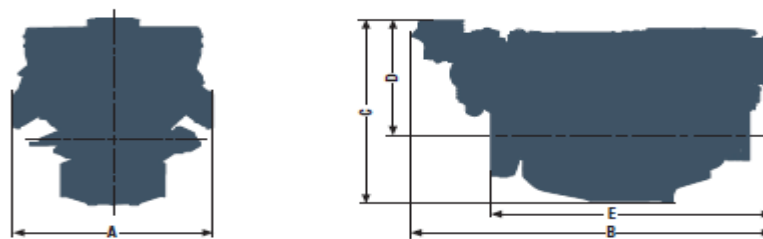
Dari seluruh pertimbangan yang ada, maka dipilih mesin induk MAN-D2862 (Heavy Duty) yang diproduksi oleh MAN Nutzfahrzeuge Group dengan spesifikasi teknis yang dapat dilihat pada Tabel IV.32:

Tabel IV.32, Spesifikasi Teknis Mesin Induk

Technical features MAN-D2862		
Type of engine		LE 431
Bore	mm	128
Stroke	mm	157
Displacement	l	24,24
Compression ratio		19 : 1

Rotation looking on flywheel		Left
Flywheel housing		SAE 1
Normal rating	kW (HP)	551 (750)
Rated speed	Rpm	1.800
Torque at rated speed	Nm	2.923
Maximum torque	Nm	3.290
At speed	Rpm	1.600
Specific fuel consumption	g/kWh	213
Fuel consumption	l/h	140
Dimension MAN-D2862		
A - Overall width engine	mm	1153
B - Overall length of engine	mm	2124
C - Overall height of engine	mm	1289
D - Top of engine to crankshaft centre	mm	825
E - Length of engine from front end to edge of flywheel housing	mm	1631
Weight	kg	2270

Sketsa dimensi dari mesin induk yang digunakan yaitu MAN-D2862 dapat dilihat pada Gambar IV.9 di bawah ini:



Gambar IV.9, Sketsa Dimensi Mesin Induk

Setelah diketahui jenis mesin induk beserta dayanya, maka selanjutnya dilakukan pemilihan mesin bantu (*auxiliary engine*). Mesin bantu ini akan digunakan sebagai *generator set* yang memiliki fungsi untuk pembangkit sumber listrik guna memenuhi pasokan listrik di atas kapal. Perhitungan kebutuhan daya mesin bantu diestimasikan sebesar 25% dari besar daya mesin induk. Dikarenakan terdapat dua unit mesin induk, maka akan digunakan juga dua unit

mesin bantu dan 1 unit mesin bantu cadangan. Berikut ini merupakan analisis terhadap kebutuhan daya mesin bantu:

$$\begin{aligned}
 P \text{ Auxiliary Requirement} &= 25\% \times 1021,758 \\
 &= 255,439 \text{ kW} \\
 &= 342,550 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan akan menggunakan 2 unit mesin bantu, maka

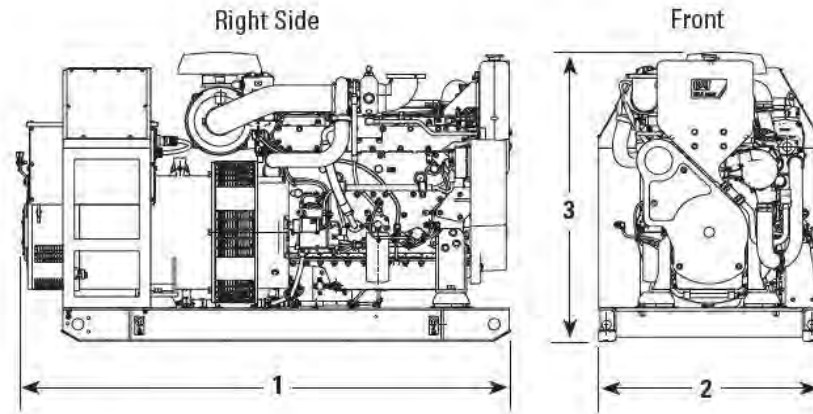
$$\begin{aligned}
 P \text{ Auxiliary Requirement} &= 127,720 \text{ kW/unit} \\
 &= 171,275 \text{ HP/unit}
 \end{aligned}$$

Dari data teknis yang dibutuhkan untuk besarnya daya mesin bantu, maka dipilih mesin bantu CAT C7.1 ACERT *Marine Generator Set* yang diproduksi oleh Caterpillar dengan spesifikasi teknis yang dapat dilihat pada Tabel IV.33:

Tabel IV.33, Spesifikasi Teknis Mesin Bantu

Technical features CAT C7.1 ACERT		
Type of engine		EMCP4.2
Frequency	Hz	60
Bore	mm	105
Stroke	mm	135
Displacement	l	7,01
Flywheel housing		SAE 3
Normal rating	kW	150
Rated speed	Rpm	1.800
Specific fuel consumption	g/kWh	219
Fuel consumption	l/h	19,5
Dimension CAT C7.1 ACERT		
1 - Length	mm	2142
2 – Width	mm	965
3 – Height	mm	1263
Weight, Net Dry	kg	1652

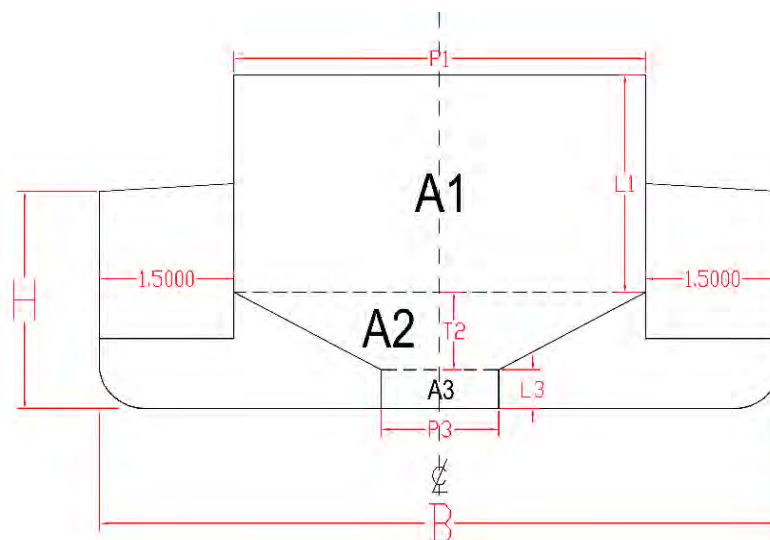
Sketsa dimensi dari mesin bantu yang digunakan yaitu CAT C7.1 ACERT dapat dilihat pada Gambar IV.10 di bawah ini:



Gambar IV.10, Sketsa Dimensi Mesin Bantu

IV.11.5. Analisis Kebutuhan Ruang Muat

Dalam merencanakan desain kapal, seorang pemilik kapal pasti menginginkan kapasitas muatan sebesar mungkin dengan biaya pembangunan semimumimum mungkin dan tetap memenuhi persyaratan teknis yang ada. Hal ini dikarenakan kapasitas muatan merupakan suatu aspek yang penting untuk diperhitungkan karena berhubungan dengan tingkat kemampuan suatu kapal dari segi ekonomis. Dalam penelitian ini, TSHD didesain dengan letak muatan berada pada ruang muat yang disebut *hopper*. Dikarenakan TSHD merupakan kapal keruk yang dapat membuang material melalui pintu di bawah kapal (*bottom dumping door*), maka diperlukan perencanaan bentuk *hopper* yang dapat memudahkan pembuangan material melalui pintu bawah kapal secara cepat. Oleh sebab itu, bentuk penampang melintang *hopper* yang direncanakan pada desain TSHD ini dapat dilihat pada Gambar IV.11 di bawah ini:



Gambar IV.11, Bentuk Penampang Melintang *Hopper* yang Direncanakan

Pada Gambar IV.11 dapat dilihat bahwa penampang melintang *hopper* yang direncanakan dibentuk agar material yang nanti berada di dalamnya dapat berkumpul di tengah dan memudahkan pembuangan material melalui pintu yang berada di bawah kapal. Dalam menentukan ukuran dari penampang melintang *hopper* ini terdapat beberapa batasan, seperti:

1. Harus terdapat ruangan kosong di samping ruang muat yang akan digunakan sebagai koridor dengan lebar minimum di tiap sisi 1,5 meter.

$$B_{\text{Corridor min}} = 1,5 \text{ meter}$$

Dikarenakan simetris kanan dan kiri = $2 \times B_{\text{Corridor min}} = 2 \times 1,5 \text{ meter} = 3 \text{ meter}$.

2. Harus dapat memenuhi kapasitas *hopper* yang sudah direncanakan pada sub bab IV.5 sebesar 1100 m^3 . Dengan asumsi total panjang ruang muat $\approx 50\%$ dari panjang L_{PP} yaitu kurang lebih sepanjang 27 m. Maka total luasan minimum penampang melintang *hopper* yang dibutuhkan adalah = $1100,00/27,00$

$$= 40,7407 \text{ m}^2$$

3. Luasan penampang melintang *hopper* yang direncanakan dapat dihitung dari 3 luasan (2 luasan persegi, dan 1 luasan trapesium)

- $A1 = P1 \times L1$
- $A2 = ((P1 + P3) \times T2) / 2$
- $A3 = P3 \times L3$

4. Ukuran penampang melintang *hopper* tidak diperbolehkan melebihi ukuran utama kapal.

Terdapat variasi ukuran penampang melintang *hopper* yang dapat dilihat pada Tabel IV.34

Tabel IV.34, Variasi Ukuran Penampang Melintang *Hopper*

Variansi Ruang Muat									
Variansi	A1		A2			A3		Total Luasan $A1 + A2 + A3$ (m^2)	Batasan STATUS
	P1 (m)	L1 (m)	P1 (m)	P3 (m)	T2 (m)	P3 (m)	L3 (m)		
Variansi 1	8	4	8	2,5	1,25	2,5	0,8	40,5625	REJECTED
Variansi 2	9,5	4,2	9,5	2	1,25	2	0,8	48,6875	REJECTED
Variansi 3	8,4	4,45	8,4	2,5	1,25	2,5	0,8	46,19	ACCEPTED

Dari 3 variasi pada Tabel IV.34 yang ditentukan berdasarkan ukuran lebar dan tinggi penampang melintang *hopper*, maka didapatkan ukuran penampang melintang pada Variasi 3.

IV.11.6. Estimasi Berat dan Titik Berat

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

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

1. *Lightweight Tonnage* (LWT)

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

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

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

i. Berat baja di bawah geladak utama

Berat baja kapal di bawah geladak utama yang meliputi berat kulit lambung dan konstruksi lambung dapat dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Schneekluth & Betram, 1998):

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

Dimana,

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

Vu = Volume kapal di bawah geladak utama (m^3)

C_{ST} = 0.090 ~ 0.100

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

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

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat komponen baja kapal dan pada Tabel IV.35 merupakan rekapitulasi perhitungan berat baja di bawah geladak utama:

Tabel IV.35, Rekapitulasi Perhitungan Berat Baja di Bawah Geladak Utama

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
C _{ST}	-	0,095	0,095	C _{ST} rata-rata
C ₁	-	0,25	0,25	Untuk kapal dengan small flare
C _{BD}	-	1,439	1,486	
V _u	m ³	2.408,78	2.408,78	
W _{HS}	ton	295,346	305,816	Berat baja di bawah geladak utama

ii. Berat bangunan atas dan rumah geladak

Berat bangunan atas (*superstructure*) dan rumah geladak (*deck house*) dapat dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Schneekluth & Betram, 1998):

$$W = C \times V$$

Dimana,

C = koefisien berat tiap ton/m³ pada masing-masing ruangan

V = volume ruangan dalam satuan m³

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat komponen baja kapal dan pada Tabel IV.36 merupakan rekapitulasi perhitungan berat bangunan atas dan rumah geladak:

Tabel IV.36, Rekapitulasi Perhitungan Berat Bangunan Atas dan Rumah Geladak

Kondisi perairan	Layer	Dimensi (m)			Volume (m ³)	Koefisien (ton/m ³)	Berat (ton)
		Panjang	Lebar	Tinggi			
<i>Fresh Water</i> (FW)	<i>Forecastle</i>	8,73	12,45	2,5	135,826	0,1185	16,095
	<i>Poop</i>	14	12,45	2,5	218,364	0,075	16,377
	<i>Bridge Room</i>	12,6	8,6	2,5	135,450	0,07	9,482
	<i>Navigation Room</i>	7,2	6	2,5	54	0,08	4,320
W_{S&D} - Total Berat (ton)							46,274

<i>Sea Water</i> (SW)	<i>Forecastle</i>	8,73	12,45	2,5	135,826	0,1185	16,095
	<i>Poop</i>	14	12,45	2,5	218,364	0,075	16,377
	<i>Bridge Room</i>	12,6	8,6	2,5	135,450	0,07	9,482
	<i>Navigation Room</i>	7,2	6	2,5	54	0,08	4,320
WS&D - Total Berat (ton)							46,274

iii. Berat koreksi baja kapal

Berat koreksi baja kapal merupakan penambahan berat baja kapal selain dari baja pada lambung kapal dan konstruksinya. Perhitungan berat koreksi baja kapal ini dapat dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Schneekluth & Betram, 1998):

❖ Koreksi *bulkhead construction*

$$W_{BC} = 2,5\% \times W_{HS}$$

Dimana,

$$W_{HS} = \text{berat baja di bawah geladak utama} \quad (\text{ton})$$

❖ Koreksi *engine foundation*

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

Dimana,

$$P_B = \text{total jumlah daya mesin induk kapal yang digunakan} \quad (\text{kW})$$

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

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat komponen baja kapal dan pada Tabel IV.37 merupakan rekapitulasi perhitungan berat koreksi baja kapal:

Tabel IV.37, Rekapitulasi Perhitungan Koreksi Berat Baja Kapal

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
W_{HS}	ton	295,346	305,816	Berat baja di bawah geladak utama
P_B	kW	1102	1102	Daya mesin yang dipakai
n	rpm	1800	1800	Putaran mesin
W_{BC}	ton	7,384	7,645	-
W_{EF}	ton	0,901	0,901	-
W_{CS}	ton	8,285	8,547	Total koreksi berat baja kapal

Setelah melakukan perhitungan dari ketiga komponen pada berat baja kapal dan didapatkan berat dari masing-masing komponen, maka dapat dihitung total berat baja kapal dengan menggunakan rumus di bawah ini:

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

Maka, total keseluruhan berat komponen baja kapal dapat dilihat pada Tabel IV.38 di bawah ini:

Tabel IV.38, Rekapitulasi Total Berat Komponen Baja Kapal

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
W_{HS}	ton	295,346	305,816	Berat baja di bawah geladak utama
$W_{S\&D}$	ton	46,274	46,274	Berat bangunan atas dan rumah geladak
W_{CS}	ton	8,285	8,547	Koreksi berat baja kapal
W_S	ton	349,905	360,637	Berat total komponen baja kapal

b. Berat komponen sistem kapal

Berdasarkan acuan dari (Schneekluth & Betram, 1998), berat komponen sistem kapal dapat dibagi menjadi 4 komponen, yaitu:

i. Berat sistem propulsi

Dalam perhitungan berat sistem propulsi, data-data yang sudah diketahui adalah:

$$D = 1,571 \text{ m}$$

$$A_E/A_O = 0,55$$

$$Z = 4 \text{ blade}$$

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat komponen sistem kapal dan pada Tabel IV.39 merupakan rekapitulasi perhitungan berat sistem propulsi:

Tabel IV.39, Rekapitulasi Perhitungan Berat Sistem Propulsi

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
W_E	ton	4,540	4,540	Sesuai katalog mesin MAN-D2862
W_{Gear}	ton	2,787	2,537	Koefisien diambil 0,3 ;

n = 110 rpm				
W_{Shaft}	ton	1,969	1,849	Ls = 6 m ; M/Ls = 0,162
W_{Prop}	ton	0,806	0,743	K = 0,143 ; ds = 0,163
W_{PU}	ton	10,101	9,670	Berat sistem propulsi

ii. Berat sistem kelistrikan

Berat sistem kelistrikan merupakan berat yang berada di atas kapal dan yang menyangkut dengan sistem kelistrikan. Yang termasuk ke dalam komponen sistem kelistrikan antara lain adalah *generator* dan *drive engine*. Perhitungan berat sistem kelistrikan dapat dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Schneekluth & Betram, 1998):

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

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat komponen sistem kapal dan pada Tabel IV.40 merupakan rekapitulasi perhitungan berat sistem kelistrikan:

Tabel IV.40, Rekapitulasi Perhitungan Berat Sistem Kelistrikan

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
BHP_{MCR}	kW	1021,758	930,326	Kebutuhan untuk satu kapal
W_{Agg}	ton	29,942	26,072	Berat sistem kelistrikan

iii. Berat sistem permesinan yang lainnya

Yang termasuk ke dalam komponen berat sistem permesinan yang lainnya antara lain adalah pompa, pipa, kabel, peredam suara, suku cadang kapal, tangga, *platform*, tangki harian bahan bakar, pendingin ruangan, kompresor, peralatan kontrol, ruang kontrol, isolasi suara dan panas di kamar mesin, air dan bahan bakar pada pipa, mesin dan boiler, serta yang lainnya.

Perhitungan berat sistem permesinan yang lainnya dapat dihitung menggunakan formula yang mengacu dari (Schneekluth & Betram, 1998):

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

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat komponen sistem kapal dan pada Tabel IV.41 merupakan rekapitulasi perhitungan berat sistem permesinan yang lainnya:

Tabel IV.41, Rekapitulasi Perhitungan Berat Sistem Permesinan yang Lainnya

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
BHP_{MCR}	kW	1021,758	930,326	Koefisien yang diambil 0,04
W_{Oth}	ton	40,870	37,213	Berat sistem permesinan yang lainnya

iv. Berat spesial dalam kasus kapal tertentu

Dikarenakan perhitungan berat ini merupakan untuk dalam kasus kapal tertentu, maka pada penelitian ini tidak diperhitungkan.

Setelah melakukan perhitungan dari ketiga komponen pada berat komponen sistem kapal dan didapatkan berat dari masing-masing komponen, maka dapat dihitung total berat komponen sistem kapal dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned} W_{EP} &= \text{Total keseluruhan berat komponen sistem kapal} \\ &= W_{PU} + W_{Agg} + W_{Oth} \end{aligned}$$

Maka, total keseluruhan berat komponen sistem kapal dapat dilihat pada Tabel IV.42 di bawah ini:

Tabel IV.42, Rekapitulasi Total Berat Komponen Sistem Kapal

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
W_{PU}	ton	10,101	9,670	Berat sistem propulsi
W_{Agg}	ton	29,942	26,072	Berat sistem kelistrikan
W_{Oth}	ton	40,870	37,213	Berat sistem permesinan yang lainnya
W_{EP}	ton	80,913	72,955	Berat total komponen sistem kapal

c. Berat peralatan dan perlengkapan kapal

Berdasarkan acuan dari (Schneekluth & Betram, 1998), berat peralatan dan perlengkapan kapal dapat dibagi menjadi 4 kelompok (*group*), yaitu:

i. *Group I (hatch cover)*

Group I merupakan berat dari penutup palkah ruang muat (*hatch cover*). Dikarenakan pada desain TSHD ini tidak menggunakan penutup palkah, maka komponen ini tidak diperhitungkan.

ii. *Group II (cargo handling)*

Group II merupakan berat dari peralatan bongkar muat (*cargo handling/access equipment*). Dikarenakan pada desain TSHD ini tidak menggunakan peralatan bongkar muat, maka komponen ini tidak diperhitungkan.

iii. *Group III (living quarter)*

Group III merupakan berat dari peralatan di ruang akomodasi (*living quarter*). Dikarenakan desain TSHD masuk dalam tipe kapal kargo berukuran kecil dan sedang, maka koefisien berat E&O ($C_{E\&O}$) untuk *Group III* yang digunakan berdasarkan fungsi volume adalah 60 kg/m^3 (rentang koefisien $60 - 70 \text{ kg/m}^3$).

iv. *Group IV (miscellaneous)*

Group IV merupakan berat dari perlengkapan dan peralatan lainnya, seperti sistem *mooring and anchoring*, sistem alat keselamatan, tangga, pintu kedap pada area luar akomodasi, *manhole covers*, peralatan pemadam kebakaran, dan lain-lain. Dikarenakan desain TSHD masuk dalam tipe kapal kargo yang cukup banyak perlengkapannya di atas deck, maka koefisien berat E&O ($C_{E\&O}$) untuk *Group IV* yang digunakan berdasarkan fungsi volume adalah $0,26 \text{ ton/m}^3$ (rentang koefisien $0,18 - 0,26 \text{ ton/m}^3$).

Maka, total keseluruhan berat peralatan dan perlengkapan kapal dapat dilihat pada Tabel IV.43 di bawah ini:

Tabel IV.43, Rekapitulasi Total Berat Peralatan dan Perlengkapan Kapal

Kondisi perairan	Group	Komponen Berat	Volume (m^3)	Koefisien (ton/m^3)	Berat (ton)
Fresh Water (FW)	I	n/a	n/a	n/a	n/a
	II	n/a	n/a	n/a	n/a
	III	Forecastle	135,826	0,060	8,150
		Poop	218,364	0,060	13,102
		Bridge Room	135,450	0,060	8,127
		Navigation Room	54	0,060	3,240
IV	-	209,038	0,26	54,350	
WE&O - Total Berat (ton)					86,968
Sea Water (SW)	I	n/a	n/a	n/a	n/a
	II	n/a	n/a	n/a	n/a
	III	Forecastle	135,826	0,060	8,150

	Poop	218,364	0,060	13,102
	Bridge Room	135,450	0,060	8,127
	Navigation Room	54	0,060	3,240
IV	-	209,038	0,26	54,350
W_{E&O} - Total Berat (ton)				86,968

d. Total *lightweight tonnage* (LWT)

Setelah semua nilai berat dari komponen *lightweight tonnage* yang meliputi berat komponen baja, berat komponen sistem dan berat peralatan dan perlengkapan, maka dapat diketahui berat total LWT dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{LWT} &= \text{Total keseluruhan berat kosong kapal} \\ &= W_S + W_{EP} + W_{E\&O} \end{aligned}$$

Maka, total berat dari komponen LWT dapat dilihat pada Tabel IV.44 di bawah ini:

Tabel IV.44, Rekapitulasi Perhitungan Berat dari Komponen LWT

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
W _S	ton	349,905	360,637	Berat komponen baja kapal
W _{EP}	ton	80,913	72,955	Berat komponen sistem kapal
W _{E&O}	ton	86,968	86,968	Berat peralatan dan perlengkapan
LWT	ton	517,787	520,561	Berat total kapal kosong

Dari Tabel IV.44 dapat dilihat bahwa berat kapal kosong (LWT) pada perairan laut memiliki nilai yang lebih besar, hal ini dikarenakan terdapat pada perbedaan nilai sarat kapal dan juga perbedaan massa jenis air. Dikarenakan massa jenis air laut lebih besar, maka perhitungan-perhitungan tertentu yang terdapat koefisien massa jenis air laut dapat menghasilkan perhitungan berat yang lebih besar.

2. *Deadweight Tonnage* (DWT)

Deadweight tonnage (DWT) merupakan berat *displacement* ton dikurangi dengan berat kapal kosong (LWT). DWT meliputi berat muatan bersih (*payload*), bahan bakar, berat minyak pelumas, berat air tawar, berat persediaan (*provision*), berat orang (*crew* dan penumpang), dan berat barang bawaannya. Umumnya perhitungan DWT ini dilakukan untuk satu kali perjalanan

round trip. Perhitungan DWT dapat dilakukan dengan mengacu pada formula dari (Schneekluth & Betram, 1998):

a. Berat muatan bersih (*payload*)

Besar *payload* yang ditentukan dalam desain TSHD ini berdasarkan kapasitas hopper yaitu sebesar 1100 m³ seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.6. Perhitungan berat muatan dapat dilakukan seperti ini:

$$\text{Payload} = \text{Kapasitas hopper (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis rata-rata (ton/m}^3\text{)}$$

$$\text{Dimana, kapasitas hopper} = 1100 \text{ m}^3$$

KONDISI 1

$$\text{Massa jenis lumpur} = 0,746 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Massa jenis air laut} = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa jenis rata-rata} &= (0,746 + 1,025)/2 \\ &= 0,886 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Payload} &= 1100 \times 0,886 \\ &= 974,05 \text{ ton} \end{aligned}$$

KONDISI 2

$$\text{Massa jenis lumpur} = 0,746 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Massa jenis air tawar} = 1,000 \text{ ton/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa jenis rata-rata} &= (0,746 + 1,000)/2 \\ &= 0,873 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Payload} &= 1100 \times 0,873 \\ &= 960,30 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari hasil *payload* yang telah dihitung pada 2 kondisi tersebut, maka diambil nilai *payload* yang terbesar yaitu 974,05 ton (Kondisi 1).

b. Berat *crew* dan bawanya.

Sebelum menentukan berat dari *crew* dan bawanya, maka harus ditentukan terlebih dahulu jumlah minimum *crew* yang akan mengoperasikan TSHD ini. Untuk melakukan perhitungan jumlah minimum *crew*, dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan acuan formula dari (Suhardjito) yaitu:

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

Dimana.

$$C_{St} = 1,2 \quad ; \text{ Koefisien } \textit{steward deck} (1,2 - 1,33)$$

$$C_{Dk} = 11,5 \quad ; \text{ Koefisien } \textit{deck department} (11,5 - 14,5)$$

$$C_{Eng} = 8,5 \quad ; \text{ Koefisien } \textit{engine department} (8,5 - 11,0)$$

$$CN = (L \times B \times H) / 1000$$

$$= (50,81 \times 12,45 \times 4,78) / 1000$$

$$= 3,022$$

$$BHP = 1349,23 \text{ HP}$$

$$\begin{aligned} \text{Cadets} &= \text{Perwira tambahan} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Z_c &= 6,429 \\ &\approx 6 \text{ orang (minimum)} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan jumlah kebutuhan minimum *crew* yang dibutuhkan adalah 6 orang. Tetapi berdasarkan pertimbangan pembagian kerja, maka ditentukan untuk kebutuhan *crew* pada TSHD ini adalah sebanyak 8 orang dengan susunan *crew* seperti *captain, chief engineer, officer, engineer, chief cook, quarter master*, dan 2 operator alat keruk.

Setelah mendapatkan jumlah *crew* yang akan mengoperasikan kapal, maka dapat dilakukan perhitungan berat *crew* dan bawanya dengan menggunakan formula dari (Parsons, 2001):

$$W_{C\&E} = C_{C\&E} \times \text{Person}$$

Dimana,

$$C_{C\&E} = 0,17 \text{ ton/person}$$

Maka,

$$\begin{aligned} W_{C\&E} &= 0,17 \times 8 \\ &= 1,36 \text{ ton.} \end{aligned}$$

c. Berat air tawar (*fresh water*)

Sebelum menentukan berat air tawar yang dibutuhkan, maka harus ditentukan terlebih dahulu durasi perjalanan dari TSHD ini atau durasi waktu untuk melakukan *bunkering* (pengisian bahan bakar, persediaan, air tawar, dan lain-lain).

Dalam melakukan pekerjaan pengerukan, kapal keruk akan bergerak bolak-balik secara terus menerus dalam 24 jam selama 7 hari. Jarak terjauh yang ditempuh oleh kapal keruk selama melakukan pekerjaan pengerukan adalah 52,224 km untuk satu kali jalan.

$$\text{Durasi perjalanan} = (\text{Range} / V_s) / 3600$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \text{Range} &= 52,224 \text{ km (jarak terjauh)} \\ &= 52224 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 10 \text{ knot} \\ &= 5,14 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi perjalanan} &= (52224 / 5,14) / 3600 \\ &= 2,820 \text{ jam}\end{aligned}$$

Dengan menempuh jarak terjauh pada proses pengerukan akan memakan waktu 2,8 jam untuk satu kali perjalanan. Sehingga untuk melakukan dua kali perjalanan dalam melakukan satu kali kerja pengerukan akan memakan waktu selama 5,6 jam.

Diasumsikan selama pengoperasian kapal keruk, baik untuk pekerjaan pengerukan awal (*capital dredging*) maupun pengerukan pemeliharaan (*maintenance dredging*), kapal keruk ini akan melakukan *bunkering* tiap jangka waktu 3 hari.

Dengan waktu tempuh selama 5,6 jam untuk dua kali perjalanan dalam satu kali kerja pengerukan, maka dalam satu hari (24 jam) dapat melakukan perjalanan sebanyak:

$$\begin{aligned}&= 24 / 2,820 \\ &= 8,511 \text{ perjalanan} \\ &\approx 8,0 \text{ perjalanan}\end{aligned}$$

Maka, dalam jangka waktu bunkering selama 3 hari dapat melakukan perjalanan sebanyak:

$$\begin{aligned}&= 3 \times 8 \\ &= 24 \text{ perjalanan.}\end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan durasi perjalanan atau durasi waktu untuk melakukan bunkering, maka dapat dihitung berat kebutuhan air tawar dengan menggunakan formula dari (Parsons, 2001):

$$W_{FW} = C_{FW} \times \text{Person}$$

Dimana,

$$C_{FW} = 0,17 \text{ ton/person/day}$$

$$\text{Jangka waktu bunkering} = 3 \text{ hari}$$

Maka,

$$\begin{aligned}W_{FW} &= 0,17 \times 8 \times 3 \\ &= 4,08 \text{ ton.}\end{aligned}$$

d. Berat persediaan (*provisions and stores*)

Berat persediaan dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan formula dari (Parsons, 2001):

$$W_{PR} = C_{PR} \times \text{Person}$$

Dimana,

$$C_{PR} = 0,01 \text{ ton/person/day}$$

$$\text{Jangka waktu bunkering} = 3 \text{ hari}$$

Maka,

$$W_{PR} = 0,01 \times 8 \times 4$$

$$= 0,24 \text{ ton.}$$

e. Berat bahan bakar (*heavy fuel oil*)

Berat bahan bakar (*heavy fuel oil*) dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan formula dari (Parsons, 2001):

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

Dimana,

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

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

$$= 0,00021 \text{ t/kW.hr} \quad (\text{katalog mesin MAN-D2862})$$

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

$$= 1021,758 \quad (\text{BHP}_{MCR} \text{ terbesar pada perairan sungai})$$

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

$$= 52,224 \text{ km} \times 24 \text{ perjalanan}$$

$$= 1253,38 \text{ km}$$

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

$$= 5,14$$

$$Margin = 65 \%$$

$$= 10 \% \text{ service margin} + 50\% \text{ margin fuel oil untuk dredger pump}$$

Maka:

$$W_{Fuel} = (0,00021 \times 1021,758 \times (1253,38 / 5,14)) + 65 \%$$

$$= 87,489 \text{ ton}$$

f. Berat bahan bakar (*marine diesel oil*)

Berat bahan bakar (*marine diesel oil*) dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan formula dari (Parsons, 2001):

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

Dimana,

$$C_{DO} = 0,2 \text{ ton/person/day}$$

Maka,

$$\begin{aligned} W_{DO} &= 0,2 \times 87,489 \\ &= 17,498 \text{ ton} \end{aligned}$$

g. Berat minyak pelumas (*lubrication oil*)

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

Dimana,

$$W_{LO} = \text{Berat minyak pelumas} \quad (\text{ton})$$

$$\begin{aligned} \rho_{LO} &= \text{Massa jenis minyak pelumas} \quad (\text{ton/m}^3) \\ &= 0,92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \text{Jarak pelayaran} \quad (\text{km}) \\ &= 52,224 \text{ km} \times 24 \text{ perjalanan} \\ &= 1253,38 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_S &= \text{Kecepatan dinas kapal} \quad (\text{m/s}) \\ &= 5,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BHP &= BHP_{MCR} \quad (\text{kW}) \\ &= 1021,758 \quad (\text{BHP}_{MCR} \text{ terbesar pada perairan sungai}) \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} W_{LO} &= 1021,758 \times 0,92 \times (1253,38 / 5,14) \times 10^{-6} \times 1,4 \\ &= 0,3206 \text{ ton} \end{aligned}$$

h. Total *deadweight tonnage* (DWT)

Setelah semua nilai berat dari komponen *deadweight tonnage* diketahui, maka dapat diketahui berat total DWT dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{DWT} &= \text{Total keseluruhan berat muatan dan bawaan pada kapal} \\ &= \text{Payload} + W_{C\&E} + W_{FW} + W_{PR} + W_{Fuel} + W_{DO} + W_{LO} \end{aligned}$$

Perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan berat *deadweight tonnage* dan berikut merupakan rekapitulasi perhitungan berat dari komponen DWT:

Maka, total berat dari komponen DWT dapat dilihat pada Tabel IV.45 di bawah ini:

Tabel IV.45, Rekapitulasi Perhitungan Berat dari Komponen DWT

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
Payload	ton	974,05	974, 05	Berat muatan bersih
W_{C&E}	ton	1,360	1,360	Berat crew dan bawasanya
W_{FW}	ton	4,080	4,080	Berat air tawar
W_{PR}	ton	0,240	0,240	Berat persediaan
W_{Fuel}	ton	87,489	79,660	Berat bahan bakar (HFO)
W_{DO}	ton	17,498	15,932	Berat bahan bakar (MDO)
W_{LO}	ton	0,321	0,292	Berat minyak pelumas
DWT	ton	1085,038	1075,614	Berat total DWT

Dari Tabel IV.45 dapat dilihat bahwa berat dari komponen DWT pada perairan sungai memiliki nilai yang lebih besar, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada perhitungan berat bahan bakar (HFO dan MDO) dan berat minyak pelumas. Perbedaan perhitungan ini disebabkan karena pada perairan sungai, terdapat koefisien BHP_{MCR} yang lebih besar.

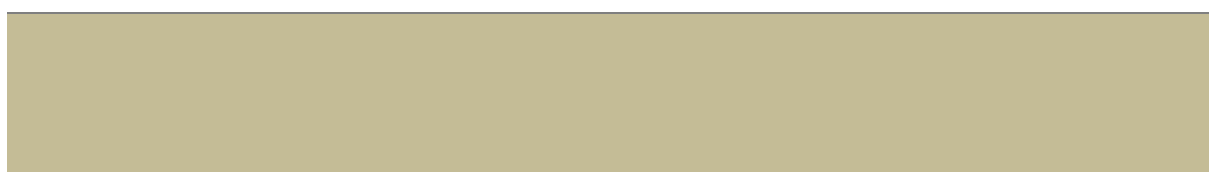
3. Titik Berat

Perhitungan jarak titik berat kapal dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu jarak titik berat secara memanjang (*longitudinal center of gravity/LCG*), jarak titik berat secara vertikal (*vertical center of gravity/VCG/KG*) dan jarak titik berat secara melintang (*transversal center of gravity/TCG*). Pada penelitian ini, komponen titik berat yang menjadi acuan utama adalah LCG dan VCG/KG. titik berat diestimasikan pada bagian tengah masing-masing komponen. Berikut merupakan hasil analisis terhadap perhitungan titik berat yang dapat dilihat pada Tabel IV.46:

Tabel IV.46, Rekapitulasi Berat dan Titik Berat untuk LWT dan DWT

Kondisi Perairan	Komponen Berat	Berat (ton)	Titik Berat (m)	
			KG	LCG dari FP
Fresh Water (FW)	Lightweight Tonnage (LWT)			
	Komponen Baja Kapal			
	1. Baja di bawah geladak utama	295,346	2,144	25,476
	2. Bangunan atas dan rumah geladak	46,274	7,008	30,563
	3. Koreksi berat baja kapal	8,285	2,729	26,780
	Total Komponen Baja	349,905	2,801	26,180
	Komponen Sistem Kapal			
	1. Sistem propulsi	10,101		
	2. Sistem kelistrikan	29,942	2,453	43,311
	3. Sistem permesinan yang lainnya	40,870		
	Total Komponen Sistem	80,913	2,453	43,311
	Berat Peralatan dan Perlengkapan Kapal			
	1. <i>Group III</i>	32,618	7,148	34,694
	2. <i>Group IV</i>	54,350	4,779	25,406
	Total Peralatan dan Perlengkapan	86,968	5,668	28,889
	Total Lightweight Tonnage (LWT)	517,787	3,228	29,312
	Deadweight Tonnage (DWT)			
	Payload			
	1. <i>Payload</i>	974,050	3,250	25,311
	Crew and Provisions			
	1. <i>Crew</i> dan bawanya	1,360	8,529	45,111
	2. Air tawar	4,080	6,029	49,011
	3. <i>Persediaan (Provisions and store)</i>	0,240	6,029	45,827

Total Crew and Provisions	5,680	6,627	47,943
Minyak dan Bahan Bakar			
1. Heavy Fuel Oil (HFO)	87,489	3,289	6,186
2. Marine Diesel Oil (MDO)	17,498	0,600	40,311
3. Minyak pelumas (LO)	0,321	0,600	44,811
Total Minyak dan Bahan Bakar	105,308	2,834	11,974
Total Deadweight Tonnage (DWT)	1085,038	3,227	24,135



Lightweight Tonnage (LWT)

Sea Water (SW)	Komponen Baja Kapal			
	1. Baja di bawah geladak utama	305,816	2,144	25,476
	2. Bangunan atas dan rumah geladak	46,274	7,008	30,563
	3. Koreksi berat baja kapal	8,547	2,737	26,735
	Total Komponen Baja	360,637	2,782	26,159
	Komponen Sistem Kapal			
	1. Sistem propulsi	9,670		
	2. Sistem kelistrikan	26,072	2,453	43,311
	3. Sistem permesinan yang lainnya	37,213		
	Total Komponen Sistem	72,955	2,453	43,311
	Berat Peralatan dan Perlengkapan Kapal			
	1. Group III	32,618	7,148	34,694
	2. Group IV	54,350	4,779	25,406
	Total Peralatan dan Perlengkapan	86,968	5,668	28,889
Total Lightweight Tonnage (LWT)	520,561	3,218	29,019	

Deadweight Tonnage (DWT)			
Payload			
1. <i>Payload</i>	974,050	3,250	25,311
Crew and Provisions			
1. <i>Crew dan bawaannya</i>	1,360	8,529	45,111
2. <i>Air tawar</i>	4,080	6,029	49,011
3. <i>Persediaan (Provisions and store)</i>	0,240	6,029	45,827
Total Crew and Provisions	5,680	6,62	47,943
Minyak dan Bahan Bakar			
1. <i>Heavy Fuel Oil (HFO)</i>	79,660	3,289	6,186
2. <i>Marine Diesel Oil (MDO)</i>	15,932	0,600	40,311
3. <i>Minyak pelumas (LO)</i>	0,292	0,600	44,811
Total Minyak dan Bahan Bakar	95,884	2,834	11,974
Total Deadweight Tonnage (DWT)	1075,614	3,231	24,242

Dari hasil perhitungan berat dan titik berat yang terdapat pada Tabel IV-46, maka dapat ditentukan berat dan titik berat gabungan (LWT+DWT) melalui perhitungan di bawah ini:

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

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

Maka rekapitulasi berat dan titik berat gabungan (LWT+DWT) dapat dilihat pada Tabel IV.47 di bawah ini:

Tabel IV.47, Rekapitulasi Berat dan Titik Berat Gabungan (LWT+DWT)

Kondisi Perairan	Komponen	Berat (ton)	Titik Berat (m)	
			KG	LCG dari FP
Fresh	LWT	517,787	3,228	29,312
Water	DWT	1085,038	3,227	24,135
(FW)	LWT+DWT	1602,825	3,228	25,807

Sea	LWT	520,561	3,218	29,019
Water	DWT	1075,614	3,231	24,242
(SW)	LWT+DWT	1596,175	3,227	25,800

4. Batasan Titik Berat

Setelah mendapatkan nilai berat dan titik berat, maka perlu dilakukan pengecekan terhadap batasan titik berat. Untuk mengetahui nilai berat dan titik berat memenuhi koreksi atau tidak, maka dapat dilakukan dua perhitungan koreksi, yaitu:

a. Koreksi *Displacement*

Koreksi *displacement* merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara gaya apung dan gaya berat. Batasan maksimum dari selisih antara gaya apung dan gaya berat yang diizinkan adalah sebesar $\pm 5\%$ dari nilai gaya apung. Untuk melakukan pengecekannya dapat menggunakan formula di bawah ini:

$$= \frac{\Delta - (LWT + DWT)}{\Delta} \times 100 (\%) \leq 5\%$$

Tabel IV.48, Rekapitulasi Koreksi *Displacement*

Kondisi Perairan	Komponen	Berat (ton)	Selisih (ton)	Koreksi	Batasan	Status
Fresh Water (FW)	Displacement	1646,856	44,032	2,674%	5%	ACCEPTED
	LWT+DWT	1602,825				
Sea Water (SW)	Displacement	1646,856	50,681	3,077%	5%	ACCEPTED
	LWT+DWT	1596,175				

Dapat dilihat pada Tabel IV.48 bahwa hasil koreksi *displacement* untuk kedua kondisi perairan kurang dari batasan maksimum sebesar 5%, maka status koreksi *displacement* adalah memenuhi dan kapal dinyatakan dapat mengampung sesuai dengan jumlah muatan yang telah ditentukan.

b. Koreksi Titik Berat

Koreksi titik berat merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara jarak titik apung secara memanjang dan jarak titik berat secara memanjang. Batasan maksimum dari selisih antara jarak titik apung secara memanjang dan jarak titik berat secara memanjang adalah sebesar $\pm 1\%$ dari nilai panjang garis air. Untuk melakukan pengecekannya dapat menggunakan formula di bawah ini:

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

Tabel IV.49, Rekapitulasi Koreksi Titik Berat

Kondisi Perairan	Komponen	LCG dari FP (m)	Selisih (m)	Koreksi	Batasan	Status
Fresh Water (FW)	LCB	25,400	-0,407	0,771%	1%	ACCEPTED
	LCG _{LWT+DWT}	25,807				
Sea Water (SW)	LCB	25,400	-0,399	0,756%	1%	ACCEPTED
	LCG _{LWT+DWT}	25,800				

Dapat dilihat pada Tabel IV.49 bahwa hasil koreksi titik berat untuk kedua kondisi perairan kurang dari batasan maksimum sebesar 1%, maka status koreksi berat adalah memenuhi.

IV.11.7. Kalkulasi Lambung Timbul (*Freeboard*)

Lambung timbul atau *freeboard* merupakan daya apung cadangan kapal dan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan, baik keselamatan *crew*, muatan, dan kapal itu sendiri. Besarnya nilai *freeboard* diukur dari jarak secara vertikal pada bagian *midship* kapal dari tepi garis geladak hingga garis air di area *midship*. Dalam peraturan (International Convention on Load Lines, 1966), perhitungan nilai *freeboard* dibedakan menjadi dua tipe sesuai dengan jenis dan kriteria kapal, 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. Dikarenakan TSHD yang didesain pada penelitian ini tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A, maka TSHD ini termasuk ke dalam kapal tipe B.

Perhitungan lambung timbul secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan lambung timbul dan pada Tabel IV.50 merupakan rekapitulasi perhitungan lambung timbul yang mengacu pada formula yang diatur oleh (International Convention on Load Lines, 1966):

Tabel IV.50, Rekapitulasi Lambung Timbul (*Freeboard*) Minimum

Kondisi Perairan	Komponen koreksi	<i>freeboard</i> (mm)	Keterangan
Fresh Water (FW)	Standard <i>freeboard</i> minimum pada Tabel B	Fb ₁ 452,737	Lihat pada Tabel B, hasil interpolasi dengan L = 50,881 m
	Penambahan karena fungsi C _B kapal	Fb ₂ 491,685	C _B > 0,68 C _B = 0,797
	Penambahan karena fungsi tinggi kapal	Fb ₃ 147,286	H = 4,779 m L/15 = 3,387 m R = 105,86
	Pengurangan karena fungsi bangunan atas	Fb ₄ 142,986	Lihat pada Tabel B, ships with forecastle and detached bridge Hasil interpolasi dengan E = 0,448 %
	Total minimum tinggi <i>freeboard</i>	Fb_{Min} 948,723	Fb₁ + Fb₂ + Fb₃ - Fb₄
Sea Water (SW)	Standard <i>freeboard</i> minimum pada Tabel B	Fb ₁ 452,737	Lihat pada Tabel B, hasil interpolasi dengan L = 50,881 m
	Penambahan karena fungsi C _B kapal	Fb ₂ 491,685	C _B > 0,68 C _B = 0,797
	Penambahan karena fungsi tinggi kapal	Fb ₃ 147,286	H = 4,779 m L/15 = 3,387 m R = 105,86
	Pengurangan karena fungsi bangunan atas	Fb ₄ 142,986	Lihat pada Tabel B, ships with forecastle and detached bridge Hasil interpolasi dengan E = 0,448 %
	Total minimum tinggi <i>freeboard</i>	Fb_{Min} 948,723	Fb₁ + Fb₂ + Fb₃ - Fb₄

Setelah didapatkan hasil perhitungan *freeboard* minimum, maka harus dihitung nilai *freeboard* yang sebenarnya pada kapal. Perhitungan *freeboard* sebenarnya pada kapal dapat menggunakan formula di bawah ini:

$$Fb_{\text{Actual}} = H - T$$

Persyaratan yang diizinkan yaitu nilai *freeboard* yang sebenarnya harus melebihi dari nilai *freeboard* minimum yang telah dilakukan koreksi. Pada Tabel IV.51 merupakan rekapitulasi nilai *freeboard* yang sebenarnya dan nilai *freeboard* minimum yang sudah didapatkan dari Tabel IV-50 sebelumnya:

Tabel IV.51, Rekapitulasi Persyaratan *Freeboard* yang Diizinkan

Kondisi Perairan	<i>Freeboard</i> sebenarnya - Fb_{Actual} (mm)	<i>Freeboard</i> minimum- Fb_{Min} (mm)	Batasan	Status
Fresh Water (FW)	1637	948,723	$Fb_{\text{Actual}} > Fb_{\text{Min}}$	ACCEPTED
Sea Water (SW)	1714	948,723	$Fb_{\text{Actual}} > Fb_{\text{Min}}$	ACCEPTED

Dapat dilihat pada Tabel IV.51 bahwa hasil Fb_{Actual} lebih besar dari Fb_{Min} , maka desain TSHD ini memenuhi persyaratan tinggi minimum *freeboard*.

Meskipun telah didapatkan nilai *freeboard* minimum berdasarkan acuan pada formula yang diatur oleh (International Convention on Load Lines, 1966), kapal-kapal tertentu, khususnya *dredger* boleh memiliki *freeboard* yang lebih rendah lagi saat melakukan operasional pekerjaan pengerukan. Batasan minimum *freeboard* saat *dredger* melakukan operasional pekerjaan pengerukan ini diatur oleh (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010) dan besarnya didapatkan melalui persamaan di bawah ini:

$$Fb_{\text{Dredging}} = Fb_1 - \left(\frac{2}{3} \times Fb_1\right)$$

Dimana,

Fb_1 = Standard *freeboard* minimum pada Tabel B

$$= 452,737 \text{ mm}$$

Dari persamaan diatas maka didapatkan hasil $Fb_{Dredging}$ sebesar 151 mm. Nilai yang didapatkan tersebut mengizinkan *dredger* untuk melakukan operasi pekerjaan pengerukan dengan *freeboard* yang lebih rendah dari tinggi minimum *freeboard* seperti pada Tabel IV.50.

Tetapi dalam penelitian ini, *freeboard* yang digunakan oleh *dredger* (TSHD) saat melakukan operasi pekerjaan pengerukan, tetap pada nilai tinggi minimum *freeboard* seperti di Tabel IV.50. Hal ini dikarenakan adanya batasan sarat kapal yang diizinkan untuk melewati sungai CBL seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab IV.7.

IV.11.8. Analisis Stabilitas Kapal

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

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

Kriteria kondisi pemuatan dalam perhitungan stabilitas kapal yang digunakan pada penelitian ini mengacu berdasarkan peraturan pada (Intact Stability Code, 1974) dan (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010), yaitu:

1. Terdapat muatan
 - a. *Hopper* terisi penuh muatan homogen hingga sampai ke tepi atas *hopper* dengan massa jenis kepadatan sesuai yang direncanakan. (massa jenis = $0,886 \text{ ton/m}^3$)

Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi, yaitu:

- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 1*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 2*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 3*)

- b. *Hopper* terisi penuh atau sebagian muatan homogen dengan massa jenis kepadatan yang bervariasi (1 ton/m^3)

Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi, yaitu:

- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 4*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 5*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 6*)

- c. *Hopper* terisi penuh atau sebagian muatan homogen dengan massa jenis kepadatan yang bervariasi ($1,2 \text{ ton/m}^3$)

Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi, yaitu:

- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 7*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 8*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 9*)

2. Tidak terdapat muatan

Perhitungan stabilitas dihitung pada 3 kondisi:

- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi penuh 100% (*Loadcase 10*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10% (*Loadcase 11*)
- Persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 50% (*Loadcase 12*)

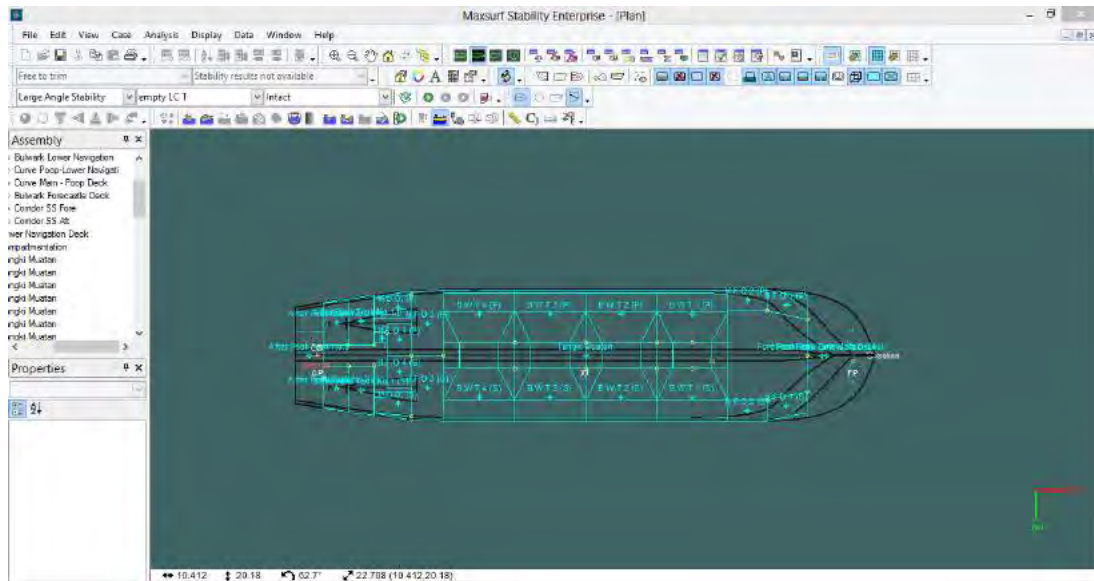
Pemeriksaan kondisi keseimbangan kapal dilakukan pada hasil pemodelan lambung TSHD dengan menggunakan bantuan *software Maxsurf Stability Enterprise*. Langkah-langkah pemeriksaan kondisi keseimbangan kapal adalah sebagai berikut:

1. Membuka *file* rencana garis desain TSHD.

Buka *software Maxsurf Stability Enterprise*, klik menu *file – open design* dan buka *file* hasil pemodelan (rencana garis) TSHD yang sudah dibuat sebelumnya pada *software Maxsurf Modeler Advanced*.

2. Perencanaan letak tangki-tangki

Perencanaan letak tangki yang meliputi tangki *consumables* (air tawar, bahan bakar, pelumas), tangki air *ballast*, dan tangki muatan dapat dilihat pada Gambar IV.12. Perencanaan tangki ini dilakukan dengan cara klik menu *window – input* dan pilih *room definition*. Perencanaan tangki ini disesuaikan dengan perencanaan tangki pada *general arrangement*.



Gambar IV.12, Pandangan Atas Perencanaan Tangki pada *Maxsurf Stability Enterprise*

3. Penentuan massa jenis muatan

Setelah perencanaan letak tangki sudah dibuat, perlu didefinisikan massa jenis muatan yang berada di dalam tangki tersebut. Pada *software Maxsurf Stability Enterprise* terdapat analisis massa jenis (*density*) muatan yang dapat dilihat dan dipilih pada menu *analysis - density*. Apabila tidak terdapat *density* yang diinginkan, maka dapat dilakukan *input* nilai *density* secara manual. Gambar IV.13 merupakan *density* yang terdapat pada *software Maxsurf*.

	Fluid	Code	Specific gravity	Density tonne/m ³	Density bbls/t	API Gravity	Co
1	Sea Water	S	1.0250	1.0250	6.1364		
2	Water Ballast	B	1.0250	1.0250	6.1364		
3	Fresh Water	W	1.0000	1.0000	6.2898		
4	Diesel	D	0.8400	0.8400	7.4879	36.95	
5	Fuel Oil	F	0.9443	0.9443	6.6608	18.35	
6	Lube Oil	L	0.9200	0.9200	6.8368	22.30	
7	ANS Crude	C	0.8883	0.8883	7.0807	27.79	
8	DMA (ISO 8217)	DMA	0.8900	0.8900	7.0672	27.49	
9	DMB (ISO 8217)	DMB	0.9000	0.9000	6.9887	25.72	
10	DMC (ISO 8217)	DMC	0.9200	0.9200	6.8368	22.30	
11	Gasoline leaded	G	0.7499	0.7499	8.3875	57.19	
12	Unlead. Gas.	U	0.7499	0.7499	8.3875	57.19	
13	JFA	J	0.8203	0.8203	7.6677	41.00	
14	MTBE	M	0.7471	0.7471	8.4190	57.90	
15	Gasoil	GO	0.8524	0.8524	7.3789	34.50	
16	Slops	SL	0.9130	0.9130	6.8892	23.48	
17	Custom 1	C1	1.0000	1.0000	6.2898	10.00	
18	Custom 2	C2	1.0000	1.0000	6.2898	10.00	

Default Densities OK Cancel

Gambar IV.13, Kotak Dialog *Density* pada *Maxsurf Stability Enterprise*

4. Kalibrasi tangki

Setelah melakukan perencanaan letak tangki dan memilih massa jenis muatan yang berada di dalamnya, selanjutnya dilakukan analisis kapasitas dan titik berat tangki dengan cara melakukan analisis kalibrasi tangki (*tank calibration*). Analisis kalibrasi tangki ini dapat dilakukan dengan memilih menu *analysis - set analysis type*, pilih *tank calibration*, dan klik *start tank calibration*. Pada Tabel IV.52 merupakan rekapitulasi kapasitas dan titik berat seluruh tangki.

Tabel IV.52, Kapasitas 100% dan Titik Berat Seluruh Tangki

No.	Nama Bagian	Kapasitas (ton)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)
1	M.D.O. (P)	9,870	10,518	0,646	-3,017
2	M.D.O. (S)	9,870	10,518	0,646	3,017
3	L.O	0,678	6,167	1,037	0,000
4	F.W (P)	24,304	1,817	6,029	-3,089
5	F.W (S)	24,304	1,817	6,029	3,089
6	H.F.O 1 (P)	19,258	44,557	3,334	-4,792
7	H.F.O 1 (S)	19,258	44,557	3,334	4,792
8	H.F.O 2 (P)	20,300	40,869	3,290	-5,215
9	H.F.O 2 (S)	20,300	40,869	3,290	5,215
10	H.F.O 3 (P)	5,358	8,264	0,774	-1,196
11	H.F.O 3 (S)	5,358	8,264	0,774	1,196
12	H.F.O Daily Tank (P)	9,269	6,620	4,029	-4,407
13	H.F.O Daily Tank (S)	9,269	6,620	4,029	4,407
14	Tangki Muatan	1.014,193	25,500	4,193	0,000
15	F.P. Tank Main Deck	89,292	48,356	6,100	0,000
16	F.P. Tank Below Main Deck	82,743	47,911	2,943	0,000
17	A.P. Tank No.2 (P)	27,501	0,718	3,721	-1,361
18	A.P. Tank No.2 (S)	27,501	0,718	3,721	1,361
19	A.P. Tank No.1 (P)	14,909	1,940	3,386	-3,829
20	A.P. Tank No.1 (S)	14,909	1,940	3,386	3,829
21	B.W.T 1 (P)	42,881	35,624	0.808	-4,276
22	B.W.T 1 (S)	42,881	35,624	0.808	4,276
23	B.W.T 2 (P)	42,901	28,875	0.808	-4,277
24	B.W.T 2 (S)	42,901	28,875	0.808	4,277
25	B.W.T 3 (P)	42,901	22,125	0.808	-4,277
26	B.W.T 3 (S)	42,901	22,125	0.808	4,277
27	B.W.T 4 (P)	42,745	15,384	0.809	-4,275
28	B.W.T 4 (S)	42,745	15,384	0.809	4,275

5. Perencanaan kondisi pemuatan (*Loadcase*)

Kondisi pemuatan dapat direncanakan pada menu *window - loadcase*. Jumlah kondisi pemuatan ini disesuaikan dengan kriteria yang ditentukan, dimana pada penelitian ini terdapat 4 kondisi pemuatan yang berbeda. Karena pada langkah sebelumnya sudah dilakukan kalibrasi tangki, maka tangki-tangki yang telah direncanakan secara otomatis akan masuk pada data *loadcase*. Sedangkan untuk komponen *lightship* (LWT), nilai berat dan titik berat harus ditambahkan secara manual. Nilai berat dan titik berat ini dimasukkan berdasarkan hasil perhitungan teknis. Pada Tabel IV.53 merupakan data kondisi pemuatan saat *loadcase* 1:

Tabel IV.53, Data Kondisi Pemuatan Saat *Loadcase* 1

No.	Nama Bagian	Kapasitas	Berat (ton)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)
1	Lightship	1	5.177.877,000	29.312,000	3.228,000	0,000
2	M.D.O. (P)	97%	9,574	10,518	0,630	-3,016
3	M.D.O. (S)	97%	9,574	10,518	0,630	3,016
4	L.O	97%	0,658	6,172	1,032	0,000
5	F.W (P)	97%	23,575	1,817	5,992	-3,089
6	F.W (S)	97%	23,575	1,817	5,992	3,089
7	H.F.O 1 (P)	97%	18,680	44,544	3,290	-4,791
8	H.F.O 1 (S)	97%	18,680	44,544	3,290	4,791
9	H.F.O 2 (P)	97%	19,691	40,869	3,245	-5,215
10	H.F.O 2 (S)	97%	19,691	40,869	3,245	5,215
11	H.F.O 3 (P)	97%	5,197	8,270	0,761	-4,276
12	H.F.O 3 (S)	97%	5,197	8,270	0,761	4,276
13	H.F.O Daily Tank (P)	97%	8,991	6,620	4,007	-4,407
14	H.F.O Daily Tank (S)	97%	8,991	6,620	4,007	4,407
15	Tangki Muatan	97%	983,767	25,500	4,114	0,000
16	F.P. Tank Main Deck	0%	0,000	48,166	4,779	0,000
17	F.P. Tank Below Main Deck	0%	0,000	46,804	0,031	0,000
18	A.P. Tank No.2 (P)	0%	0,000	2,748	0,389	-2,452
19	A.P. Tank No.2 (S)	0%	0,000	2,748	0,389	2,452
20	A.P. Tank No.1 (P)	0%	0,000	2,868	0,172	-3,000
21	A.P. Tank No.1 (S)	0%	0,000	2,868	0,172	3,000
22	B.W.T 1 (P)	0%	0,000	35,458	0,000	-3,554
23	B.W.T 1 (S)	0%	0,000	35,458	0,000	3,554
24	B.W.T 2 (P)	0%	0,000	28,875	0,000	-3,589
25	B.W.T 2 (S)	0%	0,000	28,875	0,000	3,589
26	B.W.T 3 (P)	0%	0,000	22,125	0,000	-3,589
27	B.W.T 3 (S)	0%	0,000	22,125	0,000	3,589
28	B.W.T 4 (P)	0%	0,000	17,139	0,000	-3,589
29	B.W.T 4 (S)	0%	0,000	17,139	0,000	3,589

Kapasitas tangki pada penelitian ini diisi sebanyak 97% dengan asumsi adanya *free surface area*. Karena kapasitas tangki tidak mencapai 100%, maka perlu dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa dengan kapasitas 97% masih memenuhi dari kebutuhan yang telah dihitung pada perhitungan teknis. Apabila kapasitasnya tidak memenuhi dari kebutuhan yang ada, maka perlu dilakukan perubahan ukuran tangki. Pada Tabel IV.54 merupakan pemeriksaan apakah kapasitas tangki masih memenuhi kebutuhan atau tidak:

Tabel IV.54, Pemeriksaan Kapasitas Tangki

No.	Nama Bagian	Kapasitas (ton)	Kapasitas (ton)	Total (ton)	Kebutuhan (ton)	STATUS
1	M.D.O. (P)	97%	9,574	19,148	17,498	MEMENUHI
2	M.D.O. (S)	97%	9,574			
3	L.O	97%	0,658	0,658	0,321	MEMENUHI
4	F.W (P)	97%	23,575	47,150	4,080	MEMENUHI
5	F.W (S)	97%	23,575			
6	H.F.O 1 (P)	97%	18,680	105,118	87,489	MEMENUHI
7	H.F.O 1 (S)	97%	18,680			
8	H.F.O 2 (P)	97%	19,691			
9	H.F.O 2 (S)	97%	19,691			
10	H.F.O 3 (P)	97%	5,197			
11	H.F.O 3 (S)	97%	5,197			
12	H.F.O Daily Tank (P)	97%	8,991			
13	H.F.O Daily Tank (S)	97%	8,991			
14	Tangki Muatan	97%	983,767	983,767	974,050	MEMENUHI

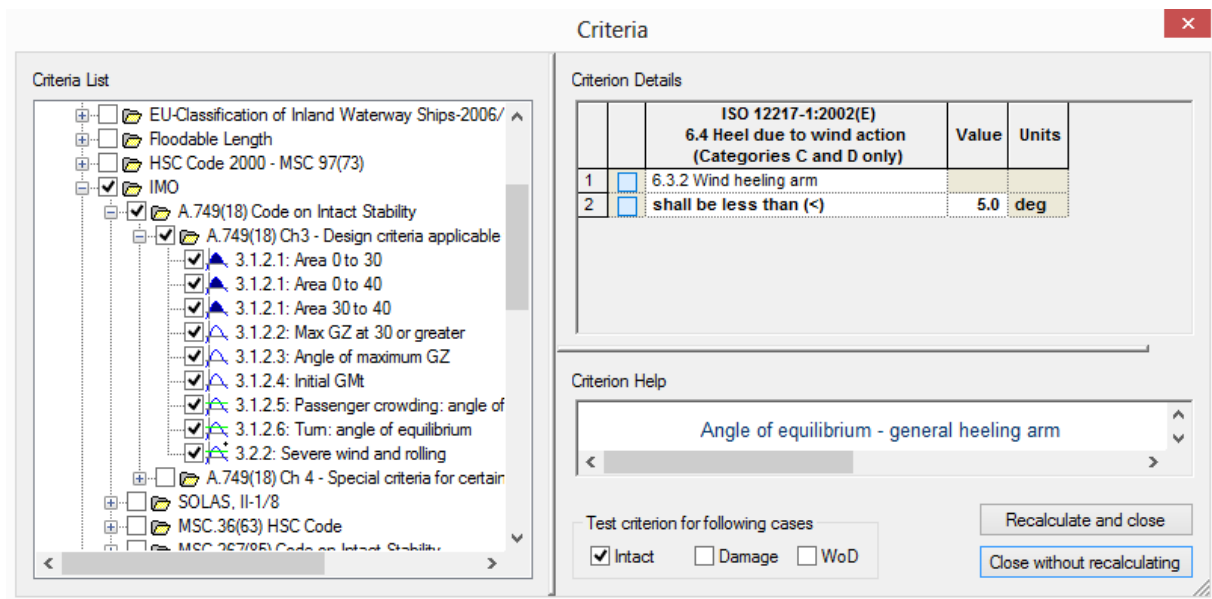
6. Pemeriksaan kondisi stabilitas

Setelah melakukan perencanaan kondisi pemuatan, maka perlu ditentukan kriteria pemeriksaan kondisi stabilitas. Pada penelitian ini, kriteria yang digunakan adalah kriteria stabilitas yang diatur oleh (Intact Stability Code, 1974) dan (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010). Kriteria tersebut antara lain:

- Ketika lengan pengembali GZ terjadi pada sudut oleng 15° , luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $0^\circ - 15^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,070 m.rad atau 4,010 m.deg, atau ketika lengan pengembali GZ pada sudut oleng $> 30^\circ$, luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $0^\circ - 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,055 m.rad atau 3,151 m.deg.
($\theta = 15^\circ$, $e_{0^\circ - 15^\circ} \geq 4,010 \text{ m.deg}$ atau $\theta > 30^\circ$, $e_{0^\circ - 30^\circ} \geq 3,151 \text{ m.deg}$)
- Ketika lengan pengembali GZ berada pada sudut oleng $15^\circ < \theta \leq 30^\circ$, Luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $15^\circ - 30^\circ$ tidak boleh kurang dari $0.055 + 0.001(30 - \theta_{\max})$ m.rad.
($15^\circ < \theta \leq 30^\circ$, $e_{15^\circ - 30^\circ} \geq 0.055 + 0.001(30 - \theta_{\max}) \text{ m.rad}$)
- Luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $30^\circ - 40^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,030 m.rad atau 1,719 m.deg.
($e_{30^\circ - 40^\circ} \geq 1,719 \text{ m.deg}$)
- Lengan pengembali GZ pada sudut oleng $\geq 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.200 m.
($GZ_{30^\circ \text{ atau lebih}} \geq 0,2 \text{ m}$)
- Lengan pengembali (*GZ curve*) maksimum terjadi pada kondisi oleng sebaiknya tidak boleh kurang dari 15° .
($\theta_{\text{Maks}} \geq 15^\circ$)

- Tinggi titik metacenter awal (GMo) tidak boleh kurang dari 0.15 m.
($GM^\circ \geq 0,15 \text{ m}$)
- Luasan area di bawah kurva lengan pengembali (*GZ curve*) antara sudut $0^\circ - 40^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,090 m.rad 5,157 m.deg
($e \ 0^\circ - 40^\circ \geq 5,157 \text{ m.deg}$)

Pada *Maxsurf Stability Enterprise*, analisis kriteria stabilitas dapat diatur melalui menu *analysis - criteria*. Pada kotak dialog *criteria* yang keluar seperti pada Gambar IV.14, terdapat banyak pilihan kriteria untuk analisis kondisi stabilitas. Lalu pilihlah kriteria yang sesuai tersebut.



Gambar IV.14, Kotak Dialog *Criteria* pada *Maxsurf Stability Enterprise*

Setelah dilakukan pemilihan kriteria stabilitas, maka hasil analisis stabilitas dapat langsung dilakukan dengan cara *start analysis* melalui menu *analysis – set analysis type - large angle stability*, lalu klik *start stability analysis*. Analisis dilakukan pada setiap kondisi pemuatan (*loadcase*) yang telah direncanakan sebelumnya. Setelah dilakukan analisis pada setiap *loadcase*, berikut merupakan ringkasan hasil analisis stabilitas yang dapat dilihat pada Tabel IV.55 untuk *loadcase 1 – 6* dan Tabel IV.56 untuk *loadcase 7 – 12*.

Tabel IV.55, Hasil Analisis Stabilitas untuk *Loadcase* 1 hingga *Loadcase* 6

No.	Kriteria	Ketentuan	Nilai	Satuan	Loadcase					
					1	2	3	4	5	6
1	θ_{Maks}	\geq	15	deg	49,1	47,3	48,2	50,0	48,2	49,1
2	$\theta = 15^\circ, e 0^\circ - 15^\circ$	\geq	4,010	m.deg	-	-	-	-	-	-
	$\theta > 30^\circ, e 0^\circ - 30^\circ$	\geq	3,151	m.deg	12,033	13,081	12,784	12,851	13,927	13,643
3	$15^\circ < \theta \leq 30^\circ, e 15^\circ - 30^\circ$	\geq	$0.055+0.001(30-\theta_{max})$	m.rad	-	-	-	-	-	-
4	$e 30^\circ - 40^\circ$	\geq	1,719	m.deg	9,721	9,936	9,980	10,291	10,548	10,574
5	GZ 30° atau lebih	\geq	0,200	m	1,127	1,075	1,117	1,196	1,147	1,188
6	GM $^\circ$	\geq	0,15	m	1,376	1,472	1,448	1,482	1,585	1,557
7	$e 0^\circ - 40^\circ$	\geq	5,157	m.deg	21,755	23,016	22,764	23,141	24,520	24,217
STATUS					ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED

Tabel IV.56, Hasil Analisis Stabilitas untuk *Loadcase* 7 hingga *Loadcase* 12

No.	Kriteria	Ketentuan	Nilai	Satuan	Loadcase					
					7	8	9	10	11	12
1	θ_{Maks}	\geq	15	deg	50,0	49,1	50,0	57,3	40,0	45,5
2	$\theta = 15^\circ, e 0^\circ - 15^\circ$	\geq	4,010	m.deg	-	-	-	-	-	-
	$\theta > 30^\circ, e 0^\circ - 30^\circ$	\geq	3,151	m.deg	13,286	14,4424	14,097	30,760	43,248	34,588
3	$15^\circ < \theta \leq 30^\circ, e 15^\circ - 30^\circ$	\geq	$0.055+0.001(30-\theta_{max})$	m.rad	-	-	-	-	-	-
4	$e 30^\circ - 40^\circ$	\geq	1,719	m.deg	10,624	10,910	10,923	20,219	25,016	21,574
5	GZ 30° atau lebih	\geq	0,200	m	1,242	1,196	1,236	2,157	2,533	2,208
6	GM $^\circ$	\geq	0,15	m	1,540	1,647	1,617	3,818	5,923	4,427
7	$e 0^\circ - 40^\circ$	\geq	5,157	m.deg	23,910	25,353	25,020	50,979	68,265	56,162
STATUS					ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED

Dari Tabel IV.55 dan IV.56 dapat dilihat hasil analisis stabilitas pada 12 kondisi pemuatan (*loadcase*) dan semuanya memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan oleh (Intact Stability Code, 1974) (Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard, 2010).

IV.11.9. Pemeriksaan Kondisi *Trim*

Pada dasarnya stabilitas kapal dibedakan atas dua jenis yaitu stabilitas memanjang (saat kapal terjadi trim), dan stabilitas melintang (saat kapal terjadi oleng). Stabilitas melintang pada kapal sudah dibahas pada sub-sub bab IV.10.8. Pada sub-sub bab ini akan dibahas mengenai stabilitas memanjang (kondisi trim). Trim terjadi karena perbedaan letak titik B dan titik G kapal atau dengan kata lain titik berat kapal yang tercelup air tidak sama dengan titik berat kapal keseluruhan secara memanjang. Hal ini mengakibatkan perbedaan sarat pada bagian depan dan belakang kapal. Trim merupakan kondisi yang pasti terjadi dikarenakan perubahan kondisi pemuatan yang secara otomatis akan mengakibatkan perubahan letak titik berat kapal. Pemeriksaan kondisi trim ini mengacu pada (International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974), dimana batasan besar trim yang diizinkan adalah 0,5% L_{WL} .

Pada *software Maxsurf Stability Enterprise*, pemeriksaan trim dapat dilihat melalui hasil analisis *equilibrium*. Untuk melakukan analisis *equilibrium* dapat dengan cara pilih menu *analysis – set analysis type – equilibrium*, setelah itu klik *start equilibrium analysis*. Analisis

dilakukan pada setiap kondisi pemuatan (*loadcase*) yang telah direncanakan sebelumnya. Pada Tabel IV.57 dan Tabel IV.58 merupakan hasil pemeriksaan kondisi trim:

Tabel IV.57, Hasil Pemeriksaan Kondisi Trim untuk *Loadcase* 1 hingga *Loadcase* 6

No.	Kriteria	Satuan	Loadcase					
			1	2	3	4	5	6
1	Draft Amidships	m	3,19	2,97	3,067	3,172	2,952	3,049
2	Displacement	ton	1716	1584	1641	1705	1573	1630
3	Heel	deg	0	0	0	0	0	0
4	Draft at FP	m	3,225	2,961	3,096	3,204	2,94	3,074
5	Draft at AP	m	3,154	2,98	3,038	3,14	2,965	3,023
6	Draft at LCF	m	3,187	2,971	3,065	3,17	2,953	3,047
7	Trim (+ve by stern)	m	-0,072	0,019	-0,058	-0,063	0,025	-0,051
8	WL Length	m	52,872	51,367	51,877	52,828	51,242	51,748
9	WL Beam	m	12,447	12,447	12,447	12,447	12,447	12,447
10	Block coeff.		0,791	0,813	0,803	0,791	0,814	0,805
11	LCB from zero pt. (+ve fwd)	m	25,697	25,709	25,76	25,698	25,711	25,762
12	Ketentuan trim ($\pm 0,5\% L_{WL}$)	m	0,264	0,257	0,259	0,264	0,256	0,259
STATUS			ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED

Tabel IV.58, Hasil Pemeriksaan Kondisi Trim untuk *Loadcase* 7 hingga *Loadcase* 12

No.	Kriteria	Satuan	Loadcase					
			7	8	9	10	11	12
1	Draft Amidships	m	3,176	2,956	3,053	2,279	1,731	2,069
2	Displacement	ton	1708	1576	1633	1183	8,4	1065
3	Heel	deg	0	0	0	0	0	0
4	Draft at FP	m	3,208	2,944	3,079	2,321	1,25	1,972
5	Draft at AP	m	3,143	2,968	3,026	2,237	2,212	2,166
6	Draft at LCF	m	3,173	2,957	3,051	2,279	1,736	2,07
7	Trim (+ve by stern)	m	-0,065	0,024	-0,052	-0,084	0,962	0,194
8	WL Length	m	52,856	51,269	51,775	48,718	48,329	48,658
9	WL Beam	m	12,447	12,447	12,447	12,447	12,447	12,447
10	Block coeff.		0,792	0,814	0,805	0,824	0,72	0,813
11	LCB from zero pt. (+ve fwd)	m	25,697	25,71	25,761	26,152	24,305	25,761
12	Ketentuan trim ($\pm 0,5\% L_{WL}$)	m	0,264	0,256	0,259	0,244	0,242	0,243
STATUS			ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	ACCEPTED	REJECTED	ACCEPTED

Dari Tabel IV.57 dan Tabel IV.58 dapat dilihat hasil pemeriksaan kondisi trim untuk 12 kondisi pemuatan (*loadcase*). Dari keseluruhan *loadcase*, hanya ada 1 *loadcase* yang tidak memenuhi kondisi trim yang diizinkan, yaitu *loadcase* 11. *Loadcase* 11 merupakan kondisi dimana pada kapal tidak terdapat muatan serta persediaan dan bahan bakar dalam kondisi tersisa 10%.

Meskipun pada analisis stabilitas, *loadcase* 11 memenuhi semua kriteria stabilitas yang ada, tetapi pada pemeriksaan kondisi trim, *loadcase* 11 tidak memenuhi batasan nilai trim yang diizinkan. Oleh sebab itu, *loadcase* 11 dikategorikan sebagai kondisi kritis yang terjadi pada desain TSHD ini. Untuk menghindari kondisi kritis tersebut, dimana pada kapal tidak terdapat muatan, maka persediaan dan bahan bakar tidak boleh dalam kondisi tersisa 10%.

IV.12. Analisis Terhadap Hasil Perhitungan Ekonomis

Dalam proses mendesain kapal terdapat dua aspek yang harus dipertimbangkan, yaitu aspek teknis dan aspek ekonomis. Kedua aspek ini saling berkaitan satu sama lain, dimana hasil dari analisis teknis dapat mempengaruhi perhitungan ekonomis dan begitu juga sebaliknya. Aspek ekonomis yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah dari jenis biaya terutama biaya pembangunan. Biaya pembangunan merupakan kebutuhan biaya untuk membangun kapal dari tahap awal hingga kapal selesai dibangun. Mengingat tahapan desain yang digunakan pada penelitian ini baru sebatas *conceptual design*, maka estimasi biaya pembangunan kapal yang digunakan adalah tahap *conceptual or screening estimate (estimate class 5)*.

IV.12.1. Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

Conceptual or screening estimate (estimate class 5) adalah tingkatan paling awal dalam proses penentuan biaya pembangunan sebagaimana yang sudah dijelaskan pada sub-sub bab II.8.1. Estimasi yang dibuat pada tingkatan ini 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%.

Dalam melakukan estimasi biaya pembangunan, tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan komponen biaya yang dijadikan acuan, dalam penelitian ini yang dijadikan acuan adalah biaya dari komponen baja kapal. Besar biaya komponen baja kapal didapatkan dari perkalian berat komponen baja kapal dengan harga baja satuan per ton. Diketahui berat komponen baja kapal seberat 349,905 ton pada perairan sungai dan 360,637 ton pada perairan laut, serta harga baja per satuan ton yang didapatkan dari (SteelBenchmarker, May 23, 2016).



STEELBENCHMARKER PRICES

May 23, 2016

dollars per metric tonne

(net ton) [gross ton] {Euros}

Region: USA, East of the Mississippi

Hot-rolled band:	684	(620)
Cold-rolled coil:	874	(793)
Standard plate:	714	(648)
#1 Heavy melting scrap:	239	[243]
Shredded scrap:	266	[270]
#1 Busheling scrap:	275	[279]

(SteelBenchmarker, May 23, 2016)

Gambar IV.15, Indeks Harga Baja per Satuan Ton

Perhitungan kebutuhan biaya komponen baja yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{\$ Steel Plate} = W_s \times UP_s$$

Dimana,

$$W_s = \text{Berat komponen baja kapal}$$

$$UP_s = \text{Harga baja satuan per ton}$$

Tabel IV.59, Rekapitulasi Harga Komponen Baja Kapal

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
W_s	ton	349,905	360,637	Lihat pada Tabel IV-36
UP_s	\\$/ton	714	714	Lihat pada Gambar IV-13
\\$ Steel Plate	\\$	249.832,410	257.495,147	-

Dari Tabel IV.59 dapat dilihat hasil harga komponen baja kapal pada dua kondisi perairan yang akan dijadikan acuan. Berdasarkan Tabel II.15, harga komponen baja kapal termasuk pada poin 1.a *Steel plate and profile* yang memiliki persentase sebesar 21% dari harga total biaya pembangunan kapal. Dikarenakan biaya dari komponen baja kapal ini akan menjadi biaya yang dijadikan acuan, maka dapat dihitung biaya pembangunan dari komponen lainnya berdasarkan harga baja yang dijadikan acuan dan persentase dari masing-masing komponen sesuai pada Tabel II.15 menurut (PERTAMINA, 2007). Perhitungan yang digunakan untuk komponen lainnya dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{\$ Komponen} = \left(\frac{\% \text{Komponen}}{\% \text{Acuan}} \right) \times \text{\$ Acuan}$$

Dimana,

$$\% \text{ Acuan} = \% \text{ Steel plate and profile}$$

$$= 21.00 \%$$

$$\text{\$ Acuan} = \$249.832,410 \text{ (Perairan sungai) dan } \$257.495,147 \text{ (Perairan laut)}$$

$$\% \text{ Komponen} = \text{Persentase komponen yang akan dicari harganya}$$

$$\text{\$ Komponen} = \text{Harga komponen yang akan dicari}$$

Tabel IV.60, Hasil Perhitungan Harga Komponen Lain dengan Acuan Persentase dan Harga dari Komponen Baja Kapal

Komponen	Satuan	Fresh Water (FW)	Sea Water (SW)	Keterangan
		Nilai	Nilai	
% Acuan	%	21,00	21,00	Lihat pada Tabel II-12
\$ Acuan	\$	249.832,410	257.495,147	Lihat pada Tabel IV-50
% Komponen	%	3	3	Tabel II-12, Design
\$ Komponen	\$	35.690,34	36.785,02	Tabel II-12, Design
% Komponen	%	20	20	Tabel II-12, Poin 4
\$ Komponen	\$	237.935,63	245.233,47	Tabel II-12, Poin 4

Dari contoh perhitungan pada Tabel IV.60, maka didapatkan biaya pembangunan yang dapat dilihat pada Tabel IV.61 untuk biaya pembangunan kapal pada perairan sungai dan Tabel IV.62 untuk biaya pembangunan kapal pada perairan laut:

Tabel IV.61, Rekapitulasi Biaya Pembangunan Kapal pada Perairan Sungai

SUMMARY CONCEPTUAL ESTIMATE - FRESH WATER (FW)			
Cost	Detail	%	\$
DIRECT COST	1. Hull Part		
	1.a. Steel plate and profile	21,00	\$249.832,41
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7,00	\$83.277,47
	1.c. Piping, valves and fittings	2,50	\$29.741,95
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2,00	\$23.793,56
	1.e. Coating (BWT only)	1,50	\$17.845,17
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1,00	\$11.896,78
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0,30	\$3.569,03
	Subtotal (1)	35,30	\$419.956,38
	2. Machinery Part		
	2.a. Propulsion system and accessories	12,00	\$142.761,38
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3,50	\$41.638,74
	2.c. Boiler and Heater - Tidak Ada	1,00	\$0,00
	2.d. Other machinery in in E/R	3,50	\$41.638,74
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2,50	\$29.741,95
	2.f. Machinery spare part and tool	0,50	\$5.948,39
	Subtotal (2)	23,00	\$261.729,19
	3. Electric Part		
	3.a. Electric power source and accessories	3,00	\$35.690,34
	3.b. Lighting equipment	1,50	\$17.845,17
	3.c. Radio and navigation equipment	2,50	\$29.741,95
3.d. Cable and equipment	1,00	\$11.896,78	
3.e. Electric spare part and tool	0,20	\$2.379,36	
Subtotal (3)	8,20	\$97.553,61	
4. Construction cost			
Consumable material, rental equipment and labor	20,00	\$237.935,63	
Subtotal (4)	20,00	\$237.935,63	
5. Launching and testing			
Subtotal (5)	1,00	\$11.896,78	
6. Inspection, survey and certification			
Subtotal (6)	1,00	\$11.896,78	
TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	88,50	\$1.040.968,38	
INDIRECT COST	7. Design cost	3,00	\$35.690,34
	8. Insurance cost	1,00	\$11.896,78
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2,50	\$29.741,95
	TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)	6,50	\$77.329,08
MARGIN	TOTAL III	5,00	\$59.483,91
GRAND TOTAL (I + II + III)		100,00	\$1.177.781,36

Biaya pembangunan kapal pada perairan sungai yang didapatkan sebesar \$1.177.781,36 atau setara dengan Rp16.106.160.125³

³ Dengan Kurs Jual Bank Indonesia per 23 Mei 2016, 20.25 WIB sebesar 1 USD = Rp13.675,00

Tabel IV.62, Rekapitulasi Biaya Pembangunan Kapal pada Perairan Laut

SUMMARY CONCEPTUAL ESTIMATE - SEA WATER (SW)			
Cost	Detail	%	\$
DIRECT COST	1. Hull Part		
	1.a. Steel plate and profile	21,00	\$257.495,15
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7,00	\$85.831,72
	1.c. Piping, valves and fittings	2,50	\$30.654,18
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2,00	\$24.523,35
	1.e. Coating (BWT only)	1,50	\$18.392,51
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1,00	\$12.261,67
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0,30	\$3.678,50
	Subtotal (1)	35,30	\$432.837,08
	2. Machinery Part		
	2.a. Propulsion system and accessories	12,00	\$147.140,08
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3,50	\$42.915,86
	2.c. Boiler and Heater - Tidak Ada	1,00	\$0,00
	2.d. Other machinery in in E/R	3,50	\$42.915,86
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2,50	\$30.654,18
	2.f. Machinery spare part and tool	0,50	\$6.130,84
	Subtotal (2)	23,00	\$269.756,82
	3. Electric Part		
	3.a. Electric power source and accessories	3,00	\$36.785,02
	3.b. Lighting equipment	1,50	\$18.392,51
	3.c. Radio and navigation equipment	2,50	\$30.654,18
	3.d. Cable and equipment	1,00	\$12.261,67
	3.e. Electric spare part and tool	0,20	\$2.452,33
Subtotal (3)	8,20	\$100.545,72	
4. Construction cost			
Consumable material, rental equipment and labor	20,00	\$245.233,47	
Subtotal (4)	20,00	\$245.233,47	
5. Launching and testing			
Subtotal (5)	1,00	\$12.261,67	
6. Inspection, survey and certification			
Subtotal (6)	1,00	\$12.261,67	
TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	88,50	\$1.072.896,44	
INDIRECT COST	7. Design cost	3,00	\$36.785,02
	8. Insurance cost	1,00	\$12.261,67
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2,50	\$30.654,18
	TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)	6,50	\$79.700,88
MARGIN TOTAL III	5,00	\$61.308,37	
GRAND TOTAL (I + II + III)		100,00	\$1.213.905,69

Biaya pembangunan kapal pada perairan laut yang didapatkan sebesar \$1.213.905,69 atau setara dengan Rp16.600.160.326⁴

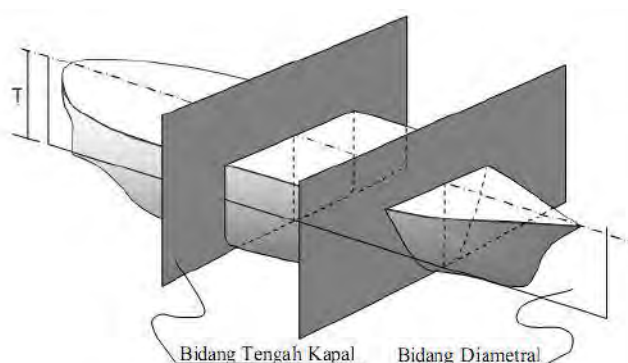
⁴ Dengan Kurs Jual Bank Indonesia per 23 Mei 2016, 20.25 WIB sebesar 1 USD = Rp13.675,00

IV.13. Desain Rencana Garis (*Lines Plan*)

Rencana garis merupakan langkah dasar dari tahap mendesain sebuah kapal dan memiliki fungsi untuk memberikan gambaran umum bentuk tiga dimensi badan kapal. Rencana garis ini dijadikan dasar untuk mendesain kapal secara lengkap, mulai dari perhitungan untuk mengetahui karakteristik kapal, menentukan pembagian ruang di kapal, menentukan daya muat kapal, serta menghitung dan memeriksa kemampuan olah gerak kapal selama pelayaran. Rencana garis diproyeksikan ke 3 bidang, yaitu:

1. Bidang Tengah Kapal (*Midship*)

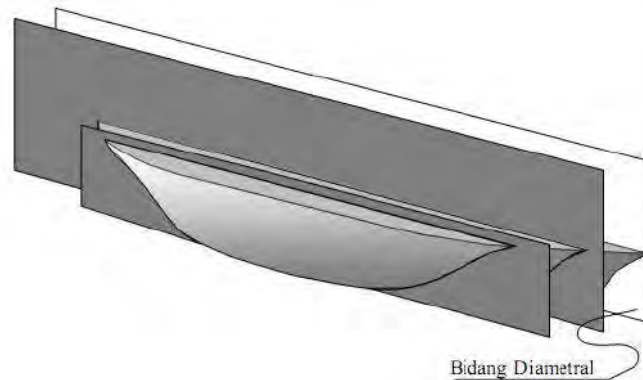
Midship adalah bidang tegak melintang yang melalui pertengahan panjang diantara dua garis perpendicular (L_{PP}), bidang ini akan memotong kapal tepat di ditengah-tengah panjangnya dan akan menunjukkan garis tepi bentuk badan kapal apabila dipandang dari depan. Bila dibuat bidang-bidang sejajar ke arah depan dan belakang dari bidang tengah ini, maka akan diperoleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari depan yang keseluruhannya berada di dalam lingkup bidang pandangan depan kapal. Bidang pandangan depan kapal ini biasa disebut *body plan*, sedangkan garis-garisnya biasa disebut garis-garis *station* (ST).



Gambar IV.16, Bidang Tengah Kapal (*Midship*)

2. Bidang Diametral

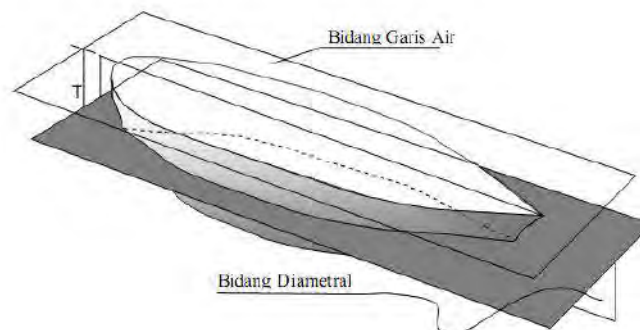
Bidang diametral adalah bidang tegak memanjang yang melalui sumbu tengah kapal (*center line*), bidang ini akan memotong kapal tepat ditengah-tengahnya dan akan menunjukkan garis tepi bentuk badan kapal apabila dipandang dari samping. Bila dibuat bidang-bidang yang sejajar ke arah samping kanan dan kiri dari bidang diametral ini, maka akan diperoleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang yang terlihat dari samping yang keseluruhannya berada di dalam lingkup bidang pandangan samping kapal. Bidang pandangan samping kapal ini biasa disebut *sheer plan*, sedangkan garis-garisnya biasa disebut sebagai garis-garis *buttock line* (BL).



Gambar IV.17, Bidang Diametral

3. Bidang Garis Air

Bidang garis air adalah bidang horizontal yang melalui permukaan air pada saat kapal muatan penuh, bidang ini akan memotong kapal dan akan menunjukkan garis tepi bentuk badan kapal apabila dipandang dari atas. Bila dibuat bidang-bidang yang sejajar ke arah atas dan bawah dari bidang garis air ini, maka akan diperoleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari atas pada tinggi permukaan air yang berbeda-beda yang keseluruhannya berada dalam lingkup bidang pandangan atas. Bidang pandangan atas kapal ini biasa disebut *half breadth plan*, sedangkan garis-garisnya biasa disebut sebagai garis *waterline* (WL).

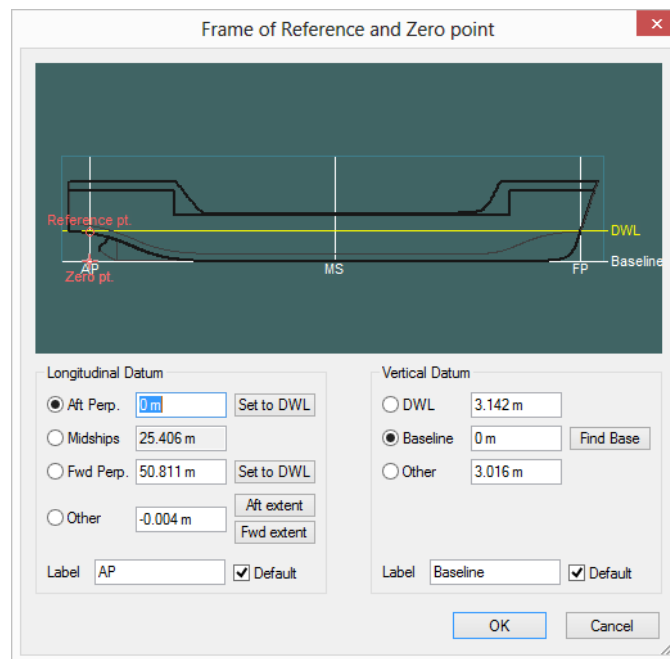


Gambar IV.18, Bidang Garis Air

Pada proses menggambar rencana garis ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) *Maxsurf Modeler Advance* dan *AutoCAD*. Prosesnya dibagi menjadi ke dalam dua tahap. Tahap pertama yaitu mendesain bentuk lambung kapal menggunakan *Maxsurf Modeler Advance* yang disesuaikan dengan kriteria hidrostatis yang ada, dan tahap kedua pendetailan terhadap gambar rencana garis menggunakan *AutoCAD* dari desain lambung kapal yang sudah didapat dari tahap pertama.

Mengingat desain TSHD ini memiliki dua kondisi pelayaran, maka kriteria teknis yang dijadikan acuan dalam mendesain gambar rencana garis ini adalah desain dengan kondisi pelayaran sungai, dikarenakan yang menjadi acuan saat perhitungan teknis juga saat kondisi perairan sungai. Berikut merupakan tahapan dalam mendesain gambar rencana garis:

1. Pembuatan *surface* yang akan digunakan pada kapal. Jumlah *surface* yang digunakan ditentukan berdasarkan kebutuhan guna mempermudah dalam proses pembuatan gambar rencana garis. Pada penelitian ini digunakan *surface* sebanyak tiga buah, yaitu *surface* pada dasar kapal (*bottom*), bilga kapal (*bilge*), dan sisi kapal (*side*) yang mana masing-masing *surface* disesuaikan berdasarkan ukuran utama kapal.
2. Setelah menyelesaikan pembuatan *surface* untuk keseluruhan kapal, maka dilakukan penyesuaian terhadap titik AP, titik FP, letak ketinggian garis air (WL), letak bagian dasar kapal, serta pemilihan titik yang akan dijadikan acuan selama proses mendesain kapal. Proses penyesuaian ini didapatkan pada menu *Data - Frame of Reference*. Pada penelitian ini, titik acuan secara memanjang disesuaikan pada bagian AP kapal dan titik acuan secara vertikal disesuaikan pada *baseline* kapal.

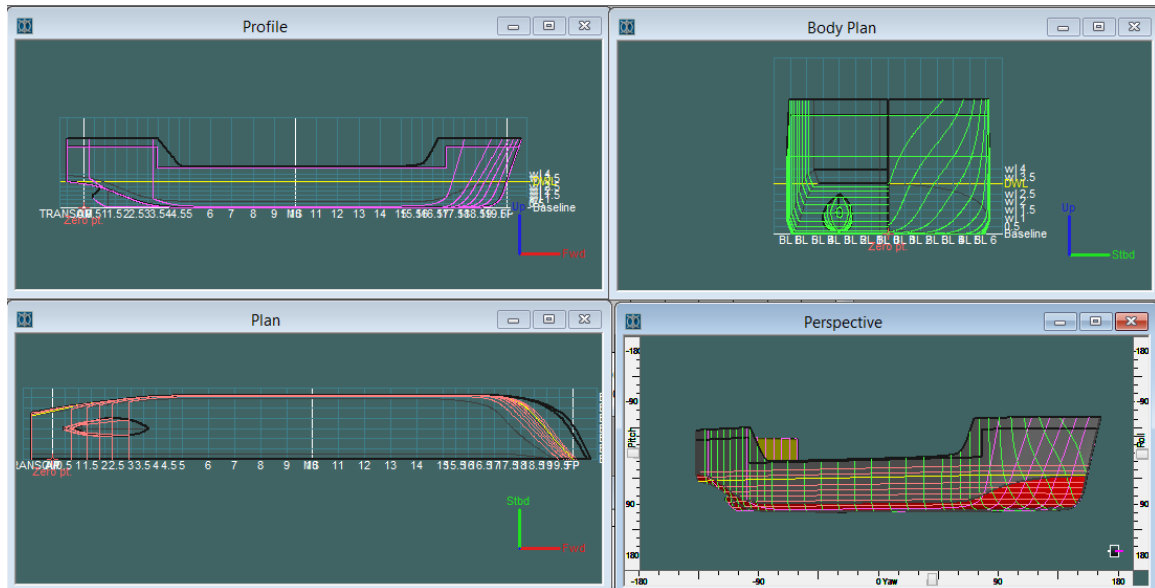


Gambar IV.19, Penyesuaian Data di *Dialog Box Frame Of Reference*

3. Selanjutnya adalah menentukan jarak antar garis-garis proyeksi untuk tiga bidang yang ada pada menu *Data – Design Grid*. Di dalam menu *design grid* terdapat 4 pilihan yaitu *sections* untuk pembagian jarak antar *station* kapal, *buttocks* untuk pembagian jarak antar bidang diametral kapal, *waterlines* untuk pembagian jarak antar bidang garis air,

dan *diagonals* untuk pembagian garis sent line kapal. pada penelitian ini, jarak yang ditentukan pada perencanaan grid spacing adalah sebagai berikut:

- *Station (ST)*,
- *Buttock lines (BL)*
- *Water lines (WL)*



Gambar IV.20, Proses Pembentukan Lambung TSHD

- Setelah seluruh persiapan telah dilakukan, maka selanjutnya adalah pembuatan *control point*. *Control point* adalah garis bantu yang memiliki titik-titik perpotongan yang digunakan dalam membentuk permukaan lambung kapal. *Control point* yang dibuat harus disesuaikan dengan beberapa hal yaitu:
 - *Control point* diatur sedemikian rupa dan tidak dianjurkan untuk melebihi dari dimensi ukuran utama yang sudah ditentukan dalam perhitungan teknis.
 - *Control point* diatur sedemikian rupa sehingga hasil hidrostatis dari desain yang dibuat pada *Maxsurf Modeler Advance* sesuai dengan kriteria hidrostatis pada perhitungan teknis. Kriteria hidrostatis yang perlu diperhatikan meliputi nilai ukuran utama, koefisien, *displacement*, dan titik apung kapal.
 - *Control point* diatur sedemikian rupa dengan tujuan agar desain lambung kapal yang dihasilkan memiliki tingkat kemulusan yang tinggi yang dapat dilihat pada proyeksi gambar tiga dimensi *Maxsurf Modeler Advance* dengan pilihan menu *Display – Render*.

5. Sebelum dilakukan penyelesaian akhir pada tahap pembuatan rencana garis, maka diperlukan validasi terhadap kriteria hidrostatis antara desain pada *Maxsurf Modeler Advance* dengan kriteria hidrostatis pada perhitungan teknis. Kriteria hidrostatis diantara dua hal ini diatur sedemikian rupa agar memiliki kesamaan. Berikut merupakan hasil kriteria hidrostatis yang ada pada desain TSHD ini:

Tabel IV.63, Validasi Kriteria Hidrotatis

No.	Kriteria	Satuan	Analisis Perhitungan Teknis	Maxsurf
1	Vol. Displacement	m ³	1606,689	1606,611
2	Displacement	ton	1646,856	1646,776
3	Panjang Garis Air (L_{WL})	m	52,844	52,844
4	Panjang antara dua garis tegak (L_{PP})	m	50,811	50,811
5	Lebar (B)	m	12,447	12,447
6	Sarat (T)	m	3,142	3,142
7	Prismatic coefficient (C_P)		0,802	0,802
8	Block Coefficient (C_B)		0,797	0,797
9	Midship Coefficient (C_M)		0,993	0,994
10	Waterplane Coefficient (C_{WP})		0,872	0,913

6. Apabila kriteria hidrostatis sudah sesuai dan desain lambung kapal sudah memiliki tingkat kemulusan yang tinggi, maka desain rencana garis dapat dipindahkan dari *software Maxsurf Modeler Advance* ke *AutoCAD* untuk dilakukan pendetailan terhadap gambar yang meliputi penambahan keterangan gambar, kotak gambar, penggunaan garis teknik (tebal dan tipisnya garis), dan penyesuaian lain yang dirasa perlu.

Setelah keseluruhan tahap dalam mendesain rencana garis selesai dibuat, maka didapatkan hasil gambar rencana garis TSHD yang dapat dilihat pada Lampiran C.

IV.14. Desain Rencana Umum (*General Arrangement*)

Rencana umum dapat didefinisikan sebagai gambar perencanaan dan pembagian ruang untuk semua kebutuhan dan perlengkapan kapal sesuai lokasi dan akses yang dibutuhkan. Rencana umum dibuat berdasarkan rencana garis yang telah dibuat sebelumnya. Dengan rencana garis, secara garis besar bentuk badan kapal akan terlihat sehingga memudahkan dalam merencanakan serta menentukan pembagian ruangan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Karakteristik rencana umum dapat dibagi menjadi 4 bagian antara lain:

- a. Penentuan lokasi ruang utama
- b. Penentuan batas-batas ruangan
- c. Penentuan dan pemilihan perlengkapan yang tepat
- d. Penentuan akses (jalan atau lintasan) yang cukup

Dalam pembuatan rencana umum ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) *AutoCad*. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan gambar Rencana Umum, seperti:

1. Perencanaan Sistem Konstruksi Kapal

Sistem konstruksi kapal yang digunakan pada kapal 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 konstruksi sama dengan panjang antara dua garis tegak (L_{PP}) yaitu 50,811 meter yang masih masuk dalam ke dalam kriteria konstruksi melintang.
- Jumlah gading yang digunakan sebanyak 79 gading dengan 3 gading di belakang AP, dan 76 gading di depan AP (nomor gading -3 sampai 76).
- Jarak gading yang digunakan adalah 600 mm untuk nomor gading -3 sampai 20, untuk gading 20 sampai 66 memiliki jarak gading 750 mm, dan 600 mm untuk nomor gading 66 sampai 76.
- Jumlah sekat ditentukan sebanyak tiga buah, yaitu sekat tubrukan pada nomor gading 66, sekat depan kamar mesin pada nomor gading 20, dan sekat buritan pada nomor gading 5.

2. Perencanaan Ruang Muat

Dalam merencanakan ruang muat TSHD, ditentukan pertimbangan sebagai berikut:

- Lebar ruang muat (*hopper*) tidak selebar kapal, dikarenakan pada sisi kanan dan kiri direncanakan untuk ada akses jalan (*corridor*) dari kamar mesin ke ruang pompa di bagian depan kapal.
- Pada *hopper* tidak terdapat sekat melintang, tinggi ruang muat melebihi dari *main deck* dan tidak tertutup ruang muatnya. Selain itu pada dasar *hopper* terdapat 4 bukaan pintu (*bottom door*) untuk proses pembuangan material hasil kerukan.
- *Bottom door* No.1 berada pada gading 49 sampai 54, *Bottom door* No.2 berada pada gading 40 sampai 45, *Bottom door* No.3 berada pada gading 31 sampai 36, dan *Bottom door* No.4 berada pada gading 22 sampai 26.

3. Perencanaan Ruang Akomodasi dan Kamar Mesin

Sebelum merancang tata letak ruang akomodasi, perlu diketahui terlebih dahulu lama waktu operasi yang dilakukan oleh TSHD saat melakukan pekerjaan pengerukan. Apabila melihat dari jarak pelayaran yang ditempuh, TSHD yang didesain untuk program “Tol Sungai CBL – Tanjung Priok” memang tidak memiliki jarak pelayaran yang jauh seperti kapal pada umumnya, tetapi dikarenakan TSHD saat melakukan pekerjaan pengerukan beroperasi selama 24 jam per hari, maka diperlukan ruang akomodasi bagi *crew*.

Ruang akomodasi terletak bagian dibelakang kapal antara nomor gading -3 sampai 20. 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* seperti *messroom*, *dayroom*, *galley*, *dry store*, *freeze store*, *changing room*, *laundry room*, *store*, *steering gear room*, serta *office* yang bisa digunakan untuk *captain/chief engineer*.
- Geladak *poop deck* dipusatkan sebagai kamar dari seluruh *crew*.
- 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 1200 mm untuk seluruh tingkat geladak akomodasi.
- Kamar mesin terletak di bawah geladak *main deck* pada nomor gading 5 sampai 20. Dimana didalamnya terdapat 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 14 buah *ballast tank*; dimana dua buah *ballast tank* terletak pada bagian depan kapal setelah sekat tubrukan (*fore peak tank*) dengan susunan terbagi menjadi di atas main deck dan di bawah main deck, delapan buah *ballast tank* pada bagian kiri bawah dan kanan bawah *hopper (ballast tank no.1– ballast tank no.4)* dengan susunan pembagian empat tangki searah memanjang, dan dua tangki searah melintang, serta empat buah *ballast tank* pada bagian belakang kapal (*after peak tank no. 1 port & starboard*, dan *after peak tank no. 2 port & starboard*).
- Terdapat delapan buah tangki *heavy fuel oil (HFO)*; dimana tangki *heavy fuel oil no.1 port & starboard* terletak pada nomor gading 61 sampai 66 dan tangki *heavy fuel oil no.2 port & starboard* pada nomor gading 56 sampai 61 (keduanya berada pada lambung kapal di ketinggian *main deck* hingga 2,979 meter di bawah *main deck*), tangki *heavy fuel oil no.3 port & starboard* terletak pada nomor gading 11 sampai 16 (lebar 2.4 meter dari *center line* ke masing-masing sisi kapal dan berada pada *double bottom* kamar mesin, tangki harian *heavy fuel oil port & starboard* terletak pada nomor gading 9 sampai 13 (lebar 3 meter dari *center line* hingga ke sisi kapal dan berada di ketinggian *main deck* hingga 1.5 meter di bawah *main deck*).
- Terdapat dua buah tangki *marine diesel oil (MDO)* yang terletak pada gading 16 sampai 19, selebar kapal dan berada pada *double bottom* kamar mesin.
- Terdapat satu buah tangki *lubrication oil (LO)* yang terletak pada gading 9 sampai 11, lebar 1 m ke masing-masing arah *portside* dan *starboard* dari *center line* dan berada pada *double bottom*.
- Terdapat dua buah tangki *fresh water (FW)* yang terletak pada gading 1 sampai 5 di ketinggian *main deck* hingga *poop deck*.

Dari pertimbangan diatas, maka didapatkan gambar Rencana Umum TSHD yang dapat dilihat pada Lampiran D.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis secara teknis dan ekonomis pada desain *dredger* untuk mendukung program “Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok”. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis pemilihan jenis *dredger* yang melihat pada kriteria awal berdasarkan kondisi material endapan dan kondisi umum sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL), maka dipilih *dredger* dengan jenis *Trailing Suction Hopper Dredger* (TSHD).
2. Dari hasil analisis perhitungan volume material yang akan dikeruk pada sungai CBL dengan dua jenis kegiatan pengerukan yang diperlukan yaitu *capital dredging* dan *maintenance dredging*, maka didapatkan besarnya volume material yang akan dikeruk sebesar 2.083.919,60 m³ untuk kegiatan *capital dredging* dan 172.500 m³/tahun untuk kegiatan *maintenance dredging*. Dari besarnya volume material yang akan dikeruk tersebut didapatkan besarnya kapasitas muatan hasil keruk (*hopper*) yang dapat diangkut oleh TSHD yang melalui sungai CBL sebesar 1100 m³.
3. Dari hasil analisis teknis berupa proses optimisasi dengan fungsi tujuan biaya pembangunan paling minimum, maka didapatkan ukuran utama TSHD sebagai berikut:
 - *Length of waterline* (L_{WL}) : 52,844 meter
 - *Length of perpendicular* (L_{PP}) : 50,811 meter
 - *Breadth* (B) : 12,447 meter
 - *Height* (H) : 4,779 meter
 - *Draught at fresh water* (T_{FW}) : 3,142 meter
 - *Draught at sea water* (T_{SW}) : 3,065 meter
4. Dari hasil analisis ekonomis yang meliputi biaya pembangunan dari desain TSHD didapatkan total estimasi biaya pembangunan sebesar \$1.213.905,69 atau setara dengan Rp16.600.160.326.

V.2. Saran

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

1. Karena permasalahan dalam Tugas Akhir ini merupakan solusi terhadap salah satu kebijakan dari Pemerintah Pusat, maka diperlukan adanya peninjauan lebih lanjut terhadap aspek kebijakannya.
2. Perlu adanya peninjauan lebih lanjut terhadap aspek konstruksi dan kekuatan kapal mengingat pada Tugas Akhir ini masih banyak digunakan perhitungan secara pendekatan.
3. Perlu adanya perhitungan dan analisis yang riil terhadap biaya pembangunan kapal yang dibutuhkan untuk membangun TSHD guna mendukung terealisasinya program Tol Sungai ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Access Science. (2011, January 21). *Marine Wiki*. Retrieved April 24, 2016, from [marinewiki.org](http://www.marinewiki.org):
http://www.marinewiki.org/index.php?title=File:Ship_design_spiral.jpg
- Barrass, D. B. (2004). *Ship Design and Performance for Masters and Mates*. Oxford: Elsevier.
- detik.com. (2015, Februari 6). *Pengusaha Tak Sabar Angkutan Kontainer Via Sungai Segera Beroperasi di Bekasi*. Retrieved Januari 4, 2016, from Detik Finance: <http://finance.detik.com/read/2015/02/06/100534/2825373/4/pengusaha-tak-sabar-angkutan-kontainer-via-sungai-segera-beroperasi-di-bekasi>
- Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan. (2006). *Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi*. DKI Jakarta: Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan. (2015). *Pedoman Teknis Pengerukan Alur Pelayaran di Laut dan Kolam Pelabuhan*. DKI Jakarta: Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- Dredge Point. (2016, April 24). *dredging-database*. Retrieved April 24, 2016, from [dredgepoint.org](https://www.dredgepoint.org/dredging-database/equipment/sliedrecht-27): <https://www.dredgepoint.org/dredging-database/equipment/sliedrecht-27>
- GOBEKASI. (2015, Februari 6). *Kali CBL Jadi Tol Sungai*. Retrieved Januari 4, 2016, from [GOBEKASI.co.id](http://gobekasi.pojoksatu.id/2015/02/06/kali-cbl-jadi-tol-sungai/): <http://gobekasi.pojoksatu.id/2015/02/06/kali-cbl-jadi-tol-sungai/>
- Haq, G. W. (2015). *Desain Self-Propelled Container Barge (SPCB) Pengangkut Peti Kemas Berbasis Jalur Sungai Pada Program "Tol Sungai" Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Surabaya.
- HydroComp Inc. (2013). *When Does Shallow Water Become a Problem?* Durham, USA: hydrocomp.com.
- IMO. (1966). *International Convention on Load Lines*. London: Lloyd's Register.
- IMO. (1974). *Intact Stability Code*. IMO.
- IMO. (1974). *International Convention for the Safety of Life at Sea*. London: Lloyd's Register.
- Jan De Nul Group. (2016, Februari 10). *Cutter Suction Dredger*. Retrieved Februari 10, 2016, from [jandenul.com](http://www.jandenul.com/en/equipment/fleet/cutter-suction-dredger): <http://www.jandenul.com/en/equipment/fleet/cutter-suction-dredger>
- Joint Working Group on Dredgers Operating at Reduced Freeboard. (2010). *Guidelines for The Assignment of Reduced Freeboards for Dredgers, DR-68*. Rotterdam: Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate General for Civil Aviation and Freight Transport.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume II*. Jersey City: The Society of Naval Architectures and Marine Engineers.
- Mahendra, J. (2014). *Dunia Dredging & Reklamasi di Indonesia*. Depok.

- Manning, G. C. (n.d.). *The Theory and Technique of Ship Design*.
- maps.google.co.id. (2016, Januari 5). *Maps Google*. Retrieved Januari 5, 2016, from Google: www.google.co.id/maps
- Nusantara Maritime News. (2015, Maret 25). *Waterway CBL Dibangun Tahun Ini*. Retrieved Januari 05, 2016, from maritimeneews.id: <http://maritimeneews.id/waterway-cbl-dibangun-tahun-ini/>
- Okezone. (2015, Februari 5). *RJ Lino Jelaskan Proyek Waterway ke Jokowi*. Retrieved Januari 4, 2016, from [Okezone.com](http://economy.okezone.com): <http://economy.okezone.com/read/2015/02/05/320/1101721/rj-lino-jelaskan-proyek-waterway-ke-jokowi>
- Okude, T. (n.d.). Cycle time per one cut and dredging volume per day. In *Dredger and Dredging Work* (pp. 30-32). Working Craft Development Laboratory Machinery Division.
- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. Michigan: University of Michigan.
- PERTAMINA. (2007). *Estimasi Harga Pembangunan Kapal Baru*. Jakarta: PERTAMINA.
- Rijkswaterstaat. (2011). *Waterway Guidelines*. Netherland: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rohim, M. A. (2003). *Penentuan Prototipe Kapal Keruk Yang Sesuai Untuk Dermaga Umum Pelabuhan Gresik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Surabaya.
- Satuan Kerja Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane. (2008). *Laporan Perencanaan dan Detail Desain Pengendalian Banjir Kali CBL*. DKI Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI.
- Schneekluth, H., & Betram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy (second edition)*. Oxford: Plant A Tree.
- Shoft Shipyard Dredging. (2016, April 24). *Products*. Retrieved April 24, 2016, from Shoft Shipyard: <http://www.shoft.in/products/dredging.php>
- SteelBenchmarker. (May 23, 2016). *Price History, Tables and Charts*. www.steelbenchmarker.com.
- Sugianto, L. (1986). *Kapal Keruk Hisap Raung - 500 DWT*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Surabaya.
- Suhardjito, G. (n.d.). *Tentang Rencana Umum*. Digital Handout.
- Teacher Buet. (2015, December 23). *Name 323: Resistance and Propulsion of Ships*. Retrieved April 24, 2016, from http://teacher.buet.ac.bd/mmkarim/name_323.htm
- United States Department of Agriculture (USDA). (2016, April 2016). *Soil Texture Calculator*. Retrieved April 24, 2016, from [USDA: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)
- W.J. Vlasblom. (2003). Plain Suction Dredger. *Designing Dredging Equipment*, 2-3.
- W.J. Vlasblom. (2006). *Designing Dredging Equipment*. Delft: Delft University of Technology (TU Delft).
- W.J. Vlasblom. (2007). Trailing Suction Hopper Dredger. *Designing Dredging Equipment*, 42-43.

LAMPIRAN

Daftar Lampiran ini terdiri dari:

LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS DAN EKONOMIS – PERAIRAN SUNGAI

LAMPIRAN B PERHITUNGAN TEKNIS DAN EKONOMIS – PERAIRAN LAUT

LAMPIRAN C RENCANA GARIS *TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER* (TSHD)

LAMPIRAN D RENCANA UMUM *TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER* (TSHD)

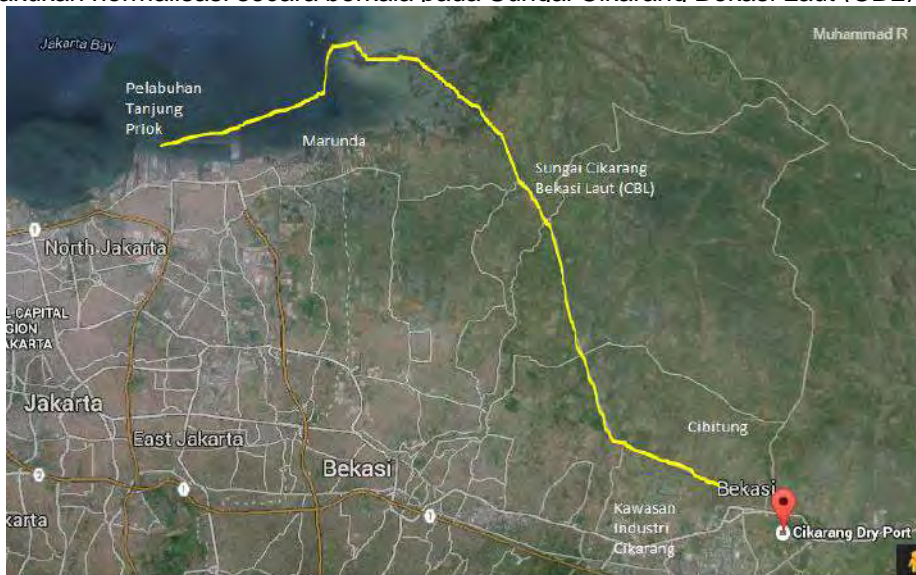
LAMPIRAN E KATALOG *MAIN ENGINE, AUXILIARY ENGINE, DREDGE PUMP, DAN TRAILING PIPE*

LAMPIRAN F BERITA TENTANG PROGRAM “TOL SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT (CBL) – TANJUNG PRIOK”

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN TEKNIS DAN
EKONOMIS – PERAIRAN SUNGAI

I. Requirement Summary

Menanggapi munculnya gagasan Presiden Joko Widodo (Jokowi) untuk mengembalikan identitas bangsa sebagai Negara maritim, yaitu mengenai "Tol Laut". Pada Kamis, 5 Februari 2015 Presiden Joko Widodo mengadakan pertemuan bersama Direktur Utama PT. Pelindo II (Persero), Richard Joost Lino dan Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Rini Soemarno di Istana Merdeka terkait rencana pembangunan "Tol Sungai" yang dikembangkan oleh PT. Pelindo II. "Tol Sungai" yang dimaksud adalah mengembangkan jalur angkutan kontainer berbasis jalur sungai atau inland access waterway sepanjang 25 mil laut 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 peti kemas berkapasitas maksimal 60 peti kemas dari dua arah (bolak-balik), serta dibangunnya pelabuhan peti kemas di kawasan Cibitung dengan kapasitas 3 juta TEU (Twenty-foot Equivalent Unit). Rencana ini bertujuan untuk mempercepat distribusi barang dari pabrik-pabrik di kawasan industri sekitar Bekasi, Cikarang, Cikampek, dan Karawang menuju Pelabuhan Tanjung Priok. Untuk mendukung Program "Tol Sungai" ini, maka diperlukan kapal keruk yang dapat melakukan proyek pengerukan serta melakukan normalisasi secara berkala pada Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) ini.



I.1 Owner Requirement

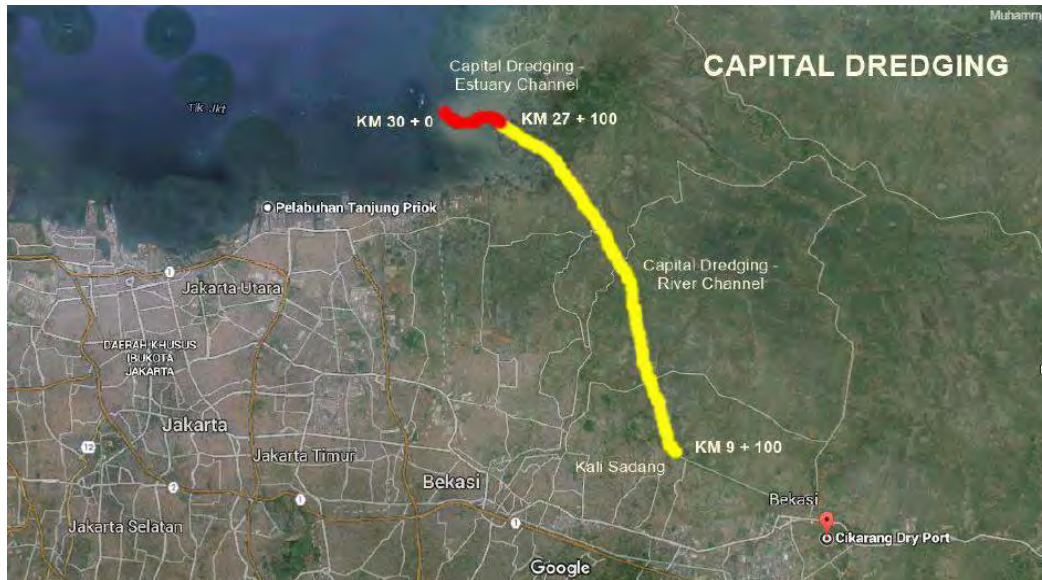
Jenis Kapal = *Dredger*
 Tipe Kapal = *Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)*
 Payload = 974,05 ton
 Kecepatan Dinas = 10 kn = 5,144 m/s
 Rute Pelayaran = Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)
 Radius Pelayaran = 52,224 km = 28,2 mil laut
 Daerah Pelayaran = Perairan Domestik (Indonesia)

I.2 Perhitungan Volume Pengerukan

Untuk mendukung Program "Tol Sungai" yang digagas oleh Presiden Joko Widodo, perlu dilakukan dua pekerjaan pengerukan pada Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) ini, yaitu:

I.2.1. Perhitungan Volume Capital Dredging

Berdasarkan data penampang melintang sungai CBL mengenai jumlah galian yang perlu dikerjakan pada sungai CBL, Capital Dredging Sungai CBL dimulai dari KM 9 + 100 hingga KM 30 + 0



Ref: Gambar Cross Pengukuran Kali CBL, Perencanaan dan Detail Desain Pengendalian Banjir Kali CBL (2008), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air

KM		m	Jumlah Galian (m ²)	Jumlah Galian Rata-Rata (m ²)	DL (m)	Volume (m ³)
9	+	100	18,24	26,3	100	2.630
		200	8,06			
		300	0			
		400	29,19	29,19		
		500	20,52			
		600	33,41	53,93		
		700	49,98			
		800	9,19	59,17		
		900	42,02			
10	+	0	38,21	80,23	100	8.023
		100	31,18			
		200	15,75			
		300	33,08	33,08		
		400	0			
		500	5,32	55,14		
		600	49,82			
		700	0	0		
		800	0			
900	44,61	84,94				
11	+		0	40,33		
		100	52,09	101,2	100	10.120
		200	49,11			

dimana,
DL = Langkah Jarak Tiap Ruas Sungai

		300	26,71	35,42	100	3.542
		400	8,71			
		500	7,34	60,97	100	6.097
		600	53,63			
		700	26,91	51,27	100	5.127
		800	24,36			
		900	41,09	75,06	100	7.506
12	+	0	33,97			
		100	19,4	68,51	100	6.851
		200	49,11			
		300	34,09	100,29	100	10.029
		400	66,2			
		500	68,74	125,81	100	12.581
		600	57,07			
		700	87,11	136,82	100	13.682
		800	49,71			
		900	59,86	114,75	100	11.475
13	+	0	54,89			
		100	65,2	118,41	100	11.841
		200	53,21			
		300	43,05	96,43	100	9.643
		400	53,38			
		500	37,59	75,78	100	7.578
		600	38,19			
		700	33,58	111,91	100	11.191
		800	78,33			
		900	32,01	59,98	100	5.998
14	+	0	27,97			
		100	19,98	19,98	100	1.998
		200	0			
		300	31,36	35,14	100	3.514
		400	3,78			
		500	31,61	46,83	100	4.683
		600	15,22			
		700	43,65	115,16	100	11.516
		800	71,51			
		900	94,25	214,23	100	21.423
15	+	0	119,98			
		100	12,19	49,11	100	4.911
		200	36,92			
		300	27,77	61,44	100	6.144
		400	33,67			
		500	39,98	64,06	100	6.406
		600	24,08			
		700	101,57	201,27	100	20.127
		800	99,7			
		900	63	129,57	100	12.957
16	+	0	66,57			
		100	58,86	129,48	100	12.948
		200	70,62			
		300	80,42	155,7	100	15.570
		400	75,28			

		500	65,08	124,81	100	12.481
		600	59,73			
		700	83,11	129,51	100	12.951
		800	46,4			
		900	60,55	126,85	100	12.685
17	+	0	66,3			
		100	26,64	62,26	100	6.226
		200	35,62			
		300	56,57	110,25	100	11.025
		400	53,68			
		500	50,64	96,37	100	9.637
		600	45,73			
		700	34,22	66,78	100	6.678
		800	32,56			
		900	50,61	206,97	100	20.697
18	+	0	156,36			
		100	56,8	187,12	100	18.712
		200	130,32			
		300	0	50,4	100	5.040
		400	50,4			
		500	98,82	158,08	100	15.808
		600	59,26			
		700	136,67	187,9	100	18.790
		800	51,23			
		900	81,67	163,85	100	16.385
19	+	0	82,18			
		100	80,53	158,07	100	15.807
		200	77,54			
		300	77,71	144,5	100	14.450
		400	66,79			
		500	64,51	178,61	100	17.861
		600	114,1			
		700	15,95	189,71	100	18.971
		800	173,76			
		900	120,04	278,22	100	27.822
20	+	0	158,18			
		100	242,11	350,95	100	35.095
		200	108,84			
		300	97,99	193,26	100	19.326
		400	95,27			
		500	121,36	240,61	100	24.061
		600	119,25			
		700	126,63	288,39	100	28.839
		800	161,76			
		900	175,41	317,28	100	31.728
21	+	0	141,87			
		100	109,04	236,1	100	23.610
		200	127,06			
		300	99,7	211,06	100	21.106
		400	111,36			
		500	140,36	286,95	100	28.695
		600	146,59			

		700	214,4	416,3	100	41.630
		800	201,9			
		900	116,69	238,02	100	23.802
22	+	0	121,33			
		100	121,98	220,35	100	22.035
		200	98,37			
		300	100,57	227,08	100	22.708
		400	126,51			
		500	60,07	161,15	100	16.115
		600	101,08			
		700	59,58	169,14	100	16.914
		800	109,56			
		900	164,59	245,73	100	24.573
23	+	0	81,14			
		100	140,56	257,98	100	25.798
		200	117,42			
		300	117,42	210,9	100	21.090
		400	93,48			
		500	97,53	201,44	100	20.144
		600	103,91			
		700	80,73	229,52	100	22.952
		800	148,79			
		900	86,68	173,05	100	17.305
24	+	0	86,37			
		100	183,13	326,15	100	32.615
		200	143,02			
		300	128,72	314,38	100	31.438
		400	185,66			
		500	120,7	272,21	100	27.221
		600	151,51			
		700	95,62	154,98	100	15.498
		800	59,36			
		900	98,84	204,58	100	20.458
25	+	0	105,74			
		100	84,45	165,41	100	16.541
		200	80,96			
		300	109,31	220,4	100	22.040
		400	111,09			
		500	113,53	241,26	100	24.126
		600	127,73			
		700	134,35	286,22	100	28.622
		800	151,87			
		900	133,08	213,2	100	21.320
26	+	0	80,12			
		100	83,41	231,11	100	23.111
		200	147,7			
		300	169,94	373,14	100	37.314
		400	203,2			
		500	145,03	288,24	100	28.824
		600	143,21			
		700	125,38	259,67	100	25.967
		800	134,29			

		900	101,5	207,05	100	20.705
27	+	0	105,55			
		100	119,81	216,4	100	21.640
		200	96,59			
		300	109,66	196,37	100	19.637
		400	86,71			
		500	40,72	83,97	100	8.397
		600	43,25			
		700	48,68	189,22	100	18.922
		800	140,54			
		900	141,72	253,81	100	25.381
28	+	0	112,09			
		100	102,88	225,47	100	22.547
		200	122,59			
		300	116,88	225,63	100	22.563
		400	108,75			
		500	105,34	239,37	100	23.937
		600	134,03			
		700	125,42	233,36	100	23.336
		800	107,94			
		900	113,07	249,13	100	24.913
29	+	0	136,06			
		100	193,31	380,73	100	38.073
		200	187,42			
		300	151,71	366,61	100	36.661
		400	214,9			
		500	158,19	301,75	100	30.175
		600	143,56			
		700	156,4	338,44	100	33.844
		800	182,04			
		900	142,76	343,77	100	34.377
30	+	0	201,01			
					Total	1.812.104

Pekerjaan Capital Dredging dibagi menjadi 2, yaitu Capital Dredging pada Alur Sungai CBL (River Channel) dan Capital Dredging pada muara sungai CBL (Estuary Channel)

a. Capital Dredging di alur Sungai CBL (River Channel)

Volume dasar pengerukan dari KM 9 + 100 - KM 27 + 0	=	1.427.701,00 m ³
Over Dredging (TSHD) = 10% * Volume Pengerukan	=	142.770,10 m ³
Ref: Tabel 7, Batasan Over Dredging/Toleransi, Dunia Dredging & Reklamasi Di Indonesia, Juris Mahendra (2014)		
Persentase Siltation Rate wilayah Tg. Priok = 5% * Volume Pengerukan	=	71.385,05 m ³
Ref: Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi, Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (2006)		
Jadi, total volume capital dredging di alur sungai CBL (River Channel)	=	1.641.856,15 m ³

b. Capital Dredging di muara Sungai CBL (Estuary Channel)

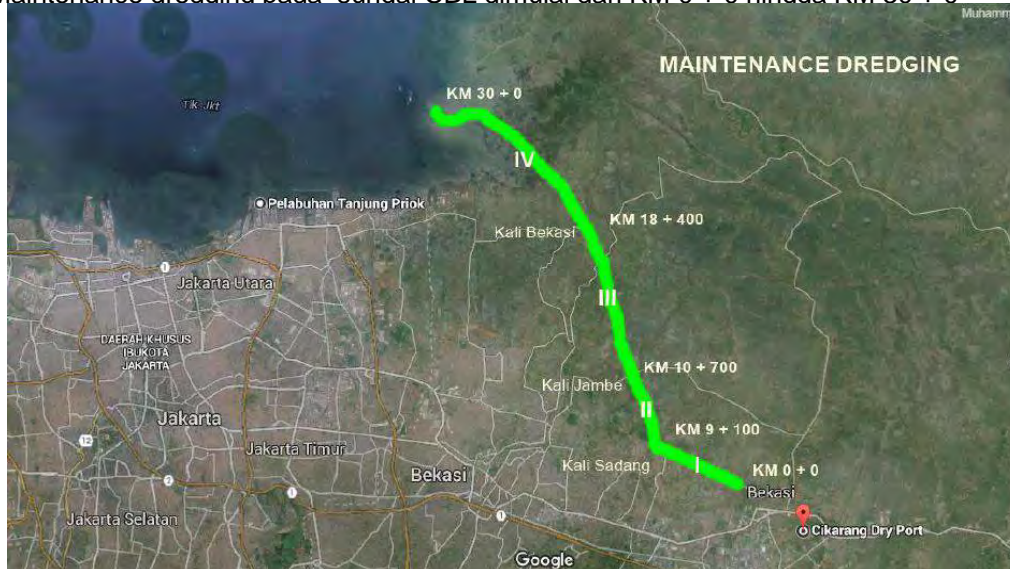
Volume dasar pengerukan dari KM 27 + 100 - KM 30 + 0	=	384.403,00 m ³
Over Dredging (TSHD) = 10% * Volume Pengerukan	=	38.440,30 m ³
Ref: Tabel 7, Batasan Over Dredging/Toleransi, Dunia Dredging & Reklamasi Di Indonesia, Juris Mahendra (2014)		
Persentase Siltation Rate wilayah Tg. Priok = 5% * Volume Pengerukan	=	19.220,15 m ³
Ref: Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi, Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (2006)		
Jadi, total volume capital dredging di muara sungai CBL (Estuary Channel)	=	442.063,45 m ³

Jadi, total volume pekerjaan Capital Dredging yang harus dilakukan pada Sungai CBL, yaitu

a. Capital dredging di alur Sungai CBL (River Channel)	=	1.641.856,15 m ³
b. Capital dredging di muara Sungai CBL (Estuary Channel)	=	442.063,45 m ³

1.2.2. Perhitungan Volume Maintenance Dredging

Maintenance dredging pada sungai CBL dimulai dari KM 0 + 0 hingga KM 30 + 0



Laju pengendapan rata-rata yang terjadi pada Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) adalah 150.000 m ³ /tahun Ref: Laporan Ringkasan, Perencanaan dan Detail Desain Pengendalian Banjir Kali CBL (2008), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air			
Over Dredging (TSHD) = 10% * Volume Pengerukan	=	15.000,00	m ³
Ref: Tabel 7, Batasan Over Dredging/Toleransi, Dunia Dredging & Reklamasi Di Indonesia, Juris Mahendra (2014)			
Persentase Siltation Rate wilayah Tg. Priok = 5% * Volume Pengerukan	=	7.500,00	m ³
Ref: Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi, Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (2006)			
Jadi, total volume maintenance dredging pada Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)	=	172.500,00	m ³

I.2.3. Perhitungan Kapasitas Produksi per hari

Perhitungan siklus waktu yang dibutuhkan untuk pengerukan dalam satu kali kerja, yaitu:

b) Cycle time per one cut (T)

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \dots \dots \dots (2)$$

Here T : Cycle time per one cut (minute)
 T₁ : Dredging time (including overflow time)
 T₂ : Hauling time (between the dredging area and dumping area)
 T₃ : Dumping time (or other discharge time)
 T₄ : Other times (such as waiting time, preparation time, etc.)

Ref: Dredge and Dredging Work, T. Okude

Perhitungan kapasitas produksi maksimum pengerukan per hari, yaitu:

$$V = \frac{H \times 60}{T_o + T_5} \times \left[Q_p \times M \times T_1 + \frac{Q_p \times \alpha}{M} (1 - e^{-\alpha \times T_5}) \right]$$

Ref: Dredge and Dredging Work, T. Okude

dimana,

- | | |
|---|---|
| H = jam kerja setiap hari (jam) | M = konsentrasi rata-rata material |
| T _o = Total siklus waktu dalam satu kali kerja (menit) | α = Koefisien material |
| T ₅ = waktu overflow (menit) | T ₁ = waktu untuk mengeruk (menit) |
| Q _p = kapasitas pompa (m ³ /jam) | |

Perhitungan produksi per hari, dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

- Capital Dredging di alur sungai CBL (River Channel)
- Capital Dredging di muara sungai CBL (Estuary Channel)
- Maintenance Dredging Sungai CBL

Data tetap yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan produksi per hari, yaitu:

- | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|
| 1. Jenis Material (Tanah) : | Endapan lumpur dan pasir | | |
| 2. Kapasitas hopper pada kapal : | 1100 | m ³ | |
| 3. Kapasitas pompa pada kapal : | 2 unit | @ 2750 | m ³ /jam |
| 4. Kecepatan kapal : | saat mengeruk = | 3 knot | = 5,56 km/jam |
| | saat berlayar = | 10 knot | = 18,52 km/jam |

a. Capital Dredging di alur sungai CBL (River Channel)

Jarak dari lokasi kerja ke lokasi buang = 0 km

Metode pembuangan = Onshore - Rainbowing or with floating and land pipeline

Perhitungan siklus waktu yang dibutuhkan untuk pengerukan dalam satu kali kerja, yaitu:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \text{waktu pengerukan} &= & \frac{\text{kapasitas hopper}}{\text{kapasitas pompa/menit}} \\
 & &= & \frac{1100}{(2 \cdot 2750)/60} \text{ menit} \\
 & &= & \frac{1100}{91,67} \\
 & &= & 12 \\
 \\
 T_2 &= \text{waktu berlayar} &= & \frac{\text{kecepatan berlayar/menit} \cdot \text{jarak ke lokasi pembuangan}}{\text{jarak ke lokasi pembuangan}} \\
 & &= & \frac{(60/18,52) \cdot 0,00}{0} \\
 & &= & 0 \\
 \\
 T_3 &= \text{waktu pembuangan} &= & \frac{\text{kapasitas hopper}}{\text{kapasitas pompa/menit}} \\
 & &= & \frac{1100}{(2 \cdot 2750)/60} \text{ menit} \\
 & &= & \frac{1100}{91,67} \\
 & &= & 12 \text{ menit} \\
 \\
 T_4 &= \text{waktu lain-lain (manuver dan lain-lain)} &= & 10 \text{ menit} \\
 \\
 T_5 &= \text{waktu overflow} &= & 10 \text{ menit} \\
 \\
 T_O &= \text{Total Waktu} &= & T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\
 & &= & 44,00
 \end{aligned}$$

Perhitungan volume produksi maksimum pengerukan per hari, yaitu:

$$\begin{aligned}
 H &= 24 \text{ jam} & Q_p &= 2 \cdot 2750 \\
 T_O &= 44 \text{ menit} & &= 5500 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 T_5 &= 10 \text{ menit} & &= 91,67 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 T_1 &= 12 \text{ menit} & M &= 0,25 \\
 & & \alpha &= 0,15, \text{ koefisien untuk endapan lumpur}
 \end{aligned}$$

$$V = \frac{H \times 60}{T_O + T_5} \times \left[Q_p \times M \times T_1 + \frac{Q_p \times \alpha}{M} (1 - e^{-\alpha \times T_5}) \right]$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{24 \times 60}{44 + 10} \times [91,67 \times 0,25 \times 12 + (91,67 \times 0,15) / 0,25 \times (1 - e^{-0,15 \times 10})] \\
 &= \frac{1440}{54} \times 317,728
 \end{aligned}$$

$$V = 8472,74 \text{ m}^3/\text{hari}$$

b. Capital Dredging di muara sungai CBL (Estuary Channel)

Jarak dari lokasi kerja ke lokasi buang = 22,224 km ≈ 12 mil laut

Metode pembuangan = Offshore - Bottom Dumping Door

Perhitungan siklus waktu yang dibutuhkan untuk pengerukan dalam satu kali kerja, yaitu:

T_1	=	waktu pengerukan	=	$\frac{\text{kapasitas hopper}}{\text{kapasitas pompa/menit}}$	
			=	$\frac{1100}{(2 \times 2750)/60}$	menit
			=	$\frac{1100}{91,67}$	
			=	12	
T_2	=	waktu berlayar	=	$\frac{\text{kecepatan berlayar/menit} \times \text{jarak ke lokasi pembuangan}}{\text{kecepatan berlayar/menit}}$	menit
			=	$\frac{(60/18,52) \times 22,22}{72}$	menit
		waktu bolak-balik	=	144	
T_3	=	waktu pembuangan (via bottom dumping door)	=	8	menit
T_4	=	waktu lain-lain (manuver dan lain-lain)	=	10	menit
T_5	=	waktu overflow	=	10	menit
T_0	=	Total Waktu	=	$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$	
			=	184,00	

Perhitungan volume produksi maksimum pengerukan per hari, yaitu:

H	=	24 jam	Q_p	=	2×2750
T_0	=	184 menit		=	$5500 \text{ m}^3/\text{jam}$
T_5	=	10 menit		=	$91,67 \text{ m}^3/\text{menit}$
T_1	=	12 menit	M	=	0,25
			α	=	0,15 , koefisien untuk endapan lumpur

$$V = \frac{H \times 60}{T_0 + T_5} \times \left[Q_p \times M \times T_1 + \frac{Q_p \times \alpha}{M} (1 - e^{-\alpha \times T_5}) \right]$$

$$V = \frac{24 \times 60}{184 + 10} \times [91,67 \times 0,25 \times 12 + (91,67 \times 0,15) / 0,25 \times (1 - e^{-0,15 \times 10})]$$

$$V = \frac{1440}{194} \times 317,728$$

$$V = 2358,39 \text{ m}^3/\text{hari}$$

c. Maintenance Dredging di Sungai CBL

Jarak dari lokasi kerja ke lokasi buang = 52,224 km ≈ 28,198 mil laut

Metode pembuangan = Offshore - Bottom Dumping Door

Perhitungan siklus waktu yang dibutuhkan untuk pengerukan dalam satu kali kerja, yaitu:

T_1	=	waktu pengerukan	=	$\frac{\text{kapasitas hopper}}{\text{kapasitas pompa/menit}}$	
				$\frac{1100}{(2 \times 2750)/60}$	menit
				$\frac{1100}{91,67}$	
				12	
T_2	=	waktu berlayar	=	$\frac{\text{kecepatan berlayar/menit} \times \text{jarak ke lokasi pembuangan}}{\text{kecepatan berlayar/menit}}$	menit
				$\frac{(60/18,52) \times 52,22}{169,19}$	menit
		waktu bolak-balik	=	338,38	
T_3	=	waktu pembuangan (via bottom dumping door)	=	8	menit
T_4	=	waktu lain-lain (manuver dan lain-lain)	=	10	menit
T_5	=	waktu overflow	=	10	menit
T_0	=	Total Waktu	=	$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$	
			=	378,38	

Perhitungan volume produksi maksimum pengerukan per hari, yaitu:

H	=	24 jam	Q_p	=	2×2750
T_0	=	378 menit		=	5500 m ³ /jam
T_5	=	10 menit		=	91,67 m ³ /menit
T_1	=	12 menit	M	=	0,25
			α	=	0,15 , koefisien untuk endapan lumpur

$$V = \frac{H \times 60}{T_0 + T_5} \times \left[Q_p \times M \times T_1 + \frac{Q_p \times \alpha}{M} (1 - e^{-\alpha \times T_5}) \right]$$

$$V = \frac{24 \times 60}{378 + 10} \times [91,67 \times 0,25 \times 12 + (91,67 \times 0,15) / 0,25 \times (1 - e^{-0,15 \times 10})]$$

$$= \frac{1440}{388,3844492} \times 317,728$$

$$V = 1178,03 \text{ m}^3/\text{hari}$$

I.3 Lama waktu pengerjaan pengerukan

a. Capital Dredging di alur sungai CBL (River Channel)

$$\begin{aligned} \text{Total volume pekerjaan} &= 1.641.856,15 \text{ m}^3 \\ \text{Volume produksi maksimum pengerukan per hari} &= 8.472,74 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Jadi, pengerjaan Capital Dredging di alur sungai CBL} &= \frac{\text{Total volume pekerjaan}}{\text{Volume produksi maksimum}} \\ \text{(River Channel) dapat diselesaikan dalam waktu} &= \frac{1.641.856,15}{8.472,74} \\ &= 193,78 \\ &= 194 \text{ hari} \\ &= 6,5 \text{ bulan} \end{aligned}$$

b. Capital Dredging di muara sungai CBL (Estuary Channel)

$$\begin{aligned} \text{Total volume pekerjaan} &= 442.063,45 \text{ m}^3 \\ \text{Volume produksi maksimum pengerukan per hari} &= 2.358,39 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Jadi, pengerjaan Capital Dredging di alur sungai CBL} &= \frac{\text{Total volume pekerjaan}}{\text{Volume produksi maksimum}} \\ \text{(River Channel) dapat diselesaikan dalam waktu} &= \frac{442.063,45}{2.358,39} \\ &= 187,44 \\ &= 188 \text{ hari} \\ &= 6,3 \text{ bulan} \end{aligned}$$

c. Maintenance Dredging Sungai CBL

$$\begin{aligned} \text{Total volume pekerjaan} &= 172.500,00 \text{ m}^3 \\ \text{Volume produksi maksimum pengerukan per hari} &= 1.178,03 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Jadi, pengerjaan Capital Dredging di alur sungai CBL} &= \frac{\text{Total volume pekerjaan}}{\text{Volume produksi maksimum}} \\ \text{(River Channel) dapat diselesaikan dalam waktu} &= \frac{172.500,00}{1.178,03} \\ &= 146,43 \\ &= 147,00 \text{ hari} \\ &= 4,9 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Jadi, lama aktu pengerjaan pengerukan

a. Capital Dredging (River Channel + Estuary Channel)

$$\begin{aligned} &= 194 + 188 \text{ hari} \\ &= 382 \text{ hari} \\ &= 12,7 \text{ bulan} \end{aligned}$$

b. Maintenance Dredging Sungai CBL

$$\begin{aligned} &= 147 \text{ hari} \\ &= 4,9 \text{ bulan} \end{aligned}$$

I.4 Payload Requirement

Kapasitas Hopper =	1100	m ³	Massa jenis lumpur =	0,746 ton/m ³
			Ref: IMSBC Code Resolution MSC.268(85) Amended by Resolution MSC.318(89) - Appendix 1 - CLAY	
Payload = 1100 x 0,873			Massa jenis air tawar =	1,000 ton/m ³ (FW)
= 960,3 ton			Massa jenis air laut =	1,025 ton/m ³ (SW)
			Massa jenis rata-rata =	0,873 ton/m ³ (FW)
			Massa jenis rata-rata =	0,886 ton/m ³ (SW)

I.5 Voyage Observation

Ref: Laporan Utama Perencanaan dan Detail Pengendalian Banjir Kali CBL (2008), Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air

Rute Pelayaran = Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)

Radius Pelayaran = 52,224 km = 28,2 mil laut

Kondisi Perairan Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)

Panjang =	30.000 m	atau	30 km
Lebar =	50 m	sampai	100 m
Kedalaman =	4 m	sampai	7 m

I.6 Deadweight (DWT) Requirement

Kapasitas Hopper =	1100	m ³	
(FW)			(SW)
Payload (ton) = 1100 x 0,873			Payload (ton) = 1100 x 0,886
= 960,30 ton			= 974,05 ton
(ambil payload terbesar saat berada pada perairan laut)			

DWT = 1.05 x Payload

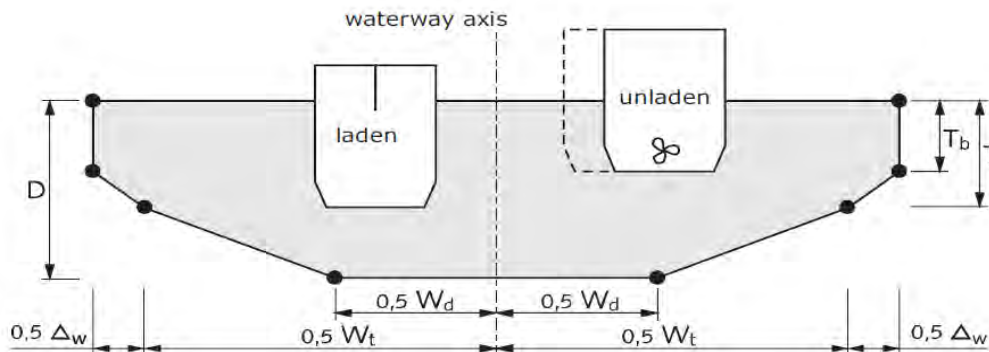
Ref: Designing Dredging Equipment, Delft University of Technology (September 2006)

= 1,1 * 974,05
= 1071,46 ton
= 1100 ton (pembulatan)

I.7 Waterway Constraint

I.7.1 Width and Depth Waterway Constraint Calculation

Ref. Waterway Guidelines 2011 (Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu)



W_w = The minimum waterway breadth required

$$= W_t + \Delta_w$$

$$= 50 \text{ m}$$

W_d = The minimum waterway bottom breadth required

W_t = The minimum waterway breadth required in the keel plane of a loaded vessel

Δ_w = Side wind increment

D = Minimum waterway depth

$$= 4 \text{ m}$$

T = Draft of loaded vessel

T_b = Draft of unloaded vessel

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

The Typical of waterway : Two-line (Narrow)

B_{max} = The maximum vessel breadth required

T_{max} = The maximum vessel draft required

$$W_w = W_t + \Delta_w$$

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

$$W_w = (3 \times B_{max}) + \Delta_w$$

$$B = (W_w - \Delta_w) / 3$$

$$\Delta_w = 0.05 \times L$$

$$= 2,54057 \text{ m}$$

$$B = 12,4469$$

$$B_{max} = 15,8198 \text{ m (maximum vessel breadth)} \quad \text{STATUS : ACCEPTED}$$

$$D = 1.2 \times T$$

$$T = D / 1.2$$

$$T = 3,33333 \text{ m (maximum vessel draft)}$$

$$B = 3,14155$$

$$\text{STATUS : ACCEPTED}$$

1.8 Parent Ships

Data Kapal Pemanding											Constraint:			
	Name	DWT (ton)	Dis. (ton)	L _{PP} (m)	B (m)	T (m)	H (m)	V _S (kn)	C _D	C _B	L/B	B/T	L/T	
1	CONTENDER	4375	6093,315	88,4	15,5	5,53	6	11	0,718	0,785	5,70	2,80	15,99	TRUE
2	BARITO EQUATOR	3755,00	4618,696	76,10	16,20	4,60	5,60	11,2	0,813	0,795	4,70	3,52	16,54	TRUE
3	Damen TSHD 2000	3030,00	3650,602	66,10	16,20	4,60	5,60	11,2	0,830	0,723	4,08	3,52	14,37	TRUE
4	Damen TSHD 1500	2240,00	2660,333	68,90	14,00	4,20	5,00	11,2	0,842	0,641	4,92	3,33	16,40	TRUE
5	OMVAC DIEZ	1450,00	1840,102	67,65	12,90	4,00	4,75	9,5	0,788	0,514	5,24	3,23	16,91	TRUE
7	SOMMERS	1700,00	2091	58,40	14,00	4,25	5,00	11,5	0,813	0,587	4,17	3,29	13,74	TRUE
8	Damen TSHD 650	1020,00	1669	55,60	12,00	3,18	4,00	10,0	0,611	0,768	4,63	3,77	17,48	TRUE
9	INGULSKYI	875,00	1080,247	55,25	11,00	3,18	4,00	8,5	0,810	0,545	5,02	3,46	17,37	TRUE
10	NATUNA	920,00	1530,782	55,25	11,80	3,80	4,60	10,7	0,601	0,603	4,68	3,11	14,54	TRUE
11	HALMAHERA	2531,70	3144,969	85,85	16,00	5,30	8,00	13,0	0,805	0,421	5,37	3,02	16,20	TRUE
12	BALI II	4365,00	5246,394	115,10	18,00	7,90	10,30	13,0	0,832	0,313	6,39	2,28	14,57	TRUE
13	MEOTIDA	974,00	1199,507	55,25	11,00	3,18	4,00	9,7	0,812	0,606	5,02	3,46	17,37	TRUE

C_D (*Coefficient Displacement*) adalah koefisien perbandingan antara DWT dan *displacement* (ton) pada keadaan muatan penuh di *Summer Loaded Waterline* (SLWL).

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

Ref: Ship and Performance for Masters and Mates, page 4.

II. Penentuan Ukuran Utama Awal

II.1 The Geosim Procedure

Ref: Ship and Performance for Masters and Mates, page 7.

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*). Metode ini pun biasa digunakan untuk menentukan ukuran utama pada kapal jenis baru dikarenakan keberadaan kapal yang masih terbatas dengan menggunakan perbandingan geometris ukuran utama (K).

Data yang dibutuhkan untuk menggunakan metode ini adalah ukuran utama kapal (L, B, T, dan H) dengan C_D (Coefficient Displacement) dan C_B (Coefficient Block) yang hampir serupa.

> **Metode Geosim dapat dihitung dengan persamaan:**

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

$L_2/L_1 = K$ = Koefisien perbandingan geometris suatu kapal

W_2 = DWT kapal yang akan dicari (ton)

W_1 = DWT kapal *parent ship* (ton)

$$L_2 = L_1 \times K \quad (\text{m})$$

$$B_2 = B_1 \times K \quad (\text{m})$$

$$T_2 = T_1 \times K \quad (\text{m})$$

$$H_2 = H_1 \times K \quad (\text{m})$$

II.2 Perhitungan Ukuran Utama Awal Menggunakan Metode *The Geosim Procedure*

II.2.1 Parent Ship = Barito Equator

$$W_1 = 3.755,00 \text{ ton}$$

$$\Delta_1 = 4.618,70 \text{ ton}$$

$$L_1 = 76,10 \text{ m}$$

$$B_1 = 16,20 \text{ m}$$

$$T_1 = 4,60 \text{ m}$$

$$H_1 = 5,60 \text{ m}$$

$$C_D = 0,81$$

$$C_B = 0,79$$

$$W_2 = 1.100,00 \text{ ton}$$

$$\Delta_2 = \text{DWT} / C_D$$

$$C_D = 0,81$$

$$\Delta_2 = 1100 / 0,813$$

$$= 1.353,01 \text{ ton}$$

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

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

$$L_2/L_1 = (1100 / 3755)^{1/3}$$

$$L_2/L_1 = 0,6641$$

$$K = 0,6641$$

$$L_2 = L_1 \times K = 76,10 \times 0,6641 = 50,541 \text{ m}$$

$$B_2 = B_1 \times K = 16,20 \times 0,6641 = 10,759 \text{ m}$$

$$T_2 = T_1 \times K = 4,60 \times 0,6641 = 3,055 \text{ m}$$

$$H_2 = H_1 \times K = 5,60 \times 0,6641 = 3,719 \text{ m}$$

Displacement Check

$$\Delta_2 = L_2 \times B_2 \times T_2 \times C_B \times \rho$$

$$= 50,54 \times 10,76 \times 3,06 \times 0,795 \times 1,025$$

$$= 1.353,01 \text{ ton}$$

$$= \text{Displacement Sesuai}$$

II.2.2 Parent Ship = Contender

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 4.375,00 \text{ ton} \\
 \Delta_1 &= 6.093,31 \text{ ton} \\
 L_1 &= 88,40 \text{ m} \\
 B_1 &= 15,50 \text{ m} \\
 T_1 &= 5,53 \text{ m} \\
 H_1 &= 6,00 \text{ m} \\
 C_D &= 0,72 \\
 C_B &= 0,78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= 1.100,00 \text{ ton} \\
 \Delta_2 &= \text{DWT} / C_D \\
 C_D &= 0,72 \\
 \Delta_2 &= 1100 / 0,718 \\
 &= 1.532,03 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (L_2/L_1)^3 &= W_2/W_1 \\
 L_2/L_1 &= (W_2/W_1)^{1/3} \\
 L_2/L_1 &= (1100 / 4375)^{1/3} \\
 L_2/L_1 &= 0,63 \\
 K &= 0,63
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_2 &= L_1 \times K = 88,40 \times 0,6312 = 55,794 \text{ m} \\
 B_2 &= B_1 \times K = 15,50 \times 0,6312 = 9,783 \text{ m} \\
 T_2 &= T_1 \times K = 5,53 \times 0,6312 = 3,490 \text{ m} \\
 H_2 &= H_1 \times K = 6,00 \times 0,6312 = 3,787 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Displacement Check

$$\begin{aligned}
 \Delta_2 &= L_2 \times B_2 \times T_2 \times C_B \times \rho \\
 &= 55,79 \times 9,78 \times 3,49 \times 0,785 \times 1,025 \\
 &= 1.532,03 \text{ ton} \\
 &= \text{Displacement Sesuai}
 \end{aligned}$$

II.2.3 Parent Ship = Damen TSHD 650

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 1.020,00 \text{ ton} \\
 \Delta_1 &= 1.669,39 \text{ ton} \\
 L_1 &= 55,60 \text{ m} \\
 B_1 &= 12,00 \text{ m} \\
 T_1 &= 3,18 \text{ m} \\
 H_1 &= 4,00 \text{ m} \\
 C_D &= 0,61 \\
 C_B &= 0,77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= 1.100,00 \text{ ton} \\
 \Delta_2 &= \text{DWT} / C_D \\
 C_D &= 0,61 \\
 \Delta_2 &= 1100 / 0,611 \\
 &= 1.800,33 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (L_2/L_1)^3 &= W_2/W_1 \\
 L_2/L_1 &= (W_2/W_1)^{1/3} \\
 L_2/L_1 &= (1100 / 1020)^{1/3} \\
 L_2/L_1 &= 1,03 \\
 K &= 1,03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_2 &= L_1 \times K = 55,60 \times 1,0255 = 57,017 \text{ m} \\
 B_2 &= B_1 \times K = 12,00 \times 1,0255 = 12,306 \text{ m} \\
 T_2 &= T_1 \times K = 3,18 \times 1,0255 = 3,261 \text{ m} \\
 H_2 &= H_1 \times K = 4,00 \times 1,0255 = 4,102 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Displacement Check

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= L_2 \times B_2 \times T_2 \times C_B \times \rho \\ &= 57,02 \times 12,31 \times 3,26 \times 0,768 \times 1,025 \\ &= 1.800,33 \text{ ton} \\ &= \text{Displacement Sesuai}\end{aligned}$$

II.2.4 Parent Ship = Natuna

$$\begin{aligned}W_1 &= 920,00 \text{ ton} \\ \Delta_1 &= 1.530,78 \text{ ton} \\ L_1 &= 55,25 \text{ m} \\ B_1 &= 11,80 \text{ m} \\ T_1 &= 3,80 \text{ m} \\ H_1 &= 4,60 \text{ m} \\ C_D &= 0,60 \\ C_B &= 0,60\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_2 &= 1.100,00 \text{ ton} \\ \Delta_2 &= \text{DWT} / C_D \\ C_D &= 0,60 \\ \Delta_2 &= 1100 / 0,601 \\ &= 1.830,28 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(L_2/L_1)^3 &= W_2/W_1 \\ L_2/L_1 &= (W_2/W_1)^{1/3} \\ L_2/L_1 &= (1100 / 920)^{1/3} \\ L_2/L_1 &= 1,06 \\ K &= 1,06\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_2 &= L_1 \times K = 55,25 \times 1,0614 = 58,641 \text{ m} \\ B_2 &= B_1 \times K = 11,80 \times 1,0614 = 12,524 \text{ m} \\ T_2 &= T_1 \times K = 3,80 \times 1,0614 = 4,033 \text{ m} \\ H_2 &= H_1 \times K = 4,60 \times 1,0614 = 4,882 \text{ m}\end{aligned}$$

Displacement Check

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= L_2 \times B_2 \times T_2 \times C_B \times \rho \\ &= 58,64 \times 12,52 \times 4,03 \times 0,603 \times 1,025 \\ &= 1.830,28 \text{ ton} \\ &= \text{Displacement Sesuai}\end{aligned}$$

II.3 Rekapitulasi Penentuan Ukuran Utama Awal (The Geosim Procedure)

	Barito Equator	Contender	Damen TSHD 650	Natuna
L _{PP} (m)	50,541	55,794	57,017	58,641
B (m)	10,759	9,783	12,306	12,524
T (m)	3,055	3,490	3,261	4,033
H (m)	3,719	3,787	4,102	4,882

III. Main Dimension

III.1 Owner Requirement

Jenis Kapal = Dredger
 Jenis Muatan = Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)
 Payload = 974 ton
 Kecepatan Dinas = 10 kn 5,14444 m/s
 Rute Pelayaran = Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)
 Radius Pelayaran = 52,224 km 28,1987 mil laut
 Daerah Pelayaran = Perairan Domestik (Indonesia)

III.2 Dimensions (The Geosim Method)

$L_{PP} = 50,54 \text{ m}$
 $B = 10,76 \text{ m}$
 $T = 3,06 \text{ m}$
 $H = 3,72 \text{ m}$

$\rho_{FW} = 1,000 \text{ ton/m}^3$ (Fresh water at 15°C)
 $\rho_{SW} = 1,025 \text{ ton/m}^4$ (Salt water at 15°C)
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

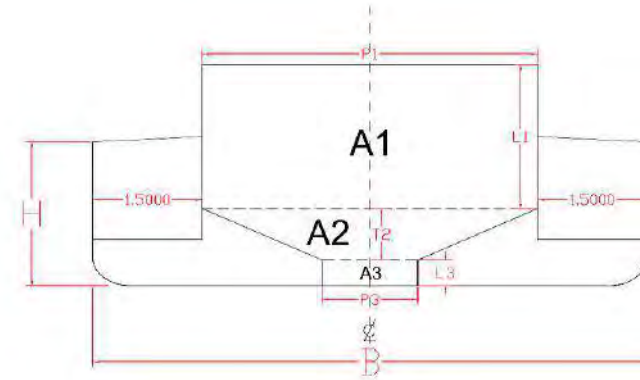
III.3 Dimensions (Solved)

$L_{PP} = 50,81 \text{ m}$
 $B = 12,45 \text{ m}$
 $T_{FW} = 3,14 \text{ m}$
 $T_{SW} = 3,06 \text{ m}$
 $H = 4,78 \text{ m}$

III.4 Cargo Hold Layout

Kapasitas Hopper = 1100 m³
 Payload = 960,30 ton

Dimensi Kapal
 L = 50,81 m
 B = 12,45 m
 H = 4,78 m
 H_{SS&DH} = 7,50 m



Batasan

Ruangan Kosong di samping ruang muat, B_{min} = 1,5 m
 simetris kanan dan kiri (2 x B_{min}) = 3 m

A1 = P1 x L1
 A2 = ((P1+P3) x T2) / 2
 A3 = P3 x L3

Dengan asumsi awal, total panjang ruang muat = 50% dari panjang Lpp

Length of Cargo Hold (L_{CH}) = ~50% * 50,81
 = 27 m

Height of Cargo Hold (H_{CH}) = L1 + T2 + L3
 = 6,5 m

maka, untuk memenuhi kapasitas hopper sebesar 1100 m³ dibutuhkan luas penampang melintang ruang muat sebesar:

Total Luasan = 1100,00 / 27,00
 = 40,74074 m²

Variasi Ruang Muat									
Variasi	A1		A2			A3		Total Luasan (A1 + A2 + A3) (m ²)	Batasan STATUS
	P1 (m)	L1 (m)	P1 (m)	P3 (m)	T2 (m)	P3 (m)	L3 (m)		
Variasi 1	8	4	8	2,5	1,25	2,5	0,8	40,5625	REJECTED
Variasi 2	9,5	4,2	9,5	2	1,25	2	0,8	48,6875	REJECTED
Variasi 3	8,4	4,45	8,4	2,5	1,25	2,5	0,8	46,19	ACCEPTED

Status = ACCEPTED

Variasi = 3

OPTIMIZATION - FRESH WATER

Changing Variable

	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Main Dimension	Length	m	L	50,541	50,811	58,641	ACCEPTED
	Breadth	m	B	9,783	12,447	12,524	ACCEPTED
	Draft	m	T	3,055	3,142	4,033	ACCEPTED
	Height	m	H	3,719	4,779	4,882	ACCEPTED
	Cb			0,78	0,797	0,85	ACCEPTED

Constraint

	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Froude Number	$F_n = V / (g \times L_{pp})^{0.5}$		F_n	0,214	0,226	0,231	ACCEPTED
Ratio	Length / Breadth		L/B	3,9	4,082	15	ACCEPTED
	Breadth / Draft		B/T	1,8	3,962	5	ACCEPTED
	Length / Draft		L/T	10	16,174	30	ACCEPTED
Freeboard	Minimum freeboard	mm	F_s	0,949	1,637		ACCEPTED
Waterway Constraint	Maximum vessel draft	m	T_{max}		3,142	3,33333	ACCEPTED
	Maximum vessel breadth	m	B_{max}		12,447	15,820	ACCEPTED

Objective Function

	ITEM	UNIT	VALUE
Building Cost	Direct Cost	\$	1.040.968,38
	Indirect Cost	\$	77.329,08
	Margin Cost	\$	59.483,91
	Total Cost	\$	1.177.781,36

SUMMARY - SEA WATER			
Owner Requirement			
Jenis Kapal =	Dredger		
Tipe =	Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)		
Payload =	1100 ton		
Kecepatan Dinas =	10 kn		
Rute Pelayaran =	Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)		
Radius Pelayaran =	28,199 nm		
Daerah Pelayaran =	Perairan Domestik (Indonesia)		
Main Dimension			
Length (L) =	50,811 m		
Length of Waterline (L _{WL}) =	52,844 m		
Breadth (B) =	12,447 m		
Waterway Draft (T _{FW}) =	3,142 m		
Oceangoing Draft (T _{SW}) =	3,065 m		
Height (H) =	4,779 m		
Displacement (\bar{v}) =	1646,856 m ³		
Displacement (Δ) =	1646,856 ton		
Ratio and Coefficient			
L/B =	4,082		
B/T =	3,962		
L/T =	16,174		
C _B =	0,797		
C _M =	0,993		
C _P =	0,802		
C _{WP} =	0,872		
Resistance and Powering			
R _T =	64,398 kN		
P _{Req.} =	510,879 x 2 kW		
P _{MainEngine} =	551 x 2 kW	MAN-D2862 (Heavy Duty)	
P _{GenReq.} =	127,720 x 2 kW		
P _{Generator} =	150 x 2 kW	CAT C7.1 ACERT Marine Generator Set	
Mass and Center of Mass			
DWT =	1085,038 ton		
LWT =	517,787 ton		
LWT + DWT =	1602,825 ton		
LCB =	25,400 m (FP)		
LCG =	25,807 m (FP)		
Freeboard =	1637,250 m		
Trim =	0,364 m (Trim Buritan)		
Building Cost			
\$ Direct =	\$1.040.968,38		
\$ Indirect =	\$77.329,08		
\$ Margin =	\$59.483,91		
\$ Total =	\$1.177.781,36		
Rp Total =	Rp16.106.160.125		

IV. Ratio and Coefficient Calculation

Input Data :

$$\begin{aligned}
 L_{PP} &= 50,81 \text{ m} \\
 B &= 12,45 \text{ m} \\
 T &= 3,14 \text{ m} \\
 H &= 4,78 \text{ m} \\
 V_s &= 10,00 \text{ kn} \\
 &= 5,14 \text{ m/s} \\
 \rho &= 1,000 \text{ ton/m}^3 \\
 g &= 9,81 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan rasio dan koefisien menggunakan referensi:

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. I - Stability and Strength.

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. II - Resistance, Propulsion, and Vibration.

Ref: Parametric Design - Chapter 11.

IV.1 Dimension Ratios

IV.1.1 Length-Beam Ratio (L/B)

Ref: PNA Vol. I, page 19 and Reference Manual Maxsurf Resistance, page 54

The L/B ratio has significant influence on hull resistance and maneuverability.

Ratio of L/B approximate range 3.9 to 15.

$$\begin{aligned}
 \text{Ratio L/B} &= 50,81 / 12,45 \\
 &= 4,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constraint} &= 3,9 < 4,1 < 15 \\
 &= \text{Accepted}
 \end{aligned}$$

IV.1.2 Beam-Draft Ratio (B/T)

Ref: PNA Vol. I, page 19. and Parametric Design Chap. 11, page 9.

The B/T ratio has significant influence on initial intact transverse stability.

Ratio of B/T approximate range 1.8 to 5.

$$\begin{aligned}
 \text{Ratio B/T} &= 12,45 / 3,14 \\
 &= 4,0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constraint} &= 1,8 < 4,0 < 5 \\
 &= \text{Accepted}
 \end{aligned}$$

IV.1.3 Length-Draft Ratio (L/T)

Ref: PNA Vol. I, page 19.

The L/T ratio is primarily important in its influence on longitudinal strength.

Ratio of L/T approximate range 10 to 30.

$$\begin{aligned}
 \text{Ratio L/T} &= 50,81 / 3,14 \\
 &= 16,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constraint} &= 10 < 16,2 < 30 \\
 &= \text{Accepted}
 \end{aligned}$$

IV.2 Coefficient Calculation

IV.2.1 Froude Number (Fn)

Ref: PNA Vol. II, page 5.

Froude Number (Fn) has close association with the concept of speed-length ratio.

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{V}{\sqrt{gL_w}} \\ &= 10,00 / ((9,81 \times 52,84)^{0.5}) \\ &= 0,226 \end{aligned}$$

IV.2.2 Block Coefficient (C_B)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 10-11.

The block coefficient C_B measures the fullness of the submerged hull, the ratio of the hull volume to its surrounding parallelepiped L x B x T. (Schneekluth and Bertram)

For vessels in the range 0.15 ≤ Fn ≤ 0.32:

$$\begin{aligned} C_B &= -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \\ &= -4.22 + 27.8 \sqrt{(0,226)} - 39.1 (0,226) + 46.6 (0,226)^3 \\ &= 0,797 \\ C_B \text{ Min} &= 0,78 \\ C_B \text{ Max} &= 0,85 \end{aligned}$$

Ref: Designing Dredging Equipment, Chapter 2 Trailing Suction Hopper Dredger, page 20, Prof. Ir. W. J. Vlasblom (May 2007)

IV.2.3 Midship Section Coefficient (C_M)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 12.

The midship section coefficient C_M measures the fullness of the area of maximum section (midship section), the ratio of the midship section area to its surrounding area B x T. (Schneekluth and Bertram)

$$\begin{aligned} C_M &= 1.006 - 0.0056 C_B^{-3.56} \\ &= 1.006 - 0.0056 (0,80)^{-3.56} \\ &= 0,993 \end{aligned}$$

IV.2.4 Longitudinal Prismatic Coefficient (C_P)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 13 and 10.

The longitudinal prismatic coefficient C_P describes the distribution of volume along the hull form with the taper in the entrance and run. If C_B as the principal hull form coefficient and then estimates C_M, C_P can be obtained using this equation C_B = C_P x C_M

$$\begin{aligned} C_P &= C_B / C_M \\ &= 0,797 / 0,993 \\ &= 0,802 \end{aligned}$$

IV.2.5 Waterplane Coefficient (C_{WP})

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 14 and 16.

The waterplane coefficient C_{WP} measures the fullness of the area of waterplane the ratio of the waterplane area to its surrounding area at waterline $B \times L$. (For twin screw, and cruiser stern)

$$\begin{aligned} C_{WP} &= 0.262 + 0.760 C_P \\ &= 0.262 + 0.760 (0,802) \\ &= 0,872 \end{aligned}$$

IV.3 Displacement Calculation**IV.3.1 Volume Displacement (V)**

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 3.

Volume displacement (V) describes the moulded volume (m^3) of the submerged hull at waterline.

$$\begin{aligned} V &= L \times B \times T \times C_B \\ &= 52,84 \times 12,45 \times 3,14 \times 0,797 \\ &= 1646,86 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

IV.3.2 Displacement (Δ)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 3.

Displacement (Δ) in ton describes the weight (ton) of the submerged hull at waterline.

ρ (fresh water density) = 1.000 ton/ m^3

$$\begin{aligned} \Delta &= L \times B \times T \times C_B \times \rho \\ &= 52,84 \times 12,45 \times 3,14 \times 0,797 \times 1,000 \\ &= 1646,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

IV.4 Length of Waterline (L_{WL})

$$\begin{aligned} L_{WL} &= 104 \% L_{PP} \\ &= 104 \% \times 50,81 \\ &= 52,8438 \text{ m} \end{aligned}$$

IV.5 Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 19.

The longitudinal center of bouyancy (LCB) affects the resistance and trim of the vessel. (Schneekluth and Bertram)

$$\begin{aligned} LCB &= 8.80 - 38.9 F_n \\ &= 8.80 - 38.9 \times 0,23 \\ &= 0,011 \% L \\ &= 0,0054 \text{ m (plus forward of amidship)} \\ &= 25,400 \text{ m (from FP)} \end{aligned}$$

V. Resistance Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$F_n =$	0,226
$T =$	3,14 m	$C_B =$	0,797
$H =$	4,78 m	$C_M =$	0,993
$V_S =$	10,00 kn	$C_P =$	0,802
$=$	5,14 m/s	$C_{WP} =$	0,872
$\rho =$	1,000 ton/m ³	$LCB =$	0,005 m (fwd. amidship)
$g =$	9,81 m/s ²	$=$	25,40 m (from FP)
$V =$	1646,86 m ³	$=$	0,011 % L
$\Delta =$	1646,86 ton		

Koreksi kecepatan kapal akibat pengaruh perairan dangkal (*shallow water*)

Ref: Hydrocom Technical Report (Report 124)

F_{NH}	0.0 - 0.4	0,6	0,8	1,0
Vs loss	0%	1%	4%	14%

$F_{NH} =$ Depth Froude Number

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

dengan: $V_{KT} =$ Ships speed (kn)

$H_M =$ Water depth (m)

$V_{KT} =$ 10,00 kn

$H_M =$ 4 m

$$F_{NH} = 0,164 \times 10,00 / (4,00^{0.5})$$

$$= 0,82$$

$F_{NH} 1 =$ 0,80

Vs loss = 4%

$F_{NH} 2 =$ 1,00

Vs loss = 14%

Interpolasi:

$$F_{NH} = 0,82$$

$$Vs \text{ loss} = \boxed{5} \%$$

Vs loss = 5 %

$V_s =$ 9,5 kn

Vs design = 10,5 kn

$=$ 5,40 m/s

Perhitungan hambatan kapal menggunakan "**Holtrop and Mennen Method**"

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. II - Resistance, Propulsion, and Vibration.

Total Resistance Formula :

Ref: PNA Vol. II, page 93.

$$R_T = 1/2 \rho V^2 S_{Tot} [C_F (1+k) + C_A] + R_W / W * W$$

- dengan :
- ρ = fresh water density (Masa jenis air tawar)
 - V = Ship velocity (Kecepatan kapal)
 - S_{Tot} = Total wetted surface of bare hull (Luas total permukaan basah)
 - C_F = Frictional Coefficient (Koefisien gesek)
 - $(1+k)$ = Form factor of bare hull (Faktor bentuk lambung)
 - C_A = Model-ship correlation allowance
 - R_W/W = Wave-making resistance
 - W = Weight Displacement (Displasemen ton)

V.1 Wave-making Resistance (R_w)

Ref: PNA Vol. II, page 92.

$$R_w/W = C_1 C_2 C_3 e^{m1 \times Fn^d} + m2 \cos(\lambda Fn^{-2})$$

Untuk kapal dengan kecepatan rendah ($Fn \leq 0.4$) maka menggunakan "Havelock Formula" (1913).

$$Fn = 0,226 < 0.4 \text{ maka menggunakan Havelock Formula}$$

V.1.1 C_1 Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92-93.

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

$$B/L = 0,236$$

Untuk ($0.11 \leq B/L \leq 0.25$), maka $C_4 = B/L$, yaitu :

$$C_4 = 0,236$$

$$(T/B)^{1.0796} = 0,226$$

$$\begin{aligned} iE &= 125.67(B/L) - 162.25Cp^2 + 234.32Cp^3 + 0.1551(LCB + (6.8(Ta-Tf)/T))^3 \\ &= (125.67 \times 0,236) - (162.25 \times 0,802^2) + (234.32 \times 0,802^3) + (0.1551 \times \\ &\quad (0,011 + (6.8 \times (3,14-3,14) / 3,14))^3) \\ &= 46,165 \text{ degree (a half angle of entrance of the load waterline)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 2223105 \times (0,236^{3.7861}) \times (0,226) \times (90-46,165)^{-1.3757} \\ &= 11,624 \end{aligned}$$

V.1.2 C_2 Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

C_2 = Koefisien pengaruh dari penggunaan bulbous bow

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

$$C_2 = 1 \quad \text{*karena tidak menggunakan bulbous bow}$$

V.1.3 C₃ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 93.*

C₃ = Koefisien pengaruh dari transom stern

$$C_3 = 1 - \frac{0,8 \times A_T}{B \times T \times C_m}$$

A_T = Luas transom pada saat kecepatan kapal nol
 = 0 m²

$$C_3 = 1 - ((0,8 \times 0) / (12,45 \times 3,14 \times 0,993))$$

$$= 1$$

V.1.4 Parameter d*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

$$d = -0,9 \text{ (untuk } Fn \leq 0.4)$$

V.1.5 C₅ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

C₅ = Koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (C_p)

Untuk kapal dengan C_p ≥ 0.8 maka C₅ dapat dihitung dengan formula:

$$C_5 = 1.7301 - 0.7067 \times C_p$$

$$= 1.7301 - (0.7067 \times 0,802)$$

$$= 1,163$$

V.1.6 C₆ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

C₆ = Koefisien dengan fungsi L³/V

$$L^3/V = 89,604$$

Untuk (L³/V ≤ 512), maka perhitungan C₆ adalah :

$$C_6 = -1,69385$$

V.1.7 m₁ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

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

$$= 0.01404 \times (52,84 / 3,14) - 1.7525 \times ((1646,86^{1/3}) / 52,84) -$$

$$4.7932 \times 0,236 - 1,16$$

$$= -2,448$$

V.1.8 m₂ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

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

$$= -1,69385 \times 0.4 \times \exp^{-0.034 \times (0,226^{(-3.29)})}$$

$$= -7,2513E-03$$

V.1.9 λ Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

$$\lambda = \text{Parameter yang berpengaruh terhadap fungsi } L/B$$

$$L/B = 4,08227$$

Untuk ($L/B < 12$), maka perhitungan λ adalah :

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B$$

$$= (1.446 * 0,802) - (0.03 * 4,082)$$

$$= 1,0488$$

V.1.10 W Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 64.*

$$W = \text{Gaya berat (berat displacement dalam kN)}$$

$$W = \rho \times g \times V$$

$$= 1,000 \times 9,81 \times 1646,86$$

$$= 16155,7 \text{ kN}$$

V.1.11 R_w/W Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

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

$$= 11,624 \times 1,0 \times 1,0 \times \exp^{(-2,448 \times (0,226^{-0,9}) + (-0,007) \times (\cos(1,049 \times 0,226^{-2})))}$$

$$= 0,00103$$

$$= 0,00102577$$

V.1.12 R_w Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

$$R_w = (R_w/W) * W$$

$$= 0,00102577 * 16155,7$$

$$= 16,57 \text{ kN}$$

V.2 Form Factor of Bare Hull (1+k)*Ref: PNA Vol. II, page 91.* $1+k$ = Faktor bentuk lambung terhadap hambatan kapal

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

 $1+k_1$ = Effective factor of bare hull $1+k_2$ = Effective factor of appendages surface S_{app} = Total luasan penambahan permukaan basah S_{tot} = Total luasan permukaan basah

V.2.1 L/L_R Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 91.*

$$\begin{aligned}
L_R &= \text{Length of run} \\
L/L_R &= 1 / (L_R/L) \\
L_R/L &= 1 - C_p + 0.06C_p LCB / (4C_p - 1) \\
&= 1 - 0,802 + ((0.06 \times 0,802 \times 0,011) / (4 \times 0,802-1)) \\
&= 0,19797 \\
L/L_R &= 5,051
\end{aligned}$$

V.2.2 1+k₁ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 91.*

$$\begin{aligned}
1 + k_1 &= \text{Effective factor of bare hull} \\
&= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/L_R)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)} \\
c &= \text{Koefisien bentuk afterbody} \\
c &= 1 + 0.011C_{\text{stern}} \\
&= 1 \quad \text{for normal section shape} \\
C_{\text{stern}} &= -25 \quad \text{for pram with gondola} \\
C_{\text{stern}} &= -10 \quad \text{for V-shaped sections} \\
C_{\text{stern}} &= 0 \quad \text{for normal section shape} \\
C_{\text{stern}} &= 10 \quad \text{for U-shaped sections with Hogner stern}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
1 + k_1 &= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/L_R)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)} \\
&= 0.93 + (0.4871 \times 1) \times (0,24^{1.0681}) \times (3,14 / 52,84^{0.4611}) \times (5,05^{0.1216}) \times (89,60^{0.3649}) \times ((1 - 0,80)^{-0.6042}) \\
&= 1,403
\end{aligned}$$

V.2.3 1+k₂ Coefficient Calculation*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

$$\begin{aligned}
1 + k_2 &= \text{Effective factor of appendages surface} \\
&= \Sigma S_i (1+k_2)_i / \Sigma S_i
\end{aligned}$$

Faktor penambahan luasan permukaan basah (1+k₂)*Ref: PNA Vol. II, page 92.*

- 1.3 - 1.5 = Rudder of single-screw ship
- 1.5 - 2.0 = Skeg-type rudder of twin-screw ship
- 2,8 = Spade-type rudder of twin-screw ship
- 3,0 = Shaft brackets
- 2,0 = Bossings
- 1,4 = Bilge keels
- 2,8 = Stabilizer fins
- 2,0 = Shafts
- 2,7 = Sonar dome

Penambahan permukaan basah yang digunakan adalah:

$$(1+k_2)_i = 2,8 \text{ (Spade-type rudder of twin-screw ship)}$$

$$S_{kemudi} = \text{Luasan daun kemudi}$$

$$= C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L T) / 100)$$

Ref: BKI Vol. II, sec. 14 A.3, page 14-1.

$$C_1 = 1,0 \quad \text{for general}$$

$$C_2 = 1,0 \quad \text{for semi-spade rudders}$$

$$C_3 = 1,0 \quad \text{for NACA profile and plate rudder}$$

$$C_4 = 1,0 \quad \text{for rudder in the propeller jet}$$

$$S_{kemudi} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times ((1.75 \times 52,84 \times 3,14) / 100)$$

$$= 2,905 \text{ m}^2 \quad \text{@ daun kemudi}$$

$$= 5,810 \text{ m}^2 \quad \text{untuk dua daun kemudi}$$

$$\Sigma S_i = 5,810 \text{ m}^2$$

$$1 + k_2 = \Sigma S_i (1 + k_{2i}) / \Sigma S_i$$

$$= (5,81 \times 2,8) / 5,810$$

$$= 2,800$$

V.2.3 Total Wetted Surface Calculation (S_{tot})

Ref: PNA Vol. II, page 91-92.

$$S_{tot} = S + S_{app}$$

S = Wetted Surface Area

$$= L (2T + B) C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2863C_M - 0.003467$$

$$(B/T) + 0.3696C_{WP}) + 2.38 (A_T/C_B)$$

$$= 52,84 \times (2 \times 3,14 + 12,45) \times (0,993^{0.5}) \times (0.453 + (0.4425 \times 0,797) -$$

$$(0.2863 \times 0,993) - (0.003467 \times (12,45 / 3,14)) + (0.3696 \times 0,872)) + (2.38 \times$$

$$(0,000 / 0,80))$$

$$= 818,510 \text{ m}^2$$

$$S_{app} = 5,81 \text{ m}^2$$

$$S_{tot} = S + S_{app}$$

$$= 818,5 + 5,81$$

$$= 824,320 \text{ m}^2$$

Then, (1+k) Calculation :

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

$$= 1,40 + (2,80 - 1,40) \times 5,81 / 824,32$$

$$= 1,413$$

V.3 Friction Coefficient Calculation (C_F)

Ref: PNA Vol. II, page 90.

C_F = Kofisien gesek yang mempengaruhi hambatan kapal (ITTC-1957)

$$C_F = 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

Ref: PNA Vol. II, page 59.

Rn = Reynolds number

$$= V \times L_{WL} / \nu_S$$

ν_S = Kinematic viscosity for fresh water

$$= 1.13902 \times 10^{-6} \quad \text{m}^2/\text{sec}$$

$$Rn = (5,40 \times 52,84) / 1.13902 \times 10^{-6}$$

$$= 250605581,8$$

$$C_F = 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

$$= 0.075 / [\log (250605581,8) - 2]^2$$

$$= 0,00183$$

V.4 Correlation Allowance Calculation (C_A)

Ref: PNA Vol. II, page 93.

$$T/L_{WL} = 3,14 / 52,84$$

$$= 0,05945 > 0.04$$

Untuk ($T/L_{WL} > 0.04$), maka C_A adalah :

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

$$= 0.006 \times (52,84 + 100)^{-0.16} - 0.00205$$

$$= 0,00063$$

V.5 Viscous Resistance Coefficient Calculation (C_{VS})

Ref: PNA Vol. II, page 156.

C_{VS} = Viscous Resistance Coefficient

$$= C_F (1+k) + C_A$$

$$= (0,00183 \times 1,413) + 0,00063$$

$$= 0,00322$$

V.6 Suction Pipe Resistance

Ref: Designing Dredging Equipment, W.J. Vlasblom (2007), page 42-43

This suction pipe resistance is composed of several components:

V.6.1 The hydro-visco components

1. In the direction perpendicular of the pipe:

$$R_{\text{pipe}} = \text{Drag Force [N]}$$

$$R_{\text{pipe}} = C_D \times 1/2 \times \rho_w \times v \sin \beta \times |v \sin \beta| \times L \times D$$

dimana, C_D = Drag Coefficient

$$= 0,9$$

ρ_w = Density water

$$= 1000 \text{ kg/m}^3$$

v = Trail speed

$$= 1,543 \text{ m/s} \approx 3 \text{ knots}$$

$$\beta = \text{Pipe Angle } (0^\circ\text{-}45^\circ)$$

$$= 33^\circ \text{ (diambil sudut yang menghasilkan hambatan terbesar)}$$

$$L = \text{Pipe Length (Berdasarkan katalog pipa)}$$

$$= 30 \text{ m}$$

$$D = \text{Pipe Diameter (Berdasarkan katalog pipa)}$$

$$= 0,5 \text{ m}$$

$$R_{\text{pipe}} = 0,9 \times 1/2 \times 1000 \times 1,543 \sin 33 \times |1,543 \sin 33| \times 30 \times 0,5$$

$$= 16074,8 \text{ N}$$

$$= 16,0748 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai sudut yang menghasilkan nilai hambatan terbesar:

β	R_{pipe}		β	R_{pipe}	
	N	kN		N	kN
0	0,0	0,00	23	-11513,0	-11,51
1	11384,1	11,38	24	-13184,8	-13,18
2	13293,3	13,29	25	-281,6	-0,28
3	320,2	0,32	26	9349,1	9,35
4	-9208,4	-9,21	27	14705,5	14,71
5	-14783,9	-14,78	28	1179,9	1,18
6	-1255,2	-1,26	29	-7080,7	-7,08
7	6939,6	6,94	30	-15695,1	-15,70
8	15737,2	15,74	31	-2624,6	-2,62
9	2730,6	2,73	32	4888,7	4,89
10	-4758,3	-4,76	33	16074,8	16,07
11	-16077,3	-16,08	34	4500,6	4,50
12	-4628,9	-4,63	35	-2947,7	-2,95
13	2838,3	2,84	36	-15814,3	-15,81
14	15777,0	15,78	37	-6658,4	-6,66
15	6798,8	6,80	38	1412,2	1,41
16	-1332,6	-1,33	39	14934,5	14,93
17	-14860,3	-14,86	40	8926,2	8,93
18	-9067,5	-9,07	41	-404,5	-0,40
19	361,2	0,36	42	-13505,4	-13,51
20	13400,2	13,40	43	-11123,3	-11,12
21	11254,2	11,25	44	5,0	0,01
22	-1,3	0,00	45	11640,8	11,64
Nilai Maksimum			16,07 kN		
β			33°		

2. In the direction parallel of the pipe:

$$R_{\text{pipe}} = \text{Lift Force [N]}$$

$$R_{\text{pipe}} = C_L \times 1/2 \times \rho_w \times v \cos \beta \times |v \cos \beta| \times L \times D$$

dimana, C_L = Lift Coefficient

$$= 0,8$$

ρ_w = Density water

$$= 1000 \text{ kg/m}^3$$

v = Trail speed

$$= 1,543 \text{ m/s} \approx 3 \text{ knots}$$

β = Pipe Angle ($0^\circ\text{-}45^\circ$)

$$= 0^\circ \text{ (diambil sudut yang menghasilkan hambatan terbesar)}$$

L = Pipe Length (Berdasarkan katalog pipa)

= 30 m

D = Pipe Diameter (Berdasarkan katalog pipa)

= 0,5 m

$$R_{\text{pipe}} = 0,8 \times 1/2 \times 1000 \times 1,543 \cos 0 \times |1,543 \cos 0| \times 30 \times 0,5$$

$$= 14291,2 \text{ N}$$

$$= 14,2912 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai sudut yang menghasilkan nilai hambatan terbesar:

β	R_{pipe}		β	R_{pipe}	
	N	kN		N	kN
0	14291,2	14,29	23	-4057,431	-4,06
1	4171,98	4,17	24	2571,3855	2,57
2	-2474,92	-2,47	25	14040,866	14,04
3	-14006,6	-14,01	26	5980,9351	5,98
4	-6105,92	-6,11	27	-1219,684	-1,22
5	1149,93	1,15	28	-13242,37	-13,24
6	13175,4	13,18	29	-7997,216	-8,00
7	8122,67	8,12	30	340,03792	0,34
8	-302,549	-0,30	31	11958,217	11,96
9	-11864	-11,86	32	9945,6585	9,95
10	-10061,6	-10,06	33	-2,51914	0,00
11	0,27992	0,00	34	-10290,69	-10,29
12	10176,6	10,18	35	-11671,05	-11,67
13	11768,2	11,77	36	-234,0143	-0,23
14	267,204	0,27	37	8372,6263	8,37
15	-8247,82	-8,25	38	13035,946	13,04
16	-13106,6	-13,11	39	1016,0826	1,02
17	-1082,06	-1,08	40	-6356,819	-6,36
18	6231,22	6,23	41	-13931,62	-13,93
19	13970,2	13,97	42	-2286,425	-2,29
20	2379,93	2,38	43	4403,8459	4,40
21	-4287,47	-4,29	44	14286,727	14,29
22	-14290,1	-14,29	45	3943,8465	3,94
Nilai Maksimum			14,29 kN		
β			0 °		

Dari R_{pipe} pada kondisi 1 dan kondisi 2, didapatkan Rata-rata yaitu:

1. In the direction perpendicular of the pipe 16,0748 kN

2. In the direction parallel of the pipe: 14,2912 kN

Rata-rata = 15,1830 kN

$$R_{\text{pipe}} \text{ (hambatan) yang didapatkan dari the hydro-visco components adalah} = 15,183 \text{ kN}$$

$$= 15182,99 \text{ N}$$

V.6.2 Momentum Force

Another force that the propulsion has to generate, which is often forgotten, is the force needed to accelerate the dredge mixture to the trail velocity of the ship, this momentum force.

$$F_{\text{mom}} = \text{Momentum Force [N]}$$

$$= Q \times \rho_{\text{mix}} \times v_{\text{trail}}$$

dimana, Q = Pump Capacity
1,528 m³/s

ρ_{mix} = Density Mixture

$$\begin{aligned}
 & 873 \text{ kg/m}^3 \\
 v_{\text{trail}} &= \text{Trail speed} \\
 & 1,543 \text{ m/s} \quad \approx 3 \text{ knots} \\
 F_{\text{mom}} &= 1,528 \times 873,0 \times 1,543 \\
 &= 2058,42 \text{ N} \\
 F_{\text{mom}} &= 2,058 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V.7 Total Resistance Calculation (R_T)

Ref: PNA Vol. II, page 93.

Input data:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 & C_A &= 0,00063 \\
 V_s &= 5,40 \text{ m/sec} & R_W &= 16,57 \text{ kN} \\
 S_{\text{Tot}} &= 824,32 \text{ m}^2 & W &= 16155,7 \text{ kN} \\
 C_F &= 0,00183 & R_{\text{pipe}} &= 15182,99 \text{ N} \\
 (1+k) &= 1,4130 & F_{\text{mom}} &= 2058,42 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_T &= 1/2 \rho V^2 S_{\text{Tot}} [C_F (1+k) + C_A] + R_W / W * W + R_{\text{pipe}} + F_{\text{mom}} \\
 &= 0,5 \times 1000 \times (5,40^2) \times 824,32 \times (1,832\text{E-}3 \times 1,41 + 6,333\text{E-}4) + (16,57 / \\
 & \quad 16155,66 \times 16155,66) + 15182,988 + 2058,416 \\
 &= 55998,3 \text{ N} \\
 &= 55,998 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V.7.1 Total Resistance Margin

Ref: PNA Vol. II, page 7.

Sea margin merupakan margin yang diberikan akibat adanya penambahan hambatan kapal yang disebabkan bertambahnya kekasaran lambung kapal oleh korosi dan fouling pada lambung kapal.

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

Maka, hambatan kapal total sebesar:

$$\begin{aligned}
 R_T + \text{Margin} &= R_T + 15\% \\
 &= 55,998 + 15\% \\
 &= 64,398 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{R_{TOT} = 64,398 \text{ kN}}$$

VI. Propulsion Calculation

Input Data :

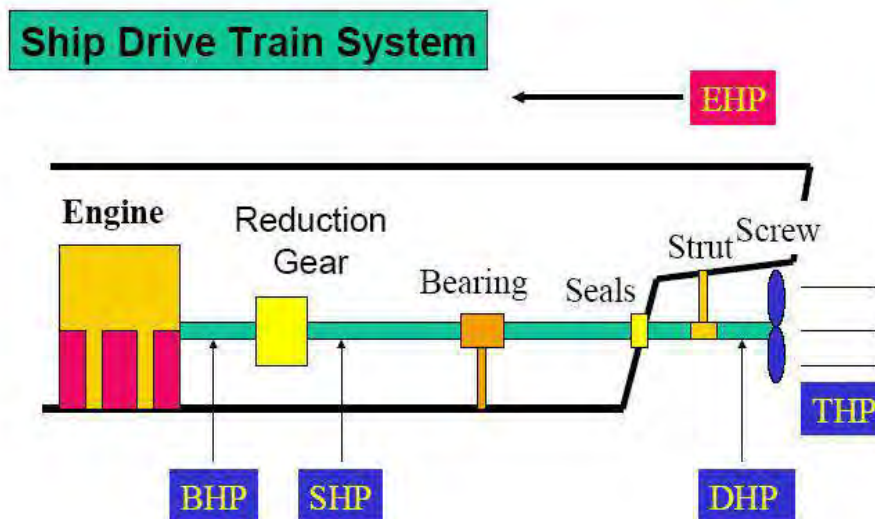
$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$F_n =$	0,23
$T =$	3,14 m	$C_B =$	0,797
$H =$	4,78 m	$C_M =$	0,993
$V_S \text{ design} =$	10,50 kn	$C_P =$	0,802
	= 5,40 m/s	$C_{WP} =$	0,872
$\rho =$	1,000 ton/m ³	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$g =$	9,81 m/s ²		= 25,40 m (from FP)
$V =$	1646,856 m ³		= 0,011 % L
$\Delta =$	1646,86 ton	$R_T =$	64,398 kN
1 HP =	0,7457 kW	$D =$	1,57077 m/screw

Perhitungan sistem propulsi kapal menggunakan referensi:

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. II - Resistance, Propulsion, and Vibration.

Ref: Parametric Design - Chapter 11.

Ship Drive Train System Diagram



VI.1 Effective Power (P_E) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 2.

P_E = Power yang dibutuhkan untuk melawan hambatan yang terjadi pada kapal sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan.

$$P_E = R_T \times V_S$$

R_T = Total Resistance (kW)

V_S = Service speed (m/sec)

$P_E = 64,40 \times 5,402$	$P_{E/SCREW} = P_E / 2$	= (P_E / jml propeller)
= 347,857 kW	= 173,928 kW	
= 466,484 HP	= 233,242 HP	

VI.2 Delivered Power (P_D) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153 & 163.

P_D = Power yang sampai di propeller. Dipengaruhi oleh hull efficiency, relative-rotative efficiency, dan open water efficiency.

$$P_D = P_E / \eta_D$$

P_E = Effective Power (kW)

η_D = Propeller Efficiency

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

η_H = Hull Efficiency

η_R = Relative-rotative Efficiency

η_O = Open Water Efficiency

VI.2.1 Hull Efficiency (η_H) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153.

η_H = Hull Efficiency

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

t = Thrust deduction

w = Wake Fraction

VI.2.1.1 Wake Fraction (w) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 160.

Wake fraction for twin screw ships:

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

$$w = 2 \times 0,797^5 \times (1 - 0,797) + 0.04$$

$$= 0,195$$

VI.2.1.2 Thrust Deduction (t) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 160.

Thrust deduction for twin screw ships with struts:

$$t = 0.70 w + 0.06$$

$$= 0.70 \times 0,195 + 0.06$$

$$= 0,196$$

Hull Efficiency (η_H) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153.

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

$$= (1 - 0,196) / (1 - (0,195))$$

$$= 0,998$$

VI.2.2 Open Water Efficiency (η_O) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 151.

η_O = Open Water Efficiency

$$\eta_O = 0,550$$

VI.2.3 Relative-rotative Efficiency (η_R) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153.

η_R = Relative-rotative Efficiency

Relative-rotative Efficiency equations for twin screw ships:

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

P/D = Pitch ratio

$$= 1,00$$

The value of the relative rotative efficiency does not in general depart materially from unity, being in the region of from 0.95 to 1.0 for most twin-screw ships and between 1.0

$$\begin{aligned} \eta_R &= 0.9737 + 0.111 \times (0,802 - 0.0225 \times 0,011 + (-0.06325 \times 1,00)) \\ &= 0,999 \end{aligned}$$

Maka, Propeller Efficiency (η_D):

$$\begin{aligned} \eta_D &= \eta_H \times \eta_R \times \eta_O \\ &= 0,99797 \times 0,550 \times 0,999 \\ &= 0,549 \end{aligned}$$

Maka, Delivered Power (P_D) :

$$\begin{aligned} P_D &= P_E / \eta_D & P_{D/SCREW} &= (P_{E/SCREW}) / \eta_D & &= (P_D / \text{jml propeller}) \\ &= 347,86 / 0,549 & &= 173,93 / 0,549 \\ &= 634,084 \text{ kW} & &= 317,042 \text{ kW} \\ &= 850,320 \text{ HP} & &= 425,160 \text{ HP} \end{aligned}$$

VI.3 Shaft Power (P_S) Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 29 & 31.

P_S = Power yang telah melewati proses transmisi pada reduction gear.

$$P_S = P_D / \eta_s \eta_b$$

$\eta_s \eta_b$ = Sterntube and Line Bearing Efficiency

$$= 0,98 \text{ (for machinery aft.)}$$

$$= 0,97 \text{ (for machinery amidship)}$$

Letak kamar mesin di belakang, maka:

$$\eta_s \eta_b = 0,98$$

$$\begin{aligned} P_S &= P_D / \eta_s \eta_b & P_{S/SHAFT} &= (P_{D/SHAFT}) / \eta_s \eta_b & &= (P_S / \text{jml poros}) \\ &= 634,08 / 0,98 & &= 317,04 / 0,98 \\ &= 647,0243 \text{ kW} & &= 323,512 \text{ kW} \\ &= 867,674 \text{ HP} & &= 433,837 \text{ HP} \end{aligned}$$

VI.4 Break Power (P_B) Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 29 & 33.

P_B = Power minimum yang dibutuhkan oleh mesin penggerak utama.

$$P_B = P_S / \eta_t$$

η_t = Transmission Efficiency

$$\eta_t = \prod (1 - li) = \eta_g$$

li = 0,010 for each gear reduction

li = 0,005 for the trust bearing

li = 0,010 for a reversing gear path

$$\begin{aligned} \eta_t &= (1 - 0,010) \times (1 - 0,005) \times (1 - 0,010) \\ &= 0,975 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_B &= P_S / \eta_T & P_{B/ENG.} &= (P_{S/SHAFT}) / \eta_T & &= (P_B / \text{jml main engine}) \\ &= 647,02 / 0,9752 & &= 323,51 / 0,9752 & & \\ &= 663,4789 \text{ kW} & &= 331,739 \text{ kW} & & \\ &= 889,7398 \text{ HP} & &= 444,870 \text{ HP} & & \end{aligned}$$

VI.5 Voyage Margin Calculation

Voyage = Perairan Indonesia

Margin = 10%

$$P_B = 663,4789 \text{ kW}$$

Margin = 66,34789 kW

$$\begin{aligned} P_{B+M} &= P_B + M_{\text{voyage}} & P_{B+M/ENG.} &= P_{B/ENG.} + M_{\text{voyage}} & &= (P_{B+M} / \text{jml main engine}) \\ &= 663,48 + 10\% & &= 331,74 + 10\% & & \\ &= 729,8268 \text{ kW} & &= 364,91342 \text{ kW} & & \\ &= 978,7137 \text{ HP} & &= 489,35687 \text{ HP} & & \end{aligned}$$

VI.6 Maximum Continuous Rating (MCR) Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 29-30.

MCR = Margin pada power yang disebabkan oleh penambahan power design margin dan power service margin

$$MCR = P_B \times (1 + M_D) / (1 - M_S)$$

M_D = Power Design Margin (3-5%)

M_S = Power Service Margin (15-25%)

$$M_D = 5\%$$

$$M_S = 25\%$$

$$\begin{aligned} MCR &= 729,83 \times (1 + 0,05) / (1 - 0,25) & MCR_{/ENG.} &= 364,91 \times (1 + 0,05) / (1 - 0,25) \\ &= 1021,758 \text{ kW} & &= 510,879 \text{ kW} \\ &= 1370,199 \text{ HP} & &= 685,100 \text{ HP} \\ P_{TOTAL} &= 1021,758 \text{ kW} & P_{TOTAL/ENG.} &= 510,879 \text{ kW} \\ &= 1370,199 \text{ HP} & &= 685,1 \text{ HP} \end{aligned}$$

Total power dibutuhkan untuk menjalankan kapal yang memiliki dua buah propeller dan dua buah mesin, maka untuk setiap mesinnya dibutuhkan power sebesar:

$$\begin{aligned} P &= 1021,76 / 2 \\ &= 510,8788 \text{ kW} \\ &= 685,0996 \text{ HP} \end{aligned}$$

VII. Main and Auxiliary Engine Catalogue

VII.1 Main Engine Requirement

Dengan mengetahui jumlah power yang dibutuhkan untuk setiap main engine, maka dicari jenis main engine yang didapatkan dari katalog mesin dengan kapasitas yang memenuhi.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Req.}} &= 510,879 \text{ kW} && \text{(untuk satu engine)} \\
 &= 685,1 \text{ HP} \\
 \text{Jumlah} &= 2 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

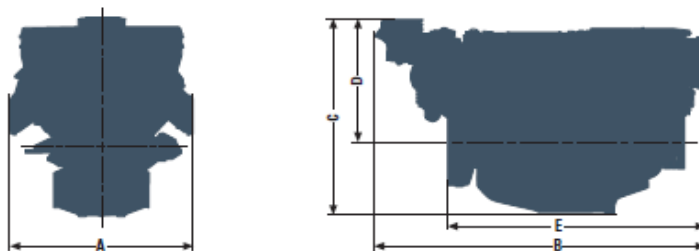
VII.2 Main Engine Technical Data

MAN-D2862 (Heavy Duty)

Type of engine	=	LE 431	
Bore	=	128 mm	
Stroke	=	157 mm	
Displacement	=	24,24 l	
Compression ratio	=	19 : 1	
Rotation looking on flywheel	=	left	
Flywheel Housing	=	SAE 1	
Normal Rating	=	551 kW	: 750 HP
Rated Speed	=	1800 rpm	
Torque at Rated Speed	=	2923 Nm	
Max. Torque	=	3290 Nm	
At Speed	=	1600 rpm	
Specific Fuel Consumption	=	213 g/kWh	
Fuel Consumption	=	140 l/h	
Fuel Density	=	890 kg/m ³	

VII.3 Main Engine Dimensions

A - Overall width engine	=	1153 mm	1,153 m
B - Overall length of engine	=	2124 mm	2,124 m
C - Overall height of engine	=	1289 mm	1,289 m
D - Top of engine to crankshaft centre	=	825 mm	= 0,825 m
E - Length of engine from front end to edge of	=	1631 mm	= 1,631 m
Weight	=	2270 kg	2,27 ton



VII.4 Auxiliary Engine (Generator Set) Requirement

Dengan mengetahui jumlah power yang dibutuhkan untuk setiap main engine, maka dicari jenis auxiliary engine (generator set) yang didapatkan dari katalog dengan kapasitas asumsi sebesar 25 % dari power main engine yang dibagi menjadi dua buah generator set.

$$\begin{aligned} P_{\text{AuxReq.}} &= 25\% \times 1021,758 \\ &= 255,439 \text{ kW} \\ &= 342,550 \text{ HP} \\ \text{Jumlah} &= 2 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{AuxReq.}} &= 127,72 \text{ kW/unit} \\ &= 171,275 \text{ HP/unit} \end{aligned}$$

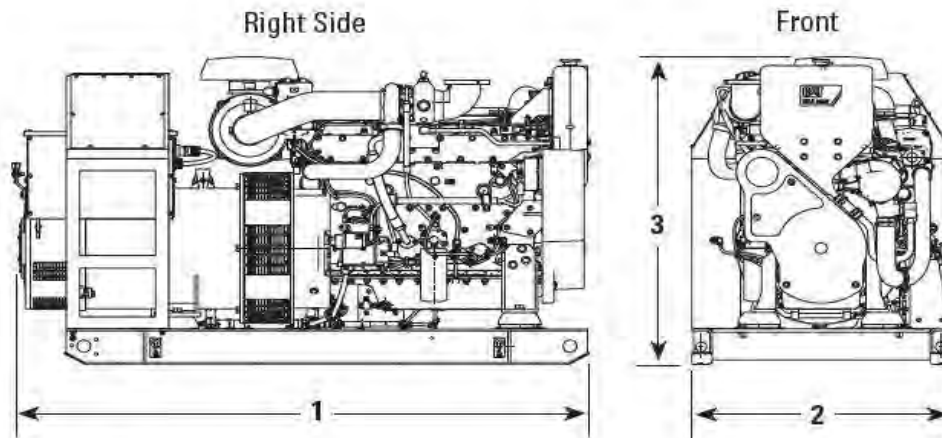
VII.5 Auxiliary Engine Technical Data

CAT C7.1 ACERT Marine Generator Set

Type of engine	=	EMCP4.2
Frequency	=	60 Hz
Bore	=	105 mm
Stroke	=	135 mm
Displacement	=	7,01 l
Normal Rating	=	150 kW
Rated Speed	=	1800 rpm
Specific Fuel Consumption	=	219 g/kWh
Fuel Consumption	=	19,5 l/h
Fuel Density	=	0,85 kg/l
Flywheel Housing	=	SAE 3

VII.6 Auxiliary Engine Dimensions

(1) Length	=	2142 mm	2,142 m
(2) Width	=	965 mm	0,965 m
(3) Height	=	1263 mm	1,263 m
Weight, Net Dry	=	1652 kg	1,652 ton



VIII. Engine Plant Weight Calculation

Input Data :

$L_{PP} = 50,81 \text{ m}$	$L_{WL} = 52,84 \text{ m}$
$B = 12,45 \text{ m}$	$LCB = 0,005 \text{ m (fwd. amidship)}$
$T = 3,14 \text{ m}$	$= 25,40 \text{ m (from FP)}$
$H = 4,78 \text{ m}$	$= 0,011 \% L$
$V_S = 10,00 \text{ kn}$	$R_T = 64,3981 \text{ kN}$
$= 5,14 \text{ m/s}$	$D = 1,571 \text{ m}$
$\rho = 1,000 \text{ ton/m}^3$	$n = 110 \text{ rpm}$
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	$Z \text{ (Blade)} = 4 \text{ buah}$
$V = 1646,856 \text{ m}^3$	$A_E/A_O = 0,55$
$\Delta = 1646,86 \text{ ton}$	$P_D = 317,042 \text{ kW/SCREW}$
$1 \text{ HP} = 0,7457 \text{ kW}$	$P_B = 510,879 \text{ kW/SCREW}$

Perhitungan berat permesinan kapal menggunakan referensi:

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy (second edition 1998) page. 173-178

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

Perhitungan berat permesinan dapat dibagikan kedalam beberapa kelompok, diantaranya:

1. Propulsion units
2. Electrical units
3. Other weights
4. Special weight

VIII.1 Propulsion Units Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175-176

Propulsion Units Weight meliputi:

- Main Engine
- Gearbox
- Shafting
- Propeller

VIII.1.1 Main Engine Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175

$W_E =$ Berat dari satu buah main engine yang diketahui dari katalog mesin.

Main Engine = MAN-D2862 (Heavy Duty)

$$W_E = 2,27 \text{ ton/Engine}$$

$$\text{Total } W_E = 4,540 \text{ ton (untuk dua buah main engine)}$$

VIII.1.2 Gearbox Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175

$W_{Gear} =$ Berat dari satu buah gear box.

$$\begin{aligned} W_{Gear} &= (0.3 \sim 0.4) P_B / n \\ &= 0.3 \times 510,88 / 110 \\ &= 1,393306 \text{ ton/GearBox} \end{aligned}$$

$$\text{Total } W_{Gear} = 2,787 \text{ ton (untuk dua buah gear box)}$$

VIII.1.3 Shafting Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175

M = Berat untuk satu buah poros

$$M = M/L_S \times L_S$$

L_S = Panjang Poros

$$L_S = 6 \text{ m}$$

M/L_S = Berat poros per meter

$$\begin{aligned} M/L_S &= 0.081 (P_D / n)^{2/3} \\ &= 0,081 \times (317,04 / 110)^{(2/3)} \\ &= 0,164 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$M = M/L_S \times L_S$$

$$\begin{aligned} &= 0,1640 \times 6,00 \\ &= 0,984 \text{ ton/Shaft} \end{aligned}$$

$$\text{Total } W_{\text{Shaft}} = 1,969 \text{ ton (untuk dua buah Shaft)}$$

VIII.1.4 Propeller Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175-176

W_{Prop} = Berat untuk satu buah propeller

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

D = Diameter Propeller

$$= 1,570773 \text{ m}$$

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

d_S = Diameter Shaft

$$\begin{aligned} d_S &= 11.5 (P_D / n)^{1/3} \\ &= 11.5 \times (317,04 / 110)^{(1/3)} \\ &= 16,36587 \text{ cm} \\ &= 0,164 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= (0,16 / 1,57) \times (1.85 \times 0,55 - ((4 - 2)/100)) \\ &= 0,104 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} &= 1,57^3 \times 0,104 \\ &= 0,40279 \text{ ton/Screw} \end{aligned}$$

$$\text{Total } W_{\text{Prop}} = 0,806 \text{ ton (untuk dua buah Propeller)}$$

Propulsion Units Weight:

$$W_{\text{PU}} = W_E + W_{\text{Gear}} + W_{\text{Shaft}} + W_{\text{Prop}}$$

$$\begin{aligned} &= 2,27 + 1,39 + 0,98 + 0,40 \\ &= 5,050 \text{ ton (untuk satu buah rangkaian propulsi)} \end{aligned}$$

$$\text{Total } W_{\text{PU}} = 10,101 \text{ ton (untuk dua buah rangkaian propulsi)}$$

VIII.2 Electrical Units Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 176

Electrical Units Weight meliputi generator dan drive engine.

$$P_B = 1021,758 \text{ kW (kebutuhan seluruh kapal)}$$

$$\begin{aligned} W_{Agg} &= 0.001 \times P_B \times (15 + 0.014 \times P_B) \\ &= 0.001 \times 1021,758 \times (15 + 0.014 \times 1021,758) \\ &= 29,942 \text{ ton} \end{aligned}$$

VIII.3 Other Weights Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 176-177

Other Weights meliputi:

Pumps, pipes, sound absorbers, cables, distributors, replacement parts, stairs, platforms, gratings, daily service tanks, air containers, compressors, degreasers, oil cooler, cooling water system, control equipment, control room, heat and sound insulation in the engine room, water and fuel in pipes, engines and boilers.

$$\begin{aligned} W_{Oth} &= (0.04 \sim 0.07) P_B \\ \text{diambil} &= 0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{Oth} &= 0,04 \times 1021,758 \\ &= 40,8703 \text{ ton} \end{aligned}$$

VIII.4 Total Engine Plant Weight Calculation

TOTAL W_{EP} = Jumlah keseluruhan berat permesinan pada kapal.

$$\begin{aligned} &= W_{PU} + W_{Agg} + W_{oth} \\ &= 10,101 + 29,94 + 40,87 \\ &= 80,913 \text{ ton} \end{aligned}$$

VIII.5 Position of Engine Plant Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

VIII.5.1 TOTAL KG and LCG of Engine Plant

$$\begin{aligned} KG_{EP} &= H_{DB} + 0.35 \times (D' - H_{DB}) \\ H_{DB} &= \text{Tinggi Double Bottom} \\ &= 1,2 \text{ m} \\ D' &= \text{Tinggi Kamar Mesin} \\ &= 4,78 \text{ m} \\ KG_{EP} &= 1,200 + 0.35 \times (4,78 - 1,200) \\ &= 2,45 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{EP} &= L_{BH-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER}) \\ L_{ER} &= \text{Panjang Kamar Mesin} \\ &= 9 \text{ m} \\ L_{PR} &= \text{Panjang Pump Room} \\ &= 7,5 \text{ m} \\ L_{BH-FP} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \\ L_{CH} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27,000 \text{ m} \\ LCG_{EP} &= 4,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 9,00) \\ &= 43,311 \text{ m (FP)} \\ &= -17,905 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

IX. Steel Weight Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$T =$	3,14 m	$=$	25,40 m (from FP)
$H =$	4,78 m	$=$	0,011 % L
$V_S =$	10,00 kn	$V =$	1646,86 m ³
$=$	5,14 m/s	$\Delta =$	1646,86 ton
$\rho =$	1,000 ton/m ³	$C_B =$	0,797
$g =$	9,81 m/s ²		

Perhitungan berat baja kapal menggunakan referensi:

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

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

IX.1 Hull Steel Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 152

$W_{HS} =$ Berat baja

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

$\bar{v}_U =$ Volume dibawah main deck

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

$$\text{average } C_{ST} = 0,095$$

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

$$C_1 = 0,25 \text{ untuk kapal dengan small flare}$$

$$C_{BD} = 0,797 + (0,25 \times (4,78 - 3,14)) / (3,14 \times (1 - 0,797))$$

$$C_{BD} = 1,439$$

$$V_U = 50,81 \times 12,45 \times 4,78 \times 0,80$$

$$= 2408,781 \text{ m}^3$$

$$W_{HS} = 295,346 \text{ ton}$$

IX.2 Superstructure and Deckhouse Steel Weight Calculation

IX.2.1 Superstructure Steel Weight Calculation (Forecastle)

Collosion Bulkhead Location

Ref: BKI, Vol. II, Sec.11-2.1.3

$$L \text{ min from FP} = 0.05 \times L \text{ or } 10 \text{ m}$$

$$= 0.05 \times 50,811$$

$$= 2,540569 \text{ m dari FP}$$

$$\begin{aligned} L \text{ max from FP} &= 0.08 \times L \text{ or } 0.05 \times L + 3\text{m} \\ &= 0.08 \times 50,811 \\ &= 4,06491 \text{ m dari FP} \\ \text{or} &= 0.05 \times 50,811 + 3 \\ &= 5,540569 \text{ m dari FP} \end{aligned}$$

Forecastle Dimensions

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 163

$$\begin{aligned} L_{FC} &= \sim 10\% \times L_{pp} \\ L_{FC} &= \sim 10\% \times 50,811 \\ L_{FC} &= 8,73 \text{ m} \\ L \text{ dibelakang FP} &= 7,311 \text{ m} \\ L \text{ didepan FP} &= 1,419 \text{ m} \\ B_{FC} &= B \text{ Kapal} \\ &= 12,447 \text{ m} \\ H_{FC} &= 2,5 \text{ m} \\ V_{FC} &= (0.5 \times L_{FC} \times B_{FC}) \times H_{FC} \\ &= (0.5 \times 8,730 \times 12,447) \times 2,5 \\ &= 135,8263 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Forecastle Steel Weight

Ref: Kekuatan Struktur Kapal (Dony Setyawan, 1999) page. 80

$$\begin{aligned} W_{FC} &= C_{FC} \times V_{FC} \\ C_{FC} &= 0,1185 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,1185 \times 135,826 \\ W_{FC} &= 16,095 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.2.2 Superstructure Steel Weight Calculation (Poop) - Main Deck

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 164

Poop Dimensions

$$\begin{aligned} L_P &= \sim 20\% \times L_{pp} \\ L_P &= \sim 20\% \times 50,811 \\ L_P &= 14 \text{ m} \\ B_P &= B \text{ Kapal} \\ &= 12,447 \text{ m} \\ H_P &= 2,5 \text{ m} \\ V_P &= L_P \times B_P \times H_P \\ &= 14,0 \times 12,447 \times 2,5 \\ &= 218,3645 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Poop Steel Weight

$$\begin{aligned} W_P &= C_P \times V_P \\ C_P &= 0,075 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,0750 \times 218,364 \\ W_P &= 16,377 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.2.3 Poop Deck Steel Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 164

Bridge Room Dimensions

$$\begin{aligned} L_{BR} &= 15\% * L_{pp} \\ L_{BR} &= 15\% * 50,811 \\ L_{BR} &= 12,6 \text{ m} \\ B_{BR} &= 8,60 \text{ m} \\ H_{BR} &= 2,5 \text{ m} \\ V_{BR} &= L_{BR} * B_{BR} * H_{BR} \\ &= 12,6 * 8,6 * 2,5 \\ &= 135,450 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bridge Room Steel Weight

$$\begin{aligned} W_{BR} &= C_{BR} * V_{BR} \\ C_{BR} &= \text{Fungsi dari } F_O/F_U \\ F_O &= 174,6916 \\ F_U &= 108,36 \\ F_O/F_U &= 1,612141 \\ C_{BR} &= 0,07 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,0700 * 135,450 \\ W_{BR} &= 9,482 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.2.5 Navigation Deck Steel Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 164

Navigation Room Dimensions

$$\begin{aligned} L_{NR} &= 10\% * L_{pp} \\ L_{NR} &= 10\% * 50,811 \\ L_{NR} &= 7,2 \text{ m} \\ B_{NR} &= 6,00 \text{ m} \\ H_{NR} &= 2,5 \text{ m} \\ V_{NR} &= L_{NR} * B_{NR} * H_{NR} \\ &= 7,2 * 6,0 * 2,5 \\ &= 54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Navigation Room Steel Weight

$$\begin{aligned} W_{NR} &= C_{NR} * V_{NR} \\ C_{NR} &= \text{Fungsi dari } F_O/F_U \\ F_O &= 108,36 \\ F_U &= 43,2 \\ F_O/F_U &= 2,508333 \\ C_{NR} &= 0,08 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,080 * 54,000 \\ W_{NR} &= 4,320 \text{ ton} \end{aligned}$$

Total Superstructure and Deckhouse Weight Calculation

$$\begin{aligned} W_{S\&D} &= 16,095 + 16,377 + 9,482 + 4,320 \\ &= 46,274 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.3 Correction for Steel Weight Calculation

IX.3.1 Bulkhead Construction Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 157

$$\begin{aligned} W_{BC} &= 2.5\% \times W_{HS} \\ &= 2.5\% \times 295,346 \\ &= 7,384 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.3.2 Engine Foundation Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 158

$$\begin{aligned} W_{EF} &= (27 \times P_B) / (n + 250) \times (15 + P_B / 1000) \\ P_B &= 1102 \text{ kW} \\ n &= 1800 \text{ rpm} \\ W_{EF} &= (27 \times 1102,0) / (1800 + 250) \times (15 + 1102,0 / 1000) \\ &= 0,901 \text{ ton} \end{aligned}$$

Total Correction Weight Calculation

$$\begin{aligned} W_{CS} &= 7,384 + 0,901 \\ &= 8,285 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.4 Total Steel Weight Calculation

TOTAL W_S = Jumlah keseluruhan berat baja

$$\begin{aligned} W_S &= W_{HS} + W_{S\&D} + W_{CS} \\ &= 295,346 + 46,274 + 8,285 \\ &= 349,905 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.5 Position of Steel Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

IX.5.1 KG and LCG of Hull Steel

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

$$\begin{aligned} KG_{HS} &= 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5) \\ &= 2,144 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{HS} &= -0.15 + LCB \quad (\%L) \\ LCB &= \% LCB = 0,011 \%L \\ LCG_{HS} &= -0.15 + 0,011 \\ &= -0,139 \%L \\ &= -0,071 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

$$= 25,476 \text{ m (FP)}$$

IX.5.2 KG and LCG of Superstructure and Deckhouse

Forecastle

$$KG_{FC} = H + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{FC} = 2,5 \text{ m}$$

$$KG_{FC} = 4,779 + (0.5 \times 2,50)$$

$$= 6,029 \text{ m}$$

$$W_{FC} = 16,095 \text{ ton}$$

$$LCG_{FC} = L_{FC-FP} - (1/3 \times L_{FC})$$

$$L_{FC} = 8,73 \text{ m}$$

$$L_{FC \text{ sampai FP}} = 7,311 \text{ m}$$

$$LCG_{FC} = 7,31 - (1/3 \times 8,73) - 1.238$$

$$= 3,163 \text{ m (FP)}$$

$$= 22,243 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Poop

$$KG_P = H + (0.5 \times H_P)$$

$$H_P = 2,5 \text{ m}$$

$$KG_P = 4,779 + (0.5 \times 2,50)$$

$$= 6,029 \text{ m}$$

$$W_P = 16,377 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{BH-FP} + L_{PR} + L_{CH+} (0.5 \times L_P)$$

$$L_P = 14,035 \text{ m}$$

$$L_{BH-FP} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

$$= 4,311 \text{ m}$$

$$L_{PR} = \text{Panjang Pump Room}$$

$$= 7,5 \text{ m}$$

$$LCG_P = 4,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 14,04)$$

$$= 45,827 \text{ m (FP)}$$

$$= -20,421 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Bridge Room

$$KG_{BR} = H + H_P + (0.5 \times H_{BR})$$

$$H_{BR} = 2,5 \text{ m}$$

$$KG_{BR} = 4,779 + 2,50 + (0.5 \times 2,50)$$

$$= 8,529 \text{ m}$$

$$W_{BR} = 9,482 \text{ ton}$$

$$LCG_{BR} = L_{BH-FP} + L_{PR} + L_{CH+} (0.5 \times L_{BR})$$

$$L_{BR} = 12,6 \text{ m}$$

$$LCG_{BR} = 4,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 12,60)$$

$$= 45,111 \text{ m (FP)}$$

$$= -19,705 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Navigation Room

$$KG_{NR} = H + H_P + H_{BR} + (0.5 \times H_{NR})$$

$$H_{NR} = 2,5 \text{ m}$$

$$KG_{NR} = 4,779 + 2,50 + 2,50 + (0.5 \times 2,50)$$

$$= 11,029 \text{ m}$$

$$W_{NR} = 4,320 \text{ ton}$$

$$LCG_{NR} = L_{BH-FP} + L_{PR} + L_{CH+} (0.5 \times L_{NR})$$

$$L_{NR} = 7,2 \text{ m}$$

$$LCG_{NR} = 7,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 7,20)$$

$$= 42,859 \text{ m (FP)}$$

$$= -17,453 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Superstructure and Deck House

$$KG_{S\&D} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{BR} \times W_{BR}) + (KG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 46,274 \text{ ton}$$

$$KG_{S\&D} = ((6,029 \times 16,10) + (6,029 \times 16,38) + (8,529 \times 9,48) + (11,029 \times 4,32)) / 46,27$$

$$= 7,007824 \text{ m}$$

LCG for Superstructure and Deck House

$$LCG_{S\&D} = ((LC_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{BR} \times W_{BR}) + (LCG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 46,274 \quad \text{ton}$$

$$\begin{aligned} LCG_{S\&D} &= ((3,163 \times 16,10) + (45,827 \times 16,38) + (45,111 \times 9,48) + (42,859 \times 4,32)) / 46,27 \\ &= 30,56336 \text{ m (FP)} \\ &= -5,158 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

IX.5.3 KG and LCG of Correction for Steel Weight

Bulkhead

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$H_{DB} = 1,2 \text{ m}$$

$$KG_{BC} = 1,200 + (0.5 \times (4,779 - 1,20))$$

$$= 2,989398 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 7,384 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{BH-FP} + L_{PR} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{BH-FP} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

$$= 4,311 \text{ m}$$

$$L_{PR} = \text{Panjang Pump Room}$$

$$= 7,5 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 27,000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 4,31 + 7,50 + (0.5 \times 27,00)$$

$$= 25,311 \text{ m (FP)}$$

$$= 0,095 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Engine Foundation

$$KG_{EF} = H_{DB} / 2$$

$$H_{DB} = 1,2 \text{ m}$$

$$KG_{EF} = 1,200 / 2$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$W_{EF} = 0,901 \text{ ton}$$

$$LCG_{EF} = L_{FC-FP} + L_{PR} + L_{CH} + (0.5 \times L_{EF})$$

$$L_{PR} = 7,500 \text{ m}$$

$$L_{EF} = 9,000 \text{ m}$$

$$LCG_{EF} = 7,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 9,00)$$

$$= 38,811 \text{ m (FP)}$$

$$= -13,405 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG for Correction Weight

$$KG_C = ((KG_{BC} \times W_{BC}) + (KG_{DB} \times W_{DB}) + (KG_{EF} \times W_{EF})) / W_C$$

$$W_C = 8,285 \quad \text{ton}$$

$$KG_C = ((2,989 \times 7,38) + (0,600 \times 0,90)) / 8,29$$

$$= 2,729439 \text{ m}$$

LCG for Correction Weight

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

$$W_C = 8,285 \quad \text{ton}$$

$$LCG_C = ((25,311 \times 7,38) + (38,811 \times 0,90)) / 8,29$$

$$= 26,77976 \text{ m (FP)}$$

$$= -1,374 \text{ m (}\phi\text{)}$$

IX.5.4 TOTAL KG and LCG of Steel Weight

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

$$W_S = 349,905 \text{ ton}$$

$$KG_S = ((2,144 \times 295,35) + (7,008 \times 46,27) + (2,729 \times 8,29)) / 349,91$$

$$= 2,801067 \text{ m}$$

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

$$W_S = 349,905 \text{ ton}$$

$$LCG_S = ((25,48 \times 295,35) + (30,56 \times 46,27) + (26,78 \times 8,29)) / 349,91$$

$$= 26,18008 \text{ m (FP)}$$

$$= -0,774 \text{ m (}\phi\text{)}$$

X. Equipment and Outfitting Weight Calculation

Input Data :

L _{PP} = 50,81 m	L _{WL} = 52,84 m
B = 12,45 m	LCB = 0,01 m (fwd. amidship)
T = 3,14 m	= 25,40 m (from FP)
H = 4,78 m	= 0,011 % L
V _S = 10,00 kn	V = 1646,86 m ³
= 5,14 m/s	Δ = 1646,86 ton
ρ = 1,000 ton/m ³	C _B = 0,797
g = 9,81 m/s ²	

Perhitungan berat peralatan dan perlengkapan kapal menggunakan referensi:

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

Equipment and Outfitting Weight meliputi:

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

X.1 Group III (Living Quarter) Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 171-172

W_{III} = Berat peralatan dan perlengkapan pada dek akomodasi

$$W_{III} = \bar{v}_{SS/DH} \times C_{III}$$

$\bar{v}_{SS/DH}$ = Volume Superstructure atau Deckhouse

$$C_{III} = 60 \sim 70 \text{ kg/m}^3$$

average C_{III} = 60 kg = 0,060 ton

Forecastle

$$V_{FC} = 135,826 \text{ m}^3$$

$$W = 135,83 \times 0,060$$

$$= 8,150 \text{ ton}$$

Poop

$$V_P = 218,364 \text{ m}^3$$

$$W = 218,36 \times 0,060$$

$$= 13,102 \text{ ton}$$

Lower Navigation Deck

$$V_{LND} = 135,45 \text{ m}^3$$

$$W = 135,45 \times 0,060$$

$$= 8,127 \text{ ton}$$

Navigation Deck

$$V_{ND} = 54 \text{ m}^3$$

$$W = 54,00 \times 0,060$$

$$= 3,240 \text{ ton}$$

Total Group III (Living Quarter) Weight Calculation

$$W_{S\&D} = 8,150 + 13,102 + 8,127 + 3,240$$

$$= 32,618 \text{ ton}$$

X.2 Group IV (Miscellaneous) Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 172

Berat yang termasuk dalam group IV adalah :

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

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

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

$$C_{IV} = 0.18 \sim 0.26 \text{ ton/m}^3$$

$$= 0,26 \qquad \qquad \qquad 209,038$$

$$W_{IV} = (50,81 \times 12,447 \times 4,779)^{2/3} \times 0,260$$

$$= 54,35 \text{ ton}$$

X.3 Total Equipment and Outfitting Weight Calculation

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

$$W_{E\&O} = W_{III} + W_{IV}$$

$$= 32,618 + 54,350$$

$$= 86,968 \text{ ton}$$

X.4 Position of Equipment and Outfitting Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

X.4.1 KG and LCG of Group III (Living Quarter)

Forecastle

$$W_{FC} = 8,150 \text{ ton}$$

$$KG_{FC} = 6,029 \text{ m}$$

$$LCG_{FC} = 3,163 \text{ m (FP)}$$

$$= 22,243 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Poop

$$W_P = 13,102 \text{ ton}$$

$$KG_P = 6,029 \text{ m}$$

$$LCG_P = 45,827 \text{ m (FP)}$$

$$= -20,421 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Bridge Room

$$W_{BR} = 8,127 \text{ ton}$$

$$KG_{BR} = 8,529 \text{ m}$$

$$LCG_{BR} = 45,111 \text{ m (FP)}$$

$$= -19,705 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Navigation Room

$$W_{NR} = 3,240 \text{ ton}$$

$$KG_{NR} = 11,029 \text{ m}$$

$$LCG_{NR} = 42,859 \text{ m (FP)}$$

$$= -17,453 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Group III

$$KG_{GIII} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{BR} \times W_{BR}) + (KG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 32,618 \quad \text{ton}$$

$$KG_{GIII} = ((6,029 \times 8,15) + (6,029 \times 13,10) + (8,529 \times 8,13) + (11,029 \times 3,24)) / 32,62$$

$$= 7,14833 \text{ m}$$

LCG for Group III

$$LCG_{GIII} = ((LC_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{BR} \times W_{BR}) + (LCG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 32,618 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{GIII} = ((3,163 \times 8,15) + (45,827 \times 13,10) + (45,111 \times 8,13) + (42,859 \times 3,24)) / 32,62$$

$$= 34,6942 \text{ m (FP)}$$

$$= -9,288 \text{ m (}\phi\text{)}$$

X.4.2 KG and LCG of Group IV (Miscellaneous)

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$KG_{GIV} = 1.00 \sim 1.05 H$$

$$= 1.00 \times 4,779$$

$$= 4,78 \text{ m}$$

$$W_{IV} = 54,350 \quad \text{ton}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$LCG_{GIV} = 0.5 \times L$$

$$= 0.5 \times 0.05 \text{ ton}$$

$$= 25,4057 \text{ m (FP)}$$

$$= 0,000 \text{ m (}\phi\text{)}$$

X.4.3 TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$KG_{E\&O} = ((KG_{GIII} \times W_{GIII}) + (KG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O}$$

$$W_{E\&O} = 86,968 \quad \text{ton}$$

$$KG_{E\&O} = ((7,148 \times 32,62) + (4,779 \times 54,35)) / 86,97$$

$$= 5,66752 \text{ m}$$

$$LCG_{E\&O} = ((LCG_{GIII} \times W_{GIII}) + (LC_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O}$$

$$W_{E\&O} = 86,968 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{E\&O} = ((34,694 \times 32,62) + (25,406 \times 54,35)) / 86,97$$

$$= 28,8894 \text{ m (FP)}$$

$$= -3,484 \text{ m (}\phi\text{)}$$

XI. Deadweight Tonnes Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$T =$	3,14 m	$=$	25,40 m (from FP)
$H =$	4,78 m	$=$	0,011 % L
$V_S =$	10,00 kn	$V =$	1646,856 m ³
$=$	5,14 m/s	$\Delta =$	1646,86 ton
$\rho =$	1,000 ton/m ³	$C_B =$	0,797
Voyage =	52,224 km	$P_B =$	1370,199 HP

Perhitungan berat crew dan consumable menggunakan referensi:

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XI.1 Crew Requirement Calculation

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

$$C_{St} = 1,2 \text{ Koefisien Steward Deck (1.2 - 1.33)}$$

$$C_{Dk} = 11,5 \text{ Koefisien Deck Departement (11.5 - 14.5)}$$

$$C_{Eng} = 8,5 \text{ Koefisien Engine Departement (8.5 - 11.0)}$$

$$CN = (L \times B \times H) / 1000$$

$$= (50,81 \times 12,45 \times 4,78) / 1000$$

$$= 3,022$$

$$BHP = P_B \text{ (HP)}$$

$$= 1370,2 \text{ HP}$$

$$\text{Cadets} = \text{Perwira tambahan}$$

$$= 0$$

$$Z_C = 1,2 \times 11,5 \times (3,022 \times 35 / 10^5)^{1/6} + 8,5 \times (1370,199 / 10^5)^{1/3} \times 0$$

$$= 6,439 \quad \approx \quad 6 \text{ Person (Minimum)}$$

$$= 8 \text{ Person (Total Crew)}$$

XI.2 Crew and Consumable Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XI.2.1 Crew Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.25

$$W_{C\&E} = C_{C\&E} \times \text{Person}$$

$$C_{C\&E} = 0,17 \text{ ton/person}$$

$$W_{C\&E} = 0,17 \times 8$$

$$= 1,36 \text{ ton}$$

XI.2.2 Voyage Duration Calculation

Dalam melakukan pekerjaan pengerukan, kapal keruk akan bergerak bolak-balik secara terus menerus dalam 24 jam selama 7 hari. Jarak terjauh yang ditempuh oleh kapal keruk selama melakukan pekerjaan pengerukan adalah 52,224 km untuk 1 kali jalan.

$$\begin{aligned} \text{Duration} &= (\text{Range} / V_s) / 3600 \\ &= (52,224 / 5,144) / 3600 \\ &= 2,820 \text{ jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan, selama penggunaan kapal keruk, baik untuk pekerjaan pengerukan awal dan maintenance, kapal keruk ini akan melakukan bunkering tiap jangka waktu

$$= 3 \text{ hari}$$

Dengan waktu tempuh selama 5,6 jam untuk dua kali perjalanan dalam satu kali kerja pengerukan.

Maka, dalam 1 hari (24 jam) dapat melakukan perjalanan sebanyak:

$$\begin{aligned} &= 24 / 2,8199 \\ &= 8,511 \text{ perjalanan} \\ &\approx 8,0 \text{ perjalanan} \end{aligned}$$

Maka, dalam 4 hari dapat melakukan perjalanan sebanyak:

$$\begin{aligned} &= 3 \times 8,0 \\ &= 24,0 \text{ perjalanan} \end{aligned}$$

XI.2.3 Fresh Water Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24

$$\begin{aligned} W_{FW} &= C_{FW} \times \text{Person} \\ C_{FW} &= 0,17 \text{ ton/person day} \\ W_{FW} &= 0,17 \times 8 \times 3 \\ &= 4,08 \text{ ton} \\ \rho &= 1 \text{ ton/m}^3 \\ V_{FW} &= W_{FW} / \rho \\ &= 4,08 \times 1 \\ &= 4,08 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

XI.2.4 Provisions and Stores Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.25

$$\begin{aligned} W_{PR} &= C_{PR} \times \text{Person} \\ C_{PR} &= 0,01 \text{ ton/person day} \\ W_{PR} &= 0,01 \times 8 \times 3 \\ &= 0,24 \text{ ton} \end{aligned}$$

XI.2.5 Heavy Fuel Oil Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.25

$$\begin{aligned} W_{Fuel} &= \text{SFR} \times \text{MCR} \times (\text{Range/Speed}) \times \text{Margin} \\ \text{SFR} &= \text{Specific Fuel Rate} \\ &= 0,00021 \text{ t/kW hr} \\ \text{MCR} &= 1021,76 \text{ kW} \\ \text{Range} &= 1253,38 \text{ km} && (\text{Range dalam waktu 3 hari yaitu 24 kali perjalanan}) \\ \text{Speed} &= 5,144 \text{ m/s} \\ \text{Margin} &= 65 \% && (15\% \text{ margin service}; 50\% \text{ margin fuel oil u/ dredger pump}) \\ \\ W_{Fuel} &= (0,00021 \times 1021,758 \times (1253,38 / 5,14)) + 65 \% \\ &= 87,4892 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$V_{\text{Fuel}} = W_{\text{Fuel}} / \rho_{\text{Fuel}}$$

$$\rho_{\text{Fuel}} = 944 \text{ kg/m}^3 = 0,944 \text{ ton/m}^3$$

$$V_{\text{Fuel}} = 87,489 / 0,94$$

$$= 92,6792 \text{ m}^3$$

XI.2.6 Marine Diesel Oil Weight Calculation

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

$$C_{\text{DO}} = 0,2$$

$$W_{\text{DO}} = 0,2 \times 87,489$$

$$= 17,498 \text{ ton}$$

$$\rho_{\text{DO}} = 840 \text{ kg/m}^3 = 0,84 \text{ ton/m}^3$$

$$V_{\text{DO}} = 17,498 / 0,84$$

$$= 20,8308 \text{ m}^3$$

XI.2.7 Lubrication Oil Weight Calculation

$$W_{\text{LO}} = \text{BHP} \times \rho_{\text{LO}} \times (\text{Range} / \text{Speed}) \times 10^{-6} \times 1.4$$

$$\rho_{\text{LO}} = 920 \text{ kg/m}^3 = 0,92 \text{ ton/m}^3$$

$$= 1021,758 \times 0,92 \times (1253,38 / 5,14) \times 10^{-6} \times 1.4$$

$$W_{\text{LO}} = 0,3206 \text{ ton}$$

$$V_{\text{LO}} = 0,34851 \text{ m}^3$$

XI.3 Total Crew and Consumable Weight Calculation

TOTAL $W_{\text{C\&C}}$ = Jumlah keseluruhan berat crew dan consumable

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

$$= 1,360 + 4,080 + 0,240 + 87,489 + 17,498 + 0,321$$

$$= 110,988 \text{ ton}$$

XI.4 Position of Crew and Consumable Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

XI.4.1 KG and LCG of Crew

<u>Poop</u>		
Crew =	0	LCG _P = 45,827 m (FP) = -20,421 m (φ)
Total Crew =	8	
W _P =	0,000 ton	
KG _P =	6,029 m	

<u>Bridge Room</u>		
Crew =	8	LCG _{BR} = 45,111 m (FP) = -19,705 m (φ)
Total Crew =	8	
W _{BR} =	1,360 ton	
KG _{BR} =	8,529 m	

KG for Crew

$$KG_{C\&E} = ((KG_P \times W_P) + (KG_{BR} \times W_{BR})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 1,360 \quad \text{ton}$$

$$KG_{C\&E} = ((6,029 \times 0,00) + (8,529 \times 1,36)) / 1,36$$

$$= 8,5288 \quad \text{m}$$

LCG for Crew

$$LCG_{C\&E} = ((LCG_P \times W_P) + (LCG_{BR} \times W_{BR})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 1,360 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{C\&E} = ((45,827 \times 0,00) + (45,111 \times 1,36)) / 1,36$$

$$= 45,111 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -19,705 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

XI.4.2 KG and LCG of Fresh Water

$$KG_{FW} = H + (H_{FW} / 2)$$

$$= 4,779 + (2,50 / 2)$$

$$= 6,029 \quad \text{m}$$

$$W_{FW} = 4,08 \quad \text{ton}$$

$$L_{BH-FP} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

$$= 4,311 \quad \text{m}$$

$$L_{FW} = \text{Panjang tangki fresh water}$$

$$= 2,4 \quad \text{m}$$

$$LCG_{FW} = L_{BH-FP} + L_{Fuel \text{ No.1}} + L_{Fuel \text{ No.2}} + L_{CH}$$

$$+ L_{ER} + (L_{FW} / 2)$$

$$= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 9,00 + (0,5 \times 2,40)$$

$$= 49,011 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -23,605 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{FW} = 25 \quad \text{m}^3$$

$$H_{FW} = 2,50 \quad \text{m}$$

$$L_{FW} = 4 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \quad \text{m}$$

$$= 2,4 \quad \text{m}$$

$$B_{FW} = V / (L \times H)$$

$$= 4,166667 \quad \text{m}$$

XI.4.3 KG and LCG of Provision Store

$$KG_{PR} = KG_P$$

$$= 6,0288 \quad \text{m}$$

$$W_{PR} = 0,24 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{PR} = LCG_P$$

$$= 45,8265 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -20,421 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

XI.4.4 KG and LCG of Heavy Fuel Oil

$$\begin{aligned} \text{No. 1} \quad G_{\text{Fuel No.1}} &= H - (H_{\text{fuel No.1}} / 2) \\ &= 3,289 \text{ m} \end{aligned}$$

$$W_{\text{fuel No.1}} = 30,6212 \text{ ton}$$

$$LCG_{\text{Fuel No.1}} = L_{\text{BH-FP}} + (L_{\text{fuel No.1}} / 2)$$

$$\begin{aligned} L_{\text{fuel No.1}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 3,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{\text{Fuel No.1}} &= 4,31 + (3,75 / 2) \\ &= 6,186 \text{ m (FP)} \\ &= 19,220 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{Fuel}} = 32,43772 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{fuel No.1}} = 2,979 \text{ m}$$

$$L_{\text{fuel No.1}} = 5 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,75 \text{ m}$$

$$= 3,75 \text{ m}$$

$$B_{\text{fuel No.1}} = V / (L \times H)$$

$$= 2,903679 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{No. 2} \quad G_{\text{Fuel No.2}} &= H - (H_{\text{fuel No.2}} / 2) \\ &= 3,289 \text{ m} \end{aligned}$$

$$W_{\text{fuel No.2}} = 32,371 \text{ ton}$$

$$LCG_{\text{Fuel No.2}} = L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{fuel No.1}} + (L_{\text{fuel No.2}} / 2)$$

$$\begin{aligned} L_{\text{fuel No.2}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 3,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{\text{Fuel No.2}} &= 4,31 + 3,75 + (3,75 / 2) \\ &= 9,936 \text{ m (FP)} \\ &= 15,470 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{Fuel}} = 34,29131 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{fuel No.2}} = 2,979 \text{ m}$$

$$L_{\text{fuel No.2}} = 5 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,75 \text{ m}$$

$$= 3,75 \text{ m}$$

$$B_{\text{fuel No.2}} = V / (L \times H)$$

$$= 3,069603 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{No. 3} \quad G_{\text{Fuel No.3}} &= (H_{\text{fuel No.3}} / 2) \\ &= 0,600 \text{ m} \end{aligned}$$

$$W_{\text{fuel No.3}} = 9,62381 \text{ ton}$$

$$LCG_{\text{Fuel No.3}} = L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{Fuel No.1}} + L_{\text{Fuel No.2}} + L_{\text{CH}} + 0,6 + L_{\text{DO}} + (L_{\text{Fuel No.3}}/2)$$

$$\begin{aligned} L_{\text{fuel No.3}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{CH}} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{\text{Fuel}} &= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 0,6 + 1,80 + (3,00 / 2) \\ &= 42,711 \text{ m (FP)} \\ &= -17,305 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{Fuel}} = 10,19471 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{fuel No.3}} = 1,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{fuel No.3}} = 5 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$= 3 \text{ m}$$

$$B_{\text{fuel No.3}} = V / (L \times H)$$

$$= 2,831865 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{No. 4/DT } G_{\text{Fuel No.4}} &= H - (H_{\text{fuel No.4}} / 2) \\ &= 4,029 \text{ m} \end{aligned}$$

$$W_{\text{fuel No.4}} = 14,8732 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{Fuel No.4}} &= L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{Fuel No.1}} + L_{\text{Fuel No.2}} + L_{\text{CH}} \\ &\quad + 4,2 + (L_{\text{Fuel No.4}}/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{fuel No.4}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{CH}} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{Fuel}} &= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 4,2 + (2,40 / 2) \\ &= 44,211 \text{ m (FP)} \\ &= -18,805 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{Fuel}} = 15,75547 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{fuel No.4}} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{\text{fuel No.4}} = 4 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

$$B_{\text{fuel No.4}} = V / (L \times H)$$

$$= 4,376518 \text{ m}$$

XI.4.5 KG and LCG of Marine Diesel Oil

$$KG_{\text{DO}} = H_{\text{DB}} / 2$$

$$= 0,600 \text{ m}$$

$$W_{\text{DO}} = 17,4978 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{DO}} &= L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{Fuel No.1}} + L_{\text{Fuel No.2}} + L_{\text{CH}} \\ &\quad + 0,6 + (L_{\text{DO}}/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{DO}} &= \text{Panjang Tangki MDO} \\ &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{CH}} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{DO}} &= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 0,6 + (0,5 \times 1,80) \\ &= 40,311 \text{ m (FP)} \\ &= -14,905 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{DO}} = 20,83076 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{DO}} = 1,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{DO}} = 3 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$= 1,8 \text{ m}$$

$$B_{\text{DO}} = V / (L \times H)$$

$$= 9,643868 \text{ m}$$

XI.4.6 KG and LCG of Lubrication Oil

$$KG_{\text{LO}} = (H_{\text{LO}} / 2)$$

$$= 0,600 \text{ m}$$

$$W_{\text{LO}} = 0,3206 \text{ ton}$$

$$\text{LCG}_{\text{LO}} = L_{\text{PP}} - 5,4 - (L_{\text{LO}}/2)$$

$$\begin{aligned} L_{\text{LO}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{LO}} = 0,348513 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{LO}} = 1,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{LO}} = 1,2 \text{ m}$$

$$B_{\text{LO}} = V / (L \times H)$$

$$= 0,242 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\
 &= 4,311 \text{ m} \\
 L_{\text{CH}} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\
 &= 27,000 \text{ m} \\
 LCG_{\text{LO}} &= 50,81 - 5,4 - (0,5 \times 1,20) \\
 &= 44,811 \text{ m (FP)} \\
 &= -19,406 \text{ m (}\phi\text{)}
 \end{aligned}$$

XI.4.7 TOTAL KG and LCG of Crew and Consumable

$$\begin{aligned}
 KG_{\text{C\&C}} &= ((KG_{\text{C\&E}} \times W_{\text{C\&E}}) + (KG_{\text{FW}} \times W_{\text{FW}}) + (KG_{\text{PR}} \times W_{\text{PR}}) + (KG_{\text{Fuel}} \times W_{\text{Fuel}}) \\
 &\quad + (KG_{\text{DO}} \times W_{\text{DO}}) + (KG_{\text{LO}} \times W_{\text{LO}})) / W_{\text{C\&C}}
 \end{aligned}$$

$$W_{\text{C\&C}} = 110,988 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{C\&C}} = 2,89429 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 LCG_{\text{C\&C}} &= ((LCG_{\text{C\&E}} \times W_{\text{C\&E}}) + (LCG_{\text{FW}} \times W_{\text{FW}}) + (LCG_{\text{PR}} \times W_{\text{PR}}) + (LCG_{\text{Fuel}} \times W_{\text{Fuel}}) \\
 &\quad + (LCG_{\text{DO}} \times W_{\text{DO}}) + (LCG_{\text{LO}} \times W_{\text{LO}})) / W_{\text{C\&C}}
 \end{aligned}$$

$$W_{\text{C\&C}} = 110,988 \text{ ton}$$

$$LCG_{\text{C\&C}} = 23,171 \text{ m (FP)}$$

$$= 2,235 \text{ m (}\phi\text{)}$$

XI.5 Total Payload Center of Mass

$$W_{\text{PL}} = 974,05 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{PL}} = (H + \text{Ambang Hopper})/2$$

$$AM_{\text{HP}} = \text{Ambang Hopper}$$

$$= 1,721 \text{ m}$$

$$H = 4,779 \text{ m}$$

$$KG_{\text{PL}} = (4,779 + 1,721) / 2$$

$$= 3,250 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{PL}} = L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{PR}} + (0,5 \times L_{\text{CH}})$$

$$L_{\text{BH-FP}} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

$$= 4,311 \text{ m}$$

$$L_{\text{PR}} = \text{Panjang Pump Room}$$

$$= 7,5 \text{ m}$$

$$L_{\text{CH}} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 27,000 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{PL}} = 4,31 + 7,50 + (0,5 \times 27,00)$$

$$= 25,311 \text{ m (FP)}$$

$$= 0,095 \text{ m (}\phi\text{)}$$

XII. Weight Recapitulation*Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25***XII.1 Lightweight Tonnes (LWT) Recapitulation***Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 149***XII.1.1 Steel Weight Recapitulation**

1 Hull Steel Weight	=	295,346 ton
2 Superstructure and Deckhouse Weight	=	46,274 ton
3 Steel Correction Weight	=	8,285 ton
	=	349,905 ton

XII.1.2 Engine Plant Weight Recapitulation

1 Propulsion Units Weight	=	10,101 ton
2 Electrical Units Weight	=	29,942 ton
3 Other weights	=	40,870 ton
4 Special weight [on special ships]	Tidak Dipakai =	0 ton
	=	80,913 ton

XII.1.3 Equipment and Outfitting Weight Recapitulation

1 Group I (Hatchway Covers)	Tidak Dipakai =	0 ton
2 Group II (Cargo Handling Equipment)	Tidak Dipakai =	0 ton
3 Group III (Living Quarter)	=	32,618 ton
4 Group IV (Miscellaneous)	=	54,350 ton
	=	86,968 ton

TOTAL Lightweight Tonnes (LWT) = 517,787 ton**XII.2 Deadweight Tonnes (LWT) Recapitulation***Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25***XII.2.1 Payload Recapitulation**

1 Payload	=	974,050 ton
-----------	---	-------------

XII.2.2 Crew and Provisions Recapitulation

1 Crew Weight	=	1,360 ton
2 Fresh Water Weight	=	4,080 ton
3 Provision and Store Weight	=	0,240 ton
	=	5,680 ton

XII.2.3 Machinery Oil Consumable Weight Recapitulation

1 Heavy Fuel Oil Weight	=	87,489 ton
2 Marine Diesel Oil Weight	=	17,498 ton
3 Lubrication Oil Weight	=	0,321 ton
	=	105,308 ton

TOTAL Deadweight Tonnes (DWT) = 1085,038 ton**XII.3 TOTAL WEIGHT**

$$\begin{aligned} \Delta &= \text{LWT} + \text{DWT} \\ &= 517,787 + 1085,038 \\ &= 1602,825 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta (\text{Displacement}) &= 1646,856 \text{ ton} \\ \text{Selisih} &= 44,032 \text{ ton} \\ &= 2,674 \% \\ \text{Criteria} &= 5 \% \\ \text{STATUS} &= \text{ACCEPTED} \end{aligned}$$

XIII. Center of Mass Recapitulation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XIII.1 Lightweight Tonnes (LWT) Recapitulation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 149

	W (ton)	KG (m)	LCG (m FP)
XIII.1.1 Steel Weight Recapitulation			
1 Hull Steel Weight	= 295,346	2,144	25,476
2 Superstructure and Deckhouse Weight	= 46,274	7,008	30,563
3 Steel Correction Weight	= 8,285	2,729	26,780
	= 349,905	2,801	26,180
XIII.1.2 Engine Plant Weight Recapitulation			
1 Propulsion Units Weight	= 10,101		
2 Electrical Units Weight	= 29,942	2,453	43,311
3 Other weights	= 40,870		
4 Special weight [on special ships] Tidak Dipakai	= 0	0	0
	= 80,913	2,453	43,311
XIII.1.3 Equipment and Outfitting Weight Recapitulation			
1 Group I (Hatchway Covers) Tidak Dipakai	= 0	0	0
2 Group II (Cargo Handling Equipment) Tidak Dipakai	= 0	0	0
3 Group III (Living Quarter)	= 32,618	7,148	34,694
4 Group IV (Miscellaneous)	= 54,350	4,779	25,406
	= 86,968	5,668	28,889
TOTAL Lightweight Tonnes (LWT)	= 517,787	3,228	29,312
XIII.2 Deadweight Tonnes (LWT) Recapitulation			
<i>Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25</i>			
XIII.2.1 Payload Recapitulation			
1 Payload (Muatan)	= 974,050	3,250	25,311
XIII.2.2 Crew and Provisions Recapitulation			
1 Crew Weight	= 1,360	8,529	45,111
2 Fresh Water Weight	= 4,080	6,029	49,011
3 Provision and Store Weight	= 0,240	6,029	45,827
	= 5,680	6,627	47,943
XIII.2.3 Machinery Oil Consumable Weight Recapitulation			
1 Heavy Fuel Oil Weight	= 87,489	3,289	6,186
2 Marine Diesel Oil Weight	= 17,498	0,600	40,311
3 Lubrication Oil Weight	= 0,321	0,600	44,811
	= 105,308	2,834	11,974
TOTAL Deadweight Tonnes (DWT)	= 1085,038	3,227	24,135

XIII.3 TOTAL Center of Mass

KG = 3,228	m	LWL = 52,843833	m
LCG = 25,807	m (FP)	Selisih = -0,407	m
LWT + DWT = 1602,825	ton	= 0,771	%
Δ (Displacement) = 1646,856	ton	Criteria = 1	%
LCB = 25,40	m (FP)	STATUS =	ACCEPTED

XIV. Freeboard Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$T =$	3,14 m	$=$	25,40 m (from FP)
$H =$	4,78 m	$=$	0,011 % L
$V_S =$	10,00 kn	$V =$	1646,86 m ³
$=$	5,14 m/s	$\Delta =$	1646,86 ton
$\rho =$	1,000 ton/m ³	$C_B =$	0,797
Voyage =	104448 km	$P_B =$	1370,2 HP

Perhitungan freeboard menggunakan referensi:

Ref: International Convention on Load Lines (ICLL), 1966/1988

XIV.1 Type of Ship

Type A Ships = Kapal dengan persyaratan salah satu dari :

- Kapal yang didisain memuat muatan cair dalam bulk.
 - Kapal yang mempunyai integritas tinggi pada geladak terbuka dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, ditutup sekat penutup baja yang kedap atau material yang equivalent.
 - Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.
- seperti : Tanker, LNG carrier

Type B Ships = Kapal yang tidak memenuhi persyaratan kapal tipe A.

Type of Ship = B

XIV.2 Freeboard Standard Calculation

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 28/2

Ukuran standard freeboard telah diatur dalam tabel Table for 'B' Ships dengan fungsi panjang kapal.

$L_1 =$	50,00 m	<u>Interpolasi:</u>	$L =$	50,81 m
$Fb =$	443 mm		$Fb_1 =$	452,737 mm
$L_2 =$	51,00 m			
$Fb =$	455 mm			

XIV.3 Correction for Block Coefficient

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 30

Untuk $C_B > 0.68$

$$\begin{aligned}
 Fb_2 &= (Fb_1) \times ((C_B + 0.68) / 1.36) \\
 &= (452,74) \times ((0,80 + 0.68) / 1.36) \\
 &= 491,685 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

XIV.4 Correction for Depth

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 31

$$H = 4,78 \text{ m}$$

$$L/15 = 3,387 \text{ m}$$

Untuk H > L/15

$$Fb_3 = (H - (L / 15)) \times R$$

$$R = L / 0.48$$

$$= 50,81 / 0.48$$

$$105,86$$

$$Fb_3 = (4,78 - (50,81 / 15)) \times 105,86$$

$$147,286 \text{ mm}$$

XIV.5 Deduction for Superstructure and Trunks

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 37

E = Panjang efektif dari superstructure

$$= 22,765 \text{ m}$$

$$E < 1.0 L$$

$$E = 0,448 \% L$$

Tipe B, Ships with forecastle and detached bridge

0,4	L	27,5	% L
0,5	L	36	% L

$$\text{Interpolasi} = 31,58 \% L$$

$$Fb_4 = \% \times Fb_1$$

$$= 31,58\% \times 452,74$$

$$= 142,986 \text{ mm}$$

XIV.6 Total Minimum Freeboard Calculation

TOTAL $Fb_{\text{Min.}}$ = Besaran freeboard minimum yang dibutuhkan

$$Fb_{\text{Min.}} = Fb_1 + Fb_2 + Fb_3 - Fb_4$$

$$= 452,737 + 491,685 + 147,286 - 142,986$$

$$= 948,723 \text{ mm}$$

$$Fb_{\text{Actual}} = H - T$$

$$= 1637 \text{ mm}$$

$$\text{Req.} = Fb_{\text{Actual}} > Fb_{\text{Min.}}$$

STATUS = **ACCEPTED**

XIV.7 Reduced Freeboards for Dredgers (DR-68)

Ref: Guidelines for The Assignment of Reduced Freeboards for Dredgers, DR-68 (2010), page 6

The dredger may be assigned a reduced freeboard for loading, carrying or discharging dredgings. The reduced freeboard is the summer freeboard calculated for a type B ship in accordance with Regulation 40 of the Convention, reduced by 2/3 of the resulting summer freeboard to be calculated without Regulation 39 (bow height and reserve buoyancy) of the Convention taken into account. The resulting summer freeboard as for a type B vessel without any reduction or addition shall be used for calculating the dredger freeboard.

$$\begin{aligned}
 Fb_{\text{Dredging}} &= Fb_1 - (2/3 \times Fb_1) \\
 &= 452,74 - (2/3 \times 452,74) \\
 &= 151 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, saat melakukan proses pengerukan, freeboard kapal keruk boleh lebih rendah dari freeboard minimum yang telah dikoreksi seperti biasanya, dan nilainya maksimal 151 mm

XIV.8 Minimum Bow Height Calculation

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 39

Minimum Bow Height adalah jarak vertikal pada FP yang termasuk tinggi kapal ditambahkan dengan sheer dan tinggi forecastle.

Untuk kapal $L < 250$ m:

$$\begin{aligned}
 BH_{\text{Min.}} &= 56 \times L \times (1 - (L / 500)) \times (1.36 / (C_B + 0.68)) \\
 &= 56 \times 50,81 \times (1 - (50,81 / 500)) \times (1.36 / (0,80 + 0.68)) \\
 &= 2354 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BH_{\text{Actual}} &= H + H_{\text{FC}} \\
 H_{\text{FC}} &= \text{Tinggi Forecastle} \\
 &= 2,5 \text{ m} \\
 BH_{\text{Actual}} &= 7,28 \text{ m} \\
 &= 7278,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Req.} &= BH_{\text{Actual}} > BH_{\text{Min.}} \\
 \text{STATUS} &= \text{ACCEPTED}
 \end{aligned}$$

XIV.9 Reduced Bow Heights for Dredgers (DR-68)

Ref: Guidelines for The Assignment of Reduced Freeboards for Dredgers, DR-68 (2010), page 6

The minimum bow height at the dredger load line is the bow height provided by the Convention, Regulation 39(1), reduced by the reduction as calculated in XIV.7 of these calculations.

$$\begin{aligned}
 BH_{\text{Min Dredging.}} &= BH_{\text{Min.}} - Fb_{\text{Dredging}} \\
 &= 2353,78 - 150,91 \\
 BH_{\text{Min Dredging.}} &= 2203 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BH_{\text{Actual}} &= H + H_{\text{FC}} \\
 H_{\text{FC}} &= \text{Tinggi Forecastle} \\
 &= 2,5 \text{ m} \\
 BH_{\text{Actual}} &= 7,28 \text{ m} \\
 &= 7278,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Req.} &= BH_{\text{Actual}} > BH_{\text{Min Dredging.}} \\
 \text{STATUS} &= \text{ACCEPTED}
 \end{aligned}$$

XV. Building Cost Calculation

Ref: Pedoman Pembuatan Perkiraan Biaya (Cost Estimate), Direktorat Pengolahan, PERTAMINA

Input Data :

Steel Weight = 349,905 ton

**STEELBENCHMARKER PRICES**

May 23, 2016
dollars per metric tonne
(net ton) [gross ton] {Euros}

Region: USA, East of the Mississippi

Hot-rolled band:	684	(620)
Cold-rolled coil:	874	(793)
Standard plate:	714	(648)
#1 Heavy melting scrap:	239	[243]
Shredded scrap [†] :	266	[270]
#1 Busheling scrap:	275	[279]

Ref: SteelBenchmarker (23 May 2016)

XV.1 Reference Cost

Yang dijadikan acuan dalam perhitungan adalah biaya steel plate and profile

$$\text{\$ Steel Plate} = W_S \times UP_S$$

$$\begin{aligned} W_S &= \text{Steel Weight} \\ &= 349,905 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UP_S &= \text{Unit Price for Steel} \\ &= \$714,0 / \text{ton} \end{aligned}$$

$$\text{\$ Steel Plate} = \$249.832,410$$

$$\begin{aligned} \%_S &= \% \text{ biaya steel dari biaya total} \\ &= 21,00 \% \end{aligned}$$

XV.2 Example of Detail Cost Calculation

Perhitungan dilakukan dengan melakukan perbandingan antara persentase detail dengan reference cost, dalam hal ini yang dijadikan acuan adalah steel plate and profile cost

$$\text{\$ Detail} = (\% \text{ Detail} / \% \text{ Reference}) \times \text{\$ Reference}$$

ex:

Ingin mencari biaya detail dari design cost (\\$ Design)

$$\begin{aligned} \% \text{ Detail} &= \% \text{ Design} \\ &= 3,00 \% \text{ (Total Cost)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Reference} &= \% \text{ Steel Plate and Profile} \\ &= 21,00 \% \text{ (Total Cost)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\$ Reference} &= \text{\$ Steel Plate and Profile} \\ &= \$249.832,410 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Design} &= (3,00 / 21,00) \times 249832,41 \\ &= \$35.690,34 \end{aligned}$$

XV.3 Table of Building Cost Calculation Calculation

SUMMARY CONCEPTUAL ESTIMATE - FRESH WATER (FW)			
Cost	Detail	%	\$
DIRECT COST	1. Hull Part		
	1.a. Steel plate and profile	21,00	\$249.832,41
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7,00	\$83.277,47
	1.c. Piping, valves and fittings	2,50	\$29.741,95
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2,00	\$23.793,56
	1.e. Coating (BWT only)	1,50	\$17.845,17
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1,00	\$11.896,78
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0,30	\$3.569,03
	Subtotal (1)	35,30	\$419.956,38
	2. Machinery Part		
	2.a. Propulsion system and accessories	12,00	\$142.761,38
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3,50	\$41.638,74
	2.c. Boiler and Heater - Tidak Ada	1,00	\$0,00
	2.d. Other machinery in in E/R	3,50	\$41.638,74
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2,50	\$29.741,95
	2.f. Machinery spare part and tool	0,50	\$5.948,39
	Subtotal (2)	23,00	\$261.729,19
	3. Electric Part		
	3.a. Electric power source and accessories	3,00	\$35.690,34
	3.b. Lighting equipment	1,50	\$17.845,17
	3.c. Radio and navigation equipment	2,50	\$29.741,95
	3.d. Cable and equipment	1,00	\$11.896,78
3.e. Electric spare part and tool	0,20	\$2.379,36	
Subtotal (3)	8,20	\$97.553,61	
4. Construction cost			
Consumable material, rental equipment and labor	20,00	\$237.935,63	
Subtotal (4)	20,00	\$237.935,63	
5. Launching and testing			
Subtotal (5)	1,00	\$11.896,78	
6. Inspection, survey and certification			
Subtotal (6)	1,00	\$11.896,78	
TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)		88,50	\$1.040.968,38
INDIRECT COST	7. Design cost	3,00	\$35.690,34
	8. Insurance cost	1,00	\$11.896,78
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2,50	\$29.741,95
	TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)	6,50	\$77.329,08
MARGIN TOTAL III	5,00	\$59.483,91	
GRAND TOTAL (I + II + III)		100,00	\$1.177.781,36

XV.4 TOTAL Cost in IDR Calculation

Bank Indonesia (23 Mei 2016) 20.25 WIB - JUAL

1 USD = Rp13.675,00

Rp_{TOTAL} = Rp16.106.160.125

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN TEKNIS DAN

EKONOMIS – PERAIRAN LAUT

OPTIMIZATION - SEA WATER

Changing Variable

	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Main Dimension	Length	m	L	50,541	50,811	58,641	ACCEPTED
	Breadth	m	B	9,783	12,447	12,524	ACCEPTED
	Draft	m	T	3,055	3,065	4,033	ACCEPTED
	Height	m	H	3,719	4,779	4,882	ACCEPTED
	Cb			0,78	0,797	0,85	ACCEPTED

Constraint

	ITEM	UNIT	SYMBOL	MIN	VALUE	MAX	STATUS
Froude Number	$F_n = V / (g \times L_{pp})^{0.5}$		F_n	0,214	0,226	0,231	ACCEPTED
Ratio	Length / Breadth		L/B	3,9	4,082	15	ACCEPTED
	Breadth / Draft		B/T	1,8	4,061	5	ACCEPTED
	Length / Draft		L/T	10	16,578	30	ACCEPTED
Freeboard	Minimum freeboard	mm	F_s	0,949	1,714		ACCEPTED
Waterway Constraint	Maximum vessel draft	m	T_{max}		3,065	3,33333	ACCEPTED
	Maximum vessel breadth	m	B_{max}		12,447	15,820	ACCEPTED

Objective Function

	ITEM	UNIT	VALUE
Building Cost	Direct Cost	\$	1.072.896,44
	Indirect Cost	\$	79.700,88
	Margin Cost	\$	61.308,37
	Total Cost	\$	1.213.905,69

SUMMARY - SEA WATER	
Owner Requirement	
Jenis Kapal =	Dredger
Tipe =	Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)
Payload =	1100 ton
Kecepatan Dinas =	10 kn
Rute Pelayaran =	Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL)
Radius Pelayaran =	28,199 nm
Daerah Pelayaran =	Perairan Domestik (Indonesia)
Main Dimension	
Length (L) =	50,811 m
Length of Waterline (L _{WL}) =	52,844 m
Breadth (B) =	12,447 m
Waterway Draft (T _{FW}) =	3,142 m
Oceangoing Draft (T _{SW}) =	3,065 m
Height (H) =	4,779 m
Displacement (\bar{v}) =	1606,689 m ³
Displacement (Δ) =	1646,856 ton
Ratio and Coefficient	
L/B =	4,082
B/T =	4,061
L/T =	16,578
C _B =	0,797
C _M =	0,993
C _P =	0,802
C _{WP} =	0,872
Resistance and Powering	
R _T =	61,567 kN
P _{Req.} =	465,163 x 2 kW
P _{MainEngine} =	551 x 2 kW MAN-D2862 (Heavy Duty)
P _{GenReq.} =	116,291 x 2 kW
P _{Generator} =	150 x 2 kW CAT C7.1 ACERT Marine Generator Set
Mass and Center of Mass	
DWT =	1075,614 ton
LWT =	520,561 ton
LWT + DWT =	1596,175 ton
LCB =	25,400 m (FP)
LCG =	25,800 m (FP)
Freeboard =	1713,873 m
Trim =	0,348 m (Trim Buritan)
Building Cost	
\$ Direct =	\$1.072.896,44
\$ Indirect =	\$79.700,88
\$ Margin =	\$61.308,37
\$ Total =	\$1.213.905,69
Rp Total =	Rp16.600.160.326

IV. Ratio and Coefficient Calculation

Input Data :

$$\begin{aligned}
 L_{PP} &= 50,81 \text{ m} \\
 B &= 12,45 \text{ m} \\
 T &= 3,06 \text{ m} \\
 H &= 4,78 \text{ m} \\
 V_S &= 10,00 \text{ kn} \\
 &= 5,14 \text{ m/s} \\
 \rho &= 1,025 \text{ ton/m}^3 \\
 g &= 9,81 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan rasio dan koefisien menggunakan referensi:

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. I - Stability and Strength.

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. II - Resistance, Propulsion, and Vibration.

Ref: Parametric Design - Chapter 11.

IV.1 Dimension Ratios

IV.1.1 Length-Beam Ratio (L/B)

Ref: PNA Vol. I, page 19 and Reference Manual Maxsurf Resistance, page 54

The L/B ratio has significant influence on hull resistance and maneuverability.

Ratio of L/B approximate range 3.9 to 15.

$$\begin{aligned}
 \text{Ratio L/B} &= 50,81 / 12,45 \\
 &= 4,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constraint} &= 3,9 < 4,1 < 15 \\
 &= \text{Accepted}
 \end{aligned}$$

IV.1.2 Beam-Draft Ratio (B/T)

Ref: PNA Vol. I, page 19. and Parametric Design Chap. 11, page 9.

The B/T ratio has significant influence on initial intact transverse stability.

Ratio of B/T approximate range 1.8 to 5.

$$\begin{aligned}
 \text{Ratio B/T} &= 12,45 / 3,06 \\
 &= 4,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constraint} &= 1,8 < 4,1 < 5 \\
 &= \text{Accepted}
 \end{aligned}$$

IV.1.3 Length-Draft Ratio (L/T)

Ref: PNA Vol. I, page 19.

The L/T ratio is primarily important in its influence on longitudinal strength.

Ratio of L/T approximate range 10 to 30.

$$\begin{aligned}
 \text{Ratio L/T} &= 50,81 / 3,06 \\
 &= 16,6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constraint} &= 10 < 16,6 < 30 \\
 &= \text{Accepted}
 \end{aligned}$$

IV.2 Coefficient Calculation

IV.2.1 Froude Number (Fn)

Ref: PNA Vol. II, page 5.

Froude Number (Fn) has close association with the concept of speed-length ratio.

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{V}{\sqrt{gL_w}} \\ &= 10,00 / ((9,81 \times 52,84)^{0.5}) \\ &= 0,226 \end{aligned}$$

IV.2.2 Block Coefficient (C_B)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 10-11.

The block coefficient C_B measures the fullness of the submerged hull, the ratio of the hull volume to its surrounding parallelepiped L x B x T. (Schneekluth and Bertram)

For vessels in the range 0.15 ≤ Fn ≤ 0.32:

$$\begin{aligned} C_B &= -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \\ &= -4.22 + 27.8 \sqrt{(0,226)} - 39.1 (0,226) + 46.6 (0,226)^3 \\ &= 0,797 \\ C_B \text{ Min} &= 0,78 \\ C_B \text{ Max} &= 0,85 \end{aligned}$$

Ref: Designing Dredging Equipment, Chapter 2 Trailing Suction Hopper Dredger, page 20, Prof. Ir. W. J. Vlasblom (May 2007)

IV.2.3 Midship Section Coefficient (C_M)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 12.

The midship section coefficient C_M measures the fullness of the area of maximum section (midship section), the ratio of the midship section area to its surrounding area B x T. (Schneekluth and Bertram)

$$\begin{aligned} C_M &= 1.006 - 0.0056 C_B^{-3.56} \\ &= 1.006 - 0.0056 (0,80)^{-3.56} \\ &= 0,993 \end{aligned}$$

IV.2.4 Longitudinal Prismatic Coefficient (C_P)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 13 and 10.

The longitudinal prismatic coefficient C_P describes the distribution of volume along the hull form with the taper in the entrance and run. If C_B as the principal hull form coefficient and then estimates C_M, C_P can be obtained using this equation C_B = C_P x C_M

$$\begin{aligned} C_P &= C_B / C_M \\ &= 0,797 / 0,993 \\ &= 0,802 \end{aligned}$$

IV.2.5 Waterplane Coefficient (C_{WP})

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 14 and 16.

The waterplane coefficient C_{WP} measures the fullness of the area of waterplane the ratio of the waterplane area to its surrounding area at waterline $B \times L$. (For twin screw, and cruiser stern)

$$\begin{aligned} C_{WP} &= 0.262 + 0.760 C_P \\ &= 0.262 + 0.760 (0,802) \\ &= 0,872 \end{aligned}$$

IV.3 Displacement Calculation

IV.3.1 Volume Displacement (V)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 3.

Volume displacement (V) describes the moulded volume (m^3) of the submerged hull at waterline

$$\begin{aligned} V &= L \times B \times T \times C_B \\ &= 52,84 \times 12,45 \times 3,06 \times 0,797 \\ &= 1606,69 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

IV.3.2 Displacement (Δ)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 3.

Displacement (Δ) in ton describes the weight (ton) of the submerged hull at waterline.

ρ (fresh water density) = 1.000 ton/ m^3

$$\begin{aligned} \Delta &= L \times B \times T \times C_B \times \rho \\ &= 52,84 \times 12,45 \times 3,06 \times 0,797 \times 1,025 \\ &= 1646,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

IV.4 Length of Waterline (L_{WL})

$$\begin{aligned} L_{WL} &= 104 \% L_{PP} \\ &= 104 \% \times 50,81 \\ &= 52,8438 \text{ m} \end{aligned}$$

IV.5 Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 19.

The longitudinal center of bouyancy (LCB) affects the resistance and trim of the vessel. (Schneekluth and Bertram)

$$\begin{aligned} LCB &= 8.80 - 38.9 F_n \\ &= 8.80 - 38.9 \times 0,23 \\ &= 0,011 \% L \\ &= 0,0054 \text{ m (plus forward of amidship)} \\ &= 25,400 \text{ m (from FP)} \end{aligned}$$

V. Resistance Calculation

Input Data :

L_{PP} =	50,81 m	L_{WL} =	52,84 m
B =	12,45 m	F_n =	0,23
T =	3,06 m	C_B =	0,797
H =	4,78 m	C_M =	0,993
V_S =	10,00 kn	C_P =	0,802
=	5,14 m/s	C_{WP} =	0,872
ρ =	1,025 ton/m ³	LCB =	0,005 m (fwd. amidship)
g =	9,81 m/s ²	=	25,40 m (from FP)
V =	1606,689 m ³	=	0,011 % L
Δ =	1646,86 ton		

Perhitungan hambatan kapal menggunakan "**Holtrop and Mennen Method**"

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. II - Resistance, Propulsion, and Vibration.

Total Resistance Formula :

Ref: PNA Vol. II, page 93.

$$R_T = 1/2 \rho V^2 S_{Tot} [C_F (1+k) + C_A] + R_W / W * W$$

- dengan :
- ρ = Sea water density (Masa jenis air laut)
 - V = Ship velocity (Kecepatan kapal)
 - S_{Tot} = Total wetted surface of bare hull (Luas total permukaan basah)
 - C_F = Frictional Coefficient (Koefisien gesek)
 - $(1+k)$ = Form factor of bare hull (Faktor bentuk lambung)
 - C_A = Model-ship correlation allowance
 - R_W/W = Wave-making resistance
 - W = Weight Displacement (Displasemen ton)

V.1 Wave-making Resistance (R_W)

Ref: PNA Vol. II, page 92.

$$R_W/W = C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times F_n^{d_1}} + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})$$

Untuk kapal dengan kecepatan rendah ($F_n \leq 0.4$) maka menggunakan "Havelock Formula" (1913).

$$F_n = 0,226 < 0.4 \text{ maka menggunakan Havelock Formula}$$

V.1.1 C_1 Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92-93.

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

$$B/L = 0,236$$

Untuk ($0.11 \leq B/L \leq 0.25$), maka $C_4 = B/L$, yaitu :

$$C_4 = 0,236$$

$$(T/B)^{1.0796} = 0,220$$

$$\begin{aligned} iE &= 125.67(B/L) - 162.25Cp^2 + 234.32Cp^3 + 0.1551(LCB + (6.8(Ta-Tf)/T))^3 \\ &= (125.67 \times 0,236) - (162.25 \times 0,802^2) + (234.32 \times 0,802^3) + (0.1551 \times \\ &\quad (0,011 + (6.8 \times (3,06-3,06) / 3,06))^3) \\ &= 46,165 \quad \text{degree} \quad (\text{a half angle of entrance of the load waterline}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 2223105 \times (0,236^{3.7861}) \times (0,220) \times (90-46,165)^{-1.3757} \\ &= 11,319 \end{aligned}$$

V.1.2 C₂ Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

C₂ = Koefisien pengaruh dari penggunaan bulbous bow

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

$$C_2 = 1 \quad \text{*karena tidak menggunakan bulbous bow}$$

V.1.3 C₃ Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 93.

C₃ = Koefisien pengaruh dari transom stern

$$C_3 = 1 - \frac{0,8 \times A_T}{B \times T \times Cm}$$

$$\begin{aligned} A_T &= \text{Luas transom pada saat kecepatan kapal nol} \\ &= 0 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 1 - ((0.8 \times 0) / (12,45 \times 3,06 \times 0,993)) \\ &= 1 \end{aligned}$$

V.1.4 Parameter d

Ref: PNA Vol. II, page 92.

$$d = -0,9 \quad (\text{untuk } Fn \leq 0.4)$$

V.1.5 C₅ Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

C₅ = Koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (C_P)

Untuk kapal dengan C_P ≥ 0.8 maka C₅ dapat dihitung dengan formula:

$$\begin{aligned} C_5 &= 1.7301 - 0.7067 \times C_P \\ &= 1.7301 - (0.7067 \times 0,802) \\ &= 1,163 \end{aligned}$$

V.1.6 C₆ Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

$$C_6 = \text{Koefisien dengan fungsi } L^3/V$$

$$L^3/V = 91,844$$

Untuk ($L^3/V \leq 512$), maka perhitungan C_6 adalah :

$$C_6 = -1,69385$$

V.1.7 m_1 Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

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

$$= 0.01404 \times (52,84 / 3,06) - 1.7525 \times ((1606,69^{1/3}) / 52,84) - 4.7932$$

$$\times 0,236 - 1,16$$

$$= -2,438$$

V.1.8 m_2 Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

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

$$= -1,69385 \times 0.4 \times \exp^{-0.034 \times (0,226^{-3.29})}$$

$$= -7,2513E-03$$

V.1.9 λ Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

λ = Parameter yang berpengaruh terhadap fungsi L/B

$$L/B = 4,082267$$

Untuk ($L/B < 12$), maka perhitungan λ adalah :

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B$$

$$= (1.446 \times 0,802) - (0.03 \times 4,082)$$

$$= 1,0488$$

V.1.10 W Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 64.

W = Gaya berat (berat displacement dalam kN)

$$W = \rho \times g \times V$$

$$= 1,025 \times 9,81 \times 1606,69$$

$$= 16155,66 \text{ kN}$$

V.1.11 R_w/W Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

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

$$= 11,319 \times 1,0 \times 1,0 \times \exp^{-2,438 \times (0,226^{-0,9})} + (-0,007) \times (\cos$$

$$= (1,049 \times 0,226^{-2}))$$

$$= 0,001034$$

$$= 0,00103412$$

V.1.12 R_w Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

$$\begin{aligned}
 R_W &= (R_W/W) * W \\
 &= 0,00103412 * 16155,7 \\
 &= 16,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

Ref: PNA Vol. II, page 91.

$1+k$ = Faktor bentuk lambung terhadap hambatan kapal

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

$1+k_1$ = Effective factor of bare hull

$1+k_2$ = Effective factor of appendages surface

S_{app} = Total luasan penambahan permukaan basah

S_{tot} = Total luasan permukaan basah

V.2.1 L/L_R Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 91.

L_R = Length of run

$$L/L_R = 1 / (L_R/L)$$

$$\begin{aligned}
 L_R/L &= 1 - C_p + 0.06C_p LCB / (4C_p - 1) \\
 &= 1 - 0,802 + ((0.06 \times 0,802 \times 0,011) / (4 \times 0,802 - 1)) \\
 &= 0,197969
 \end{aligned}$$

$$L/L_R = 5,051$$

V.2.2 $1+k_1$ Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 91.

$1+k_1$ = Effective factor of bare hull

$$= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/L_R)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{-0.6042}$$

c = Koefisien bentuk *afterbody*

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

$$= 1 \quad \text{for normal section shape}$$

$$C_{stern} = -25 \quad \text{for pram with gondola}$$

$$C_{stern} = -10 \quad \text{for V-shaped sections}$$

$$C_{stern} = 0 \quad \text{for normal section shape}$$

$$C_{stern} = 10 \quad \text{for U-shaped sections with Hogner stern}$$

$$\begin{aligned}
 1+k_1 &= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/L_R)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{-0.6042} \\
 &= 0.93 + (0.4871 \times 1) \times (0,24^{1.0681}) \times (3,06 / 52,84^{0.4611}) \times (5,05 \\
 &\quad \wedge^{0.1216}) \times (91,84^{0.3649}) \times ((1 - 0,80)^{-0.6042}) \\
 &= 1,402
 \end{aligned}$$

V.2.3 $1+k_2$ Coefficient Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 92.

$$1 + k_2 = \text{Effective factor of appendages surface} \\ = \Sigma S_i (1+k_2)_i / \Sigma S_i$$

Faktor penambahan luasan permukaan basah $(1+k_2)$

Ref: PNA Vol. II, page 92.

- 1.3 - 1.5 = Rudder of single-screw ship
- 1.5 - 2.0 = Skeg-type rudder of twin-screw ship
- 2,8 = Spade-type rudder of twin-screw ship
- 3,0 = Shaft brackets
- 2,0 = Bossings
- 1,4 = Bilge keels
- 2,8 = Stabilizer fins
- 2,0 = Shafts
- 2,7 = Sonar dome

Penambahan permukaan basah yang digunakan adalah:

$$(1+k_2)_i = 2,8 \text{ (Spade-type rudder of twin-screw ship)}$$

$$S_{\text{kemudi}} = \text{Luasan daun kemudi} \\ = C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L T) / 100)$$

Ref: BKI Vol. II, sec. 14 A.3, page 14-1.

- $C_1 = 1,0$ for general
- $C_2 = 1,0$ for semi-spade rudders
- $C_3 = 1,0$ for NACA profile and plate rudder
- $C_4 = 1,0$ for rudder in the propeller jet

$$S_{\text{kemudi}} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times ((1.75 \times 52,84 \times 3,06) / 100) \\ = 2,834 \text{ m}^2 \quad \text{@ daun kemudi} \\ = 5,669 \text{ m}^2 \quad \text{untuk dua daun kemudi} \\ \Sigma S_i = 5,669 \text{ m}^2$$

$$1 + k_2 = \Sigma S_i (1+k_2)_i / \Sigma S_i \\ = (5,67 \times 2,8) / 5,669 \\ = 2,8$$

V.2.3 Total Wetted Surface Calculation (S_{tot})

Ref: PNA Vol. II, page 91-92.

$$S_{\text{tot}} = S + S_{\text{app}} \\ S = \text{Wetted Surface Area} \\ = L (2T + B) C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2863 C_M - 0.003467 (B/T) \\ + 0.3696 C_{WP}) + 2.38 (A_T / C_B) \\ = 52,84 \times (2 \times 3,06 + 12,45) \times (0,993^{0.5}) \times (0.453 + (0.4425 \times 0,797) - (0.2863 \\ \times 0,993) - (0.003467 \times (12,45 / 3,06))) + (2.38 \times (0,000 / \\ 0,80)) \\ = 811,477 \text{ m}^2 \\ S_{\text{app}} = 5,67 \text{ m}^2 \\ S_{\text{tot}} = S + S_{\text{app}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 811,5 + 5,67 \\
 &= 817,145 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Then, (1+k) Calculation :

$$\begin{aligned}
 1+k &= (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] S_{app}/S_{tot} \\
 &= 1,40 + (2,80 - 1,40) \times 5,67 / 817,15 \\
 &= 1,412
 \end{aligned}$$

V.3 Friction Coefficient Calculation (C_F)

Ref: PNA Vol. II, page 90.

C_F = Kofisien gesek yang mempengaruhi hambatan kapal (ITTC-1957)

$$C_F = 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

Ref: PNA Vol. II, page 59.

Rn = Reynolds number

$$= V \times L_{WL} / \nu_S$$

ν_S = Kinematic viscosity for salt water

$$= 1.1883 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$Rn = (5,37 \times 52,84) / 1.1883 \times 10^{-6}$$

$$= 238611297,3$$

$$\begin{aligned}
 C_F &= 0.075 / (\log Rn - 2)^2 \\
 &= 0.075 / [\log (238611297,3) - 2]^2 \\
 &= 0,00184
 \end{aligned}$$

V.4 Correlation Allowance Calculation (C_A)

Ref: PNA Vol. II, page 93.

$$T/L_{WL} = 3,06 / 52,84$$

$$= 0,05800 > 0.04$$

Untuk ($T/L_{WL} > 0.04$), maka C_A adalah :

$$\begin{aligned}
 C_A &= 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\
 &= 0.006 \times (52,84 + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\
 &= 0,000633
 \end{aligned}$$

V.5 Viscous Resistance Coefficient Calculation (C_{VS})

Ref: PNA Vol. II, page 156.

C_{VS} = Viscous Resistance Coefficient

$$= C_F (1+k) + C_A$$

$$= (0,00184 \times 1,412) + 0,00063$$

$$= 0,003236$$

V.6 Suction Pipe Resistance

Ref: Designing Dredging Equipment, W.J.Vlasblom (2007), page 42-43

This suction pipe resistance is composed of several components:

V.6.1 The hydro-visco components

1. In the direction perpendicular of the pipe:

$$R_{\text{pipe}} = \text{Drag Force [N]}$$

$$R_{\text{pipe}} = C_D \times 1/2 \times \rho_w \times v \sin\beta \times |v \sin\beta| \times L \times D$$

dimana, C_D = Drag Coefficient

$$= 0,9$$

ρ_w = Density water

$$1025 \text{ kg/m}^3$$

v = Trail speed

$$1,543 \text{ m/s} \quad \approx 3 \text{ knots}$$

β = Pipe Angle (0° - 45°)

$$33^\circ \text{ (diambil sudut yang menghasilkan hambatan terbesar)}$$

L = Pipe Length (Berdasarkan katalog pipa)

$$30 \text{ m}$$

D = Pipe Diameter (Berdasarkan katalog pipa)

$$0,5 \text{ m}$$

$$R_{\text{pipe}} = 0,9 \times 1/2 \times 1025 \times 1,543 \sin 33 \times |1,543 \sin 33| \times 30 \times 0,5$$

$$= 16476,64 \text{ N}$$

$$= 16,47664 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai sudut yang menghasilkan nilai hambatan terbesar:

β	R_{pipe}		β	R_{pipe}	
	N	kN		N	kN
0	0,0	0,00	23	-11800,8	-11,80
1	11668,7	11,67	24	-13514,4	-13,51
2	13625,6	13,63	25	-288,7	-0,29
3	328,2	0,33	26	9582,8	9,58
4	-9438,7	-9,44	27	15073,1	15,07
5	-15153,5	-15,15	28	1209,4	1,21
6	-1286,6	-1,29	29	-7257,8	-7,26
7	7113,1	7,11	30	-16087,4	-16,09
8	16130,7	16,13	31	-2690,2	-2,69
9	2798,9	2,80	32	5011,0	5,01
10	-4877,3	-4,88	33	16476,6	16,48
11	-16479,2	-16,48	34	4613,1	4,61
12	-4744,6	-4,74	35	-3021,4	-3,02
13	2909,3	2,91	36	-16209,7	-16,21
14	16171,4	16,17	37	-6824,9	-6,82
15	6968,8	6,97	38	1447,5	1,45
16	-1366,0	-1,37	39	15307,9	15,31
17	-15231,8	-15,23	40	9149,3	9,15
18	-9294,2	-9,29	41	-414,6	-0,41
19	370,2	0,37	42	-13843,0	-13,84
20	13735,2	13,74	43	-11401,4	-11,40
21	11535,6	11,54	44	5,2	0,01
22	-1,3	0,00	45	11931,8	11,93
Nilai Maksimum			16,48 kN		
β			33 °		

2. In the direction parallel of the pipe:

$$R_{\text{pipe}} = \text{Lift Force [N]}$$

$$R_{\text{pipe}} = C_L \times 1/2 \times \rho_w \times v \cos\beta \times |v \cos\beta| \times L \times D$$

dimana, C_L = Lift Coefficient

$$= 0,8$$

ρ_w = Density water
1025 kg/m³

v = Trail speed
1,543 m/s \approx 3 knots

β = Pipe Angle (0°-45°)
0° (diambil sudut yang menghasilkan hambatan terbesar)

L = Pipe Length (Berdasarkan katalog pipa)
30 m

D = Pipe Diameter (Berdasarkan katalog pipa)
0,5 m

$$R_{\text{pipe}} = 0,8 \times 1/2 \times 1025 \times 1,543 \cos 0 \times |1,543 \cos 0| \times 30 \times 0,5$$

$$= 14648,49 \text{ N}$$

$$= 14,64849 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai sudut yang menghasilkan nilai hambatan terbesar:

β	R_{pipe}		β	R_{pipe}	
	N	kN		N	kN
0	14648,49	14,65	23	-4158,8664	-4,16
1	4276,282	4,28	24	2635,67013	2,64
2	-2536,8	-2,54	25	14391,8878	14,39
3	-14356,8	-14,36	26	6130,45852	6,13
4	-6258,56	-6,26	27	-1250,1762	-1,25
5	1178,679	1,18	28	-13573,434	-13,57
6	13504,83	13,50	29	-8197,1467	-8,20
7	8325,739	8,33	30	348,538873	0,35
8	-310,112	-0,31	31	12257,1723	12,26
9	-12160,6	-12,16	32	10194,2999	10,19
10	-10313,1	-10,31	33	-2,582118	0,00
11	0,286917	0,00	34	-10547,957	-10,55
12	10431,03	10,43	35	-11962,826	-11,96
13	12062,44	12,06	36	-239,86463	-0,24
14	273,8837	0,27	37	8581,94199	8,58
15	-8454,02	-8,45	38	13361,8451	13,36
16	-13434,3	-13,43	39	1041,48463	1,04
17	-1109,11	-1,11	40	-6515,7396	-6,52
18	6387,005	6,39	41	-14279,912	-14,28
19	14319,43	14,32	42	-2343,5855	-2,34
20	2439,426	2,44	43	4513,94206	4,51
21	-4394,65	-4,39	44	14643,8948	14,64
22	-14647,3	-14,65	45	4042,44269	4,04
Nilai Maksimum			14,65 kN		
β			0°		

Dari R_{pipe} pada kondisi 1 dan kondisi 2, didapatkan Rata-rata yaitu:

1. In the direction perpendicular of the pipe: 16,477 kN
 2. In the direction parallel of the pipe: 14,648 kN
- Rata-rata = 15,563 kN

i, R_{pipe} (hambatan) yang didapatkan dari the hydro-visco components adalah = 15,563 kN

$$= 15562,56 \text{ N}$$

V.6.2 Momentum Force

Another force that the propulsion has to generate, which is often forgotten, is the force needed to accelerate the dredge mixture to the trail velocity of the ship, this momentum force.

$$F_{\text{mom}} = \text{Momentum Force [N]}$$

$$= Q \times \rho_{\text{mix}} \times V_{\text{trail}}$$

dimana, $Q = \text{Pump Capacity}$
 $1,528 \text{ m}^3/\text{s}$

$\rho_{\text{mix}} = \text{Density Mixture}$
 $885,5 \text{ kg/m}^3$

$V_{\text{trail}} = \text{Trail speed}$
 $1,543 \text{ m/s} \quad \approx 3 \text{ knots}$

$$F_{\text{mom}} = 1,528 \times 885,5 \times 1,543$$

$$= 2087,89 \text{ N}$$

$$F_{\text{mom}} = 2,088 \text{ kN}$$

V.7 Total Resistance Calculation (R_T)

Ref: PNA Vol. II, page 93.

Input data:

$\rho =$	1025 kg/m ³	$C_A =$	0,00063
$V_s =$	5,14 m/sec	$R_W =$	16,71 kN
$S_{\text{Tot}} =$	817,15 m ²	$W =$	16155,66 kN
$C_F =$	0,001844	$R_{\text{pipe}} =$	15562,563 N
$(1+k) =$	1,412	$F_{\text{mom}} =$	2087,890 N

$$\begin{aligned}
 R_T &= 1/2 \rho V^2 S_{\text{Tot}} [C_F (1+k) + C_A] + R_W / W * W + R_{\text{pipe}} + F_{\text{mom}} \\
 &= 0.5 \times 1025 \times (5,14^2) \times 817,15 \times (1,844\text{E-}3 \times 1,41 + 6,333\text{E-}4) + (16,71 / \\
 &\quad 16155,66 \times 16155,66) + 15562,563 + 2087,890 \\
 &= 53536,69 \text{ N} \\
 &= 53,537 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

V.7.1 Total Resistance Margin

Ref: PNA Vol. II, page 7.

Sea margin merupakan margin yang diberikan akibat adanya penambahan hambatan kapal yang disebabkan bertambahnya kekasaran lambung kapal oleh korosi dan fouling pada lambung kapal.

$$\text{Margin} = 10 - 15 \% R_T$$

$$= 15 \% R_T$$

Maka, hambatan kapal total sebesar:

$$R_T + \text{Margin} = R_T + 15\%$$

$$= 53,537 + 15\%$$

$$= 61,567 \text{ kN}$$

$$R_{\text{TOT}} = 61,567 \text{ kN}$$

VI. Propulsion Calculation

Input Data :

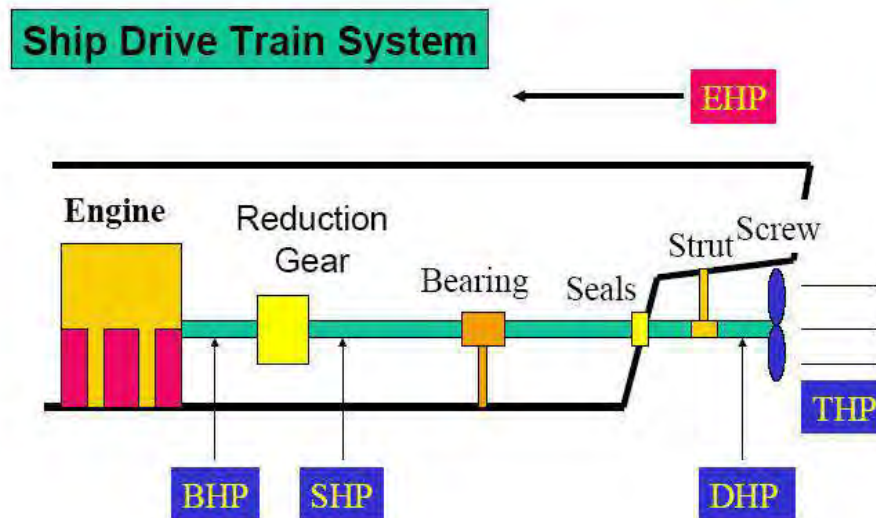
L_{PP} =	50,81 m	L_{WL} =	52,84 m
B =	12,45 m	F_n =	0,23
T =	3,06 m	C_B =	0,797
H =	4,78 m	C_M =	0,993
V_S design =	10,00 kn	C_P =	0,802
=	5,14 m/s	C_{WP} =	0,872
ρ =	1,025 ton/m ³	LCB =	0,01 m (fwd. amidship)
g =	9,81 m/s ²	=	25,40 m (from FP)
V =	1606,689 m ³	=	0,011 % L
Δ =	1646,86 ton	R_T =	61,5672 kN
1 HP =	0,7457 kW	D =	1,53246 m/screw

Perhitungan sistem propulsi kapal menggunakan referensi:

Ref: Principles of Naval Architecture Vol. II - Resistance, Propulsion, and Vibration.

Ref: Parametric Design - Chapter 11.

Ship Drive Train System Diagram



VI.1 Effective Power (P_E) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 2.

P_E = Power yang dibutuhkan untuk melawan hambatan yang terjadi pada kapal sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan.

$$P_E = R_T \times V_S$$

R_T = Total Resistance (kW)

V_S = Service speed (m/sec)

$$P_E = 61,57 \times 5,144 \quad P_{E/SCREW} = P_E / 2 \quad = (P_E / \text{jml propeller})$$

$$= 316,729 \text{ kW} \quad = 158,364 \text{ kW}$$

$$= 424,740 \text{ HP} \quad = 212,370 \text{ HP}$$

VI.2 Delivered Power (P_D) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153 & 163.

P_D = Power yang sampai di propeller. Dipengaruhi oleh hull efficiency, relative-rotative efficiency, dan open water efficiency.

$$P_D = P_E / \eta_D$$

P_E = Effective Power (kW)

η_D = Propeller Efficiency

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

η_H = Hull Efficiency

η_R = Relative-rotative Efficiency

η_O = Open Water Efficiency

VI.2.1 Hull Efficiency (η_H) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153.

η_H = Hull Efficiency

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

t = Thrust deduction

w = Wake Fraction

VI.2.1.1 Wave Fraction (w) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 160.

Wave fraction for twin screw ships:

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

$$\begin{aligned} w &= 2 \times 0,797^5 \times (1 - 0,797) + 0.04 \\ &= 0,195 \end{aligned}$$

VI.2.1.2 Thrust Deduction (t) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 160.

Thrust deduction for twin screw ships with struts:

$$\begin{aligned} t &= 0.70 w + 0.06 \\ &= 0.70 \times 0,195 + 0.06 \\ &= 0,196 \end{aligned}$$

Hull Efficiency (η_H) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153.

$$\begin{aligned} \eta_H &= (1 - t) / (1 - w) \\ &= (1 - 0,196) / (1 - (0,195)) \\ &= 0,998 \end{aligned}$$

VI.2.2 Open Water Efficiency (η_O) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 151.

η_O = Open Water Efficiency

$$\eta_O = 0,550$$

VI.2.3 Relative-rotative Efficiency (η_R) Calculation

Ref: PNA Vol. II, page 153.

η_R = Relative-rotative Efficiency

Relative-rotative Efficiency equations for twin screw ships:

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

$$\begin{aligned} P/D &= \text{Pitch ratio} \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

The value of the relative rotative efficiency does not in general depart materially from unity, being in the region of from 0.95 to 1.0 for most twin-screw ships and between 1.0 to 1.1 for single-

$$\begin{aligned} \eta_R &= 0.9737 + 0.111 \times (0,802 - 0.0225 \times 0,011 + (-0.06325 \times 1,00)) \\ &= 0,999 \end{aligned}$$

Maka, Propeller Efficiency (η_D):

$$\begin{aligned} \eta_D &= \eta_H \times \eta_R \times \eta_O \\ &= 0,99797 \times 0,550 \times 0,999 \\ &= 0,549 \end{aligned}$$

Maka, Delivered Power (P_D) :

$$\begin{aligned} P_D &= P_E / \eta_D & P_{D/SCREW} &= (P_{E/SCREW}) / \eta_D & &= (P_D / \text{jml propeller}) \\ &= 316,73 / 0,549 & &= 158,36 / 0,549 \\ &= 577,343 \text{ kW} & &= 288,671 \text{ kW} \\ &= 774,230 \text{ HP} & &= 387,115 \text{ HP} \end{aligned}$$

VI.3 Shaft Power (P_S) Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 29 & 31.

P_S = Power yang telah melewati proses transmisi pada reduction gear.

$$P_S = P_D / \eta_S \eta_b$$

$$\begin{aligned} \eta_S \eta_b &= \text{Sterntube and Line Bearing Efficiency} \\ &= 0,98 \text{ (for machinery aft.)} \\ &= 0,97 \text{ (for machinery amidship)} \end{aligned}$$

Letak kamar mesin di belakang, maka:

$$\eta_S \eta_b = 0,98$$

$$\begin{aligned} P_S &= P_D / \eta_S \eta_b & P_{S/SHAFT} &= (P_{D/SHAFT}) / \eta_S \eta_b & &= (P_S / \text{jml poros}) \\ &= 577,34 / 0,98 & &= 288,67 / 0,98 \\ &= 589,1255 \text{ kW} & &= 294,563 \text{ kW} \\ &= 790,030 \text{ HP} & &= 395,015 \text{ HP} \end{aligned}$$

VI.4 Break Power (P_B) Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 29 & 33.

P_B = Power minimum yang dibutuhkan oleh mesin penggerak utama.

$$P_B = P_S / \eta_t$$

η_t = Transmission Efficiency

$$\eta_t = \prod (1 - li) = \eta_g$$

$li = 0,010$ for each gear reduction

$li = 0,005$ for the trust bearing

$li = 0,010$ for a reversing gear path

$$\eta_t = (1 - 0,010) \times (1 - 0,005) \times (1 - 0,010) \\ = 0,9752$$

$$\begin{array}{lll} P_B = P_S / \eta_T & P_{B/ENG.} = (P_{S/SHAFT}) / \eta_T & = (P_B / \text{jml main engine}) \\ = 589,13 / 0,9752 & = 294,56 / 0,9752 & \\ = 604,1076 \text{ kW} & = 302,054 \text{ kW} & \\ = 810,1215 \text{ HP} & = 405,061 \text{ HP} & \end{array}$$

VI.5 Voyage Margin Calculation

Voyage = Perairan Indonesia

Margin = 10%

$$P_B = 604,1076 \text{ kW}$$

Margin = 60,41076 kW

$$\begin{array}{lll} P_{B+M} = P_B + M_{\text{voyage}} & P_{B+M/ENG.} = P_{B/ENG.} + M_{\text{voyage}} & = (P_{B+M} / \text{jml main engine}) \\ = 604,11 + 10\% & = 302,05 + 10\% & \\ = 664,5184 \text{ kW} & = 332,259 \text{ kW} & \\ = 891,1337 \text{ HP} & = 445,567 \text{ HP} & \end{array}$$

VI.6 Maximum Continuous Rating (MCR) Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 29-30.

MCR = Margin pada power yang disebabkan oleh penambahan power design margin dan power service margin

$$MCR = P_B \times (1 + M_D) / (1 - M_S)$$

M_D = Power Design Margin (3-5%)

M_S = Power Service Margin (15-25%)

$$M_D = 5\%$$

$$M_S = 25\%$$

$$\begin{array}{lll} MCR = 664,52 \times (1 + 0,05) / (1 - 0,25) & MCR_{/ENG.} = 332,26 \times (1 + 0,05) / (1 - 0,25) & \\ = 930,3258 \text{ kW} & = 465,163 \text{ kW} & \\ = 1247,587 \text{ HP} & = 623,794 \text{ HP} & \\ P_{TOTAL} = 930,3258 \text{ kW} & P_{TOTAL/ENG.} = 465,163 \text{ kW} & \\ = 1247,587 \text{ HP} & = 623,794 \text{ HP} & \end{array}$$

Total power dibutuhkan untuk menjalankan kapal yang memiliki dua buah propeller dan dua buah mesin, maka untuk setiap mesinnya dibutuhkan power sebesar:

$$\begin{array}{l} P = 930,33 / 2 \\ = 465,1629 \text{ kW} \\ = 623,7936 \text{ HP} \end{array}$$

VII. Main and Auxiliary Engine Catalogue

VII.1 Main Engine Requirement

Dengan mengetahui jumlah power yang dibutuhkan untuk setiap main engine, maka dicari jenis main engine yang didapatkan dari katalog mesin dengan kapasitas yang memenuhi.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Req.}} &= 465,163 \text{ kW} && \text{(untuk satu engine)} \\
 &= 623,794 \text{ HP} \\
 \text{Jumlah} &= 2 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

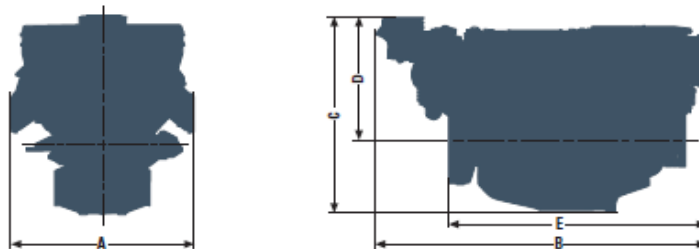
VII.2 Main Engine Technical Data

MAN-D2862 (Heavy Duty)

Type of engine	=	LE 431	
Bore	=	128 mm	
Stroke	=	157 mm	
Displacement	=	24,24 l	
Compression ratio	=	19 : 1	
Rotation looking on flywheel	=	left	
Flywheel Housing	=	SAE 1	
Normal Rating	=	551 kW	: 750 HP
Rated Speed	=	1800 rpm	
Torque at Rated Speed	=	2923 Nm	
Max. Torque	=	3290 Nm	
At Speed	=	1600 rpm	
Specific Fuel Consumption	=	213 g/kWh	
Fuel Consumption	=	140 l/h	
Fuel Density	=	890 kg/m ³	

VII.3 Main Engine Dimensions

A - Overall width engine	=	1153 mm	1,153 m
B - Overall length of engine	=	2124 mm	2,124 m
C - Overall height of engine	=	1289 mm	1,289 m
D - Top of engine to crankshaft centre	=	825 mm	= 0,825 m
E - Length of engine from front end to edge of	=	1631 mm	= 1,631 m
Weight	=	2270 kg	2,27 ton



VII.4 Auxiliary Engine (Generator Set) Requirement

Dengan mengetahui jumlah power yang dibutuhkan untuk setiap main engine, maka dicari jenis auxiliary engine (generator set) yang didapatkan dari katalog dengan kapasitas asumsi sebesar 25 % dari power main engine yang dibagi menjadi dua buah generator set.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{AuxReq.}} &= 25\% \times 930 \\
 &= 232,581 \text{ kW} \\
 &= 311,897 \text{ HP} \\
 \text{Jumlah} &= 2 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{AuxReq.}} &= 116,291 \text{ kW/unit} \\
 &= 155,948 \text{ HP/unit}
 \end{aligned}$$

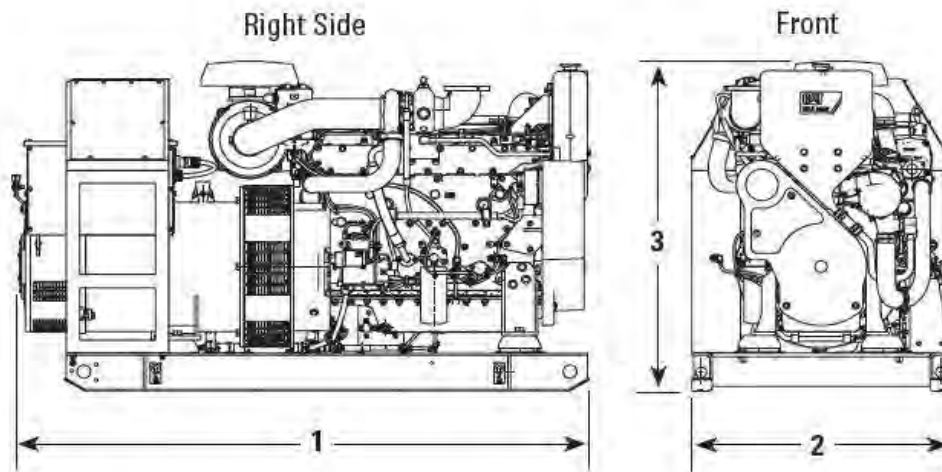
VII.5 Auxiliary Engine Technical Data

CAT C7.1 ACERT Marine Generator Set

Type of engine	=	EMCP4.2
Frequency	=	60 Hz
Bore	=	105 mm
Stroke	=	135 mm
Displacement	=	7,01 l
Normal Rating	=	150 kW
Rated Speed	=	1800 rpm
Specific Fuel Consumption	=	219 g/kWh
Fuel Consumption	=	19,5 l/h
Fuel Density	=	0,85 kg/l
Flywheel Housing	=	SAE 3

VII.6 Auxiliary Engine Dimensions

(1) Length	=	2142 mm	2,142 m
(2) Width	=	965 mm	0,965 m
(3) Height	=	1263 mm	1,263 m
Weight, Net Dry	=	1652 kg	1,652 ton



VIII. Engine Plant Weight Calculation

Input Data :

$L_{PP} = 50,81 \text{ m}$	$L_{WL} = 52,84 \text{ m}$
$B = 12,45 \text{ m}$	$LCB = 0,005 \text{ m (fwd. amidship)}$
$T = 3,06 \text{ m}$	$= 25,40 \text{ m (from FP)}$
$H = 4,78 \text{ m}$	$= 0,011 \% L$
$V_S = 10,00 \text{ kn}$	$R_T = 61,5672 \text{ kN}$
$= 5,14 \text{ m/s}$	$D = 1,53246 \text{ m}$
$\rho = 1,025 \text{ ton/m}^3$	$n = 110 \text{ rpm}$
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	$Z \text{ (Blade)} = 4 \text{ buah}$
$V = 1606,69 \text{ m}^3$	$A_E/A_O = 0,55$
$\Delta = 1646,86 \text{ ton}$	$P_D = 288,671 \text{ kW/SCREW}$
$1 \text{ HP} = 0,7457 \text{ kW}$	$P_B = 465,163 \text{ kW/SCREW}$

Perhitungan berat permesinan kapal menggunakan referensi:

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy (second edition 1998) page. 173-178

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

Perhitungan berat permesinan dapat dibagikan kedalam beberapa kelompok, diantaranya:

1. Propulsion units
2. Electrical units
3. Other weights
4. Special weight

VIII.1 Propulsion Units Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175-176

Propulsion Units Weight meliputi:

- Main Engine
- Gearbox
- Shafting
- Propeller

VIII.1.1 Main Engine Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175

$W_E =$ Berat dari satu buah main engine yang diketahui dari katalog mesin.

Main Engine = MAN-D2862 (Heavy Duty)

$W_E = 2,27 \text{ ton/Engine}$

Total $W_E = 4,54 \text{ ton}$ (untuk dua buah main engine)

VIII.1.2 Gearbox Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175

$W_{Gear} =$ Berat dari satu buah gear box.

$$\begin{aligned} W_{Gear} &= (0.3 \sim 0.4) P_B / n \\ &= 0.3 \times 465,16 / 110 \\ &= 1,26863 \text{ ton/GearBox} \end{aligned}$$

Total $W_{Gear} = 2,537 \text{ ton}$ (untuk dua buah gear box)

VIII.1.3 Shafting Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175

M = Berat untuk satu buah poros

$$M = M/L_S \times L_S$$

L_S = Panjang Poros

$$L_S = 6 \text{ m}$$

M/L_S = Berat poros per meter

$$\begin{aligned} M/L_S &= 0.081 (P_D / n)^{2/3} \\ &= 0,081 \times (288,67 / 110)^{(2/3)} \\ &= 0,15411 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$M = M/L_S \times L_S$$

$$= 0,1541 \times 6,00$$

$$= 0,925 \text{ ton/Shaft}$$

$$\text{Total } W_{\text{Shaft}} = 1,849 \text{ ton (untuk dua buah Shaft)}$$

VIII.1.4 Propeller Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 175-176

W_{Prop} = Berat untuk satu buah propeller

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

D = Diameter Propeller

$$= 1,53246 \text{ m}$$

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

d_S = Diameter Shaft

$$\begin{aligned} d_S &= 11.5 (P_D / n)^{1/3} \\ &= 11.5 \times (288,67 / 110)^{(1/3)} \\ &= 15,8624 \text{ cm} \\ &= 0,15862 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= (0,16 / 1,53) \times (1.85 \times 0,55 - ((4 - 2)/100)) \\ &= 0,103 \end{aligned}$$

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

$$= 1,53^3 \times 0,103$$

$$= 0,37159 \text{ ton/Screw}$$

$$\text{Total } W_{\text{Prop}} = 0,743 \text{ ton (untuk dua buah Propeller)}$$

Propulsion Units Weight:

$$W_{\text{PU}} = W_E + W_{\text{Gear}} + W_{\text{Shaft}} + W_{\text{Prop}}$$

$$= 2,27 + 1,27 + 0,92 + 0,37$$

$$= 4,835 \text{ ton (untuk satu buah rangkaian propulsi)}$$

$$\text{Total } W_{\text{PU}} = 9,670 \text{ ton (untuk dua buah rangkaian propulsi)}$$

VIII.2 Electrical Units Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 176

Electrical Units Weight meliputi generator dan drive engine.

$$P_B = 930,326 \text{ kW (kebutuhan seluruh kapal)}$$

$$\begin{aligned} W_{Agg} &= 0.001 \times P_B \times (15 + 0.014 \times P_B) \\ &= 0.001 \times 930,326 \times (15 + 0.014 \times 930,326) \\ &= 26,072 \text{ ton} \end{aligned}$$

VIII.3 Other Weights Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 176-177

Other Weights meliputi:

Pumps, pipes, sound absorbers, cables, distributors, replacement parts, stairs, platforms, gratings, daily service tanks, air containers, compressors, degreasers, oil cooler, cooling water system, control equipment, control room, heat and sound insulation in the engine room, water and fuel in pipes, engines and boilers.

$$\begin{aligned} W_{Oth} &= (0.04 \sim 0.07) P_B \\ \text{diambil} &= 0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{Oth} &= 0,04 \times 930,326 \\ &= 37,213 \text{ ton} \end{aligned}$$

VIII.4 Total Engine Plant Weight Calculation

TOTAL W_{EP} = Jumlah keseluruhan berat permesinan pada kapal.

$$\begin{aligned} &= W_{PU} + W_{Agg} + W_{oth} \\ &= 9,670 + 26,07 + 37,21 \\ &= 72,955 \text{ ton} \end{aligned}$$

VIII.5 Position of Engine Plant Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

VIII.5.1 TOTAL KG and LCG of Engine Plant

$$KG_{EP} = H_{DB} + 0.35 \times (D' - H_{DB})$$

$$\begin{aligned} H_{DB} &= \text{Tinggi Double Bottom} \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D' &= \text{Tinggi Kamar Mesin} \\ &= 4,78 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KG_{EP} &= 1,200 + 0.35 \times (4,78 - 1,200) \\ &= 2,45 \text{ m} \end{aligned}$$

$$LCG_{EP} = L_{BH-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$\begin{aligned} L_{ER} &= \text{Panjang Kamar Mesin} \\ &= 9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{PR} &= \text{Panjang Pump Room} \\ &= 7,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{BH-FP} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{CH} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{EP} &= 4,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 9,00) \\ &= 43,311 \text{ m (FP)} \\ &= -17,905 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

IX. Steel Weight Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$T =$	3,06 m	$=$	25,40 m (from FP)
$H =$	4,78 m	$=$	0,011 % L
$V_S =$	10,00 kn	$V =$	1606,69 m ³
$=$	5,14 m/s	$\Delta =$	1646,86 ton
$\rho =$	1,025 ton/m ³	$C_B =$	0,797
$g =$	9,81 m/s ²		

Perhitungan berat baja kapal menggunakan referensi:

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

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

IX.1 Hull Steel Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 152

W_{HS} = Berat baja

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

\bar{V}_U = Volume dibawah main deck

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

$$\text{average } C_{ST} = 0,095$$

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

$$C_1 = 0,25 \text{ untuk kapal dengan small flare}$$

$$C_{BD} = 0,797 + (0,25 \times (4,78 - 3,06)) / (3,06 \times (1 - 0,797))$$

$$C_{BD} = 1,486$$

$$V_U = 50,81 \times 12,45 \times 4,78 \times 0,80$$

$$= 2408,781 \text{ m}^3$$

$$W_{HS} = 305,8164 \text{ ton}$$

IX.2 Superstructure and Deckhouse Steel Weight Calculation

IX.2.1 Superstructure Steel Weight Calculation (Forecastle)

Collosion Bulkhead Location

Ref: BKI, Vol. II, Sec.11-2.1.3

$$L \text{ min from FP} = 0.05 \times L \text{ or } 10 \text{ m}$$

$$= 0.05 \times 50,811$$

$$= 2,540569 \text{ m dari FP}$$

$$\begin{aligned} L \text{ max from FP} &= 0.08 \times L \text{ or } 0.05 \times L + 3\text{m} \\ &= 0.08 \times 50,811 \\ &= 4,06491 \text{ m dari FP} \\ \text{or} &= 0.05 \times 50,811 + 3 \\ &= 5,540569 \text{ m dari FP} \end{aligned}$$

Forecastle Dimensions

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 163

$$\begin{aligned} L_{FC} &= \sim 10\% \times L_{pp} \\ L_{FC} &= \sim 10\% \times 50,811 \\ L_{FC} &= 8,73 \text{ m} \\ \text{dibelakang FP} &= 7,311 \text{ m} \\ L \text{ didepan FP} &= 1,419 \text{ m} \\ B_{FC} &= B \text{ Kapal} \\ &= 12,45 \text{ m} \\ H_{FC} &= 2,5 \text{ m} \\ V_{FC} &= (0.5 \times L_{FC} \times B_{FC}) \times H_{FC} \\ &= (0.5 \times 8,730 \times 12,447) \times 2,5 \\ &= 135,8263 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Forecastle Steel Weight

Ref: Kekuatan Struktur Kapal (Dony Setyawan, 1999) page. 80

$$\begin{aligned} W_{FC} &= C_{FC} \times V_{FC} \\ C_{FC} &= 0,1185 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,1185 \times 135,826 \\ W_{FC} &= 16,095 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.2.2 Superstructure Steel Weight Calculation (Poop) - Main Deck

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 164

Poop Dimensions

$$\begin{aligned} L_P &= \sim 20\% \times L_{pp} \\ L_P &= \sim 20\% \times 50,811 \\ L_P &= 14 \text{ m} \\ B_P &= B \text{ Kapal} \\ &= 12,45 \text{ m} \\ H_P &= 2,5 \text{ m} \\ V_P &= L_P \times B_P \times H_P \\ &= 14,0 \times 12,447 \times 2,5 \\ &= 218,3645 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Poop Steel Weight

$$\begin{aligned} W_P &= C_P \times V_P \\ C_P &= 0,075 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,0750 \times 218,364 \\ W_P &= 16,377 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.2.3 Poop Deck Steel Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 164

Bridge Room Dimensions

$$\begin{aligned} L_{BR} &= 15\% * L_{pp} \\ L_{BR} &= 15\% * 50,811 \\ L_{BR} &= 12,6 \text{ m} \\ B_{BR} &= 8,60 \text{ m} \\ H_{BR} &= 2,5 \text{ m} \\ V_{BR} &= L_{BR} * B_{BR} * H_{BR} \\ &= 12,6 * 8,6 * 2,5 \\ &= 135,450 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bridge Room Steel Weight

$$\begin{aligned} W_{BR} &= C_{BR} * V_{BR} \\ C_{BR} &= \text{Fungsi dari } F_O/F_U \\ F_O &= 174,6916 \\ F_U &= 108,36 \\ F_O/F_U &= 1,612141 \\ C_{BR} &= 0,07 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,0700 * 135,450 \\ W_{BR} &= 9,482 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.2.4 Navigation Deck Steel Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 164

Navigation Room Dimensions

$$\begin{aligned} L_{NR} &= 10\% * L_{pp} \\ L_{NR} &= 10\% * 50,811 \\ L_{NR} &= 7,2 \text{ m} \\ B_{NR} &= 6,00 \text{ m} \\ H_{NR} &= 2,5 \text{ m} \\ V_{NR} &= L_{NR} * B_{NR} * H_{NR} \\ &= 7,2 * 6,0 * 2,5 \\ &= 54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Navigation Room Steel Weight

$$\begin{aligned} W_{NR} &= C_{NR} * V_{NR} \\ C_{NR} &= \text{Fungsi dari } F_O/F_U \\ F_O &= 108,36 \\ F_U &= 43,2 \\ F_O/F_U &= 2,508333 \\ C_{NR} &= 0,08 \text{ ton/m}^3 \\ &= 0,080 * 54,000 \\ W_{NR} &= 4,320 \text{ ton} \end{aligned}$$

Total Superstructure and Deckhouse Weight Calculation

$$\begin{aligned} W_{S\&D} &= 16,095 + 16,377 + 9,482 + 4,320 \\ &= 46,274 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.3 Correction for Steel Weight Calculation

IX.3.1 Bulkhead Construction Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 157

$$\begin{aligned} W_{BC} &= 2.5\% \times W_{HS} \\ &= 2.5\% \times 305,816 \\ &= 7,645 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.3.2 Engine Foundation Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 158

$$\begin{aligned} W_{EF} &= (27 \times P_B) / (n + 250) \times (15 + P_B / 1000) \\ P_B &= 1102 \text{ kW} \\ n &= 1800 \text{ rpm} \\ W_{EF} &= (27 \times 1102,0) / (1800 + 250) \times (15 + 1102,0 / 1000) \\ &= 0,901 \text{ ton} \end{aligned}$$

Total Correction Weight Calculation

$$\begin{aligned} W_C &= 7,645 + 0,901 \\ &= 8,547 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.4 Total Steel Weight Calculation

TOTAL W_S = Jumlah keseluruhan berat baja

$$\begin{aligned} W_S &= W_{HS} + W_{S\&D} + W_{CS} \\ &= 305,816 + 46,274 + 8,547 \\ &= 360,637 \text{ ton} \end{aligned}$$

IX.5 Position of Steel Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

IX.5.1 KG and LCG of Hull Steel

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

$$\begin{aligned} KG_{HS} &= 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5) \\ &= 2,144 \text{ m} \\ LCG_{HS} &= -0.15 + LCB \quad (\%L) \\ LCB &= \% LCB = 0,011 \%L \\ LCG_{HS} &= -0.15 + 0,011 \\ &= -0,139 \%L \\ &= -0,071 \text{ m (} \phi \text{)} \\ &= 25,476 \text{ m (FP)} \end{aligned}$$

IX.5.2 KG and LCG of Superstructure and Deckhouse

Forecastle

$$\begin{aligned} KG_{FC} &= H + (0.5 \times H_{FC}) \\ H_{FC} &= 2,5 \text{ m} \\ KG_{FC} &= 4,779 + (0.5 \times 2,50) \\ &= 6,029 \text{ m} \\ W_{FC} &= 16,095 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{FC} &= L_{FC-FP} - (1/3 \times L_{FC}) \\ L_{FC} &= 8,73 \text{ m} \\ L_{FC \text{ sampai FP}} &= 7,311 \text{ m} \\ LCG_{FC} &= 7,31 - (1/3 \times 8,73) - 1.238 \\ &= 3,163 \text{ m (FP)} \\ &= 22,243 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

Poop

$$\begin{aligned} KG_P &= H + (0.5 \times H_P) \\ H_P &= 2,5 \text{ m} \\ KG_P &= 4,779 + (0.5 \times 2,50) \\ &= 6,029 \text{ m} \\ W_P &= 16,377 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_P &= L_{BH-FP} + L_{PR} + L_{CH} + (0.5 \times L_P) \\ L_P &= 14,035 \text{ m} \\ L_{BH-FP} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \\ L_{PR} &= \text{Panjang Pump Room} \\ &= 7,5 \text{ m} \\ LCG_P &= 4,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 14,04) \\ &= 45,827 \text{ m (FP)} \\ &= -20,421 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

Bridge Room

$$\begin{aligned} KG_{BR} &= H + H_P + (0.5 \times H_{BR}) \\ H_{BR} &= 2,5 \text{ m} \\ KG_{BR} &= 4,779 + 2,50 + (0.5 \times 2,50) \\ &= 8,529 \text{ m} \\ W_{BR} &= 9,482 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{BR} &= L_{BH-FP} + L_{PR} + L_{CH} + (0.5 \times L_{BR}) \\ L_{BR} &= 12,6 \text{ m} \\ LCG_{BR} &= 4,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 12,60) \\ &= 45,111 \text{ m (FP)} \\ &= -19,705 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

Navigation Room

$$\begin{aligned} KG_{NR} &= H + H_P + H_{BR} + (0.5 \times H_{NR}) \\ H_{NR} &= 2,5 \text{ m} \\ KG_{NR} &= 4,779 + 2,50 + 2,50 + (0.5 \times 2,50) \\ &= 11,029 \text{ m} \\ W_{NR} &= 4,320 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCG_{NR} &= L_{BH-FP} + L_{PR} + L_{CH} + (0.5 \times L_{NR}) \\ L_{NR} &= 7,2 \text{ m} \\ LCG_{NR} &= 7,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 7,20) \\ &= 42,859 \text{ m (FP)} \\ &= -17,453 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

KG for Superstructure and Deck House

$$\begin{aligned} KG_{S\&D} &= ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{BR} \times W_{BR}) + (KG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D} \\ W_{S\&D} &= 46,274 \text{ ton} \\ KG_{S\&D} &= ((6,029 \times 16,10) + (6,029 \times 16,38) + (8,529 \times 9,48) + (11,029 \times 4,32)) / 46,27 \\ &= 7,007824 \text{ m} \end{aligned}$$

LCG for Superstructure and Deck House

$$LCG_{S\&D} = ((LC_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{BR} \times W_{BR}) + (LCG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 46,274 \quad \text{ton}$$

$$\begin{aligned} LCG_{S\&D} &= ((3,163 \times 16,10) + (45,827 \times 16,38) + (45,111 \times 9,48) + (42,859 \times 4,32)) / 46,27 \\ &= 30,56336 \text{ m (FP)} \\ &= -5,158 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

IX.5.3 KG and LCG of Correction for Steel Weight

Bulkhead

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$H_{DB} = 1,2 \text{ m}$$

$$KG_{BC} = 1,200 + (0.5 \times (4,779 - 1,20))$$

$$= 2,989398 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 7,645 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{BH-FP} + L_{PR} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{BH-FP} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

$$= 4,311 \text{ m}$$

$$L_{PR} = \text{Panjang Pump Room}$$

$$= 7,5 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 27,000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 4,31 + 7,50 + (0.5 \times 27,00)$$

$$= 25,311 \text{ m (FP)}$$

$$= 0,095 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Engine Foundation

$$KG_{EF} = H_{DB} / 2$$

$$H_{DB} = 1,2 \text{ m}$$

$$KG_{EF} = 1,200 / 2$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$W_{EF} = 0,901 \text{ ton}$$

$$LCG_{EF} = L_{FC-FP} + L_{PR} + L_{CH} + (0.5 \times L_{EF})$$

$$L_{PR} = 7,500 \text{ m}$$

$$L_{EF} = 9,000 \text{ m}$$

$$LCG_{EF} = 7,31 + 7,50 + 27,00 + (0.5 \times 9,00)$$

$$= 38,811 \text{ m (FP)}$$

$$= -13,405 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG for Correction Weight

$$KG_C = ((KG_{BC} \times W_{BC}) + (KG_{DB} \times W_{DB}) + (KG_{EF} \times W_{EF})) / W_C$$

$$W_C = 8,547 \quad \text{ton}$$

$$KG_C = ((2,989 \times 7,65) + (0,600 \times 0,90)) / 8,55$$

$$= 2,7374 \text{ m}$$

LCG for Correction Weight

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

$$W_C = 8,547 \quad \text{ton}$$

$$LCG_C = ((25,311 \times 7,65) + (38,811 \times 0,90)) / 8,55$$

$$= 26,73478 \text{ m (FP)}$$

$$= -1,329 \text{ m (}\phi\text{)}$$

IX.5.4 TOTAL KG and LCG of Steel Weight

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

$$W_S = 360,637 \text{ ton}$$

$$KG_S = ((2,144 \times 305,82) + (7,008 \times 46,27) + (2,737 \times 8,55)) / 360,64$$

$$= 2,782126 \text{ m}$$

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

$$W_S = 360,637 \text{ ton}$$

$$LCG_S = ((25,48 \times 305,82) + (30,56 \times 46,27) + (26,73 \times 8,55)) / 360,64$$

$$= 26,15902 \text{ m (FP)}$$

$$= -0,753 \text{ m (}\phi\text{)}$$

X. Equipment and Outfitting Weight Calculation

Input Data :

L _{PP} = 50,81 m	L _{WL} = 52,84 m
B = 12,45 m	LCB = 0,01 m (fwd. amidship)
T = 3,06 m	= 25,40 m (from FP)
H = 4,78 m	= 0,011 % L
V _S = 10,00 kn	V = 1606,69 m ³
= 5,14 m/s	Δ = 1646,86 ton
ρ = 1,025 ton/m ³	C _B = 0,797
g = 9,81 m/s ²	

Perhitungan berat peralatan dan perlengkapan kapal menggunakan referensi:

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

Equipment and Outfitting Weight meliputi:

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

X.1 Group III (Living Quarter) Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 171-172

W_{III} = Berat peralatan dan perlengkapan pada dek akomodasi

$$W_{III} = \bar{v}_{SS/DH} \times C_{III}$$

$\bar{v}_{SS/DH}$ = Volume Superstructure atau Deckhouse

$$C_{III} = 60 \sim 70 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{average } C_{III} = 60 \text{ kg} \quad = \quad 0,060 \text{ ton}$$

Forecastle

$$V_{FC} = 135,826 \text{ m}^3$$

$$W = 135,83 \times 0,060 \\ = 8,14958 \text{ ton}$$

Poop

$$V_P = 218,364 \text{ m}^3$$

$$W = 218,36 \times 0,060 \\ = 13,1019 \text{ ton}$$

Lower Navigation Deck

$$V_{LND} = 135,45 \text{ m}^3$$

$$W = 135,45 \times 0,060 \\ = 8,127 \text{ ton}$$

Navigation Deck

$$V_{ND} = 54 \text{ m}^3$$

$$W = 54,00 \times 0,060 \\ = 3,24 \text{ ton}$$

Total Group III (Living Quarter) Weight Calculation

$$W_{S\&D} = 8,150 + 13,102 + 8,127 + 3,240 \\ = 32,618 \text{ ton}$$

X.2 Group IV (Miscellaneous) Weight Calculation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 172

Berat yang termasuk dalam group IV adalah :

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

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

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

$$C_{IV} = 0.18 \sim 0.26 \text{ ton/m}^3$$

$$= 0,26$$

$$W_{IV} = (50,81 \times 12,447 \times 4,779)^{2/3} \times 0,260$$

$$= 54,35 \text{ ton}$$

X.3 Total Equipment and Outfitting Weight Calculation

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

$$W_{E\&O} = W_{III} + W_{IV}$$

$$= 32,618 + 54,350$$

$$= 86,968 \text{ ton}$$

X.4 Position of Equipment and Outfitting Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

X.4.1 KG and LCG of Group III (Living Quarter)

Forecastle

$$W_{FC} = 8,150 \text{ ton}$$

$$KG_{FC} = 6,029 \text{ m}$$

$$LCG_{FC} = 3,163 \text{ m (FP)}$$

$$= 22,243 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Poop

$$W_P = 13,102 \text{ ton}$$

$$KG_P = 6,029 \text{ m}$$

$$LCG_P = 45,827 \text{ m (FP)}$$

$$= -20,421 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Bridge Room

$$W_{BR} = 8,127 \text{ ton}$$

$$KG_{BR} = 8,529 \text{ m}$$

$$LCG_{BR} = 45,111 \text{ m (FP)}$$

$$= -19,705 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Navigation Room

$$W_{NR} = 3,240 \text{ ton}$$

$$KG_{NR} = 11,029 \text{ m}$$

$$LCG_{NR} = 42,859 \text{ m (FP)}$$

$$= -17,453 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Group III

$$KG_{GIII} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{BR} \times W_{BR}) + (KG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 32,618 \quad \text{ton}$$

$$KG_{GIII} = ((6,029 \times 8,15) + (6,029 \times 13,10) + (8,529 \times 8,13) + (11,029 \times 3,24)) / 32,62$$

$$= 7,14833 \quad \text{m}$$

LCG for Group III

$$LCG_{GIII} = ((LC_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{BR} \times W_{BR}) + (LCG_{NR} \times W_{NR})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 32,618 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{GIII} = ((3,163 \times 8,15) + (45,827 \times 13,10) + (45,111 \times 8,13) + (42,859 \times 3,24)) / 32,62$$

$$= 34,6942 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -9,288 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

X.4.2 KG and LCG of Group IV (Miscellaneous)

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$KG_{GIV} = 1.00 \sim 1.05 H$$

$$= 1.00 \times 4,779$$

$$= 4,78 \quad \text{m}$$

$$W_{IV} = 54,350 \quad \text{ton}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$LCG_{GIV} = 0.5 \times L$$

$$= 0.5 \times 0.05 \quad \text{ton}$$

$$= 25,4057 \quad \text{m (FP)}$$

$$= 0,000 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

X.4.3 TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$KG_{E\&O} = ((KG_{GIII} \times W_{GIII}) + (KG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O}$$

$$W_{E\&O} = 86,968 \quad \text{ton}$$

$$KG_{E\&O} = ((7,148 \times 32,62) + (4,779 \times 54,35)) / 86,97$$

$$= 5,66752 \quad \text{m}$$

$$LCG_{E\&O} = ((LCG_{GIII} \times W_{GIII}) + (LCG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O}$$

$$W_{E\&O} = 86,968 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{E\&O} = ((34,694 \times 32,62) + (25,406 \times 54,35)) / 86,97$$

$$= 28,8894 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -3,484 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

XI. Deadweight Tonnes Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$T =$	3,06 m	$=$	25,40 m (from FP)
$H =$	4,78 m	$=$	0,011 % L
$V_S =$	10,00 kn	$V =$	1606,6889 m ³
$=$	5,14 m/s	$\Delta =$	1646,86 ton
$\rho =$	1,025 ton/m ³	$C_B =$	0,797
Voyage =	52,224 km	$P_B =$	1247,5872 HP

Perhitungan berat crew dan consumable menggunakan referensi:

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XI.1 Crew Requirement Calculation

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

$$C_{St} = 1,2 \text{ Koefisien Steward Deck (1.2 - 1.33)}$$

$$C_{Dk} = 11,5 \text{ Koefisien Deck Departement (11.5 - 14.5)}$$

$$C_{Eng} = 8,5 \text{ Koefisien Engine Departement (8.5 - 11.0)}$$

$$CN = (L \times B \times H) / 1000$$

$$= (50,81 \times 12,45 \times 4,78) / 1000$$

$$= 3,02231$$

$$BHP = P_B \text{ (HP)}$$

$$= 1247,59 \text{ HP}$$

$$\text{Cadets} = \text{Perwira tambahan}$$

$$= 0$$

$$Z_C = 1,2 \times 11,5 \times (3,022 \times 35 / 10^5)^{1/6} + 8,5 \times (1247,587 / 10^5)^{1/3} \times 0$$

$$= 6,37642 \quad \approx \quad 6 \text{ Person (Minimum)}$$

$$= 8 \text{ Person (Total Crew)}$$

XI.2 Crew and Consumable Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XI.2.1 Crew Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.25

$$W_{C\&E} = C_{C\&E} \times \text{Person}$$

$$C_{C\&E} = 0,17 \text{ ton/person}$$

$$W_{C\&E} = 0,17 \times 8$$

$$= 1,36 \text{ ton}$$

XI.2.2 Voyage Duration Calculation

Dalam melakukan pekerjaan pengerukan, kapal keruk akan bergerak bolak-balik secara terus menerus dalam 24 jam selama 7 hari. Jarak terjauh yang ditempuh oleh kapal keruk selama melakukan pekerjaan pengerukan adalah 52,224 km untuk 1 kali jalan.

$$\begin{aligned} \text{Duration} &= (\text{Range} / V_s) / 3600 \\ &= (52,224 / 5,144) / 3600 \\ &= 2,81987 \text{ jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan, selama penggunaan kapal keruk, baik untuk pekerjaan pengerukan awal dan maintenance, kapal keruk ini akan melakukan bunkering tiap jangka waktu

$$= 3 \text{ hari}$$

Dengan waktu tempuh selama 5,6 jam untuk dua kali perjalanan dalam satu kali kerja pengerukan. Maka, dalam 1 hari (24 jam) dapat melakukan perjalanan sebanyak:

$$\begin{aligned} &= 24 / 2,8199 \\ &= 8,511 \quad \text{perjalanan} \\ &\approx 8,0 \quad \text{perjalanan} \end{aligned}$$

Maka, dalam 4 hari dapat melakukan perjalanan sebanyak:

$$\begin{aligned} &= 3 \times 8,0 \\ &= 24,0 \quad \text{perjalanan} \end{aligned}$$

XI.2.3 Fresh Water Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24

$$\begin{aligned} W_{FW} &= C_{FW} \times \text{Person} \\ C_{FW} &= 0,17 \text{ ton/person day} \\ W_{FW} &= 0,17 \times 8 \times 3 \\ &= 4,08 \text{ ton} \\ \rho &= 1 \text{ ton/m}^3 \\ V_{FW} &= W_{FW} / \rho \\ &= 4,08 \times 1 \\ &= 4,08 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

XI.2.4 Provisions and Stores Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.25

$$\begin{aligned} W_{PR} &= C_{PR} \times \text{Person} \\ C_{PR} &= 0,01 \text{ ton/person day} \\ W_{PR} &= 0,01 \times 8 \times 3 \\ &= 0,24 \text{ ton} \end{aligned}$$

XI.2.5 Heavy Fuel Oil Weight Calculation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.25

$$\begin{aligned} W_{\text{Fuel}} &= \text{SFR} \times \text{MCR} \times (\text{Range}/\text{Speed}) \times \text{Margin} \\ \text{SFR} &= \text{Specific Fuel Rate} \\ &= 0,00021 \text{ t/kW hr} \\ \text{MCR} &= 930,326 \text{ kW} \\ \text{Range} &= 1253,38 \text{ km} \quad (\text{Range dalam waktu 3 hari yaitu 25 kali perjalanan}) \\ \text{Speed} &= 5,144 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Margin = 65 % (15% margin service;50% margin fuel oil u/ dredger pump)

$$W_{\text{Fuel}} = (0,00021 \times 930,326 \times (1253,38 / 5,14)) + 65 \% \\ = 79,6602 \text{ ton}$$

$$V_{\text{Fuel}} = W_{\text{Fuel}} / \rho_{\text{Fuel}} \\ \rho_{\text{Fuel}} = 944 \text{ kg/m}^3 = 0,944 \text{ ton/m}^3 \\ V_{\text{Fuel}} = 79,660 / 0,94 \\ = 84,3858 \text{ m}^3$$

XI.2.6 Marine Diesel Oil Weight Calculation

$$W_{\text{DO}} = C_{\text{DO}} \times W_{\text{Fuel}} \\ C_{\text{DO}} = 0,2 \\ W_{\text{DO}} = 0,2 \times 79,660 \\ = 15,932 \text{ ton} \\ \rho_{\text{DO}} = 840 \text{ kg/m}^3 = 0,84 \text{ ton/m}^3 \\ V_{\text{DO}} = 15,932 / 0,84 \\ = 18,9667 \text{ m}^3$$

XI.2.7 Lubrication Oil Weight Calculation

$$W_{\text{LO}} = \text{BHP} \times \rho_{\text{LO}} \times (\text{Range} / \text{Speed}) \times 10^{-6} \times 1.4 \\ \rho_{\text{LO}} = 920 \text{ kg/m}^3 = 0,92 \text{ ton/m}^3 \\ = 930,326 \times 0,92 \times (1253,38 / 5,14) \times 10^{-6} \times 1.4 \\ W_{\text{LO}} = 0,2919 \text{ ton} \\ V_{\text{LO}} = 0,31733 \text{ m}^3$$

XI.3 Total Crew and Consumable Weight Calculation

TOTAL $W_{\text{C\&C}}$ = Jumlah keseluruhan berat crew dan consumable

$$W_{\text{C\&C}} = W_{\text{C\&E}} + W_{\text{FW}} + W_{\text{PR}} + W_{\text{Fuel}} + W_{\text{DO}} + W_{\text{LO}} \\ = 1,360 + 4,080 + 0,240 + 79,660 + 15,932 + 0,292 \\ = 101,564 \text{ ton}$$

XI.4 Position of Crew and Consumable Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

XI.4.1 KG and LCG of Crew

<u>Poop</u>			
Crew =	0		LCG _P = 45,827 m (FP)
Total Crew =	8		= -20,421 m (φ)
W _P =	0,000 ton		
KG _P =	6,029 m		
<u>Bridge Room</u>			
Crew =	8		LCG _{BR} = 45,111 m (FP)

$$\begin{aligned} \text{Total Crew} &= 8 & | & = -19,705 \text{ m (} \phi \text{)} \\ W_{BR} &= 1,360 \text{ ton} \\ KG_{BR} &= 8,529 \text{ m} \end{aligned}$$

KG for Crew

$$KG_{C\&E} = ((KG_P \times W_P) + (KG_{BR} \times W_{BR})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 1,360 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} KG_{C\&E} &= ((6,029 \times 0,00) + (8,529 \times 1,36)) / 1,36 \\ &= 8,5288 \text{ m} \end{aligned}$$

LCG for Crew

$$LCG_{C\&E} = ((LCG_P \times W_P) + (LCG_{BR} \times W_{BR})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 1,360 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} LCG_{C\&E} &= ((45,827 \times 0,00) + (45,111 \times 1,36)) / 1,36 \\ &= 45,111 \text{ m (FP)} \\ &= -19,705 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

XI.4.2 KG and LCG of Fresh Water

$$KG_{FW} = H + (H_{FW} / 2)$$

$$= 4,779 + (2,50 / 2)$$

$$= 6,029 \text{ m}$$

$$W_{FW} = 4,08 \text{ ton}$$

$$L_{BH-FP} = \text{Panjang bulkhead dibelakang F}$$

$$= 4,311 \text{ m}$$

$$L_{FW} = \text{Panjang tangki fresh water}$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

$$LCG_{FW} = L_{BH-FP} + L_{Fuel \text{ No.1}} + L_{Fuel \text{ No.2}} +$$

$$L_{CH} + L_{ER} + (L_{FW}/2)$$

$$= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 9,00 + (0,5 \times 2,40)$$

$$= 49,011 \text{ m (FP)}$$

$$= -23,605 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{FW} = 25 \text{ m}^3$$

$$H_{FW} = 2,50 \text{ m}$$

$$L_{FW} = 4 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

$$B_{FW} = V / (L \times H)$$

$$= 4,1666667 \text{ m}$$

XI.4.3 KG and LCG of Provision Store

$$KG_{PR} = KG_P$$

$$= 6,0288 \text{ m}$$

$$W_{PR} = 0,24 \text{ ton}$$

$$LCG_{PR} = LCG_P$$

$$= 45,8265 \text{ m (FP)}$$

$$= -20,421 \text{ m (} \phi \text{)}$$

XI.4.4 KG and LCG of Heavy Fuel Oil

<p>No. 1</p> $G_{\text{Fuel No.1}} = H - (H_{\text{fuel No.1}} / 2)$ $= 3,289 \text{ m}$ $W_{\text{fuel No.1}} = 27,8811 \text{ ton}$ $LCG_{\text{Fuel No.1}} = L_{\text{BH-FP}} + (L_{\text{fuel No.1}} / 2)$ $L_{\text{fuel No.1}} = \text{Panjang Tangki Fuel}$ $= 3,75 \text{ m}$ $L_{\text{BH-FP}} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$ $= 4,311 \text{ m}$ $LCG_{\text{Fuel No.1}} = 4,31 + (3,75 / 2)$ $= 6,186 \text{ m (FP)}$ $= 19,220 \text{ m (} \phi \text{)}$	<p><u>Dimensi Tangki</u></p> $V_{\text{Fuel}} = 29,535038 \text{ m}^3$ $H_{\text{fuel No.1}} = 2,979 \text{ m}$ $L_{\text{fuel No.1}} = 5 \times a$ $a = \text{Jarak Gading}$ $= 0,75 \text{ m}$ $= 3,75 \text{ m}$ $B_{\text{fuel No.1}} = V / (L \times H)$ $= 2,6438436 \text{ m}$
--	---

<p>No. 2</p> $G_{\text{Fuel No.2}} = H - (H_{\text{fuel No.2}} / 2)$ $= 3,289 \text{ m}$ $W_{\text{fuel No.2}} = 29,4743 \text{ ton}$ $LCG_{\text{Fuel No.2}} = L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{fuel No.1}} + (L_{\text{fuel No.2}} / 2)$ $L_{\text{fuel No.2}} = \text{Panjang Tangki Fuel}$ $= 3,75 \text{ m}$ $L_{\text{BH-FP}} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$ $= 4,311 \text{ m}$ $LCG_{\text{Fuel No.2}} = 4,31 + 3,75 + (3,75 / 2)$ $= 9,936 \text{ m (FP)}$ $= 15,470 \text{ m (} \phi \text{)}$	<p><u>Dimensi Tangki</u></p> $V_{\text{Fuel}} = 31,222755 \text{ m}^3$ $H_{\text{fuel No.2}} = 2,979 \text{ m}$ $L_{\text{fuel No.2}} = 5 \times a$ $a = \text{Jarak Gading}$ $= 0,75 \text{ m}$ $= 3,75 \text{ m}$ $B_{\text{fuel No.2}} = V / (L \times H)$ $= 2,7949204 \text{ m}$
--	---

<p>No. 3</p> $G_{\text{Fuel No.3}} = (H_{\text{fuel No.3}} / 2)$ $= 0,600 \text{ m}$ $W_{\text{fuel No.3}} = 8,76262 \text{ ton}$ $LCG_{\text{Fuel No.3}} = L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{Fuel No.1}} + L_{\text{Fuel No.2}} + L_{\text{CH}} + 0,6 + L_{\text{DO}} + (L_{\text{Fuel No.3}}/2)$ $L_{\text{fuel No.3}} = \text{Panjang Tangki Fuel}$ $= 3 \text{ m}$ $L_{\text{CH}} = \text{Panjang Cargo Hold}$ $= 27 \text{ m}$ $L_{\text{BH-FP}} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$ $= 4,311 \text{ m}$ $LCG_{\text{Fuel}} = 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 0,6 + 1,80 + (3,00 / 2)$ $= 42,711 \text{ m (FP)}$ $= -17,305 \text{ m (} \phi \text{)}$	<p><u>Dimensi Tangki</u></p> $V_{\text{Fuel}} = 9,2824406 \text{ m}^3$ $H_{\text{fuel No.3}} = 1,2 \text{ m}$ $L_{\text{fuel No.3}} = 5 \times a$ $a = \text{Jarak Gading}$ $= 0,6 \text{ m}$ $= 3 \text{ m}$ $B_{\text{fuel No.3}} = V / (L \times H)$ $= 2,5784557 \text{ m}$
--	---

$$\begin{aligned} \text{No. 4/DT } G_{\text{Fuel No.4}} &= H - (H_{\text{fuel No.4}} / 2) \\ &= 4,029 \text{ m} \end{aligned}$$

$$W_{\text{fuel No.4}} = 13,5422 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{Fuel No.4}} &= L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{Fuel No.1}} + L_{\text{Fuel No.2}} + \\ &L_{\text{CH}} + 4,2 + (L_{\text{Fuel No.4}}/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{fuel No.4}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{CH}} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{Fuel}} &= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 4,2 + (2,40 / 2) \\ &= 44,211 \text{ m (FP)} \\ &= -18,805 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{Fuel}} = 14,34559 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{fuel No.4}} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{\text{fuel No.4}} = 4 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

$$B_{\text{fuel No.4}} = V / (L \times H)$$

$$= 3,9848861 \text{ m}$$

XI.4.5 KG and LCG of Marine Diesel Oil

$$KG_{\text{DO}} = H_{\text{DB}} / 2$$

$$= 0,600 \text{ m}$$

$$W_{\text{DO}} = 15,932 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{DO}} &= L_{\text{BH-FP}} + L_{\text{Fuel No.1}} + L_{\text{Fuel No.2}} + \\ &L_{\text{CH}} + L_{\text{fuel No.3}} + (L_{\text{DO}}/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{DO}} &= \text{Panjang Tangki MDO} \\ &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{BH-FP}} &= \text{Panjang bulkhead dibelakang FP} \\ &= 4,311 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{CH}} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\ &= 27,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{DO}} &= 4,31 + 3,75 + 3,75 + 27,00 + 0,6 + (0,5 \times 1,80) \\ &= 40,311 \text{ m (FP)} \\ &= -14,905 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{DO}} = 18,966718 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{DO}} = 1,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{DO}} = 3 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$= 1,8 \text{ m}$$

$$B_{\text{DO}} = V / (L \times H)$$

$$= 8,7808882 \text{ m}$$

XI.4.6 KG and LCG of Lubrication Oil

$$KG_{\text{LO}} = H - (H_{\text{LO}} / 2)$$

$$= 0,600 \text{ m}$$

$$W_{\text{LO}} = 0,2919 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{LO}} &= L_{\text{PP}} - 5,4 - (L_{\text{LO}}/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{LO}} &= \text{Panjang Tangki Fuel} \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$L_{\text{BH-FP}} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

Dimensi Tangki

$$V_{\text{LO}} = 0,3173262 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{LO}} = 1,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{LO}} = 1,2 \text{ m}$$

$$B_{\text{LO}} = V / (L \times H)$$

$$= 0,220 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,311 \text{ m} \\
 L_{CH} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\
 &= 27,000 \text{ m} \\
 LCG_{LO} &= 50,81 - 5,4 - (0.5 \times 1,20) \\
 &= 44,811 \text{ m (FP)} \\
 &= -19,406 \text{ m (}\phi\text{)}
 \end{aligned}$$

XI.4.7 TOTAL KG and LCG of Crew and Consumable

$$\begin{aligned}
 KG_{C\&C} &= ((KG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (KG_{FW} \times W_{FW}) + (KG_{PR} \times W_{PR}) + (KG_{Fuel} \times W_{Fuel}) \\
 &\quad + (KG_{DO} \times W_{DO}) + (KG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}
 \end{aligned}$$

$$W_{C\&C} = 101,564 \text{ ton}$$

$$KG_{C\&C} = 2,91297 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 LCG_{C\&C} &= ((LCG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (LCG_{FW} \times W_{FW}) + (LCG_{PR} \times W_{PR}) + (LCG_{Fuel} \times W_{Fuel}) \\
 &\quad + (LCG_{DO} \times W_{DO}) + (LCG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}
 \end{aligned}$$

$$W_{C\&C} = 101,564 \text{ ton}$$

$$LCG_{C\&C} = 23,295 \text{ m (FP)}$$

$$= 2,111 \text{ m (}\phi\text{)}$$

XI.5 Total Payload Center of Mass

$$W_{PL} = 974,05 \text{ ton}$$

$$KG_{PL} = (H + \text{Ambang Hopper})/2$$

$$AM_{HP} = \text{Ambang Hopper}$$

$$= 1,721 \text{ m}$$

$$H = 4,779 \text{ m}$$

$$KG_{PL} = (4,779 + 1,721) / 2$$

$$= 3,250 \text{ m}$$

$$LCG_{PL} = L_{BH-FP} + L_{PR} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{BH-FP} = \text{Panjang bulkhead dibelakang FP}$$

$$= 4,311 \text{ m}$$

$$L_{PR} = \text{Panjang Pump Room}$$

$$= 7,5 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 27,000 \text{ m}$$

$$LCG_{PL} = 4,31 + 7,50 + (0.5 \times 27,00)$$

$$= 25,311 \text{ m (FP)}$$

$$= 0,095 \text{ m (}\phi\text{)}$$

XII. Weight Recapitulation*Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25***XII.1 Lightweight Tonnes (LWT) Recapitulation***Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 149***XII.1.1 Steel Weight Recapitulation**

1 Hull Steel Weight	=	305,816 ton
2 Superstructure and Deckhouse Weight	=	46,274 ton
3 Steel Correction Weight	=	8,547 ton
	=	<u>360,637 ton</u>

XII.1.2 Engine Plant Weight Recapitulation

1 Propulsion Units Weight	=	9,670 ton
2 Electrical Units Weight	=	26,072 ton
3 Other weights	=	37,213 ton
4 Special weight [on special ships]	Tidak Dipakai =	0 ton
	=	<u>72,955 ton</u>

XII.1.3 Equipment and Outfitting Weight Recapitulation

1 Group I (Hatchway Covers)	Tidak Dipakai =	0 ton
2 Group II (Cargo Handling Equipment)	Tidak Dipakai =	0 ton
3 Group III (Living Quarter)	=	32,618 ton
4 Group IV (Miscellaneous)	=	<u>54,350 ton</u>
	=	86,968 ton

TOTAL Lightweight Tonnes (LWT) = 520,561 ton**XII.2 Deadweight Tonnes (LWT) Recapitulation***Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25***XII.2.1 Payload Recapitulation**

1 Payload	=	974,050 ton
-----------	---	-------------

XII.2.2 Crew and Provisions Recapitulation

1 Crew Weight	=	1,360 ton
2 Fresh Water Weight	=	4,080 ton
3 Provision and Store Weight	=	<u>0,240 ton</u>
		5,680 ton

XII.2.3 Machinery Oil Consumable Weight Recapitulation

1 Heavy Fuel Oil Weight	=	79,660 ton
2 Marine Diesel Oil Weight	=	15,932 ton
3 Lubrication Oil Weight	=	<u>0,292 ton</u>
		95,884 ton

TOTAL Deadweight Tonnes (DWT) = 1075,614 ton**XII.3 TOTAL WEIGHT**

$\Delta = \text{LWT} + \text{DWT}$	Δ (Displacement) =	1646,856 ton
= 520,561 + 1075,614	Selisih =	50,681 ton
= 1596,175 ton	=	3,077 %
	Criteria =	5 %
	STATUS =	ACCEPTED

XIII. Center of Mass Recapitulation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XIII.1 Lightweight Tonnes (LWT) Recapitulation

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 149

	W (ton)	KG (m)	LCG (m FP)
XIII.1.1 Steel Weight Recapitulation			
1 Hull Steel Weight	= 305,816	2,144	25,476
2 Superstructure and Deckhouse Weight	= 46,274	7,008	30,563
3 Steel Correction Weight	= 8,547	2,737	26,735
	= 360,637	2,782	26,159
XIII.1.2 Engine Plant Weight Recapitulation			
1 Propulsion Units Weight	= 9,670		
2 Electrical Units Weight	= 26,072	2,453	43,311
3 Other weights	= 37,213		
4 Special weight [on special ships] Tidak Dipakai	= 0	0	0
	= 72,955	2,453	43,311
XIII.1.3 Equipment and Outfitting Weight Recapitulation			
1 Group I (Hatchway Covers) Tidak Dipakai	= 0	0	0
2 Group II (Cargo Handling Equipment) Tidak Dipakai	= 0	0	0
3 Group III (Living Quarter)	= 32,618	7,148	34,694
4 Group IV (Miscellaneous)	= 54,350	4,779	25,406
	= 86,968	5,668	28,889
TOTAL Lightweight Tonnes (LWT)	= 520,561	3,218	29,019

XIII.2 Deadweight Tonnes (LWT) Recapitulation

Ref: Parametric Design Chap. 11, page 11.24 - 11.25

XIII.2.1 Payload Recapitulation			
1 Payload (Muatan)	= 974,050	3,250	25,311
XIII.2.2 Crew and Provisions Recapitulation			
1 Crew Weight	= 1,360	8,529	45,111
2 Fresh Water Weight	= 4,080	6,029	49,011
3 Provision and Store Weight	= 0,240	6,029	45,827
	= 5,680	6,627	47,943
XIII.2.3 Machinery Oil Consumable Weight Recapitulation			
1 Heavy Fuel Oil Weight	= 79,660	3,289	6,186
2 Marine Diesel Oil Weight	= 15,932	0,600	40,311
3 Lubrication Oil Weight	= 0,292	0,600	44,811
	= 95,884	2,834	11,974
TOTAL Deadweight Tonnes (DWT)	= 1075,614	3,231	24,242

XIII.3 TOTAL Center of Mass

KG = 3,227	m	LWL = 52,843833	m
LCG = 25,800	m (FP)	Selisih = -0,399	m
LWT + DWT = 1596,175	ton	= 0,756	%
Δ (Displacement) = 1646,856	ton	Criteria = 1	%
LCB = 25,400	m (FP)	STATUS =	ACCEPTED

XIV. Freeboard Calculation

Input Data :

$L_{PP} =$	50,81 m	$L_{WL} =$	52,84 m
$B =$	12,45 m	$LCB =$	0,01 m (fwd. amidship)
$T =$	3,06 m	$=$	25,40 m (from FP)
$H =$	4,78 m	$=$	0,011 % L
$V_S =$	10,00 kn	$V =$	1606,69 m ³
$=$	5,14 m/s	$\Delta =$	1646,86 ton
$\rho =$	1,025 ton/m ³	$C_B =$	0,797
Voyage =	104448 km	$P_B =$	1247,59 HP

Perhitungan freeboard menggunakan referensi:

Ref: International Convention on Load Lines (ICLL), 1966/1988

XIV.1 Type of Ship

Type A Ships = Kapal dengan persyaratan salah satu dari :

- Kapal yang didisain memuat muatan cair dalam bulk.
 - Kapal yang mempunyai integritas tinggi pada geladak terbuka dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, ditutup sekat penutup baja yang kedap atau material yang equivalent.
 - Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.
- seperti : Tanker, LNG carrier

Type B Ships = Kapal yang tidak memenuhi persyaratan kapal tipe A.

Type of Ship = B

XIV.2 Freeboard Standard Calculation

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 28/2

Ukuran standard freeboard telah diatur dalam tabel Table for 'B' Ships dengan fungsi panjang kapal.

$L_1 =$	50,00 m	<u>Interpolasi:</u>	
$Fb =$	443 mm		
$L_2 =$	51,00 m		
$Fb =$	455 mm		
		$L =$	50,81 m
		$Fb_1 =$	452,737 mm

XIV.3 Correction for Block Coefficient

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 30

Untuk $C_B > 0.68$

$$\begin{aligned}
 Fb_2 &= (Fb_1) \times ((C_B + 0.68) / 1.36) \\
 &= (452,74) \times ((0,797 + 0.68) / 1.36) \\
 &= 491,685 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

XIV.4 Correction for Depth

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 31

$$H = 4,78 \text{ m}$$

$$L/15 = 3,38743 \text{ m}$$

Untuk $H > L/15$

$$Fb_3 = (H - (L / 15)) \times R$$

$$R = L / 0.48$$

$$= 50,81 / 0.48$$

$$105,86$$

$$Fb_3 = (4,78 - (50,81 / 15)) \times 105,86$$

$$147,286 \text{ mm}$$

XIV.5 Deduction for Superstructure and Trunks

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 37

$$E = \text{Panjang efektif dari superstructure}$$

$$= 22,765 \text{ m}$$

$$E < 1.0 L$$

$$E = 0,448 \% L$$

Tipe B, Ships with forecastle and detached bridge

0,4	L	27,5	% L
0,5	L	36	% L

$$\text{Interpolasi} = 31,5825 \% L$$

$$Fb_4 = \% \times Fb_1$$

$$= 31,58\% \times 452,74$$

$$= 142,986 \text{ mm}$$

XIV.6 Total Minimum Freeboard Calculation

TOTAL $Fb_{Min.}$ = Besaran freeboard minimum yang dibutuhkan

$$Fb_{Min.} = Fb_1 + Fb_2 + Fb_3 - Fb_4$$

$$= 452,737 + 491,685 + 147,286 - 142,986$$

$$= 948,723 \text{ mm}$$

$$Fb_{Actual} = H - T$$

$$= 1714 \text{ mm}$$

$$\text{Req.} = Fb_{Actual} > Fb_{Min.}$$

STATUS = **ACCEPTED**

XIV.7 Reduced Freeboards for Dredgers (DR-68)

Ref: Guidelines for The Assignment of Reduced Freeboards for Dredgers, DR-68 (2010), page 6

The dredger may be assigned a reduced freeboard for loading, carrying or discharging dredgings. The reduced freeboard is the summer freeboard calculated for a type B ship in accordance with Regulation 40 of the Convention, reduced by 2/3 of the resulting summer freeboard to be calculated without Regulation 39 (bow height and reserve buoyancy) of the Convention taken into account. The resulting summer freeboard as for a type B vessel without any reduction or addition shall be used for calculating the dredger freeboard

$$\begin{aligned} Fb_{\text{Dredging}} &= Fb_1 - (2/3 \times Fb_1) \\ &= 452,74 - (2/3 \times 452,74) \\ &= 151 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, saat melakukan proses pengerukan, freeboard kapal keruk boleh lebih rendah dari freeboard minimum yang telah dikoreksi seperti biasanya, dan nilainya maksimal 151 mm

XIV.8 Minimum Bow Height Calculation

Ref: ICLL 1966/1988 Reg. 39

Minimum Bow Height adalah jarak vertikal pada FP yang termasuk tinggi kapal ditambahkan dengan sheer dan tinggi forecastle.

Untuk kapal $L < 250$ m:

$$\begin{aligned} BH_{\text{Min.}} &= 56 \times L \times (1 - (L / 500)) \times (1.36 / (C_B + 0.68)) \\ &= 56 \times 50,81 \times (1 - (50,81 / 500)) \times (1.36 / (0,80 + 0.68)) \\ &= 2354 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BH_{\text{Actual}} &= H + H_{\text{FC}} \\ H_{\text{FC}} &= \text{Tinggi Forecastle} \\ &= 2,5 \text{ m} \\ BH_{\text{Actual}} &= 7,28 \text{ m} \\ &= 7278,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Req.} &= BH_{\text{Actual}} > BH_{\text{Min.}} \\ \text{STATUS} &= \text{ACCEPTED} \end{aligned}$$

XIV.9 Reduced Bow Heights for Dredgers (DR-68)

Ref: Guidelines for The Assignment of Reduced Freeboards for Dredgers, DR-68 (2010), page 6

The minimum bow height at the dredger load line is the bow height provided by the Convention, Regulation 39(1), reduced by the reduction as calculated in XIV.7 of these calculations.

$$\begin{aligned} BH_{\text{Min Dredging.}} &= BH_{\text{Min.}} - Fb_{\text{Dredging}} \\ &= 2353,78 - 150,91 \\ BH_{\text{Min Dredging.}} &= 2203 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BH_{\text{Actual}} &= H + H_{\text{FC}} \\ H_{\text{FC}} &= \text{Tinggi Forecastle} \\ &= 2,5 \text{ m} \\ BH_{\text{Actual}} &= 7,28 \text{ m} \\ &= 7278,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Req.} &= BH_{\text{Actual}} > BH_{\text{Min Dredging.}} \\ \text{STATUS} &= \text{ACCEPTED} \end{aligned}$$

XV. Building Cost Calculation

Ref: Pedoman Pembuatan Perkiraan Biaya (Cost Estimate), Direktorat Pengolahan, PERTAMINA

Input Data :

Steel Weight = 360,637 ton

**STEELBENCHMARKER PRICES**

May 23, 2016
dollars per metric tonne
(net ton) [gross ton] {Euros}

Region: USA, East of the Mississippi

Hot-rolled band:	684	(620)
Cold-rolled coil:	874	(793)
Standard plate:	714	(648)
#1 Heavy melting scrap:	239	[243]
Shredded scrap :	266	[270]
#1 Busheling scrap:	275	[279]

Ref: SteelBenchmarker (23 May 2016)

XV.1 Reference Cost

Yang dijadikan acuan dalam perhitungan adalah biaya steel plate and profile

$$\text{\$ Steel Plate} = W_S \times UP_S$$

$$\begin{aligned} W_S &= \text{Steel Weight} \\ &= 360,637 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UP_S &= \text{Unit Price for Steel} \\ &= \$714,0 / \text{ton} \end{aligned}$$

$$\text{\$ Steel Plate} = \$257.495,147$$

$$\begin{aligned} \%_S &= \% \text{ biaya steel dari biaya total} \\ &= 21,00 \% \end{aligned}$$

XV.2 Example of Detail Cost Calculation

Perhitungan dilakukan dengan melakukan perbandingan antara persentase detail dengan reference cost, dalam hal ini yang dijadikan acuan adalah steel plate and profile cost

$$\text{\$ Detail} = (\% \text{ Detail} / \% \text{ Reference}) \times \text{\$ Reference}$$

ex:

Ingin mencari biaya detail dari design cost (\\$ Design)

$$\begin{aligned} \% \text{ Detail} &= \% \text{ Design} \\ &= 3,00 \% \text{ (Total Cost)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Reference} &= \% \text{ Steel Plate and Profile} \\ &= 21,00 \% \text{ (Total Cost)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{\$ Reference} &= \text{\$ Steel Plate and Profile} \\ &= \$257.495,147 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Design} &= (3,00 / 21,00) \times 257495,15 \\ &= \$36.785,02 \end{aligned}$$

XV.3 Table of Building Cost Calculation Calculation

SUMMARY CONCEPTUAL ESTIMATE - SEA WATER (SW)			
Cost	Detail	%	\$
DIRECT COST	1. Hull Part		
	1.a. Steel plate and profile	21,00	\$257.495,15
	1.b. Hull outfit, deck machinery and accommodation	7,00	\$85.831,72
	1.c. Piping, valves and fittings	2,50	\$30.654,18
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2,00	\$24.523,35
	1.e. Coating (BWT only)	1,50	\$18.392,51
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1,00	\$12.261,67
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0,30	\$3.678,50
	Subtotal (1)	35,30	\$432.837,08
	2. Machinery Part		
	2.a. Propulsion system and accessories	12,00	\$147.140,08
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3,50	\$42.915,86
	2.c. Boiler and Heater - Tidak Ada	1,00	\$0,00
	2.d. Other machinery in in E/R	3,50	\$42.915,86
	2.e. Pipe, valves, and fitting	2,50	\$30.654,18
	2.f. Machinery spare part and tool	0,50	\$6.130,84
	Subtotal (2)	23,00	\$269.756,82
	3. Electric Part		
	3.a. Electric power source and accessories	3,00	\$36.785,02
	3.b. Lighting equipment	1,50	\$18.392,51
	3.c. Radio and navigation equipment	2,50	\$30.654,18
3.d. Cable and equipment	1,00	\$12.261,67	
3.e. Electric spare part and tool	0,20	\$2.452,33	
Subtotal (3)	8,20	\$100.545,72	
4. Construction cost			
Consumable material, rental equipment and labor	20,00	\$245.233,47	
Subtotal (4)	20,00	\$245.233,47	
5. Launching and testing			
Subtotal (5)	1,00	\$12.261,67	
6. Inspection, survey and certification			
Subtotal (6)	1,00	\$12.261,67	
TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)		88,50	\$1.072.896,44
INDIRECT COST	7. Design cost	3,00	\$36.785,02
	8. Insurance cost	1,00	\$12.261,67
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2,50	\$30.654,18
	TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)	6,50	\$79.700,88
MARGIN	TOTAL III	5,00	\$61.308,37
GRAND TOTAL (I + II + III)		100,00	\$1.213.905,69

XV.4 TOTAL Cost in IDR Calculation

Bank Indonesia (23 Mei 2016) 20.25 WIB - JUAL

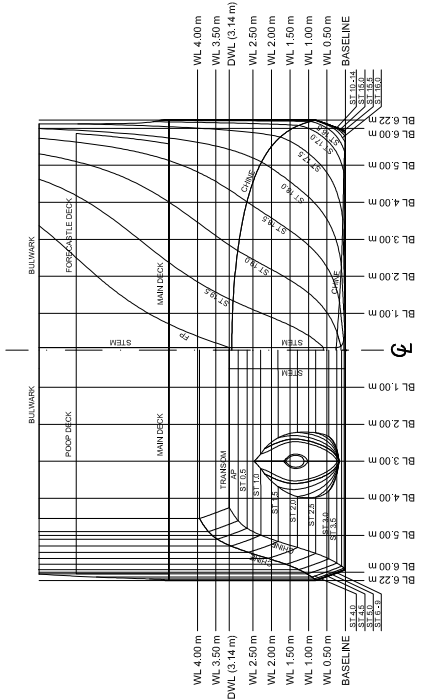
1 USD = Rp13.675,00

Rp_{TOTAL} = Rp16.600.160.326

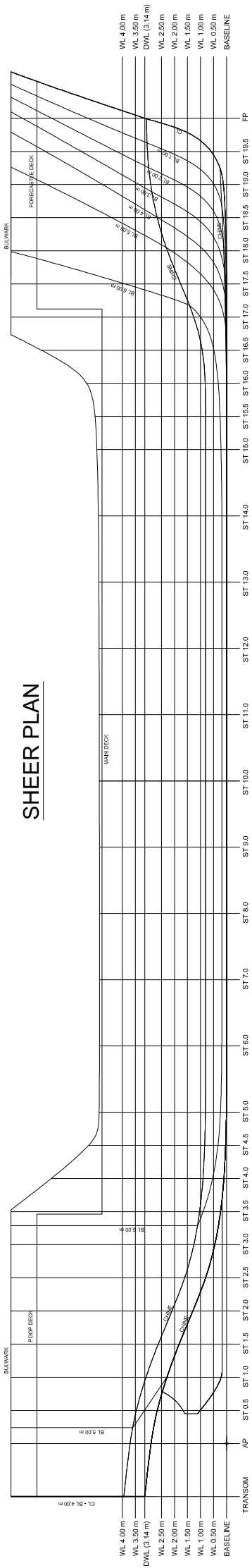
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN C
RENCANA GARIS *TRAILING*
***SUCTION HOPPER DREDGER* (TSHD)**

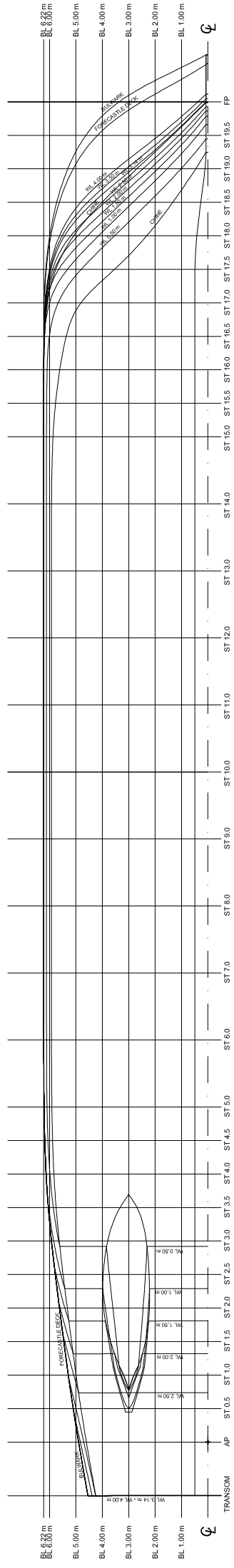
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF BREADTH PLAN



PRINCIPAL PARTICULARS:

SHIP TYPE	: TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER
HOPPER VOLUME	: 1100 m ³
LENGTH OF WATERLINE (LWL)	: 52.84 m
LENGTH (LPP)	: 50.81 m
BREADTH (B)	: 12.45 m
DEPTH (H)	: 4.78 m
DRAUGHT at FRESH WATER	: 3.14 m
DRAUGHT at SEA WATER	: 3.07 m
COMPLEMENT	: 8 PERSONS
DESIGNED SERVICE SPEED	: 10.00 KNOTS



LINES PLAN

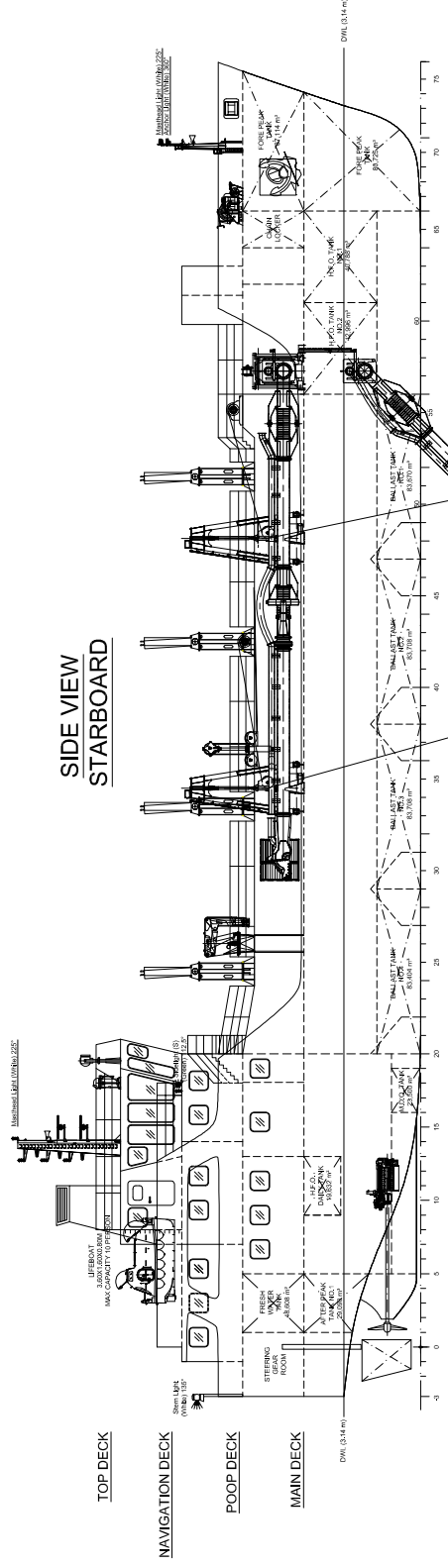
TSHD 1100 BORTHWICK
 "TOL SUNGAI" CBL - TANJUNG PRIOK

SCALE	1 : 100	SIGNATURE		REMARK
DRAWN BY	M RIZAL ARSYAD J	DATE	27 - 06 - 2016	
APPROVED BY	Ir. HESTY A. KURNIAWATI, M.Sc.		28 - 06 - 2016	

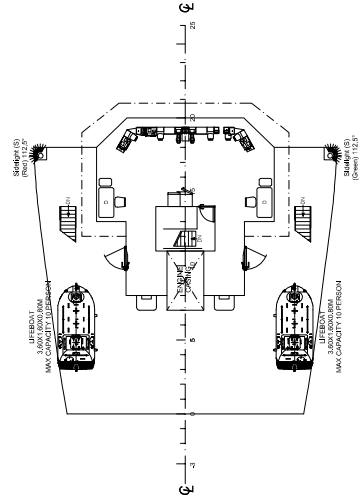
LAMPIRAN D

RENCANA UMUM *TRAILING*

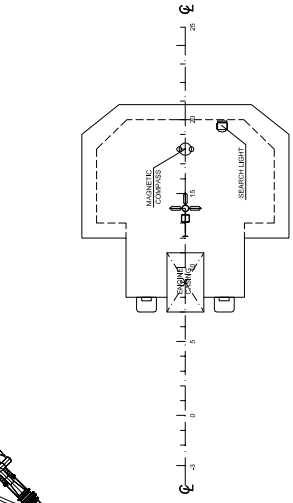
SUCTION HOPPER DREDGER (TSHD)



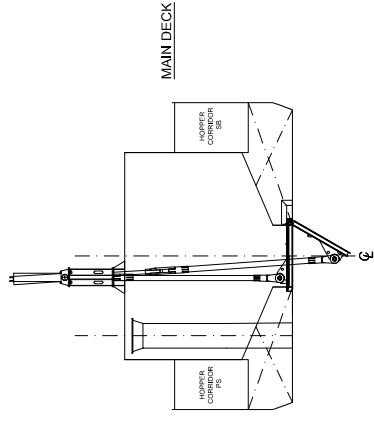
NAVIGATION DECK



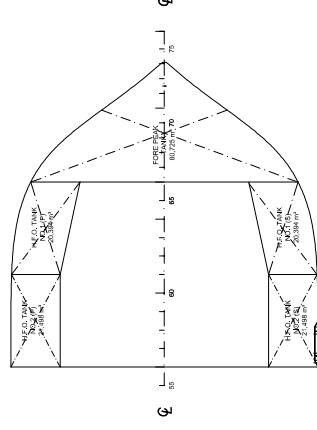
TOP DECK



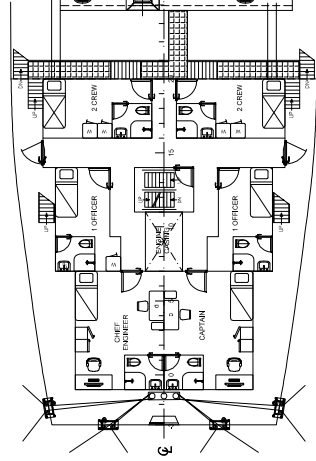
CROSS SECTION MIDSHIP



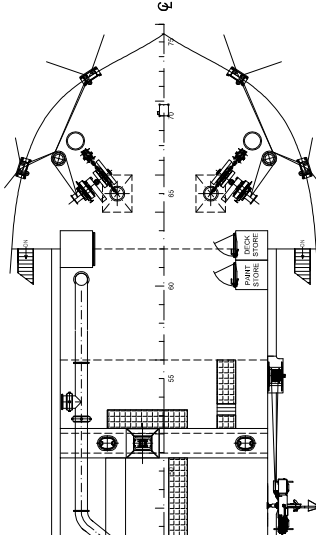
"BELOW MAIN DECK" DECK



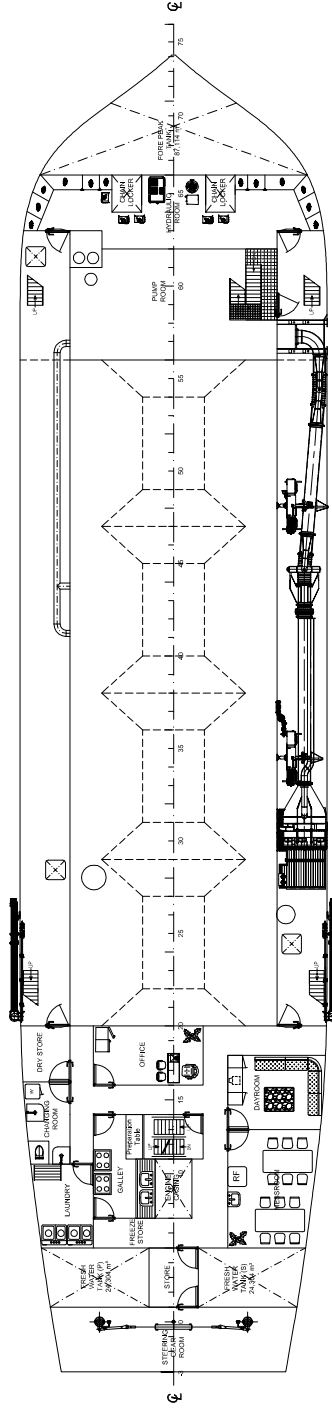
POOP DECK



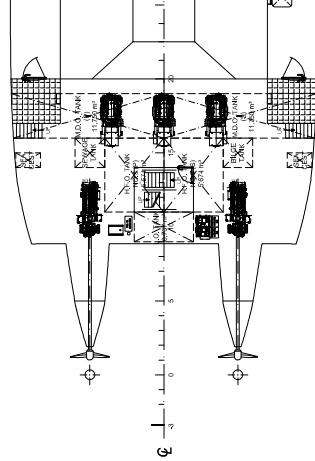
FORECASTLE DECK



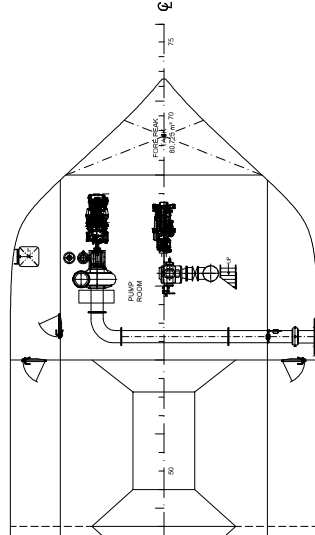
MAIN DECK



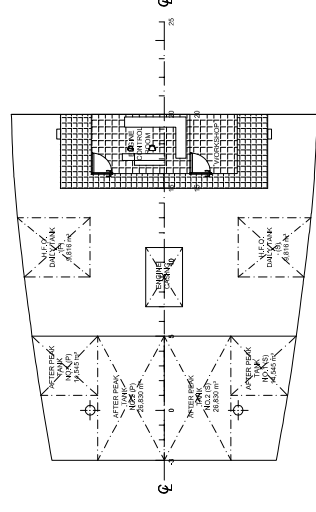
TANKTOP at 1.2 m



TANKTOP at 1.8 m



"BELOW MAIN DECK" DECK



PRINCIPAL PARTICULARS:

SHIP TYPE	: TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER
HOPPER VOLUME	: 1100 m ³
LENGTH OF WATERLINE (LWL)	: 52.84 m
LENGTH (LPP)	: 50.81 m
BREADTH (B)	: 12.45 m
DEPTH (H)	: 4.78 m
DRAUGHT at FRESH WATER	: 3.14 m
DRAUGHT at SEA WATER	: 3.07 m
COMPLEMENT	: 8 PERSONS
DESIGNED SERVICE SPEED	: 10.00 KNOTS



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

GENERAL ARRANGEMENT

TSHD 1100 BORTHWICK
 "TOL SUNGAI" CBL - TANJUNG PRIK

SCALE	1 : 150	DATE	27 - 06 - 2016	SIGNATURE		REMARK	
DRAWN BY	M RIZAL ARSYAD J						
APPROVED BY	I. HESTY A. KURNIAWATI, M.Sc.						

NRP.4112100070

LAMPIRAN E
KATALOG *MAIN ENGINE,*
AUXILIARY ENGINE, DREDGE
PUMP, DAN TRAILING PIPE



Marine.

High speed propulsion engines.

MAN Engines

A Division of MAN Truck & Bus AG





Definition of application type.

Heavy duty operation

- Annual operating hours: unlimited
- Percentage of time at full load: $\leq 100\%$
- Average load application: $\leq 100\%$

Typical applications

- Trawlers
- Tugs and pushboats
- Freight barges and freighters
- Ferries
- Dredgers



Engine description D2862.

Characteristics

- Cylinders and arrangement: 12 cylinders in 90° V design
- Operation mode: 4-stroke diesel engine, watercooled
- Turbocharging: Exhaust turbocharger with intercooler
- Number of valves: 4 valves per cylinder, replaceable
- Fuel system: Common Rail direct fuel injection with electronic control
- Engine block: High-strength casting with integrated oil and water ducts and replaceable cylinder liners
- Engine lubrication: Closed system with forced feeding, oil cooling and filtering
- Type of cooling: Plate heat exchanger seawater cooled
- Engine control: Electronic injection control (EDC)
Electronic engine monitoring including diagnostic unit
- Exhaust gas status: IMO Tier 2, RCD 94/25/EC, EPA Tier 2 com, 97/68/EC
- Fuel: DIN EN 590

Technical features D2862

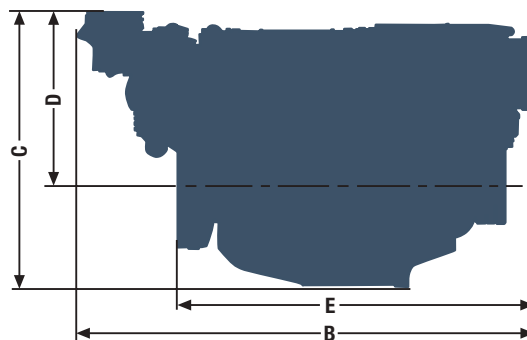
Type of engine		LE 431	LE 421
Bore	mm	128	128
Stroke	mm	157	157
Displacement	l	24.24	24.24
Compression ratio		19:1	19:1
Rotation looking on flywheel		left	left
Flywheel housing		SAE 1	SAE 1
<hr/>			
Nominal rating ¹⁾	kW (hp)	551 (750)	662 (900)
Rated speed	rpm	1,800	1,800
Torque at rated speed	Nm	2,923	3,512
Maximum torque	Nm	3,290	3,955
at speed	rpm	1,000–1,600	1,000–1,600
Specific fuel consumption ²⁾	g/kWh	213	212
Fuel consumption ²⁾	l/h	140	167
Classifiable		✓	✓

1) The rating is according to DIN 3046/1.

2) Consumption at rated power.

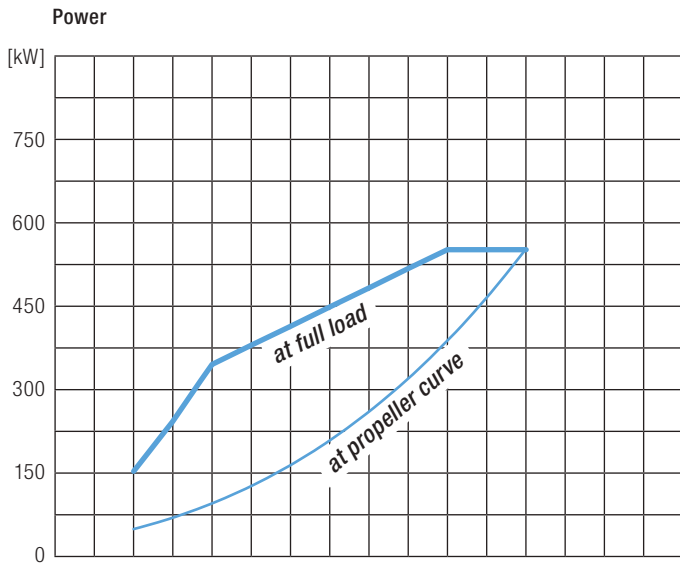
Dimensions		LE 431/421
A-Overall width of engine	mm	1,153
B-Overall length of engine	mm	2,124
C-Overall height of engine	mm	1,289
D-Top of engine to crankshaft centre	mm	825
E-Length of engine from front end to edge of flywheel housing	mm	1,631
Average weight of engine ready for installation (dry)	kg	2,270

For detailed examinations of installation dimensions, please order drawings from our factory.

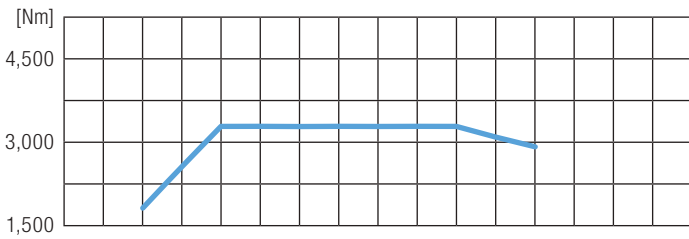


Power charts D2862.

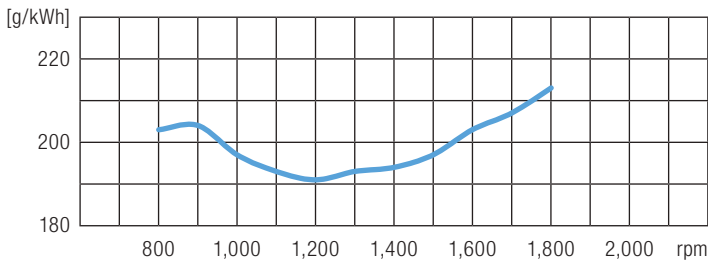
D2862 LE 431



Torque

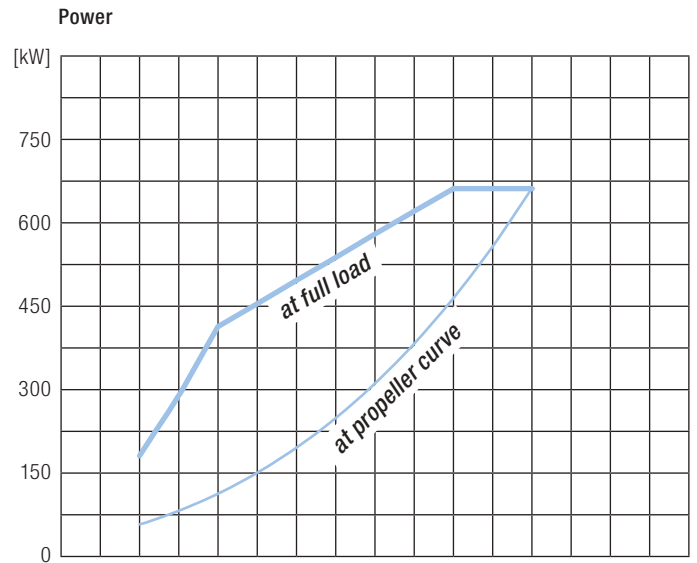


Specific fuel consumption (full load)

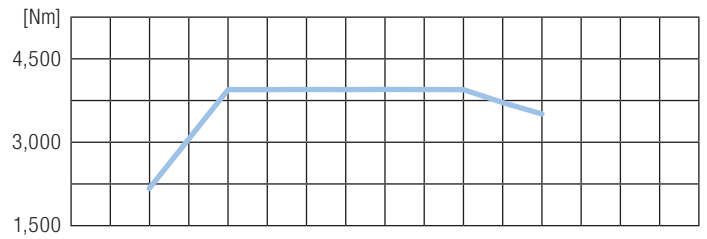


■ D2862 LE 431 with 551 kW (750 hp at 1,800 rpm)

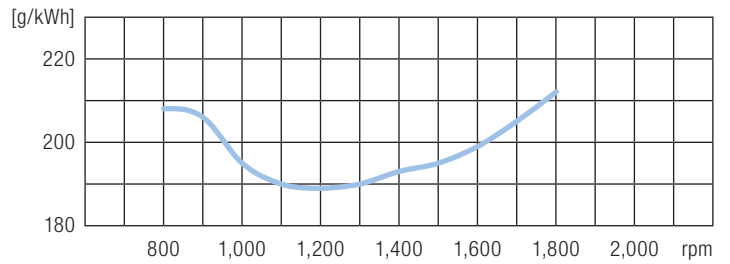
D2862 LE 421



Torque



Specific fuel consumption (full load)



■ D2862 LE 421 with 662 kW (900 hp at 1,800 rpm)

C7.1 ACERT™

MARINE GENERATOR SET

99, 118, 150 ekW (125, 148, 188 kVA) 50 Hz
118, 150, 175, 200 ekW (148, 188, 219, 250 kVA) 60 Hz



Image shown
may not reflect
actual engine

SPECIFICATIONS

I-6, 4-Stroke-Cycle-Diesel

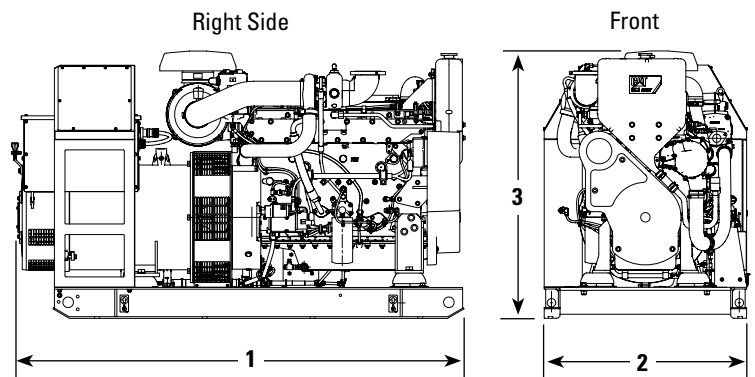
- EPA Tier 3/IMO compliant/CCNR Stage 2
- 7.01 liter displacement
- 50 Hz 1500 rpm/60 Hz 1800 rpm rated engine speed
- 105 mm (4.13 in) bore x 135 mm (5.32 in) stroke
- Turbocharged-aftercooled aspiration
- Electronically governed
- Heat exchanger or keel cooled
- Refill capacity
 - Cooling system: 38 L (10.0 U.S. gal) — hex
 - Lube oil system: 21 L (5.6 gal)
- Counterclockwise rotation from flywheel end
- 500-hour oil change interval



STANDARD ENGINE EQUIPMENT

- Crankcase ventilation system
- Common Rail fuel system
- 12V and 24V starter motor and battery charging alternator
- Mounted air cleaner
- Integral plate-type oil cooler
- 3-phase AREP generators which provide the functionality of a permanent magnet excitation system
- EMCP4.2 control panel with remote monitoring capability
- Isolated sump
- Anti-vibration engine mounts
- Glowplugs aid starting in cold weather
- Gear-driven sea-water and jacket-water pumps
- Safety shutdowns for low oil pressure, high water temperature, and overspeed
- Worldwide Extended Service Coverage (ESC) available
- 7 available ratings to cover power demand of both 50 Hz and 60 Hz
- Watercooled exhaust manifold and turbocharger

DIMENSIONS



ENGINE DIMENSIONS & WEIGHT

(1) Length	2142-2185 mm	84.3-86.0 in
(2) Width	965 mm	38.0 in
(3) Height	1263 mm	49.7 in
Weight, Net Dry (approx)	1652-1840 kg	3634-4026 lb

Note: Do not use these dimensions for installation design. See general dimension drawings for detail.

MARINE ENGINE PERFORMANCE

50 Hz

% Load	ekW	g/bkW-hr	ekW	g/bkW-hr	ekW	g/bkW-hr
100	99	229.6	118.0	227.5	150.0	216.5
75	75	247.8	88.5	246.3	112.5	236.5
50	50	254.3	59.0	251.2	75.0	239.3
25	25	290.9	29.5	284.5	37.5	261.9

60 Hz

% Load	ekW	g/bkW-hr	ekW	g/bkW-hr	ekW	g/bkW-hr	ekW	g/bkW-hr
100	118.0	233.6	150.0	219.4	175.0	219.5	200.0	216.4
75	88.5	248.1	112.5	232.0	131.2	229.0	150.0	225.9
50	59.0	263.5	75.0	245.9	87.5	243.5	100.0	242.7
25	29.5	308.7	37.5	280.5	43.7	276.4	50.0	274.0

OPTIONAL ATTACHMENTS

- Control System**
 Governor droop kit (selecting this kit enables paralleling with appropriate customer-supplied switchgear)
- Generators & Generator Attachments**
 Space heater kit, installed — 120V AC, 240V AC
- Fuel System**
 Double wall fuel lines with enclosed common rail and mounted alarm reservoir, duplex fuel filters
- Lube System**
 Duplex oil filters
- Starting System**
 Additional 12V or 24V electric starter, air starter, jacket water heater options
- Marine Classification Society (MCS) Approval – Pending**
 ABS, BV, DNV, LR, GL, PRS, RINA, CCS, RS
- General**
 PGS test report @ 0.8 power factor, extra literature, storage preservation, export packing: single engine shipment to U.S., 20-foot container engine shipments, 40-foot container engine shipments

CATERPILLAR GENERATOR

Power Factor	0.8
Frame	44.2/46.2
Insulation	Class H
Temperature Rise	
@ 40°C Ambient (110%)	Class H (150°K)
@ 50°C Ambient (110%)	Class H (140°K)
Winding Pitch Code	2/3
Terminals	12-lead reconnectable

Drip Proof	IP 23
Air Flow 60 Hz	0.32 m³/s (678 cfm)
Excitation System	AREP
Voltage Regulation (steady state)	±0.5%
Total Harmonic Content LL/LN	<4%
Wave Form: NEMA=TIF	<50
Wave Form: I.E.C.=THF	<2%

CAT, CATERPILLAR, their respective logos, ACERT, “Caterpillar Yellow” and the “Power Edge” trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.



DAMEN TRAILING PIPE SYSTEM 500 “OMVAC DIEZ”

GENERAL

Yard No.	B10.0242
Type	TSHD 1,100 m ³
Delivery date	2011
Basic functions	Mining and maintenance dredging
Classification	Germanischer Lloyd, Class I, ✕ 105 Split Hopper Barge Unit, coastal area (K50)

DREDGING FEATURES

Dredging depth max. 30 m.

DREDGE INSTALLATION

Trailing pipe	500 mm
Dredge pump	BP5045 (capacity 5,500m ³ /h)
Bow coupling unit	500 mm
Overflows	2
Dredge valves	5x HRA500, 5x HRA450
Jetwater monitor	2x ND200

PRINCIPAL DIMENSIONS

Length o.a.	67.65 m
Beam	12.90 m
Moulded depth	4.75 m
Draught max	4.00 m
Dead weight	1.000 tn
Speed (loaded)	9.5 kn

HOPPER CAPACITIES

At max. overflow level 1.185 m³

DREDGING INSTRUMENTATION

- Vacuum and pressure measuring system dredge pumps and jetwater pump
- Suction Tube Position Indication, vertical position
- Load & Draught system
- Density and velocity measurement with production indicator

REMARKABLE FEATURES

- Split barge
- Self emptying system
- Discharge distance 800 m

YARD

Nodosa, Spain

OWNER

Canleamar, Spain

DAMEN



THE DAMEN APPROACH TO DREDGING EQUIPMENT

Damen offers a complete range of Trailing Suction Hopper Dredgers (TSHDs), with hopper capacities ranging from 650 m³ to 2,500 m³.

The wide standard range of TSHDs have been designed as dedicated maintenance dredgers built around a modular concept, which means they are prepared for a large number of options. The basic version TSHD is a budget-friendly dredger perfect for efficient harbour and navigation channel maintenance.

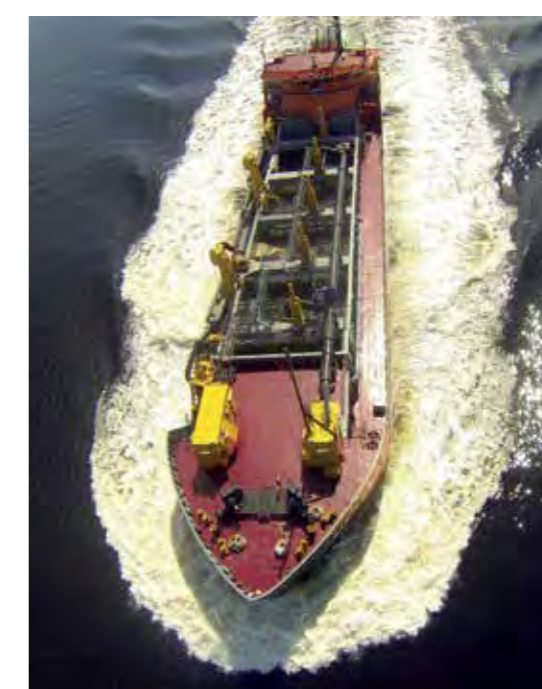
With the possibility of fully customizing the dredgers, the standard TSHDs are highly efficient, fitted out to the latest technology standards. Durability has been a key consideration in the design process.

The Damen quality principles and procedures generate continuous feed-back from the thousands of vessels the group has built and this is then fed into the standard designs, thus ensuring that standards are improving continuously.

Damen's highly flexible concept of optional packages means that customising the standard TSHD can be carried out effortlessly. Options can be added immediately or, should a specific dredging job be contracted, later on when a vessel is already in service. Optional packages include self-emptying systems, bow coupling units, degassing systems and others. You can choose from a broad range of options to make sure the Damen TSHD is the right tool for your dredging job.

Customised TSHDs

Dredging is vital for economic growth; in all seasons and weather conditions waterways, navigation channels and ports have to be kept at the right depth. The TSHD range offers cost effective standard designs tailored to specific requirements. The standard TSHD is mainly designed for maintenance dredging, particularly silt handling. However, the array of available options mean that it is easy to upgrade to dredging sand for beach replenishment jobs for example.



DAMEN TSHD DESIGN PRINCIPLE

The setup and design of the TSHD range are based on modular hulls coupled with the use of standard components and systems of first class marine quality. Crucially, it is based on the proven designs of previously built vessels. And over the decades highly valued customer feedback is integrated continually into the design optimisation process. The configuration of the underwater hull, propulsion system and main engines are chosen for cost-effectiveness, durability and low maintenance. Damen's approach to dredging equipment has resulted in competitive price levels, short delivery times and logistical advantages for the dredger and for its spare parts during its lifecycle.

DAMEN SERVICES

Damen Services offers a wide-ranging portfolio of customer support and after-sales services. The services include commissioning on site, crew training, spare parts delivery and technical assistance, renovations and conversions – all as per customer request.



ALL DAMEN TSHD'S CAN BE EQUIPPED WITH NUMEROUS OPTIONS



SELF-DISCHARGING

Apart from the standard feature of discharging the hopper cargo through the bottom doors, a discharge system using the dredge pump can be added. This self-discharging system includes a suction line along the hopper length and a bow coupling unit with rainbow nozzle. Therefore, the standard maintenance dredger is upgraded effortlessly to a powerful dredger perfect for beach replenishments.

DEGASSING SYSTEM

During maintenance dredging in ports, cemented silt can be encountered in which gas bubbles are trapped. The amount of in situ gas can be extremely high as a result of which the efficiency of the dredge pump is badly affected. However, efficiency can be boosted using a degassing system because the system intercepts the gas before it reaches the dredge pump. Consequently harbour maintenance operations can be executed with maximum efficiency.

DREDGING INSTRUMENTATION

A large range of optional Damen dredging instrumentation packages are available to ensure cost effective dredging. The possibilities include production measurement systems using density and flow meters to monitor effective dredge pump through-put and to control the Light Mixture Overboard system. State-of-the-art monitoring systems give a clear on-screen display of, for instance the trailing pipe working angles, the Load and Draught and the Tons Dry Solid or the highly accurate position.

GRAB CRANE

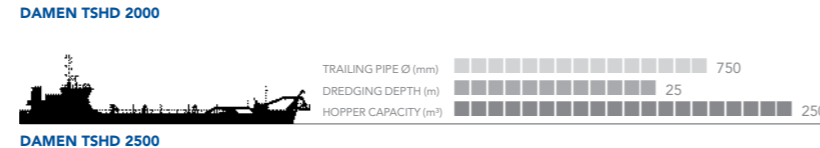
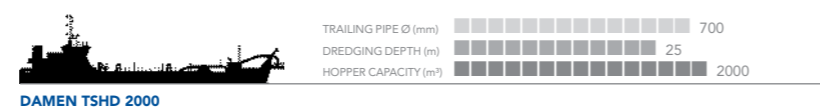
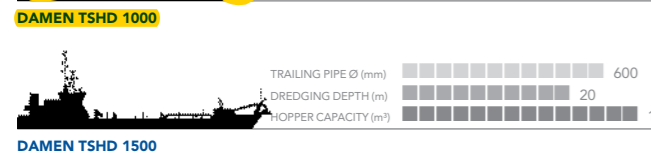
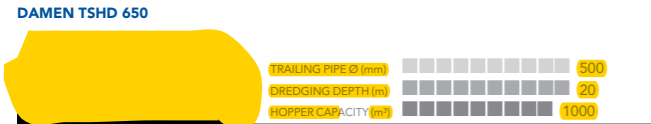
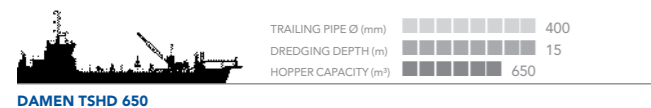
In certain dredging conditions, a grab crane can be the right equipment to use. The TSHD650 and 1000 can be fitted out with a specially designed grab crane, which is equipped with a wire-operated clamshell. The diesel-hydraulic driven crane is mounted on a pedestal integrated into the vessel, and all the crane systems are independent from the vessel's systems. A grid is installed above the hopper for collecting large stones and debris, and for storing the grab on-board.

HIGH PRESSURE IN BOARD DREDGE PUMP

Damen has its own extensive range of dredge pumps for every dredging situation: low pressure dredge pumps for hopper loading, medium pressure dredge pumps when there is only room for one pump which has to fill and discharge the cargo and high pressure dredge pumps for discharging the sand cargo over significant distances.

BOW THRUSTER

Maintenance dredgers have a notoriously difficult job: keeping all corners of the harbour clean, no matter how hard they are to reach. To optimise the manoeuvrability of the TSHD, as an option a dedicated bow thruster can be added. The bow thruster's fixed pitch propeller is diesel driven and the unit is a two channel type, with suction via the bottom of the vessel. Silted spots can then be reached effortlessly.



TRAILING SUCTION PIPE IN GANGWAY



DAMEN OFFERS A COMPLETE DREDGE PUMP RANGE



TELESCOPIC OVERFLOW



LAMPIRAN F

BERITA TENTANG PROGRAM “TOL

SUNGAI CIKARANG BEKASI LAUT

(CBL) – TANJUNG PRIOK”

Kali CBL jadi Tol Sungai



CBL SEKARANG: Beginilah kondisi Kali Cikarang Bekasi Laut (CBL) di wilayah Muarabakti, Babelan, Kabupaten Bekasi. RISKY/RADAR BEKASI

Alternatif Tol Jakarta-Cikampek

KALI Cikarang Bekasi Laut (CBL) yang membentang dari Tarumajaya hingga ke Cikarang, digadang-gadang bakal menjadi jalur transportasi alternatif untuk memecah kemacetan yang sering menghambat pengiriman barang dari Tanjungpriok, Jakarta Utara.

Pemerintah pusat sudah menyiapkan skenario mengatasi kepadatan lalu lintas di jalur darat itu. Salah satunya dengan program tol sungai atau water way. Program ini mengoptimalkan kembali fungsi sungai atau kanal untuk jalur distribusi barang. Nah, salah satunya adalah memanfaatkan Kali CBL di wilayah Kabupaten Bekasi.

Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Rini Soemarno mengungkapkan, Presiden Jokowi meminta kepada BUMN untuk mengoptimalkan fungsi sungai atau kanal untuk jalur distribusi barang. "Sebab, kalau lewat tol atau jalan raya sudah sangat padat dan biayanya tinggi," ujarnya se usai bertemu presiden di Kantor Presiden kemarin (5/2).

Dalam pertemuan tersebut, Rini ditemani Direktur Utama PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo) II R.J. Lino. Menurut dia, Pelindo yang bergerak di bidang pengelolaan pelabuhan kini memang tengah mencari cara untuk mengurai simpul kemacetan truk-truk kontainer menuju pelabuhan.

"Caranya sudah ketemu, lewat jalur sungai atau water way," katanya.

Lino menambahkan, saat ini Pelindo II memang tengah mematangkan rencana pengembangan jalur angkutan kontainer via sungai atau inland access water way. "Rencananya sepanjang 40 kilometer, dari (kawasan industri) Cikarang ke Tanjungpriok," ucapnya.

Dalam masterplan yang dimiliki Pelindo II, jalur transportasi angkutan kontainer tersebut bakal melalui sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) lalu masuk ke Marunda, Jakarta Utara lalu ke Tanjungpriok. Selama ini, untuk mengangkut kontainer dari Cikarang ke Tanjungpriok atau sebaliknya, truk kontainer harus membelah kemacetan melalui tol Cikampek lalu mengarah ke Tanjungpriok.

Menurut Lino, jalur angkutan laut Cikarang – Marunda – Tanjungpriok tersebut bakal bisa dilalui kapal tongkang pengangkut kontainer berkapasitas maksimal 60 kontainer. Karena itu, proyek ini akan dimulai dengan pengerukan sungai atau kanal agar memiliki kedalaman yang cukup untuk bisa dilalui kapal tongkang. "Biaya investasinya sekitar Rp1 triliun," sebutnya.

Sebelumnya, dalam berbagai kesempatan, Jokowi sering menyampaikan pentingnya alternatif angkutan darat. Salah satu target ambisiusnya adalah membangun tol laut yang menghubungkan berbagai wilayah atau kepulauan di Indonesia. Ini merupakan strategi untuk menekan lonjakan harga barang di kawasan Indonesia Timur.

Menurut Jokowi, tol laut bukanlah jalan tol yang dibangun di atas laut, melainkan pengembangan sistem transportasi via laut dengan menggunakan kapal-kapal besar yang melayani berbagai rute, sehingga kontainer barang pun bisa langsung diangkut dalam jumlah besar.

"Dengan begitu, biayanya jauh lebih efisien, sehingga perbedaan harga barang antar wilayah bisa ditekan," ujarnya. Namun, hingga kini, proyek tol laut hanya sebatas gagasan.

Terpisah, rencana pemerintah pusat menjadikan kali CBL sebagai tol sungai itu direspons positif oleh Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD) Kabupaten Bekasi.

Sekretaris Komisi A DPRD Kabupaten Bekasi, Muhtadi Muntaha menilai kalau rencana tersebut akan memberikan dampak positif bagi masyarakat Kabupaten Bekasi. Pasalnya, dengan dijadikannya CBL sebagai jalur angkutan sungai maka akan menghidupkan sektor ekonomi warga di tepi kali tersebut.

Selain itu, sambung dia, dengan dijadikannya CBL sebagai jalur angkutan laut maka akan meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) Kabupaten Bekasi yang saat ini diketahui sebesar Rp3,9 miliar.

"Itu ide bagus. Bukan hanya akan meningkatkan sektor perekonomian masyarakat sekitar CBL dan tambahan PAD, tapi juga bisa mengembalikan Kali CBL seperti sedia kala," ujar politisi Partai Amanat Nasional ini.

Ketika disinggung soal kondisi Kali CBL yang banyak sampah, kotor dan juga dangkal, Muhtadi mengatakan kalau pemerintah pusat perlu melakukan normalisasi terlebih dahulu sebelum menjalankan rencana tersebut.

"Dinormalisasi agar tidak dangkal, jadi bersih dan tidak tercemar limbah. Tentu rencana pemerintah pusat itu harus diikuti dengan political will kedua belah pihak, pusat dan daerah, sama-sama bekerja sama menjaga kelestarian Kali CBL," bebernyanya.

Walupun mendukung program tersebut, Muhtadi enggan jika untuk pembangunan tersebut menggunakan APBD Kabupaten Bekasi. Menurutnya, hal itu merupakan tanggung jawab dari pemerintah pusat.

"Adapun soal dana, mutlak jadi tanggung jawab pemerintah pusat. Sedangkan Pemda Kabupaten Bekasi dapat menerapkan regulasi secara tegas, bahwa setiap orang dan atau perusahaan yang mencemari Kali CBL, maka hukumannya harus seberat-beratnya, bahkan sampai pada tindakan penutupan perusahaan nakal yang selama ini hanya gendut perutnya tapi nggak peduli dengan lingkungan, termasuk Kali CBL," tandasnya. (neo/owi/end)

Berita Terkait

RJ Lino Jelaskan Proyek Waterway ke Jokowi



Ilustrasi: Okezone

JAKARTA - Presiden Joko Widodo (Jokowi) menerima Direktur Utama PT Pelindo II (Persero) RJ Lino di Istana Merdeka. Selain itu, Presiden juga bertemu dengan Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Rini Soemarno dan Direktur Utama PT Pertamina (Persero) Dwi Soetjipto.

Kedatangan RJ Lino ke Istana membahas mengenai program pembangunan *waterway* di jalur kanal Cikarang Bekasi Laut (CBL) sepanjang 40 km. Pembangunan tersebut guna menekan biaya transportasi logistik yang selama ini melalui jalur darat.

"Mengenai *waterway* yang ke Cibitung yang diangkut pakai kontainer dengan tongkang sampai ke Cikarang," kata Lino di Istana Negara, Jakarta, Kamis (5/2/2015).

Di tempat yang sama, Menteri Rini menyebut dalam pertemuan tersebut dibahas bagaimana membuat sistem pengangkutan yang selama ini menggunakan jalur darat akan dialihkan ke jalur air.

"Pengangkutan barang itu tidak harus melalui jalan raya, karena kalau lewat jalan raya itu sudah sangat padat dan *cost*-nya lebih tinggi. Bagaimana kalau ada kemungkinan melalui air, jadi umpamanya sekarang kanal-kanal kita makin baik. Jadi apakah pengangkutan barang bisa dilakukan melalui sungai," tukasnya.

Sekedar informasi, PT Pelabuhan Indonesia II (Persero) atau ICP akan membangun *waterway* di jalur kanal Cikarang Bekasi Laut guna menekan biaya transportasi logistik yang selama ini melalui jalur darat.

Waterway tersebut rencananya akan mulai dibangun pada tahun 2015 mendatang dan diproyeksikan akan rampung selama dua tahun. Sementara biayanya diperkirakan akan memakan biaya sebesar Rp1 triliun.

(rzk)

Waterway CBL Dibangun Tahun Ini Nusantara Maritime News



[Waterway CBL Dibangun Tahun Ini](#)

Maret 25th, 2015 - 10:15 am | by [maritimeneews](#)



Berita

image: bumh.go.id

PT Pelindo II (Persero) atau Indonesian Port Corporation (IPC) memastikan pembangunan waterway jalur kanal Cikarang Bekasi Laut (CBL) sepanjang 40 km akan dimulai tahun ini. Proyek tersebut diperkirakan menelan biaya sekitar Rp 1 triliun.

“Pembangunan Proyek waterway CBL akan dimulai tahun ini,” kata Humas Pelindo II Sofyan Gumelar Selasa (24/3) di Jakarta.

Waterway CBL merupakan pola pengangkutan kontainer berbasis jalur sungai (inland access waterway) dari Tanjung Priok menuju kawasan industri Cikarang.

Proyek ini dibuat untuk mengurangi penggunaan truk angkutan dari pelabuhan ke kawasan industri yang selama ini menimbulkan kemacetan dan polusi.

Dengan adanya waterway CBL, barang atau komoditas dari Pelabuhan Tanjung Priok yang akan dibawa ke kawasan industri Cikarang atau bagian timur Jakarta, tidak perlu lagi menggunakan jalur darat. Strategi ini dinilai akan lebih efisien baik dari waktu maupun biaya logistik.

Dalam Proyek ini akan dibangun kanal Cikarang Bekasi Laut (CBL) sepanjang 40 km di sisi timur Jakarta yang merupakan wilayah Bekasi, Jawa Barat. Rencananya kapal-kapal tongkang akan berlayar di kanal CBL yang lebarnya antara 50-100 meter.

Kanal CBL bisa dilewati 2 kapal tongkang bolak-balik di mana setiap tongkang mampu mengangkut 60 kontainer sekali jalan. Kondisi ini bisa mengurangi antrean truk kontainer sepanjang 3 km.

Sementara itu, Praktisi Logistik Kepelabuhanan Rudy Sangian dalam tulisannya di Kompasiana mengatakan, perlu dipertimbangkan mana yang lebih efisien untuk mengurai kepadatan pelabuhan Priok: apakah menggunakan jalur Kanal Bekasi Laut atau menggunakan jalur kereta api.

“Sepintas jika dibandingkan dengan jalur Kanal Bekasi Laut maka terkesan masih lebih efisien jika mengurai kepadatan di Pelabuhan Tanjung Priok itu menggunakan jalur Kereta api,” kata Rudy dalam tulisannya.

Angkutan Tongkang Kanal Bekasi Laut dapat mengangkat sebanyak 60 container. Sedangkan, satu rangkaian KA itu maksimum 12 s/d 18 container per sekali tarik oleh lokomotifnya.

“Memang betul, lebih banyak muatan container via Tongkang Kanal Bekasi Laut tetapi sungai yang dilalui oleh tongkang tersebut memiliki tingkat endapan yang tinggi sehingga kapal tongkang bisa kandas, sekalipun endapan sungai itu dapat dikeruk tetapi hal itu tetap berpotensi sehubungan dengan profil sungai tersebut dan buangan sampah di mana-mana sehingga dapat mempengaruhi kelancaran arus angkutan barang via tongkang,” katanya.

Reporter : Herry Susanto

Pengusaha Tak Sabar Angkutan Kontainer Via Sungai Segera Beroperasi di Bekasi

Zulfi Suhendra - detikfinance

Jumat, 06/02/2015 10:05 WIB

BANTAL
MEMORY FOAM

PILLOPEDIC

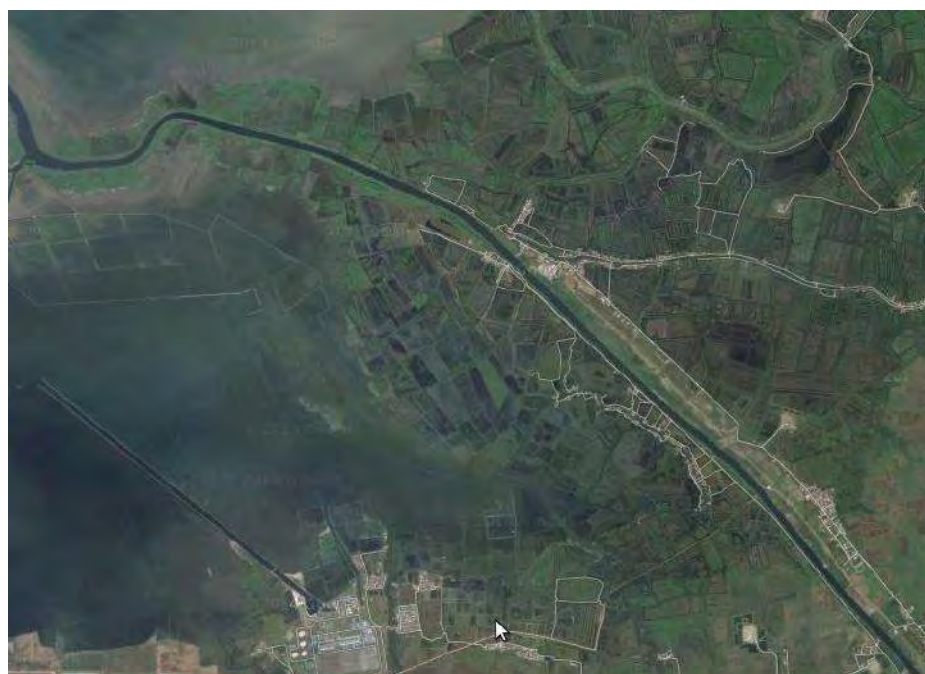


Teknologi NASA
"MEMORY FOAM"

MENGATASI
PROBLEM
"SALAH BANTAL"

TIDUR LEBIH
NYENYAK DAN
NYAMAN

Free ongkir se Indonesia



Kali CBL di Bekasi-Cikarang

Jakarta -BUMN operator pelabuhan, PT Pelindo II menggagas sistem transportasi logistik sekitar Jakarta dengan memanfaatkan jalur kanal Kali Cikarang Bekasi Laut (CBL) atau sistem waterway. Gagasan ini disambut baik pengusaha di kawasan industri di timur Jakarta seperti Karawang, Cikampek, Cikarang juga Bekasi .

Ketua Asosiasi Kawasan Industri Sanny Iskandar menuturkan, gagasan ini sangat baik. Selain sejalan dengan program Presiden Joko Widodo (Jokowi) mengenai tol laut, sistem transportasi ini juga bisa mempercepat peredaran barang dari pabrik-pabrik di kawasan industri sekitar Bekasi-Cikarang-Karawang ke Pelabuhan Tanjung Priok.

"Kalau bisa direalisasikan itu bagus banget. Karena sejauh ini kita lewat darat dan itu sangat terbatas," tutur Sanny kepada detikFinance, Jumat (6/2/2015).

Ia menuturkan, selama ini, arus barang dan truk-truk kontainer yang menuju atau dari Pelabuhan Tanjung Priok mau tidak mau hanya mengandalkan jalur darat, yaitu jalan tol. Kapasitas jalan yang terbatas dibandingkan dengan jumlah kendaraan membuat alur logistik menjadi terhambat.

"Kalau itu direalisasikan. Praktis itu bebas hambatan, mengurangi kepadatan daripada kendaraan yang melalui jalan umum. Jalan yang sekarang digunakan untuk sarana logistik sangat tidak memadai, bercampur dengan kendaraan yang lain," paparnya.

Sanny menyebutkan, bila kontainer melalui sungai dengan sistem waterway, maka risiko kecelakaan di jalur darat pun bisa dihindarkan. "Belum lagi misalkan ada risiko kendaraan, seperti kecelakaan atau demo," jelasnya.

Seperti diketahui, Pelindo II menggagas sistem pengangkutan kontainer berbasis jalur sungai (inland access waterway) sepanjang 40 km dari kawasan Tanjung Priok ke Kawasan Industri Cikarang.

Kemarin, Direktur Utama Pelindo II, RJ Lino, bersama dengan Menteri BUMN Rini Soemarno menemui Presiden Joko Widodo (Jokowi). Mereka membicarakan rencana proyek angkutan kontainer lewat sungai.

(zul/hen)

BIODATA PENULIS



MUHAMMAD RIZAL ARSYAD JAELANI, dilahirkan di Bandung pada 29 Oktober 1995. Penulis merupakan anak ke-1 dari 3 bersaudara dalam keluarga. Dibesarkan di Bandung hingga menamatkan pendidikan formal tingkat SD, kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Purwakarta dan SMAN 1 Purwakarta sebelum selanjutnya melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tertulis. Sejak SMA, Penulis sangat gemar untuk mengikuti kepanitiaan dalam sebuah event, baik event formal maupun informal. Selain itu, Penulis juga gemar untuk mengikuti organisasi yang berorientasi dalam bidang aktivitas sosial, tercatat dari tahun 2012 hingga saat ini, Penulis ikut aktif di dalam sebuah organisasi aktivitas sosial di Kabupaten Purwakarta.

Di Jurusan Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis banyak aktif berkegiatan di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) dan juga berbagai event baik pada tingkat jurusan maupun Institut. Untuk kepanitiaan dalam acara jurusan antara lain menjadi anggota panitia SAMPAN 7 ITS pada tahun 2013, tim dana pusat SAMPAN 8 ITS pada tahun 2014, dan *Project Officer* SAMPAN 9 ITS di tahun 2015. Sedangkan, pada tingkat institut berkesempatan menjadi tim konsep kreatif ITS EXPO 2013. Selain itu, Penulis juga memiliki kesempatan untuk mengikuti beberapa pelatihan, baik pelatihan pembentukan *soft skill* seperti LKMM Pra-TD dan LKMM TD, maupun pelatihan yang menunjang kebutuhan akademis selama perkuliahan, seperti pelatihan perangkat lunak AutoCAD, Maxsurf, dan ANSYS.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk matakuliah Menggambar Teknik (MN091212).

E : muhammadrarsyad@gmail.com / rizal.arsyad@hotmail.co.id

M : +62 813 1695 1995

BIODATA PENULIS



MUHAMMAD RIZAL ARSYAD JAELANI, dilahirkan di Bandung pada 29 Oktober 1995. Penulis merupakan anak ke-1 dari 3 bersaudara dalam keluarga. Dibesarkan di Bandung hingga menamatkan pendidikan formal tingkat SD, kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Purwakarta dan SMAN 1 Purwakarta sebelum selanjutnya melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tertulis. Sejak SMA, Penulis sangat gemar untuk mengikuti kepanitiaan dalam sebuah event, baik event formal maupun informal. Selain itu, Penulis juga gemar untuk mengikuti organisasi yang berorientasi dalam bidang aktivitas sosial, tercatat dari tahun 2012 hingga saat ini, Penulis ikut aktif di dalam sebuah organisasi aktivitas sosial di Kabupaten Purwakarta.

Di Jurusan Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis banyak aktif berkegiatan di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) dan juga berbagai event baik pada tingkat jurusan maupun Institut. Untuk kepanitiaan dalam acara jurusan antara lain menjadi anggota panitia SAMPAN 7 ITS pada tahun 2013, tim dana pusat SAMPAN 8 ITS pada tahun 2014, dan *Project Officer* SAMPAN 9 ITS di tahun 2015. Sedangkan, pada tingkat institut berkesempatan menjadi tim konsep kreatif ITS EXPO 2013. Selain itu, Penulis juga memiliki kesempatan untuk mengikuti beberapa pelatihan, baik pelatihan pembentukan *soft skill* seperti LKMM Pra-TD dan LKMM TD, maupun pelatihan yang menunjang kebutuhan akademis selama perkuliahan, seperti pelatihan perangkat lunak AutoCAD, Maxsurf, dan ANSYS.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk matakuliah Menggambar Teknik (MN091212).

E : muhammadrarsyad@gmail.com / rizal.arsyad@hotmail.co.id

M : +62 813 1695 1995