



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DESAIN KAPAL KERUK UNTUK MENGATASI
SEDIMENTASI DI PERAIRAN WADUK GAJAH MUNGKUR
WONOGIRI**

**Matias Adi Wiranata
NRP 0411114000032**

**Dosen Pembimbing
Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DESAIN KAPAL KERUK UNTUK MENGATASI
SEDIMENTASI DI PERAIRAN WADUK GAJAH MUNGKUR
WONOGIRI**

**Matias Adi Wiranata
NRP 0411114000032**

**Dosen Pembimbing
Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

**DESIGN OF FLOATING DREDGER TO RESOLVE
SEDIMENTATION PROBLEM IN GAJAH MUNGKUR
WONOGIRI RESERVOIR**

**Matias Adi Wiranata
NRP 0411114000032**

**Supervisor
Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.**

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

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KAPAL KERUK UNTUK MENGATASI SEDIMENTASI DI PERAIRAN WADUK GAJAH MUNGKUR WONOGIRI

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

MATIAS ADI WIRANATA
NRP 0411114000032

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.
NIP 197610292002121003

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, 18 JULI 2019

LEMBAR REVISI

DESAIN KAPAL KERUK UNTUK MENGATASI SEDIMENTASI DI PERAIRAN WADUK GAJAH MUNGKUR WONOGIRI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 04 Juli 2019

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

Oleh:

MATIAS ADI WIRANATA
NRP 04111140000032

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

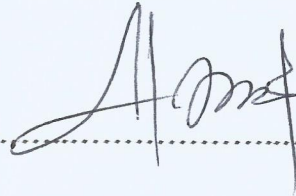
1. Mohammad Sholikhhan Arif, S.T., M.T.



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

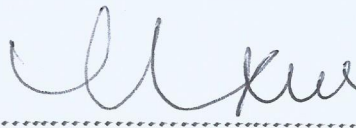


3. Danu Utama, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.



SURABAYA, 18 JULI 2019

Dipersembahkan khusus untuk Bapak, Ibu dan Mami di surga, juga untuk Saudaraku Mas Sabto, Sara, Elia, Widi, Yuda dan Hasian atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

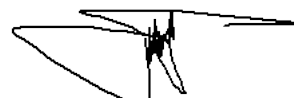
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan ilmu, serta senantiasa memberikan arahan dan masukan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini;
2. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T. selaku Dosen Wali selama menjalani masa perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan ITS;
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Hasanudin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Keluarga Penulis, Bapak, Ibu, Mas Sabto, dan Adekku tercinta Gracia Sara, Elia, Widi, Yuda, dan Hasian yang selalu memberikan doa dan dukungan serta motivasi bagi Penulis;
6. Bapak Rahmat dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, yang telah berkenan memberikan data teknis Waduk Gajah Mungkur;
7. Keluarga besar HIMATEKPAL, yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan;
8. Saudara-saudari P-51 (CENTERLINE), teman seperjuangan;
9. Dan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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

Surabaya, 18 Juli 2019



Matias Adi Wiranata

DESAIN KAPAL KERUK UNTUK MENGATASI SEDIMENTASI DI PERAIRAN WADUK GAJAH MUNGKUR

Nama Mahasiswa : Matias Adi Wiranata
NRP : 0411114000032
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.

ABSTRAK

Waduk Gajah Mungkur terletak di kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Waduk Gajah Mungkur dibangun sebagai pengendalian banjir (*flood control*) sungai Bengawan Solo. Waduk yang dibangun pada tahun 1982 ini direncanakan memiliki nilai guna sampai 100 tahun. Namun, sedimentasi yang terjadi menyebabkan efektifitas waduk menurun. Hal ini dapat menimbulkan kerugian. Akibat menurunnya efektifitas waduk gajah mungkur dapat menimbulkan potensi terjadinya banjir sepanjang daerah aliran sungai. Berkurangnya pasokan irigasi pertanian. Dan juga kerugian ekonomi lain yang dapat ditimbulkan. Permasalahan selanjutnya yang ditemukan di lapangan adalah adanya kekurangan dari kinerja kapal keruk yang telah beroperasi. Di Waduk Gajah Mungkur saat ini terdapat Kapal Keruk dengan kapasitas kedalaman 6 m; 8 m; dan 10 m, dimana ketika terjadi tinggi muka air maksimum kapal tersebut tidak dapat melakukan pengerukan. Dalam penelitian ini akan dilakukan penentuan jenis kapal keruk yang sesuai, penentuan ukuran utama kapal, mendapatkan rencana garis, rencana umum dan model 3 Dimensi. Metode yang digunakan untuk menentukan jenis kapal keruk adalah melakukan perbandingan kualitatif berdasarkan kondisi lapangan yang ada, jenis sedimen, jenis kapal keruk yang beroperasi dan skema pengerukan. Untuk menentukan ukuran utama menggunakan metode *parent ship design*. Berdasarkan karakteristik sedimen, kondisi lapangan yang ada dan juga tingkat keakurasian pengerukan maka penentuan jenis kapal keruk yang sesuai adalah *Cutter Suction Dredger* dengan kapasitas 500 m³/jam dan kemampuan pengerukan 15 m. Dari hasil analisis teknis, didapatkan ukuran utama kapal antara lain $L_{OA} = 30.5$ m, $L_{pp} = 21.0$ m, $B = 9.20$ m, $H = 1.40$ m, dan $T = 0.95$ m.

Kata kunci: Waduk Gajah Mungkur, *Cutter Suction Dredger*, *Dredging*.

DESIGN OF FLOATING DREDGER TO RESOLVE SEDIMENTATION PROBLEM IN GAJAH MUNGKUR RESERVOIR

Author : Matias Adi Wiranata
ID No. : 0411114000032
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering /
Marine Technology
Supervisors : Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.

ABSTRACT

Gajah Mungkur Reservoir is located in Wonogiri district, Central Java Province. Gajah Mungkur Reservoir was built as a flood control of the Bengawan Solo River. The reservoir that was built in 1982 is planned to have a useful value up to 100 years. However, the sedimentation that occurs causes the effectiveness of the reservoir to decrease. This can cause losses. As a result of the decreasing effectiveness of the Gajah Mungkur reservoir, it can cause potential flooding along the watershed. Reduced supply of agricultural irrigation. And also other economic losses that can be caused. The next problem found in the field is the lack of performance of the operating dredgers. At Gajah Mungkur Reservoir there is currently a Dredger with a depth of 6 m; 8 m; and 10 m, when the maximum water level occurs, the vessel cannot do dredging. In this study the determination of the type of dredger will be carried out accordingly, determining the main size of the ship, obtaining a line plan, general plan and 3-dimensional model. The method used to determine the type of dredger is to do a qualitative comparison based on existing field conditions, types of sediments, types of dredgers operating and dredging schemes. To determine the main size using the parent ship design method. Based on sediment characteristics, the existing field conditions and also the level of dredging accuracy, the determination of the appropriate type of dredger is Cutter Suction Dredger with capacity 500 m³/hour 15 m dredging capability. From the results of technical analysis, the main size of the ship is obtained, including $L_{OA} = 30.5$ m, $L_{pp} = 21.0$ m, $B = 9.20$ m, $H = 1.40$ m, and $T = 0.95$ m.

Keywords: Gajah Mungkur Reservoir, Cutter Suction Dredger, Dredging.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Waduk Gajah Mungkur	5
II.2. Gambaran Umum Pengerukan.....	6
II.2.1. Klasifikasi Pengerukan	7
II.2.2. Tujuan Pengerukan.....	7
II.2.3. Metode Pengerukan.....	8
II.2.4. Pemilihan Jenis Alat Keruk.....	8
II.2.5. Material yang Dikeruk	10
II.2.6. Volume yang Dikeruk	11
II.2.7. Lokasi Pembuangan Material.....	11
II.3. Jenis Kapal Keruk.....	12
II.3.1. Kapal Keruk Mekanis.....	12
II.3.2. Kapal Keruk Hidrolis	17
II.3.3. Kapal Keruk Mekanis – Hidrolis	19
II.4. Peralatan Bantu Pengerukan.....	22
II.5. Desain Kapal.....	23
II.5.1. Tujuan Desain Kapal	23
II.5.2. Tahapan Desain Kapal	23
II.5.3. Metode Desain Kapal	25
II.6. Tinjauan Perhitungan Teknis Desain Kapal	27
II.6.1. Rasio Ukuran Utama dan Koefisien.....	27
II.6.2. Lambung Timbul Kapal (<i>Freeboard</i>)	28
II.6.3. Stabilitas Kapal	31
Bab III METODOLOGI.....	37
III.1. Metode	37
III.2. Bahan dan Peralatan	38
III.2.1. Pengumpulan Data	38

III.2.2. Analisis dan Pengolahan Data	38
III.2.3. Penentuan Jenis Kapal Keruk, Ukuran Utama Awal, Perhitungan Teknis.....	38
III.2.4. Desain Rencana Garis (<i>Lines Plan</i>).....	39
III.2.5. Desain Rencana Umum (<i>Rencana Umum</i>) dan 3D Model.....	39
III.2.6. Kesimpulan dan Saran	39
Bab IV ANALISIS TEKNIS.....	41
IV.1. Sedimentasi dan Skenario Pengerukan	41
IV.2. Analisis Perhitungan Kapasitas Keruk dan Ukuran Utama Awal.....	42
IV.3. Perhitungan Berat Kapal	47
IV.4. Perhitungan Lambung Timbul (<i>Freeboard</i>).....	48
IV.5. Stabilitas	49
IV.6. Permodelan Kapal	52
IV.7. Pembuatan Rencana Garis Awal	53
IV.8. Perhitungan Hidrostatik Kapal	53
IV.9. Desain Rencana Umum (<i>General Arrangement</i>)	54
IV.10. Desain Model 3D Kapal	55
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	57
V.1. Kesimpulan.....	57
V.2. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
DAFTAR LAMPIRAN	
LAMPIRAN A RENCANA GARIS	
LAMPIRAN B RENCANA UMUM	
LAMPIRAN C 3D MODEL	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN TEKNIS	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. Karakteristik Waduk	5
Gambar II. 2. <i>Soil Texture Triangle</i>	11
Gambar II. 3. <i>Grab/Clamshell Dredger</i>	14
Gambar II. 4. <i>Backhoe Dredger</i>	14
Gambar II. 5. <i>Dipper Dredger</i>	15
Gambar II. 6. <i>Bucket Dredger</i>	16
Gambar II. 7. <i>Dustpan Dredger</i>	18
Gambar II. 8. <i>Plain Suction Dredger</i>	18
Gambar II. 9. <i>Water Injection Dredger</i>	19
Gambar II. 10. <i>Bucket Wheel Dredger</i>	20
Gambar II. 11. <i>Cutter Suction Dredger</i>	21
Gambar II. 12. <i>Trailing Suction Hopper Dredger</i>	22
Gambar II. 13. <i>Design Spiral</i>	23
Gambar II. 14 Macam Keseimbangan	32
Gambar II. 15 Ilustrasi Stabilitas Kapal	32
Gambar III. 1. Diagram Alir	37
Gambar IV. 1 Kurva Penurunan Kapasitas Pompa	45
Gambar IV. 2 Model Kapal	52
Gambar IV. 3 Rencana Garis	53
Gambar IV. 4 Kurva Hidrostatik	53
Gambar IV. 5 Rencana Umum Kapal	54
Gambar IV. 6 3D Model Kapal	55

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Karakteristik kemampuan keruk	9
Tabel II. 2. Ukuran Partikel Material	10
Tabel II. 3. Harga Koreksi F5 untuk Kapal Tipe B.....	30
Tabel IV. 1. Sumber Sedimentasi WGM	41
Tabel IV. 2 Data Kapasitas Tampungan dan Laju Sedimentasi WGM	42
Tabel IV. 3 Kapal Keruk yang beroperasi di WGM	43
Tabel IV. 4 Komposisi Sedimen WGM.....	44
Tabel IV. 5 Pemilihan Tipe Kapal Keruk	46
Tabel IV. 6 <i>Basic Minimum Operational Requirement</i>	46
Tabel IV. 7 <i>Main Dimension Cutter Suction Dredger</i>	47
Tabel IV. 8 Tabel Perhitungan LWT	47
Tabel IV. 9 Rekapitulasi Perhitungan <i>Freeboard</i>	49
Tabel IV. 10 Rekapitulasi <i>Freeboard Actual</i> dan <i>Freeboard Minimum</i>	49
Tabel IV. 11 Rekapitulasi Stabilitas Kapal.....	52

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Waduk Gajah Mungkur adalah sebuah waduk yang terletak 6 km di selatan Kota kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Waduk Gajah Mungkur dibangun sebagai pengendalian banjir (*flood control*) sungai Bengawan Solo, dari 4000 m³/detik menjadi 400 m³/detik, sesuai kapasitas maksimum alur sungai di hilir bendungan. Selain itu Waduk Gajah Mungkur bisa mengairi sawah seluas 30.000 ha di daerah Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Klaten, Kabupaten Karanganyar dan Kabupaten Sragen. Selain untuk memasok air minum Kota Wonogiri dan sekitarnya juga menghasilkan listrik dari PLTA sebesar 12,4 MegaWatt. Waduk Gajah Mungkur juga merupakan tempat rekreasi. Waduk yang dibangun pada tahun 1982 ini direncanakan memiliki nilai guna sampai 100 tahun. Namun, sedimentasi yang terjadi menyebabkan umur waduk ini diperkirakan tidak akan lama. Perum Jasa Tirta Bengawan Solo kewalahan untuk melakukan perawatan terhadap Waduk Gajah Mungkur yang menjadi tugasnya. Diperkirakan total sedimentasi yang terjadi di waduk gajah mungkur telah mencapai 6 juta meter kubik. (Wikipedia, 2019)

Pada awalnya, laju sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur direncanakan sebesar 1,2 m³/tahun. Pada kenyataannya, hasil pengukuran oleh beberapa instansi terkait mulai tahun 1983 sampai 1993 menunjukkan bahwa laju sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur lebih besar dari yang direncanakan. Sampai tahun 2011, kurang lebih 28 tahun sesudahnya, akumulasi volume sedimentasi yang masuk ke Waduk Gajah Mungkur telah melampaui dari jumlah yang diperkirakan, sehingga volume tampungan efektif waduk telah berkurang menjadi 69.89% dibandingkan volume yang direncanakan sebesar 440 juta m³. (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007)

Hal ini dapat menimbulkan kerugian. Dengan menurunnya efektifitas waduk gajah mungkur akan menimbulkan potensi terjadinya banjir sepanjang daerah aliran sungai. Ancaman gagal panen akibat berkurangnya pasokan air irigasi. Dan juga kerugian ekonomi lain yang dapat ditimbulkan. Permasalahan selanjutnya yang ditemukan di lapangan adalah adanya kekurangan kinerja kapal keruk yang telah beroperasi. Di Waduk Gajah Mungkur saat ini terdapat Kapal Keruk dengan kapasitas 6 m; 8 m; dan 10 m, dimana ketika terjadi tinggi muka

air maksimum kapal tersebut tidak dapat melakukan pengerukan. Melihat permasalahan yang ada, perlu dilakukan upaya untuk menangani masalah sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur. Oleh karena itu penelitian tugas akhir ini berusaha untuk memberikan desain kapal keruk atau dredger untuk mengatasi masalah sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur.

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 Kapal Keruk atau *Dredger* yang cocok untuk pengerukan di Waduk Gajah Mungkur?
2. Bagaimana memperoleh ukuran utama dan kapasitas pompa *Dredger Vessel* untuk Waduk Gajah Mungkur ?
3. Bagaimana memperoleh Rencana Garis, *General Arrangement* dan 3D model *Dredger Vessel*?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jenis Kapal Keruk atau *Dredger* yang cocok untuk pengerukan di Waduk Gajah Mungkur.
2. Memperoleh ukuran utama dan kapasitas pompa *Dredger Vessel* untuk operasi di wilayah Waduk Gajah Mungkur.
3. Memperoleh Rencana Garis, *General Arrangement* dan 3D model *Dredger Vessel*.

I.4. Batasan Masalah

Untuk kelancaran penelitian tugas akhir ini maka diperlukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Lingkup desain ini terbatas pada tahap konsep desain dengan hasil desain berupa *General Arrangement, Lines Plan, 3D Modeling*.
2. Perhitungan konstruksi dan kekuatan memanjang tidak diperhitungkan dalam perhitungan teknis.
3. Penentuan besarnya *Lightweight* dihitung berdasarkan pendekatan.

I.5. Manfaat

Melalui penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan.
2. Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan dan desain Kapal Keruk atau *Dredger* yang optimal untuk pengerukan di Waduk Gajah Mungkur.

I.6. Hipotesis

Desain dari kapal keruk *Cutter Suction Dredger* kapasitas 500 m³/jam material sedimen dengan jangkauan pengerukan 15 meter mampu menjadi referensi pengembangan desain kapal keruk yang dapat diimplementasikan untuk menangani sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur.

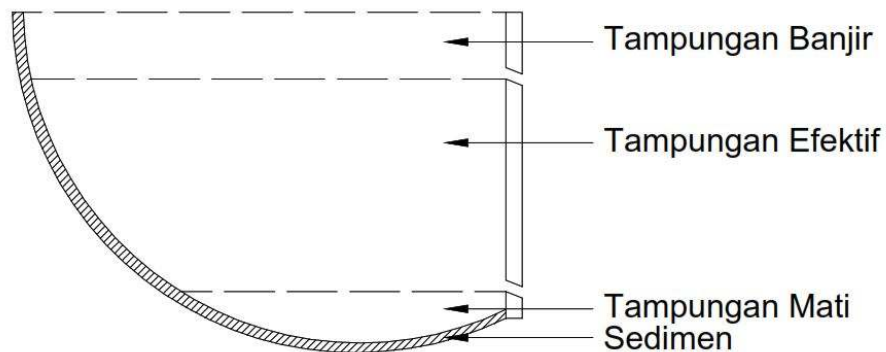
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Waduk Gajah Mungkur

Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya bertujuan untuk meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, konservasi air, pengendalian daya rusak air, dan fungsi pengamanan tampungan limbah tambang (*tailing*) atau tampungan lumpur. Bendungan dan waduk dapat dimanfaatkan antara lain sebagai irigasi, PLTA, dan penyedia air baku. (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007)

Karakteristik waduk diantaranya adalah data fisik waduk, data outlet dari waduk, data elevasi maksimum pengoperasian, data tampungan mati dan tampungan efektif dan data hubungan antara elevasiluas dan volume dari waduk. Volume mati bersama-sama dengan volume hidup, tinggi muka air minimum, tinggi mercu pelimpah, dan tinggi muka air maksimum merupakan bagian-bagian pokok karakter fisik suatu waduk yang akan membentuk zona-zona volume suatu waduk waduk seperti yang terlihat pada Gambar II. 1. berikut:



Gambar II. 1. Karakteristik Waduk

Usia guna waduk adalah masa manfaat waduk dalam menjalankan fungsinya, sampai terisi penuh oleh sedimen kapasitas tampungan matinya. Ada dua cara untuk memprediksikan usia guna waduk, yaitu:

1. Perkiraan usia guna berdasarkan kapasitas tampungan mati (*dead storage*)
2. Perkiraan usia guna berdasarkan besarnya distribusi sedimen yang mengendap di tampungan dengan menggunakan *The Empirical Area Reduction Method*

Waduk Gajah Mungkur dibangun mulai tahun 1975 dan selesai pembangunannya pada tahun 1981. Daerah tangkapan air (DTA) WGM terletak pada $7^{\circ}32'$ LS – $8^{\circ}15'$ LS dan $110^{\circ}04'$ BT - $110^{\circ}18'$ BT. Secara administratif, Waduk Gajah Mungkur sebagian besar berada di wilayah Kabupaten Wonogiri, Propinsi Jawa Tengah, dan sebagian kecil lainnya berada di wilayah Kabupaten Pacitan, Propinsi Jawa Timur. Seluruhnya terdiri atas 24 Kecamatan dan 224 Desa/Kelurahan, dengan total luas 135.000 ha, 126.064 ha berupa lahan dan sisanya berupa genangan. Daerah tangkapan air WGM Wonogiri terdiri atas 7 SubDAS, yaitu: SubDAS Wuryantoro, Unggahan, Alang, Solo Hulu, Temon, Wiroko dan Keduang. Waduk Gajah Mungkur memiliki luas tangkapan air (*catchment area*) sekitar 1.350 km², Waduk Gajah Mungkur mampu mengendalikan banjir dari 4000 m³/detik menjadi 400 m³/detik. Luasan ini dapat mengamankan seluruh area di sekitar aliran Bengawan Solo mulai Wonogiri, Ngawi sampai ke wilayah hilir di Gresik dari bencana banjir. Tujuan dibangunnya Waduk Gajah Mungkur adalah untuk pengendalian banjir sungai Bengawan Solo, menyediakan air irigasi seluas 30.000 ha untuk Kabupaten Sukoharjo, Klaten, Karanganyar, Sragen dan Ngawi, juga untuk pembangkit listrik tenaga air. Waduk Gajah Mungkur sangat besar manfaatnya sebagai sarana pendukung dalam upaya peningkatan kesejahteraan masyarakat di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo dan pendapatan daerah khususnya di Kabupaten Wonogiri. (Wikipedia, 2019)

Pada awalnya, laju sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur direncanakan sebesar 1,2 m³/tahun. Pada kenyataannya, hasil pengukuran oleh beberapa instansi terkait mulai tahun 1983 sampai 1993 menunjukkan bahwa laju sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur lebih besar dari yang direncanakan. Sampai tahun 2011, kurang lebih 28 tahun sesudahnya, akumulasi volume sedimentasi yang masuk ke Waduk Gajah Mungkur telah melampaui dari jumlah yang diperkirakan, sehingga volume tampungan efektif waduk telah berkurang menjadi 69.89% dibandingkan volume yang direncanakan sebesar 440 juta m³. (Wikipedia, 2019)

II.2. 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.2.1. Klasifikasi Pengerukan

Sesuai dengan yang di jelaskan oleh Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, maka pengerukan dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

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.2.2. Tujuan Pengerukan

Terdapat beberapa tujuan dari pengerukan seperti di jelaskan sebagai berikut:

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.2.3. Metode Pengerukan

Dalam proses pengerukan terdapat beberapa metode, metode tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

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.2.4. Pemilihan Jenis Alat Keruk

Dalam pemilihan jenis alat keruk terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan seperti berikut:

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.
5. Pemilihan alat keruk harus disesuaikan dengan kemampuan alat keruk sebagaimana Tabel II. 1 di bawah ini. Dimana terdapat beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan seperti kemampuan untuk dapat mengeruk material pasir, material lempung maupun bebatuan. Selain hal tersebut juga terdapat kriteria keakuratan dalam pengerukan dan kriteria yang lain seperti yang dapat terlihat.

Tabel II. 1. Karakteristik kemampuan keruk

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 <i>offshore</i>	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya
Pengakutan 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)

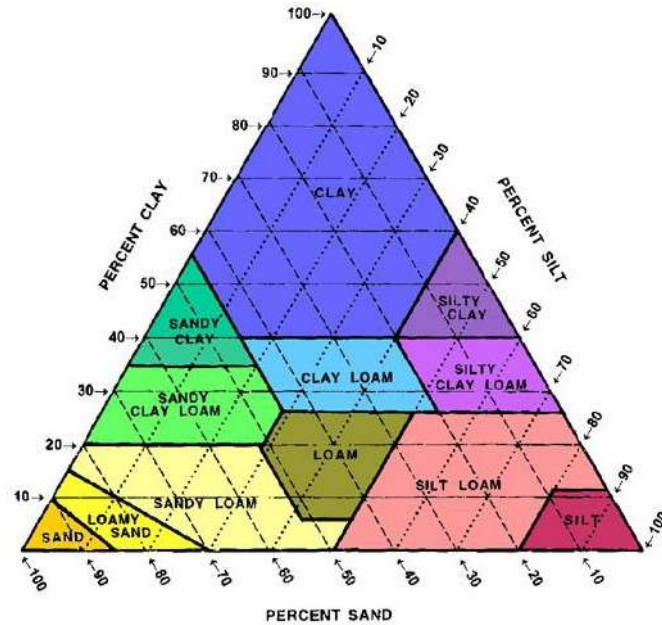
II.2.5. Material yang Dikeruk

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. 2 dimana partikel *clay* memiliki ukuran diameter kurang dari 0.002 mm, material *silt* memiliki diameter partikel antara 0.002 mm sampai dengan 0.055 mm dan berbagai material seperti yang dapat terlihat pada Tabel II. 2. Sedangkan persentase campuran material dapat dilihat pada Gambar II. 2. Dimana *clay* terdiri dari sebagian besar *clay* dan *silt* dengan komposisi *silt* maksimum adalah 40% seperti terlihat pada gambar dengan area warna biru. Begitupun dengan prosentase campuran material yang lain.

Tabel II. 2. Ukuran Partikel Material

Name	Particle Diameter (mm)
<i>Clay</i>	< 0,002
<i>Silt</i>	0,002 - 0,05
<i>Very fine sand</i>	0,05 - 0,10
<i>Fine sand</i>	0,01 - 0,25
<i>Medium sand</i>	0,25 - 0,5
<i>Coarse sand</i>	0,5 - 1,0
<i>Very coarse sand</i>	1,0 - 7,0
<i>Gravel</i>	2,0 - 75,0
<i>Rock greater</i>	> 75,0 (around 2 inch)

Sumber: (Mahendra, 2014)



Gambar II. 2. Soil Texture Triangle
(United States Department of Agriculture (USDA), 2016)

II.2.6. Volume yang Dikeruk

Seperti yang di jelaskan oleh Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan maka volume pengerukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Jumlah volume pengerukan alur pelayaran dan kolam pelabuhan dinyatakan dalam satuan meter kubik (m³) 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.2.7. Lokasi Pembuangan Material

Terdapat beberapa pertimbangan dalam menentukan lokasi pembuangan material seperti yang dijelaskan sebagai berikut:

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, kaasan 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.3. Jenis Kapal Keruk

Secara operasional kapal keruk dapat dibedakan menjadi dua, yakni kapal keruk tanpa mesin penggerak dan dengan mesin penggerak. Kapal keruk tanpa mesin penggerak berpindah 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.

Kapal keruk dengan mesin penggerak memiliki mesin penggerak sendiri yang terpisah dengan mesin pengeruknya. Secara teknis, peralatan pengerukan pada dasarnya dapat dibagi menjadi 3 tipe, yaitu:

II.3.1. Kapal Keruk Mekanis

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

II.3.1.1. *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. 3 dimana terdapat *grab* yang digerakkan dengan *crane* yang berfungsi untuk mengangkat dan menurunkan *grab*.

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.

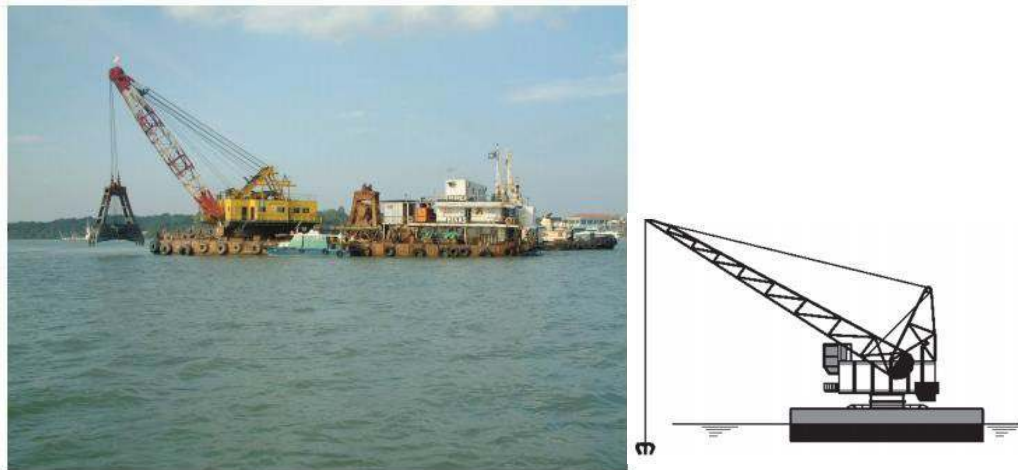
Tipe *grab* dapat dibedakan menjadi:

- *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. 3. *Grab/Clamshell Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.1.2. *Backhoe Dredger*

Kapal keruk ini pada dasarnya adalah *pontoon* yang dipasangi 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. 4 dimana *backhoe* digunakan untuk mengeruk berbagai macam material seperti pasir, tanah liat, kerikil maupun batu.

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)



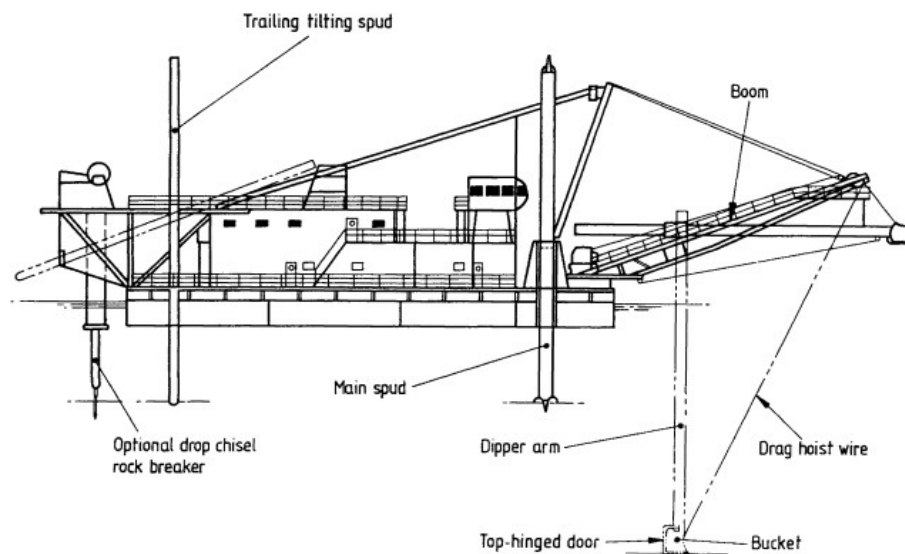
Gambar II. 4. *Backhoe Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.1.3. *Dipper Dredger*

Kapal keruk *dipper* ini seperti sekop yang bertenaga, kadang-kadang sekop dilengkapi dengan mata penembus batu. Contoh *Dipper Dredger* dapat dilihat pada Gambar II. 5. 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.

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. 5. *Dipper Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.1.4. *Bucket Dredger*

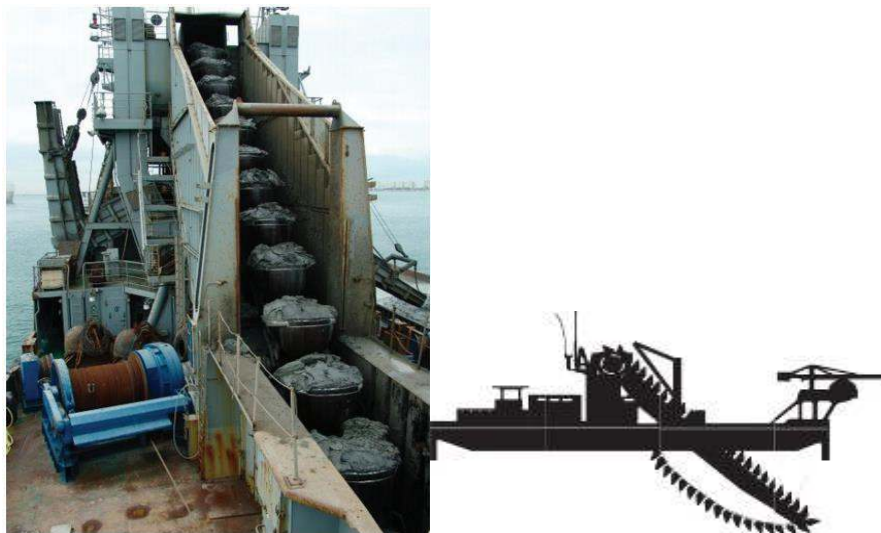
Kapal keruk ini menggunakan timba yang disusun pada rangkaian rantai ban yang berputar dimana padanya dilekatkan timba-timba pengeruk. Contoh *Bucket Dredger* dapat dilihat pada Gambar II. 6. Pengerukan dengan kapal keruk ini biasanya dilakukan pada kolam pelabuhan atau pada kanal, dan juga digunakan 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).

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).



Gambar II. 6. *Bucket Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.2. 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.3.2.1 *Dustan 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.

Contoh *Dustpan Dredger* dapat dilihat pada Gambar II. 7. 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.

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. 7. *Dustpan Dredger*
(Dredge Point, 2016)

II.3.2.2 *Plain Suction Dredger*

Plain suction dredger adalah kapal hisap keruk stasioner (diam) dan terdiri dari beberapa *pontoon* yang disatukan dan dilakukan pengikatan. Contoh *Plain Suction Dredger* dapat dilihat pada Gambar II. 8. 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.



Gambar II. 8. *Plain Suction Dredger*
(W.J. Vlasblom, 2003)

II.3.2.3 *Water Injection dredger*

Kapal keruk yang memindahkan materialnya dengan menggunakan *water jet* yang menyemburkan 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 $1,3 \text{ ton/m}^3$, 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. 9.



Gambar II. 9. *Water Injection Dredger*
(Shoft Shipyard Dredging, 2016)

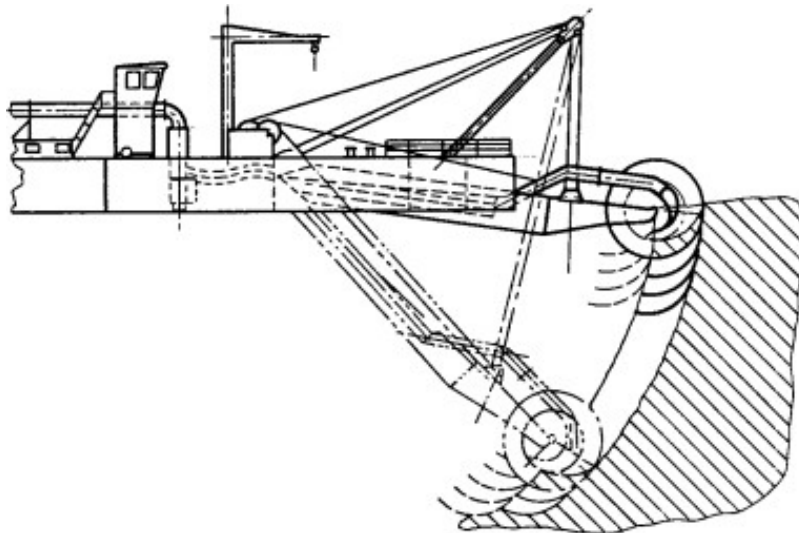
II.3.3. Kapal Keruk Mekanis – Hidrolis

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.3.3.1 *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. 10.



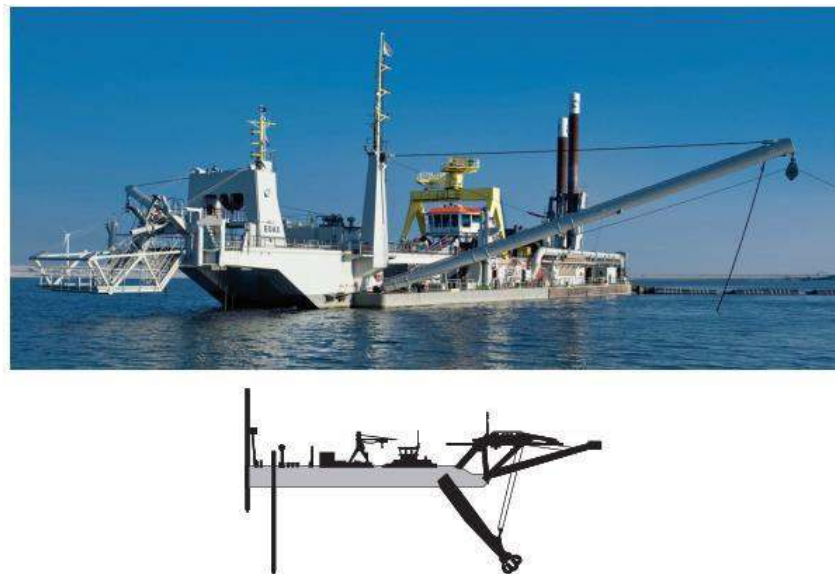
Gambar II. 10. *Bucket Wheel Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.3.2 *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, 2019). Contoh *Cutter Suction Dredger* dapat dilihat pada Gambar II. 11.



Gambar II. 11. *Cutter Suction Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2015)

II.3.3.3 *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. 12.

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. 12. *Trailing Suction Hopper Dredger*
(Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 2006)

II.4. 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:

- a. *Split barge* dengan mesin penggerak sendiri (*Self Propelled*)
- b. *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.5. Desain Kapal

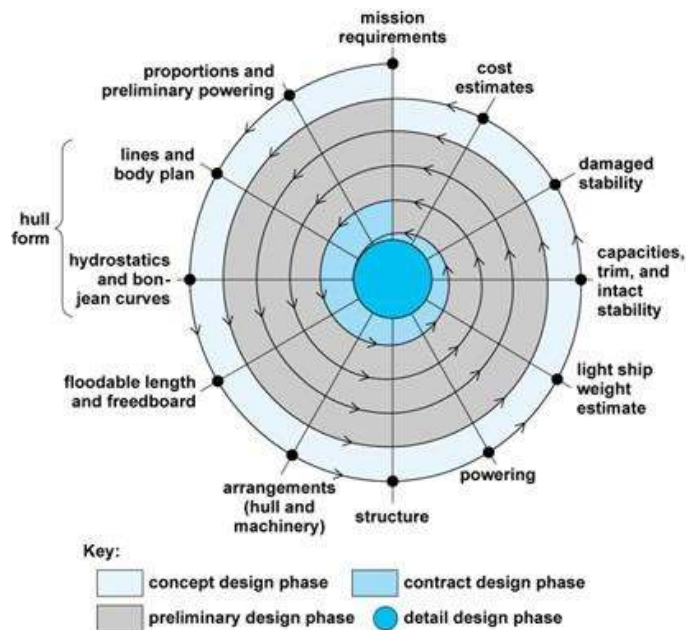
II.5.1. Tujuan Desain Kapal

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.5.2. Tahapan Desain Kapal



Gambar II. 13. *Design Spiral*
(Access Science, 2019)

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar II. 13, 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.5.3. 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. (Jaelani, 2016)

II.6. Tinjauan Perhitungan Teknis Desain Kapal

II.6.1. Rasio Ukuran Utama dan Koefisien

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

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

Rasio perbandingan antara panjang dan lebar kapal. Rasio ini dapat berpengaruh terhadap hambatan kapal dan kemampuan olah gerak kapal. Batasan rasio yang dianjurkan adalah

$$3,9 < L/B < 15. \quad (\text{II.1})$$

- *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

$$1,8 < B/T < 5. \quad (\text{II.2})$$

- *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

$$10 < L/T < 30. \quad (\text{II.3})$$

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):

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (\text{II.4})$$

2. *Block Coefficient* (C_B)

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

$$C_B = -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1Fn + 46.6 Fn^3 \quad (\text{II.5})$$

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* (C_M)

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

$$C_M = 1.006 - 0.0056C_B - 3.56 \quad (\text{II.6})$$

4. *Prismatic Coefficient* (C_P)

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

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} \quad (\text{II.7})$$

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):

$$C_{WP} = 0.262 + 0.760C_P \quad (\text{II.8})$$

II.6.2. 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 1966 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:

$$F_2 = 7.5 (100 - L)(0.35 - E/L) \quad (\text{mm}) \quad (\text{II.9})$$

atau,

$$F_2 = 0.09 (328 - L)(0.35 - E/L) \quad (\text{inches}) \quad (\text{II.10})$$

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:

$$F_3 = (C_B + 0.68)/1.36 \quad (\text{mm}) \quad (\text{II.11})$$

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

$$F_4 = (D - L/15) R \quad (\text{mm}) \quad (\text{II.12})$$

Dimana:

$$R = L/0.48 \quad \text{untuk kapal dengan } L < 120 \text{ m} \quad (\text{II.13})$$

$$R = 250 \quad \text{untuk kapal dengan } L > 120 \text{ m} \quad (\text{II.14})$$

5. Koreksi pengurangan tinggi *freeboard* dapat dilakukan berdasarkan fungsi panjang efektif *superstructure* (F_5) dengan ketentuan pada Tabel II. 3:

Tabel II. 3. 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:

$$F_{Dredging} = F_1 - \frac{2}{3} * F_1 \quad (II.15)$$

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:

$$BH_{min. Dredging} = BH_{min} - F_{Dredging} \text{ (mm)} \quad (II.16)$$

Dimana:

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

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

II.6.3. Stabilitas Kapal

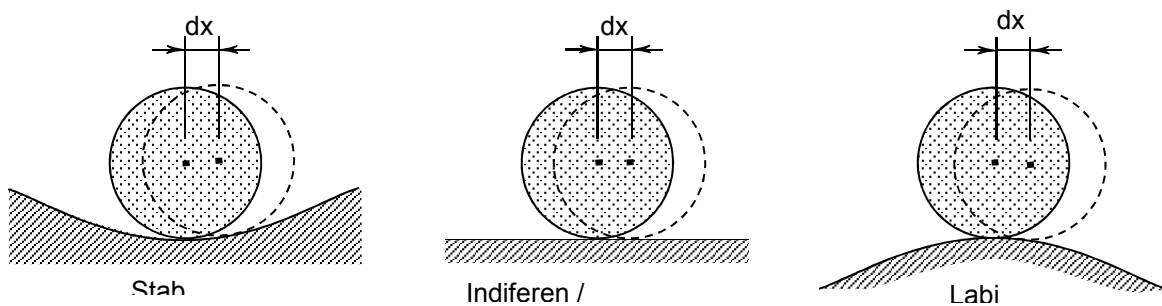
Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali kepada kedudukan keseimbangan dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain:

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.

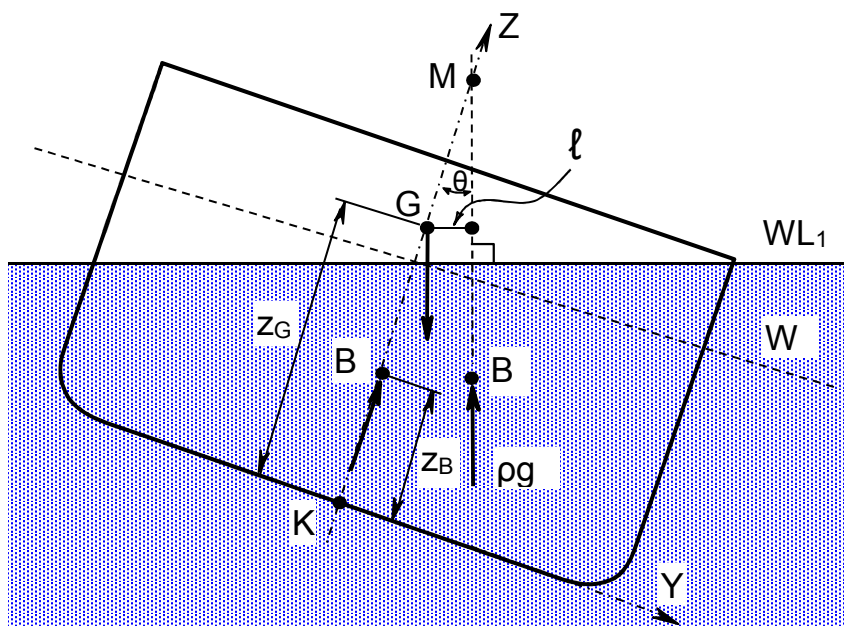
Suatu benda dikatakan dalam keadaan seimbang jika jumlah gaya yang bekerja pada benda dan jumlah momen (yang bekerja pada benda) terhadap suatu titik sama dengan nol.

Jika benda yang dalam keadaan seimbang tadi mendapat gangguan kecil sesaat dari luar, maka terdapat 3 kemungkinan seperti yang terlihat pada Gambar II. 14.

- Keseimbangan disebut **stabil** jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda bergerak kembali ke kedudukan semula.
- Keseimbangan disebut **indiferen** atau **netral** jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke kedudukan semula, tetapi tetap diam pada kedudukannya yang baru.
- Keseimbangan disebut **labil** jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke kedudukan semula, tetapi bergerak terus menjauhi kedudukan semula.



Gambar II. 14 Macam Keseimbangan



Gambar II. 15 Ilustrasi Stabilitas Kapal

Sebagai ilustrasi suatu kapal yang oleng kecil seperti yang terlihat pada Gambar II. 15. Letak titik metasenter M, titik berat G, titik apung B dan beberapa titik lain diberikan dalam gambar. Terlihat bahwa lengan momen penegak adalah

$$l = GZ = MG \sin \theta \quad (\text{II.17})$$

MG menunjukkan tinggi titik metasenter M di atas titik berat G dan disebut **tinggi metasenter melintang**. Ternyata besar MG menentukan besar lengan stabilitas. Dari gambar dapat dilihat bahwa tinggi metasenter sama dengan tinggi titik apung ditambah jari-jari metasenter dikurangi tinggi titik berat

$$MG = KB + BM - KG = z_B + r_T - z_G \quad (\text{II.18})$$

atau tinggi metasenter sama dengan tinggi titik M di atas lunas dikurangi tinggi titik berat

$$MG = KM - KG = z_M - z_G \quad (\text{II.19})$$

atau tinggi metasenter sama dengan jari-jari metasenter dikurangi tinggi titik berat di atas titik apung

$$MG = MB - BG = r_T - a \quad (\text{II.20})$$

dengan $a = BG = KG - KB$.

Momen penegak menjadi

$$M_r = Dl = DMG \sin \theta = D(r_T - a)\theta \quad (\text{II.21})$$

untuk θ kecil dan $D = \gamma V$.

dapat dilihat kembali ketiga kasus di atas:

Kasus 1: titik B terletak di bawah titik G, berarti

$$KB < KG \text{ atau } BG = KG - KB = z_G - z_B > 0 \quad (\text{II.22})$$

dan titik M terletak di atas titik G, berarti

$$KM > KG \quad (\text{II.23})$$

Kedua ruas dikurangi dengan KB menjadi

$$KM - KB > KG - KB \quad (\text{II.24})$$

sehingga

$$MB > BG \text{ atau } r_T > a \quad (\text{II.25})$$

Ini berarti bahwa

$$M_r = D(r_T - a)\theta > 0 \quad (\text{II.26})$$

atau arah putar M_r adalah untuk menegakkan kapal kembali atau kapal dalam keseimbangan stabil.

Kasus 2: titik B terletak di bawah titik G, berarti

$$KB < KG \text{ atau } z_B < z_G \quad (\text{II.27})$$

dan titik M terletak berimpit dengan titik G, berarti

$$KM = KG \text{ atau } z_M = z_G \quad (\text{II.28})$$

Kedua ruas dikurangi dengan KB menjadi

$$KM - KB = KG - KB \quad (\text{II.29})$$

sehingga

$$MB = BG \text{ atau } r_T = a \quad (\text{II.30})$$

Ini berarti bahwa

$$M_r = D(r_T - a)\theta = 0 \quad (\text{II.31})$$

tidak ada momen untuk menegakkan kapal kembali atau kapal dalam keseimbangan netral atau indifferen.

Kasus 3: titik B terletak di bawah titik G, berarti

$$KB < KG \text{ atau } z_B < z_G \quad (\text{II.32})$$

dan titik M terletak di bawah titik G, berarti

$$KM < KG \text{ atau } z_M < z_G \quad (\text{II.33})$$

Kedua ruas dikurangi dengan z_B menjadi

$$z_M - z_B < z_G - z_B \text{ atau } r_T < a \quad (\text{II.34})$$

Ini berarti bahwa

$$M_r = D(r_T - a)\theta < 0 \quad (\text{II.35})$$

atau arah putar M_r akan lebih mengolengkan kapal atau kapal dalam keseimbangan labil.

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 *Bureau Veritas Rules for the Classification of Steel Ships Part. B, Chapter 3, Section 2*. 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 (GMo) 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. Perhitungan *Intact Stability* Kapal Keruk dilakukan dalam 7 skenario (*loadcase*), diantaranya adalah:

1. *Loadcase 1 Lightweight ; 0% Bungker, spuds-up, , 0° Dredging Angel*

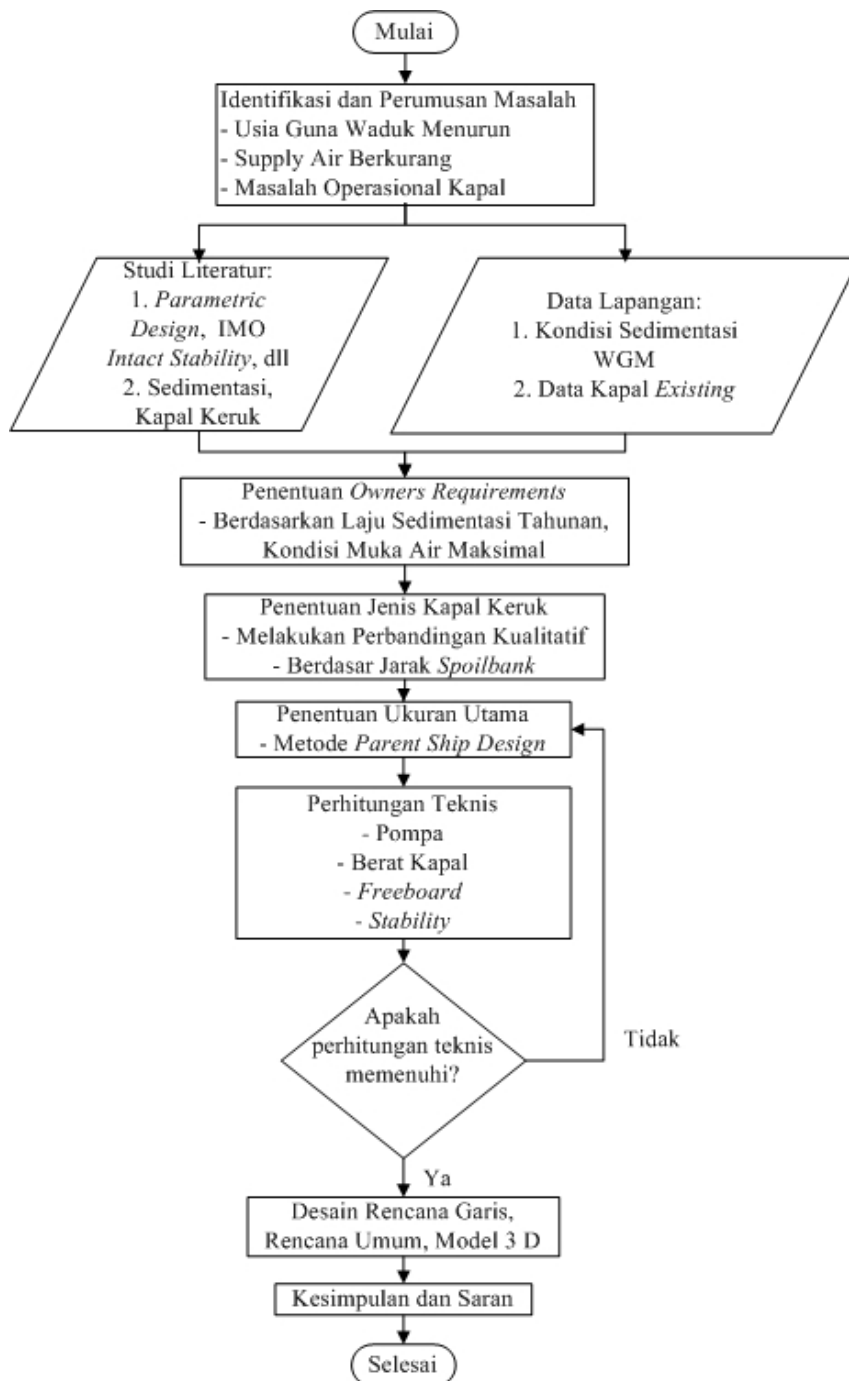
2. *Loadcase 2 Heavy Freefloating ; 100% Bungker, spuds-up, , 0° Dredging Angel*
3. *Loadcase 3 Heavy Working ; 100% Bungker, Spuds-down, 45° Dredging Angel*
4. *Loadcase 4 Mean Working ; 50% Bungker, Spuds-down, 45° Dredging Angel*
5. *Loadcase 5 Light Working ; 10% Bungker, Spuds-down, 45° Dredging Angel*
6. *Loadcase 6 Shallow Digging ; 100% Bungker, Spuds-down, 10° Dredging Angel*
7. *Loadcase 7 Maximum Digging ; 100% Bungker, Spuds-down, 90° Dredging Angel*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Metode

Tahapan metodologi penelitian digambarkan pada diagram alir seperti Gambar III. 1 di bawah ini:



Gambar III. 1. Diagram Alir

III.2. Bahan dan Peralatan

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 Waduk Gajah Mungkur Wonogiri, laju sedimentasi pada Waduk Gajah Mungkur Wonogiri dan juga kapal yang beroperasi. 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. Penentuan Jenis Kapal Keruk, Ukuran Utama Awal, Perhitungan Teknis

Metode yang digunakan untuk menentukan jenis kapal keruk adalah melakukan perbandingan kualitatif berdasarkan kondisi lapangan yang ada, jenis sedimen, jenis kapal keruk yang beroperasi dan skema pengerukan. *Dredger* merupakan kapal keruk yang sudah cukup banyak didesain dan dibangun di dunia. Oleh karena itu, *spreadsheet* penentuan ukuran utama awal dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Parent Ship Design*. Metode *Parent Ship Design* 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 *Parent Ship Design*, maka selanjutnya dilakukan pembuatan *spreadsheet* perhitungan teknis yang telah disesuaikan dengan dasar teori yang ada. *Spreadsheet* perhitungan teknis yang dibuat dan digunakan ini meliputi pompa, berat kapal, lambung timbul kapal (*freeboard*), dan stabilitas kapal.

III.2.4. 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.2.5. Desain Rencana Umum (*Rencana Umum*) dan 3D Model

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. Selanjutnya dilakukan permodelan 3 Dimensi dari kapal. Permodelan dilakukan dengan bantuan *software modelling*.

III.2.6. Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan harus mampu menjawab permasalahan yang ada dalam Tugas Akhir ini berupa jenis *dredger* yang sesuai dengan karakteristik Waduk Gajah Mungkur, ukuran utama yang didapatkan dari hasil analisa dan perhitungan, serta gambar Rencana Garis, Rencana Umum dan 3D model kapal. Sedangkan saran yang diberikan berupa masukan untuk penyempurnaan terhadap penelitian ini ke depannya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS TEKNIS

IV.1. Sedimentasi dan Skenario Pengerukan

Menurut Laporan Studi Penanganan Sedimentasi Waduk Serbaguna Wonogiri Republik Indonesia yang dilaksanakan oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air bekerjasama dengan Japan International Cooperation Agency (JICA), Produksi sedimen tahunan rata-rata ke dalam Waduk Wonogiri 3.18 juta m³ seperti disajikan pada Tabel IV. 1. Sumber erosi yang dominan erosi tanah dari permukaan lahan dengan volume 93% dari volume total, dari sumber lain hanya 7%.

Tabel IV. 1. Sumber Sedimentasi WGM

No	Sistem Sungai	Erosi Jurang	Longsor	Tebing Sungai	Tebing Jalan	Erosi Permukaan Tanah	Total (m ³)
1	Keduang	67.880	2.930	9.789	3.690	1.134.300	1.218.589
2	Tirtomoyo	90	11.730	19.760	2.480	469.700	503.760
3	Temon	30	-	11.350	600	61.000	72.980
4	Solo	220	440	11.040	1.990	591.300	604.990
5	Alang	7.330	-	66.620	730	326.600	401.280
6	Lain-lain	-	-	11.850	1.170	363.900	376.920
	Total	75.550	15.100	130.409	10.660	2.946.800	3.178.519

Dalam operasinya, *Cutter Suction Dredger* bertugas untuk melakukan pengerukan di Waduk Gajah Mungkur Wonogiri seperti yang dapat dilihat pada Bab III.3 sebelumnya. Untuk melakukan pengerukan, kapal harus benar-benar dipastikan agar dapat menjalankan operasi dengan baik. Untuk itu selain mendesain kapal secara teknis, diperlukan juga skenario-skenario agar kapal beroperasi dengan baik tanpa gangguan. Berikut penjabaran skenario selama kapal melakukan pengerukan sampai menuju ke *dumping area* (area pembuangan):

1. Kapal memulai operasi dari pintu air Waduk Gajah Mungkur, sehingga sebelum memasuki waduk, kapal melakukan proses *dredging equipments installation* (pemasangan alat-alat keruk) di area Waduk Gajah Mungkur.
2. Pengerukan di fokuskan pada daerah *spillway* pintu air waduk gajah mungkur. Di area ini pendangkalan terjadi dengan laju yang cukup tinggi. Hal ini di karenakan adanya sedimen endapan dari sungai keduang.

3. Pengerukan di bagi menjadi beberapa titik di area sekitar *spillway*, sesuai dengan pemetaan *echosounding* yang sudah di lakukan sebelumnya.
4. Dari proses pengerukan, sedimen endapan langsung di salurkan ke spoilbank yang ada melalui pipa pembuangan. Jarak antara titik pengerukan dengan lokasi spoilbank berkisar antara 1 Km sampai dengan 2 Km. oleh karena itu proses pembuangan dapat langsung dilakukan melalui pipa pembuangan. Untuk mengantisipasi titik terjauh telah disiapkan pompa tambahan atau *booster pump*.
5. Terdapat beberapa spoilbank dengan kapasitas yang bervariasi sebagai berikut
 - a. *Spoilbank Package 7* dengan kapasitas 350.000 m³
 - b. *Spoilbank 1 Package 8.A* dengan kapasitas 245.000 m³
 - c. *Spoilbank 2 Package 8.A* dengan kapasitas 490.000 m³
 - d. *Spoilbank Package 8* dengan kapasitas 2.034.000 m³

Semenjak di bangun pada tahun 1981, kondisi waduk gajah mungkur mengalami laju sedimentasi yang tinggi, seperti yang terlihat pada Tabel IV. 2. Kondisi ini tentu dapat menimbulkan kerugian baik skala kecil maupun skala besar.

Tabel IV. 2 Data Kapasitas Tampungan dan Laju Sedimentasi WGM

Zona Tampungan		Kapasitas Tampungan											
		1981	1993	2004	2005	2008	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Banjir	Vol.	220	218	218	218	165	159	157.0	154.9	152.9	150.9	148.8	146.8
	%	100%	99.1%	99.1%	99.1%	75.0%	72.3%	71.3%	70.4%	69.5%	68.6%	67.7%	66.7%
Efektif	Vol.	440	399	377	375	330	307	302.6	298.1	293.7	289.3	284.8	280.4
	%	100%	90.7%	85.7%	85.2%	75.0%	69.8%	68.8%	67.8%	66.8%	65.7%	64.7%	63.7%
Mati	Vol.	120	69	58	58	58	58	55.9	53.9	51.8	49.7	47.7	45.6
	%	100%	57.5%	48.3%	48.3%	48.3%	48.3%	46.6%	44.9%	43.2%	41.4%	39.7%	38.0%
Kotor	Vol.	560	468	435	433	388	365	358.5	352	345.5	339	332.5	326
	%	100%	83.6%	77.7%	77.3%	69.3%	65.2%	64.0%	62.9%	61.7%	60.5%	59.4%	58.2%

Keterangan:

1. Tampungan Banjir El. 135.3 - 138.3 m
2. Tampungan Efektif El. 127.0 – 136.0 m
3. Tampunan Mati El. < 127 m
4. Volume dalam satuan jutaan meter kubik

IV.2. Analisis Perhitungan Kapasitas Keruk dan Ukuran Utama Awal

Perhitungan kapasitas keruk di dasarkan pada kondisi yang ada di Waduk Gajah Mungkur Meliputi Kondisi sedimentasi yang terjadi, Jenis material sedimen yang ada, Kapal

yang sudah beroperasi dan lama waktu pengerukan. Jumlah sedimen tahunan yang terjadi di waduk gajah mungkur adalah sebesar 3.178.519 m³ seperti yang dapat terlihat di Tabel IV. 1.

$$\text{Volume Total Sedimen (V)} = 3.178.519 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Waktu pengerjaan pengerukan (t) selama setahun dihitung dengan estimasi pengerjaan dalam sehari adalah 8 jam selama 6 hari kerja dalam kurun waktu 9 bulan. Sehingga total waktu pengerukan selama setahun adalah 1728 jam.

$$\text{Waktu pengerukan (t)} = 8 \text{ jam/hari}$$

$$\text{Waktu pengerukan (t)} = 6 \text{ hari/minggu}$$

$$\text{Waktu pengerukan (t)} = 4 \text{ minggu/bulan}$$

$$\text{Waktu pengerukan (t)} = 9 \text{ bulan/tahun}$$

$$\text{Total waktu pengerukan (t)} = 8 * 6 * 4 * 9 \text{ (jam)}$$

$$\text{Total waktu pengerukan (t)} = 1.728 \text{ jam}$$

Volume sedimen yang harus dikeruk setiap jam (v) didapatkan dengan membagi volume total sedimen tahunan (V) dengan total waktu pengerukan selama setahun (t).

$$\text{Volume sedimen yang dikeruk setiap jam (v)} = 3.178.519 / 1.728 \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

$$\text{Volume sedimen yang dikeruk setiap jam (v)} = 1.839,42 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Berdasarkan Survey lapangan yang dilakukan di Waduk Gajah Mungkur terdapat 3 jenis kapal keruk tipe *Cutter Suction Dredger* yang beroperasi, kapal tersebut memiliki kapasitas pengerukan dengan kedalaman 6m, 8m dan 10 m seperti yang terlihat pada Tabel IV. 3.

Tabel IV. 3 Kapal Keruk yang beroperasi di WGM

Kapal Keruk	Kedalaman (m)	Kapasitas (m ³ /jam)	Jumlah	Volume Keruk (m ³ /jam)
Kapal 1 CSD	10	400	2	800
Kapal 2 CSD	8	240	2	480
Kapal 3 CSD	6	120	1	120
Total volume keruk kapal <i>existing</i> (m ³ /jam)				1.400

Dari hasil perhitungan volume sedimen yang harus di keruk setiap jam dengan total volume pengerukan kapal *existing* terdapat selisih sebesar:

$$\text{Selisih volume pengerukan} = 1.839,42 - 1.400 \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

Selisih volume pengerukan = 439.42 m³/jam

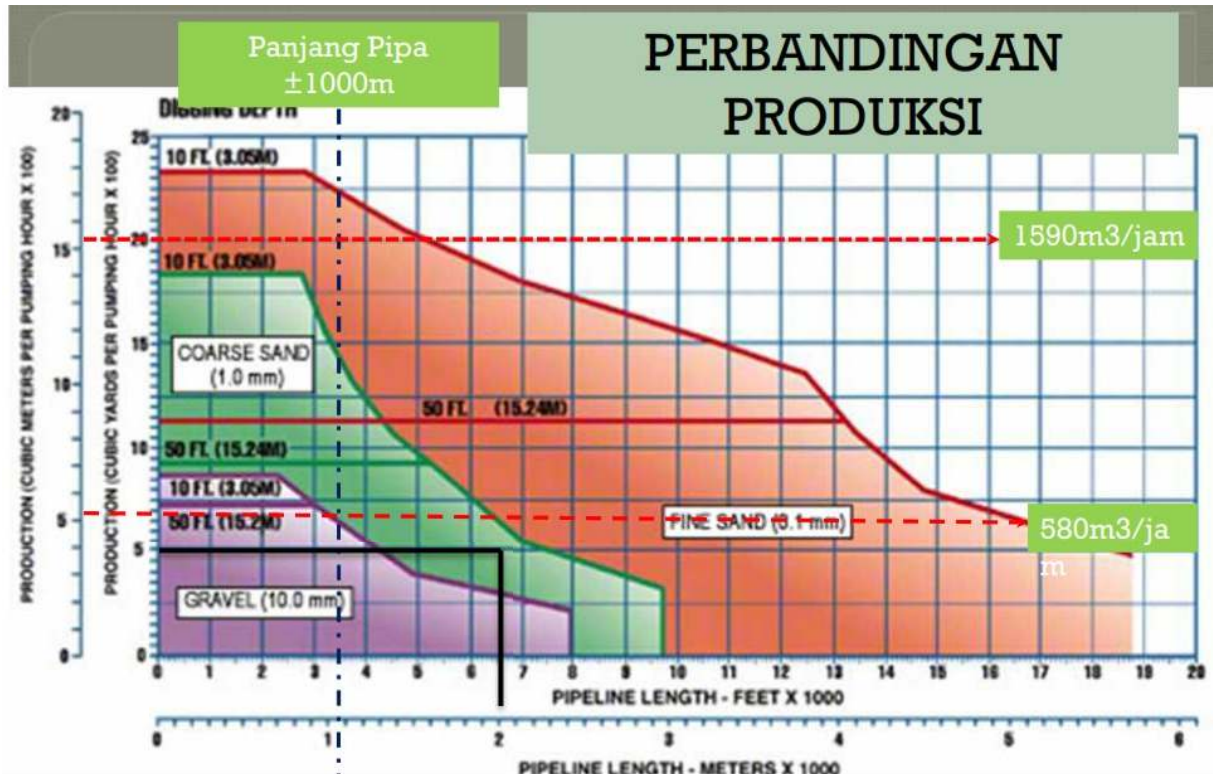
Dengan mengetahui selisih volume pengerukan sebesar 439.42 m³/jam maka di putuskan besarnya *payload* kapasitas keruk kapal desain adalah 500 m³/jam.

Berdasarkan uji sample yang dilakukan pihak terkait dan yang memiliki otoritas, komposisi terbesar dari material sedimen adalah butiran halus seperti yang terlihat di Tabel IV. 4 . dimana material sedimen sebagian besar terdiri dari *clay*, *silt*, dan *sand* dengan sejumlah kecil *Gravel*.

Tabel IV. 4 Komposisi Sedimen WGM

Sedimen	Ukuran (mm)	Prosentase
Butiran Halus (<i>Clay</i>)	< 0.004	62.81%
Butiran Sedang (<i>Silt</i>)	0.004 – 0.063	22.68%
Butiran Kasar (<i>Sand</i>)	0.063 – 2.0	14.26%
Kerikil (<i>Gravel</i>)	> 2.0	0.25 %

Selanjutnya dilakukan analisa berkurangnya kapasitas pompa akibat jarak pembuangan terhadap *spoilbank*. Dikarenakan mayoritas material penyusun sedimen adalah *clay*, *silt*, dan *sand* seperti yang terlihat pada Tabel IV. 4 maka digunakan acuan material coarse sand seperti yang terlihat pada Gambar IV. 1. Dengan kapasitas 500 m³/jam maka dengan jarak pembuangan terdekat 1 km maupun jarak pembuangan terjauh 2 km dapat disimpulkan tidak terjadi pengurangan kapasitas pompa akibat *headloss*. Namun untuk mengantisipasi berkurangnya tekanan maka di lapangan juga terdapat *boosterpump* yang disiapkan.



Gambar IV. 1 Kurva Penurunan Kapasitas Pompa

Masalah yang terjadi di lapangan adalah ketika tinggi muka air maksimum maka kapal-kapal tersebut tidak dapat melakukan pengerukan. Dimana tinggi muka air maksimum yang dapat terjadi berdasarkan tinggi elevansi tampungan banjir 138.8 m dan tinggi elevansi tampungan mati 127 m adalah 11.3 m. Dengan margin kedalaman sebesar 11.3 m maka desain kapal keruk dengan kapasitas kedalaman 15 m sesuai dengan kondisi lapangan.

Selanjutnya di lakukan penentuan jenis kapal keruk yang dimungkinkan. Pemilihan jenis kapal keruk menggunakan metode perbandingan kualitatif. Pemilihan didasarkan pada beberapa aspek seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV. 5. Dimana dari beberapa kriteria yang ada seperti dapat mengeruk berbagai material, pengangkutan material dapat dilakukan dengan pipa dan juga keakurasian pengerukan maka *cutter dredger* memenuhi semua kriteria pemilihan. Selain itu dasar pemilihan jenis kapal keruk juga dilakukan berdasar masalah di lapangan, dimana terdapat berbagai jenis material sedimentasi seperti pasir, bebatuan dan lain sebagainya. Letak lokasi *spoilbank* yang berada di dekat lokasi pengerukan memungkinkan pembuangan material sedimentasi langsung dapat dilakukan melalui pipa pembuangan. Oleh karena itu maka pemilihan jenis kapal keruk *Cutter Sucton Dredger* sesuai dengan masalah yang ada di lapangan.

Tabel IV. 5 Pemilihan Tipe Kapal Keruk

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
Pengakutan menggunakan pipa	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
Pengerukan secara akurat	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak

Berdasarkan data lapangan dan masalah yang ditemukan, maka dilakukan penarikan kesimpulan awal yang di gunakan sebagai *Basic Minimum Operational Requirement* seperti yang terlihat pada Tabel IV. 6. Dengan kapasitas pengerukan sampai kedalaman 15 meter maka kapal tetap dapat beroperasi meskipun saat terjadi tinggi muka air maksimum sebesar 11.3 meter.

Tabel IV. 6 *Basic Minimum Operational Requirement*

<i>Basic Minimum Operational Requirement</i>	
Jenis Kapal	<i>Dredger</i>
Tipe Kapal	<i>Cutter Suction Dredger</i>
Kedalaman	15 m
Kapasitas	500 m ³ /jam

Metode *Parent Ship Design* digunakan untuk menentukan ukuran utama awal ketika sebuah permintaan memiliki kesamaan geometris dengan kapal pembanding, dalam hal ini dapat digunakan satu kapal pembanding. Sehingga didapatkan ukuran utama kapal seperti pada Tabel IV. 7 di bawah. Ukuran utama yang didapatkan adalah panjang keseluruhan (*length overall*), panjang perpendikular (*length perpendicular*), lebar kapal (*beam*), tinggi kapal (*Height*) dan juga sarat kapal (*draught*).

Tabel IV. 7 Main Dimension Cutter Suction Dredger

Criteria	Main Dimension Parent Ship	Main Dimension Ship Design
L _{OA} (<i>Length Overall</i>)	30.39 m	30.5 m
L _{pp} (<i>Length perpendicular</i>)	20.73 m	21 m
B (<i>Beam</i>)	9.14 m	9.2 m
H (<i>Height</i>)	1.37 m	1.4 m
T (<i>Draught</i>)	0.87 m	0.95 m

IV.3. Perhitungan Berat Kapal

Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan berat kapal, *displacement fullload* dan *displacement design*. Dalam melakukan analisis perhitungan berat dilakukan dengan metode pendekatan terhadap *sistership* dan analisis terhadap model kapal. *Fullload displacement* di bagi menjadi *Lightweight* (LWT) dan *Deadweight* (DWT). Untuk estimasi *lightweight* dibagi menjadi beberapa item seperti *Hull shell*, *Hull construction*, *Spuds*, *Ladder*, *Machinery* dan *miscellaneous* seperti terlihat pada Tabel IV. 8. Dalam menghitung *hull shell* dilakukan melalui pendekatan model, dimana didapatkan estimasi luas permukaan kulit dari model kemudian dikalikan dengan tebal pelat dari kapal *sistership*. Dari model didapatkan luas area sebesar 693.708 m² dan tebal pelat adalah 8 mm maka didapatkan volume dari model sebesar 6.589 m³. Selanjutnya volume tersebut dikalikan dengan massa jenis baja sebesar 7.85 ton/m³ sehingga didapatkan estimasi dari *hull shell* sebesar 43.565 ton.

Tabel IV. 8 Tabel Perhitungan LWT

No	Item	Weight (ton)	LCG	Moment LCG	TCG	Moment LCG	KG	Moment LCG
1	Hull Shell	43.56	10.32	449.589	0	0	1.43	62.298
2	Hull Cont.	30.50	9.57	291.841	0	0	1.31	39.949
3	Spuds	9.484	-0.5	-4.742	0	0	7.24	68.664
4	Ladder	15.875	18.4	292.100	0	0	1.33	21.114
5	Machinery	6.7	6.73	45.091	0	0	1.42	9.514
6	Miscellaneous	10.70						
Total : 116.82				1073.879		0		201.539
			LCG LWT : 9.193	TCG LWT : 0		KG LWT : 1.725		

Selanjutnya besarnya *hull construction* didekati dari berat *hull shell*. Besarnya *hull construction* di estimasi antara 70% sampai dengan 80% berat *hull shell* sehingga didapatkan estimasi *hull construction* sebesar 30.495 ton. Berat *miscellaneous* didapat dengan persamaan yang terdapat pada buku *ship design efficiency and economy* sehingga di dapat berat *miscellaneous* sebesar 10.70 ton. Untuk komponen *lightweight* yang lain seperti *spuds*, *ladder* dan *machinery* diestimasi dari kondisi *sistership* sehingga didapatkan estimasi berat *spuds*

sebesar 9.48 ton, *ladder* sebesar 15.875 ton dan *machinery* sebesar 6.7 ton. Sehingga didapatkan total estimasi berat *lightweight* sebesar 116.82 ton. Sedangkan berat *deathweight* didapatkan dari kebutuhan *fuel oil sistership* sebesar 38.23 ton. Sehingga total *displacement fullload* adalah jumlah *lightweight* dan *deathweight* sebesar 155.049 ton.

Displacement design dari kapal didapatkan melalui data hidrostatis kapal pada sarat kapal 0.95 m sebesar 155.952 ton. Terdapat selisih antara *displacement fullload* dan *displacement design* sebesar 0.90 ton atau sebesar 0.58 % sehingga dapat disimpulkan kapal dapat terapung dengan margin yang dapat diterima. Untuk detail estimasi dapat dilihat pada lampiran perhitungan teknis.

IV.4. Perhitungan 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*. Berdasarkan Peraturan Kementerian Transportasi (PM 39 Tahun 2016) yang mengacu kepada 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 CSD yang didesain pada penelitian ini tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A, maka CSD ini termasuk ke dalam kapal tipe B.

Perhitungan lambung timbul secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan lambung timbul dan pada Tabel IV. 9 merupakan rekapitulasi perhitungan lambung timbul yang mengacu pada formula yang diatur oleh Peraturan Kementerian Transportasi (PM 39 Tahun 2016) - (*International Convention on Load Lines*, 1966):

Tabel IV. 9 Rekapitulasi Perhitungan *Freeboard*

Perhitungan total koreksi <i>freeboard</i>	
<i>Freeboard summer</i>	
<i>Freeboard</i> awal	16.80 cm
Koreksi <i>Freeboard</i>	
<i>Initial freeboard</i> setelah koreksi Cb	18.74 cm
Koreksi tinggi	0.00 cm
Koreksi bangunan atas	0.00 cm
Koreksi sheer	0.00 cm
Pengurangan koreksi tutup palka	0 cm
<i>Summer Freeboard Final minimal</i>	18.74 cm
<i>Freeboard Fresh water</i>	
Summer <i>Freeboard</i> Final minimal	18.74 cm
Koreksi Air Tawar	2.9 cm
<i>Fresh Water Freeboard</i>	21.66 cm

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:

$$Fb_{Actual} = H - T$$

Persyaratan yang diizinkan yaitu nilai *freeboard* yang sebenarnya harus melebihi dari nilai *freeboard* minimum yang telah dilakukan koreksi. Pada Tabel IV. 10 merupakan rekapitulasi nilai *freeboard* yang sebenarnya dan nilai *freeboard* minimum yang sudah didapatkan dari Tabel IV. 9 sebelumnya:

Tabel IV. 10 Rekapitulasi *Freeboard Actual* dan *Freeboard Minimum*

Kondisi Perairan	<i>Freeboard</i> Sebenarnya - Fb_{Actual} (mm)	<i>Freeboard</i> Minimum - Fb_{Min} (mm)	Batasan	Status
Fresh Water (FW)	450	216.6	$Fb_{Actual} > Fb_{Min}$	MEMENUHI

Dapat dilihat pada Tabel IV. 10 bahwa hasil Fb_{Actual} lebih besar dari Fb_{Min} , maka desain CSD ini memenuhi persyaratan tinggi minimum *freeboard*.

IV.5. Stabilitas

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. Perhitungan *Intact Stability* Kapal Keruk dilakukan dalam 7 skenario (*loadcase*), diantaranya adalah:

1. *Loadcase 1 Lightweight* ; 0% Bunker, *spuds-up*, , 0° *Dredging Angel*
2. *Loadcase 2 Heavy Freefloating* ; 100% Bunker, *spuds-up*, , 0° *Dredging Angel*
3. *Loadcase 3 Heavy Working* ; 100% Bunker, *Spuds-down*, 45° *Dredging Angel*
4. *Loadcase 4 Mean Working* ; 50% Bunker, *Spuds-down*, 45° *Dredging Angel*
5. *Loadcase 5 Light Working* ; 10% Bunker, *Spuds-down*, 45° *Dredging Angel*
6. *Loadcase 6 Shallow Digging* ; 100% Bunker, *Spuds-down*, 10° *Dredging Angel*
7. *Loadcase 7 Maximum Digging* ; 100% Bunker, *Spuds-down*, 90° *Dredging Angel*

Pada penelitian ini, kriteria yang digunakan adalah kriteria stabilitas yang diatur oleh *Bureau Veritas Rules for the Classification of Steel Ships Part. B, Chapter 3, Section 2*. Kriteria tersebut antara lain:

- a. Luas area di bawah lengan pengembali (GZ) antara sudut (0° - 30°) tidak boleh kurang dari 0.055 m.rad atau 3.151 m.deg
- b. Luas area di bawah lengan pengembali (GZ) antara sudut (0° - 40°) tidak boleh kurang dari 0.095 m.rad atau 5.157 m.deg
- c. Luas area di bawah lengan pengembali (GZ) antara sudut (30° - 40°) atau antara sudut *downflooding* (θ_f) dan 30°, lengan GZ tidak boleh kurang dari 0,030 m.rad atau 1,719 m.deg.
- d. Lengan pengembali (GZ) pada saat sudut oleng 30° atau lebih, minimal bernilai 0,200 m.
- e. Lengan pengembali maksimum terjadi saat kondisi oleng 30° atau lebih, tetapi tidak boleh kurang dari 15°.
- f. Tinggi titik metacentre awal (Gmo) tidak boleh kurang dari 0,150 m.

Pemeriksaan kondisi keseimbangan kapal dilakukan pada hasil pemodelan lambung CSD dengan menggunakan bantuan *software Maxsurf Stability Enterprise*. Pendekatan berat

kapal dan titik berat kapal dilakukan dengan rumus pendekatan. Langkah-langkah pemeriksaan kondisi keseimbangan kapal adalah sebagai berikut:

1. Membuka *file* rencana garis desain CSD

Buka *software Maxsurf Stability Enterprise*, klik menu *file – open design* dan buka *file* hasil pemodelan (rencana garis) CSD yang sudah dibuat sebelumnya pada *software Maxsurf Modeler Advanced*.

2. Perencanaan letak tangki-tangki

Perencanaan letak tangki yang meliputi tangki *consumables* (bahan bakar, tangki air *ballast*). Perencanaan tangki ini dilakukan dengan cara klik menu *window – input* dan pilih *room definition*. Perencanaan tangki ini disesuaikan dengan perencanaan tangki pada *general arrangement*.

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.

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*.

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.

6. Pemeriksaan kondisi stabilitas

Pada *Maxsurf Stability Enterprise*, analisis kriteria stabilitas dapat diatur melalui menu *analysis - criteria*. Setelah dilakukan pemilihan kriteria stabilitas, maka hasil analisis

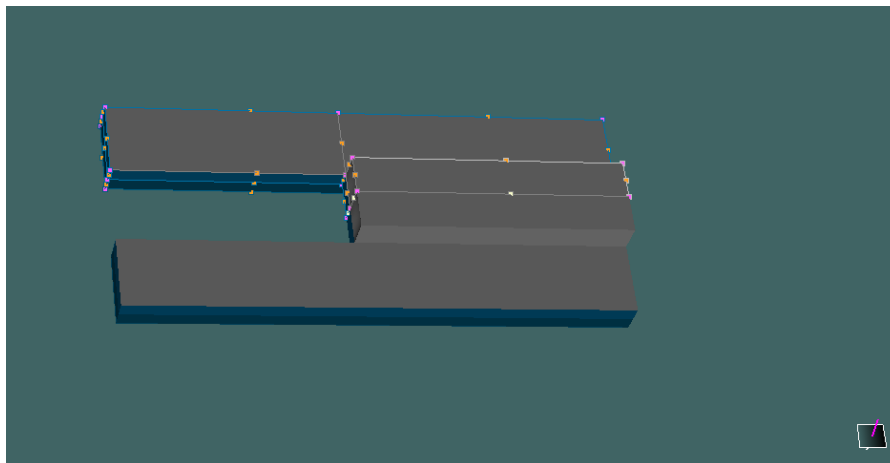
stabilitas dapat langsung dilakukan dengan cara *start analysis* melalui menu *analysis – set analysis type - large angle stability*, lalu klik *start stability analysis*. Analisis dilakukan pada setiap kondisi pemuatan (*loadcase*) yang telah direncanakan sebelumnya. Hasil Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas dapat dilihat pada Tabel IV. 11 dimana seluruh kondisi *Loadcase* memenuhi persyaratan yang ada.

Tabel IV. 11 Rekapitulasi Stabilitas Kapal

No.	Criteria	Value	Units	Loadcase						
				1	2	3	4	5	6	7
1	Area 0 to 30	3.151	m.deg	44.712	28.623	30.130	39.996	47.328	32.386	34.220
2	Area 0 to 40	5.157	m.deg	58.704	38.391	40.860	54.318	63.681	44.501	47.697
3	Area 30 to 40	1.719	m.deg	13.993	9.768	10.731	14.323	16.354	12.115	13.477
4	Max GZ at 30 or greater	0.2	m	1.574	1.061	1.148	1.529	1.774	1.274	1.394
5	Angle of maximum GZ	15	deg	15.5	19.5	20.5	16.8	16.8	21.4	23.6
6	Initial GMt	0.15	m	9.957	7.544	7.737	9.038	10.231	8.04	8.247
Status				Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

IV.6. Permodelan Kapal

Dari ukuran utama kapal yang telah didapatkan dan telah di koreksi selanjutnya dilakukan pemodelan lambung kapal. Model lambung kapal dibuat dengan bantuan *software* komputer. Bentuk lambung kapal mempengaruhi performa kapal di laut, sehingga perlu di buat dengan teliti. Perubahan-perubahan sering terjadi untuk mendapatkan model lambung yang paling optimal dan memenuhi semua aspek desain kapal. Berikut merupakan model lambung kapal keruk yang di desain seperti terlihat pada Gambar IV. 2.

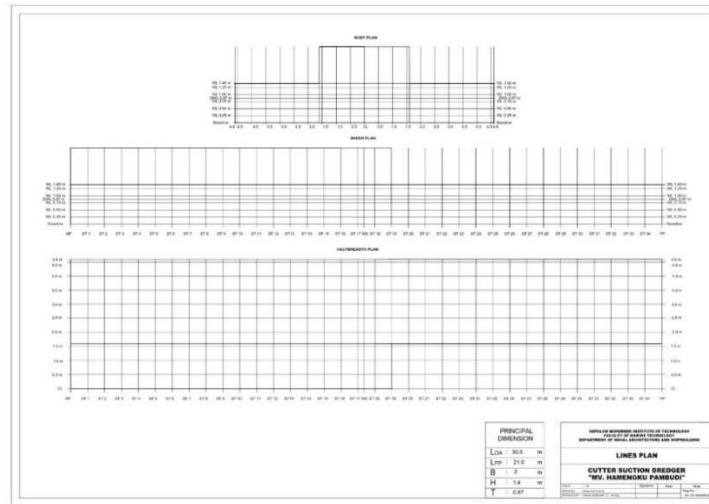


Gambar IV. 2 Model Kapal

Lambung kapal di bagi menjadi 3 poonton yakni satu poonton tengah dimana terdapat mesin utama dan mesin pembantu juga ruang kontrol. Dan dua poonton kanan dan kiri. Poonton samping digunakan sebagai tempat menyimpan bahan bakar dan juga sebagai tangka air ballast.

IV.7. Pembuatan Rencana Garis Awal

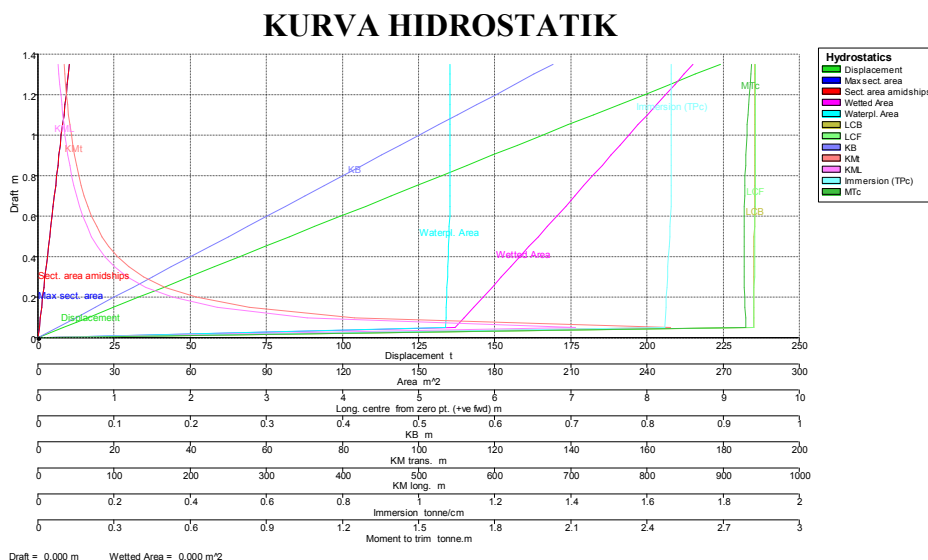
Rencana garis merupakan gambar yang menyatakan bentuk potongan badan kapal dibawah garis air yang memiliki tiga sudut pandang yaitu, *body plan* (secara melintang), *sheer plan* (secara memanjang) dan *half breadth plan* (dilihat dari atas). Rencana garis di-generate langsung dari model lambung kapak yang telah di buat. Secara garis besar, rencana garis sementara telah didapatkan, dan terlihat seperti pada Gambar IV. 3.



Gambar IV. 3 Rencana Garis

IV.8. Perhitungan Hidrostatik Kapal

Selanjutnya dilakukan pembuatan kurva hidrostatik. Kurva hidrostatik adalah kurva yang menggambarkan karakteristik lambung kapal di bawah sarat air. Pembuatan kurva hidrostatik dilakukan dengan bantuan *software* komputer. Data kurva hidrostatik kapal dapat dilihat pada Gambar IV. 4.



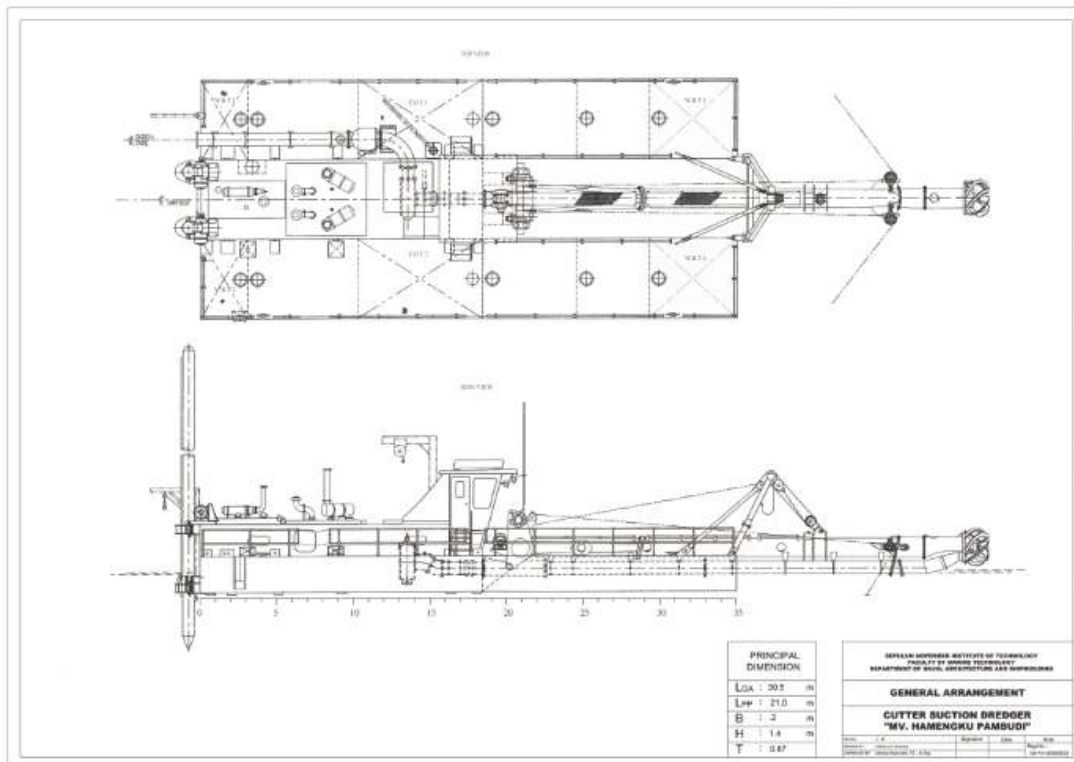
Gambar IV. 4 Kurva Hidrostatik

IV.9. 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:

- Penentuan lokasi ruang utama
- Penentuan batas-batas ruangan
- Penentuan dan pemilihan perlengkapan yang tepat
- Penentuan akses (jalan atau lintasan) yang cukup

Dalam membuat Rencana Umum, digunakan *software AutoCAD*. Desain rencana umum kapal dapat dilihat pada Gambar IV. 5. Lambung kapal di bagi menjadi 3 poonton yakni satu poonton tengah dimana terdapat mesin utama dan mesin pembantu juga ruang kontrol. Dan dua poonton kanan dan kiri. Poonton samping digunakan sebagai tempat menyimpan bahan bakar dan juga sebagai tangka air ballast.



Gambar IV. 5 Rencana Umum Kapal

IV.10. Desain Model 3D Kapal

Model 3D *Cutter Suction Dredger* di desain dengan bantuan *software Maxsurf Modeler Advanced*. Sebenarnya, model 3D sudah dapat dibuat saat sudah mendapatkan ukuran utama awal kapal. Namun, model masih berbentuk *draft* dan masih dapat berubah sesuai dengan ketentuan analisis teknis. Bentuk *draft* model 3D kapal juga dibutuhkan untuk perhitungan stabilitas kapal. Desain 3D model kapal dapat dilihat pada Gambar IV. 6.



Gambar IV. 6 3D Model Kapal

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

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

1. Sesuai dengan material sedimen yang sebagian besar terdiri dari *clay*, *silt*, dan *sand*, juga berdasarkan kondisi kapal yang ada juga letak *spoilbank*, maka jenis kapal keruk yang cocok untuk perairan Waduk Gajah Mungkur adalah *Cutter Suction Dredger*.
2. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh ukuran utama dan kapasitas pompa *Cutter Suction Dredger* sebagai berikut:

- *Length Over All* (LOA) = 30.5 m
- *Length Between Perpendicular* (L_{pp}) = 21.00 m
- *Breadth* (B) = 9,20 m
- *Height* (H) = 1.40 m
- *Draught* (T) = 0.95 m
- *Capacity* = 500 m³/jam
- *Deep Dredging* = 15 m

3. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh Rencana Garis (*Lines Plan*), Rencana Umum (*General Arrangement*), dan model 3D kapal yang berturut-turut dapat dilihat dalam Lampiran A, Lampiran B, dan Lampiran C.

V.2. Saran

Saran yang diberikan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Karena permasalahan dalam Tugas Akhir ini termasuk ke dalam solusi terhadap kebijakan pemerintah, maka dibutuhkan peninjauan lebih lanjut mengenai aspek kebijakan tersebut.
2. Perlu adanya tinjauan lebih detail mengenai perhitungan konstruksi kapal karena masih banyak menggunakan rumus pendekatan.

3. Perlu adanya perhitungan estimasi biaya pembangunan secara riil untuk membangun *Cutter Suction Dredger* agar dapat dimanfaatkan untuk solusi pengerukan di Waduk Gajah Mungkur.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2011). *Facts About Backhoe Dredgers*. International Association of Dredging Companies.
- BV. (2018). *Rules for the Classification of Steel Ship*. Bureau Veritas.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2007). *Studi Penanganan Sedimentasi Waduk Serbaguna Wonogiri Republik Indonesia*. Jakarta.
- Group, J. D. (2019, April 14). *Cutter Suction Dredger*. Retrieved from jandenu.com: <http://www.jandenu.com/en/equipment/fleet/cutter-suction-dredger>
- Huston, J. (1970). *Hydraulic Dredging Theoretical and Applied*. Cambridge: Cambridge Maryland.
- IMO. (1966). *International Convention on Load Lines*. London: Lloyd's Register.
- IMO. (1974). *Intact Stability Code*. London: Lloyd's Register.
- IMO. (1974). *International Convention for the Safety of Life at Sea*. London: Lloyd's Register.
- Jaelani, M. R. (2016). *Desain Dredger Berbasis Jalur Sungai Pada Program "Tol Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) – Tanjung Priok*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan.
- Kurniawati, H.A. (2009). Lecture Handout. *Ship Outfitting*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume I*. Jersey City: The Society of Naval Architectures and Marine Engineers.
- 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.
- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. Michigan: University of Michigan.
- Pengerukan, D. P. (2006). *Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan dan Reklamasi*. DKI Jakarta: Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- Pengerukan, D. P. (2015). *Pedoman Teknis Pengerukan Alur Pelayaran di Laut dan Kolam Pelabuhan*. DKI Jakarta: Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- Perhubungan, M. (2016). *PM no 39 Tahun 2016 Tentang Garis Muat Kapal dan Pemuatan*. Indonesia.
- Pullar, A. d. (2009). *Dredging Methodology and Disposal Alternatives*. Port Otago Ltd.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Rohim, M. A. (2003). *Penentuan Prototipe Kapal Keruk Yang Sesuai Untuk Dermaga Umum Pelabuhan Gresik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan.
- Schneekluth, H. &. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy (second edition)*. Oxford: Plant A Tree.
- Science, A. (2019, April 14). *Ship Design Spiral*. Retrieved from marinewiki.org: http://www.marinewiki.org/index.php?title=File:Ship_design_spiral.jpg
- Vlasblom, W. (2003). *Introduction to Dredging Equipment*. CEDA.

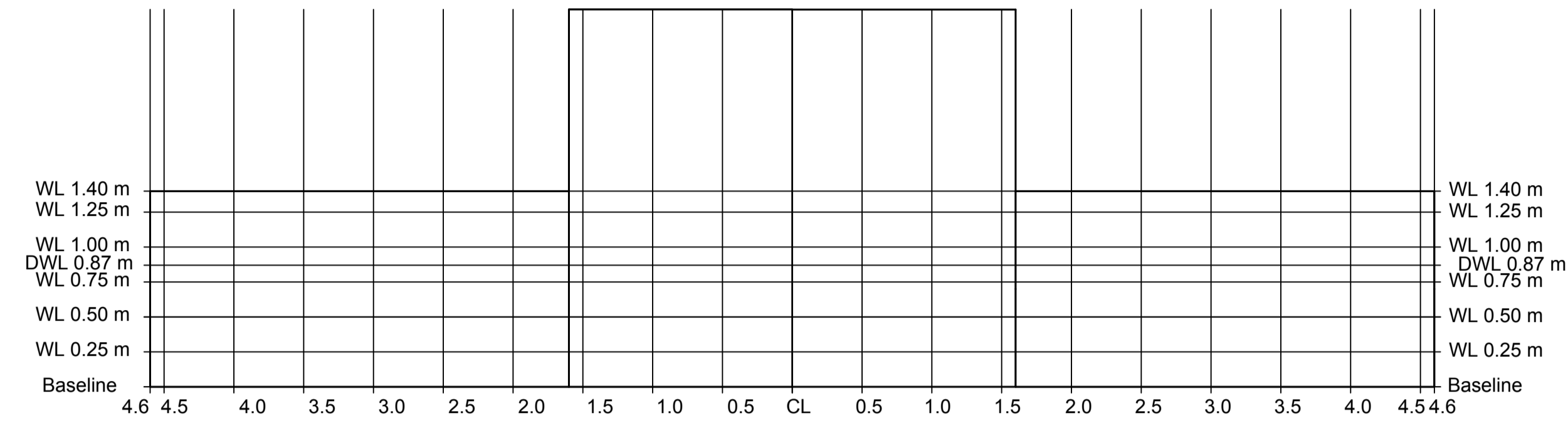
- Vlasblom., W. (2006). *Designing Dredging Equipment*. Delft: Delft University of Technology (TU Delft).
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design* (Vol. 1). (R. Bhattacharyya, Ed.) Oxford: Elsevier.
- Wikipedia. (2019, April 14). *Waduk Gajah Mungkur*. Retrieved from Wikipedia.org: https://id.wikipedia.org/wiki/Waduk_Gajah_Mungkur

DAFTAR LAMPIRAN

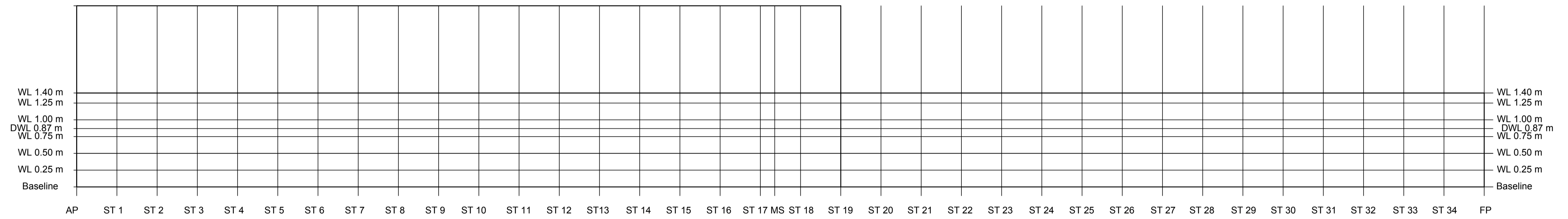
Lampiran A Rencana Garis
Lampiran B Rencana Umum
Lampiran C 3D Model
Lampiran D Perhitungan Teknis

LAMPIRAN A
RENCANA GARIS

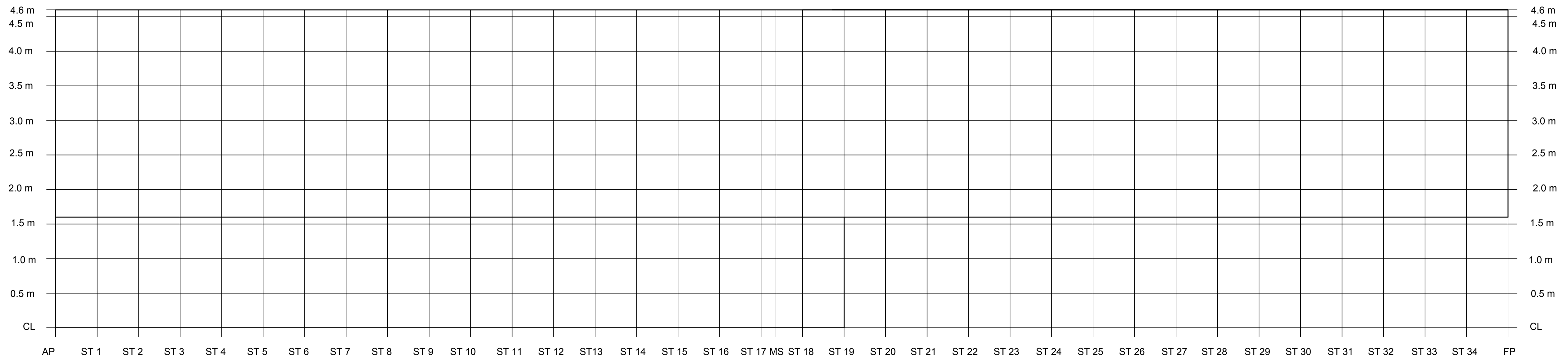
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALFBREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSION

LOA	: 30.5	m
LPP	: 21.0	m
B	: 9.2	m
H	: 1.4	m
T	: 0.95	m

**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING**

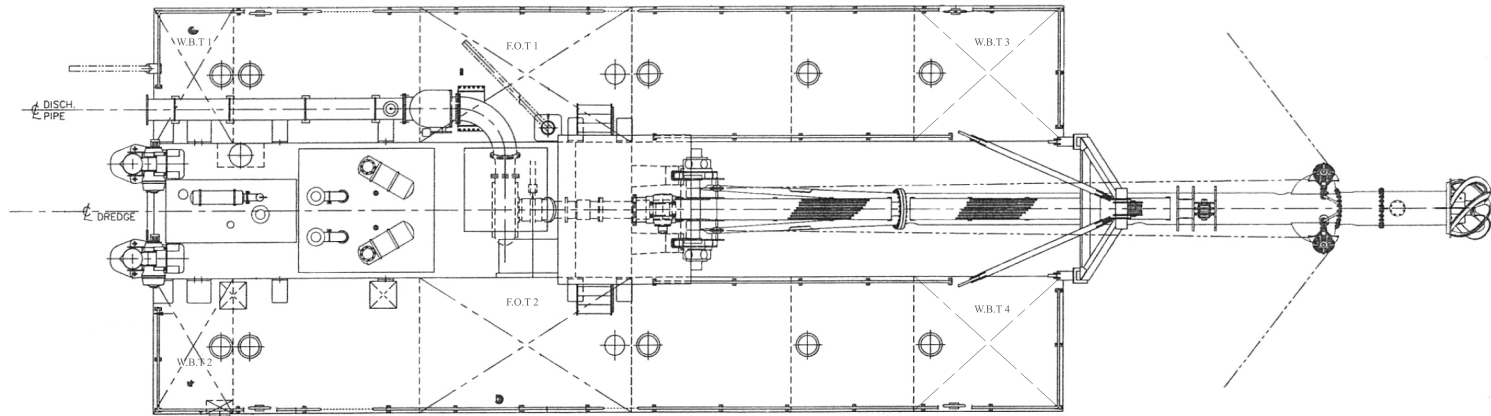
LINES PLAN

**CUTTER SUCTION DREDGER
"MV. HAMENGKU PAMBUDI"**

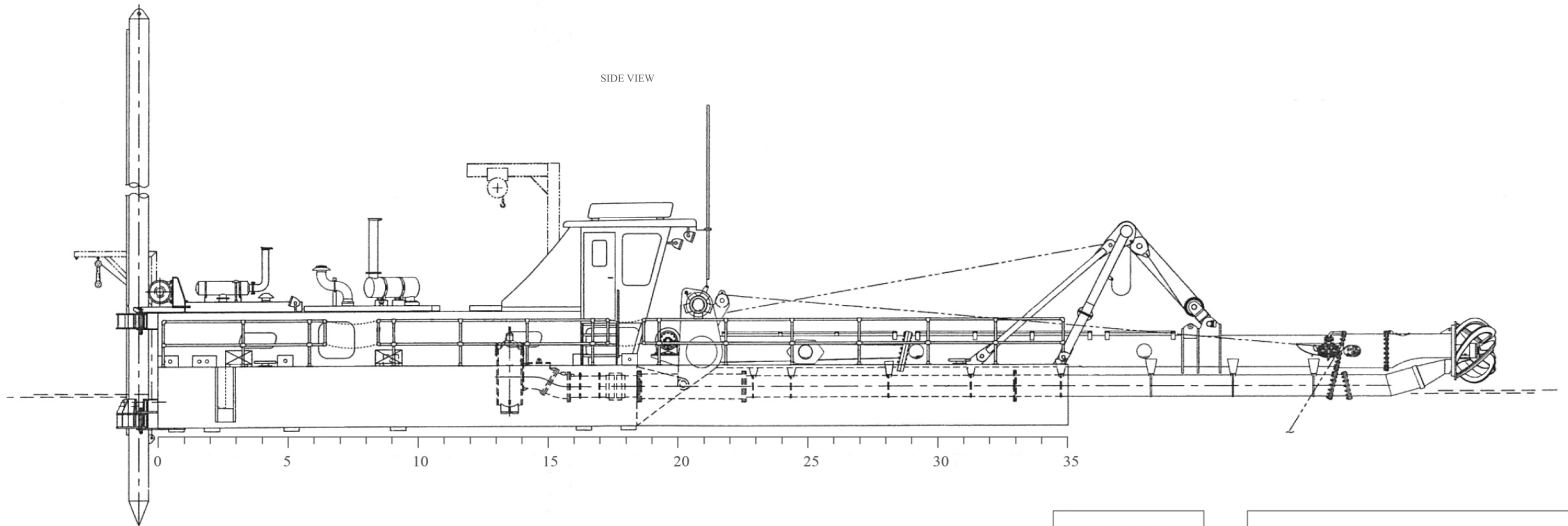
SCALE	: 1 : 50	Signature	Date	Note
DRAWN BY	: Matias Adi Wiranata			Reg.No. :
APPROVED BY	: Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.			0411114000032

LAMPIRAN B
RENCANA UMUM

TOP VIEW



SIDE VIEW



PRINCIPAL
DIMENSION

LOA	: 30.5	m
LPP	: 21.0	m
B	: 9.2	m
H	: 1.4	m
T	: 0.95	m

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

GENERAL ARRANGEMENT

CUTTER SUCTION DREDGER
"MV. HAMENGGU PAMBUDI"

SCALE	: 1 : 50	Signature	Date	Note
DRAWN BY	: Mirza Adh Wicakata			Reg No. :
APPROVED BY	: Ahmad Nasrudin, ST., M. Eng.			04111140000032

LAMPIRAN C
3D MODEL



PRINCIPAL DIMENSION	
LOA	: 30.5 m
LPP	: 21.0 m
B	: 9.2 m
H	: 1.4 m
T	: 0.95 m

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING			
3 D MODEL KAPAL			
CUTTER SUCTION DREDGER "MV. HAMENGGU PAMBUDI"			
SCALE	: 1 : 50	Signature	Date
DRAWN BY	: Matias Adi Wiranata		Reg.No. :
APPROVED BY	: Ahmad Nasirudin, ST., M.Eng.		04111140000032

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN TEKNIS

A. Perhitungan Owner Requirement

a. Volume Sedimen = 3,178,519 m³/tahun
Tahunan

b. Waktu kerja = 8 jam/hari
= 6 hari/minggu
= 4 minggu/bulan
= 9 bulan/tahun
Total Waktu Kerja = 1728 jam/tahun

c. Volume Sedimen = 1,839.42 m³/jam
yang harus dikeruk

d. Kapasitas Keruk Kapal Existing

No	Kapasitas	Jumlah Kapal	Volume Keruk (m ³ /jam)
1	400	2	800
2	240	2	480
3	120	1	120
Total			1400

e. Kekurangan kapasitas pengerukan
439.42 m³/jam

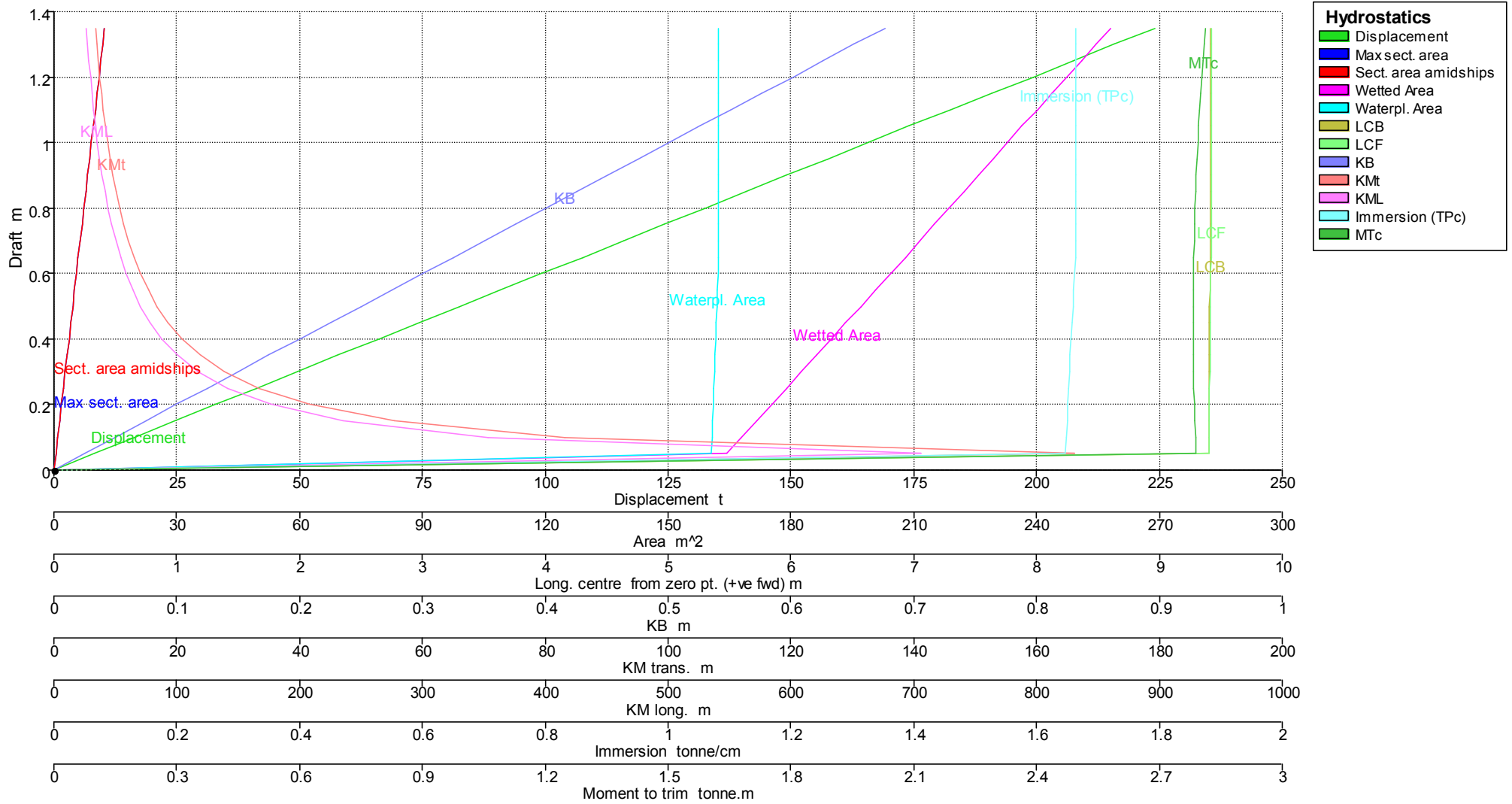
f. Kapasitas Kapal Desain
500 m³/jam

TABEL HIDROSTATIK

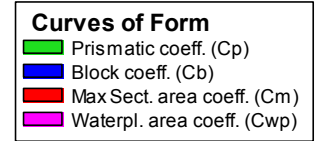
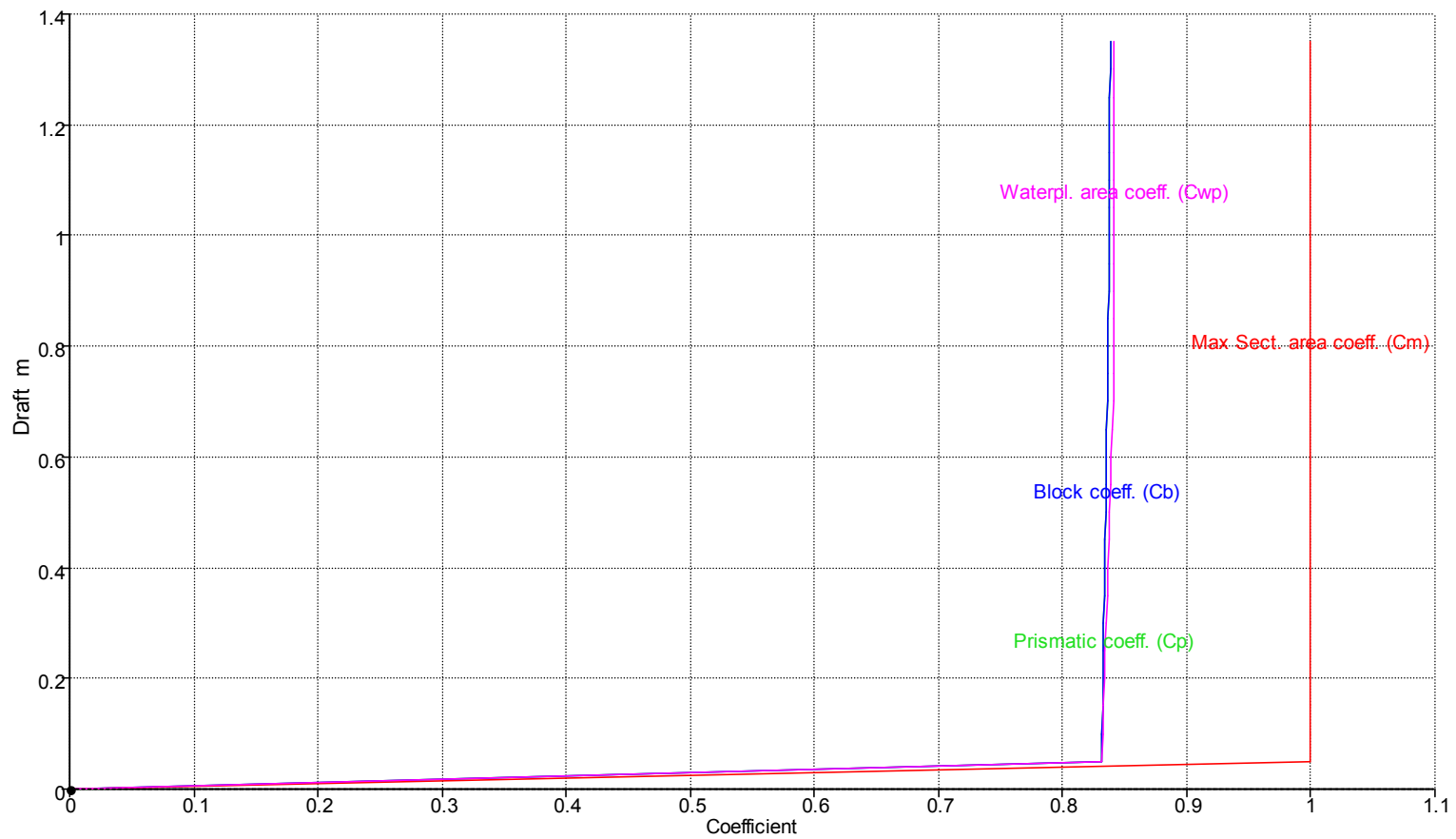
Draft (m)	DISPm (ton)	DISP.tot (ton)	MID.B (m)	MID.F (m)	MTC (ton.m)	TPC (T)	KB (m)	TKM (m)	LKM (m)	WPA (m ²)	MID.A (m ²)	WSA (m ²)	CB	CP	CW	CM	Draft (m)
0.050	8.031	9.674	9.403	9.403	2.789	1.647	0.025	166.241	706.261	160.677	0.460	164.261	0.831	0.831	0.832	1.000	0.050
0.100	16.068	17.748	9.403	9.404	2.788	1.648	0.050	83.130	353.035	160.812	0.920	167.986	0.832	0.832	0.832	1.000	0.100
0.150	24.117	25.834	9.404	9.406	2.786	1.650	0.075	55.443	235.311	160.947	1.380	171.718	0.832	0.832	0.833	1.000	0.150
0.200	32.166	33.920	9.405	9.407	2.785	1.651	0.100	41.612	176.461	161.081	1.840	175.456	0.832	0.832	0.834	1.000	0.200
0.250	40.224	42.015	9.405	9.408	2.784	1.652	0.125	33.323	141.162	161.216	2.300	179.068	0.833	0.833	0.834	1.000	0.250
0.300	48.293	50.119	9.406	9.410	2.784	1.654	0.150	27.806	117.638	161.351	2.760	182.662	0.833	0.833	0.835	1.000	0.300
0.350	56.361	58.224	9.407	9.411	2.783	1.655	0.175	23.872	100.843	161.485	3.220	186.263	0.834	0.834	0.836	1.000	0.350
0.400	64.439	66.338	9.407	9.412	2.783	1.657	0.200	20.928	88.253	161.620	3.680	189.870	0.834	0.834	0.837	1.000	0.400
0.450	72.527	74.462	9.408	9.414	2.783	1.658	0.225	18.644	78.467	161.755	4.140	193.483	0.834	0.834	0.837	1.000	0.450
0.500	80.624	82.595	9.409	9.415	2.783	1.659	0.250	16.821	70.643	161.889	4.600	197.103	0.835	0.835	0.838	1.000	0.500
0.550	88.722	90.729	9.410	9.417	2.783	1.661	0.275	15.335	64.247	162.024	5.060	200.729	0.835	0.835	0.839	1.000	0.550
0.600	96.829	98.873	9.410	9.418	2.784	1.662	0.301	14.100	58.921	162.159	5.520	204.362	0.835	0.835	0.839	1.000	0.600
0.650	104.976	107.056	9.411	9.420	2.784	1.664	0.326	13.059	54.418	162.293	5.980	208.000	0.836	0.836	0.840	1.000	0.650
0.700	113.073	115.190	9.412	9.422	2.785	1.665	0.351	12.171	50.563	162.428	6.440	211.646	0.836	0.836	0.841	1.000	0.700
0.750	121.171	123.322	9.412	9.422	2.786	1.665	0.376	11.404	47.223	162.428	6.900	215.165	0.836	0.836	0.841	1.000	0.750
0.800	129.268	131.455	9.413	9.422	2.787	1.665	0.401	10.736	44.306	162.428	7.360	218.695	0.837	0.837	0.841	1.000	0.800
0.850	137.463	139.686	9.413	9.422	2.789	1.665	0.426	10.151	41.736	162.428	7.820	222.236	0.837	0.837	0.841	1.000	0.850
0.900	145.561	147.819	9.414	9.422	2.790	1.665	0.451	9.633	39.456	162.428	8.280	225.788	0.837	0.837	0.841	1.000	0.900
0.950	153.659	155.952	9.414	9.422	2.792	1.665	0.476	9.173	37.420	162.428	8.740	229.351	0.837	0.837	0.841	1.000	0.950
1.000	161.756	164.085	9.415	9.422	2.794	1.665	0.501	8.761	35.590	162.428	9.200	232.925	0.837	0.837	0.841	1.000	1.000
1.050	169.951	172.316	9.415	9.422	2.796	1.665	0.526	8.392	33.938	162.428	9.660	236.509	0.838	0.838	0.841	1.000	1.050
1.100	178.049	180.450	9.415	9.422	2.798	1.665	0.551	8.058	32.439	162.428	10.120	240.104	0.838	0.838	0.841	1.000	1.100
1.150	186.146	188.583	9.416	9.422	2.801	1.665	0.576	7.755	31.073	162.428	10.580	243.710	0.838	0.838	0.841	1.000	1.150
1.200	194.244	196.717	9.416	9.422	2.803	1.665	0.601	7.480	29.823	162.428	11.040	247.326	0.838	0.838	0.841	1.000	1.200

Draft (m)	DISPm (ton)	DISP.tot (ton)	MID.B (m)	MID.F (m)	MTC (ton.m)	TPC (T)	KB (m)	TKM (m)	LKM (m)	WPA (m ²)	MID.A (m ²)	WSA (m ²)	CB	CP	CW	CM	Draft (m)
1.250	202.439	204.949	9.416	9.422	2.806	1.665	0.626	7.229	28.676	162.428	11.500	250.953	0.838	0.838	0.841	1.000	1.250
1.300	210.537	213.082	9.416	9.422	2.809	1.665	0.651	7.000	27.619	162.428	11.960	254.591	0.838	0.838	0.841	1.000	1.300
1.350	218.634	221.217	9.417	9.422	2.813	1.665	0.676	6.789	26.642	162.428	12.420	258.239	0.838	0.838	0.841	1.000	1.350

KURVA HIDROSTATIK




Draft = 0.000 m Wetted Area = 0.000 m²



Draft = 0.000 m Prismatic coeff. (Cp) = 0.000

Bagian			A. DEFINISI-DEFINISI & UKURAN UTAMA	Main Dimension
Sect.	Ps	Ayat	Perhitungan / Uraian	Hasil
			UKURAN UTAMA	
1	H	2.1	<p>Panjang L</p> <p>Panjang L adalah jarak pada garis air muat dari linggi haluan kebelakang kemudi atau garis sumbu tongkat kemudi jika tidak ada linggi kemudi. Dimana tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak perlu lebih besar dari 97% LWL.</p> <p>Diketahui $Lwl = 20.5$ m $Lpp = 20.500$ m</p> <p>Maka :</p> <p> $96\% Lwl = 19.68$ m $97\% Lwl = 19.885$ m</p> <p>Sehingga :</p> <p> $L = 19.885$ m</p>	<p>L = 19.885 m</p>
1	H	2.6	<p>Lebar B</p> <p>Lebar kapal adalah jarak terbesar pada kapal yang diukur dari kulit bagian dalam.</p> <p> $B = 9.2$ m</p>	<p>B = 9.2 m</p>
1	H	2.7	<p>Tinggi H</p> <p>Tinggi H kapal adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang L, dari garis dasar ke bagian atas dari balok geladak dibagian sisi geladak menerus yang paling atas.</p> <p> $H = 1.4$ m</p>	<p>H = 1.4 m</p>
1	H	2.8	<p>Sarat T</p> <p>Sarat T adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang L, dari garis dasar ke tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas.</p> <p> $T = 0.95$ m</p>	<p>T = 0.95 m</p>
1	H	4	<p>Koefisien Blok (Cb)</p> <p>Koefisien Blok (Cb) pada sarat T berdasarkan panjang L adalah</p> <p> $Cb = 0.837$</p>	<p>Cb = 0.837 m</p>
1	H	3	<p>Jarak Gading (a)</p> <p>Jarak yang diukur dari pinggir mal ke pinggir mal gading.</p>	
9	A	1.1	<p>Jarak Gading (a) dibelakang Afterpeak Bulkhead dan di depan Collision Bulkhead tidak boleh lebih dari 600 mm.</p> <p> $ao = L/500 + 0.48$ (pada BKI 89) = 0.520 m</p> <p>diambil : $a = 0.6$ m (di Kamar Mesin) $a = 0.6$ m (di Ruang Biasa)</p>	<p>Kamar Mesin $a = 0.6$ m Ruang Biasa $a = 0.6$ m</p>

			Main Dimension																									
Nama kapal : MV HAMENGKU PAMBUDI Type kapal : CSD Sistem konstruksi : MELINTANG Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2018			L = 19.885 m	B = 9.200 m																								
			H = 1.400 m	T = 0.950 m																								
Bagian			B. PERENCANAAN BEBAN																									
Sect.	Ps	Ayat	Perhitungan / Uraian																									
			Hasil																									
PERENCANAAN BEBAN PADA KAPAL																												
4	A	2.2	Basic External Dynamic Load $P_0 = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_0 \cdot C_L \cdot F$ [kN/m ²] $C_0 = (L/25 + 4,1) \cdot C_{rw} ; L \leq 90m$ $= 3,672$ $C_L = \sqrt{(L/90)}$ $C_L = 0,470 \quad L < 90 m$ $C_{RW} = 0,75$ Service range T $f = 1$ Untuk pelat kulit, geladak cuaca maka : Untuk pelat kulit, geladak $P_0 = 2,1 \times (0,837 + 0,7) \times 3,672 \times 0,470 \times 1$ $= 5,570 \text{ kN/m}^2$ $P_{01} = 2,6 (C_b + 0,7) \cdot C_0 \cdot C_L$ $= 6,897 \text{ kN/m}^2$																									
			$C_0 = 3,672$																									
			$P_0 = 5,570 \text{ kN/m}^2$																									
			$P_{01} = 6,897 \text{ kN/m}^2$																									
4	B	1	Load on Weather Deck (Geladak Cuaca) $P_D = (P_0 \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + z - T) \cdot H)$ [kN/m ²] Harga C_D dapat dicari dari tabel dibawah ini : <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Tabel 1</th> </tr> <tr> <th>Range</th> <th>Factor C_D</th> <th>Factor C_F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$0 \leq x/L < 0,2$</td> <td>$1,2 - x/L$</td> <td>$1,0 + 5/C_b [0,2 - x/L]$</td> </tr> <tr> <td>A $x/L = 0,12$</td> <td>$C_D = 1,1$</td> <td>$C_F = 1,47$</td> </tr> <tr> <td>$0,2 \leq x/L < 0,7$</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>M $x/L = 0,5$</td> <td>$C_D = 1$</td> <td>$C_F = 1$</td> </tr> <tr> <td>$0,7 \leq x/L \leq 1$</td> <td>$1,0 + c/3 [x/L - 0,7]$</td> <td>$1 + 20/C_b [x/L - 0,7]^2$</td> </tr> <tr> <td>F $x/L = 0,93$</td> <td>$c = 0,15 \cdot L - 10$ $L_{min} = 100 m$ $C_D = 0,5$</td> <td>$C_F = 2,3$</td> </tr> </tbody> </table> Dimana : $z =$ Jarak vertikal dari pusat beban terhadap base line untuk beban pada pelat diukur dari paling bawah untuk sistem konstruksi melintang. maka besarnya Beban Geladak Cuaca dapat dihitung sebagai berikut : Daerah $0 \leq x/L < 0,2$ [A] Untuk pelat geladak cuaca $z = 1,400 \text{ m}$ $P_D = (P_0 \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + z - T) \cdot H)$ $= (5,570 \times 20 \times 0,950 \times 1,1) / ((10 + 1,400 - 0,950) \times 1,400)$ $= 7,808 \text{ kN/m}^2$ $P_D \text{ min} = 0,7 \cdot P_0$ $= 3,899 \text{ kN/m}^2$		Tabel 1			Range	Factor C_D	Factor C_F	$0 \leq x/L < 0,2$	$1,2 - x/L$	$1,0 + 5/C_b [0,2 - x/L]$	A $x/L = 0,12$	$C_D = 1,1$	$C_F = 1,47$	$0,2 \leq x/L < 0,7$	1	1	M $x/L = 0,5$	$C_D = 1$	$C_F = 1$	$0,7 \leq x/L \leq 1$	$1,0 + c/3 [x/L - 0,7]$	$1 + 20/C_b [x/L - 0,7]^2$	F $x/L = 0,93$	$c = 0,15 \cdot L - 10$ $L_{min} = 100 m$ $C_D = 0,5$	$C_F = 2,3$
Tabel 1																												
Range	Factor C_D	Factor C_F																										
$0 \leq x/L < 0,2$	$1,2 - x/L$	$1,0 + 5/C_b [0,2 - x/L]$																										
A $x/L = 0,12$	$C_D = 1,1$	$C_F = 1,47$																										
$0,2 \leq x/L < 0,7$	1	1																										
M $x/L = 0,5$	$C_D = 1$	$C_F = 1$																										
$0,7 \leq x/L \leq 1$	$1,0 + c/3 [x/L - 0,7]$	$1 + 20/C_b [x/L - 0,7]^2$																										
F $x/L = 0,93$	$c = 0,15 \cdot L - 10$ $L_{min} = 100 m$ $C_D = 0,5$	$C_F = 2,3$																										
			Maka didapat :																									
			H = 1.400 m																									
			T = 0.950 m																									
			z = 1.400 m																									
			$P_D = 7,808 \text{ kN/m}^2$																									


4	B	2.1	Daerah $0,2 \leq x/L < 0,7$ [M]																
			Untuk pelat geladak cuaca																
			$P_0 = (P_0 \times 20 \times T \times C_0) / ((10 + z - T) \times H)$ $= (5.570 \times 20 \times 0.950 \times 1.0) / [(10 + 1.400 - 0.950) \times 1.400]$ $= 7.234 \text{ kN/m}^2$ $P_0 \text{ min} = 0.7 \times P_0$ $= 3.899 \text{ kN/m}^2$				$P_D = 7.234 \text{ kN/m}^2$												
			Daerah $0,7 \leq x/L < 1$ [F]	$z = 1.400 \text{ m}$															
	Untuk pelat geladak cuaca																		
	$P_0 = (P_0 \times 20 \times T \times C_0) / ((10 + z - T) \times H)$ $= (5.570 \times 20 \times 0.950 \times 0.5) / [(10 + 1.400 - 0.950) \times 1.400]$ $= 3.342 \text{ kN/m}^2$ $P_0 \text{ min} = 0.7 \times P_0$ $= 3.899 \text{ kN/m}^2$				$P_D = 3.899 \text{ kN/m}^2$														
		Load on Ship's Sides (Sisi Kapal)																	
		Daerah $0 \leq x/L < 0,2$ [A]																	
		Di bawah garis air :																	
		Untuk pelat sisi kapal																	
		utk , $z_1 = 0 \text{ m}$ $y_1 = 4.6 \text{ m}$																	
		$P_s = 10 (T - z) + P_0 \times C_F \times (1 + z / T) \quad \text{Untuk } z = z_1$ $= 10 (0.95 - 0.00) + 5.57 \times 1.47 \times (1 + 0.00/0.95)$ $= 17.709 \text{ kN/m}^2$			$P_s = 17.709 \text{ kN/m}^2$														
		$P_{s1} = 10 (T - z) + P_{01} [1 + (z/T) (2 - (z/T))] \times 2 (l_y/B)$ $= 10 (0.95 - 0.00) + 6.90 \times [1 + (0.00/0.95) \times (2 - (0.00/0.95))]$ $\times 2 (4.60/9.20) \quad \text{Untuk } z = z_1$ $= 16.397 \text{ kN/m}^2$			$P_{s1} = 16.397 \text{ kN/m}^2$														
		Rekapitulasi Beban pada Sisi Kapal Dibawah Air																	
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Bagian</th> <th>z</th> <th>Ps</th> <th>y</th> <th>P_{s1}</th> <th>Beban yang diambil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">Pelat Sisi</td> <td style="text-align: center;">0.000</td> <td style="text-align: center;">17.709</td> <td style="text-align: center;">4.600</td> <td style="text-align: center;">16.397</td> <td>$P_s = 17.709 \text{ kN/m}^2$</td> </tr> </tbody> </table>			No	Bagian	z	Ps	y	P _{s1}	Beban yang diambil	1	Pelat Sisi	0.000	17.709	4.600	16.397	$P_s = 17.709 \text{ kN/m}^2$	
No	Bagian	z	Ps	y	P _{s1}	Beban yang diambil													
1	Pelat Sisi	0.000	17.709	4.600	16.397	$P_s = 17.709 \text{ kN/m}^2$													
		Diatas garis air :																	
		Untuk pelat sisi kapal																	
		utk , $z = 1.175 \text{ m}$ $y = 4.6000 \text{ m}$																	
		$P_s = 20 \times P_0 \times C_F / (10 + z - T)$ $= 20 \times 5.57 \times 1.47 / (10 + 1.175 - 0.95)$ $= 16.057 \text{ kN/m}^2$			$P_s = 16.057 \text{ kN/m}^2$														
		$P_{s2} = P_{01} \times (20 / (5 + z - T)) \times (l_y/B)$ $= 6.90 \times 20 / (5 + 1.18 - 0.95) \times (4.60/9.20)$ $= 13.199 \text{ kN/m}^2$			$P_{s2} = 13.199 \text{ kN/m}^2$														
		Rekapitulasi Beban pada Sisi Kapal Diatas Air																	
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Bagian</th> <th>z</th> <th>Ps</th> <th>y</th> <th>P_{s2}</th> <th>Beban yang diambil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">Pelat Sisi</td> <td style="text-align: center;">1.175</td> <td style="text-align: center;">16.057</td> <td style="text-align: center;">4.600</td> <td style="text-align: center;">13.199</td> <td>$P_s = 16.057 \text{ kN/m}^2$</td> </tr> </tbody> </table>			No	Bagian	z	Ps	y	P _{s2}	Beban yang diambil	1	Pelat Sisi	1.175	16.057	4.600	13.199	$P_s = 16.057 \text{ kN/m}^2$	
No	Bagian	z	Ps	y	P _{s2}	Beban yang diambil													
1	Pelat Sisi	1.175	16.057	4.600	13.199	$P_s = 16.057 \text{ kN/m}^2$													
4	B	2.1	Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]																
			Dibawah garis air :																
			Untuk pelat sisi kapal																
			utk , $z = 0 \text{ m}$ $y = 4.6 \text{ m}$																
		$P_s = 10 (T - z) + P_0 \times C_F \times (1 + z / T)$ $= 10 (0.95 - 0.00) + 5.57 \times 1.00 \times (1 + 0.00/0.95)$ $= 15.070 \text{ kN/m}^2$			$P_s = 15.070 \text{ kN/m}^2$														
		$P_{s1} = 10 (T - z) + P_{01} [1 + (z/T) (2 - (z/T))] \times 2 (l_y/B)$ $= 10 (0.95 - 0.00) + 6.90 \times [1 + (0.00/0.95) \times (2 - (0.00/0.95))]$ $\times 2 (4.60/9.20)$ $= 16.397 \text{ kN/m}^2$			$P_{s1} = 16.397 \text{ kN/m}^2$														
		Rekapitulasi Beban pada Sisi Kapal Dibawah Air																	
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Bagian</th> <th>z</th> <th>Ps</th> <th>y</th> <th>P_{s1}</th> <th>Beban yang diambil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">Pelat</td> <td style="text-align: center;">0.0000</td> <td style="text-align: center;">15.070</td> <td style="text-align: center;">4.6000</td> <td style="text-align: center;">16.397</td> <td>$P_s = 16.397 \text{ kN/m}^2$</td> </tr> </tbody> </table>			No	Bagian	z	Ps	y	P _{s1}	Beban yang diambil	1	Pelat	0.0000	15.070	4.6000	16.397	$P_s = 16.397 \text{ kN/m}^2$	
No	Bagian	z	Ps	y	P _{s1}	Beban yang diambil													
1	Pelat	0.0000	15.070	4.6000	16.397	$P_s = 16.397 \text{ kN/m}^2$													

4	B	2.1	Diatas garis air :						
			Untuk pelat sisi kapal						
			utk ,	z = 1.1750 m	y = 4.6000 m				
			$P_s = 20 \times P_o \times C_F / (10 + z - T)$ $= 20 \times 5.57 \times 1.00 / (10 + 1.2 - 0.95)$ $= 10.896 \text{ kN/m}^2$		$P_s = 10.896 \text{ kN/m}^2$				
$P_{s2} = P_{o1} \times (20 / (5 + z - T)) \times (ly/B)$ $= 6.90 \times 20 / (5 + 1.18 - 0.95) \times (4.60/9.20)$ $= 13.199 \text{ kN/m}^2$		$P_{s2} = 13.199 \text{ kN/m}^2$							
			No	Bagian	z	Ps	y	P_{s2}	Beban yang diambil
			1	Pelat	1.1750	10.896	4.6000	13.199	$P_s = 13.199 \text{ kN/m}^2$
			Load on Ship's Sides (Sisi Kapal)						
			Daerah $0.7 \leq x/L < 1$ [F]						
			Di bawah garis air :						
			untuk pelat sisi kapal						
			utk ,	z = 0 m	y = 4.6 m				
			$P_s = 10 (T - z) + P_o \times C_F \times (1 + z / T)$ $= 10 (0.95 - 0.00) + 5.57 \times 2.26 \times (1 + 0.00/0.95)$ $= 22.112 \text{ kN/m}^2$						$P_s = 22.112 \text{ kN/m}^2$
			$P_{s1} = 10 (T - z) + P_{o1} [1 + (z/T) (2 - (z/T))]^2 (ly/B)$ $= 10 (0.95 - 0.00) + 6.90 \times [1 + (0.00/0.95) \times (2 - (0.00/0.95))]^2 \times (4.60/9.20)$ $= 16.397 \text{ kN/m}^2$						$P_{s1} = 16.397 \text{ kN/m}^2$
			Rekapitulasi Beban pada Sisi Kapal Dibawah Air						
			No	Bagian	z	Ps	y	P_{s1}	Beban yang diambil
			1	Pelat	0.0000	22.112	4.6000	16.397	$P_s = 22.112 \text{ kN/m}^2$
			Diatas garis air :						
			Untuk pelat sisi kapal						
			utk ,	z = 1.1750 m	y = 4.6000 m				
			$P_s = 20 \times P_o \times C_F / (10 + z - T)$ $= 20 \times 5.57 \times 2.26 / (10 + 1.2 - 0.95)$ $= 24.668 \text{ kN/m}^2$						$P_s = 24.668 \text{ kN/m}^2$
			$P_{s2} = P_{o1} \times (20 / (5 + z - T)) \times (ly/B)$ $= 6.90 \times 20 / (5 + 1.18 - 0.95) \times (4.60/9.20)$ $= 13.199 \text{ kN/m}^2$						$P_{s2} = 13.199 \text{ kN/m}^2$
			No	Bagian	z	Ps	y	P_{s2}	Beban yang diambil
			1	Pelat	1.1750	24.668	4.6000	13.199	$P_s = 24.668 \text{ kN/m}^2$
			Load On Ship's Bottom (Dasar Kapal)						
			$P_B = 10 \cdot T + P_o \cdot C_F$						
			Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]						
			Untuk Pelat Alas						
			$P_B = 10 \times 0.95 + 5.57 \times 1.47$ $= 17.709 \text{ kN/m}^2$						$P_B = 17.709 \text{ kN/m}^2$
			y = 0.000 m						
			$P_{B1} = 10 T + P_{o1} \cdot 2 (ly/B)$ $= 10 \times 0.95 + 6.90 \times 2 \times (0.00/9.20)$ $= 9.500 \text{ kN/m}^2$						$P_{B1} = 9.500 \text{ kN/m}^2$
			Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$						
			Untuk Pelat Alas						
			$P_B = 10 \times 0.95 + 5.57 \times 1.00$ $= 15.070 \text{ kN/m}^2$						$P_B = 15.070 \text{ kN/m}^2$
			y = 4.600 m						
			$P_{B1} = 10 T + P_{o1} \cdot 2 (ly/B)$ $= 10 \times 0.95 + 6.90 \times 2 \times (4.60/9.20)$ $= 16.397 \text{ kN/m}^2$						$P_{B1} = 16.397 \text{ kN/m}^2$

	<p>Daerah $0.7 \leq x/L < 1$ [A] Untuk Pelat Alas</p> <p>$P_B = 10 \times 0.95 + 5.57 \times 2.26$ $= 22.1115 \text{ kN/m}^2$</p> <p>$y = 4.600 \text{ m}$ $P_{B1} = 10 T + P_{o1} \cdot 2 (y /B)$ $P_{B1} = 10 \times 0.95 + 6.90 \times 2 \times (4.60/9.20)$ $= 16.397 \text{ kN/m}^2$</p>	<p>$P_B = 22.112 \text{ kN/m}^2$</p> <p>$P_{B1} = 16.397 \text{ kN/m}^2$</p>
--	---	--

REKAPITULASI BEBAN

Daerah	Jenis	$0 \leq x/L < 0.2$ [A]	Jenis	$0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	Jenis	$0.7 \leq x/L < 1$ [F]
Geladak Cuaca						
Pelat	$P_D =$	7.808 kN/m ²	$P_D =$	7.234 kN/m ²	$P_D =$	3.899 kN/m ²
Beban Sisi						
Dbwh Garis Air						
Pelat	$P_s =$	17.709 kN/m ²	$P_s =$	16.397 kN/m ²	$P_s =$	22.112 kN/m ²
Diatas Garis Air						
Pelat	$P_s =$	16.057 kN/m ²	$P_s =$	13.199 kN/m ²	$P_s =$	24.668 kN/m ²
Beban Alas						
Pelat Alas	$P_B =$	17.709 kN/m ²	$P_B =$	15.070 kN/m ²	$P_B =$	22.112 kN/m ²

				Main Dimension
			Nama kapal : MV HAMENGGU PAMBUDI	L = 19.885 m
			Type kapal : CSD	B = 9.200 m
			Sistem konstruksi : MELINTANG	H = 1.400 m
			Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2018	T = 0.950 m
Bagian			TEBAL PELAT	
Sect.	IPs	Ayat	Perhitungan / Uraian	Hasil
PERENCANAAN TEBAL PELAT				
6	A	2	<p>Perencanaan Tebal Pelat Keterangan :</p> <p>k = Faktor material berdasarkan section 2.B.2 k = 1</p> <p>P_B = Beban alas P_S = Beban sisi</p> <p>nf = 1 Untuk Konstruksi melintang nf = 0.83 Untuk Konstruksi memanjang</p> <p>σ_{Perm} = 230/k (N/m²) σ_{LB} = Bending stress max pada hull girder σ_{LB} = 120/k (N/m²) untuk pendekatan awal</p> <p>a = jarak gading = 0.6 m ceruk haluan dan buritan, kamar mesin = 0.6 m diruang muat</p> <p>tk = 1.5 untuk t' < 10 mm</p> <p>tk = $\frac{0.1 \cdot t'}{k^{0.5}} + 0.5$ untuk t > 10 mm (max 3 mm)</p>	
3	K	1		
6	B	1.2	<p>Bottom Plating (Pelat Alas) Tebal pelat alas kapal dengan panjang L ≥ 90m Tebal diambil terbesar dari rumus :</p> <p>t_{B1} = 19 nf a (√ P_B/σ pl) + tk [mm] t_{B2} = 1.21a (P_B k)^{0.5} + t_K [mm]</p> <p>dimana,</p> <p>σ pl = (√ σperm² - 3τL²) - 0,89.σ_{LB} [mm] σ perm = 230/k [N/mm²], σ_{LB} = 120/k [N/mm²] σ_{LB} = 120/k (N/mm²) untuk L ≥ 90 m = 120 / 1 τL = 0 = 120 [N/mm²] σ pl = [√ (230)² - 3 (0)²] - 0,89 x 120 = 123.20 [N/mm²]</p> <p>Tebal minimum pelat alas</p> <p>t_{B1} = (L.k)^{0.5} = (129.041x1)^{0.5} = 4.46 mm</p> <p>Daerah 0 ≤ x/L < 0.2 [A] P_B = 17.709 kN/m² # t_{B1} = 19 . nf a (√ P_B/σ pl) + tk [mm] = 3.59 + t_K t_K = 1.50 mm untuk t' < 10 mm t_{B1} = 3.59 + 1.50 mm t_{B1} = 5.09 mm</p>	t = 5 mm

$$\begin{aligned} \# t_{B2} &= 1.21a (P_B k)^{0.5} + t_K \quad \text{mm} \\ &= 3.06 + t_K \\ t_k &= 1.50 \quad \text{mm} \quad \text{untuk } t' < 10 \text{ mm} \\ t_{B2} &= 3.06 + 1.50 \text{ mm} \\ t_{B2} &= 4.56 \text{ mm} \\ \text{maka } t_B &= 5.09 \text{ mm} \\ &\quad \text{(diambil yang terbesar)} \approx 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]

$$\begin{aligned} P_B &= 15.070 \text{ kN/m}^2 \\ \# t_{B1} &= 19 \cdot n f a (\sqrt{P_B / \sigma p l}) + t_k \quad [\text{mm}] \\ &= 3.31 + t_K \\ t_k &= 1.50 \text{ mm} \quad \text{untuk } t' < 10 \text{ mm} \\ t_{B1} &= 3.31 + 1.50 \text{ mm} \\ t_{B1} &= 4.81 \text{ mm} \\ \# t_{B2} &= 1,21a (P_B k)^{0.5} + t_K \quad \text{mm} \\ &= 2.82 + t_K \\ t_k &= 1.50 \text{ mm} \quad \text{untuk } t' < 10 \text{ mm} \\ t_{B2} &= 2.82 + 1.50 \text{ mm} \\ t_{B2} &= 4.32 \text{ mm} \\ \text{maka } t_B &= 4.81 \text{ mm} \\ &\quad \text{(diambil yang terbesar)} \approx 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

Daerah $0.7 \leq x/L \leq 1.0$ [F]

$$\begin{aligned} P_B &= 22.112 \text{ kN/m}^2 \\ \# t_{B1} &= 19 \cdot n f a (\sqrt{P_B / \sigma p l}) + t_k \quad [\text{mm}] \\ &= 4.01 + t_K \\ t_k &= 1.50 \text{ mm} \quad \text{untuk } t' < 10 \text{ mm} \\ t_{B1} &= 4.01 + 1.50 \text{ mm} \\ t_{B1} &= 5.51 \text{ mm} \\ \# t_{B2} &= 1,21a (P_B k)^{0.5} + t_K \quad \text{mm} \\ &= 3.41 + t_K \\ t_k &= 1.50 \text{ mm} \quad \text{untuk } t' < 10 \text{ mm} \\ t_{B2} &= 3.41 + 1.50 \text{ mm} \\ t_{B2} &= 4.91 \text{ mm} \\ \text{maka } t_B &= 5.51 \text{ mm} \\ &\quad \text{(diambil yang terbesar)} \approx 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

6

C

1

Side Shell Plating (Tebal Pelat Sisi)

Tebal pelat sisi kapal

Tebal diambil terbesar dari rumus :

$$t_{S1} = 19 \cdot n_f \cdot a \cdot (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]}$$

$$t_{S2} = 1,21 \cdot a \cdot (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \text{ [mm]}$$

dimana,

Tebal minimum pelat sisi

$$t_{B1} = (L \cdot k)^{0.5} \\ = (120.410 \times 1)^{0.5} = 4.46 \text{ mm}$$

Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]**Di bawah garis air :**

$$P_s = 17.709 \text{ kN/m}^2$$

$$\# t_{S1} = 19 \cdot n_f \cdot a \cdot (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]} \\ = 19 \times 1.00 \times 0.6 \times (17.71 / 123)^{0.5} + t_k \\ = 4.32 + t_k$$

$$t' = 4.32 \text{ mm, } t' < 10 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } t_k = 1.50 \text{ mm}$$

$$\text{jadi, } t_{S1} = 4.322 + 1.500 \text{ mm} \\ = 5.82 \text{ mm}$$

$$\# t_{S2} = 1,21 \cdot a \cdot (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \\ = 1.21 \times 0.6 \times (17.71 \times 1)^{0.5} + t_k \\ = 3.06 + t_k$$

$$t' = 3.06 \text{ mm, } t' < 10 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } t_k = 1.50 \text{ mm}$$

$$\text{jadi, } t_{S2} = 3.06 + 1.50 \text{ mm} \\ = 4.56 \text{ mm}$$

Di atas garis air :

$$P_s = 16.057 \text{ kN/m}^2$$

$$\# t_{S1} = 19 \cdot n_f \cdot a \cdot (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]} \\ = 19 \times 1.00 \times 0.6 \times (16.06 / 123)^{0.5} + t_k \\ = 4.12 + t_k$$

$$t' = 4.12 \text{ mm, } t' < 10 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } t_k = 1.50 \text{ mm}$$

$$\text{jadi, } t_{S1} = 4.12 + 1.50 \text{ mm} \\ = 5.62 \text{ mm}$$

$$\# t_{S2} = 1,21 \cdot a \cdot (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \\ = 1.21 \times 0.6 \times (16.06 \times 1)^{0.5} + t_k \\ = 2.91 + t_k$$

$$t' = 2.91 \text{ mm, } t' < 10 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } t_k = 1.50 \text{ mm}$$

$$\text{jadi, } t_{S2} = 2.91 + 1.50 \text{ mm} \\ = 4.41 \text{ mm}$$

diambil yang terbesar, $t_s = 5.82 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$ $t = 6 \text{ mm}$

Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]

Di bawah garis air :

$P_s = 16.397 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} \# t_{S1} &= 19 \cdot n_f a (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]} \\ &= 19 \times 0.83 \times 0.6 \times (16.40 / 123)^{0.5} + t_k \\ &= 3.45 + t_k \\ t' &= 3.45 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S1} &= 3.45 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 4.95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{S2} &= 1,21 \cdot a (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \\ &= 1.21 \times 0.6 \times (16.40 \times 1)^{0.5} + t_k \\ &= 2.94 + t_k \\ t' &= 2.94 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S2} &= 2.94 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 4.44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Di atas garis air :

$P_s = 13.199 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} \# t_{S1} &= 19 \cdot n_f a (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]} \\ &= 19 \times 0.83 \times 0.6 \times (13.20 / 123)^{0.5} + t_k \\ &= 3.10 + t_k \\ t' &= 3.10 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S1} &= 3.10 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 4.60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{S2} &= 1,21 \cdot a (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \\ &= 1.21 \times 0.6 \times (13.20 \times 1)^{0.5} + t_k \\ &= 2.64 + t_k \\ t' &= 2.64 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S2} &= 2.64 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 4.14 \text{ mm} \end{aligned}$$

diambil yang terbesar, $t_s = 4.95 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$ $t = 5 \text{ mm}$

Daerah $0.7 \leq x/L < 1$ [F]

Di bawah garis air :

$P_s = 22.112 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} \# t_{S1} &= 19 \cdot n_f a (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]} \\ &= 19 \times 1.00 \times 0.6 \times (22.11 / 123)^{0.5} + t_k \\ &= 4.83 + t_k \\ t' &= 4.83 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S1} &= 4.83 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 6.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{S2} &= 1,21 \cdot a (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \\ &= 1.21 \times 0.6 \times (22.11 \times 1)^{0.5} + t_k \\ &= 3.41 + t_k \\ t' &= 3.41 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S2} &= 3.41 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 4.91 \text{ mm} \end{aligned}$$

Di atas garis air :

$$P_s = 24.668 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \# t_{S1} &= 19 \cdot n_f \cdot a (\sqrt{P_s / \sigma_{pl}}) + t_k \text{ [mm]} \\ &= 19 \times 1.00 \times 0.6 \times (24.67 / 123)^{0.5} + t_k \\ &= 5.10 + t_k \\ t' &= 5.10 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S1} &= 5.10 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 6.60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{S2} &= 1,21 \cdot a (\sqrt{P_s \cdot k}) + t_k \\ &= 1.21 \times 0.6 \times (24.67 \times 1)^{0.5} + t_k \\ &= 3.61 + t_k \\ t' &= 3.61 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi, } t_{S2} &= 3.61 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 5.11 \text{ mm} \end{aligned}$$

diambil yang terbesar: $t_s = 6.60 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$

$$t = 7 \text{ mm}$$

7 A 7.1 Tebal Pelat Geladak

tebal pelat geladak ditentukan dari nilai terbesar dari formula berikut:

$$\begin{aligned} t_{E1} &= 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{P_D \cdot k} + t_k \\ t_{Emin} &= (5,5 + 0,02L) \sqrt{k} \\ t_{min} &= (4.5 + 0.05L) \sqrt{k} \quad ; \text{ untuk daerah } 0.4L \end{aligned}$$

dimana,

P_D = Beban pada geladak cuaca

Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]

$$P_D = 7.808 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \# t_{E1} &= 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{P_D \cdot k} + t_k \\ &= 1.21 \times 0.6 \times (7.81 \times 1)^{0.5} + t_k \\ &= 2.029 + t_k \\ t' &= 2.03 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{E1} &= 2.03 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 3.53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{Emin} &= (5,5 + 0,02L) \sqrt{k} \\ &= (5.5 + 0.02 \times 19.89) (1)^{0.5} \\ &= 5.90 \text{ mm} \end{aligned}$$

diambil yang terbesar

$$t = 5.90 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]

$$P_D = 7.234 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \# t_{E1} &= 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{P_D \cdot k} + t_k \\ &= 1.21 \times 0.6 \times (7.23 \times 1)^{0.5} + t_k \\ &= 1.95 + t_k \\ t' &= 1.95 \text{ mm, } t' < 10\text{mm} \\ \text{sehingga } t_k &= 1.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{E1} &= 1.95 + 1.50 \text{ mm} \\ &= 3.45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{Emin} &= (5,5 + 0,02L) \sqrt{k} \\ &= (5.5 + 0.02 \times 19.89) (1)^{0.5} \\ &= 5.90 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \# t_{min} &= (4.5 + 0.05L) \sqrt{k} \\ &= (4.5 + 0.05 \times 19.89) (1)^{0.5} \\ &= 5.49 \text{ mm} \end{aligned}$$

diambil yang terbesar

$$t = 5.898 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

	<p>Daerah $0.7 \leq x/L \leq 1.0$ [F] $P_D = 3.899 \text{ kN/m}^2$</p> <p># $t_{E1} = 1,21.a. \sqrt{P_D k} + t_k$ $= 1.21 \times 0.6 \times (3.90 \times 1)^{0.5} + t_k$ $= 1.43 + t_k$ $t' = 1.43 \text{ mm}, t' < 10\text{mm}$ sehingga $t_k = 1.50 \text{ mm}$ $t_{E1} = 1.43 + 1.43 \text{ mm}$ $= 2.93 \text{ mm}$</p> <p># $t_{Emin} = (5,5 + 0,02L) \sqrt{k}$ $= (5.5 + 0.02 \times 3.90) (1)^{0.5}$ $= 5.90 \text{ mm}$</p> <p>diambil yang terbesar $t = 5.90 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$</p>	
		$t = 6 \text{ mm}$

Rekapitulasi Tebal Pelat (mm)

Daerah	Alas	Sisi	Geladak
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	6	6	6
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	5	5	6
Daerah $0,7 \leq x/L < 1$ [M]	6	7	6

Untuk perhitungan estimasi berat maka tebal pelat yang digunakan adalah 8 mm.

A. Estimasi Berat Hull Shell

a.1. Luas Permukaan Model

Side Ponton

No	Surface	3D True Surface Area (m ²)	LC Area (m)	TC Area (m)	VC Area (m)
1	Plate 1	68.4	5.7	0	0
2	Plate 2	15.96	5.7	0	0.35
3	Plate 3	4.2	0	0	0.35
4	Plate 4	68.4	5.7	0	1.4
5	Plate 5	15.96	5.7	0	1.05
6	Plate 6	4.2	0	0	1.05
7	Plate 7	57.6	16.2	0	0
8	Plate 8	13.44	16.2	0	0.35
9	Plate 9	13.44	16.2	0	0.35
10	Plate 10	4.2	21	0	0.35
11	Plate 11	13.44	16.2	0	1.05
12	Plate 12	57.6	16.2	0	1.4
13	Plate 13	13.44	16.2	0	1.05
14	Plate 14	4.2	21	0	1.05
15	Plate 15	8.4	1.8	0	0.7
16	Plate 16	8.4	6	0	0.7
17	Plate 17	8.4	10.8	0	0.7
18	Plate 18	8.4	15	0	0.7
19	Plate 19	8.4	18	0	0.7
Total 3D true surface area		396.48	10.867	0	0.7

Center Ponton

No	Surface	3D True Surface Area (m ²)	LC Area (m)	TC Area (m)	VC Area (m)
1	CP Surf 18	36.48	5.7	0	0
2	CP Surf 19	2.24	0	0	0.35
3	CP Surf 20	2.24	11.4	0	0.35
4	CP Surf 21	2.24	0	0	1.05
5	CP Surf 22	2.24	11.4	0	1.05
6	CP Surf 6	31.244	4.882	0	2.7
7	CP Surf 7	27.509	5.301	0	2.033
8	CP Surf 8	4.16	0	0	2.05
9	CP Surf 9	6.688	10.581	0	2.049
10	CP Surf 16	4.61	9.094	0	3.413
11	CP Surf 17	1.012	8.853	0	3.894
12	CP Surf 23	2.332	11.105	0	3.932
13	CP Surf 24	1.727	11.427	0	3.405
14	CP Surf 25	3.484	-0.513	0	0.425
15	CP Surf 26	3.484	-0.513	0	0.425
16	CP Surf 10	3.827	-0.45	0	0.433
17	CP Surf 11	3.827	-0.45	0	0.433
18	CP Surf 27	2.37	-0.504	0	2.535
19	CP Surf 28	2.37	-0.504	0	2.535
20	CP Surf 12	2.51	-0.45	0	2.547
21	CP Surf 13	2.51	-0.45	0	2.547
22	CP Surf 1	0.637	12.007	0	2.253
23	CP Surf 2	0.62	12.971	0	2.216
24	CP Surf 3	0.259	12.436	0	3.127
25	CP Surf 4	0.414	12.542	0	1.341
26	CP Surf 5	3.433	12.489	0	2.164
27	CP Surf 14	0.756	12.441	0	2.871
28	CP Surf 15	0.756	12.441	0	2.727
29	CP Surf 32	0.088	10.207	0	2.554
30	CP Surf 33	0.161	9.857	0	3.528
31	CP Surf 34	0.088	10.207	0	4.498
32	CP Surf 35	2.78	10.207	0	3.526
33	CP Surf 36	0.161	10.557	0	3.528
34	CP Surf 30	0.163	10.208	0	4.168
35	CP Surf 31	0.208	10.208	0	4.168
36	CP Surf 29	39.2	7	0	0.7
Total 3D true surface area		198.832	5.585	0	1.464

Superstructure and other

No	Surface	3D True Surface Area (m ²)	LC Area (m)	TC Area (m)	VC Area (m)
1	SSO Surf 1	3.893	10.401	0	1.511
2	SSO Surf 2	6.464	10.807	0	4.662
3	SSO Surf 3	8.457	10.514	0	3.057
4	SSO Surf 4	9.957	9.785	0	3.086
5	SSO Surf 5	6.019	11.306	0	2.651
6	SSO Surf 6	11.687	10.863	0	4.658
7	SSO Surf 7	10.49	10.852	0	4.825
8	SSO Surf 8	1.002	10.901	0	4.74
9	SSO Surf 9	0.899	9.377	0	4.746
10	SSO Surf 10	1.044	12.341	0	4.76
11	SSO Surf 11	0.601	11.542	0	3.714
12	SSO Surf 12	4.264	11.505	0	3.703
13	SSO Surf 13	0.261	11.102	0	3.954
14	SSO Surf 14	7.512	4.955	0	1.615
15	SSO Surf 15	5.758	4.817	0	1.874
16	SSO Surf 16	14.142	12.252	0	1.183
17	SSO Surf 17	1.285	12.441	0	2.914
18	SSO Surf 18	1.285	12.441	0	2.685
19	SSO Surf 19	0.631	12.7	0	2.611
20	SSO Surf 20	0.382	10.205	0	1.704
21	SSO Surf 21	0.382	10.205	0	2.004
22	SSO Surf 22	0.382	10.205	0	2.304
23	SSO Surf 23	0.799	9.78	0	2.586
24	SSO Surf 24	0.799	10.638	0	2.586
Total 3D true surface area		98.396	10.193	0	3.065

Rekapitulasi Luas Permukaan

No	Item	Luas (m ²)
1	Side Ponton	396.48
2	Center Ponton	198.832
3	Superstructure and other	98.396
Total		693.708

a.2. Rekapitulasi Tebal Pelat

Daerah	Alas	Sisi	Geladak
Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]	6	6	6
Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]	5	5	6
Daerah $0.7 \leq x/L < 1$ [M]	6	7	6

Untuk analisis Hull Shell digunakan estimasi tebal pelat 8 mm

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$t = 0.008 \text{ m}$$

a3. Berat Hull Shell

$$\text{Massa Jenis Baja} = 7.85 \text{ ton/m}^3$$

$$W_{HS} = \text{Luas Permukaan} * \text{Tebal Pelat} * \text{Massa Jenis Baja}$$

$$W_{HS} = 693.708 \times 0.008 \times 7.850$$

$$W_{HS} = 43.565 \text{ ton}$$

B. Berat Konstruksi (W_{con})

Berat Konstruksi di estimasikan 70% dari berat Hull shell

$$\text{Prosentase} = 70\%$$

$$W_{const} = 30.495 \text{ ton}$$

C. Berat Miscellaneous

$$C = (0.18 \text{ ton} / \text{m}^2 < C < 0.26 \text{ ton} / \text{m}^2)$$
$$C = 0.26 \text{ [ton/m}^2\text{]}$$
$$W = (L * B * D)^{2/3} * C$$
$$W = 10.701 \text{ [ton]}$$

Ship Design Efficiency and Economy
page 172

D. Berat Spuds, Ladder dan Mesin

Estimasi berat spud ladder dan mesin di dasarkan pada sister ship kapal pembanding
Spesifikasi kapal pembanding yang digunakan:

Length Overall :	30.39 m
Hull length :	20.73 m
Width :	9.14 m
Depth :	1.37 m
Draft :	0.86 m
Ladder length :	18.2 m
Ladder Weight :	15.875 ton
Max. digging :	15 m
Capacity :	500 m ³ /jam
Main engine :	C-32
	746 kW
Rate const. :	180.2 L/jam
Aux. engine :	C-9
	260 kW
Rate const. :	53.8 L/jam
Machinery Weight Inst. :	6.7 ton
Spud (each)	4.742 ton

Sehingga estimasi berat berdasarkan kapal pembanding adalah sebagai berikut:

Spud Weight :	9.484 ton
Ladder Weight :	15.875 ton
Machinery Weight :	6.7 ton

E. Estimasi DWT

Tangki Fuel Oil Starboard

Panjang Tanki :	5.4 m
Lebar Tangki :	3.1 m
Tinggi Tangki :	1.4 m
Permeabilitas :	95%
Volume FO : Panjang * Lebar * Tinggi * Permeabilitas	
Volume FO :	22.226 m ³
Massa Jenis FO :	0.86 ton/m ³
Berat FO :	19.114 ton/m ³

Tangki Fuel Oil Portside

Panjang Tanki :	5.4 m
Lebar Tanki :	3.1 m
Tinggi Tanki :	1.4 m
Permeabilitas :	95%
Volume FO :	$\text{Panjang} * \text{Lebar} * \text{Tinggi} * \text{Permeabilitas}$
Volume FO :	22.226 m ³
Massa Jenis FO :	0.86 ton/m ³
Berat FO :	19.114 ton/m ³

Total Kapasitas FO

Volume :	44.452 m ³
Volume :	44452 Liter
Berat FO	38.229 ton
DWT :	38.229 ton

Estimasi Operasional

Rate Consumption ME :	180.2 L/jam
Rate Consumption AE :	53.8 L/jam
Rate Consumption Total :	234 ton

Lifetime : $\text{Volume} / \text{Rate}$

Lifetime : $44452 / 234.000$

Lifetime : 189.966 jam

A. Rekapitulasi Berat

No	Item	Weight (ton)	LCG	Moment LCG	TCG	Moment LCG	KG	Moment LCG
1	Hull Shell	43.56	10.32	449.589	0	0	1.43	62.298
2	Hull Cont.	30.50	9.57	291.841	0	0	1.31	39.949
3	Spuds	9.484	-0.5	-4.742	0	0	7.24	68.664
4	Ladder	15.875	18.4	292.100	0	0	1.33	21.114
5	Machinery	6.7	6.73	45.091	0	0	1.42	9.514
6	Miscellaneous	10.70						
Total :		116.82		1073.879		0		201.539
			LCG LWT : 9.193	TCG LWT : 0		KG LWT : 1.725		

Displacement = LWT + DWT

LWT = 116.82 ton

DWT = 38.22872 ton

Fulload Dispc. = 155.049 ton

Desain Displc. = 155.952 ton

Margin = 0.90 ton

0.58%

**PERHITUNGAN FREEBOARD
BERDASARKAN PERATURAN KEMENTERIAN TRANSPORTASI (PM 39 TAHUN 2016)**

NAMA PROJEK		Ukuran Utama
Nama kapal :	Kapal Survey	Loa = 30.50 m
Tipe kapal :	Kapal Tipe B	B = 9.20 m
Owner :		H = 1.40 m
		T = 0.95 m
DEFINISI-DEFINISI & UKURAN UTAMA		
	Perhitungan / Uraian	Hasil
1	Input Data <u>Kapal Tipe A</u> Kapal yang di desain hanya untuk mengangkut muatan cair dalam bentuk curah dan di mana tangki ruang muat memiliki hanya akses bukaan yang sangat kecil yang ditutup dengan penutup kedap air yang terbuat dari baja atau material yang sepadan. <u>Kapal Tipe B</u> Kapal selain tipe A	Tipe Kapal = Kapal Tipe B
2	Panjang Kapal, L $L_1 =$ Panjang yang diukur pada 96% dari panjang garis air dengan <i>depth</i> 85% diukur dari sebelah atas lunas dimana, $85\% H = 1.19 \text{ m}$ $L_{wl \text{ at } 85\%H} = 21 \text{ m}$ $L_1 = 0.96 \times L_{wl \text{ at } 85\%H}$ $= 20.160 \text{ m}$ $L_2 =$ Panjang garis air diukur dari linggi haluan sampai sumbu poros kemudi $= L_{pp}$ $= 21 \text{ m}$ $L = L_1 \text{ atau } L_2, \text{ diambil yang terbesar}$ $= 21.000 \text{ m}$	L = 21.000 m
3	Lambung timbul awal (fb) <u>Kapal Tipe A</u> $fb = 0.5 L$ untuk $L \leq 50$ $= 10.50 \text{ cm}$ $fb = 0.8 (L/10)^2 + L/10$ untuk $L > 50$ $= 5.63 \text{ cm}$ <u>Kapal Tipe B</u> $fb = 0.8 L$ untuk $L \leq 50$ $= 16.80 \text{ cm}$ $fb = (L/10)^2 + L/10 + 10$ untuk $L > 50$ $= 16.51 \text{ cm}$	Fb Awal = 16.80 cm
4	Koreksi Coefficient Block (Cb) $C_b = 0.837$ Apabila $C_b > 0.68$, maka fb harus dikalikan dengan faktor : $\frac{0.68 + C_b}{1.36}$ maka : 1.115441176	Ada koreksi Cb
5	Koreksi tinggi (H) $H = 1.40 \text{ m}$ $L/15 = 1.40 \text{ m}$ Apabila $H > L/15$, lambung timbul ditambah dengan : $20 (H - L/15)$ untuk $L \leq 50$ 0.00 cm $(0.1 L + 15) (H - L/15)$ untuk $50 < L \leq 100$ 0.00 cm $25 (H - L/15)$ untuk $L > 100$ 0.00 cm maka, Koreksi tinggi = 0.00 cm	Koreksi tinggi = 0.00 cm

PERHITUNGAN FREEBOARD
BERDASARKAN PERATURAN KEMENTERIAN TRANSPORTASI (PM 39 TAHUN 2016)

NAMA PROJEK		Ukuran Utama																																	
Nama kapal :	Kapal Survey	Loa =	30.50 m																																
Tipe kapal :	Kapal Tipe B	B =	9.20 m																																
Owner :		H =	1.40 m																																
		T =	0.95 m																																
DEFINISI-DEFINISI & UKURAN UTAMA																																			
	Perhitungan / Uraian	Hasil																																	
6	<p>Koreksi bangunan atas dan trunk Bangunan Atas adalah bangunan tertutup di geladak lambung timbul yang membentang selebar kapal atau sekurang-kurangnya 96% lebar kapal. Trunk adalah bangunan sejenis yang tidak membentang sampai ke sisi kapal dapat dianggap memenuhi syarat apabila lebar dari trunk paling sedikit 60% dari lebar kapal Apabila kapal memiliki bangunan atas dan trunk, lambung timbul dikurangi dengan :</p> $\delta F_{S,} = 50 + \Sigma (l_s \cdot h_s) / L \quad [cm]$ <p>Dimana,</p> <p style="margin-left: 40px;">L = Panjang kapal [m] l_s = Panjang efektif bangunan atas atau trunk [m] l_s = S, jika bangunan atas memiliki h ≥ h_s l_s = panjang trunk x lebar rata-rata trunk / lebar kapal S = Panjang bangunan atas & trunk h_s = Tinggi standar bangunan atas atau trunk [m]</p> <p style="margin-left: 40px;">Tinggi standar bangunan atas harus memenuhi persyaratan berikut:</p> <p style="margin-left: 40px;">h_s = 1.8 m jika L ≤ 30 m 1.8 m jika L = 75 m 2.3 m jika L ≥ 125 m</p> <p style="margin-left: 40px;">Tinggi standar trunk = tinggi standar bangunan atas Apabila tinggi trunk < tinggi standar bangunan atas, maka h_s = panjang trunk x tinggi trunk / tinggi standar bangunan atas h = Tinggi dari bangunan atas & trunk [m] b = lebar bangunan atas dan trunk [m]</p> <p style="margin-left: 40px;">96% B = 8.832 m 60% B = 5.52 m</p>																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Nama</th> <th style="width: 15%;">Type</th> <th style="width: 10%;">b (m)</th> <th style="width: 10%;">S (m)</th> <th style="width: 10%;">l_s (m)</th> <th style="width: 10%;">h (m)</th> <th style="width: 10%;">h_s (m)</th> <th style="width: 10%;">l_s . h_s (m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Navigation Deck</td> <td>Bag. Atas</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0.0</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">Total</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Nama	Type	b (m)	S (m)	l _s (m)	h (m)	h _s (m)	l _s . h _s (m ²)	Navigation Deck	Bag. Atas	0	0.00	0.00	0	0.0	0.0								0.0	Total							0.0	<p>Koreksi Bangunan Atas =</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold;">0.00 cm</p>	
Nama	Type	b (m)	S (m)	l _s (m)	h (m)	h _s (m)	l _s . h _s (m ²)																												
Navigation Deck	Bag. Atas	0	0.00	0.00	0	0.0	0.0																												
							0.0																												
Total							0.0																												
	<p>maka,</p> <p style="margin-left: 40px;">$\delta F_{S,} = 0.00 \text{ cm}$</p>																																		
7	<p>Koreksi lengkung memanjang $A = 1/6 [2.5 (L + 30) - 100 (S_f + S_a)] [0.75 - (S/2L)] \quad [cm]$ S_f = 0.625 m S_a = 0 m S = 0.00 m A = 8.13 cm B = 0.125 L [cm] 2.63 cm</p> <p>Koreksi lengkung memanjang kapal ditetapkan sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. A > 0, koreksi ditetapkan A cm 2. A < 0, dan harga mutlak A lebih besar B, koreksi ditetapkan -B cm 3. A < 0, dan harga mutlak A lebih kecil B, koreksi ditetapkan A cm <p>Dimana,</p> <p style="margin-left: 40px;">S_f = Tinggi lengkung memanjang pada posisi garis FP [m] S_a = Tinggi lengkung memanjang pada posisi garis AP [m] S = Panjang seluruh bangunan atas tertutup [m]</p> <p>maka'</p> <p style="margin-left: 40px;">Koreksi shear = 0.00 cm</p>	<p>Koreksi shear =</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold;">0.00 cm</p>																																	

PERHITUNGAN FREEBOARD
BERDASARKAN PERATURAN KEMENTERIAN TRANSPORTASI (PM 39 TAHUN 2016)

NAMA PROJEK		Ukuran Utama											
Nama kapal :	Kapal Survey	Loa =	30.50 m										
Tipe kapal :	Kapal Tipe B	B =	9.20 m										
Owner :		H =	1.40 m										
		T =	0.95 m										
DEFINISI-DEFINISI & UKURAN UTAMA													
	Perhitungan / Uraian	Hasil											
8	Pengurangan lambung timbul Apabila lambung timbul dilengkapi dengan penutup palka baja, lambung timbul dikurangi : <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 30%;">Panjang (L)</td> <td style="width: 15%;">≤ 100 m</td> <td style="width: 15%;">110 m</td> <td style="width: 15%;">120 m</td> <td style="width: 25%;">≥ 130 m</td> </tr> <tr> <td>Pengurangan (cm)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">12</td> </tr> </table>	Panjang (L)	≤ 100 m	110 m	120 m	≥ 130 m	Pengurangan (cm)	4	5	8	12	Koreksi Tutup Palka 0 cm	
Panjang (L)	≤ 100 m	110 m	120 m	≥ 130 m									
Pengurangan (cm)	4	5	8	12									
9	Lambung timbul minimum 1. Lambung timbul minimum kapal tipe A adalah lambung timbul setelah dikoreksi dengan penambahan atau pengurangan, besarnya tidak boleh kurang dari 5 cm 2. Lambung timbul minimum kapal tipe B adalah lambung timbul setelah dikoreksi dengan penambahan atau pengurangan, besarnya tidak boleh kurang dari 15 cm	Lambung timbul min 15 cm											
10	Koreksi tinggi haluan minimum $Fb = 0.35 \times [6075 (L/100) - 1875 (L/100)^2 + 200 (L/100)^3] \times [2.08 + 0.609Cb - 1.603Cwf - 0.0129 (L/d1)]$ $= 894.0 \text{ mm}$ $= 89.40 \text{ cm}$ Dimana : Fb = Perhitungan tinggi haluan minimum [mm] d1 = sarat pada 85 % tinggi kapal [m] $= 1.190 \text{ m}$ Cwf = koefisien garis air di depan L/2 ; $Cwf = Awf / \{(L/2) \times B\}$; Awf = luas bidang air di depan L/2 pada sarat d1 [m ²] $= 44.847 \text{ m}^2$ Cwf = 0.140	Koreksi tinggi haluan = 89.40 cm											
11	Koreksi air tawar Koreksi air tawar di tetapkan 1/48 dari sarat air laut pada pusat lingkaran marka garis muat.	Koreksi Air Tawar 2.9 cm											
12	Perhitungan total koreksi freeboard Freeboard summer Freeboard awal 16.80 cm Koreksi Freeboard Initial freeboard setelah koreksi Cb 18.74 cm Koreksi tinggi 0.00 cm Koreksi bangunan atas 0.00 cm Koreksi sheer 0.00 cm Pengurangan koreksi tutup palka 0 cm <hr style="width: 80%; margin-left: 0;"/> Summer Freeboard Final minimal = 18.74 cm Freeboard Fresh water Summer Freeboard Final minimal 18.74 cm Koreksi Air Tawar 2.9 cm <hr style="width: 80%; margin-left: 0;"/> Fresh Water Freeboard 21.66 cm	Freeboard summer 18.74 cm											
13	Kesimpulan Freeboard minimal (dari regulasi) = 15 cm Summer Freeboard Final minimal = 18.74 cm Freeboard design = 45 cm Memenuhi aturan freeboard MINISTRY OF TRANSPORTATION REGULATIONS (PM 39 , 2016)	Memenuhi											

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - Loadcase 1 - LWT

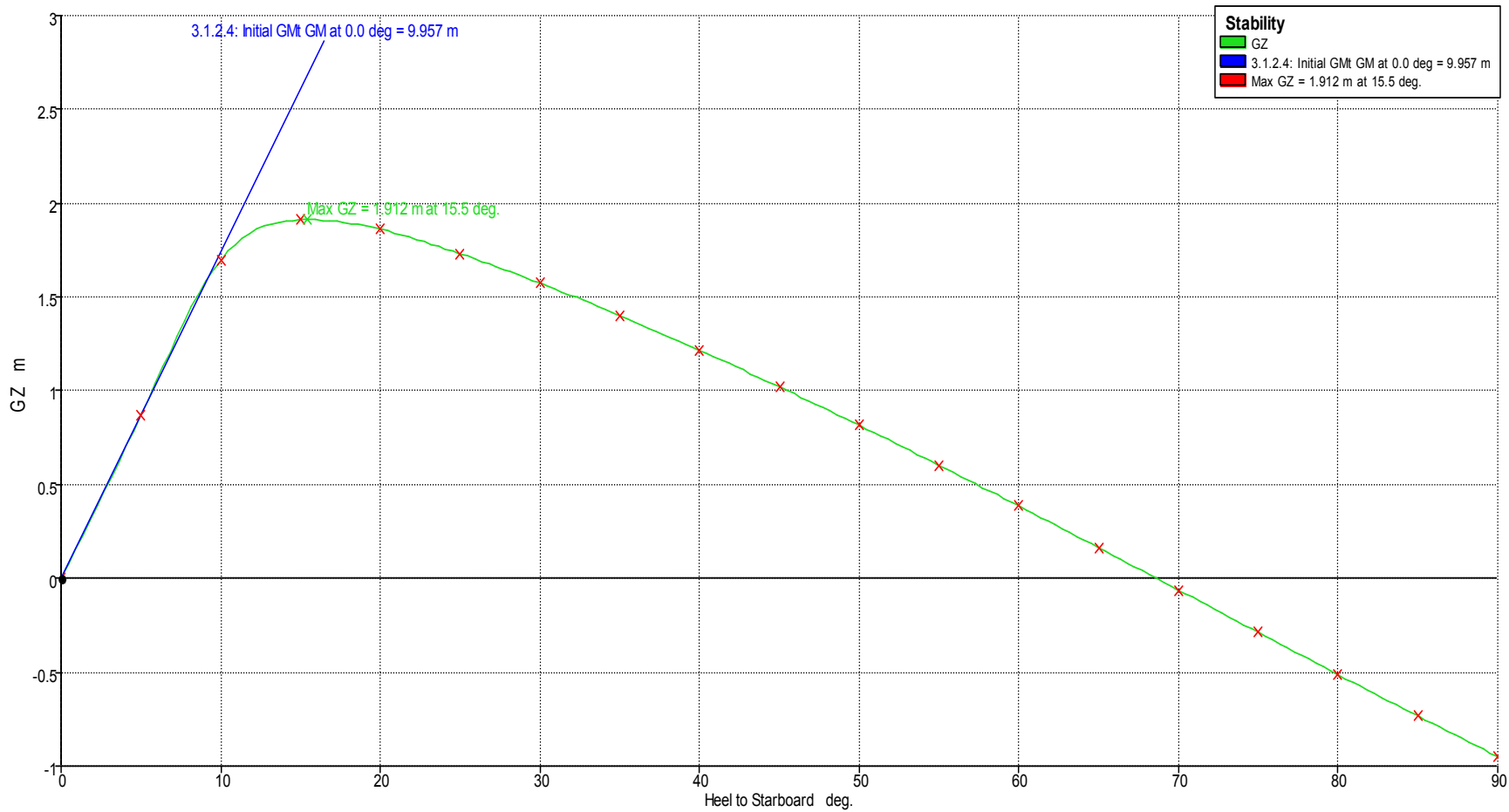
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	117.200	117.200			9.200	0.000	1.810	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	0%	19.115	0.000	22.226	0.000	6.014	3.100	0.000	0.000	Actual
Fuel Tank Stbd	0%	19.115	0.000	22.226	0.000	6.014	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.009	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.009	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	17.408	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	17.408	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			117.200	88.897	0.000	9.200	0.000	1.810	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								1.810		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.872	1.697	1.911	1.861	1.730	1.574	1.401	1.216	1.020
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	2.1456	8.7250	17.9662	27.4446	36.4435	44.7116	52.1576	58.7043	64.2975
Displacement t	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2
Draft at FP m	0.674	0.674	0.668	0.637	0.553	0.351	0.126	-0.138	-0.435	-0.766
Draft at AP m	0.768	0.768	0.780	0.828	0.897	0.988	1.062	1.126	1.173	1.199
WL Length m	21.000	21.000	21.000	21.001	21.003	21.008	21.016	21.026	21.037	21.047
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	8.062	5.409	4.325	4.104	3.972	3.916	3.914	3.818
Wetted Area m ²	212.473	212.554	217.571	216.802	213.221	210.579	209.615	208.700	208.137	208.017
Waterpl. Area m ²	162.430	162.997	137.916	81.493	53.486	45.246	41.861	40.015	39.017	38.527
Prismatic coeff. (Cp)	0.790	0.790	0.789	0.785	0.774	0.751	0.732	0.714	0.699	0.687
Block coeff. (Cb)	0.790	0.518	0.442	0.518	0.534	0.479	0.436	0.400	0.370	0.356
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.194	9.194	9.192	9.184	9.170	9.142	9.115	9.084	9.055	9.031
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.421	9.210	8.273	6.935	6.409	6.238	6.169	6.131	6.098
Max deck inclination deg	0.2576	5.0066	10.0045	15.0084	20.0190	25.0472	30.0750	35.1007	40.1190	45.1269
Trim angle (+ve by stern) deg	0.2576	0.2585	0.3069	0.5254	0.9465	1.7533	2.5733	3.4717	4.4160	5.3892

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	0.816	0.604	0.386	0.163	-0.062	-0.288	-0.512	-0.734	-0.951
Area under GZ curve from zero heel m.deg	68.8916	72.4448	74.9217	76.2962	76.5512	75.6779	73.6774	70.5595	66.3463
Displacement t	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2	117.2
Draft at FP m	-1.166	-1.665	-2.305	-3.146	-4.335	-6.212	-9.787	-20.307	n/a
Draft at AP m	1.210	1.214	1.208	1.181	1.124	1.002	0.705	-0.218	n/a
WL Length m	21.056	21.066	21.075	21.081	21.084	21.084	21.080	21.074	21.066
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	208.058	208.105	208.079	207.984	207.703	207.508	207.570	207.705	207.908
Waterpl. Area m ²	37.910	37.230	36.599	35.903	35.128	34.550	33.996	33.614	33.386
Prismatic coeff. (Cp)	0.678	0.673	0.670	0.669	0.670	0.672	0.677	0.682	0.689
Block coeff. (Cb)	0.368	0.379	0.390	0.401	0.413	0.425	0.438	0.451	0.466
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.007	8.986	8.968	8.957	8.951	8.952	8.963	8.977	8.992
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	6.191	6.367	6.579	6.778	6.957	7.098	7.146	7.153	7.120
Max deck inclination deg	50.1287	55.1254	60.1169	65.1023	70.0833	75.0613	80.0384	85.0176	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	6.5100	7.8706	9.5740	11.7365	14.6858	19.1025	26.7358	43.9638	90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	44.7116	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	58.7043	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	13.9928	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.574	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	15.5	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	9.957	Pass

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

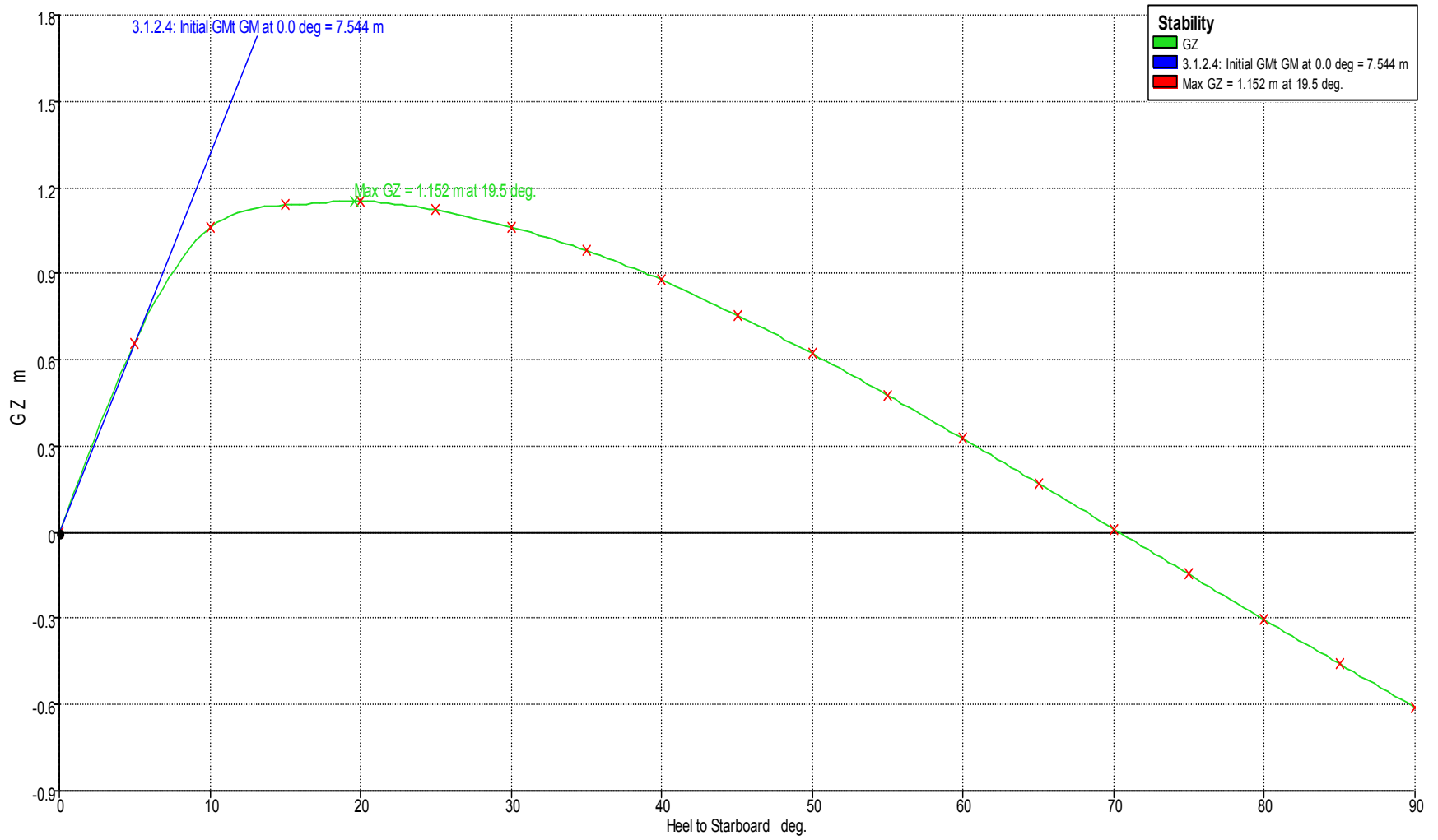
Loadcase - Loadcase 2 HEAVY FREE FLOATING- Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	117.200	117.200			9.200	0.000	1.810	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	3.100	0.700	0.000	Actual
Fuel Tank Stbd	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	-3.100	0.700	0.000	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.007	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.007	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	17.408	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	17.408	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			155.429	88.897	44.453	9.077	0.000	1.537	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								1.537		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.660	1.059	1.138	1.152	1.121	1.061	0.980	0.878	0.756
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	1.7078	6.1504	11.7246	17.4577	23.1582	28.6229	33.7368	38.3905	42.4819
Displacement t	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4
Draft at FP m	0.852	0.852	0.903	1.172	1.474	1.789	2.127	2.500	2.925	3.424
Draft at AP m	1.051	1.051	1.135	1.235	1.302	1.326	1.315	1.269	1.199	1.107
WL Length m	21.001	21.001	21.001	21.000	21.001	21.004	21.012	21.025	21.042	21.065
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	7.543	6.419	5.766	5.437	5.232	4.707	4.200	3.818
Wetted Area m ²	228.189	229.831	274.115	284.593	274.962	269.328	265.881	264.055	263.482	263.406
Waterpl. Area m ²	162.435	161.339	113.118	100.421	87.651	79.314	73.600	68.763	63.438	58.474
Prismatic coeff. (Cp)	0.766	0.767	0.771	0.790	0.776	0.750	0.729	0.711	0.697	0.687
Block coeff. (Cb)	0.766	0.554	0.512	0.484	0.434	0.381	0.341	0.335	0.338	0.341
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.067	9.067	9.065	9.074	9.088	9.107	9.130	9.157	9.187	9.218
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.502	9.358	8.604	8.581	8.564	8.555	8.560	8.590	8.626
Max deck inclination deg	0.5452	5.0296	10.0195	15.0009	20.0047	25.0248	30.0565	35.0955	40.1370	45.1763
Trim angle (+ve by stern) deg	0.5452	0.5473	0.6373	0.1737	-0.4736	-1.2716	-2.2323	-3.3800	-4.7374	-6.3491

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	0.621	0.476	0.325	0.170	0.012	-0.147	-0.304	-0.458	-0.610
Area under GZ curve from zero heel m.deg	45.9305	48.6779	50.6844	51.9229	52.3764	52.0389	50.9124	49.0055	46.3346
Displacement t	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4	155.4
Draft at FP m	4.026	4.773	5.730	7.036	8.938	12.025	18.066	35.909	n/a
Draft at AP m	0.991	0.842	0.652	0.389	0.009	-0.598	-1.770	-5.190	n/a
WL Length m	21.092	21.123	21.155	21.190	21.225	21.257	21.285	21.308	21.325
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	263.491	263.634	263.771	263.922	264.016	263.959	263.767	263.564	263.332
Waterpl. Area m ²	54.341	51.048	48.411	46.310	44.628	43.234	42.100	41.302	40.814
Prismatic coeff. (Cp)	0.678	0.670	0.663	0.657	0.651	0.646	0.641	0.637	0.633
Block coeff. (Cb)	0.343	0.344	0.346	0.347	0.348	0.349	0.351	0.353	0.355
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.250	9.282	9.309	9.337	9.361	9.380	9.393	9.399	9.400
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.658	8.672	8.675	8.670	8.659	8.639	8.613	8.587	8.561
Max deck inclination deg	50.2092	55.2326	60.2427	65.2395	70.2204	75.1854	80.1353	85.0725	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-8.2911	-10.6864	-13.7007	-17.6993	-23.2036	-31.2185	-43.6009	-63.1241	-90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	28.6229	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	38.3905	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	9.7676	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.061	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	19.5	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	7.544	Pass

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - Loadcase 3 HEAVY WORKING

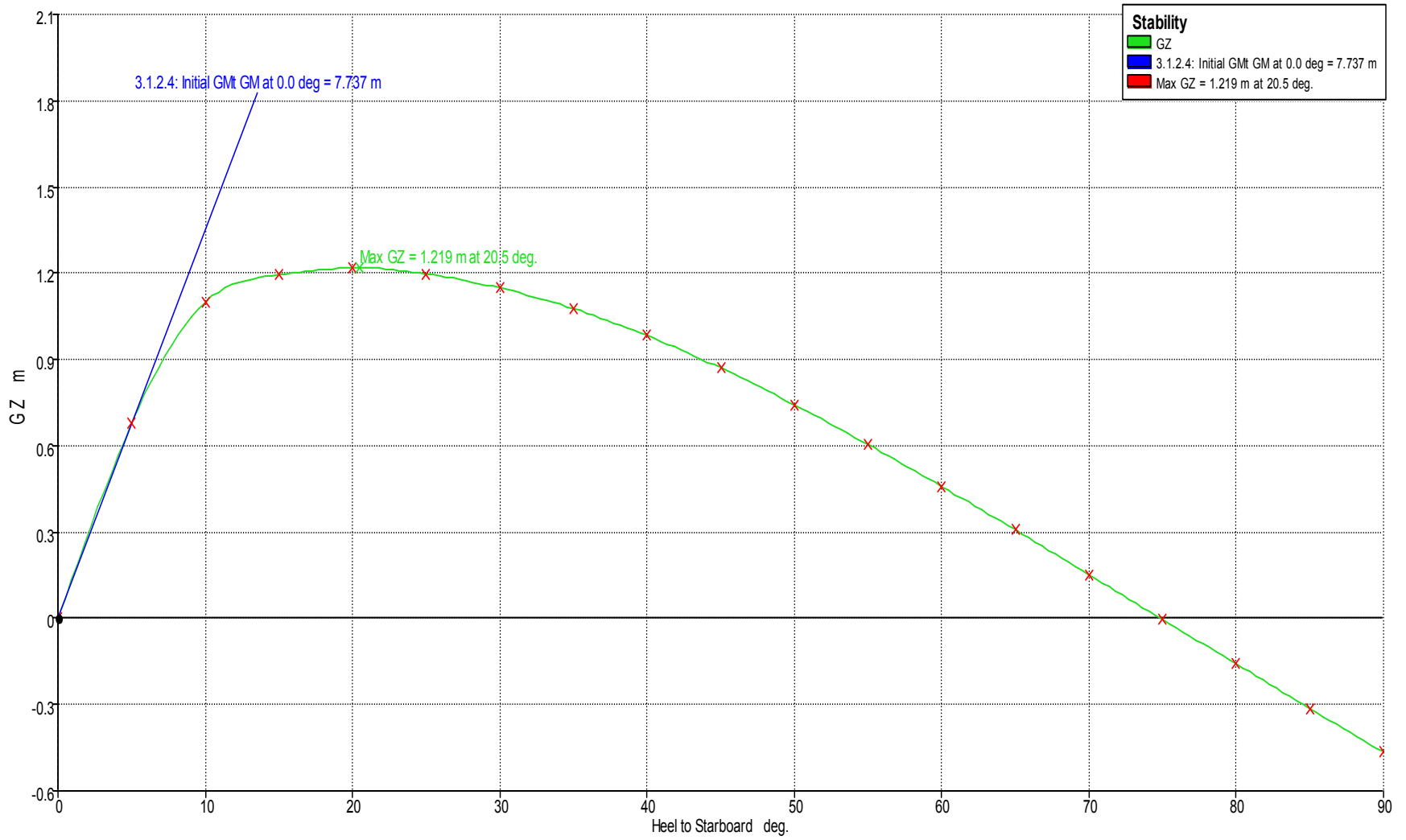
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	116.300	116.300			9.200	0.000	1.620	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	3.100	0.700	0.000	Actual
Fuel Tank Stbd	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	-3.100	0.700	0.000	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			154.529	88.897	44.453	9.076	0.000	1.392	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								1.392		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.677	1.100	1.194	1.218	1.198	1.148	1.077	0.983	0.870
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	1.7475	6.3347	12.1555	18.1966	24.2556	30.1295	35.7013	40.8601	45.5009
Displacement t	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5
Draft at FP m	0.848	0.848	0.896	1.161	1.460	1.770	2.104	2.473	2.893	3.386
Draft at AP m	1.044	1.044	1.126	1.227	1.294	1.318	1.306	1.261	1.190	1.097
WL Length m	21.001	21.001	21.001	21.000	21.001	21.004	21.012	21.024	21.041	21.063
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	7.582	6.398	5.732	5.405	5.205	4.707	4.200	3.818
Wetted Area m ²	227.813	229.103	272.871	283.599	274.002	268.374	264.922	263.049	262.424	262.316
Waterpl. Area m ²	162.435	161.731	114.018	99.655	86.969	78.683	73.000	68.278	63.108	58.230
Prismatic coeff. (Cp)	0.766	0.767	0.771	0.790	0.776	0.750	0.729	0.712	0.697	0.687
Block coeff. (Cb)	0.766	0.553	0.509	0.484	0.436	0.383	0.342	0.335	0.338	0.340
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.070	9.069	9.066	9.073	9.086	9.103	9.125	9.150	9.179	9.209
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.485	9.368	8.584	8.559	8.538	8.525	8.524	8.563	8.602
Max deck inclination deg	0.5378	5.0288	10.0191	15.0010	20.0044	25.0238	30.0546	35.0927	40.1334	45.1719
Trim angle (+ve by stern) deg	0.5378	0.5399	0.6312	0.1831	-0.4567	-1.2449	-2.1945	-3.3303	-4.6752	-6.2711

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	0.743	0.605	0.459	0.307	0.153	-0.003	-0.159	-0.314	-0.466
Area under GZ curve from zero heel m.deg	49.5391	52.9114	55.5717	57.4886	58.6406	59.0150	58.6086	57.4244	55.4735
Displacement t	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5	154.5
Draft at FP m	3.979	4.717	5.669	6.956	8.840	11.900	17.890	35.589	n/a
Draft at AP m	0.979	0.829	0.632	0.368	-0.021	-0.646	-1.854	-5.386	n/a
WL Length m	21.090	21.120	21.153	21.187	21.221	21.254	21.283	21.306	21.324
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	262.380	262.509	262.659	262.769	262.840	262.742	262.581	262.409	262.215
Waterpl. Area m ²	54.131	50.860	48.243	46.137	44.443	43.016	41.900	41.115	40.642
Prismatic coeff. (Cp)	0.678	0.670	0.663	0.657	0.651	0.646	0.641	0.637	0.633
Block coeff. (Cb)	0.342	0.344	0.345	0.346	0.347	0.349	0.350	0.352	0.354
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.240	9.272	9.302	9.328	9.353	9.374	9.389	9.398	9.402
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.639	8.657	8.662	8.658	8.647	8.626	8.600	8.575	8.550
Max deck inclination deg	50.2044	55.2276	60.2389	65.2353	70.2171	75.1831	80.1341	85.0721	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-8.1956	-10.5725	-13.5949	-17.5515	-23.0452	-31.0609	-43.4674	-63.0536	-90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	30.1295	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	40.8601	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	10.7306	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.148	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	20.5	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	7.737	Pass

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - Loadcase 4 MEAN WORKING

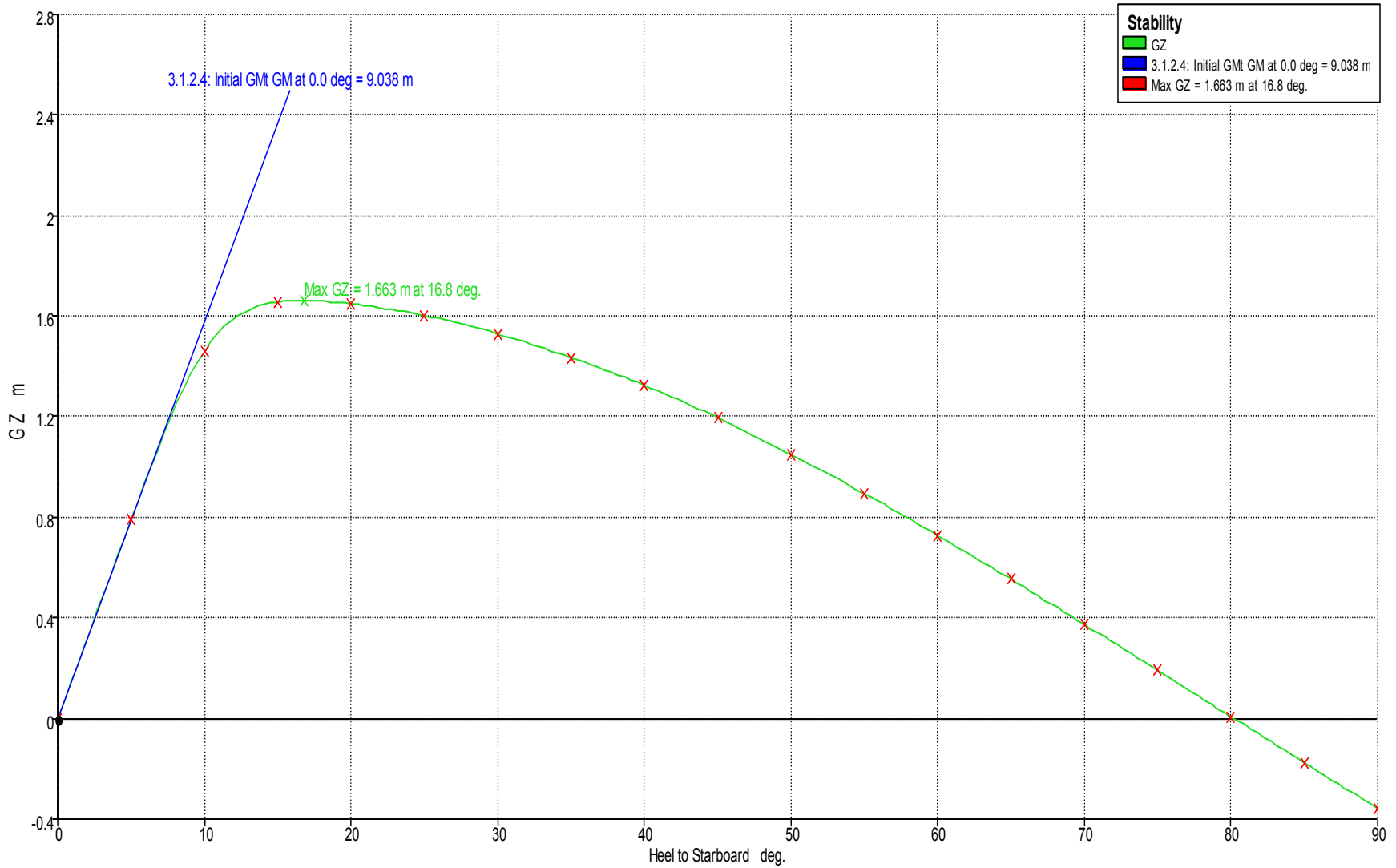
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	116.300	116.300			9.200	0.000	1.220	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	50%	19.115	9.557	22.226	11.113	8.700	3.100	0.350	10.449	Actual
Fuel Tank Stbd	50%	19.115	9.557	22.226	11.113	8.700	-3.100	0.350	10.449	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			135.415	88.897	22.226	9.129	0.000	1.097	20.898	
FS correction								0.154		
VCG fluid								1.252		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.791	1.463	1.656	1.649	1.603	1.529	1.435	1.324	1.196
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	1.9793	7.7566	15.7215	24.0154	32.1553	39.9956	47.4135	54.3183	60.6252
Displacement t	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4
Draft at FP m	0.759	0.758	0.777	0.912	1.158	1.418	1.701	2.018	2.376	2.803
Draft at AP m	0.903	0.903	0.937	1.030	1.066	1.060	1.019	0.940	0.824	0.663
WL Length m	21.001	21.001	21.001	21.000	21.000	21.003	21.008	21.019	21.034	21.055
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	8.062	5.635	4.961	4.704	4.552	4.473	4.200	3.818
Wetted Area m ²	219.914	220.025	247.537	259.193	252.240	247.131	243.849	241.656	240.241	239.566
Waterpl. Area m ²	162.432	163.052	132.093	82.866	71.115	64.205	59.411	56.023	53.312	50.338
Prismatic coeff. (Cp)	0.776	0.776	0.779	0.789	0.791	0.764	0.741	0.722	0.705	0.690
Block coeff. (Cb)	0.776	0.537	0.465	0.524	0.488	0.424	0.375	0.335	0.321	0.322
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.124	9.122	9.122	9.124	9.135	9.152	9.174	9.201	9.230	9.266
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.422	9.380	8.212	8.018	7.972	7.935	7.907	7.877	7.888
Max deck inclination deg	0.3960	5.0156	10.0094	15.0032	20.0014	25.0149	30.0399	35.0733	40.1108	45.1505
Trim angle (+ve by stern) deg	0.3960	0.3976	0.4420	0.3243	-0.2543	-0.9844	-1.8772	-2.9615	-4.2614	-5.8670

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	1.051	0.894	0.728	0.553	0.374	0.191	0.007	-0.176	-0.358
Area under GZ curve from zero heel m.deg	66.2484	71.1166	75.1755	78.3811	80.7010	82.1148	82.6119	82.1888	80.8519
Displacement t	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4	135.4
Draft at FP m	3.320	3.949	4.751	5.842	7.427	9.993	15.003	29.821	n/a
Draft at AP m	0.455	0.194	-0.143	-0.606	-1.281	-2.371	-4.494	-10.766	n/a
WL Length m	21.082	21.112	21.144	21.179	21.214	21.246	21.276	21.301	21.318
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	239.236	238.988	238.889	238.913	238.972	239.028	239.057	239.078	238.995
Waterpl. Area m ²	47.666	45.191	43.013	41.184	39.720	38.576	37.714	37.125	36.765
Prismatic coeff. (Cp)	0.677	0.668	0.660	0.653	0.646	0.641	0.636	0.631	0.627
Block coeff. (Cb)	0.322	0.323	0.324	0.325	0.326	0.327	0.328	0.330	0.332
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.306	9.343	9.378	9.413	9.445	9.472	9.493	9.510	9.516
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.967	8.022	8.055	8.090	8.110	8.119	8.118	8.113	8.098
Max deck inclination deg	50.1866	55.2125	60.2256	65.2256	70.2098	75.1780	80.1308	85.0708	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-7.8330	-10.2201	-13.2206	-17.2025	-22.6873	-30.6922	-43.1085	-62.8333	-90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	39.9956	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	54.3183	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	14.3227	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.529	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	16.8	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	9.038	Pass

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - Loadcase 5 LIGHT WORKING

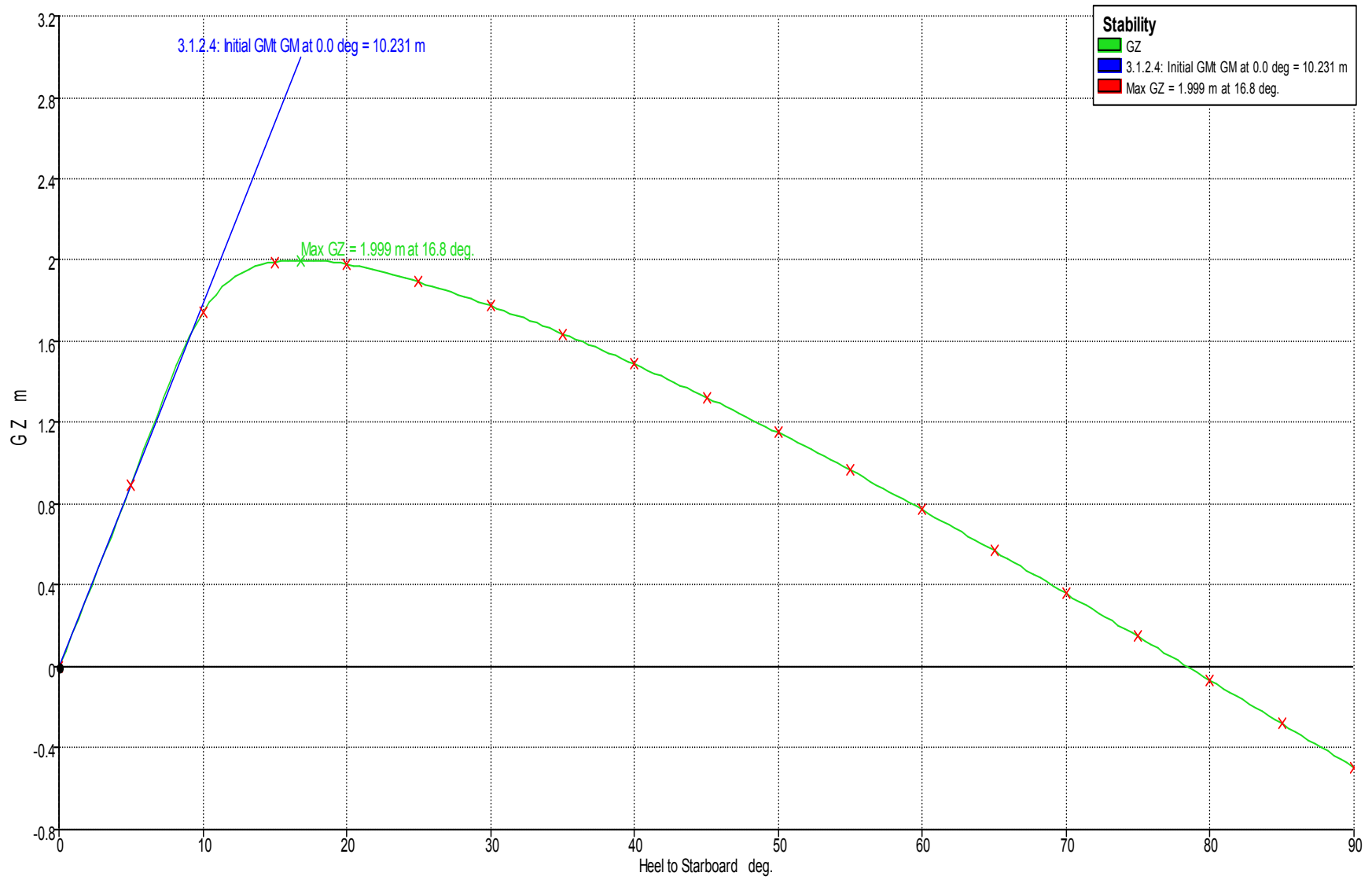
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	115.300	115.300			9.200	0.000	1.220	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	10%	19.115	1.911	22.226	2.223	8.700	3.100	0.070	10.449	Actual
Fuel Tank Stbd	10%	19.115	1.911	22.226	2.223	8.700	-3.100	0.070	10.449	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			119.123	88.897	4.445	9.184	0.000	1.183	20.898	
FS correction								0.175		
VCG fluid								1.359		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.895	1.741	1.989	1.979	1.891	1.774	1.638	1.487	1.324
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	2.2073	8.9539	18.4952	28.4613	38.1573	47.3276	55.8636	63.6812	70.7119
Displacement t	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1
Draft at FP m	0.682	0.682	0.678	0.663	0.637	0.566	0.447	0.306	0.120	-0.099
Draft at AP m	0.783	0.783	0.797	0.851	0.912	0.969	1.014	1.042	1.059	1.055
WL Length m	21.000	21.000	21.000	21.001	21.002	21.003	21.006	11.405	11.407	11.409
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	8.062	5.409	4.369	4.057	3.876	3.770	3.736	3.754
Wetted Area m ²	213.231	213.321	221.143	221.270	220.086	216.479	215.197	214.121	213.537	213.401
Waterpl. Area m ²	162.430	163.008	137.933	81.524	53.891	43.270	40.177	38.436	37.429	37.001
Prismatic coeff. (Cp)	0.787	0.787	0.787	0.785	0.780	0.771	0.761	1.385	1.368	1.352
Block coeff. (Cb)	0.787	0.520	0.444	0.521	0.534	0.495	0.461	0.794	0.742	0.696
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.180	9.180	9.178	9.172	9.165	9.157	9.143	9.129	9.113	9.099
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.421	9.210	8.274	6.888	5.665	5.479	5.425	5.381	5.335
Max deck inclination deg	0.2786	5.0077	10.0052	15.0081	20.0121	25.0189	30.0276	35.0343	40.0407	45.0439
Trim angle (+ve by stern) deg	0.2786	0.2797	0.3279	0.5173	0.7571	1.1078	1.5603	2.0244	2.5810	3.1719

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	1.150	0.966	0.771	0.569	0.360	0.148	-0.067	-0.281	-0.494
Area under GZ curve from zero heel m.deg	76.8992	82.1922	86.5379	89.8901	92.2143	93.4852	93.6886	92.8192	90.8817
Displacement t	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1	119.1
Draft at FP m	-0.359	-0.832	-1.700	-2.549	-3.736	-5.560	-8.992	-18.881	n/a
Draft at AP m	1.025	1.024	1.111	1.110	1.093	1.021	0.816	0.085	n/a
WL Length m	11.410	11.415	21.048	21.058	21.066	21.070	21.070	21.066	21.059
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	213.611	213.857	213.272	212.800	212.300	211.922	211.667	211.634	211.798
Waterpl. Area m ²	36.599	35.419	34.407	33.364	32.646	32.163	31.888	31.663	31.458
Prismatic coeff. (Cp)	1.341	1.320	0.695	0.688	0.684	0.683	0.684	0.688	0.693
Block coeff. (Cb)	0.709	0.728	0.401	0.411	0.420	0.431	0.443	0.456	0.470
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.086	9.062	9.015	8.996	8.980	8.971	8.971	8.978	8.989
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	5.345	5.412	5.673	5.859	6.058	6.232	6.385	6.451	6.418
Max deck inclination deg	50.0438	55.0523	60.0750	65.0733	70.0652	75.0511	80.0336	85.0157	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	3.8024	5.0934	7.6855	9.9648	13.0530	17.5319	25.2138	42.3199	90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	47.3276	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	63.6812	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	16.3537	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.774	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	16.8	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	10.231	Pass

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - Loadcase 6 SHALLOW DIGGING - Copy

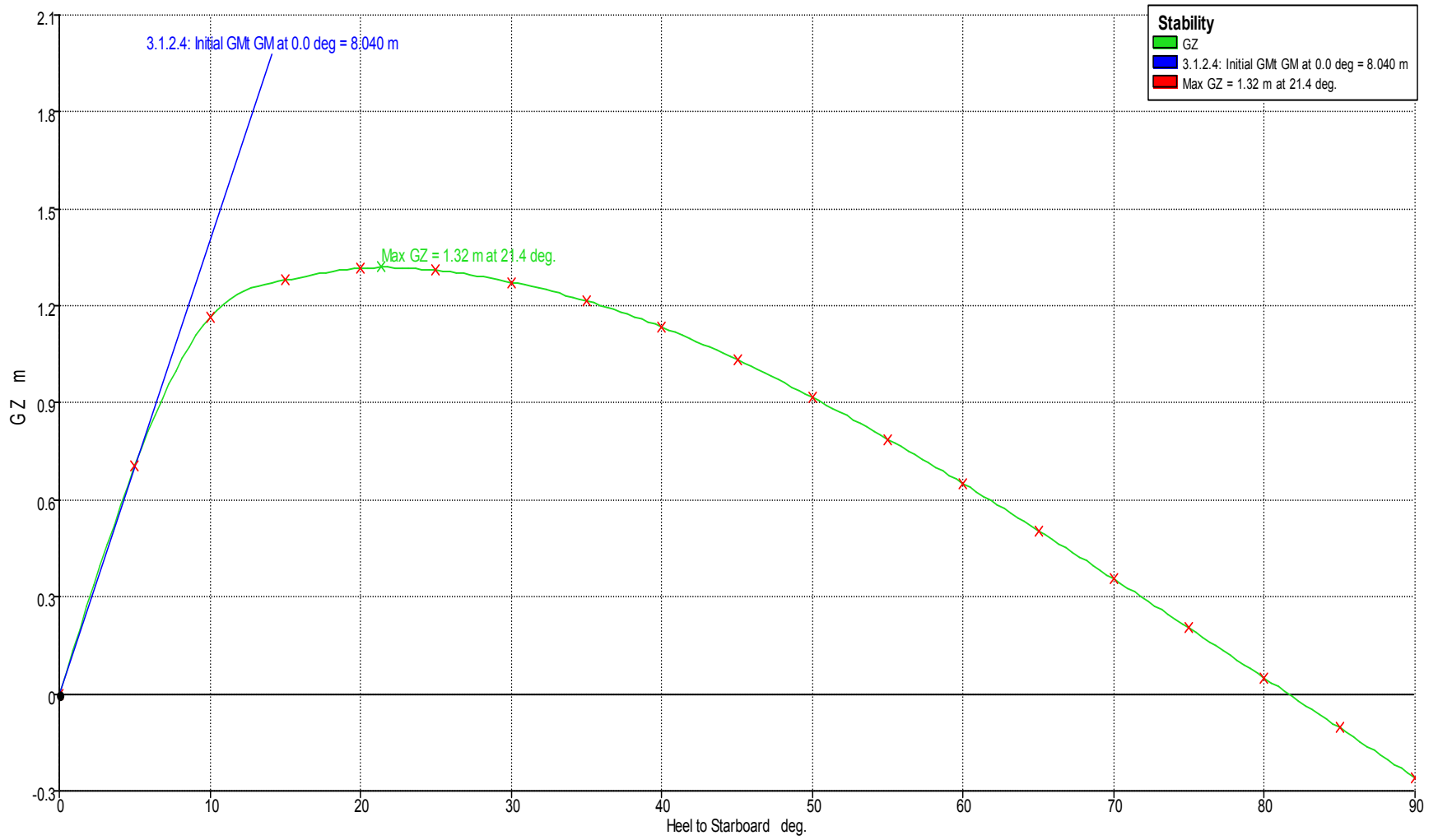
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	114.600	114.600			9.270	0.000	1.340	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	3.100	0.700	0.000	Actual
Fuel Tank Stbd	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	-3.100	0.700	0.000	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			152.829	88.897	44.453	9.127	0.000	1.180	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								1.180		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.704	1.165	1.279	1.317	1.310	1.274	1.215	1.135	1.034
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	1.8098	6.6286	12.8326	19.3333	25.9184	32.3861	38.6174	44.5008	49.9291
Displacement t	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8
Draft at FP m	0.855	0.855	0.907	1.172	1.472	1.783	2.117	2.484	2.903	3.396
Draft at AP m	1.019	1.019	1.089	1.189	1.249	1.268	1.252	1.201	1.123	1.019
WL Length m	21.001	21.001	21.001	21.000	21.001	21.005	21.014	21.027	21.045	21.068
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	7.516	6.248	5.688	5.362	5.162	4.707	4.200	3.818
Wetted Area m ²	227.376	227.774	271.164	282.313	272.781	267.159	263.696	261.728	261.005	260.847
Waterpl. Area m ²	162.433	162.719	115.499	98.597	86.040	77.832	72.198	67.703	62.751	58.051
Prismatic coeff. (Cp)	0.777	0.777	0.781	0.801	0.774	0.749	0.728	0.711	0.696	0.685
Block coeff. (Cb)	0.777	0.557	0.517	0.498	0.432	0.381	0.341	0.330	0.334	0.336
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.123	9.122	9.121	9.127	9.139	9.154	9.174	9.198	9.225	9.255
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.439	9.297	8.637	8.610	8.587	8.572	8.565	8.580	8.596
Max deck inclination deg	0.4492	5.0201	10.0120	15.0001	20.0080	25.0308	30.0641	35.1038	40.1457	45.1854
Trim angle (+ve by stern) deg	0.4492	0.4509	0.5009	0.0445	-0.6140	-1.4168	-2.3781	-3.5245	-4.8860	-6.5112

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	0.917	0.788	0.650	0.505	0.356	0.203	0.049	-0.105	-0.259
Area under GZ curve from zero heel m.deg	54.8123	59.0803	62.6799	65.5712	67.7252	69.1233	69.7541	69.6128	68.7027
Displacement t	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8
Draft at FP m	3.992	4.733	5.691	6.994	8.895	11.975	18.026	35.914	n/a
Draft at AP m	0.887	0.718	0.495	0.191	-0.253	-0.962	-2.352	-6.427	n/a
WL Length m	21.096	21.128	21.163	21.199	21.236	21.270	21.301	21.327	21.347
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	260.893	261.009	261.147	261.269	261.313	261.177	261.066	260.946	260.823
Waterpl. Area m ²	53.990	50.717	48.093	45.980	44.255	42.796	41.697	40.926	40.483
Prismatic coeff. (Cp)	0.676	0.668	0.661	0.655	0.649	0.644	0.639	0.635	0.631
Block coeff. (Cb)	0.338	0.340	0.341	0.342	0.343	0.344	0.345	0.347	0.349
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.286	9.318	9.350	9.380	9.408	9.429	9.447	9.460	9.467
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.626	8.644	8.649	8.646	8.633	8.611	8.587	8.563	8.541
Max deck inclination deg	50.2188	55.2426	60.2540	65.2507	70.2312	75.1945	80.1427	85.0769	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-8.4780	-10.9099	-14.0052	-18.0868	-23.7118	-31.8446	-44.3726	-63.8058	-90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	32.3861	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	44.5008	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	12.1147	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.274	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	21.4	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	8.040	Pass

Stability calculation - dredger

Stability 21.10.00.39, build: 39

Model file: E:\TA\dredger (Highest precision, 507 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%(0.01000(0.100)); Trim%(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel%(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - Loadcase 7 MAXIMUM DIGGING

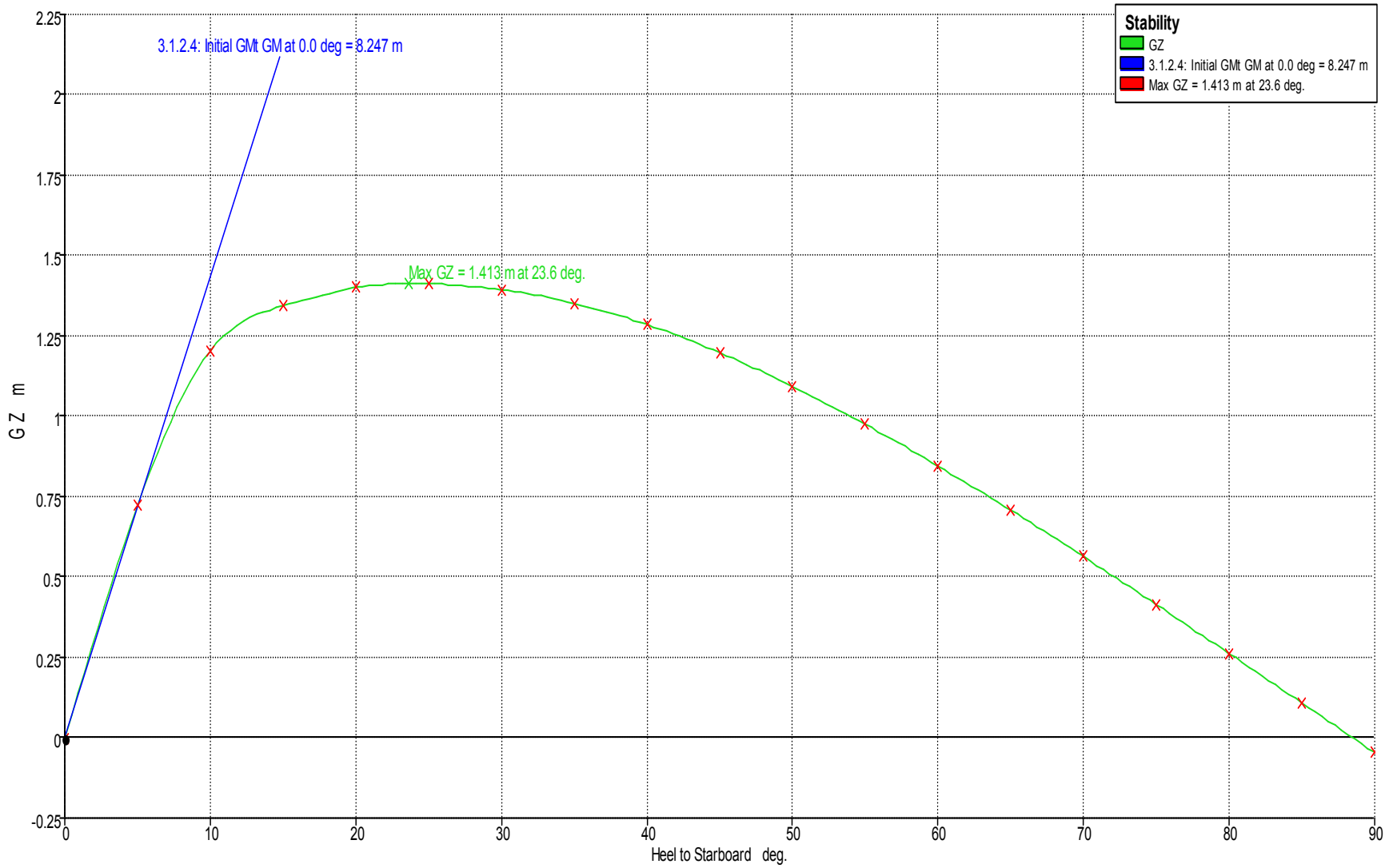
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.000; (Density = 1.000 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	114.600	114.600			9.130	0.000	1.065	0.000	User Specified
Fuel Tank Port	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	3.100	0.700	0.000	Actual
Fuel Tank Stbd	100%	19.115	19.115	22.226	22.226	8.700	-3.100	0.700	0.000	Actual
Water Ballast Aft Port	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Aft Stbd	0%	7.407	0.000	7.407	0.000	0.900	-3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Port	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	3.100	0.000	0.000	Actual
Water Ballast Fwd Stbd	0%	14.816	0.000	14.816	0.000	19.200	-3.100	0.000	0.000	Actual
Total Loadcase			152.829	88.897	44.453	9.022	0.000	0.974	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								0.974		



GZ = -0.000 m Heel to Starboard = 0.000 deg. Area (from zero heel) = 0 m. deg.

Heel to Starboard deg	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
GZ m	0.000	0.721	1.203	1.344	1.401	1.412	1.394	1.352	1.286	1.198
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0.0000	1.8533	6.8084	13.2694	20.1440	27.1954	34.2202	41.0934	47.6968	53.9149
Displacement t	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8
Draft at FP m	0.823	0.823	0.861	1.105	1.390	1.685	2.003	2.354	2.756	3.222
Draft at AP m	1.045	1.046	1.128	1.235	1.306	1.335	1.330	1.290	1.225	1.141
WL Length m	21.001	21.001	21.002	21.000	21.000	21.002	21.008	21.018	21.033	21.052
Beam max extents on WL m	9.200	9.235	7.790	6.419	5.647	5.332	5.138	4.707	4.200	3.818
Wetted Area m ²	226.806	228.021	269.807	281.054	271.522	265.900	262.424	260.462	259.769	259.579
Waterpl. Area m ²	162.437	161.813	116.080	97.739	85.255	77.081	71.462	66.920	61.943	57.268
Prismatic coeff. (Cp)	0.757	0.757	0.762	0.777	0.780	0.754	0.733	0.714	0.700	0.689
Block coeff. (Cb)	0.757	0.546	0.489	0.476	0.448	0.393	0.351	0.338	0.341	0.344
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.019	9.018	9.015	9.018	9.027	9.038	9.054	9.075	9.098	9.124
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9.422	9.483	9.457	8.453	8.416	8.382	8.355	8.337	8.404	8.499
Max deck inclination deg	0.6105	5.0370	10.0259	15.0039	20.0011	25.0142	30.0389	35.0715	40.1079	45.1424
Trim angle (+ve by stern) deg	0.6105	0.6128	0.7353	0.3593	-0.2303	-0.9625	-1.8518	-2.9248	-4.2037	-5.7077

Heel to Starboard deg	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
GZ m	1.093	0.975	0.846	0.708	0.563	0.414	0.262	0.108	-0.047
Area under GZ curve from zero heel m.deg	59.6504	64.8262	69.3810	73.2676	76.4485	78.8945	80.5860	81.5106	81.6630
Displacement t	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8	152.8
Draft at FP m	3.783	4.481	5.384	6.608	8.404	11.327	17.058	34.006	n/a
Draft at AP m	1.034	0.897	0.715	0.468	0.100	-0.497	-1.657	-5.062	n/a
WL Length m	21.075	21.102	21.131	21.162	21.194	21.225	21.254	21.279	21.298
Beam max extents on WL m	3.525	3.296	3.118	2.979	2.873	2.795	2.742	2.710	2.700
Wetted Area m ²	259.570	259.636	259.730	259.775	259.748	259.634	259.548	259.464	259.348
Waterpl. Area m ²	53.328	50.154	47.592	45.503	43.774	42.352	41.294	40.559	40.110
Prismatic coeff. (Cp)	0.679	0.672	0.665	0.658	0.653	0.647	0.642	0.638	0.634
Block coeff. (Cb)	0.346	0.347	0.349	0.350	0.351	0.352	0.353	0.355	0.356
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9.153	9.183	9.213	9.240	9.268	9.293	9.314	9.330	9.341
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8.560	8.592	8.607	8.608	8.597	8.577	8.555	8.531	8.506
Max deck inclination deg	50.1718	55.1937	60.2056	65.2047	70.1911	75.1630	80.1207	85.0657	90.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	-7.5177	-9.7623	-12.6342	-16.4229	-21.7348	-29.5808	-41.9402	-61.9354	-90.0000

No.	Criteria	Value	Units	Actual	Status
1.	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	34.2202	Pass
2.	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	47.6968	Pass
3.	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	13.4766	Pass
4.	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	1.394	Pass
5.	Angle of maximum GZ	15.0	deg	23.6	Pass
6.	Initial GMt	0.150	m	8.247	Pass

BIODATA PENULIS



Matias Adi Wiranata, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Sukoharjo pada 14 Juni 1993 silam, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Karangasem, kemudian melanjutkan ke SDN Karangasem I, SMPN 1 Sukoharjo dan SMAN 1 Sukoharjo. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *Staff* Departemen Pendidikan dan Keprofesian di Himatekpal ITS 2011/2012.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Gambar Teknik.

Email: matias.adiw@gmail.com.