

40627/H/110



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSPe
623.81
Wir
K-1
2010

TUGAS AKHIR - MN 091382

KONSEP DESAIN KAPAL PEMBERSIH SUNGAI : STUDI KASUS SUNGAI KEPETINGAN SIDOARJO

M. ARIEF MAULANA WIRANEGARA
N.R.P. 4105 100 006

Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2010

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl Terima:	6-8-2010
Terima Dari:	H
No Agenda Prp.	-

LEMBAR PENGESAHAN

KONSEP DESAIN KAPAL PEMBERSIH SUNGAI : STUDI KASUS SUNGAI KEPETINGAN SIDOARJO

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

M. ARIEF MAULANA W.
N.R.P. 4105 100 006

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D



SURABAYA, JUNI 2010

LEMBAR REVISI

KONSEP DESAIN KAPAL PEMBERSIH SUNGAI : STUDI KASUS SUNGAI KEPETINGAN SIDOARJO

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir
Tanggal 6 Juli 2010

pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

M. ARIEF MAULANA W
N.R.P. 4105 100 006

Disetujui oleh Dosen Penguji Tugas Akhir :



Ir. I.G.M Santosa



Ahmad Nasirudin, ST,M.Eng Prof. Ir. I.K.A. Pria Utama, M.Sc, Ph.D



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D



SURABAYA, JUNI 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga Tugas Akhir ini bisa selesai juga tepat pada waktunya, yang mana merupakan persyaratan sekaligus perjuangan terakhir untuk bisa meraih gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Perkapalan, FTK – ITS.

Tak lupa pula dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya, Drs. Muljohadi dan R.A Badiyah Syami, serta adik-adik saya, Firman dan Wulan, yang telah memberikan dukungan semangat serta doanya dalam setiap kesempatan.
2. Bapak Ir.Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan arahan serta masukan dalam setiap proses pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.
3. Bapak Ir. Triwilaswandio W.P, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Bapak Dr. Ing. Setyo Nugroho selaku Dosen Wali pertama.
5. Bapak Aries Sulisetyono, S.T. MA.sc. Ph,D selaku Dosen Wali kedua.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Perkapalan yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, yang telah memberikan ilmunya kepada saya selama kuliah di Jurusan Teknik Perkapalan.
7. Teman satu angkatan "PANGLIMA" P45 untuk support dan moment kebersamaannya selama ini, baik dalam suka maupun duka sejak awal pengkaderan hingga masa-masa terakhir kuliah.
8. Kakak maupun adik kelas yang sering membantu dalam proses perkuliahan.

Saya menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih ada kekurangan yang perlu disempurnakan. Oleh karenanya, saya meminta maaf. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat untuk semua yang membacanya dan juga memberikan inspirasi untuk berbuat lebih baik lagi.

Surabaya, 18 Juni 2010

Penulis

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : M. Arief Maulana Wiranegara
N.R.P : 4105 100 006
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D

Sungai Kepetingan adalah salah satu sungai yang penting di Sidoarjo. Melalui sungai inilah para nelayan bisa melaut. Disamping itu, sungai ini menjadi ladang mencari nafkah untuk penyedia jasa transportasi angkutan sungai. Namun, Sungai Kepetingan kini bermasalah dengan pendangkalan, baik itu akibat lumpur ataupun sampah yang dibuang oleh masyarakat. Berangkat dari masalah tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan satu solusi dengan membuat sebuah konsep desain kapal pembersih sungai dengan tipe *backhoe dredger*. Proses desain dimulai dengan mencari ukuran utama kapal melalui metode optimasi, dimana yang menjadi fungsi obyektifnya adalah meminimalkan biaya pembangunan dan biaya operasional tahun pertama. Selanjutnya dari ukuran utama ini dilakukan perhitungan teknis dan ekonomis untuk kemudian dianalisis. Dari hasil optimasi, didapatkan ukuran utama : $L = 16,24$ m, $B = 5,86$ m, $H = 2,10$ m, $T = 0,72$ m. Dengan ukuran utama ini, gambar rencana umum *backhoe dredger* disajikan.

Kata kunci: Sungai Kepetingan, Kapal Keruk Backhoe, Konsep Desain

ABSTRACT

Student Name : M. Arief Maulana Wiranegara
N.R.P : 4105 100 006
Department : Naval Architecture and Ship Bulding
Promotor : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D

Kepetingan River is one of important River in Sidoarjo. A Fishermen could sail through the river. Moreover, the river becomes an important place in earning cost living by the river transportation service provider. Yet, currently the river has a problem deals with sedimentation due to mud and rubbish thrown by local people. According to that problem, this final assignment is trying to manage solution by creating a design concept of cleaning vessel with Backhoe Dredger's type. The first step in process design is looking for the main dimension by using optimization method. The optimization method is aim to minimize an operational and building cost in the first year. Furthermore, based on that main dimension, the economical and technical operational is done to analyze. According to the optimization result, the main dimension gained is : $L=16.24$ m, $B=5.86$ m, $H=2.10$ m, $T=0.72$ m. By using that main dimension, the general arrangement of Backhoe Dredger is presented.

Keywords: Kepetingan River, Backhoe Dredger, Design Concept

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR REVISI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Maksud dan Tujuan	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Hipotesis	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	5
2.1. Umum	5
2.2. Pendekatan Desain.....	6
2.2.1. Design Statement.....	6
2.2.2. Concept Design	7
2.2.3. Preliminary Design.....	7
2.2.4. Contract Design.....	8
2.2.5. Detail Design.....	8
2.3. Level Design.....	9
2.3.1. Level I Design Element (Total Ship)	9
2.4. Pengerukan	9
2.4.1. Tujuan Pengerukan.....	9
2.4.2. Material Yang Dikeruk.....	10

2.5.	Jenis Kapal Keruk.....	10
2.5.1.	Kapal Keruk Mekanis.....	11
2.5.2.	Kapal Keruk Hidrolis	15
2.5.3.	Kapal Keruk Mekanis - Hidrolis (gabungan).....	17
2.6.	Tinjauan Teknis Desain Kapal.....	18
2.6.1.	Ukuran Utama Kapal.....	18
2.6.2.	Perhitungan Berat Kapal	19
2.6.3.	Perhitungan Tahanan Kapal	21
2.6.4.	Perhitungan Trim dan Stabilitas.....	22
2.7.	Tinjauan Ekonomis Desain Kapal	23
2.7.1.	Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal	24
2.7.2.	Perhitungan Biaya Operasi Kapal	25
2.8.	Analisis Kelayakan Investasi.....	26
2.9.	Analisa Regresi	27
2.10.	Metode Optimasi Dalam Mendesain Kapal	27
2.10.1.	Constrained Non Linear Optimization Technique.....	29
2.10.2.	Generalized Reduced Gradient Method.....	29
Bab 3.	Metodologi Penelitian.....	33
3.1.	Jenis Dan Sumber Data.....	33
3.2.	Prosedur Pengumpulan Data.....	33
3.2.1.	Survey Lapangan.....	33
3.2.2.	Studi Literatur.....	33
3.3.	Pengolahan Data	33
3.4.	Sistematika Laporan Tugas Akhir	37
Bab 4.	Tinjauan Daerah Operasional Kapal Pembersih Sungai.....	39
4.1.	Tinjauan Umum Kabupaten Sidoarjo	39
4.2.	Tinjauan Geografis Sungai Kepetingan Sidoarjo	40
4.3.	Permasalahan Sungai Kepetingan.....	41
Bab 5.	Pemilihan Jenis Kapal dan Rencana Operasionalnya di Sungai Kepetingan	45
5.1.	Pemilihan Jenis Kapal Beserta Sistem Pembersihnya	45
5.2.	Perencanaan Desain Kapal Pembersih Sungai	45
5.3.	Perhitungan Rencana Operasional Backhoe Dredger.....	46
5.3.1.	Perhitungan Volume Material Yang Akan Dikeruk Pada Sungai Kepetingan... 46	

5.3.1.1.	Menghitung Sarat Rata-Rata Tanah Di Dalam Satu Area	47
5.3.1.2.	Menghitung Luas Profil Tanah Yang Dikeruk	48
5.3.1.3.	Perhitungan Volume Keruk Sungai Kepetingan.....	49
5.3.2.	Penentuan Sistem Penunjang Operasional Backhoe Dredger	50
5.3.3.	Penentuan Jumlah Operator Kapal	56
5.4.	Rencana Bongkar Muat Material Hasil Pengerukan	56
Bab 6.	Proses Optimasi Ukuran Utama Backhoe Dredger	59
6.1.	Komponen-Komponen Optimasi.....	59
6.1.1.	Design Variabel.....	59
6.1.2.	Konstanta.....	59
6.1.3.	Constrain	59
6.1.4.	Parameter.....	61
6.1.5.	Fungsi Obyektif.....	61
6.2.	Proses Optimasi Ukuran Utama Barge	61
6.2.1.	Model Optimasi.....	61
6.2.2.	Aplikasi Solver Untuk Optimasi	63
6.2.3.	Menentukan Ukuran Utama Awal (Initial Value) Barge	65
6.2.4.	Proses Optimasi.....	66
6.2.5.	Hasil Optimasi.....	67
Bab 7.	Perhitungan Dan Analisis Teknis Backhoe Dredger	69
7.1.	Perhitungan Berat dan Titik Berat Backhoe Dredger	69
7.1.1.	Berat dan Titik Berat Konstruksi Backhoe Dredger	69
7.1.2.	Berat dan Titik Berat Permesinan Kapal Backhoe Dredger.....	70
7.1.3.	Berat dan Titik Berat Peralatan / Perlengkapan Kapal.....	70
7.1.4.	Berat dan Titik Berat Consumable Backhoe Dredger	71
7.1.5.1.	Perhitungan Berat dan Titik Berat Bahan Bakar	71
7.1.5.2.	Perhitungannya Berat dan Titik Berat Minyak Pelumas	72
7.2.	Perhitungan Hidrostatik Backhoe Dredger	72
7.3.	Perhitungan Tahanan Backhoe Dredger	75
7.4.	Perhitungan Stabilitas Backhoe Dredger.....	76
7.5.	Perhitungan Trim Backhoe Dredger.....	77
Bab 8.	Perhitungan dan Analisa Ekonomis Backhoe Dredger.....	79
8.1.	Pendahuluan.....	79

8.2.	Perhitungan Biaya Pembangunan Backhoe Dredger	79
8.2.1.	Biaya Berat Baja Kapal (Structural Weight Cost).....	79
8.2.2.	Biaya Permesinan Kapal (Machinery Cost)	79
8.2.3.	Biaya Peralatan dan Perlengkapan (Hull Outfit Cost).....	79
8.2.4.	Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi dan Kebijakan Pemerintah.....	80
8.3.	Perhitungan Biaya Operasional Backhoe Dredger	80
8.3.1.	Biaya Tetap.....	81
8.3.2.	Biaya Variabel.....	81
8.3.2.1.	Biaya bahan bakar.....	81
8.3.2.2.	Biaya minyak pelumas.....	81
8.3.2.3.	Gaji operator kapal	82
8.4.	Analisis Kelayakan Biaya Investasi Backhoe Dredger	82
8.4.1.	Perhitungan Biaya Jasa Pengerukan Oleh PT. (Persero) Pengerukan Indonesia	82
8.4.2.	Analisis Perbandingan Biaya Jasa Pengerukan dan Biaya Investasi Kapal	83
Bab 9.	Rencana Umum Backhoe Dredger	87
Bab 10.	Kesimpulan dan Saran	89
10.1.	Kesimpulan	89
10.2.	Saran.....	90
	DAFTAR PUSTAKA.....	91
	LAMPIRAN	94

DAFTAR GAMBAR



Gambar 2.1. Diagram Desain Spiral	6
Gambar 2.2. Kapal Tongkang Keruk Grab	12
Gambar 2.3. Kapal Keruk Backhoe.....	13
Gambar 2.4. Kapal Keruk Dipper	14
Gambar 2.5. Kapal Keruk Bucket Dredger	15
Gambar 2.6. Trailing Suction Hopper	16
Gambar 2.7. Kapal Keruk Water Injection.....	17
Gambar 2.8. Bucket-Wheel Dredger.....	17
Gambar 2.9. Cutter Suction Dredger.....	18
Gambar 3.1. Model Konseptual Tugas Akhir	35
Gambar 3.2. Flow Chart Metodologi Penelitian	36
Gambar 4.1. Sungai Kepetingan Sidoarjo Dalam Peta	40
Gambar 4.2. Dermaga Rangkah	41
Gambar 4.3. Enceng Gondok yang Menutupi Sebagian Sungai	42
Gambar 4.4. Pendangkalan dan Sampah Di Sungai	43
Gambar 5.1. Ilustrasi Kapal Pembersih Sungai.....	46
Gambar 5.2. Titik Sounding Pengambilan Sarat Dalam Satu Area	47
Gambar 5.3. Titik Sounding Dalam Satu Area	48
Gambar 5.4. Ilustrasi Luas Profil Tanah	48
Gambar 5.5. Genset CAT 4RG-01632	56
Gambar 6.1. Model Optimasi (constante, parameters, variables, dan constrains)	62
Gambar 6.2. Model Optimasi (objective function)	62
Gambar 6.3. Aplikasi Solver Untuk Optimisasi.....	63
Gambar 6.4. Settingan Awal Pada Solver	64
Gambar 6.5. Menu Options Pada Program Solver	65
Gambar 6.6. Initial Value Sebagai Nilai Variabel Awal.....	66
Gambar 6.7. Klik “Solve” Untuk Menjalankan Solver	67
Gambar 6.8. Hasil Optimasi Solver.....	67

Gambar 8.1. Perbandingan Biaya Jasa Pengerukan dan Biaya Investasi Kapal 84
Gambar 9.1. General Arrangement Backhoe Dredger 87

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Jumlah Desa / Kelurahan, Rumah Tangga dan Penduduk Tahun 2008	39
Tabel 5.1. Harga η Berdasarkan Tipe Material.....	51
Tabel 5.2. Spesifikasi Teknis Ekskavator Hitachi Construction.....	51
Tabel 5.3. Data Luas Permukaan Spud Berdasarkan Volume Barge.....	52
Tabel 6.1. Batasan Ukuran Utama Barge	60
Tabel 6.2. Rasio Ukuran Utama Barge.....	60
Tabel 6.3. Daftar Barge Pembanding	65
Tabel 6.4. Ukuran Utama Setelah Proses Optimasi	68
Tabel 7.1. Hasil Perhitungan Konstruksi Backhoe Dredger	69
Tabel 7.2. Berat dan Titik Berat Bahan Bakar	72
Tabel 7.3. Berat dan Titik Minyak Pelumas.....	72
Tabel 7.4. Perhitungan Stabilitas Dengan Wall Sided Formula.....	76
Tabel 8.1. Perbandingan Biaya Pengerukan dan Biaya Investasi	83
Tabel 10.1. Hasil Optimasi.....	89

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang Masalah

Sidoarjo adalah salah satu Kabupaten yang cukup diperhitungkan di Jawa Timur. Perkembangannya yang pesat di bidang industri dan perdagangan tidak luput dari posisi geografisnya yang bersebelahan dengan Kota Surabaya. Sama halnya seperti kota besar lainnya, Sidoarjo pun tidak luput dari masalah lingkungan hidup khususnya di daerah aliran Sungai Kepetingan.

Sungai Kepetingan sendiri merupakan salah satu sungai memiliki peranan cukup penting di Sidoarjo. Sungai ini menjadi akses utama bagi para nelayan untuk melaut. Apalagi sebagian besar para penduduk daerah aliran Sungai Kepetingan berprofesi sebagai nelayan. Disamping itu, Sungai Kepetingan juga menjadi ladang mencari nafkah para penyedia jasa transportasi angkutan sungai, baik itu yang mengantarkan para wisatawan untuk pergi memancing ataupun yang akan berkunjung ke obyek wisata Pantai Kepetingan.

Saat ini Sungai Kepetingan dilanda masalah lingkungan hidup yaitu pendangkalan, baik itu oleh lumpur maupun sampah yang dibuang masyarakat ke sungai. Akibatnya arus lalu lintas sungai jadi terhambat. Sebagai contoh, perjalanan ke Pantai Kepetingan. Bila biasanya bisa ditempuh dalam waktu 15 menit, maka gara-gara masalah pendangkalan dan sampah waktu tempuh bisa bertambah hingga satu jam lebih. Tidak hanya itu saja, ketika musim hujan tiba, terhambatnya aliran sungai oleh sampah dan endapan lumpur akan mengakibatkan meluapnya air sungai dan membanjiri penduduk yang tinggal di sepanjang daerah aliran sungai.

Berbagai solusi untuk menyelesaikan permasalahan di Sungai Kepetingan sudah dilakukan oleh para aktifis lingkungan hidup. Namun demikian, hal ini masih dirasa kurang efektif oleh Pemda Sidoarjo sehingga membutuhkan pihak ketiga yaitu penyedia jasa pengerukan. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini membuat sebuah konsep desain kapal pembersih sungai sebagai salah satu alternatif solusi yang ditawarkan untuk membantu mengatasi permasalahan tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

- a. Bagaimana membuat konsep desain kapal pembersih sungai yang sesuai untuk wilayah operasional Sungai Kepetingan Sidoarjo?
- b. Bagaimana membuat kajian ekonomis kapal pembersih sungai yang sesuai untuk wilayah operasi Sungai Kepetingan Sidoarjo?

1.3. Batasan Masalah

Mengingat waktu yang diberikan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini terbatas maka perlu diberikan batasan-batasan tertentu, yaitu :

- a. Perencanaan kapal pembersih sungai tidak mencakup perencanaan konstruksi kapal secara detail.
- b. Perencanaan kapal terbatas pada konsep desain dengan hasil akhir berupa : penentuan ukuran utama, general arrangement, estimasi biaya investasi kapal beserta analisisnya.
- c. Wilayah operasi kapal hanya di Sungai Kepetingan Sidoarjo.

1.4. Maksud dan Tujuan

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk membuat konsep desain kapal pembersih sungai sebagai salah satu alternatif solusi permasalahan yang ada di Sungai Kepetingan Sidoarjo. Adapun tujuannya adalah sebagai berikut :

- a. Memilih jenis kapal yang sesuai untuk dioperasikan di wilayah Sungai Kepetingan.
- b. Menentukan ukuran utama kapal.
- c. Membuat *general arrangement*.
- d. Membuat kajian ekonomis kapal pembersih sungai yang sudah didesain dan membandingkannya dengan biaya penggunaan jasa pengerukan.

1.5. Manfaat

Manfaat adalah sebagai referensi :

- a. Pemda Sidoarjo dalam upaya mencari solusi atas masalah Sungai Kepetingan.
- b. Perusahaan swasta yang ingin membangun bisnis jasa pengerukan.
- c. Mahasiswa teknik perkapalan dalam membuat konsep desain kapal pembersih sungai.

1.6. Hipotesis

Hipotesis tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Jenis kapal keruk yang cocok dioperasikan di Sungai Kepetingan Sidoarjo adalah backhoe dredger (kapal tongkang dengan alat keruk berupa backhoe / ekskavator) yang dilengkapi dengan tambahan sistem konveyor di bagian haluan kapal.
- b. Investasi berupa kapal pembersih sungai, layak dijalankan karena mampu menghemat anggaran yang dikeluarkan Pemda apabila menggunakan jasa pihak swasta untuk mengeruk Sungai Kepetingan.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Umum

Kapal adalah produk yang bersifat *non mass order*. Kapal dibangun untuk melaksanakan satu tujuan tertentu sehingga dalam proses pembuatannya selalu didahului dengan adanya permintaan dari pemilik kapal. Permintaan ini bisa berupa spesifikasi ataupun data lainnya.

Peranan seorang *naval architect* adalah menerjemahkan permintaan dari pemilik kapal ke dalam suatu bentuk desain. Desain ini kemudian menjadi acuan bagi galangan kapal untuk membangun kapal yang sesuai dengan keinginan pemilik kapal.

Desain kapal itu sendiri merupakan satu kesatuan dari beberapa bagian yang saling terkait seperti : *lines plan, general arrangement, construction profile, sheel expanded*, dll. Semua bagian desain tersebut dibuat secara bertahap hingga pada akhirnya tercipta satu desain yang detail dan siap digunakan dalam proses produksi kapal. Tentunya dalam proses pembuatan desain harus mempertimbangkan kemampuan pemilik kapal dalam membiayai baik itu untuk biaya pembangunan ataupun biaya operasional kapal nantinya.

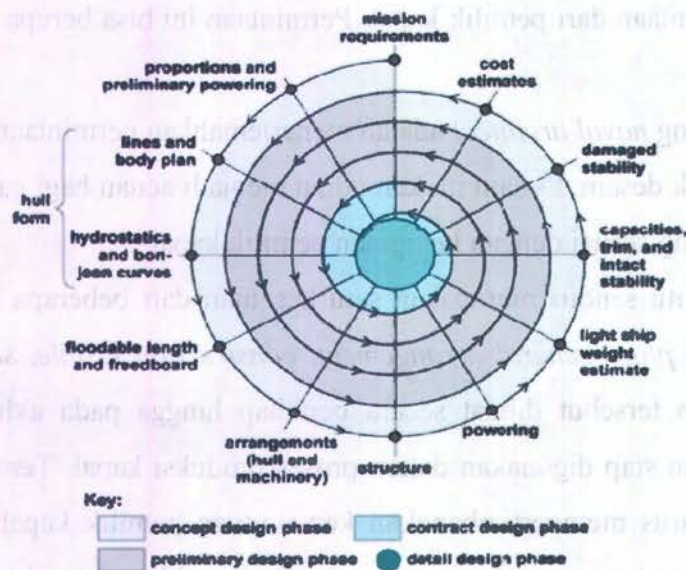
Dalam proses membuat desain kapal, salah satu hal yang terpenting adalah hasil dari desain tersebut harus mampu memenuhi apa yang menjadi harapan pemilik kapal. Misalnya dalam hal : kapasitas muatan, kecepatan kapal, kebutuhan bahan bakar, biaya operasional, dll. Disamping itu proses mendesain kapal juga tidak pernah luput dari adanya batasan-batasan tertentu yang mencakup :

- Batasan dari pemilik kapal, seperti : *performance*, kapasitas muatan, biaya pembangunan, biaya operasional, dll.
- Batasan fisik kapal dan hukum alam, seperti : gaya apung, gaya berat, trim, stabilitas, kekuatan memanjang, dll.
- Batasan wilayah operasional kapal, seperti : kedalaman sungai, lebar sungai, dll.

Semua batasan tersebut menjadi kriteria dan ketentuan dalam menilai apakah desain kapal yang sudah dibuat sudah optimal atau belum.

2.2. Pendekatan Desain

Proses mendesain kapal adalah proses berulang. Seluruh perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Proses ini digambarkan pada Gambar 2.1 dan dinamakan sebagai proses desain spiral (Evans, 1959). Di dalam diagram desain spiral, Evans (1959) membagi seluruh proses desain menjadi 4 tahapan, yaitu : concept design, preliminary design, contract design, dan detail design. Proses mendesain selalu diawali dengan adanya *design statement*.



Gambar 2.1. Diagram Desain Spiral

2.2.1. Design Statement

Design statement digunakan untuk mendefinisikan atau memberikan gambaran tentang tujuan dan kegunaan kapal yang akan dibangun. Ini berguna sebagai arahan bagi seorang desainer kapal dalam menentukan pilihan-pilihan yang rasional ketika mendesain. Design statement terdiri dari beberapa bagian utama yaitu :

a. Tujuan atau misi dari kapal

Penentuan tujuan atau misi kapal berguna untuk memberikan gambaran awal dalam mendesain.

b. Ukuran yang sesuai untuk kapal

Setelah mengetahui tujuan kapal, selanjutnya dilakukan proses penerjemahan baik itu dalam bentuk perhitungan maupun dalam bentuk gambar dengan tujuan akhir untuk mendapatkan beberapa alternatif desain. Beberapa alternatif ini kemudian dipilih yang paling optimum dengan mempertimbangkan beberapa aspek.

- c. Permintaan pemilik kapal (*owner requirement*)
- d. Batasan desain

2.2.2. Concept Design

Concept design adalah tahap pertama dalam proses desain yang menerjemahkan *mission requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan-ketentuan dasar dari kapal yang akan didesain (Evans,1959). Pembuatan konsep desain, membutuhkan TFS (Technical Feasibility Study) dalam proses pencarian ukuran utama ataupun karakter-karakter lainnya yang bertujuan untuk memenuhi kecepatan, range (*endurance*), kapasitas, dan deadweight.

Konsep desain 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. Adapun langkah-langkah dalam konsep desain adalah sebagai berikut :

- Klasifikasi biaya untuk kapal baru dengan melakukan perbandingan beberapa kapal sejenis yang sudah ada.
- Mengidentifikasi semua perbandingan desain utama.
- Memilih proses iterative yang akan menghasilkan desain yang memungkinkan.
- Membuat ukuran yang sesuai (analisis ataupun subyektif) untuk desain.
- Mengoptimasi ukuran utama kapal.
- Mengoptimasi detail kapal.

2.2.3. Preliminary Design

Preliminary design adalah tahap selanjutnya dari *concept design*. Pada tahap ini, dilakukan pemeriksaan ulang yang terkait dengan *performance* kapal (Evans, 1959). Hasil dari pemeriksaan ulang diharapkan tidak banyak mengubah apa yang sudah ada di tahap konsep desain. Sehingga proses desain bisa berlanjut ke tahap berikutnya.

Hasil dari tahap *preliminary design* ini akan menjadi dasar dalam pengembangan rencana kontrak dan spesifikasi di tahapan berikutnya. Adapun tahap *preliminary design* ditandai dengan beberapa langkah sebagai berikut :

- Melengkapi bentuk lambung kapal.
- Pemeriksaan terhadap analisis detail struktur kapal.
- Penyelesaian desain bagian interior kapal.
- Perhitungan stabilitas dan hidrostatis kapal

- Mengevaluasi kembali perhitungan tahanan, powering maupun performance kapal.
- Perhitungan berat kapal secara detail dalam hubungannya dengan penentuan sarat dan trim kapal.
- Perhitungan biaya secara menyeluruh dan detail.

2.2.4. Contract Design

Sama seperti sebelumnya, pada tahap *contract design* masih dimungkinkan terjadi perbaikan-perbaikan hasil dari tahap *preliminary design* (Evans, 1959). Sehingga desain yang dihasilkan menjadi lebih akurat dan teliti, terutama pada beberapa hal sebagai berikut :

- *hull form* dengan memperbaiki *lines plan*,
- tenaga penggerak dengan menggunakan model test,
- seakeeping dan maneuvering,
- sistem propulsi (misalnya : pengaruh jumlah propeller terhadap badan kapal).
- detil konstruksi, pemakaian jenis baja dan tipe gading.

Selain beberapa hal di atas, dilakukan juga perhitungan berat dan titik berat yang didasarkan pada posisi dan berat masing-masing item konstruksi. Pembuatan *General Arrangement* yang lebih detail dibuat di tahap ini, termasuk juga di dalamnya kepastian terhadap kapasitas permesinan, bahan bakar, air tawar, dan ruang akomodasi.

Setelah selesai dengan perbaikan beberapa hal di atas, maka selanjutnya dibuat spesifikasi rencana standar kualitas dari bagian badan kapal beserta peralatannya. Termasuk juga di dalamnya mengenai metode *function test* untuk memastikan kondisi dan *performance* kapal mendekati *mission requirement* awal. Hasil akhir dari *contract design* ini adalah dokumen kontrak pembuatan kapal.

2.2.5. Detail Design

Detail design adalah tahapan terakhir dari proses mendesain kapal. Pada tahap ini, hasil dari tahapan sebelumnya dikembangkan menjadi gambar kerja yang detail (Evans, 1959). Disamping itu, pada detail desain diberikan pula petunjuk mengenai instalasi dan detail konstruksi. Sehingga para pekerja di bagian produksi bisa melaksanakan pembangunan kapal. Pada tahapan ini bisa dipastikan tidak ada lagi perubahan. Meski demikian, kadangkala perlu ada revisi dalam prosentase yang kecil sebagai akibat adanya ketidaksesuaian di lapangan.

2.3. Level Design

Pada proses perencanaan, pengaturan dan pendeskripsian proses desain kapal, ada perbedaan antara *Level I Design (total ship) Element* dan *Level II Design (ship system) Element* (Hary Prasetyo, 2008). Level I Design berhubungan dengan sintesa dan analisis dari atribut total kapal seperti bentuk lambung, rencana umum (*general arrangement*) dan atribut berat total kapal yang mencakup berat serta titik beratnya.

Sedangkan pada Level II Design, berhubungan dengan sintesa dan analisis elemen utama kapal secara khusus yang mencakup struktur, sistem propulsi, pembangkit dan distribusi listrik, *ship control*, navigasi, sistem komunikasi, sistem mekanik termasuk pipa, HVAC (*heating, ventilation, air condition*) serta outfitting.

Hubungan antar Level I Design dan Level II Design ada pada input dan hasilnya. Hasil dari Level I Design biasanya menjadi input untuk kemudian diproses demi mendapatkan hasil dari Level II Design.

2.3.1. Level I Design Element (Total Ship)

Level I Design Element meliputi bentuk lambung, *general arrangement*, berat dan titik berat, stabilitas, hidrostatis, kapasitas awak kapal, biaya operasional dan resiko. Bentuk lambung sendiri ditentukan berdasarkan ukuran utama : panjang (L), lebar (B), sarat (T), dan tinggi (H). Disamping itu digunakan juga perbandingan ukuran utama seperti : L/B, L/H, B/T dan beberapa koefisien seperti : C_B (Coefficient Block), C_P (Coefficient Prismatic), C_M (Coefficient Midship), C_{WP} (Coefficient Water Plane). Semua unsur ini akan membentuk sebuah bentuk lambung kapal yang memenuhi *mission requirement* dan mengakomodasi permintaan pemilik kapal.

2.4. Pengerukan

Pengerukan secara sederhana dapat diartikan penggalian tanah, lumpur, dan bebatuan. Proses pengerukan terdiri beberapa tahapan seperti : penggalian / pengerukan, pengangkutan, dan pembuangan akhir atau penggunaan material hasil pengerukan.

2.4.1. Tujuan Pengerukan

Pengerukan dilakukan dengan beberapa tujuan, diantaranya :

- Mengurangi pendangkalan.

Akibat dari pendangkalan bisa bermacam-macam. Di pelabuhan misalnya, pendangkalan mengakibatkan batas minimal sarat kapal berubah sehingga kapal besar tidak bisa masuk.

- Pengendalian banjir (*flood control*).

Pendangkalan yang terjadi di daerah aliran sungai kerap menyebabkan air sungai meluap pada saat musim hujan dan membanjiri rumah penduduk yang tinggal di sekitar daerah aliran sungai. Salah satu upaya meminimalisir adalah dengan melakukan pengerukan untuk memperdalam dasar sungai.

- Mengurangi sampah.

Sampah yang disebabkan oleh limbah industri, limbah rumah tangga, maupun usaha lainnya sering menyebabkan sungai menjadi kotor. Di permukaan sungai sampah yang menggenang akan mengganggu perahu atau kapal yang melintas, sementara di dasar sungai menumpuk mendangkalan sungai. Pengerukan bisa dilakukan sebagai bentuk solusi membersihkan sampah.

- Tujuan lain

Tujuan lain pengerukan misalnya untuk penggalian pondasi di dalam air dan penanaman pipa saluran air.

2.4.2. Material Yang Dikeruk

Jenis material yang dikeruk bermacam-macam. Ada tanah gambut, tanah liat, endapan lumpur, karang, pasir, kerikil, atau batu pecah, tergantung lokasi pengerukan akan dilakukan. Jenis material ini kemudian menjadi dasar pemilihan sistem dan peralatan keruk yang akan digunakan pada kapal pembersih sungai sehingga hasilnya bisa maksimal. Untuk menentukan jenis material keruk dilakukan pengambilan contoh material pada lokasi yang akan dikeruk. Kemudian contoh ini diteliti untuk mengetahui karakteristiknya secara lengkap.

2.5. Jenis Kapal Keruk

Pembagian jenis kapal keruk biasanya didasarkan pada cara beroperasi dan juga sistem pengeruk yang digunakan. Berdasarkan cara beroperasinya kapal keruk dibagi menjadi dua macam :

- a. Kapal keruk tanpa mesin penggerak

Kapal keruk jenis ini perpindahannya menggunakan bantuan kapal tunda atau dengan sistem tali baja. Untuk yang menggunakan sistem tali baja, salah satu ujung baja dicekamkan pada jangkar dan ujung lainnya dililitkan pada mesin derek. Agar perpindahan lebih mudah dan lokasi pengerukan tepat, digunakan lebih dari satu tali baja pengikat atau menggunakan spud.

- b. Kapal keruk dengan mesin penggerak

Perpindahan kapal dilakukan dengan menggunakan tenaga yang terpisah dari mesin pengeruknya. Dengan kata lain ada dua sistem tenaga di kapal. Sistem tenaga untuk penggerak kapal dan sistem tenaga untuk alat keruk.

Bila ditinjau berdasarkan teknis peralatan yang digunakan untuk mengeruk, kapal keruk dibagi menjadi tiga macam :

- a. Kapal keruk mekanis
- b. Kapal keruk hidrolis
- c. Kapal keruk mekanis-hidrolis

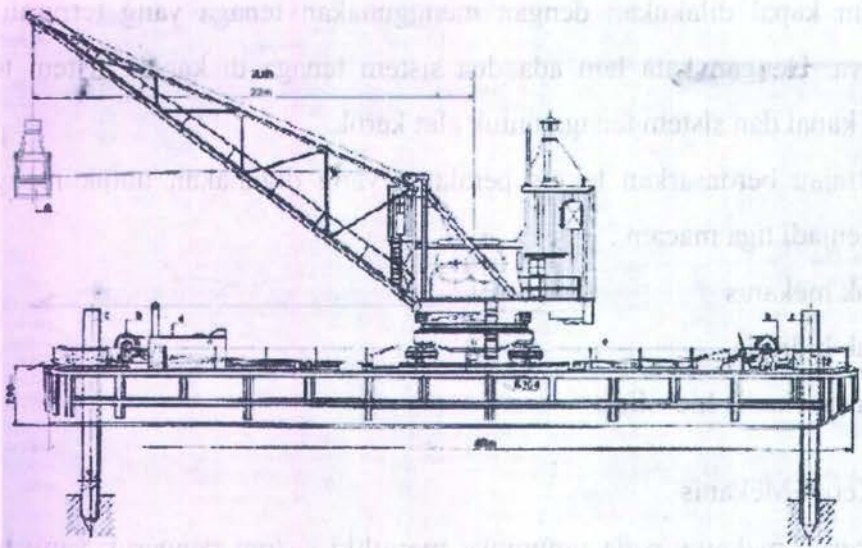
2.5.1. Kapal Keruk Mekanis

Kapal keruk mekanis pada umumnya memiliki sistem pengeruk yang hampir sama dengan peralatan keruk di darat. Beberapa tipe kapal keruk yang bekerja secara mekanis antara lain : *Grab (clamsheell)*, *Backhoe (excavator)*, *Dipper*, dan *Bucket Dredger*.

a. Grab (clamsheell)

Kapal keruk ini menggunakan *grab / clamsheel* yang digerakkan dengan crane sebagai alat keruk. Biasanya alat keruk diletakkan di atas ponton dengan geladak datar. *Crane* merupakan unit yang berdiri sendiri. Fungsinya untuk mengangkat dan menurunkan *grab*. Jika diperlukan, *crane* juga digunakan untuk membantu melepas *spud* pada saat kapal direparasi.

Kedalaman keruk kapal ini tergantung dari berat *grab*. Semakin berat, hasil penggalian *grab* semakin dalam. Selain itu bentuk *grab* didesain secara khusus agar ketika masuk ke dalam air, tahanannya bisa ditekan sekecil mungkin dan berat *grab* masih memungkinkan untuk menggali di kedalaman yang diinginkan.



Gambar 2.2. Kapal Tongkang Keruk Grab

Jenis kapal keruk *grab* dapat dibedakan berdasarkan jenis *grabnya*, yaitu : *grab* lumpur (untuk lumpur dan tanah lunak), *grab* garpu (untuk pasir, tanah liat, dan tanah campur gravel), dan *grab* kaktus (untuk batu-batuan besar). Adapun karakteristik kapal keruk *grab* antara lain :

- Mampu mengeruk pada titik yang tepat
- Kedalaman pengerukan tidak terbatas, tergantung panjang tali.
- Selama beroperasi, tidak mengganggu lalu lintas kapal lainnya.
- Dapat bekerja baik pada air bergelombang.
- Hasil pengerukan tidak merata, sehingga sukar untuk menentukan dalamnya penggalian.
- Kurang baik dipakai pada lokas yang berlumpur (lumpur cenderung keluar dari *grabnya*).

Untuk keperluan operasi termasuk stabilitas kapal, kapal keruk ini dilengkapi dengan *spud* dan *spul-spul* penggulung kawat baja yang digunakan untuk menaik-turunkan *spud*. Pergerakan kapal dilakukan sedikit demi sedikit secara zig-zag dengan mengatur pengangkatan *spud* dan penarikan / penguluran tali jangkar.

b. Backhoe

Kapal keruk ini pada dasarnya adalah sebuah pontoon yang dipasang alat keruk berupa *backhoe* (ekskavator). Prinsip kerjanya menggunakan tarikan tali baja (mekanis) ataupun dengan sistem hidrolis.



Gambar 2.3. Kapal Keruk Backhoe

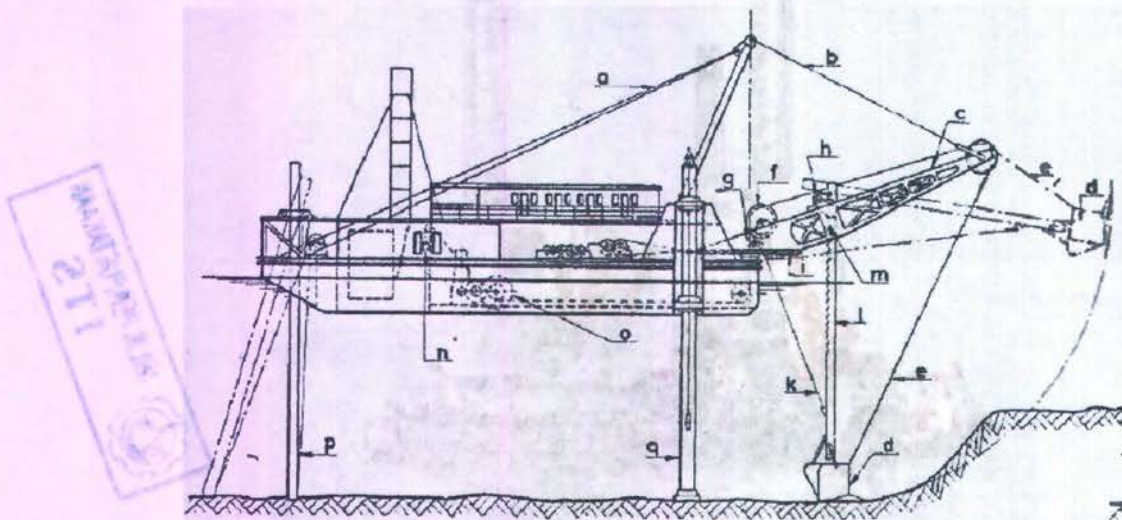
Adapun karakteristik kapal keruk ini antara lain :

- Dapat menggali bermacam-macam material seperti pasir, tanah liat, kerikil, batu, karang dan lumpur.
- Tidak dapat bergerak sendiri, membutuhkan jangkar untuk menempatkan pada posisi pengerukan.
- Kecepatan produksi rendah.
- Kedalaman pengerukan bisa ditentukan sendiri dan tidak tergantung pada berat *bucket* seperti kapal keruk *grab*.
- Tidak membutuhkan banyak *crew*.

c. Dipper

Kapal keruk *dipper* menggunakan alat keruk yang prinsip kerjanya mirip sekop bertenaga. Kadang-kadang sekop keruk dilengkapi dengan mata penembus batu. Kapal ini juga dilengkapi dengan dua *spud* depan dan satu *spud* belakang yang disebut *kicking*. *Spud* depan berfungsi untuk mengangkat tongkang di atas garis air guna menambah daya gali. Sedangkan *kicking* digunakan untuk menggerakkan tongkang ke arah depan. Adapun karakter kapal keruk ini antara lain :

- Cocok untuk mengeruk batu karang.
- Dapat digunakan untuk membuang pondasi bawah laut yang tidak terpakai.
- Jumlah *crew* sedikit (5 - 6) orang.
- Bisa menggali jalannya sendiri, juga menggali tebing yang curam tanpa takut longsor.



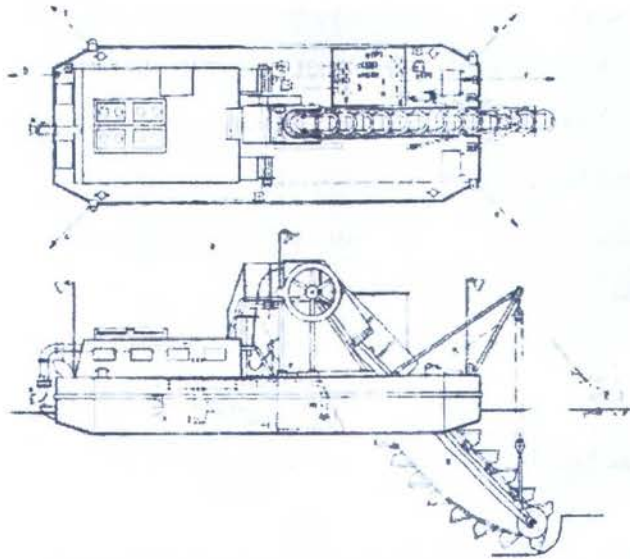
Gambar 2.4. Kapal Keruk Dipper

d. Bucket Dredger

Bucket dredger menggunakan alat keruk yang berupa susunan timba pada rangkaian rantai berputar. Pengerukan biasanya dilakukan di daerah kolam pelabuhan, kanal, dan juga digunakan untuk menggali mineral (penambangan) di lepas pantai.

Kemampuan produksi dan kapasitas *bucket dredger* sangat dipengaruhi dengan banyaknya timba yang dipakai, kedalaman yang dikeruk, dan kecepatan timba berputar di rantai. Adapun untuk karakteristik kapal keruk ini antara lain :

- Dipakai untuk berbagai jenis material dari tanah keras sampai batuan lunak.
- Tidak praktis digunakan untuk pengerukan yang besar, daerah yang luas dan berkembang.
- Semakin dalam pengerukan semakin tidak efisien karena jumlah material keruk semakin berkurang.



Gambar 2.5. Kapal Keruk Bucket Dredger

2.5.2. Kapal Keruk Hidrolis

Pengertian hidrolis disini adalah prinsip kerjanya dimana material hasil pengerukan yang sudah bercampur dengan air laut atau air sungai dihisap dengan pompa melalui pipa penghisap. Selanjutnya melalui pipa pembuang, campuran ini dialirkan ke daerah pembuangan. Seiring dengan perkembangan zaman, pengerukan dasar laut dengan menggunakan jenis peralatan ini semakin populer karena dinilai sangat efektif. Adapun yang termasuk dalam kapal keruk jenis ini antara lain : *dustpan*, *trailing suction hopper*, dan *water injection*.

a. Dustpan

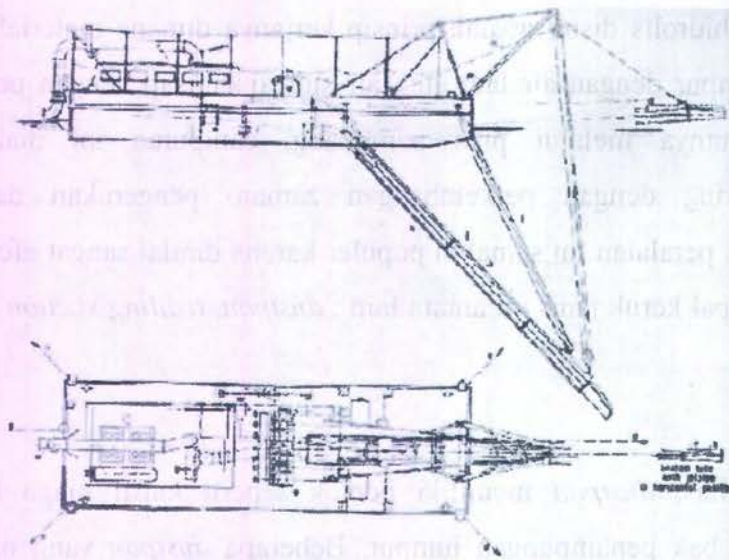
Dilihat sekilas, *dustpan* memiliki bentuk seperti kapal niaga biasa, hanya saja dilengkapi dengan bak penampungan lumpur. Beberapa *dustpan* yang menggunakan jenis suction lebih khusus banyak dipakai di daerah sungai yang rate sedimennya tinggi seperti pasir atau kerikil. *Dustpan* memiliki beberapa karakter antara lain :

- Efisien dan efektif untuk lumpur halus.
- Dapat dioperasikan sambil berjalan karena memiliki mesin penggerak sendiri.
- Pekerjaan masih bisa dilakukan walaupun ada gelombang.
- Mempunyai bak penampungan lumpur dibadan kapal.
- Kapasitas muat bisa diatur dengan mengatur pompa sentrifugal dan pompa hisap.
- Bila bak lumpur penuh kapal harus berhenti bekerja.
- Pembuangan lumpur dilakukan kapal sendiri sehingga menambah waktu kerja.

b. Trailing Suction Hopper

Trailing suction hopper memiliki tempat penyimpanan material keruk di badan kapal. Juga dilengkapi dengan lengan penggerak bersambung yang mencapai dasar tanah. Beberapa karakteristik kapal ini antara lain :

- Material yang dikeruk lebih fleksibel (lumpur, tanah, pasir dan kerikil)
- Mampu difungsikan sebagai alternatif pembuangan karena memiliki kemampuan beroperasi pada perairan baik itu yang terlindungi ataupun yang tidak terlindungi.
- Kecepatan produksi cukup tinggi.
- Dapat bekerja pada lalu lintas yang padat, dengan sedikit gangguan terhadap lalu lintas kapal.
- Sangat efektif bisa digunakan pada material yang berbentuk butiran seperti pasir, kerikil, maupun lumpur.
- Umumnya tidak dipakai untuk mengeruk batuan.



Gambar 2.6. Trailing Suction Hopper

c. Water Injection

Water incjection menggunakan tekanan air untuk menghancurkan atau mencairkan material yang mengalami pemampatan. Adapun karakteristik kapalnya hanya cocok dipakai untuk tanah lumpur, tanah liat dan pasir.



Gambar 2.7. Kapal Keruk Water Injection

2.5.3. Kapal Keruk Mekanis - Hidrolis (gabungan)

Kapal jenis ini konsepnya adalah menggabungkan sistem mekanis dan hidrolis dalam sistem pengeruknya. Beberapa jenis kapal keruk yang masuk dalam jenis mekanis-hidrolis antara lain : *Bucket-Wheel Dredger* dan *Cutter Suction Dredger*.

a. Bucket-Wheel Dredger

Bucket wheel dredger menggunakan teknologi baru. Biasanya digunakan di daerah pelabuhan jika ditemukan sampah dalam jumlah besar. Adapun karakteristik kapal ini antara lain :

- Dapat digunakan pada daerah yang cukup luas dengan berbagai kondisi dasar permukaan.
- Bentuk sistem pengeruknya didesain secara khusus sehingga relatif mengurangi tumpukan material keruk ke kepala Cutter.

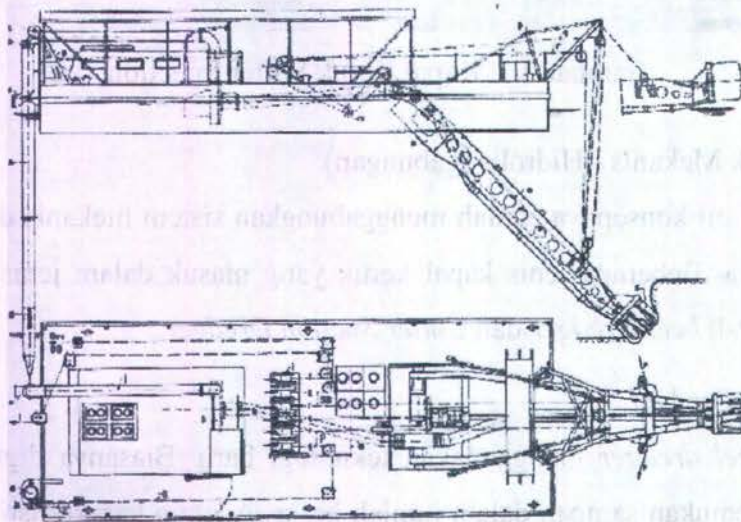


Gambar 2.8. Bucket-Wheel Dredger

b. Cutter Suction Dredger

Cutter suction dredger menggunakan peralatan mekanis yang berputar (*cutter*) yang dipasang pada ujung penghisap untuk mengali material. Kemudian material tersebut dihisap melalui pipa dan dipompakan ke permukaan kapal. Adapun karakteristik kapal ini antara lain :

- Kecepatan produksinya cukup tinggi.
- Dapat beroperasi untuk perairan yang dalam.
- Cocok untuk menggali tanah lumpur, tanah liat, kerikil, pecahan batu dan tanah keras.
- Pergerakan kapal ini dapat dilakukan dengan *spud* atau jangkar.



Gambar 2.9. Cutter Suction Dredger

2.6. Tinjauan Teknis Desain Kapal

2.6.1. Ukuran Utama Kapal

Ukuran utama kapal yang optimum bisa didapatkan melalui metode optimasi dengan menggunakan ukuran utama awal (*initial value*) sebagai acuan untuk melakukan perhitungan awal. Ukuran utama awal ini didapatkan dari kapal pembanding. Adapun ukuran utama yang perlu diperhatikan pada kapal pembanding antara lain :

- L_{PP} (Length Between Perpendicular) :
Panjang yang diukur antara 2 garis tegak, yaitu jarak horizontal antara garis tegak buritan (AP) dan garis tegak haluan (FP).
- L_{OA} (Length Over All) :
Panjang seluruhnya, jarak horizontal yang diukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal

- B_M (Breadth Moulded) : Lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal di antara 2 sisi dalam kulit kapal. Khusus untuk kapal-kapal yang terbuat dari kayu, diukur pada sisi luar kulit kapal
- H (Height) : Jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai sisi atas balok geladak di sisi kapal.
- T (Draught) : Jarak tegak yang diukur dari sisi atas lunas sampai permukaan air.

2.6.2. Perhitungan Berat Kapal

Berat kapal terdiri dari dua bagian yaitu *Light Weight Tonnage (LWT)* dan *Dead Weight Tonnage (DWT)*. Untuk menghitung LWT maupun DWT ada beberapa cara. Ada yang menggunakan rumus pendekatan, misalnya seperti rumus pendekatan yang diberikan oleh Schneekluth (1987) dan Bertram (1987) dalam buku *Ship Design for Efficiency and Economy*, ada juga yang menghitung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya dengan metode bagian per bagian ataupun mengukur dimensi tangki untuk mendapatkan volumenya. Tentu yang lebih akurat adalah perhitungan dengan metode bagian per bagian.

2.6.2.1. Menghitung LWT Kapal

Perhitungan LWT kapal dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu : perhitungan berat baja kapal, perhitungan berat permesinan kapal, dan perhitungan berat peralatan serta perlengkapan kapal. Cara menghitung berat ketiga bagian tersebut adalah sebagai berikut :

2.6.2.1.1. Perhitungan berat baja kapal

Perhitungan berat baja kapal dilakukan dengan menghitung bagian per bagian, mulai dari pelat kulit hingga profil yang digunakan sebagai penegar. Aturan yang dijadikan acuan dalam menghitung berat baja kapal adalah *BKI Rules Vol.II, Hull Construction* (2006). Langkah-langkah menghitung berat baja kapal adalah :

- Membuat gambar sketsa rencana konstruksi.
- Menghitung beban yang bekerja pada kapal.
- Menghitung modulus penampang pelat dan profil.
- Memilih ketebalan pelat dan profil yang akan digunakan.
- Menghitung berat seluruh pelat dan profil yang sudah dipilih.

2.6.2.1.2. Perhitungan berat permesinan

Perhitungan berat permesinan tidak memerlukan perhitungan khusus, sebagaimana menghitung berat baja kapal. Berat permesinan bisa diambil langsung dari data spesifikasi

teknis mesin yang ada pada katalog mesin. Sehingga untuk mendapatkan berat permesinan, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- Menghitung kebutuhan daya mesin.
- Memilih jenis mesin yang digunakan pada katalog mesin.
- Berat didapatkan dari informasi spesifikasi teknis mesin yang sudah dipilih.

2.6.2.1.3. Perhitungan berat peralatan dan perlengkapan kapal

Perhitungan berat peralatan dan perlengkapan kapal dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan berat permesinan, yaitu :

- Membuat rincian peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan.
- Memilih peralatan dan perlengkapan tersebut pada katalog.
- Berat didapatkan dari informasi spesifikasi teknis peralatan dan perlengkapan yang sudah dipilih.

2.6.2.2. Menghitung DWT Kapal

Komponen DWT yang dihitung beratnya hanya bahan bakar dan minyak pelumas. Perhitungan payload tidak diikutkan, karena kapal yang direncanakan tidak mengangkut muatan.

2.6.2.2.1. Berat Bahan Bakar

Perhitungan berat bahan bakar, sangat dipengaruhi oleh besarnya tingkat konsumsi bahan bakar mesin yang sudah dipilih. Besarnya tingkat konsumsi bahan bakar ini diberikan pada spesifikasi teknis mesin. Ada yang menggunakan satuan liter per hour (L/h) dan ada yang menggunakan satuan gram per kW hour (g/kWh).

Sebelum menghitung berat bahan bakar, harus dihitung terlebih dahulu jumlah kebutuhan bahan bakar selama masa operasional kapal. Ini bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1). Kemudian untuk berat bahan bakar dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2).

$$T_{FC} = F_C \times h \quad (2.1)$$

$$W_{FO} = T_{FC} \times \rho_{FO} \quad (2.2)$$

dimana : T_{FC} = total konsumsi bahan bakar per hari [L / hari]

F_C = tingkat konsumsi bahan bakar [L / h]

h = jumlah jam operasional kerja per hari [h]

W_{FO} = berat bahan bakar [ton]

ρ_{FO} = berat jenis bahan bakar [ton / m³]

Perhitungan dengan persamaan (2.1) dan (2.2) adalah untuk mencari berat minimal bahan bakar yang dibawa oleh kapal setiap harinya. Namun, untuk mendapatkan berat bahan bakar yang sesungguhnya tergantung pada perencanaan dimensi tangki bahan bakar. Dari dimensi tangki bahan bakar, bisa didapatkan volume bahan bakar. Berat bahan bakar didapat dari hasil perkalian antara volume dengan massa jenis bahan bakar.

2.6.2.2.2. Berat Minyak Pelumas

Perhitungan berat minyak pelumas dipengaruhi oleh berat bahan bakar yang sudah dihitung sebelumnya. Poehl (1982) memberikan persamaan (2.3) untuk menghitung kebutuhan minyak pelumas (dikutip oleh Prasetyo, 2008).

$$P_{LO} = (0,01 \sim 0,03) \times P_{FO} \quad (2.3)$$

dimana : P_{LO} = berat minyak pelumas [ton]

P_{FO} = berat bahan bakar [ton]

Perhitungan dengan persamaan (2.3) digunakan untuk mencari berat minimal minyak pelumas yang di bawa oleh kapal. Namun, untuk mendapatkan berat minyak pelumas yang sesungguhnya tergantung pada perencanaan dimensi tangki minyak pelumas. Berat minyak pelumas didapat dari hasil perkalian antara volume dengan massa jenis minyak pelumas.

2.6.3. Perhitungan Tahanan Kapal

Perhitungan tahanan kapal bisa dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.4) yang diberikan oleh Henschke (1978). Persamaan ini dibagi menjadi dua bagian yaitu perhitungan tahanan air yang diberikan pada persamaan (2.5) dan perhitungan tahanan udara yang diberikan pada persamaan (2.6).

$$W_{Total} = W_{Air} + W_{Udara} \quad (2.4)$$

$$W = f \cdot S \cdot V^{1.83} + p \cdot F_x \cdot V^2 \quad [kg] \quad (2.5)$$

$$W = 0.0041 \cdot (0.3A_1 + A_2) \cdot V_A^2 \quad [lbs] \quad (2.6)$$

dimana :

f = konstanta bahan

= 0.17 untuk baja

= 0.25 untuk kayu

S = luas permukaan basah [m²]

V = kecepatan barge [knot]

p = konstanta bentuk buritan / haluan barge

= 30 bila sudut buritan / haluan adalah 90°

= 25 bila sudut buritan / haluan adalah 15°

= 20 bila sudut buritan / haluan adalah 45°

= 16 bila sudut buritan / haluan adalah $30 \sim 35^{\circ}$

F_x = luas penampang midship [m²]

A_1 = luas penampang melintang badan kapal di atas permukaan air [ft²]

A_2 = luas proyeksi transversal bangunan atas [ft²]

V_A = kecepatan relatif angin [ft/detik]

2.6.4. Perhitungan Trim dan Stabilitas

Perhitungan trim dan stabilitas, selain menjadi bagian dari perhitungan teknis juga menjadi batasan (*constrain*) dalam proses optimasi sehingga dalam setiap iterasi yang terjadi harus selalu menyertakan perhitungan kedua batasan ini.

2.6.4.1 Perhitungan Trim

Batasan trim yang digunakan untuk perhitungan trim ditentukan sebesar $\leq 0,05\%$. Sedangkan untuk menghitung trim, Parson (2001) memberikan persamaan (2.7).

$$Trim = T_A - T_F = \frac{(LCG-LCB)L}{GM_L} \quad (2.7)$$

Besarnya trim yang terjadi pada kapal, sangat dipengaruhi oleh berat dan titik berat seluruh komponen yang ada di atas kapal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan posisi komponen yang memiliki berat di atas kapal sehingga trim yang dihasilkan kecil, bahkan kalau bisa tidak terjadi trim (*even keel*).

2.6.4.2 Perhitungan Stabilitas Kapal

Selain trim, persyaratan lain yang harus dipenuhi sebagai *constrain* adalah stabilitas. Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali pada kedudukan setimbang dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dikarenakan adanya gaya tertentu. Untuk mengetahui bagaimana kemampuan kapal kembali pada kedudukan semula pada saat mengalami oleng, digunakan perhitungan stabilitas.

Menghitung stabilitas bisa menggunakan beberapa metode numerik. Salah satu metode perhitungan stabilitas yang sering digunakan untuk menghitung barge dengan ukuran kecil berbentuk kotak homogen adalah Wall Sided Formula yang diberikan oleh Rawson dan Tupper (2001) pada persamaan (2.8).

$$GZ = \sin \phi \left[GM + \frac{BM}{2} \tan^2 \phi \right] \quad (2.8)$$

dimana :

$$GM = KB + BM - KG \quad (2.9)$$

$$KB = \frac{T}{2} \quad (2.10)$$

$$BM = \frac{1}{V} = \frac{1}{12} \cdot \frac{B^3 L}{BLT} = \frac{B^2}{12T} \quad (2.11)$$

$$KG = \frac{H}{2} \quad (2.12)$$

Beberapa hal yang memegang peranan penting dalam perhitungan stabilitas kapal, antara lain :

- Titik G (Gravity) : titik pusat berat kapal
- Titik B (Bouyancy) : titik pusat gaya apung
- Titik M (Metacenter) : titik perpotongan antara vektor gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan vektor gaya tekan ke atas pada sudut olehng

Sebagai batasan stabilitas dalam tugas akhir ini, digunakan regulasi dan persyaratan stabilitas yang ditetapkan oleh IMO pada SOLAS. Beberapa ketentuan tersebut antara lain :

- $e_{0 \sim 30^\circ} \geq 0.055 \text{ m.rad}$
Luas di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055$ meter radian.
- $e_{0 \sim 40^\circ} \geq 0.09 \text{ m.rad}$
Luas di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.09$ meter radian.
- $e_{3^\circ \sim 40^\circ} \geq 0.03 \text{ m.rad}$
Luas di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ - 40^\circ \geq 0.03$ meter radian.
- $h_{30^\circ} \geq 0.2 \text{ m}$
Lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.
- $GM_0 \geq 0.15 \text{ m}$
Tinggi metacenter awal GM^0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

2.7. Tinjauan Ekonomis Desain Kapal

Santosa (1999) menjelaskan bahwa ditinjau dari segi ekonomis, persoalan desain kapal adalah bagaimana membuat bentuk badan kapal sedemikian rupa sehingga secara teknis memiliki hambatan kecil berakibat pada kecilnya tenaga mesin yang diperlukan untuk menggerakkan kapal. Disamping itu, perencanaan agar berat pelat baja bisa seringan mungkin. Pada akhirnya semua hal tersebut bisa menurunkan biaya pembangunan dan biaya

operasional kapal, yang mana merupakan persoalan utama dari aspek ekonomis yang akan dibahas dalam tugas akhir ini.

2.7.1. Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal

Biaya pembangunan kapal pada umumnya didominasi oleh biaya berat baja kapal, biaya permesinan, dan biaya peralatan serta perlengkapan kapal. Sehingga dalam proses optimasi ketiga jenis biaya ini yang kemudian dimasukkan dalam perhitungan. Namun demikian, Watson (1998) memberikan koreksi atas ketiga biaya tersebut. Koreksi tersebut adalah koreksi keadaan ekonomi dan kebijakan pemerintah.

2.7.1.1. Biaya Berat Baja Kapal (*Structural Weight Cost*)

Perhitungan biaya berat baja kapal bisa dilaksanakan apabila sudah diketahui berapa berat total baja yang dibutuhkan untuk membangun kapal. Bagaimana menghitung kebutuhan berat baja kapal sudah dijelaskan pada Sub Bab 2.6.2.1.1 Setelah diketahui berat baja yang dibutuhkan, selanjutnya tinggal dikalikan dengan harga pelat baja yang dijual saat ini.

2.7.1.2. Biaya Permesinan Kapal

Kapal yang didesain dalam tugas akhir ini direncanakan tanpa menggunakan sistem propulsi sendiri (*non self propelled*), sehingga tidak membutuhkan mesin induk. Namun demikian, tetap memerlukan genset untuk menyuplai kebutuhan listrik. Sehingga perhitungan biaya permesinan kapal lebih didasarkan pada harga genset yang telah dipilih sebagaimana telah dijelaskan pada Sub Bab 2.6.2.1.2.

2.7.1.3. Biaya Peralatan dan Perlengkapan Kapal (*Hull Outfit Cost*)

Perhitungan biaya peralatan dan perlengkapan kapal didasarkan pada kebutuhan kapal. Setelah pemilihan, sebagaimana telah dijelaskan pada Sub Bab 2.6.2.1.3, maka dicari harga dari masing-masing peralatan / perlengkapan tersebut untuk kemudian dimasukkan sebagai biaya peralatan dan perlengkapan.

2.7.1.4. Koreksi Keadaan Ekonomi dan Kebijakan Pemerintah

Ketika kapal dibangun, keadaan ekonomi dan kebijakan pemerintah setempat akan berpengaruh terhadap biaya pembangunan. Atas dasar itulah kemudian Watson (1998) memasukkan faktor keadaan ekonomi dan kebijakan pemerintah sebagai salah satu bentuk koreksi atas biaya pembangunan kapal. Rincian koreksi tersebut menurut Watson (1998) adalah sebagai berikut :

- Keuntungan yang diambil oleh pihak galangan kapal, besarnya $\pm 5\%$ dari total biaya pembangunan kapal yang telah dihitung sebelumnya.
- Biaya untuk mengatasi inflasi yang terjadi. Besarnya $\pm 2\%$ dari total biaya pembangunan kapal.
- Dana dukungan pemerintah. Besarnya $\pm 9\%$.

2.7.2. Perhitungan Biaya Operasi Kapal

Secara umum, biaya operasional kapal bisa dibagi menjadi dua kelompok. Biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap adalah biaya yang besarnya tidak berubah. Sedangkan biaya variabel adalah biaya yang besarnya berubah tergantung pada design variable yang diikutkan dalam proses optimasi.

2.7.2.1. Biaya Variabel

Perhitungan biaya variabel dalam biaya operasional pada umumnya didominasi oleh biaya bahan bakar (*fuel oil cost*), biaya minyak pelumas (*lubricant oil*) dan biaya air tawar (*fresh water*). Sehingga ketiga hal tersebut sangat mempengaruhi hasil optimasi kapal secara keseluruhan. Meskipun tidak bisa diabaikan pula gaji operator kapal sebagai fungsi jumlah operator kapal.

Untuk tugas akhir ini, biaya air tawar tidak dimasukkan ke dalam biaya operasional karena asumsi yang digunakan adalah kapal hanya beroperasi selama 8 jam setiap hari dan tidak ada *crew* yang menginap di atas kapal.

2.7.2.1.1. Biaya Bahan Bakar

Kebutuhan bahan bakar adalah fungsi dari kebutuhan bahan bakar yang ada di kapal dan hal ini sudah dijelaskan pada Sub Bab 2.6.2.2.1. Selanjutnya untuk mendapatkan biaya bahan bakar, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan dikalikan dengan harga bahan bakar yang dijual saat ini.

2.7.2.1.2. Biaya Minyak Pelumas

Perhitungan biaya minyak pelumas pada dasarnya hampir sama dengan perhitungan biaya bahan bakar. Setelah mengetahui kebutuhan minyak pelumas, seperti dijelaskan pada Sub Bab 2.6.2.2.2, kemudian dikalikan dengan harga minyak pelumas yang dijual saat ini.

2.7.2.1.3. Gaji Operator Kapal

Gaji operator kapal merupakan fungsi dari jumlah operator yang direncanakan dalam proses mendesain kapal. Untuk perhitungannya, gaji operator dihitung berdasarkan jam kerja. Jadi ketika kapal tidak beroperasi, maka operator tidak mendapatkan gaji.

2.7.2.2. Biaya Tetap

Selain biaya variabel yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.7.2.1, biaya operasional juga terdiri dari biaya tetap yang nilainya tidak berubah, yaitu :

- Biaya reparasi dan perawatan kapal, diambil sebesar 10% dari biaya pembangunan kapal.
- Biaya angsuran pinjaman dan bunga bank. Dihitung dengan menggunakan fungsi PMT pada program Microsoft Excell dengan tingkat bunga yang ditetapkan adalah 16%.
- Biaya asuransi, diambil sebesar 1,5% dari biaya pembangunan kapal.

2.8. Analisis Kelayakan Investasi

Analisis kelayakan investasi dilakukan untuk memberikan gambaran kepada investor, seberapa besar keuntungan yang akan mereka dapatkan dengan berinvestasi membangun kapal yang sedang didesain ini. Yang dijadikan acuan perbandingan pun bisa bermacam-macam. Biasanya bentuk perbandingan yang digunakan adalah membandingkan antara biaya investasi kapal dengan biaya investasi deposito bank. Jika hasil investasi kapal lebih menguntungkan dari biaya investasi deposito bank, maka proyek pembangunan kapal layak untuk dikerjakan.

Selain itu, ada kriteria lain yang digunakan untuk menilai layak tidaknya suatu investasi yaitu Break Event Point (BEP). Melalui metode BEP bisa diketahui pada tahun ke berapa investor mulai menikmati keuntungannya. Kecenderungan yang terjadi adalah, jika waktu BEP terlalu lama, maka investasi kurang bagus untuk dijalankan dan sebaliknya.

Apabila kemudian kapal yang dibangun memiliki tujuan tidak untuk dikomersialkan melainkan untuk menjadi aset pribadi, maka perbandingan yang dilakukan biasanya mengacu pada biaya jasa kapal yang dimiliki oleh perusahaan atau pihak-pihak diluar investor. Sebagai contoh yaitu studi kasus dalam tugas akhir ini. Kapal yang dibangun statusnya adalah milik Pemda dan akan dioperasikan oleh pihak Pemda. Sebelum membangun kapal ini, Pemda biasa menggunakan jasa pihak swasta. Maka, bentuk perbandingan yang digunakan untuk menilai kelayakan investasi yang dilakukan adalah dengan membandingkan antara biaya investasi kapal dengan biaya jasa kapal yang disediakan oleh pihak swasta. Jadi dalam hal ini

analisis yang dilakukan bukan berdasar pada profit yang didapat, melainkan berapa besar penghematan anggaran yang bisa dilakukan oleh Pemda dengan berinvestasi membangun kapal sendiri.

Untuk bisa membandingkan antara biaya investasi kapal dengan biaya jasa kapal yang disediakan oleh pihak swasta, maka perhitungan biaya jasa kapal didasarkan pada perhitungan biaya jasa PT. (Persero) Pengerukan Indonesia. Ini dikarenakan misi utama dari kapal yang dibangun adalah untuk mengeruk dan ini sesuai dengan bidang kerja PT. (Persero) Pengerukan Indonesia selaku pihak swasta yang menyediakan jasa pengerukan.

2.9. Analisa Regresi

Ridwan (2006) menjelaskan bahwa analisa regresi adalah metode statistika yang digunakan untuk menentukan pola hubungan antara variabel respon dengan satu atau lebih variabel bebas. Dengan kata lain analisa regresi merupakan suatu upaya untuk menentukan kecocokan suatu kurva terhadap sekumpulan data. Fungsi analisa regresi adalah untuk meramalkan atau memperkirakan nilai variabel tidak bebas dengan variabel bebas tertentu (dikutip oleh Dharma, 2009). Bentuk regresi sendiri bisa bermacam-macam mulai dari regresi linier, regresi polinomial, regresi eksponensial, regresi logaritma, dll. Pemilihan bentuk regresi, harus disesuaikan dengan pola penyebaran data pada diagram untuk mendapatkan persamaan yang tepat.

2.10. Metode Optimasi Dalam Mendesain Kapal

Setijoprajudo (1999) memaparkan bahwa optimasi adalah suatu proses untuk mendapatkan beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu. Optimasi biasa digunakan untuk mencari suatu nilai minimum atau maksimum yang ditetapkan sejak awal sebagai *objective function*.

Beberapa komponen optimasi yang selalu terlibat dalam setiap proses iterasi dipaparkan oleh Setijoprajudo (1999) sebagai berikut :

- Variable (variable)

Variabel adalah harga atau nilai yang dicari dalam proses optimasi.

- Parameter

Parameter adalah harga atau nilai yang besarnya tidak berubah selama satu kali proses optimasi karena adanya syarat-syarat tertentu. Parameter dapat diubah setelah satu kali

proses optimasi untuk menyelidiki kemungkinan diperolehnya hasil yang lebih baik dalam proses optimasi berikutnya.

- Konstanta (*constant*)

Konstanta adalah harga atau nilai yang tidak berubah besarnya selama proses optimasi berlangsung tuntas.

- Batasan (*constrain*)

Batasan adalah harga atau nilai batas yang telah ditentukan. Batasan ini menjadi syarat sekaligus kriteria apakah hasil optimasi bisa diterima atau tidak.

- Fungsi Obyektif (*objective function*)

Fungsi obyektif adalah hubungan antara semua atau beberapa variabel serta parameter yang nilainya akan dioptimalkan. Fungsi tersebut dapat berbentuk linier, non linier, kompleks, atau bisa juga gabungan dari beberapa fungsi obyektif.

Terkait dengan perancangan kapal, metode optimasi bisa dikombinasikan dengan beberapa metode perancangan kapal. Sebagaimana yang disebutkan oleh Santosa (1999), ada empat metode perancangan kapal yang telah dikembangkan berdasarkan teori dan pengalaman yaitu : metode perbandingan kapal (*method of comparison*), metode statistik (*method of statistic*), metode trial dan error (*iration*) dan metode penyelesaian kompleks (*method of complex solution*).

Pengombinasian antara metode perancangan kapal dengan proses optimasi akan cenderung melibatkan prinsip dasar engineering dan prinsip-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 optimasi.

Kadangkala dalam upaya penyelesaian masalah dengan metode optimasi, *objective function* dan *constrain* tidak bisa dinyatakan secara eksplisit sebagai sebuah fungsi dari *design variable*. Permasalahan ini sulit jika diselesaikan dengan menggunakan metode optimasi klasik (*linear programming*). Oleh karena itu, metode optimasi *non linear* digunakan sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Metode optimasi *non linear* yang sering digunakan dalam proses mendesain adalah *constrained non linear optimization tehcnique*, khususnya *generalize reduced gradient method* yang digunakan dalam aplikasi Solver Microsoft Excell (Dharma, 2009).

2.10.1. Constrained Non Linear Optimization Technique

Constrained non linear optimization technique dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu *direct method* dan *indirect method*. Pada kelompok pertama, *constrain* dinyatakan secara eksplisit. Sedangkan kelompok kedua, *constrain problem* diselesaikan seperti penyelesaian beberapa *unconstrained minimization problem*.

Kelompok *direct method* sendiri dibedakan menjadi beberapa bagian. Namun yang umum digunakan adalah *generalized reduced gradient method* karena pertimbangan efisiensi dan juga adanya proses iterative dalam mencari nilai minimum / maksimum.

2.10.2. Generalized Reduced Gradient Method

Generalized reduced gradient method adalah metode yang bertujuan untuk memecahkan masalah desain dengan mencari nilai-nilai optimal. Desain yang optimal itu sendiri menurut Papalambros dan Wilde (1988) merupakan sebuah tatanan sistem yang dapat didefinisikan dalam tiga hal antara lain : variabel desain, parameter dan konstanta (dikutip oleh Dharma, 2009). Sedangkan kriteria untuk menyatakan bahwa desain tersebut baik atau optimal didasarkan pada suatu fungsi yang disebut fungsi obyektif. Fungsi ini nantinya yang akan menentukan nilai dari suatu karakteristik desain sehingga dapat dikatakan baik atau tidak.

Papalambros dan Wilde (1988) juga menjelaskan bahwa fungsi obyektif dapat berupa nilai maksimum atau minimum yang dicari. Dalam membuat suatu desain yang optimal maka suatu karakteristik harus ditentukan oleh desainer dengan mengambil suatu batasan (*constrain*). Batasan ini diperlukan untuk mengetahui apakah sebuah fungsi obyektif dapat mendefinisikan nilai optimum dalam batasan yang diberikan sebelumnya. Sedangkan *constrain* atau batasan dijelaskan oleh Vasiliev dan Gurdal (1999) dapat berupa nilai angka atau sebuah fungsi (dikutip oleh Dharma, 2009).

Selain itu, Abadie (1970) mengungkapkan bahwa menentukan desain yang optimal dengan metode *Generalized Reduced Gradient* (GRG) merupakan sebuah teknik mengeliminasi variabel secara sederhana pada masalah persamaan batasan. Metode GRG ini dikembangkan dari metode reduksi gradien yang mengakomodasi batasan berupa pertidaksamaan non linear. Dalam metode ini batasan akan bergerak aktif untuk menemukan penyelesaian sampai didapatkan hasil yang sesuai.

Metode GRG sendiri menggunakan metode Newton Raphson dan Conjugate Gradient sebagai iterasi dalam pencarian *constrain* untuk mendapatkan hasil yang sesuai (Arora, 1989).

Oleh karena itu metode GRG dikatakan mirip dengan metode reduksi gradien. Apabila pertidaksamaan batasan selalu dikonversikan dengan persamaan penambahan *slack variable*, maka persamaan constrain akan dibentuk dalam model tertentu sebatas jangkauan *slack variable*.

Misalkan fungsi obyektif $f(x)$ dengan constrain Δf , Δh_i minimum, dan maksimum $f(x)$ dikondisikan pada $\Delta f \geq 0$ dan $\Delta h_i \geq 0$, maka dapat ditulis persamaan (2.13) dan (2.14).

$$\Delta f = \frac{\partial f^T}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial f^T}{\partial z} \Delta z \quad (2.13)$$

$$\Delta h_i = \frac{\partial h_i^T}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial h_i^T}{\partial z} \Delta z \quad (2.14)$$

Jika program pencarian desain yang optimal telah dimulai, beberapa pilihan variabel akan disubstitusikan ke persamaan (2.13) dan (2.14) sehingga didapatkan persamaan (2.15).

$$AT \Delta y + BT \Delta z = 0 \text{ atau } Az = -(B - T AT) \Delta y \quad (2.15)$$

keterangan :

B dan A = matrik dari gradient persamaan constrain yang sesuai y dan z berturut-turut selama proses pemilihan berlangsung.

Δz = pilihan dari variabel tidak bebas

Δy = pilihan dari variabel bebas

Kemudian Δz dari persamaan (2.15) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.13), sehingga nilai dari df/dy dapat didefinisikan seperti pada persamaan (2.16)

$$\Delta f = \left(\frac{\partial f^T}{\partial y} - \frac{\partial f^T}{\partial z} B^{-1} AT \right) \Delta y \text{ atau dapat juga ditulis } \frac{df}{dy} = \frac{\partial f}{\partial y} - AB^{-1} \frac{\partial f}{\partial z} \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) inilah yang kemudian dikenal dengan metode Generalized Reduced Gradient (GRG), dimana dapat menunjukkan penentuan gradient pada fungsi yang tidak terbatas (Arora, J.S, 1989). Selama dalam proses, nilai fungsi diperlukan pada setiap tahap pencarian fungsi. Untuk angka eksperimen α , maka variabel desain akan diperbaharui menjadi $\Delta y = -\alpha \frac{df}{dy}$ dan Δz yang didapat dari persamaan (2.15).

Jika angka percobaan yang dipilih tidak memenuhi, maka variabel bebas dipertimbangkan bernilai tetap (fixed) dan variabel tidak bebas akan dipilih melalui iterasi dengan memakai metode *Newton Raphson* atau *Conjugate Gradient* sampai didapatkan nilai yang sesuai atau optimal.

Adapun Catapult (2003) menyebutkan bahwa aplikasi *Solver Microsoft Excell* bekerja dengan menggunakan dua metode iterasi yang mendukung GRG, yaitu : metode *Newton Raphson* dan metode *Conjugate Gradient* (dikutip oleh Dharma, 2009).

2.10.2.1. Metode GRG dengan Interasi Newton Raphson

Arora (1989) menerangkan bahwa konsep dari metode Newton Raphson ini adalah metode iterasi atau perhitungan berulang-ulang untuk mendapatkan harga yang diinginkan. Prinsip dasar persamaan Newton Raphson ini diambil dari persamaan seri eksponensial *Taylor II* yang digabungkan dengan matrik *Hessian*. Persamaan Newton Raphson oleh Arora (1989) dituliskan seperti pada persamaan (2.17).

$$f(x + \Delta x) = f(x) + c^T \Delta + 0.5 \Delta x^T H \Delta x \quad (2.17)$$

keterangan :

Δx = pilihan desain yang diiterasi

H = Matrik Hessian

f = Fungsi Newton untuk nilai x

Untuk kondisi optimal, harga H didefinisikan positif dan persamaan (2.17) bernilai minimum dengan harga bervariasi. Selanjutnya kondisi optimal akan didapatkan jika $\frac{\partial f}{\partial}(\Delta x) = 0$. Pada saat kondisi optimal ini persamaan (2.17) akan menjadi persamaan (2.18).

$$c + H \Delta x = 0 \quad (2.18)$$

Apabila disumsikan bahwa matrik Hessian tidak singular maka nilai dari Δx didapatkan seperti pada persamaan (2.29).

$$\Delta x = -H^{-1}c \quad (2.19)$$

Agar mendapatkan nilai optimum seperti pada persamaan (2.20), Δx disubstitusikan untuk beberapa nilai ke dalam persamaan (2.19).

$$x^{(1)} = x^0 + \Delta x \quad (2.20)$$

Persamaan (2.20) ini menjadi dasar perhitungan iterasi pada metode *Generalized Reduced Gradient* yang digunakan sebagai pedoman untuk mendapatkan harga fungsi yang optimal.

2.10.2.2. Metode GRG dengan Iterasi Conjugate Gradient

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Fletcher dan Reeves (1964) sebagai metode perhitungan desain optimal yang sangat sederhana dan efektif. Metode ini dipakai dengan prinsip iterasi pada metode GRG. Dalam setiap langkah, metode ini menerapkan

konsep ortogonal fungsi secara berurutan (Arora, 1989). Setiap langkah dari metode ini biasanya akan bernilai konvergen atau di luar batas fungsi.

Pada proses perhitungan persamaan *Conjugate Gradient Direction* ($d(i)$) akan dihasilkan fungsi ortogonal yang simetris dan matrik akan didefinisikan positif. Oleh karena itu, fungsi akan menjadi *Conjugate Gradient Algorithm*. Langkah-langkah perhitungan *Conjugate Gradient Algorithm* diberikan oleh Arora (1989) sebagai berikut :

- Langkah 1 : mengestimasi permulaan persamaan pada $x(0)$ dengan faktor iterasi $k = 0$, yang ditulis seperti pada persamaan (2.21).

$$d(0) = -c(0) \equiv -\nabla f(x(0)) \tag{2.21}$$

- Langkah 2 : Menghitung iterasi untuk harga k selanjutnya, yang ditulis seperti pada persamaan (2.22).

$$c(k) \equiv \nabla f(x(k)) \tag{2.22}$$

- Langkah 3 : Menghitung *Conjugate Direction* yang baru, yang ditulis seperti pada persamaan (2.23)

$$d(k) = -c(k) + \beta_k d(k - 1) \tag{2.23}$$

dimana nilai β_k didapatkan dengan persamaan (2.24)

$$\beta_k = \frac{|c(k)|}{|c(k-1)|} \tag{2.24}$$

- Langkah 4 : Melakukan perhitungan $\alpha_k = \alpha$ untuk meminimumkan $f(x(k) + \alpha d(k))$.

- Langkah 5 : Memilih design optimal pada persamaan (2.25).

$$x(k + 1) = x(k) + \alpha_k d(k) \tag{2.25}$$

Persamaan (2.25) ini kemudian digunakan sebagai model iterasi metode GRG.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Jenis Dan Sumber Data

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, ada dua jenis data yang digunakan yakni :

- Data primer, diperoleh dari diperoleh dari pengamatan di Sungai Kepetingan sebagai wilayah operasional kapal dan wawancara langsung dengan beberapa pihak yang memiliki kepentingan dan permasalahan dengan Sungai Kepetingan.
- Data sekunder, diperoleh dari buku literatur, paper, dan internet untuk menunjang data utama dan memberikan gambaran dalam proses pembuatan konsep desain kapal.

3.2. Prosedur Pengumpulan Data

3.2.1. Survey Lapangan.

Pada tahap ini, survey dilakukan langsung ke Sungai Kepetingan. Data yang ingin diperoleh adalah kondisi real Sungai Kepetingan dengan segala permasalahan yang ada di dalamnya. Selain itu, dilakukan pengukuran dimensi sungai yang meliputi lebar dan kedalaman sungai di beberapa titik (diambil secara acak).

Selain kondisi sungai, survey juga ditujukan kepada salah satu penduduk yang tinggal di daerah aliran sungai Kepetingan yang berprofesi sebagai nelayan sekaligus penyedia jasa transportasi angkutan sungai untuk mengetahui dampak dari permasalahan lingkungan yang ada pada Sungai Kepetingan.

3.2.2. Studi Literatur

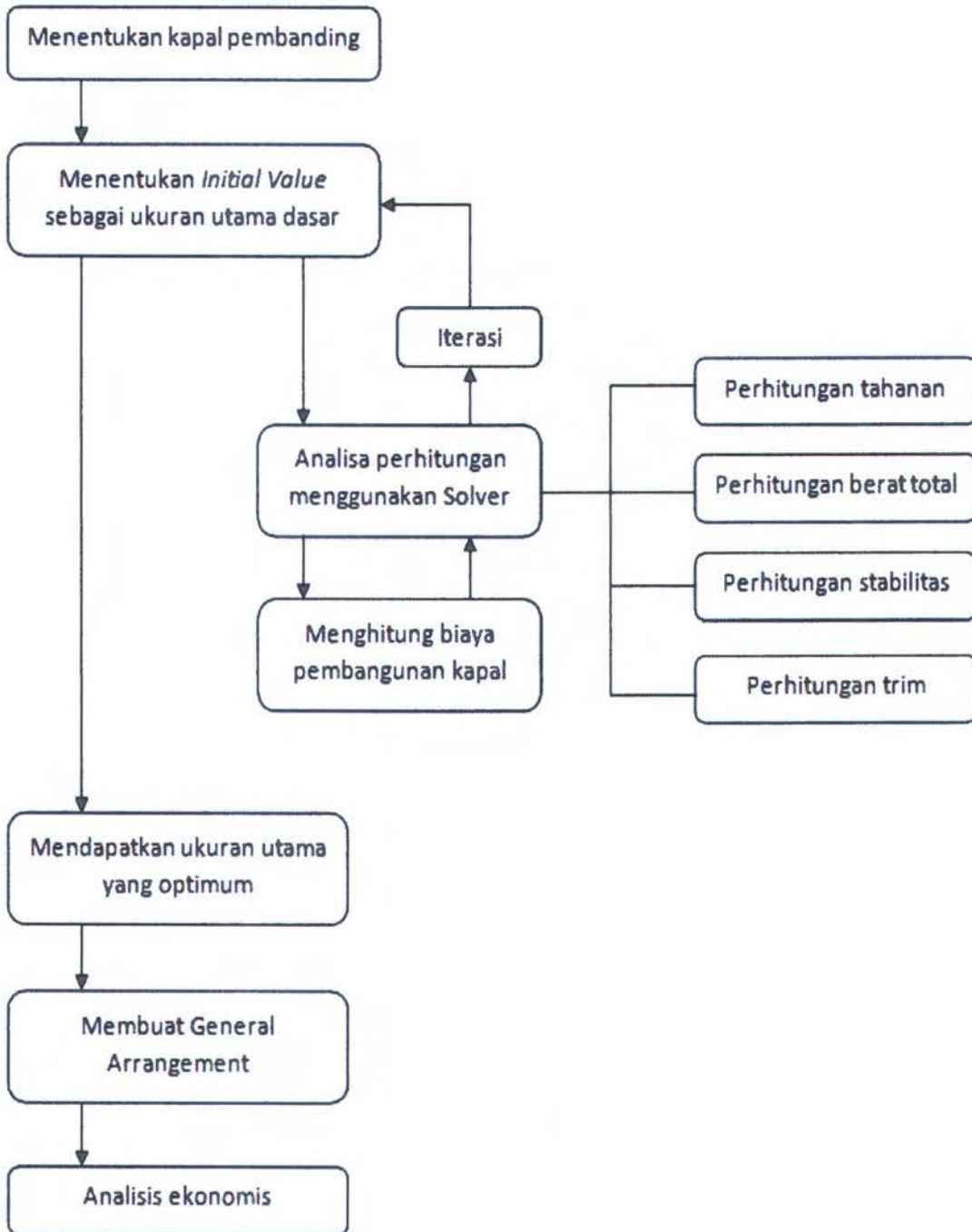
Studi literatur dilakukan setelah mendapatkan data primer dari hasil survey lapangan. Studi literatur lebih ke arah pencarian data atau informasi yang terkait dengan proses mendesain kapal. Termasuk juga referensi sistem yang diperlukan oleh kapal untuk menyelesaikan permasalahan di Sungai Kepetingan. Lokasi pencarian referensi sebagai literatur adalah di Ruang Baca FTK, *mailing list* FTK, dan informasi dari situs-situs yang berhubungan dengan dunia maritim di internet.

3.3. Pengolahan Data

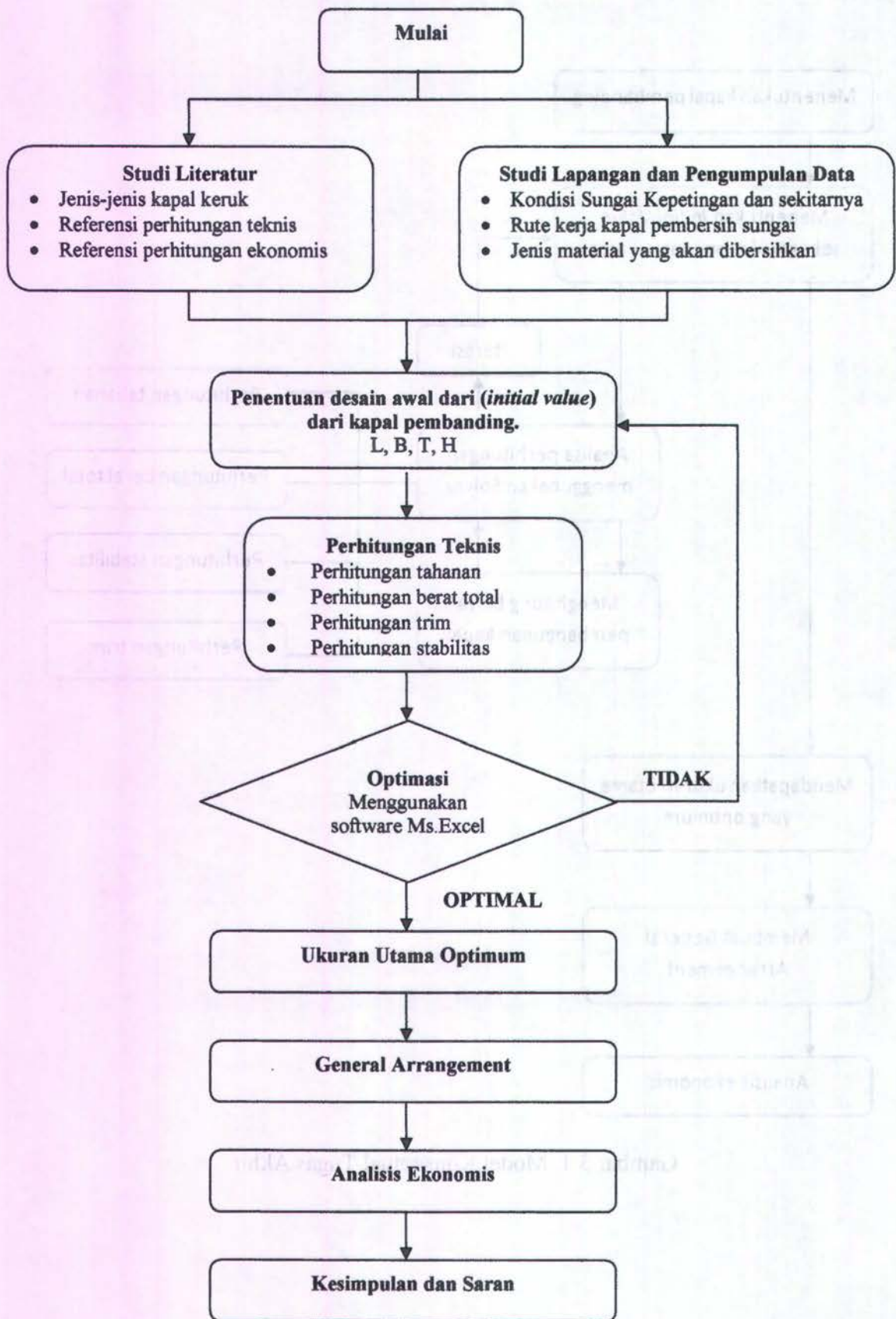
Setelah data-data yang dibutuhkan sudah didapatkan, maka selanjutnya adalah mengolah data tersebut hingga menghasilkan sebuah desain yang optimal. Adapun langkah-

langkah yang dilakukan dalam mengolah data yang sudah dikumpulkan adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan permasalahan yang ada di Sungai Kepetingan. Masalah ini didapatkan dari hasil survey lapangan sebagaimana yang telah dijelaskan pada Sub Bab 3.2.1.
- 2) Menentukan tipe kapal beserta sistem yang cocok untuk mengatasi permasalahan di Sungai Kepetingan. Pemilihan tipe kapal beserta sistemnya ini akan menjadi dasar untuk proses mendesain di tahap selanjutnya.
- 3) Mencari data kapal pembanding yang tipenya sejenis dengan tipe kapal yang telah dipilih sebelumnya. Data yang dikumpulkan dari kapal pembanding adalah ukuran utama kapal (L, B, H, dan T) dan perbandingan ukuran utama kapal (L_{pp}/B , L_{pp}/H , B/T , B/H , dan H/T).
- 4) Menentukan ukuran utama awal sebagai *initial value* yang akan digunakan dalam proses optimasi sebagai iterasi pertama. Ukuran utama awal didapatkan dengan menggunakan metode regresi linier sebagaimana dijelaskan pada Sub Bab 2.9. Data yang diregresi adalah ukuran utama kapal pembanding.
- 5) Menentukan komponen optimasi sebagaimana dijelaskan pada Sub Bab 2.10. Kemudian membuat model optimasi yang berisi komponen optimasi. Model optimasi dibuat dengan program Microsoft Excel.
- 6) Membuat perhitungan teknis dan ekonomis yang didasarkan pada *initial value*. Perhitungan teknis dilakukan dengan menggunakan persamaan yang sudah diberikan pada Sub Bab 2.6, sedangkan perhitungan ekonomis dilakukan dengan persamaan yang sudah diberikan pada Sub Bab 2.7. Perhitungan teknis dan ekonomis ini dihubungkan ke model optimasi yang sudah dibuat. Sehingga ketika proses optimasi dijalankan, secara otomatis perhitungan teknis dan ekonomis ikut di dalamnya.
- 7) Menjalankan proses optimasi melalui model optimasi dengan bantuan aplikasi Solver Microsoft Excel. Solver bekerja dengan menggunakan metode *Generalized Reduced Gradient* yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.10.2. Dari hasil optimasi akan didapatkan ukuran utama yang optimal.
- 8) Mendesain *general arrangement* kapal pembersih sungai dengan menggunakan data ukuran utama hasil. Penggambaran *general arrangement* sendiri dilakukan dengan menggunakan program AutoCAD 2007.
- 9) Menganalisis hasil perhitungan ekonomis untuk menentukan kelayakan investasi dengan metode yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.8.



Gambar 3.1. Model Konseptual Tugas Akhir



Gambar 3.2. Flow Chart Metodologi Penelitian

3.4. Sistematika Laporan Tugas Akhir

Sistematika laporan yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Bab I. Pendahuluan
Bab ini menguraikan secara umum dan singkat yang meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, serta batasan masalah dari tugas akhir yang sedang dikerjakan.
- Bab II. Tinjauan Pustaka
Bab ini memaparkan teori-teori dari referensi yang berhubungan dengan perencanaan konsep desain kapal pembersih sungai beserta sistemnya. Disamping itu dipaparkan pula dasar-dasar yang digunakan sebagai tinjauan teknis maupun ekonomis dalam suatu perencanaan kapal, baik itu yang sifatnya sebagai pembuka wawasan ataupun yang digunakan langsung dalam proses penghitungan dan optimasi.
- Bab III. Metodologi Penelitian
Bab ini memaparkan metodologi yang digunakan dalam tugas akhir mulai dari tahap mengumpulkan data, mengolah data, dan mendesain kapal pembersih sungai.
- Bab IV. Tinjauan Daerah Operasi Kapal Pembersih Sungai
Bab ini memaparkan kondisi dan karakteristik Sungai Kepetingan Sidoarjo yang akan menjadi wilayah operasi kapal yang didesain.
- Bab V. Pemilihan Jenis Kapal Dan Rencana Operasionalnya Di Sungai Kepetingan
Bab ini memaparkan pemilihan jenis kapal yang sesuai untuk dioperasikan di Sungai Kepetingan. Selain itu diberikan juga perhitungan-perhitungan yang terkait dengan rencana operasional kapal.
- Bab VI. Proses Optimasi Ukuran Utama Kapal Pembersih Sungai
Bab ini memaparkan langkah-langkah dalam melakukan proses optimasi hingga akhirnya didapatkan ukuran utama yang optimal. Ukuran utama ini kemudian digunakan dalam perhitungan analisa, baik itu dari segi teknis maupun ekonomis.
- Bab VII. Perhitungan Dan Analisis Teknis Kapal
Bab ini memaparkan perhitungan teknis kapal beserta analisisnya dari hasil optimasi yang telah didapatkan sebelumnya.
- Bab VIII. Perhitungan Dan Analisis Ekonomis Kapal

Bab ini memaparkan perhitungan ekonomis kapal beserta analisisnya dari hasil optimasi yang sudah didapatkan sebelumnya.

- **Bab IX. Rencana Umum Kapal Pembersih Sungai**

Bab ini berisi desain rencana umum kapal pembersih sungai berdasarkan ukuran utama optimum yang sudah didapatkan dari proses optimasi sebelumnya.

- **Bab X. Kesimpulan Dan Saran**

Bab ini berisi kesimpulan akhir dari hasil analisis teknis dan ekonomis yang sudah dilakukan sebelumnya. Selain itu diberikan juga saran-saran sebagai bentuk tindak lanjut dari permasalahan yang dibahas.

Bab 4. Tinjauan Daerah Operasional Kapal Pembersih Sungai

4.1. Tinjauan Umum Kabupaten Sidoarjo

Kabupaten Sidoarjo adalah salah satu kabupaten di Jawa Timur. Secara geografis Kab.Sidoarjo terletak pada 112,5⁰ - 112,9⁰ BT dan 7,3⁰ - 7,5⁰ LS. Batas wilayah Kab.Sidoarjo antara lain :

- Batas Utara : Kota Surabaya, Kabupaten Gresik
- Batas Timur : Selat Madura
- Batas Selatan : Kabupaten Pasuruan
- Batas Barat : Kabupaten Mojokerto

Luas Kab.Sidoarjo adalah 634,38 Km², terbagi dalam 18 kecamatan dengan jumlah penduduk 1.480.578 jiwa (lihat Tabel 4.1). Sektor perekonomian utama Sidoarjo ditunjang oleh perikanan, industri dan jasa.

Tabel 4.1. Jumlah Desa / Kelurahan, Rumah Tangga dan Penduduk Tahun 2008

No	Kecamatan	Desa / Kelurahan	Rumah Tangga	Penduduk
1	Sidoarjo	24	40.898	145.638
2	Buduran	15	18.157	65.859
3	Candi	24	30.847	97.220
4	Porong	19	21.670	64.019
5	Krembung	19	14.533	52.854
6	Tulangan	22	19.182	68.677
7	Tanggulangin	19	24.162	90.684
8	Jabon	15	11.557	43.945
9	Krian	22	26.874	88.497
10	Balombangendo	20	16.948	61.091
11	Wonoayu	23	16.129	67.256
12	Tarik	20	16.926	56.539
13	Prambon	20	26.155	59.544
14	Taman	24	39.132	145.176
15	Waru	17	39.925	159.755
16	Gedangan	15	30.551	86.579

17	Sedati	16	25.536	63.592
18	Sukodono	19	17.020	63.653

Sumber : Badan Pusat Statistik Sidoarjo

Pada sektor perikanan, Kab.Sidoarjo ditunjang dengan hasil tambak (bandeng, udang, dan kepiting) dan juga hasil tangkapan para nelayan (ikan laut). Sedangkan untuk sektor industri, banyak pabrik yang didirikan di Kab.Sidoarjo. Hal ini tidak lepas dari faktor letak geografis Kab.Sidoarjo yang bersebelahan dengan Kota Surabaya. Meski demikian, sektor industri kecil pun berkembang dengan cukup pesat salah satunya industri kerajinan tas dan koper di Kec.Tanggulangin.

Pada sektor transportasi, Kab.Sidoarjo ditunjang dengan adanya Bandara Juanda dan Terminal Purabaya. Tidak hanya itu, sumber daya manusia yang produktif dan ditunjang pula dengan kondisi sosial politik serta keamanan yang relatif lebih stabil banyak menarik minat investor untuk berinvestasi di Sidoarjo.

4.2. Tinjauan Geografis Sungai Kepetingan Sidoarjo

Sungai Kepetingan adalah salah satu sungai besar di Sidoarjo yang menjadi muara dari tiga sungai kecil yaitu, Sungai Candi, Sungai Kemambang, dan Sungai Sumbar. Sungai Kepetingan juga menjadi salah satu pembatas antara dua kecamatan yaitu, Kecamatan Sidoarjo dan Kecamatan Buduran (lihat pada Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Sungai Kepetingan Sidoarjo Dalam Peta

Adapun dimensi sungai kepetingan adalah sebagai berikut :

- Panjang sungai : ± 5 km

- Lebar sungai : ± 23 m
- Kedalaman sungai : ± 1 m (setelah mengalami pendangkalan)

Sungai Kepetingan berfungsi sebagai akses para nelayan Sidoarjo untuk melaut di Selat Madura. Untuk memudahkan aktifitas para nelayan dari segi perdagangan hasil tangkapan ikan, Pemda Sidoarjo membangun Pasar Ikan di sebelah Dermaga Rangkah. Fungsi lain dari Sungai Kepetingan adalah sebagai jalur utama penyedia jasa transportasi angkutan sungai, yang kerap mengantarkan para wisatawan untuk memancing atau berwisata ke obyek wisata Pantai Kepetingan Sidoarjo.



Gambar 4.2. Dermaga Rangkah

4.3. Permasalahan Sungai Kepetingan

Permasalahan utama Sungai Kepetingan terbagi dalam dua kategori. Pertama masalah lingkungan hidup dan yang kedua masalah sosial. Berawal dari masalah lingkungan hidup, masalah sosial pun tercipta sebagai akibat.

Masalah lingkungan yang dimiliki Sungai Kepetingan antara lain : pendangkalan sungai (baik oleh lumpur maupun endapan sampah), tertutupnya sebagian besar permukaan sungai dengan enceng gondok, dan permasalahan sampah khususnya di daerah aliran sungai yang dekat dengan pemukiman penduduk.

Pendangkalan yang terjadi di Sungai Kepetingan mengakibatkan sering meluapnya air sungai ketika musim hujan. Hal ini mengakibatkan pemukiman masyarakat Dusun Kepetingan yang tinggal di daerah aliran sungai banjir. Disamping itu, endapan sampah yang turut mendangkalan sungai kerap mengganggu para nelayan dan para sopir transportasi

angkutan sungai karena baling-baling perahu mereka sering tersangkut. Ditambah lagi dengan adanya enceng gondok yang menutupi sebagian besar permukaan sungai, membuat waktu tempuh perjalanan melintasi Sungai Kepetingan semakin bertambah.



Gambar 4.3. Enceng Gondok yang Menutupi Sebagian Sungai

Erwin, salah satu sopir transportasi angkutan sungai menuturkan bahwa kotornya sungai dengan sampah kerap kali membuat para sopir perahu terpaksa harus berhenti dan membersihkan baling-baling perahunya yang tersangkut oleh sampah. Rata-rata hampir setiap 7 menit sekali. Praktis hal ini menghambat laju perahu. Jika biasanya dari Dermaga Bluru Kidul ke Pantai Kepetingan bisa ditempuh kurang dari satu jam, maka akibat masalah sampah tersebut waktu tempuh bisa lebih dari satu setengah jam.

Hal ini diperkuat dengan pernyataan Harryadjie B.S, salah satu aktivitis Dewan Lingkungan Hidup Sidoarjo. Beliau menuturkan bahwa Aktivis LSM, Dinas Pengairan dan Lingkungan Hidup kerap melakukan pembersihan di Sungai Kepetingan. Mereka sering menemukan banyak tumpukan karung-karung yang berisi sampah rumah tangga. Menurut Harryadjie, sampah-sampah tersebut berasal dari hulu sungai di wilayah kota. Warga kota menganggap sungai sebagai bak sampah, sehingga tidak ada rasa peduli dan dengan seandainya membuang begitu saja sampah di sungai. Padahal justru yang merasakan dampaknya adalah warga dusun-dusun yang tinggal di daerah hilir Sungai Kepetingan (dikutip oleh Lambertus, 2007).



Gambar 4.4. Pendangkalan dan Sampah Di Sungai

Masalah Sungai Kepetingan tidak berhenti pada persoalan lingkungan hidup, melainkan berdampak pula pada masalah sosial khususnya warga Sidoarjo yang tinggal di daerah hilir sungai, Dusun Kepetingan. Dusun tersebut lokasinya terpencil dan hanya bisa diakses melalui Sungai Kepetingan satu setengah jam perjalanan dari Dermaga Rangkah. M. Gufron, salah seorang warga Dusun Kepetingan, mengeluhkan masalah kesehatan warga. Tim Dokter Puskesmas, sangat jarang sekali berkunjung ke daerah tersebut. Dulu satu bulan sekali, sekarang hampir tidak pernah. Disinyalir semua itu karena malasnya menempuh perjalanan yang cukup lama akibat banyak hambatan di Sungai Kepetingan (Kahumas DPRD Sidoarjo, 2010).

Selain masalah kesehatan, pembangunan di Dusun Kepetingan juga sangat tertinggal. Di dusun tersebut ada sekolah SD dan SMP satu atap yang sudah berdiri sejak tahun 1987. Namun hingga kini, tidak pernah direnovasi dan kondisi bangunan tentu tidak sebaik sekolah-sekolah yang ada di Kota. Sekolah tersebut dibina oleh 11 guru yang setiap harinya berangkat dari Dermaga Rangkah pukul enam pagi. Bisa jadi perbaikan gedung sekolah tersebut terhambat lantaran Sungai Kepetingan yang dangkal hingga sulit dilalui kapal yang agak besar untuk membawa material untuk perbaikan. (Kahumas DPRD Sidoarjo, 2010)

Inti dari semua masalah di Sungai Kepetingan adalah pendangkalan dan sampah. Bila kedalaman Sungai Kepetingan cukup, maka pada saat musim hujan air tidak akan meluap dan membanjiri pemukiman penduduk di daerah aliran sungai. Begitu pula dengan masalah sampah yang mengganggu para nelayan dan penyedia jasa transportasi sungai, bila ditangani dengan tepat akan sangat membantu.

Khusus untuk masalah sosial daerah terpencil (hanya bisa dijangkau melalui Sungai Kepetingan), jika kedalaman Sungai Kepetingan memadai maka kapal dengan ukuran yang agak besar bisa masuk dan mengirimkan logistik lebih baik. Apalagi Sungai Kepetingan memiliki lebar yang tidak terlalu kecil (23 m).

Selain itu, dari sisi pariwisata obyek wisata Pantai Kepetingan yang dulu pernah populer sebagai tempat pemancingan yang ramai bisa dihidupkan kembali. Pemda pun bisa menambah pemasukan daerah lewat retribusi. Tentunya setelah permasalahan yang menghambat di Sungai Kepetingan diselesaikan. Pada akhirnya kesemua hal tersebut akan meningkatkan kesejahteraan masyarakat Sidoarjo yang tinggal di sepanjang daerah aliran Sungai Kepetingan. Dan solusi dari permasalahan Sungai Kepetingan adalah dengan membersihkannya baik itu dengan pengerukan maupun dengan membersihkan kotoran-kotoran yang ada di permukaan sungai.

Bab 5. Pemilihan Jenis Kapal dan Rencana Operasionalnya di Sungai Kepetingan

5.1. Pemilihan Jenis Kapal Beserta Sistem Pembersihnya

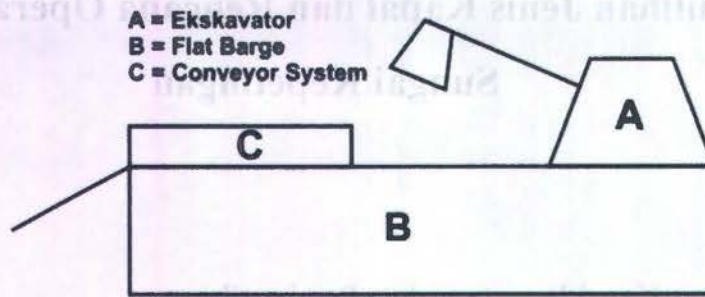
Jenis kapal dan sistem pembersihnya dipilih berdasarkan kondisi dan permasalahan yang ada di Sungai Kepetingan sebagai wilayah operasi kapal. Dengan demikian, ketika kapal dioperasikan hasil yang ingin dicapai bisa maksimal. Berikut adalah kondisi Sungai Kepetingan yang menjadi dasar pertimbangan memilih jenis kapal dan sistem pembersihnya :

- Daerah yang akan dikeruk dan dibersihkan sepanjang 5 Km dengan lebar sungai 23 m.
- Kedalaman akibat pendangkalan ± 1 m. Kedalaman yang diharapkan setelah pengerukan adalah ± 2 m, kedalaman ideal agar baling-baling kapal kecil yang melintas tidak terganggu oleh endapan sampah atau lumpur di dasar sungai.
- Material yang akan dibersihkan antara lain : endapan lumpur, sampah rumah tangga, dan enceng gondok.
- Hasil pengerukan tidak dimuat di dalam kapal. Namun untuk enceng gondok atau sampah yang ada di permukaan sungai, disediakan bak penampungan sementara di atas kapal dengan kapasitas $5,78 \text{ m}^3$.

Berdasarkan beberapa pertimbangan yang telah disebutkan di atas, maka untuk jenis kapal yang dipilih adalah *non self propelled backhoe dredger* yang dilengkapi dengan sistem konveyor di bagian haluan kapal. *Backhoe* untuk mengeruk dan konveyor untuk membersihkan enceng gondok / sampah di permukaan sungai.

5.2. Perencanaan Desain Kapal Pembersih Sungai

Secara garis besar, desain *backhoe dredger* yang direncanakan terdiri dari tiga bagian utama yaitu : *non self propelled flat barge*, *backhoe* (ekskavator), dan sistem konveyor. Ilustrasi desain *backhoe dredger* bisa dilihat pada Gambar 5.1. Adanya sistem konveyor pada *backhoe dredger* merupakan tambahan untuk menyesuaikan kebutuhan operasional kapal. Umumnya, *backhoe dredger* dengan kapal konveyor (sebagai sistem pembersih) merupakan dua jenis kapal yang berbeda. Namun, dalam tugas akhir ini desain *backhoe dredger* diberi modifikasi sederhana pada bagian haluan sehingga bisa dipasang sistem konveyor.



Gambar 5.1. Ilustrasi Kapal Pembersih Sungai

Adapun kelebihan *backhoe dredger* dengan tambahan sistem konveyor pada bagian haluan kapal antara lain :

- Stabilitas kapal baik karena bentuk barge-nya yang flat. Pada saat proses pengerukan pun, stabilitas kapal tetap baik karena ditunjang oleh spud.
- Kemampuan mengeruk pada titik yang tepat dalam waktu yang relatif efisien mengingat ekskavator bisa di arahkan ke titik tertentu tanpa harus mengubah posisi kapal.
- Tipe bucket ekskavator cocok untuk mengeruk lumpur dan sampah yang ada di dasar sungai.
- Ketika beroperasi tidak mengganggu lalu lintas nelayan yang juga menggunakan Sungai Kepitingan.
- Kecepatan menyelesaikan satu pekerjaan pengerukan untuk satu area lebih cepat daripada menggunakan grab clamshell.

5.3. Perhitungan Rencana Operasional Backhoe Dredger

5.3.1. Perhitungan Volume Material Yang Akan Dikeruk Pada Sungai Kepitingan

Perhitungan volume material yang akan dikeruk berguna untuk mengetahui intensitas pekerjaan pengerukan. Volume pengerukan ini menjadi dasar perhitungan besarnya biaya jasa pengerukan, dimana nantinya akan dibandingkan dengan biaya investasi yang dikeluarkan untuk membangun kapal pembersih sungai baru. Perbandingan ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian analisis kelayakan investasi dengan metode yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.8.

Menurut Prasetyo (2008) untuk menghitung volume material yang dikeruk ada dua cara yang digunakan oleh PT. (Persero) Pengerukan Indonesia. Kedua cara tersebut antara lain :

- Cara 1 : Menghitung sarat rata-rata di dalam area

- Cara 2 : Menghitung luas profil tanah yang dikeruk

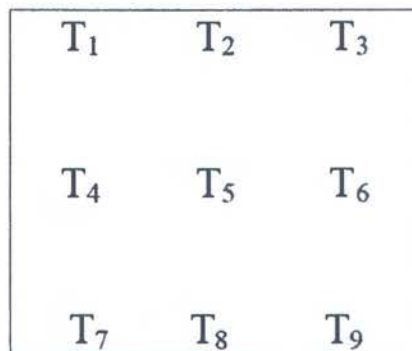
5.3.1.1. Menghitung Sarat Rata-Rata Tanah Di Dalam Satu Area

Sesuai dengan namanya, perhitungan volume dilakukan dengan cara menghitung sarat rata-rata dalam satu area tertentu. Kemudian, sarat yang direncanakan dikurangi dengan sarat rata-rata. Dengan demikian volume dapat dihitung dari hasil perkalian antara selisih sarat dengan luasan area. Secara matematis, langkah-langkah perhitungan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Menentukan jumlah titik sounding dalam satu area. Sebagai contoh diambil sembilan titik sounding seperti pada Gambar 5.2.
- 2) Menghitung sarat pada masing-masing titik sounding dan selisihnya terhadap kedalaman yang diinginkan.
- 3) Sarat rata-rata, dihitung dengan persamaan (5.1).
- 4) Volume material yang dikeruk, dihitung dengan persamaan (5.2)

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{\text{Jumlah total selisih sarat dalam area}}{\text{Jumlah titik sounding}} \quad (5.1)$$

$$\text{Volume} = \text{sarat rata-rata} \times \text{luas area} \quad (5.2)$$



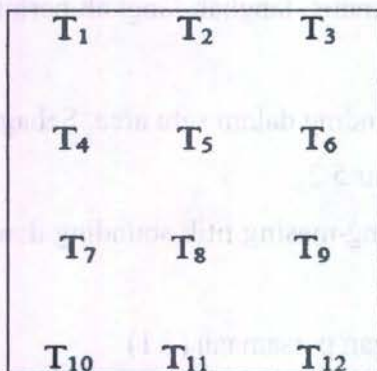
Gambar 5.2. Titik Sounding Pengambilan Sarat Dalam Satu Area

Metode ini biasa digunakan untuk menghitung volume keruk di areal kolam pelabuhan.

5.3.1.2. Menghitung Luas Profil Tanah Yang Dikeruk

Perhitungan volume dengan metode luas profil tanah, biasa digunakan untuk alur pelabuhan yang panjang. Perhitungan ini menggunakan data luas profil tanah dan panjang area. Secara sistematis, langkah-langkah perhitungan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Menentukan jumlah titik sounding dalam 1 area. Sebagai contoh, diambil 12 titik sounding seperti pada Gambar 5.3.



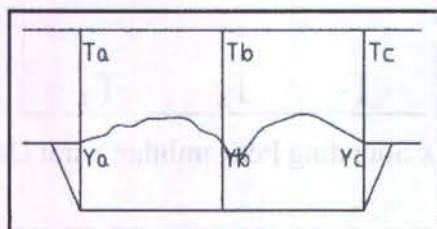
Gambar 5.3. Titik Sounding Dalam Satu Area

- 2) Menghitung sarat pada masing-masing titik sounding.
- 3) Menghitung luas profil tanah dengan persamaan (5.3), (5.4), dan (5.5). Sebagai ilustrasi lihat pada Gambar 5.4.

$$T_a = \frac{T_1 + T_4 + T_7 + T_{10}}{4} \quad (5.3)$$

$$T_b = \frac{T_2 + T_5 + T_8 + T_{11}}{4} \quad (5.4)$$

$$T_c = \frac{T_3 + T_6 + T_9 + T_{12}}{4} \quad (5.5)$$



Gambar 5.4. Ilustrasi Luas Profil Tanah

- 4) Setelah harga T_a , T_b , dan T_c didapatkan, maka volume pengerukan didapatkan dari luasan yang ada di bawah kurva luas profil tanah. Perhitungan volume pengerukan bisa menggunakan Metode Simpson ataupun metode lainnya.

5.3.1.3. Perhitungan Volume Keruk Sungai Kepetingan

Perhitungan volume pengerukan Sungai Kepetingan dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan sarat rata-rata di dalam satu area seperti yang sudah dijelaskan pada Sub Bab 5.3.1.1. Perhitungan volume keruk Sungai Kepetingan adalah sebagai berikut :

- Panjang sungai yang akan dikeruk = 5 km (5000 m)
- Lebar rata-rata Sungai Kepetingan = 23 m
- Jumlah segmen yang direncanakan = 100 segmen
- Pembagian segmen terhadap panjang sungai = 5 km / 100 segmen
= 50 m / segmen
- Luas daerah yang dikeruk dalam satu segmen = 23 m × 50 m
= 1150 m²
- Kedalaman pengerukan yang direncanakan = 2 m
- Jumlah titik sounding dalam satu area = 9 titik
- Perhitungan selisih sarat pada 9 titik sounding dalam satu segmen :

T_1	T_2	T_3	$T_1 = 0,90$	$T_2 = 0,97$	$T_3 = 0,72$
T_4	T_5	T_6	$T_4 = 0,71$	$T_5 = 0,82$	$T_6 = 1,10$
T_7	T_8	T_9	$T_7 = 0,82$	$T_8 = 0,70$	$T_9 = 0,83$

Sarat rata-rata di atas, didapat dari pengukuran langsung di Sungai Kepetingan. Adapun area yang diukur dipilih secara acak.

- Jumlah total selisih sarat dalam area 1 = 7,57 m
- Sarat rata-rata = 7,57 m / 9 titik
= 0,841 m
- Volume pengerukan per segmen = $\text{Sarat}_{\text{rata-rata}} \times \text{Luas Area}$
= 967,278 m³
- Volume pengerukan total = 967,278 m³ × 100 segmen
= 96727,8 m³

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan bahwa volume pengerukan Sungai Kepetingan adalah 96727,8 m³ dan biaya pengerukan bisa dihitung dari hasil perkalian antara volume pengerukan dengan biaya pengerukan per m³.

5.3.2. Penentuan Sistem Penunjang Operasional Backhoe Dredger

5.3.2.1. Pemilihan Ekskavator

Ekskavator yang digunakan pada *backhoe dredger* ditentukan berdasarkan kapasitas *bucket* yang akan digunakan. Untuk menghitung kapasitas *bucket* yang dibutuhkan data *output per hour*. Setelah *output per hour* diketahui maka kapasitas *bucket* bisa dihitung dan ekskavator pun bisa ditentukan melalui data spesifikasi teknis yang dikeluarkan oleh perusahaan manufaktur ekskavator.

5.3.2.1.1. Perhitungan Output Per Hour

Perhitungan *output per hour* berguna untuk menentukan kapasitas volume minimal *bucket* yang dibutuhkan oleh ekskavator untuk mengeruk dengan maksimal sesuai perhitungan volume pengerukan yang telah dihitung pada Sub Bab 5.3.1.3. Sehingga input untuk perhitungan *output per hour* didapatkan dari hasil perhitungan volume pengerukan Sungai Kepetingan. Perhitungan *output per hour* adalah sebagai berikut :

- Jumlah segmen per hari = 1 segmen = 967,278 m³
- Jam kerja / hari = 8 jam
- Output / hour (Q) = volume pengerukan / jam kerja
= 120,910 m³ / jam

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan bahwa *output per hour* pengerukan di Sungai Kepetingan adalah 120,910 m³ per jam.

5.3.2.1.2. Perhitungan Kapasitas Bucket Ekskavator

Prasetyo (2008) memberikan rumus perhitungan kapasitas *bucket* ekskavator yang biasa digunakan oleh Priestman Bros.Ltd dalam persamaan (5.6).

$$Q = \frac{I \times \eta \times z}{1000} \quad (5.6)$$

keterangan : Q = Output / hour [m³]

I = Grab capacity [lt]

η = Filling coefficient (lihat pada Tabel 5.1)

z = Number of bucket empty per hour

= 40 ; untuk batu

= 80 ; untuk lumpur

Tabel 5.1. Harga η Berdasarkan Tipe Material

Type of Material	η
Mud (lumpur)	0.75
Loose Sand	0.70
Solid Sand	0.60
Sand with Clay	0.50
Stone	0.32
Broken Rock	0.20

Dengan menggunakan persamaan (5.6) volume *bucket* ekskavator dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q = \frac{I \times \eta \times z}{1000} \rightarrow I = \frac{Q \times 1000}{\eta \times z}$$

$$I = \frac{120,910 \times 1000}{0,75 \times 80}$$

$$I = 2015,162 \text{ lt}$$

$$I = 2,015 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa kapasitas minimal *bucket* ekskavator yang efektif untuk melakukan pengerukan adalah $2,015 \text{ m}^3$. Selanjutnya dilakukan pemilihan ekskavator. Adapun ekskavator yang dipilih beserta spesifikasi teknisnya dipaparkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Spesifikasi Teknis Ekskavator Hitachi Construction

Item	Nilai	Satuan
Tipe Excavator	ZAXIS 650 H	-
Bucket Capacity	2,80	m^3
Excavator Weight	35,10	ton
Max digging reach	12,60	m
Max digging depth	9,26	m
Max dumping height	7,30	m
Max digging force (bucket)	306	kN
Max digging force (arm)	250	kN
Rated engine	295	kW
Dimension (L \times B \times H)	11,85 \times 3,67 \times 2,02	m

5.3.2.2. Pemilihan Spud Backhoe Dredger

Pada *backhoe dredger*, *spud* memiliki dua fungsi utama yaitu sebagai jangkar yang memastikan posisi kapal tidak bergerak dan sebagai alat bantu untuk menjaga stabilitas kapal pada saat pengerukan dilakukan.

Dimensi dan berat *spud* merupakan fungsi dari dari desain variabel yang diikutkan dalam proses optimasi. Sehingga, dimensi *spud* tidak bisa ditentukan sebelum proses optimasi dilakukan. Untuk menghitung dimensi dan berat digunakan persamaan polinomial (5.7). Persamaan ini didapatkan dari hasil regresi polinomial antara volume barge kapal pembanding dengan luas penampang spud yang dipaparkan pada Tabel 5.3.

$$f(x) = -2 \times 10^{-7}x^2 + 0,001x + 0,986 \tag{5.7}$$

keterangan : $f(x)$ = luas penampang spud [m²]
 x = volume barge [m³]

Tabel 5.3. Data Luas Permukaan Spud Berdasarkan Volume Barge

No	Tipe Kapal	Ukuran Utama (dalam meter)			Volume Barge	Luas Penampang Total Spud
		L	B	H	(m ³)	(m ²)
1	barge #24	7.315	3.658	1.067	28.543	0.929
2	barge #32	9.754	4.877	1.067	50.744	1.115
3	Barge 5	10.973	3.658	0.914	36.699	1.115
4	barge #40	12.192	6.096	1.219	90.614	1.115
5	barge #50	15.240	7.620	1.372	159.282	1.022
6	Barge 1	36.576	15.240	2.134	1189.308	1.858
7	Barge #122	37.186	15.240	2.438	1381.862	2.230
8	Barge 3	45.720	16.459	2.438	1834.932	2.230

Panjang spud yang direncanakan dalam desain kapal pembersih sungai ini adalah 5 m dan jumlah spud yang direncanakan adalah 4 buah. Sehingga perhitungan berat spud bisa dilakukan dengan persamaan (5.8).

$$\text{Berat Spud} = \text{Luas Penampang Spud} \times \text{Panjang Spud} \times \rho_{\text{baja}} \tag{5.8}$$

keterangan : $\rho_{\text{baja}} = 7.85 \text{ ton/m}^3$

Setelah dilakukan proses optimasi dilakukan, maka didapatkan :

- Panjang Spud = 5 m
- Luas Penampang Total Spud = 1,13 m²
- Luas Penampang masing-masing Spud = 0,28 m²

Sehingga dimensi Spud direncanakan = 0,532 × 0,532 m

5.3.2.3. Pemilihan Konveyor Backhoe Dredger

Konveyor pada *backhoe dredger* tidak memerlukan sistem yang rumit. Prinsip dasarnya adalah bagaimana membawa sampah / enceng gondok yang ada di permukaan sungai ke dalam bak penampungan sementara.

Pada proses optimasi, konveyor merupakan parameter sehingga tidak terpengaruh dengan perubahan *design variable*. Dengan demikian, pemilihan konveyor didasarkan sistem yang yang paling cocok untuk ditempatkan di atas kapal. Konveyor yang dipilih dipesan dari perusahaan C-Track Ltd.

5.3.2.4. Pemilihan Genset Backhoe Dredger

Pemilihan genset *backhoe dredger* didasarkan pada daya listrik yang dibutuhkan kapal. Genset tersebut akan melayani kebutuhan listrik untuk menggerakkan ekskavator, winch spud, dan konveyor. Agar genset yang dipilih mampu menyuplai kebutuhan listrik kapal, maka untuk setiap komponen yang membutuhkan listrik harus dihitung kebutuhan daya listriknya.

Ekskavator dan konveyor tidak dipengaruhi oleh *design variable* sehingga kebutuhan daya listriknya bisa ditentukan langsung dari data spesifikasi teknis sesuai tipe yang dipilih. Lain halnya dengan *spud* yang dipengaruhi oleh *design variable*. Sehingga perlu dilakukan perhitungan khusus untuk mengetahui kebutuhan daya listrik *winch spud* yang merupakan fungsi dari berat *spud*. Untuk menghitung daya listrik *winch spud*, Hary Prasetyo (2008) memberikan beberapa langkah perhitungan sebagai berikut :

1). Gaya Tarik Pada Winch Barrel

$$T_b = \frac{(P+Q)}{(p \times K)} \text{ [kn]} \quad (5.9)$$

dimana : P = total berat spud yang ditarik

$$= 44,531 \text{ ton}$$

Q = berat cargo hook dan schacle

$$= (2,2 \sim 2,8) \times P$$

Konstanta diambil 2,2 sehingga

$$Q = 97,968 \text{ ton}$$

p = efficiency + pulley; diambil nilainya = 1

K = faktor keamanan

$$= 0,85$$

Dengan menggunakan persamaan (5.9), gaya tarik winch barel (T_b) didapatkan sebesar 167,646 kN

2). Diameter Winch Barrel

$$D_{bd} = D_b + d_r (2z - 1) \quad [m] \quad (5.10)$$

dimana : D_b = diameter drum; maks = 0.4

d_r = diameter tali = $D_b / 17$

= 0,0235 m

z = jumlah lilitan tali pada drum; diambil 4 lilitan

Dengan menggunakan persamaan (5.10), maka diameter winch barrel (D_{bd}) didapatkan sebesar 0,565 m

3). Torsi Yang Ditimbulkan Pada Shaft Barel

$$M_{bd} = 0.5 \times D_{bd} \times \frac{T_b}{b} \quad [\text{ton.m}] \quad (5.11)$$

dimana : b = efficiency winch barrel ~ 0.8

T_b = 167,646 kN

D_{bd} = 0,565 m

Dengan menggunakan persamaan (5.11), maka torsi yang ditimbulkan shaft barel (M_{bd}) didapatkan sebesar 59,169 ton.m

4). Overall Gearing Ratio

$$I_{wd} = \frac{N_m}{N_{bd}} \quad (5.12)$$

dimana : N_m = putaran poros motor listrik (500~3000) rpm; diambil 1200 rpm

N_{bd} = kecepatan putar dari barrel

= $19.1 \left(\frac{V_{td}}{D_{bd}} \right) \quad [m/s]$

V_{td} = kecepatan mengangkut beban (0.33 ~ 0.5) m/s;

diambil 0.4 m/s atau 24 m/menit

Dengan menggunakan persamaan (5.12) overall gearing ratio (I_{wd}) didapatkan sebesar 88,697

5). Torsi untuk motor penggerak

$$M_{md} = M_{bd} + (I_{wd} + w_d) \quad (5.13)$$

dimana :

w_d = efficiency keseluruhan (0.65 ~ 0.75)

diambil 0.7

M_{bd} = 59,169 ton.m

$$I_{wd} = 88,697$$

Dengan menggunakan persamaan (5.13) torsi yang digunakan untuk pengerukan didapatkan sebesar 148.566 ton.m

6). Total Tenaga Winch Spud

$$N_e = M_{md} \times \frac{N_m}{71620} \quad (5.14)$$

dimana : M_{md} = torsi yang dibutuhkan poros penggerak
= 148.566 ton.m

N_m = putaran poros motor listrik = 1200 rpm

Dengan menggunakan persamaan (5.14) total tenaga *winch spud* didapatkan sebesar 2,489 HP = 1,856 kW

Daya listrik yang dibutuhkan oleh kapal untuk memilih genset bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (5.15).

$$\text{Daya}_{\text{Genset}} = \text{Daya}_{\text{Ekskavator}} + \text{Daya}_{\text{Konveyor}} + \text{Daya}_{\text{Winch Spud}} \quad (5.15)$$

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan :

- $\text{Daya}_{\text{Ekskavator}} = 295 \text{ kW}$ (dari spektek ekskavator)
- $\text{Daya}_{\text{Konveyor}} = 2 \text{ kW}$ (dari spektek konveyor)
- $\text{Daya}_{\text{Winch Spud}} = 1,856 \text{ kW}$

Sehingga dengan persamaan (5.15) didapatkan daya genset sebesar 298,856 kW

Pemilihan genset diambilkan dari CAT Catalog berdasarkan daya yang sudah dihitung sebelumnya. Dari hasil pemilihan genset tersebut didapatkan juga berat dan tingkat konsumsi bahan bakar yang akan digunakan dalam perhitungan teknis dan ekonomis. Berikut adalah spesifikasi teknis Genset CAT yang dipilih :

- Tipe : 4RG-01632
- Model : SR4
- Daya : 300 kW
- kVA : 480
- RPM : 1500
- Weight : 8,998 ton
- Konsumsi Bahan Bakar : 85 L / hour



Gambar 5.5. Genset CAT 4RG-01632

5.3.3. Penentuan Jumlah Operator Kapal

Jumlah operator kapal yang digunakan relatif tergantung pada hasil proses optimasi, dimana merupakan fungsi dari daya listrik kapal (hull outfit). Namun demikian diberikan pembatasan jumlah minimal operator, yaitu minimal 2 orang dan maksimal 4 orang.

5.4. Rencana Bongkar Muat Material Hasil Pengerukan

Sebagaimana disebutkan pada Sub Bab 5.1, material hasil pengerukan (lumpur) yang dilakukan tidak akan dimuat di atas kapal. Material hasil pengerukan dari sungai untuk sementara akan ditempatkan di pinggir sungai kepetingan. Selanjutnya material ini akan diangkut dengan menggunakan truck.

Perhitungan rencana bongkar muat material hasil pengerukan bisa dihitung sebagai berikut :

1) Jumlah Waktu Kerja

Perhitungan jumlah waktu kerja digunakan untuk mengetahui berapa lama penyewaan truck dilakukan. Berikut adalah perhitungan jumlah waktu kerja.

Asumsi : 1 bulan = 30 hari

Jumlah hari kerja per minggu = 6 hari

Jumlah hari kerja per bulan = 25 hari

Pada Sub Bab 5.3.2.1.1, kapal direncanakan mengeruk satu segmen per hari. Sehingga dalam satu bulan kapal bisa mengeruk sebanyak 25 segmen. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 100 segmen adalah :

- Jumlah segmen per bulan = 25 segmen / bulan
- Total segmen yang harus dilesaikan = 100 segmen
- Jumlah waktu kerja total = 4 bulan

Dengan demikian penyewaan truck yang akan digunakan untuk mengangkut material hasil keruk adalah selama 4 bulan.

2) Jumlah Kebutuhan Truck

Untuk menyuplai kebutuhan truck yang disewa, data diambilkan dari website www.Indonetwork.co.id. Data yang diberikan adalah sebagai berikut :

- Merk truck : Mitsubishi, Hino dan Nissan
- Sistem sewa : sewa per bulan
- Kapasitas bak penampung : 20 m^3 per truck
- Harga sewa truck : Rp.20.000.000 / bulan / unit
(termasuk ongkos supir dan tenaga bongkar muat)

Asumsi :

- Waktu bongkar muat per truck = 2 jam

Perhitungan jumlah truck :

- Volume material yang dikeruk per hari = $967,278 \text{ m}^3$
- Jumlah jam kerja = 8 jam / hari
- Frekuensi bongkar muat per truck = $\frac{8 \text{ jam}}{2 \text{ jam}}$
= 4 kali per hari.
- Total volume bongkar muat truck per hari = $20 \text{ m}^3 \times 4$
= 80 m^3
- Jumlah truck yang dibutuhkan setiap hari = $967,278 \text{ m}^3 / 80 \text{ m}^3$
= 12 truck / hari

Jadi jumlah truck yang dibutuhkan setiap bulannya minimal adalah 12 buah.

3) Perhitungan Biaya Sewa Truck

- Biaya sewa truck per unit = Rp.20.000.000 / bulan
- Biaya sewa truck per bulan = Rp.20.000.000 \times 12
= Rp.241.819.444 / bulan
- Biaya sewa truck selama masa kerja = Rp.241.819.444 / bulan \times 4 bulan
= Rp.967.277.778

Bab 6. Proses Optimasi Ukuran Utama Backhoe Dredger

6.1. Komponen-Komponen Optimasi

Sebelum proses optimasi dijalankan, terlebih dahulu harus ditentukan komponen-komponen optimasi yang meliputi : variabel, konstanta, batasan (*constrain*), parameter, dan fungsi obyektif.

6.1.1. Design Variabel

Komponen design variabel dalam proses optimasi ini terdiri dari :

- Panjang kapal (L)
- Lebar kapal (B)
- Tinggi kapal (H)
- Sarat kapal (T)

6.1.2. Konstanta

Komponen konstanta dalam proses optimasi ini terdiri dari :

- Massa jenis air laut = 1025 kg/m^3
- Massa jenis air tawar = 1000 kg/m^3
- Berat jenis bahan bakar = $0,85 \text{ ton/m}^3$
- Berat jenis minyak pelumas = $0,92 \text{ ton/m}^3$
- Berat jenis baja = $7,85 \text{ ton/m}^3$
- Tekanan atmosfer = 10100 kg/m
- Gaya gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$

6.1.3. Constrain

Batasan / *constrain* yang digunakan dalam proses optimasi ini diambil dari data kapal pembanding dan juga kondisi daerah operasional kapal. Batasan-batasan yang dimaksud antara lain :

- a. Batasan Ukuran Utama Barge Pembanding

Batasan ukuran utama barge di dapat dari nilai maksimum dan minimum dari barge pembanding.

Tabel 6.1. Batasan Ukuran Utama Barge

Ukuran Utama	Min (m)	Max (m)
Lpp	15.00	18.33
B	5.02	7.24
H	1.33	2.25
T	0.72	1.50

b. Batasan Rasio Ukuran Utama Barge Pembanding

Selain ukuran utama, rasio antar ukuran utama barge juga menjadi batasan dalam proses optimasi seperti pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Rasio Ukuran Utama Barge

Perbandingan Ukuran Utama	Min (m)	Max (m)
L / B	2,53	2,99
L / H	7,78	13,68
B / T	4,47	6,93
B / H	2,98	5,00
H / T	1,32	1.50

c. Stabilitas

Batasan stabilitas yang digunakan sebagai acuan dalam merancang barge didasarkan pada IMO Regulation. Beberapa kriteria utama yang digunakan sebagai batasan stabilitas antara lain :

1) $e 0.30^\circ \geq 0.055 \text{ m.rad}$

Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055$ meter rad.

2) $e 0.40^\circ \geq 0.09 \text{ m.rad}$

Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.09$ meter rad.

3) $e 30\text{--}40^\circ \geq 0.03 \text{ m.rad}$.

Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03$ meter.

4) $h_{30^\circ} \geq 0.2 \text{ m}$

Lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.

5) $GM_0 \geq 0.15 \text{ m}$

Tinggi Metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

d. Kondisi Trim

Batasan untuk kondisi trim diambil maksimal 0.05% trim buritan.

6.1.4. Parameter

Komponen parameter yang digunakan dalam proses optimisasi terdiri dari :

- Lebar sungai = 23 m
- Kapasitas bucket = $2,02 \text{ m}^3$
- Kecepatan angin = 15 knots
- Jumlah spud = 2 buah
- Kecepatan kapal = 1 knots

6.1.5. Fungsi Obyektif

Fungsi obyektif dalam proses optimisasi ini adalah biaya investasi minimum yang terdiri dari :

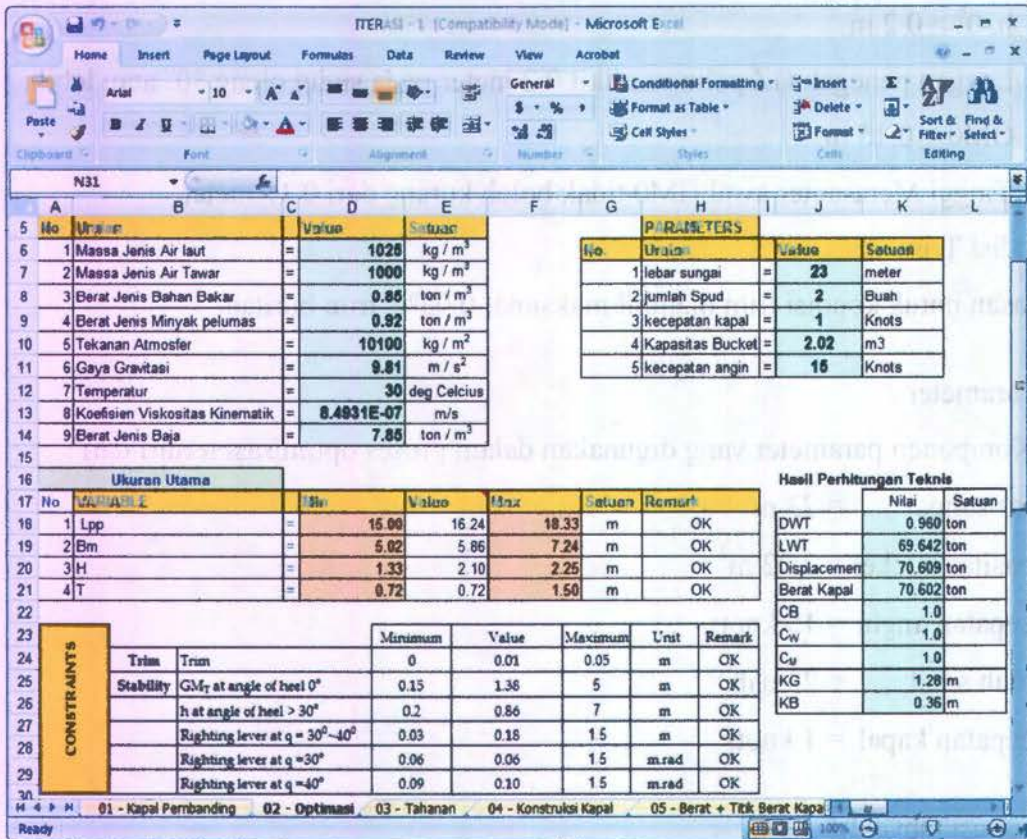
- Biaya pembangunan kapal
- Biaya operasional tahun pertama.

Rincian yang termasuk dalam biaya pembangunan kapal dan biaya operasional sudah dijelaskan sebelumnya pada Sub Bab 2.7.

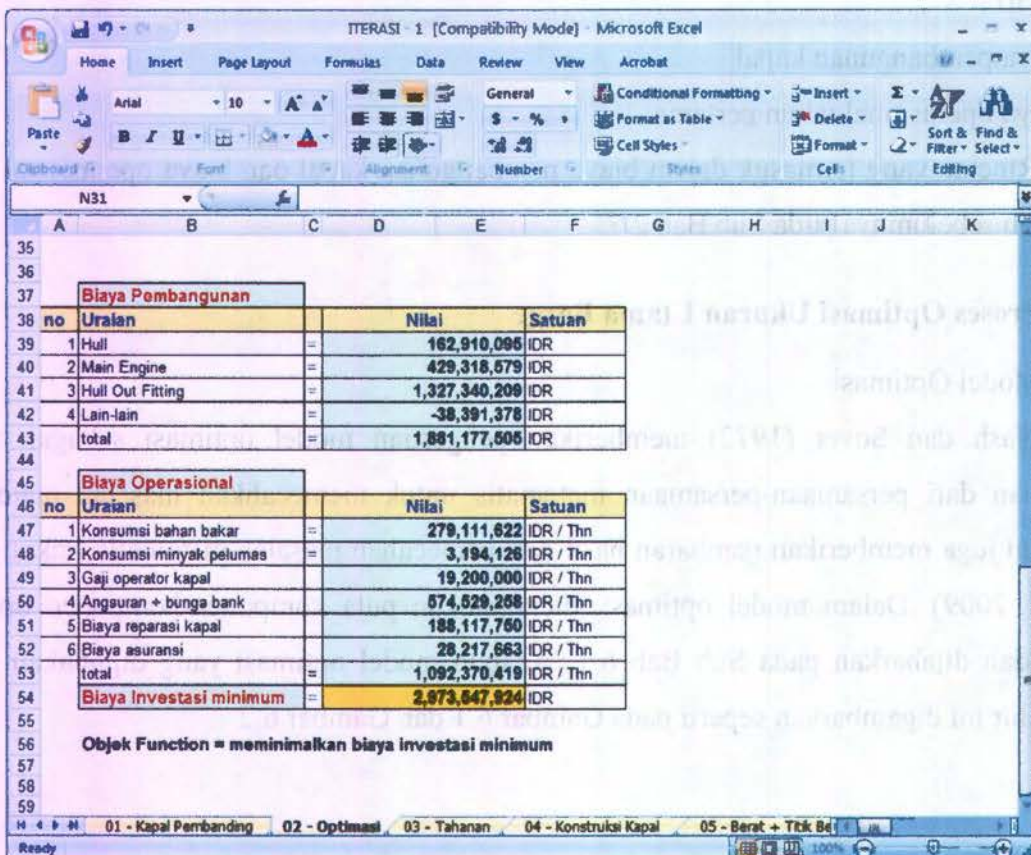
6.2. Proses Optimisasi Ukuran Utama Barge

6.2.1. Model Optimisasi

Nash dan Sover (1972) memberikan pengertian model optimisasi sebagai sebuah pernyataan dari persamaan-persamaan matematis untuk memecahkan masalah matematis. Model ini juga memberikan gambaran hasil dari pemecahan masalah matematis (dikutip oleh Dharma, 2009). Dalam model optimisasi, dicantumkan pula komponen-komponen optimisasi yang sudah dijabarkan pada Sub Bab 6.1. Adapun model optimisasi yang digunakan dalam tugas akhir ini digambarkan seperti pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2.



Gambar 6.1. Model Optimasi (constante, parameters, variables, dan constrains)

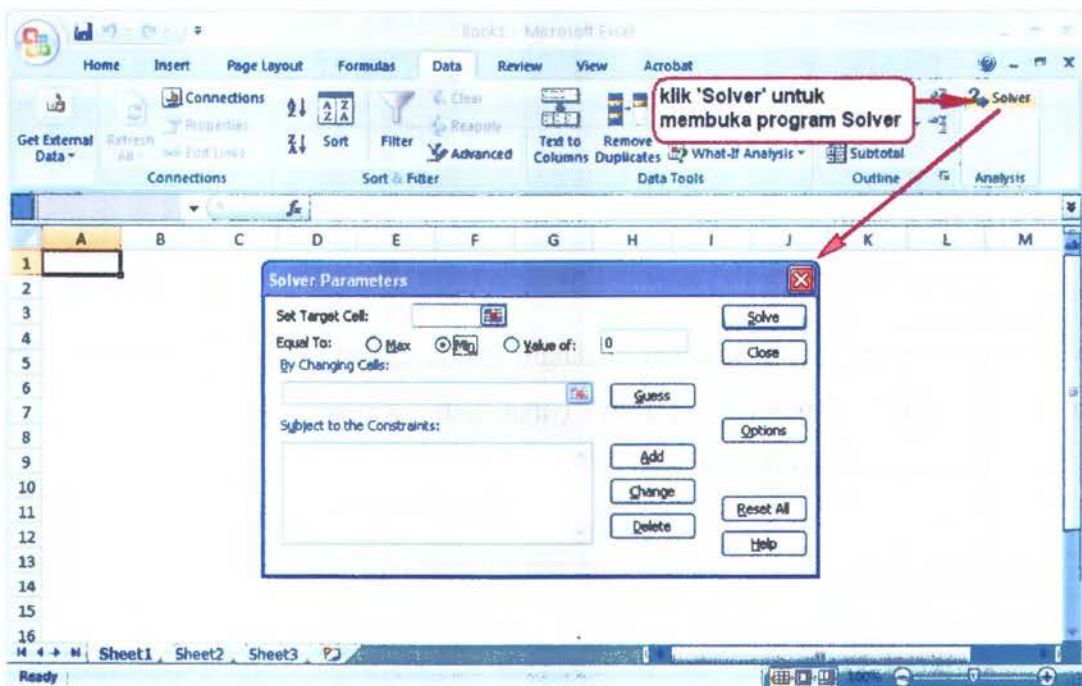


Gambar 6.2. Model Optimasi (objective function)

Semua komponen yang ada pada model optimasi dihubungkan dengan perhitungan teknis dan ekonomis kapal. Sehingga pada saat aplikasi Solver menjalankan proses optimasi, perhitungan teknis dan ekonomis berdasarkan *design variable* yang terpilih juga ikut diselesaikan secara otomatis.

6.2.2. Aplikasi Solver Untuk Optimasi

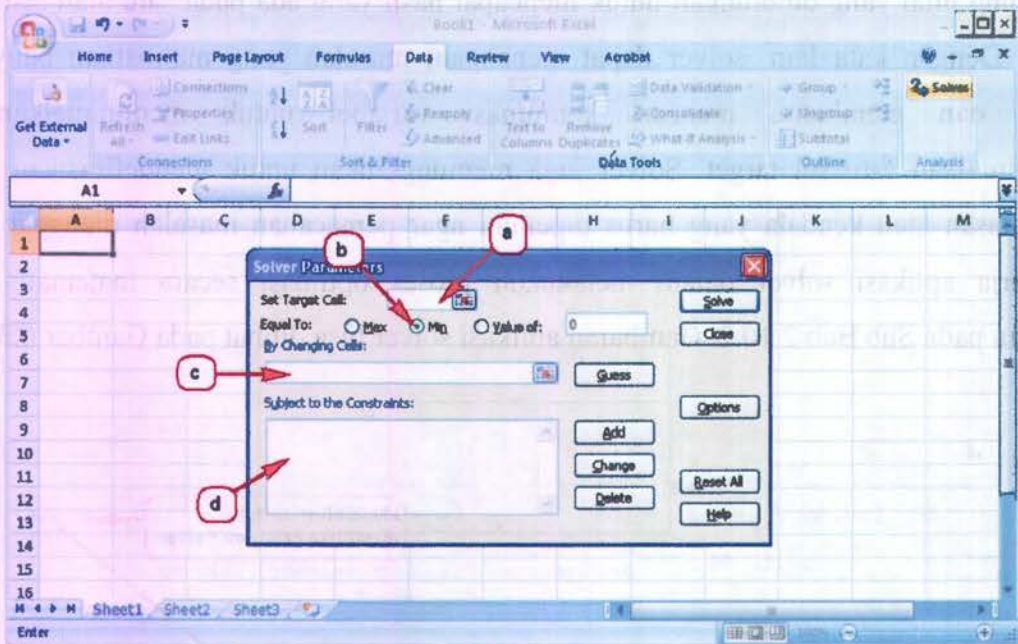
Solver adalah salah satu aplikasi pada software Microsoft Excell yang dapat menghitung nilai yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang ada pada satu atau sederet sel (*range*). Dengan kata lain, solver dapat menangani masalah yang melibatkan banyak sel variabel dan membantu mencari kombinasi variabel untuk meminimalkan atau memaksimalkan satu sel target. Solver juga memungkinkan untuk mendefinisikan sendiri suatu batasan atau kendala yang harus dipenuhi agar pemecahan masalah dianggap benar. Cara kerja aplikasi solver dalam melakukan proses optimasi secara matematis sudah dijelaskan pada Sub Bab 2.10.2. Gambaran aplikasi solver bisa dilihat pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3. Aplikasi Solver Untuk Optimisasi

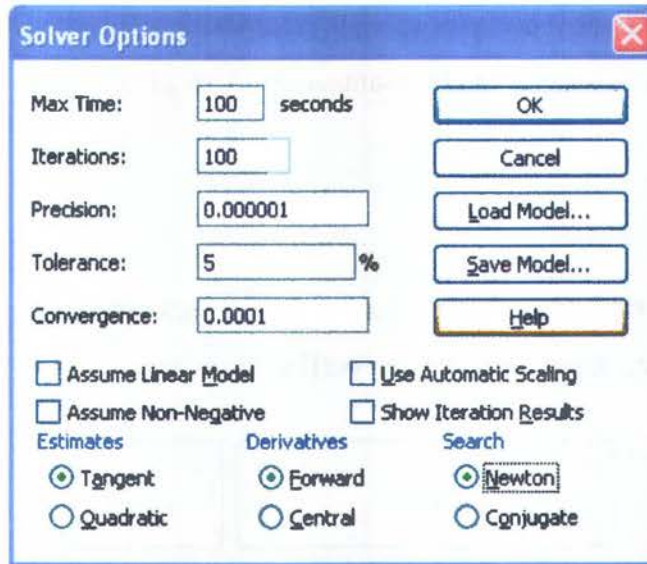
Sebelum digunakan solver pertama kali harus disetting batasan dan parameternya. Sehingga ketika proses optimasi dijalankan, hasil yang dicapai sesuai dengan yang diharapkan yaitu meminimumkan biaya investasi kapal (*objective function*). Beberapa bagian yang perlu disetting dalam solver antara lain :

- a. **Sell Target Cell** : pada bagian ini, diisikan dengan cell dari **objective function**.
- b. **Equal To** : pada bagian ini di set ke **"min"**, karena objective function yang akan dijalankan dalam proses optimisasi ini adalah meminimalkan biaya investasi pembangunan kapal.
- c. **By Changing Cells** : pada bagian ini diisikan dengan cell dari **variables**.
- d. **Subject to Constrains** : pada bagian ini diisikan dengan cell dari **constrains**.



Gambar 6.4. Settingan Awal Pada Solver

Selain settingan tersebut, beberapa hal di dalam menu option juga bisa mengatur. Caranya adalah dengan dengan mengklik **"Options"** (lihat pada Gambar 6.4). Hasilnya akan muncul jendela baru seperti pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5. Menu Options Pada Program Solver

Setelah semua selesai disetting, maka aplikasi solver siap untuk digunakan.

6.2.3. Menentukan Ukuran Utama Awal (Initial Value) Barge

Sebagaimana dijelaskan pada Sub Bab 6.2.1, model optimasi yang sudah dibuat terhubung dengan perhitungan teknis dan ekonomis kapal. Oleh karena itu, untuk iterasi pertama diperlukan nilai awal / *initial value*. Nilai ini nantinya akan digunakan sebagai variabel desain pertama untuk menjalankan proses perhitungan. Nilai awal yang digunakan sebagai variabel desain adalah ukuran utama kapal.

Penentuan ukuran utama awal dilakukan dengan menggunakan data ukuran utama kapal pembanding yang diberikan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3. Daftar Barge Pembanding

No	Nama Kapal	LPP	B	H	T	LPP/B	LPP/H	B/T	B/H	H/T
1	BMU-1	15.00	5.02	1.33	0.72	2.99	11.28	6.93	3.77	1.84
2	Sigareng	15.30	6.00	1.50	1.00	2.55	10.20	6.00	4.00	1.50
3	Sundari-02	17.50	6.70	2.25	1.50	2.61	7.78	4.47	2.98	1.50
4	CQB-Mahakam	18.29	7.24	1.58	1.20	2.53	11.58	6.03	4.58	1.32
5	Brantas	18.33	6.70	1.34	1.00	2.74	13.68	6.73	5.00	1.35
	Min	15.00	5.02	1.33	0.72	2.53	7.78	4.47	2.98	1.32
	Max	18.33	7.24	2.25	1.50	2.99	13.68	6.93	5.00	1.84

Metode yang digunakan untuk mencari ukuran utama awal adalah regresi linier. Sumbu absis yang digunakan adalah sarat kapal (T), sedangkan yang menjadi sumbu ordinat

adalah : L_{pp} , B , dan H . Dengan bantuan software Ms.Excell didapatkan persamaan linier untuk setiap ukuran utama seperti pada persamaan (6.1), (6.2), dan (6.3).

$$L_{pp} = 3.328T + 13.27 \tag{6.1}$$

$$B = 2.192T + 3.955 \tag{6.2}$$

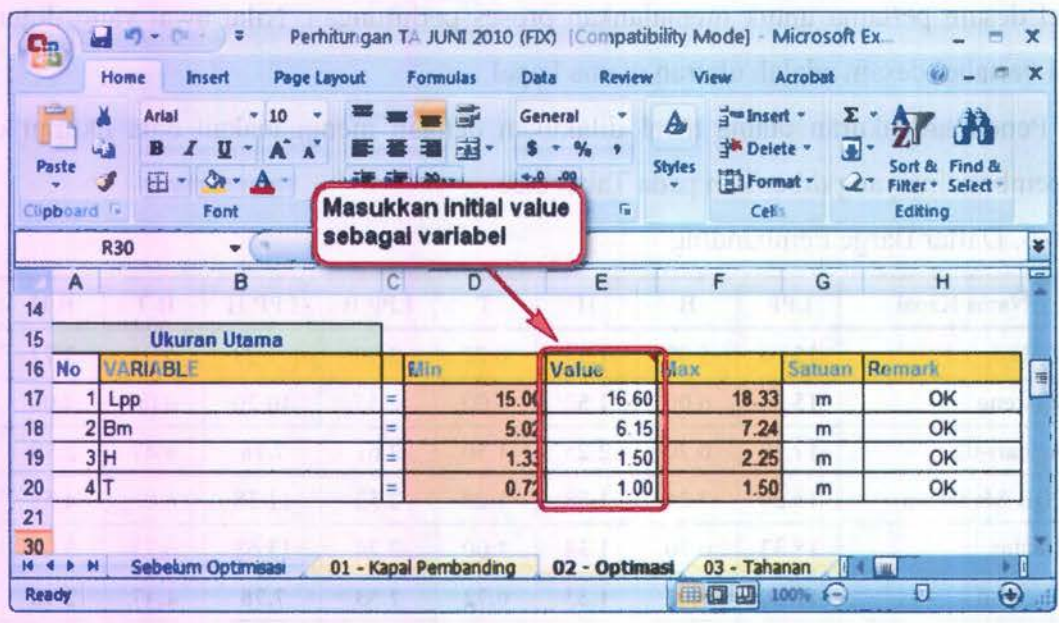
$$H = 1.198T + 0.301 \tag{6.3}$$

Dari ketiga persamaan di atas, harga T dimasukkan sama dengan 1, sehingga didapatkan harga ukuran utama awal sebagai berikut :

- $L_{pp} = 16.60 \text{ m}$
- $B = 6.15 \text{ m}$
- $H = 1.5 \text{ m}$
- $T = 1 \text{ m}$

6.2.4. Proses Optimasi

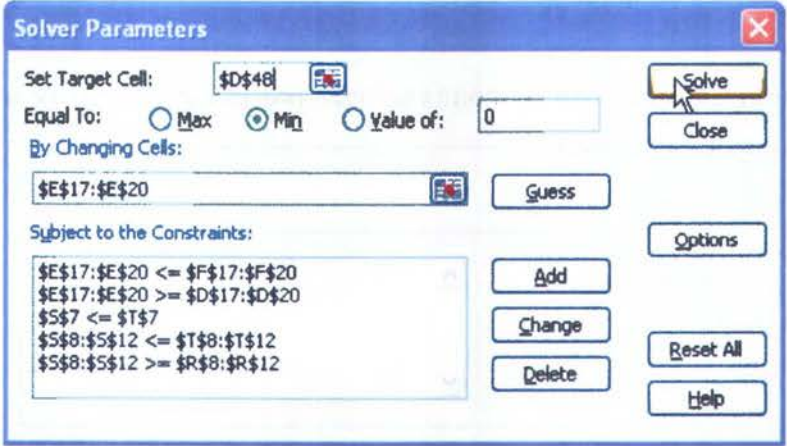
Sebelum proses optimasi dijalankan, *initial value* dimasukkan ke dalam bagian variable seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.6. Setelah initial value dimasukkan, maka secara otomatis *software* Ms.Excel akan melakukan perhitungan teknis dan ekonomis. Hal ini terjadi karena perhitungan teknis dan ekonomis dihubungkan dengan *design variable*.



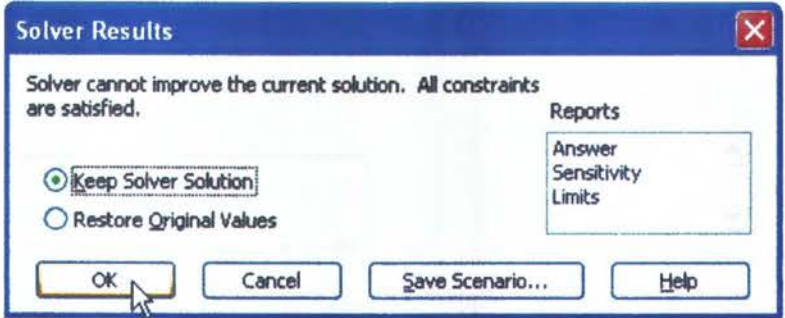
Gambar 6.6. Initial Value Sebagai Nilai Variabel Awal

Meski demikian, proses optimasi belum dijalankan. *Initial value* dimasukkan untuk memberikan gambaran awal pada *software* Ms.Excel dan aplikasi Solver sebelum dilaksanakannya proses optimasi. Untuk menjalankan proses optimasi, buka aplikasi solver

seperti pada Gambar 6.3. Jangan lupa untuk menyetting parameter dan constrains solver seperti pada Gambar 6.4. Apabila sudah disetting, button "Solve" diklik untuk menjalankan proses optimasi (lihat pada Gambar 6.7). Bila program solver berhasil dijalankan, maka akan keluar jendela baru yang memberikan informasi apakah hasil optimasi akan disimpan atau dikembalikan seperti semula sebelum optimasi dijalankan (lihat pada Gambar 6.8).



Gambar 6.7. Klik "Solve" Untuk Menjalankan Solver



Gambar 6.8. Hasil Optimasi Solver

Dengan demikian proses optimasi telah dijalankan. Sel target yang merupakan *objective function* akan memberikan nilai yang minimum seiring dengan pengaturan settingan Solver sebelumnya (meminimalkan sel target). Ini terjadi seiring dengan berubahnya *design variable*.

6.2.5. Hasil Optimasi

Setelah optimasi dijalankan maka secara keseluruhan (kecuali parameter dan konstanta) akan mengalami perubahan, baik itu variabel, obyektif function, perhitungan teknis ataupun perhitungan ekonomis. Adapun ukuran utama pelaksanaan proses optimasi dapat dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. Ukuran Utama Setelah Proses Optimasi

Item	Variable (Ukuran Utama)
Panjang (Lpp)	16,27 m
Lebar (B)	6,16 m
Tinggi (H)	1,53 m
Sarat (T)	0,89 m

Untuk hasil perhitungan teknis dan ekonomis sesudah proses optimasi dilaksanakan akan dibahas dalam bab-bab selanjutnya.

Bab 7. Perhitungan Dan Analisis Teknis Backhoe Dredger

7.1. Perhitungan Berat dan Titik Berat Backhoe Dredger

Perhitungan berat dan titik berat *backhoe dredger* dilakukan setelah proses optimasi selesai dilakukan. Ini dikarenakan beberapa komponen yang akan dihitung merupakan fungsi dari *design variable*. Dari hasil perhitungan berat dan titik berat, trim serta biaya pembangunan *backhoe dredger* dapat dihitung. Komponen yang akan dihitung berat dan titik beratnya meliputi :

- Berat dan titik berat konstruksi *backhoe dredger*
- Berat dan titik berat permesinan (*genset*) *backhoe dredger*
- Berat dan titik berat peralatan / perlengkapan (ekskavator, spud, dan konveyor) *backhoe dredger*
- Berat dan titik berat *consumable* (bahan bakar dan minyak pelumas) *backhoe dredger*

7.1.1. Berat dan Titik Berat Konstruksi Backhoe Dredger

Perhitungan berat dan titik berat konstruksi kapal dilakukan bagian per bagian. Metode ini dipilih karena dirasa lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan rumus pendekatan. Apalagi *backhoe dredger* yang didesain termasuk dalam kategori kapal kecil, sementara berbagai rumus pendekatan yang ada ditujukan khusus untuk kapal-kapal berukuran besar.

Langkah-langkah perhitungan sudah dijelaskan pada Sub Bab 2.6.2.1.1 dengan mengacu pada BKI Rules Vol.II, mengenai *hull construction*. Beberapa koreksi perhitungan diberikan pada Section 30 tentang kapal yang berlayar di perairan dangkal dan Section 31 tentang *barges* dan *pontoon*. Hasil perhitungan bisa dilihat pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Hasil Perhitungan Konstruksi Backhoe Dredger

No.	Item	Jmlh	Ukuran [mm]			Volume [mm ³]	Berat [ton]	LCG [mm]	KG [mm]
			Panjang	Lebar	Tebal				
1	Pelat alas	1	16269.31	6164.80	10.39	1042469249.732	8.183	8134.653	0.000
2	Pelat sisi 1	2	16269.31	1527.87	9.89	491870044.171	3.861	8134.653	763.937
3	Pelat sisi 2	2	6164.80	1527.87	9.89	186380598.549	1.463	8134.653	763.937
4	Pelat geladak	1	16269.31	6164.80	10.39	1042469249.732	8.183	8134.653	1527.874
5	Pembujur alas	8	16269.31	75.00	8.00	78092666.508	0.613	8134.653	37.500
6	Pembujur sisi	4	16269.31	75.00	8.00	39046333.254	0.307	8134.653	763.937
7	Pembujur geladak	8	16269.31	80.00	8.00	83298844.275	0.654	8134.653	1487.874
8	Pem.sekat memanjang	8	16269.31	65.00	8.00	67680310.973	0.531	8134.653	763.937

9	Wrang	9	6164.80	294.06	5.64	92079119.741	0.723	8134.653	147.032
10	Gading besar	9	1527.87	75.00	7.00	7219206.796	0.057	8134.653	763.937
11	Balok geladak	9	6164.80	140.00	14.00	108747159.970	0.854	8134.653	1457.874
12	Pelintang skt memanjang	9	1527.87	90.00	10.00	12375783.079	0.097	8134.653	763.937
13	Penegar sekat melintang	8	1527.87	60.00	8.00	5867037.904	0.046	8134.653	763.937
TOTAL						3257595604.683	25.572		

Dari hasil tersebut perhitungan tersebut didapatkan :

- Berat total baja kapal : 25,572 ton
- LCG kapal : 8,134 m
- KG kapal : 0,770 m

Detail perhitungan beban, modulus penampang dan pemilihan profil terlampir pada halaman lampiran.

7.1.2. Berat dan Titik Berat Permesinan Kapal Backhoe Dredger

Mesin yang digunakan dalam kapal ini berupa genset untuk mencukupi kebutuhan daya listrik. Adapun berat genset didapatkan dari data spesifikasi teknik yang ada pada katalog Genset CAT. Sedangkan untuk titik beratnya, tergantung pada lokasi penempatan genset di kapal. Dari hasil data spesifikasi teknis Genset CAT 4RG-01632 yang telah dipilih pada Sub Bab 5.3.2.4 didapatkan :

- Berat genset : 8,993 ton
- LCG genset : 0,785 m
- KG genset : 10,829 m

7.1.3. Berat dan Titik Berat Peralatan / Perlengkapan Kapal

Perlengkapan yang digunakan dalam kapal ini dan dihitung berat serta titik beratnya ada tiga, yaitu : ekskavator, spud, dan konveyor belt. Untuk ekskavator dan konveyor belt, data berat didapat dari katalog Hitachi Construction (ekskavator) dan C-Track Ltd (konveyor). Sedangkan untuk spud, berat tergantung dari hasil optimasi dan dihitung dengan persamaan (5.8) yang diberikan pada Sub Bab 5.3.2.2. Berikut hasil perhitungan berat dan titik berat peralatan / perlengkapan *backhoe dredger* :

- Berat ekskavator : 35,1 ton
- LCG ekskavator : 8,575 m
- KG ekskavator : 2,538 m
- Berat sistem spud : 46.757 ton
- LCG spud : 10,135 m

- KG spud : 1,528 m
- Berat konveyor : 1,79 ton
- LCG konveyor : 14,462 m
- KG konveyor : 2,028 m

Total berat, LCG dan KG seluruh sistem peralatan dan perlengkapan *backhoe dredger* adalah sebagai berikut :

- Berat total : 119.291
- LCG total : 8,118 m
- KG total : 1,621 m

7.1.4. Berat dan Titik Berat Consumable Backhoe Dredger

Perhitungan berat *consumable* meliputi berat bahan bakar dan berat minyak pelumas. Keduanya merupakan fungsi dari pemilihan genset. Untuk berat bahan bakar sendiri, sangat bergantung pada jenis genset yang dipilih karena masing-masing genset memiliki karakteristik tingkat konsumsi yang berbeda.

7.1.5.1. Perhitungan Berat dan Titik Berat Bahan Bakar

Perhitungan berat dan titik berat bahan bakar menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) yang sudah diberikan pada Sub Bab 2.6.2.2.1. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_C &= \text{tingkat konsumsi bahan bakar} \\
 &= 85 \text{ L / hour; (untuk Genset CAT 4RG-01632)} \\
 &= 0,85 \text{ m}^3 / \text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \text{jumlah jam operasional per hari} \\
 &= 8 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{FC} &= \text{total konsumsi bahan bakar per hari} \\
 &= F_C \times h \\
 &= 0,681 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{FO} &= \text{berat jenis bahan bakar} \\
 &= 0.85 \text{ ton / m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{FO} &= \text{berat bahan bakar} \\
 &= T_{FC} \times \rho_{FO} \\
 &= 0,579 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Berat bahan bakar di atas adalah berat minimal yang harus dibawa kapal setiap harinya untuk beroperasi selaman 8 jam. Berat bahan bakar pada kondisi tangki penuh dihitung

berdasarkan dimensi tangki yang dipengaruhi oleh *variable design* dalam proses optimasi. Hasilnya adalah seperti pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2. Berat dan Titik Berat Bahan Bakar

Dimensi tangki (m)			Vol. (m ³)	Berat _{fo}	Titik Berat	
t _{fo}	p _{fo}	l _{fo}			KG _{fo}	LCG _{fo}
0.29	0.90	3.08	0.82	0.70	0.15	11.30

7.1.5.2. Perhitungannya Berat dan Titik Berat Minyak Pelumas

Perhitungan berat dan titik berat minyak pelumas merupakan fungsi dari berat bahan bakar dan dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3) yang sudah diberikan pada Sub Bab 2.6.2.2.2. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

P_{LO} = berat minyak pelumas

$$= (0,01 \sim 0,03) \times P_{FO}$$

konstanta diambil 0,2

P_{FO} = berat bahan bakar

$$= 0,579 \text{ ton}$$

$$P_{LO} = 0,116 \text{ ton}$$

Berat minyak pelumas di atas adalah berat minimal yang harus dibawa kapal setiap harinya untuk beroperasi selama 8 jam. Berat minyak pelumas sesungguhnya pada dihitung berdasarkan dimensi tangki yang dipengaruhi oleh *variable design* dalam proses optimasi. Hasilnya adalah seperti pada Tabel 7.3.

Tabel 7.3. Berat dan Titik Minyak Pelumas

Dimensi tangki (m)			Vol. (m ³)	Berat _{lo}	Titik Berat	
t _{lo}	p _{lo}	l _{lo}			KG _{fo}	LCG _{fo}
0.29	0.45	3.08	0.41	0.38	0.15	11.07

7.2. Perhitungan Hidrostatik Backhoe Dredger

Perhitungan hidrostatik berguna untuk mengetahui bagaimana karakter ataupun sifat-sifat badan kapal yang tercelup air. Hasil perhitungan hidrostatik digambarkan dalam bentuk kurva hidrostatik yang digambar sampai sarat penuh. Adapun hasil perhitungan hidrostatik meliputi 19 item sebagai berikut :

a. Water Plane Area (WPA)

WPA adalah luas bidang garis air yang telah direncanakan dalam lines plan dari tiap-tiap waterline. Setelah proses optimasi, berikut adalah nilai WPA *backhoe dredger* :

$$WPA = L \times B$$

$$WPA = 100,297 \text{ m}^2$$

b. Coefficient of Waterline (C_W)

C_W adalah nilai perbandingan antar luas bidang garis air setiap waterline dengan sebuah segi empat dengan panjang L dan lebar B . C_W dapat dirumuskan dengan persamaan (7.1).

$$C_W = \frac{WPA}{L \times B} \quad (7.1)$$

Karena bentuk badan kapal yang tercelup adalah kotak homogen maka nilai C_W yang didapat setelah optimasi adalah 1

c. Ton per Centimeter Immersion (TPC)

TPC adalah jumlah ton yang diperlukan untuk mengubah sarat kapal sebesar 1 cm. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai TPC adalah 1,028 ton/cm

d. Midship Sectional Area (MSA)

MSA adalah luas moulded kapal pada section midship untuk tiap-tiap sarat kapal. Pada sarat kapal penuh (setelah proses optimasi), $MSA = 5,548 \text{ m}^2$.

e. Midship Coefficient (C_M)

C_M adalah perbandingan luas penampang midship kapal dengan luas suatu penampang yang memiliki lebar B dan tinggi T untuk setiap waterline. C_M dapat dirumuskan :

$$C_M = \frac{MSA}{B \times T} \quad (7.2)$$

Karena bentuk badan kapal yang tercelup adalah kotak homogen maka nilai C_M yang didapat setelah optimasi adalah 1

f. Block Coefficient (C_B)

C_B adalah perbandingan volume carena dengan balok yang memiliki panjang L , lebar B dan tinggi T . C_B dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_B = \frac{\nabla}{L \times B \times T} \quad (7.3)$$

Karena bentuk badan kapal yang tercelup adalah kotak homogen maka nilai C_B yang didapat setelah optimasi adalah 1.

g. Prismatic Coefficient (C_P)

C_P adalah perbandingan volume carena dengan volume prisma dengan luas penampang midship kapal dan panjang L , yang mana dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_P = \frac{\nabla}{MSA \times L} = \frac{C_B}{C_M} \quad (7.4)$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $C_P = 1$

h. Moment to Change Trim One Centimeter (MTC)

MTC adalah momen yang diperlukan untuk membuat trim sebesar 1 cm. MTC dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$MTC = \frac{L_{BM} \times \Delta}{100 \times L} \quad (7.5)$$

Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai $MTC = 1,360 \text{ ton.m}$

i. Displacement due to One Centimeter of Trim by Stern (DDT)

DDT adalah besarnya perubahan displacement kapal yang diakibatkan oleh perubahan trim kapal sebesar 1 cm. DDT dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$DDT = \frac{\phi F_x \times TPC}{L} \quad (7.6)$$

Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai $DDT = 0.514 \text{ ton}$

j. Displacement (Δ)

Displacement adalah berat air yang dipindahkan karena adanya volume badan kapal yang tercelup ke dalam air (carena), termasuk juga akibat tambahan adanya pelat kulit. Dengan demikian displacement adalah penjumlahan dari displacement moulded dengan shell displacement.

k. Displacement Moulded ($\Delta_{moulded}$)

Displacement moulded adalah berat air yang dipindahkan karena adanya volume carena tanpa kulit. Nilai ini didapatkan dari perkalian volume carena dengan berat jenis air dimana kapal beroperasi.

l. Shell Displacement (Δ_{shell})

Shell displacement adalah berat air laut yang dipindahkan karena adanya kulit atau pelat pada carena.

m. Wetted Surface Area (WSA)

WSA adalah luas permukaan badan kapal yang tercelup dalam air pada setiap waterline. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, pada sarat penuh diperoleh nilai $WSA = 140.678 \text{ m}^2$.

n. Longitudinal Center of Bouyancy to Metacenter (L_{BM})

L_{BM} adalah jarak titik tekan bouyancy secara memanjang terhadap titik metacenter. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai $L_{BM} = 29,911 \text{ m}$

o. Longitudinal of Keel to Metacenter (L_{KM})

L_{KM} adalah letak titik metacenter memanjang terhadap lunas kapal untuk tiap-tiap sarat kapal. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai $L_{KM} = 24.361 \text{ m}$

p. Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

LCB adalah jarak titik bouyancy terhadap penampang midship kapal untuk setiap sarat kapal. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai LCB = 8,135 m (dari FP)

q. Longitudinal Center of Flotation (LCF)

LCF adalah jarak titik berat garis air terhadap penampang tengah kapal untuk setiap sarat kapal. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai LCF = 8,135 m (dari FP)

r. Keel to Center of Bouyancy (KB)

KB adalah jarak titik tekan bouyancy ke lunas kapal. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai KB = 0,450 m

s. Transverse of Keel to Metacenter (T_{KM})

T_{KM} adalah letak titik metacenter secara melintang terhadap lunas kapal untuk setiap waterline. Dari hasil perhitungan setelah optimasi, diperoleh nilai $T_{KM} = 3,969$ m

t. Trasverse Center of Bouyancy to Metacenter (T_{BM})

T_{BM} adalah jarak titik tekan bouyancy (gaya tekan ke atas) secara melintang terhadap titik metacenter. Setelah proses optimasi, maka didapatkan $T_{BM} = 3.519$ m

7.3. Perhitungan Tahanan Backhoe Dredger

Perhitungan tahanan kapal dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.4) yang sudah dijelaskan pada Sub bab 2.6.3. Hasil perhitungan tahanan kapal berdasarkan optimasi yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut :

$$W_{air} = (f \times S \times V^{1,83}) + (p \times F_x \times V^2)$$

$$f = 0,17 ; \text{ untuk pelat baja}$$

$$S = \text{ luas permukaan basah} \\ = 140,190 \text{ m}^2$$

$$V = \text{ kecepatan kapal} \\ = 1 \text{ knot}$$

$$p = 30 ; \text{ untuk barge dengan rake haluan / buritan bersudut } 90^0$$

$$F_x = \text{ luas penampang midship} \\ = 9,419 \text{ m}^2$$

$$W_{air} = 0,80276 \text{ kN}$$

$$W_{udara} = 0,0041 (0,3A_1 + A_2) \times V_A^2$$

$$A_1 = \text{ luas penampang melintang kapal di atas permukaan air} \\ = 42,387 \text{ ft}^2$$

$$A_2 = \text{ luas proyeksi transversal bangunan atas}$$

$$= 79,797 \text{ ft}^2$$

$$V_A = \text{kecepatan relatif angin}$$

$$= 15 \text{ knot}$$

$$= 25,315 \text{ ft/sec}$$

$$W_{\text{udara}} = 1,08125 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = W_{\text{air}} + W_{\text{udara}}$$

$$= 1,88401 \text{ kN}$$

Jadi tahanan kapal setelah proses optimasi adalah 1,884 kN.

7.4. Perhitungan Stabilitas Backhoe Dredger

Perhitungan stabilitas kapal menjadi *constrain* dalam proses optimasi. Perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan (2.8) yang sudah diberikan pada Sub Bab 2.6.4.2.

Hasil perhitungan stabilitas kapal dengan *Wall Sided Formula* diberikan pada Tabel 7.4.

$$KB = T / 2$$

$$= 0,445 \text{ m}$$

$$BM = B^2 / 12 T$$

$$= 2,816 \text{ m}$$

$$KG = H / 2$$

$$= 0,764 \text{ m}$$

$$GM = 2,496 \text{ m}$$

Tabel 7.4. Perhitungan Stabilitas Dengan Wall Sided Formula

ϕ	$\tan \phi$	$\tan^2 \phi$	$BM/2 \tan^2 \phi$	$GM + BM/2 \tan^2 \phi$	$\sin \phi$	GZ [m]
0	0.0000	0.0000	0.0000	2.4965	0.0000	0.0000
5	0.0875	0.0077	0.0108	2.5073	0.0872	0.2185
10	0.1763	0.0311	0.0438	2.5403	0.1736	0.4411
15	0.2679	0.0718	0.1011	2.5976	0.2588	0.6723
20	0.3640	0.1325	0.1865	2.6830	0.3420	0.9176
25	0.4663	0.2174	0.3061	2.8026	0.4226	1.1844
30	0.5774	0.3333	0.4693	2.9658	0.5000	1.4829
35	0.7002	0.4903	0.6903	3.1868	0.5736	1.8279
40	0.8391	0.7041	0.9913	3.4878	0.6428	2.2419
45	1.0000	1.0000	1.4079	3.9044	0.7071	2.7608
50	1.1918	1.4203	1.9997	4.4961	0.7660	3.4442
55	1.4281	2.0396	2.8716	5.3681	0.8192	4.3973
60	1.7321	3.0000	4.2238	6.7203	0.8660	5.8199
65	2.1445	4.5989	6.4750	8.9714	0.9063	8.1309
70	2.7475	7.5486	10.6280	13.1244	0.9397	12.3329

75	3.7321	13.9282	19.6100	22.1064	0.9659	21.3532
80	5.6713	32.1634	45.2839	47.7804	0.9848	47.0545
85	11.4301	130.6461	183.9408	186.4373	0.9962	185.7278
90	1.63246E+16	2.66E+32	3.752E+32	3.75201E+32	1	3.75E+32

Karena perhitungan stabilitas merupakan batasan dalam proses optimasi, maka perlu dilakukan pengecekan apakah sudah memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

1. Luas di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $0^{\circ} \sim 30^{\circ} \geq 0,055$ m.rad.
Hasil perhitungan = 0,3637 m.rad (memenuhi syarat).
2. Luas di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $0^{\circ} \sim 40^{\circ} \geq 0,09$ m.rad.
Hasil perhitungan = 0,6847 m.rad (memenuhi syarat)
3. Luas di bawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \geq 0,03$ m.rad.
Hasil perhitungan = 0,3090 m.rad (memenuhi syarat)
4. Lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.
Hasil perhitungan = 1,483 m (memenuhi syarat)
5. Tinggi metacenter awal GM pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0,15 meter.
Hasil perhitungan = 2,496 m (memenuhi syarat).

Dengan terpenuhinya semua persyaratan stabilitas, maka kapal bisa dikatakan cukup stabil pada saat berlayar. Sedangkan pada saat mengeruk, stabilitas ditunjang pula dengan adanya spud.

7.5. Perhitungan Trim Backhoe Dredger

Sebagaimana stabilitas, kondisi trim juga termasuk salah satu batasan yang harus dipenuhi dalam proses optimasi. Perhitungan trim kapal dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.7) yang sudah diberikan pada Sub Bab 2.6.4.1, dimana batasan trim yang diizinkan adalah $\leq 0,05$ m trim buritan. Hasil perhitungan trim berdasarkan optimasi yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut :

$$LCB = 8,135 \text{ m ; dari FP}$$

$$LCG = 8,152 \text{ m ; dari FP}$$

$$I_L = \text{momen inersia memanjang kapal}$$

$$= \frac{1}{12} \times B \times L^3$$

$$= 2212,306 \text{ m}^4$$

$$\nabla = \text{volume displacement}$$

$$= 89,175 \text{ m}^3$$

BM_L = jarak antara titik bouyancy ke titik metacenter (memanjang kapal)

$$= I_L / \nabla$$

$$= 24,809 \text{ m}$$

GM_L = jarak antara titik berat ke titik metacenter (memanjang kapal)

$$= BM_L + KB - KG$$

$$= 23,632 \text{ m}$$

Trim = $(LCG - LCB) \times L / GM_L$

$$= 0,012 \text{ m (trim buritan)}$$

% Trim = $(\text{Trim} / \text{Sarat}) \times 100\%$

$$= 0,013\%$$

Karena besar trim kurang dari 0,05% maka untuk persyaratan trim backhoe dredger yang didesain sudah memenuhi.

Dari seluruh perhitungan teknis *backhoe dredger* dapat dilihat bahwa dua batasan yang ditetapkan pada saat pelaksanaan proses optimasi (stabilitas kapal dan trim) terpenuhi. Dengan demikian secara teknis, *backhoe dredger* yang didesain sudah cukup optimum.

Bab 8. Perhitungan dan Analisa Ekonomis Backhoe Dredger

8.1. Pendahuluan

Perhitungan ekonomis *backhoe dredger* secara garis besar dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu perhitungan biaya pembangunan dan perhitungan biaya operasional. Total dari kedua biaya ini kemudian disebut dengan biaya investasi. Setelah diketahui biaya investasi yang dibutuhkan, maka langkah selanjutnya adalah menganalisis kelayakan investasi tersebut.

8.2. Perhitungan Biaya Pembangunan Backhoe Dredger

Perhitungan biaya pembangunan *backhoe dredger* seperti yang dijelaskan pada Sub Bab 2.7.1 meliputi empat biaya, yaitu : biaya berat baja kapal, biaya permesinan kapal, biaya peralatan dan perlengkapan kapal, serta biaya koreksi keadaan ekonomi dan kebijakan pemerintah.

8.2.1. Biaya Berat Baja Kapal (Structural Weight Cost)

Perhitungan biaya berat baja kapal bisa dilaksanakan setelah mengetahui kebutuhan baja kapal seluruhnya dan menghitung beratnya. Ini sudah dihitung pada Sub Bab 7.1.1, sehingga hasil perhitungan biaya berat baja kapal dapat dipaparkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat baja kapal} &= 25,572 \text{ ton} \\ \text{Harga baja kapal} &= 800 \text{ US\$ / ton} \\ &= \text{Rp.7.600.000 ton (kurs : 1 US\$ = Rp.9.500)} \\ \text{Biaya berat baja kapal} &= \text{berat baja kapal} \times \text{harga baja kapal} \\ &= \text{Rp.194.348.154} \end{aligned}$$

8.2.2. Biaya Permesinan Kapal (Machinery Cost)

Biaya permesinan kapal bisa diperoleh dari harga genset yang sudah dipilih pada Sub Bab 5.3.2.4, yaitu CAT 4RG-01632. Harga genset adalah US\$.45.246 atau Rp.429.833.385.

8.2.3. Biaya Peralatan dan Perlengkapan (Hull Outfit Cost)

Sebagaimana biaya permesinan kapal, biaya peralatan dan perlengkapan juga diperoleh dari hasil pemilihan peralatan / perlengkapan yang sudah dipaparkan pada Sub Bab

5.3.2.1, Sub Bab 5.3.2.2, dan Sub Bab 5.3.2.3. Dari hasil pemilihan tersebut didapatkan masing-masing harganya adalah :

- Harga Ekskavator = US\$.122,378 = Rp.1.162.593.483
- Harga Spud System = US\$. 35.625 = Rp. 338.434.710
- Harga Konveyor = US\$. 2.864 = Rp. 27.208.742

Total biaya peralatan dan perlengkapan *backhoe dredger* adalah Rp.1.528.236.934.

8.2.4. Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi dan Kebijakan Pemerintah

Setelah didapatkan seluruh biaya pembangunan mulai dari biaya berat baja kapal hingga peralatan dan perlengkapannya, maka selanjutnya dilakukan tiga koreksi terhadap jumlah biaya tersebut. Koreksi-koreksi tersebut menurut Watson (1998) dapat diuraikan sebagai berikut :

- Biaya pembangunan awal (hull, machinery, and hull outfit) = Rp.2.152.418.473
- Keuntungan galangan = $5\% \times$ biaya pembangunan awal
= $5\% \times$ Rp.2.152.418.473
= Rp.107.620.924
- Biaya untuk inflasi = $2\% \times$ biaya pembangunan awal
= $2\% \times$ Rp.2.152.418.473
= Rp.43.048.369
- Biaya dukungan pemerintah = $9\% \times$ biaya pembangunan awal
= $9\% \times$ Rp.2.152.418.473
= Rp.193.717.663

Setelah komponen koreksi dihitung maka biaya total pembangunan setelah koreksi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembangunan} &= \text{Biaya pembangunan awal} - \text{keuntungan galangan} - \text{biaya inflasi} + \\ &\quad \text{biaya dukungan pemerintah} \\ &= \text{Rp.2.109.370.104} \end{aligned}$$

8.3. Perhitungan Biaya Operasional Backhoe Dredger

Perhitungan biaya operasional *backhoe dredger* seperti yang dijelaskan pada Sub Bab Bab 2.7.2, terdiri dari dua bagian yaitu biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap, seperti namanya, besar nilainya tetap dan tidak berubah. Sedangkan biaya variabel besarnya berubah seiring dengan proses optimasi *design variable*.

8.3.1. Biaya Tetap

Biaya tetap dalam perhitungan ini mencakup tiga macam biaya yaitu : biaya angsuran dan bunga bank, biaya reparasi / perawatan kapal, biaya asuransi kapal, serta biaya bongkar muat material hasil pengerukan. Rincian biaya hasil perhitungannya antara lain :

- Biaya angsuran dan bunga bank = Rp.644.221.419 per tahun
Perhitungan biaya angsuran bunga bank dihitung dengan asumsi besarnya bunga adalah 16% per tahun dan lama masa pinjaman adalah 5 tahun.
- Biaya reparasi / perawatan tahunan = Rp.210.937.010 per tahun
Perhitungan biaya reparasi diasumsikan 10% dari biaya total pembangunan kapal.
- Biaya asuransi = Rp.31.640.552 per tahun
Perhitungan biaya asuransi diasumsikan 1,5% dari biaya total pembangunan kapal.
- Biaya bongkar muat = Rp.967.277.778 per tahun
Perhitungan biaya bongkar muat sudah mencakup sewa truck dan tenaga bongkar muat.

8.3.2. Biaya Variabel

Biaya variabel dalam perhitungan ini mencakup tiga macam biaya, yaitu : biaya bahan bakar, biaya minyak pelumas, dan gaji operator kapal.

8.3.2.1. Biaya bahan bakar

Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan tingkat konsumsi bahan bakar genset yang telah dipilih. Setelah diketahui kebutuhan bahan bakarnya, maka biaya dapat dihitung berdasarkan hanya bahan bakar di pasaran. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Tingkat konsumsi bahan bakar genset	= 85 L / jam
Total jam kerja kapal	= 8 jam / hari × 100 segmen = 800 jam
Kebutuhan total bahan bakar genset	= 85 L / jam × 800 jam = 68000 L
Harga bahan bakar	= Rp.4.500 / liter
Biaya bahan bakar genset	= Rp.306.000.000

8.3.2.2. Biaya minyak pelumas

Biaya minyak pelumas, sebagaimana biaya bahan bakar, dihitung berdasarkan kebutuhan minyak pelumas dikalikan dengan harga minyak pelumas di pasaran. Perhitungan biaya pelumas adalah sebagai berikut :

Kebutuhan total minyak pelumas = 10635 L

Harga minyak pelumas = Rp.30.000 / liter

Biaya total minyak pelumas = Rp.3.190.560

8.3.2.3. Gaji operator kapal

Gaji operator kapal bergantung pada jumlah operator yang bekerja pada saat kapal dioperasikan. Dari hasil optimasi didapatkan jumlah operator yang digunakan adalah 3 (tiga) orang. Sehingga total gaji operator adalah Rp.19.200.000. Gaji operator, dihitung dengan asumsi :

- Gaji operator = Rp.8.000 per jam
- Jam kerja = 8 jam / hari
- Total jam kerja = 800 jam

Dari ketiga komponen biaya variabel di atas, total keseluruhan biaya operasional kapal adalah Rp.2.182.467.319 per tahun.

8.4. Analisis Kelayakan Biaya Investasi Backhoe Dredger

Seperti pembahasan pada Sub Bab 2.8, analisis ekonomis biaya investasi didasarkan pada perbandingan pengeluaran yang harus dikeluarkan Pemda Sidoarjo antara menggunakan jasa pengerukan PT. (Persero) Pengerukan Indonesia dengan biaya investasi untuk membangun dan mengoperasikan kapal pembersih sungai yang didesain dalam tugas akhir ini.

8.4.1. Perhitungan Biaya Jasa Pengerukan Oleh PT. (Persero) Pengerukan Indonesia

Untuk melakukan perhitungan biaya jasa pengerukan, maka diambil referensi dari media cetak Kompas (Agustus 2005) yang dikutip oleh Prasetyo (2008). Pada media cetak tersebut diberitakan bahwa, "Pekerjaan pengerukan alur yang dilaksanakan oleh PT. (Persero) Pengerukan Indonesia menelan biaya sebesar Rp.45,5 milyar untuk mengeruk lumpur sebanyak 3.070.000 m³"

Berdasarkan berita di media cetak tersebut maka biaya jasa pengerukan dapat dihitung sebagai berikut :

- Total biaya pengerukan = Rp.47.500.000
- Total volume pengerukan = 3.070.000 m³
- Biaya pengerukan per m³ = Rp.15.472 / m³

Untuk tugas akhir ini acuan biaya pengerukan yang digunakan adalah Rp.20.000 / m³. Asumsi ini diambil dengan pertimbangan biaya pengerukan sudah naik dalam kurun waktu 5 tahun sejak berita tersebut dimuat. Dengan demikian biaya jasa untuk mengeruk dan membersihkan Sungai Kepetingan dapat dihitung sebagai berikut :

- Jumlah total volume pengerukan = 96767,8 m³
(berdasarkan perhitungan di Sub Bab 5.3.1.3)
- Total biaya pengerukan = Rp.20.000 / m³ × 96767,8 m³
= Rp. 1.934.555.556

Jadi apabila Pemda Sidoarjo menggunakan jasa pengerukan untuk membersihkan Sungai Kepetingan, maka biaya yang harus dikeluarkan adalah Rp.1.934.555.556 (asumsi dalam setahun hanya mengeruk satu kali).

8.4.2. Analisis Perbandingan Biaya Jasa Pengerukan dan Biaya Investasi Kapal

Biaya pengerukan yang dibutuhkan untuk membersihkan Sungai Kepetingan sudah diketahui dari hasil perhitungan pada Sub Bab 8.4.1. Maka langkah selanjutnya adalah membandingkan dengan biaya investasi kapal hasil perhitungan ekonomis pada Sub Bab 8.2 dan Sub Bab 8.3. Dari hasil perhitungan ekonomis, didapatkan :

- Biaya investasi kapal tahun pertama : Rp.4.291.837.422 (biaya pembangunan dan biaya operasional)
- Biaya operasional tahun ke-2 s/d tahun ke-5 : Rp. 2.182.467.319
- Biaya operasional tahun ke-6 s/d tahun ke-20 : Rp.1.538.245.900 (setelah tahun ke-6, biaya operasional dikurangi biaya angsuran dan bunga bank karena pinjaman telah lunas).

Untuk perbandingan antara keuntungan dan kerugian yang didapatkan selama masa operasional kapal (20 tahun) bisa dilihat pada Tabel 8.1 :

Tabel 8.1. Perbandingan Biaya Pengerukan dan Biaya Investasi

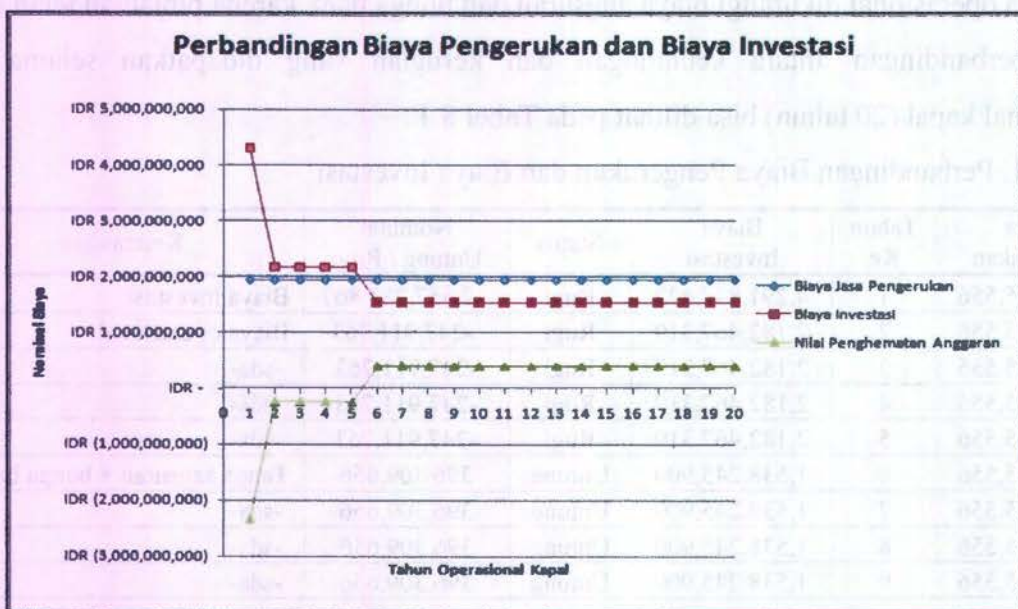
Biaya Pengerukan	Tahun Ke	Biaya Investasi	Status	Nominal Untung / Rugi	Keterangan
1,934,555,556	1	4,291,837,422	Rugi	-2,357,281,867	Biaya investasi
1,934,555,556	2	2,182,467,319	Rugi	-247,911,763	Biaya operasional
1,934,555,556	3	2,182,467,319	Rugi	-247,911,763	-sda-
1,934,555,556	4	2,182,467,319	Rugi	-247,911,763	-sda-
1,934,555,556	5	2,182,467,319	Rugi	-247,911,763	-sda-
1,934,555,556	6	1,538,245,900	Untung	396,309,656	Tanpa angsuran + bunga bank
1,934,555,556	7	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	8	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	9	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-

1,934,555,556	10	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	11	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	12	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	13	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	14	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	15	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	16	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	17	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	18	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	19	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-
1,934,555,556	20	1,538,245,900	Untung	396,309,656	-sda-

Dari Tabel 8.1 dapat dilihat bahwa memang pada tahun pertama pengoperasian kapal, Pemda membayar lebih mahal Rp.2.357.281.867 dari biaya jasa pengerukan. Ini adalah hal yang wajar mengingat pada tahun pertama biaya investasi adalah gabungan dari biaya pembangunan kapal dan biaya operasionalnya.

Pada tahun kedua sampai dengan tahun kelima, biaya yang dikeluarkan Pemda masih lebih mahal 12,81% dari biaya pengerukan. Ini disebabkan oleh masih adanya sisa angsuran pinjaman bank.

Pada tahun keenam hingga dua puluh tahun usia operasional kapal, biaya yang dikeluarkan Pemkab kembali berkurang sebesar 20,49% dari biaya pengerukan bila menggunakan jasa pihak swasta. Pada tahun operasional keenam hingga ke-20 tahun, biaya angsuran bank beserta bunganya sudah tidak ada lagi (dianggap lunas). Inilah yang menyebabkan mengapa biaya operasional kapal sudah berada di bawah biaya jasa pengerukan.



Gambar 8.1. Perbandingan Biaya Jasa Pengerukan dan Biaya Investasi Kapal

Apabila Pemda Sidoarjo memilih untuk berinvestasi membangun *backhoe dredger* baru, maka total penghematan anggaran yang bisa didapatkan selama 20 tahun masa operasional kapal adalah Rp. 2.595.715.918.

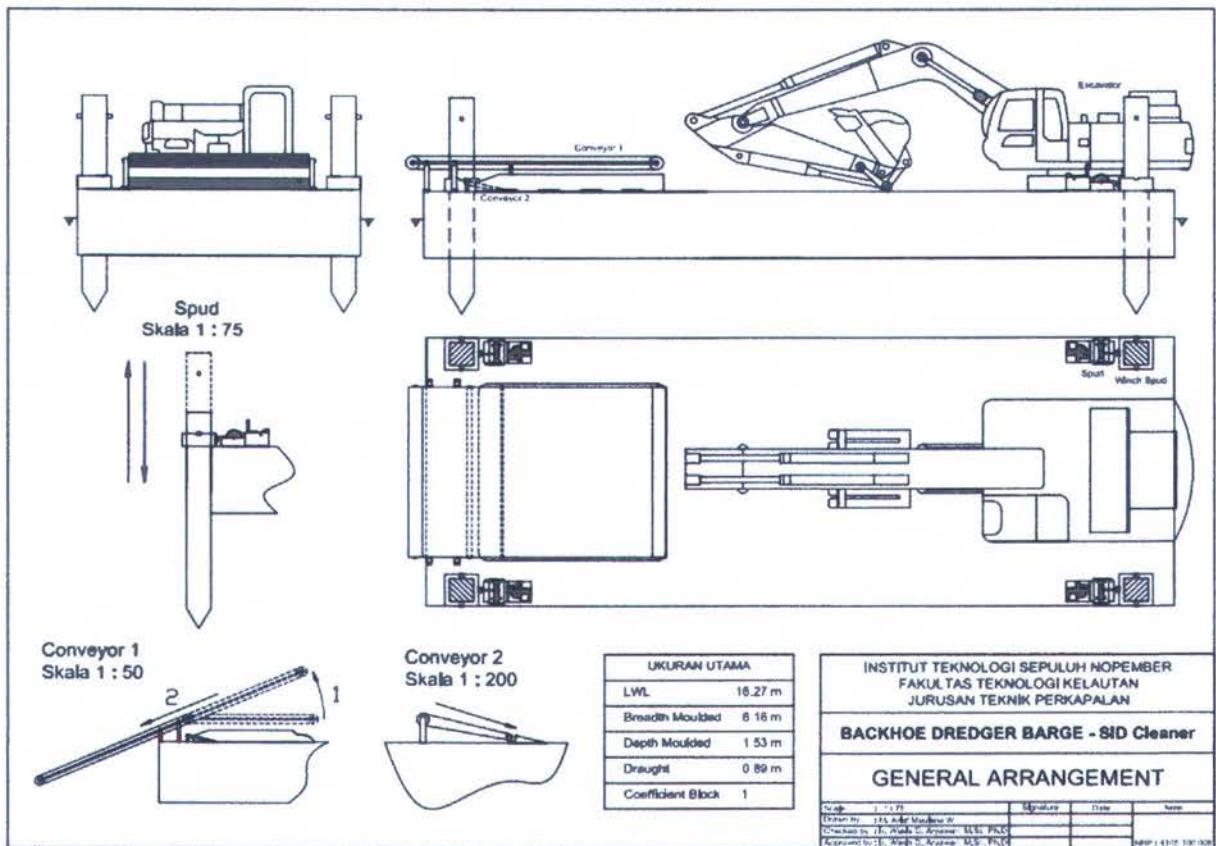
Melihat adanya potensi penghematan anggaran hanya untuk program pembersihan Sungai Kepetingan, maka tentu akan lebih bijak bila Pemda Sidoarjo mempertimbangkan untuk membangun *backhoe dredger* baru. Dengan demikian, dana yang dihemat bisa dialokasikan untuk program kesejahteraan lain bagi penduduk Sidoarjo. Apalagi, *backhoe dredger* ini juga bisa dioperasikan untuk sungai-sungai kecil lain di Sidoarjo yang batas minimal lebar dan kedalamannya tidak jauh berbeda dengan Sungai Kepetingan.

Sebagai catatan, asumsi perhitungan biaya jasa pengerukan yang digunakan mengacu pada biaya jasa pengerukan PT. (Persero) Pengerukan Indonesia pada tahun 2005. Mengingat pada saat tugas akhir ini dilaksanakan adalah Tahun 2010, maka biaya tersebut dinaikkan sebesar 22,63% (asumsi) menjadi sebesar Rp.20.000/m³. Ada kemungkinan biaya jasa pengerukan yang sesungguhnya lebih mahal. Jika memang demikian, maka nilai penghematan anggaran yang dilakukan Pemda pun semakin besar mengingat perhitungan biaya investasi didasarkan pada kondisi saat tugas akhir ini dibuat.

Bila diasumsikan terjadi inflasi di tahun-tahun mendatang, maka tentu kenaikan antara biaya jasa pengerukan dan biaya operasional *Backhoe Dredger* akan berjalan beriringan. Sehingga secara tidak langsung Pemda masih bisa menghemat anggaran. Inilah yang menjadi dasar bahwa **investasi membangun kapal *Backhoe Dredger* sebagai kapal pembersih Sungai Kepetingan layak untuk dikerjakan.**

Bab 9. Rencana Umum Backhoe Dredger

Rencana umum didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya (Taggart, 1980). Pada *Backhoe Dredger*, tidak ada ruang khusus di bawah geladak utama selain tangki bahan bakar, tangki minyak pelumas, dan ruang Genset. Oleh karena itu, gambar rencana umum lebih ditekankan pada peletakan sistem peralatan dan perlengkapan yang ada di atas geladak (barge). Peralatan dan perlengkapan yang di atas geladak antara lain : ekskavator, sistem spud, dan sistem konveyor. Rencana umum *Backhoe Dredger* bisa dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1. General Arrangement Backhoe Dredger

Bab 10. Kesimpulan dan Saran

10.1. Kesimpulan

Desain kapal pembersih sungai "SID - Cleaner 10" dilakukan dengan metode optimasi menggunakan aplikasi Solver pada Software Microsoft Excell. Dalam proses optimasi yang dilakukan batasan teknis yang digunakan adalah stabilitas dan trim kapal. Selain itu, diperhitungkan juga batasan dari kondisi daerah pelayaran, yakni Sungai Kepetingan Sidoarjo.

Pada proses perhitungan dan analisis kelayakan investasi, dilakukan perhitungan biaya jasa pengerukan oleh pihak ketiga untuk selanjutnya dibandingkan dengan biaya investasi yang dikeluarkan beserta biaya operasionalnya selama 20 tahun masa operasional kapal. Hasil perbandingan ini kemudian dianalisis untuk kemudian dilihat sejauh mana kelayakan investasinya.

Dari seluruh pembahasan yang sudah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Jenis kapal yang sesuai untuk wilayah operasi Sungai Kepetingan adalah Backhoe Dredger. Dimana struktur utama terdiri dari barge yang dilengkapi dengan backhoe (ekskavator) dan konveyor.
- Dari hasil optimasi yang dilakukan untuk mencari desain yang paling optimal, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 10.1. Hasil Optimasi

Nama Kapal	SID – Cleaner 10		
Tipe Kapal	Backhoe Dredger		
Daerah Operasi Kapal	Sungai Kepetingan Sidoarjo		
Panjang (L)	16,27		m
Lebar (B)	6,16		m
Tinggi (H)	1,53		m
Sarat (T)	0,89		m
Displacement (Δ)	91,404		ton
Jumlah Kru	3		orang

- Biaya investasi kapal (biaya pembangunan dan operasional tahun pertama) setelah dioptimasi adalah Rp.4.291.837.422.

- Hasil analisis ekonomis, didapatkan bahwa biaya operasional tahunan kapal lebih murah 20,49% daripada biaya jasa pengerukan oleh pihak swasta. Sehingga investasi ini layak untuk dilaksanakan.

10.2. Saran

Mengingat untuk beberapa perhitungan ada yang dilakukan dengan pendekatan estimasi sederhana, maka agar lebih sempurna ada beberapa aspek perencanaan yang perlu diperhatikan :

- Perancangan konstruksi yang lebih mendetail pada barge, termasuk material konstruksi dan gambar konstruksi agar perhitungan konstruksi bisa mendapatkan hasil yang lebih baik.
- Perhitungan biaya produksi yang lebih mendetail pada semua aspek seperti : tenaga kerja, material, dsb. Termasuk juga di dalamnya gambar detil (produksi) *Backhoe Dredger*.
- Perhitungan stabilitas dalam berbagai kondisi operasional (pengerukan). Sehingga didapatkan karakteristik stabilitas *Backhoe Dredger* yang lebih akurat.

Item Kapal	Unit	Volume	Unit	Volume
Backhoe Dredger	(L)	10.27	m	
Backhoe Dredger	(H)	8.10	m	
Backhoe Dredger	(H)	1.21	m	
Backhoe Dredger	(L)	0.29	m	
Backhoe Dredger	(L)	91.00	ton	
Backhoe Dredger		0	orang	

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia. 2006. **Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ships**. Jakarta
- Dharma, Budhi. 2009. **Tugas Akhir “Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan Self Propelled Barge 5000 DWT untuk Perairan Sungai di Kalimantan”**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Gunawan, S. 2003. **Tugas Akhir “Analisa Penentuan Kapal Keruk untuk Pelabuhan Tanjung Mas Semarang Ditinjau Dari Teknis Pengerukannya”**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Parsons, Michael.G. 2001. **Parametric Design Chapter 11**. Michigan : University of Michigan, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Poehl, H. 1982. **Lecture on Ship Design and Ship Theory**. Hancouver : University of Hancouver.
- Prasetyo, Hary. 2008. **Tugas Akhir “Analisa Teknis dan Ekonomis Perancangan Kapal / Tongkang yang Dilengkapi dengan Alat Keruk (Sampah / Lumpur) Untuk Dioperasikan di Sungai Ciliwung Jakarta”**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Rawson, K.J., dan Tupper E.C. 2001. **Basic Ship Theory, Volume I**. Oxford, UK : Longman Group Ltd.
- Santosa, I.G.M. 1999. **Diktat Kuliah Perencanaan Kapal**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Setijoprajudo. 1991. **Ship Design Economics**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Schneekluth, H dan Bertram, V. 1998. **Ship Design Efficiency and Economy**. Oxford, UK : Butterworth Heinemann.
- Wibowo, Fajar Ari. 2007. **Tugas Akhir “Perancangan Push Boat untuk Pusher-Barge 6840 DWT untuk Sungai di Kalimantan”**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.

- Watson, David.G.M. 1998. **Practical Ship Design, Volume I**. Oxford, UK : Elsevier Science Ltd.
- Wuryanto, G. 2000. **Tugas Akhir “Analisa Teknis dan Ekonomis Pemilihan Tipe Kapal Keruk Yang Sesuai Untuk Pelabuhan Cilacap dan Sekitarnya”**. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Alat Berat, 10 Februari 2010. **Portal Jual Beli Sewa Alat Berat dan Kapal di Indonesia**, <URL:<http://www.alatberat.org>>.
- Badan Koordinasi Penanaman Modal, 4 Mei 2010. **Profil Daerah Kabupaten Sidoarjo**, <URL:<http://www.regionalinvestment.com/sipid/id/displayprofil.php?ia=3515.html>>
- Charles Honoris, 16 Oktober 2009. **Naik Perahu Charles Honoris Sapa Desa Terpencil**, <URL:<http://www.charleshonoris.com/news.php?view=359>>.
- Caterpillar, 21 Maret 2010. **CAT Marine Engine Selection Guide**, <URL:<http://www.CAT-marine.com>>.
- Indonetnetwork, 7 Juli 2010. **Sewa Dump Truck**, <URL:<http://sewadumptruck.indonetnetwork.co.id/395693/daftar-harga-sewa-dump-truck.htm>>.
- Machinery Stock, 21 Maret 2010. **New and Used Construction Equipment and Heavy Machinery For Sale**, <URL:<http://www.machinerystock.com>>.
- DPRD Sidoarjo, 7 Maret 2010. **Anshori SH Arek Kepetingan Yang Duduk Sebagai Ketua KPU**, <URL:<http://www.dprd-sidoarjokab.go.id/anshori-sh-arek-kepetingan-yang-duduk-sebagai-ketua-kpu.html>>.
- DPRD Sidoarjo, 3 Januari 2010. **Kampung Nelayan Yang Masih Terabaikan**, <URL:<http://www.dprd-sidoarjokab.go.id/kampung-nelayan-yang-masih-terabaikan.html>>.
- Dredge Brokers, 8 April 2010. **Price List and Specification of Backhoe Dredger**, <URL:<http://www.dredgebrokers.com/index.html>>.
- Lambertus L. Hurek, 8 September 2009. **Wisata Ke Pantai Kepetingan**, <URL:<http://hurek.blogspot.com/2007/02/wisata-ke-pantai-ketingan.html>>.
- Pemerintah Kabupaten Sidoarjo, 3 Januari 2010. **Letak Geografis Kabupaten Sidoarjo**, <URL:http://www.sidoarjokab.go.id/other/SdaAngka/index.php?data=2008/1.geografis/menu_geografis.htm>.

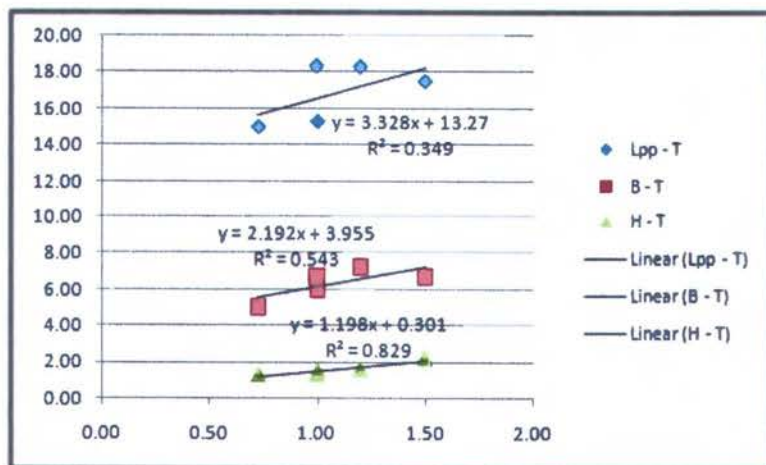
Pemerintah Kabupaten Sidoarjo, 3 Januari 2010. **Penduduk dan Tenaga Kerja**, <URL:http://www.sidoarjokab.go.id/other/SdaAngka/index.php?data=2008/3.penduduk/menu_penduduk_1.htm>.

TMT Marine Transportation, 26 Mei 2010. **Spud Barge Price List**, <URL:<http://www.tmt-llc.com/bargesforsale2.htm>>.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Kapal Pembanding

No	Nama Kapal	Lpp	B	H	T	Ratio Kapal Pembanding (meter)				
						Lpp/B	Lpp/H	B/T	B/H	H/T
1	BMU-1	15.00	5.02	1.33	0.72	2.99	11.28	6.93	3.77	1.84
2	Sigareng	15.30	6.00	1.50	1.00	2.55	10.20	6.00	4.00	1.50
3	Sundari-02	17.50	6.70	2.25	1.50	2.61	7.78	4.47	2.98	1.50
4	CQB-Mahakam	18.29	7.24	1.58	1.20	2.53	11.58	6.03	4.58	1.32
5	Brantas	18.33	6.70	1.34	1.00	2.74	13.68	6.73	5.00	1.35
min		15.00	5.02	1.33	0.72	2.53	7.78	4.47	2.98	1.32
max		18.33	7.24	2.25	1.50	2.99	13.68	6.93	5.00	1.84



Persamaan Regresi untuk LPP tongkang
 $y = 3.328x + 13.27$

Persamaan Regresi untuk B tongkang :
 $y = 2.192x + 3.955$

Persamaan Regresi untuk H tongkang :
 $y = 1.198x + 0.301$

Untuk menentukan initial value ukuran utama, digunakan metode regresi linier, dimana yang dijadikan acuan adalah sarat kapal (T). Adapun nilai initial value ukuran utama yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

Harga LPP Tongkang :

$$\begin{array}{rclclcl} a & X & + & b & = & Y & \\ 3.328 & 1 & + & 13.27 & = & 16.60 & m \end{array}$$

Harga B Tongkang :

$$\begin{array}{rclclcl} a & X & + & b & = & Y & \\ 2.192 & 1 & + & 3.955 & = & 6.15 & m \end{array}$$

Harga H Tongkang :

$$\begin{array}{rclclcl} a & X & + & b & = & Y & \\ 1.198 & 1 & + & 0.301 & = & 1.50 & m \end{array}$$

LAMPIRAN 2 : Model Optimasi

OPTIMASI UKURAN UTAMA KAPAL PEMBERSIH SUNGAI

Rute : Sungai Kepetingan Sidoarjo

CONSTANTE			
No	Uraian	Value	Satuan
1	Massa Jenis Air laut	= 1025	kg / m ³
2	Massa Jenis Air Tawar	= 1000	kg / m ³
3	Berat Jenis Bahan Bakar	= 0.85	ton / m ³
4	Berat Jenis Minyak pelumas	= 0.92	ton / m ³
5	Tekanan Atmosfer	= 10100	kg / m ²
6	Gaya Gravitasi	= 9.81	m / s ²
7	Temperatur	= 30	deg Celcius
8	Koefisien Viskositas Kinematik	= 8.4931E-07	m/s
9	Berat Jenis Baja	= 7.85	ton / m ³

PARAMETERS			
No.	Uraian	Value	Satuan
1	lebar sungai	= 23	meter
2	jumlah Spud	= 2	Buah
3	kecepatan kapal	= 1	Knots
4	Kapasitas Bucket	= 2.015	m3
5	kecepatan angin	= 15	Knots

CONSTRAINTS			Minimum	Value	Maximum	Unit	Remark
	Trim	Trim	0	0.01	0.05	m	OK
	Stability	GM _T at angle of heel 0°	0.15	2.50	5	m	OK
		h at angle of heel > 30°	0.2	1.48	7	m	OK
		Righting lever at q = 30°~40°	0.03	0.31	1.5	m	OK
		Righting lever at q = 30°	0.06	0.10	1.5	m.rad	OK
Righting lever at q = 40°		0.09	0.16	1.5	m.rad	OK	

Ukuran Utama						
No	VARIABLE	Min	Value	Max	Satuan	Remark
1	L	= 15.00	16.27	18.33	m	OK
2	Bm	= 5.02	6.16	7.24	m	OK
3	H	= 1.33	1.53	2.25	m	OK
4	T	= 0.72	0.89	1.50	m	OK

Hasil Perhitungan Teknis

	Nilai	Satuan
DWT	1.073	ton
LWT	118.218	ton
Displacement	119.279	ton
Berat Kapal	119.291	ton
CB	1.0	
C _w	1.0	
C _v	1.0	
KG	1.62	m
KB	0.44	m

Biaya Pembangunan			
no	Uraian	Nilai	Satuan
1	Hull	= 194,348,154	IDR
2	Main Engine	= 429,833,385	IDR
3	Hull Out Fitting	= 1,528,236,934	IDR
4	Lain-lain	= -43,048,369	IDR
	total	= 2,109,370,104	IDR

Biaya Operasional			
no	Uraian	Nilai	Satuan
1	Konsumsi bahan bakar	= 306,000,000	IDR / Thn
2	Konsumsi minyak pelumas	= 3,190,560	IDR / Thn
3	Gaji operator kapal	= 19,200,000	IDR / Thn
4	Angsuran + bunga bank	= 644,221,419	IDR / Thn
5	Biaya reparasi kapal	= 210,937,010	IDR / Thn
6	Biaya asuransi	= 31,640,552	IDR / Thn
7	Biaya bongkar muat	= 967,277,778	IDR / Thn
	total	= 2,182,467,319	IDR / Thn
	Biaya Investasi minimum	= 4,291,837,422	IDR

LAMPIRAN 3 : Perhitungan Tahanan Kapal

PERHITUNGAN TAHANAN TONGKANG

Untuk perhitungan tahanan tongkang, digunakan Formula yang diberikan Henschke (1978)

Dalam formula tersebut tahanan tongkang dibagi menjadi 2 komponen :

1. Tahanan Air
2. Tahanan angin

Tahanan air :

$$W = f \cdot s \cdot V^{1.83} + P \cdot F_x \cdot V^2 \quad (\text{kg})$$

Tahanan angin :

$$W = 0.0041 \cdot (0.3A_1 + A_2) \cdot V^2 \text{ lbs}$$

Dimana :

f = konstanta bahan

s = Luas permukaan basah (m^2)

V = Kecepatan tongkang (m/s)

P = Konstanta bentuk tongkang

F_x = Luas penampang midship (m^2)

A_1 = Luas penampang melintang badan kapal di atas permukaan (ft^2)

A_2 = Luas proyeksi transversal bangunan atas (ft^2)

V_A = Kecepatan relatif angin (ft/sec)

Penghitungan :

$$L_{PP} = 16.27 \text{ m}$$

$$L_{WL} = 16.27 \text{ m}$$

$$B = 6.16 \text{ m}$$

$$T = 0.89 \text{ m}$$

$$H = 1.53 \text{ m}$$

$$f = 0.17 \quad \text{untuk bahan baja}$$

$$s = 140.190 \text{ m}^2$$

$$V = 1 \text{ knot}$$

$$= 0.5144 \text{ m/s}$$

$$P = 30 \quad \text{untuk tongkang dengan rake haluan/buritan bersudut 90}$$

$$F_x = 9.41905 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 3.93787 \text{ m}^2$$

$$= 42.3869 \text{ ft}^2$$

$$A_2 = 7.4134 \text{ m}^2$$

$$= 79.7972 \text{ ft}^2$$

$$V_A = 15 \text{ knot}$$

$$= 7.716 \text{ m/s}$$

$$= 25.3149 \text{ ft/sec}$$

Tahanan Air

$$W = (f \cdot s \cdot V^{1.83}) + (P \cdot F_x \cdot V^2)$$

$$= 81.8312 \text{ kg}$$

$$= 0.80276 \text{ KN}$$

Tahanan Angin

$$W = 0.0041 \cdot (0.3 A_1 + A_2) \cdot V_A^2$$

$$= 243.075 \text{ lbs}$$

$$= 1.08125 \text{ KN}$$

$$= 1081.25 \text{ N}$$

$$= 110.219 \text{ kg}$$

Total Resistance

$$W = W_{\text{water}} + W_{\text{wind}}$$

$$= 192.05 \text{ (kg)}$$

$$= 1.88401 \text{ (KN)}$$

LAMPIRAN 4 : Perhitungan Konstruksi Dan Berat Baja Backhoe Dredger

			TUGAS AKHIR - Perhitungan Konstruksi Kapal	Main Dimension
			Nama kapal : SID-Cleaner	L = 16.27 m
			Type kapal : Backhoe Dredger Barge	H = 1.53 m
			Sistem konstruksi : MEMANJANG	B = 6.16 m
			Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2006	T = 0.89 m
Bagian			DEFINISI-DEFINISI & UKURAN UTAMA	
BAB	Ps	Ayat	Perhitungan / Uraian	Hasil
			UKURAN UTAMA	
I	H	2.1	Panjang L Panjang L tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak perlu lebih besar dari 97% LWL. Diketahui : Lwl = 16.27 m Lpp = 16.27 m Maka : 96% Lwl = 15.619 m 97% Lwl = 15.781 m Sehingga : L = 15.78 m	L = 15.78 m
I	H	2.6	Lebar (B) Lebar B adalah jarak terbesar pada kapal yang diukur dari kulit bagian dalam B = 6.16 m	B = 6.16 m
I	H	2.7	Tinggi (H) Tinggi H adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang L, dari garis dasar ke bagian atas dari balok geladak dibagian sisi geladak menerus yang paling atas H = 1.53 m	H = 1.53 m
I	H	2.8	Sarat T adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang L, dari garis dasar ke tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas. T = 0.89 m	T = 0.89 m
I	H	4	Koefisien Blok CB CB = 1.139	Cb = 1.139
I	H	3	Jarak Gading / Pembujur a diambil : a = 1.36 m (untuk jarak antar gading) a = 0.51 m (untuk jarak antar pembujur alas / deck) a = 0.51 m (untuk jarak antar pembujur sisi)	a = 1.36 m
			PERENCANAAN BEBAN PADA KAPAL	
IV	B	2.1.2	Beban Pada Sisi Kapal # Di bawah garis air : $P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$ # Di atas garis air : $P_s = P_o \times C_f \times 20 / (10 + Z - T)$ dimana : Z = jarak vertikal dari pusat beban terhadap base line (untuk beban pada pelat diukur di tengah untuk sistem konstruksi memanjang) Z = jarak vertikal pusat beban profil diantara senta terhadap base line untuk beban penegar diukur dari tengah-tengah profil/penegar	
IV	A	2.2	$P_o = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f \cdot C_{RW} \text{ [kN/m}^2\text{]}$ $C_o = L/25 + 4,1 \quad L \leq 90 \text{ m}$ $C_o = 21.631$ $f = 1,00 \quad \text{untuk pelat kulit, geladak cuaca}$ $f = 0,75 \quad \text{untuk gading biasa, balok geladak}$ $f = 0,60 \quad \text{Untuk Gading Besar, Senta, Penumpu}$ $C_L = (L/90)^{1,2} \quad L < 90 \text{ m}$ $= 0,419$ $C_{rw} = 0,60 \quad \text{, untuk perairan dangkal}$	$C_o = 21.631$ $C_L = 0,42$ $C_{RW} = 0,60$

$$P_o = 2.1 \times (1.14 + 0.7) \times 21.631 \times 0.42 \times 1 \times 0.6 \quad (\text{Untuk pelat kulit, geladak cuaca}) \quad P_o = 21.0 \text{ kN/m}^2$$

$$P_o = 2.1 \times (1.14 + 0.7) \times 21.631 \times 0.42 \times 0.75 \times 0.6 \quad (\text{Untuk gading biasa, balok geladak}) \quad P_o = 15.7 \text{ kN/m}^2$$

$$P_o = 2.1 \times (1.14 + 0.7) \times 21.631 \times 0.42 \times 0.60 \times 0.6 \quad (\text{Untuk Gading Besar, Senta, Penumpu}) \quad P_o = 12.6 \text{ kN/m}^2$$

Harga CF dapat di cari dari tabel dibawah ini

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 $x/L = 0.11$	$C_D = 1.09$	$C_F = 1.38$
$0.2 \leq x/L < 0.7$	1.00	1.00
M $x/L = 0.56$	$C_D = 1.00$	$C_F = 1.00$
$0.7 \leq x/L \leq 1$	$1.0 + c/3 [x/L - 0.7]$	$1 + 20/C_b [x/L - 0.7]^2$
F $x/L = 0.88$	$c = 0.15 \cdot L - 10$ $C_D = 1.30$	$C_F = 1.55$

Tabel 4.1

Daerah $0 \leq x/L < 0.2$

$$P_o = 21.0 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pelat sisi}$$

$$P_o = 12.6 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk web frame}$$

$$P_o = 15.7 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pembujur sisi}$$

(dibawah garis air)

$$P_s = 10 (T - Z) + P_o \times C_f \times (1 + Z / T)$$

(diatas garis air)

$$P_s = P_o \times C_F \times (20 / (10 + Z - T))$$

$$z = 0.76$$

$$T = 0.89$$

$$P_s = 55.19 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pelat sisi}$$

$$P_s = 33.62 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk web frame}$$

$$P_s = 55.19 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 33.62 \text{ kN/m}^2$$

Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$

$$P_s = 40.26 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pelat sisi}$$

$$P_s = 24.66 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk web frame}$$

$$P_s = 40.26 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 24.66 \text{ kN/m}^2$$

daerah $0.7 \leq x/L < 1$

$$P_s = 61.75 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pelat sisi}$$

$$P_s = 37.55 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk web frame}$$

$$P_s = 61.75 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 37.55 \text{ kN/m}^2$$

Beban Pada Dasar Kapal

$$P_B = 10 \cdot T + P_o \cdot C_F$$

$$P_o = 20.98 \quad ; \text{ untuk pelat alas}$$

$$P_o = 15.74 \quad ; \text{ untuk pembujur alas}$$

$$P_o = 12.59 \quad ; \text{ untuk floor}$$

daerah $0 \leq x/L < 0.2$

$$P_B = 37.90 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pelat alas}$$

$$P_B = 30.65 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pembujur alas}$$

$$P_B = 26.30 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk floor}$$

$$P_B = 37.90 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 30.65 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 26.30 \text{ kN/m}^2$$

daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$

$$P_B = 29.87 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pelat alas}$$

$$P_B = 24.63 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pembujur alas}$$

$$P_B = 21.48 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk floor}$$

$$P_B = 29.87 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 24.63 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 21.48 \text{ kN/m}^2$$

daerah $0.7 \leq x/L < 1$

$$P_B = 41.43 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pelat alas}$$

$$P_B = 33.30 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk pembujur alas}$$

$$P_B = 28.42 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ beban untuk floor}$$

$$P_B = 41.43 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 33.30 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 28.42 \text{ kN/m}^2$$

IV	B	1	<p>Beban Pada Geladak Cuaca</p> $P_D = (P_O \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $P_O = 21.0 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pelat geladak}$ $P_O = 15.7 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pembujur geladak}$ $P_O = 12.6 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk balok geladak}$ $T = 0.9 \text{ m}$ $Z = 1.53 \text{ m}$ $H = 1.53 \text{ m}$ <p>Daerah $0 \leq x/L < 0.2$</p> $P_D = 24.95 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pelat geladak}$ $P_D = 18.72 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pembujur geladak}$ $P_D = 14.97 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk balok geladak}$ <p>Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$</p> $P_D = 22.95 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pelat geladak}$ $P_D = 17.22 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk pembujur geladak}$ $P_D = 13.77 \text{ kN/m}^2 \quad ; \text{ untuk balok geladak}$ <p>daerah $0.7 \leq x/L < 1$</p> $P_D = 29.73 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 22.30 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 17.84 \text{ kN/m}^2$	$P_D = 24.95 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 18.72 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 14.97 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 22.95 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 17.22 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 13.77 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 29.73 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 22.30 \text{ kN/m}^2$ $P_D = 17.84 \text{ kN/m}^2$
XI	B	1.3	<p>Beban Pada Sekat Melintang dan Memanjang</p> $P = 9.81 h$ <p>h = jarak titik berat terhadap 1 meter diatas geladak [main deck] (untuk pelat sekat diukur dari yang tengah pelat) (untuk penegar sekat diukur dari tengah profil)</p> $h = 1.76 \text{ m}$ $P = 17.30 \text{ kN/m}^2$	
XXX	B	1	<p>PERHITUNGAN TEBAL PELAT</p> <p>Tebal Pelat Alas</p> $t = 1.3 \times a/a_0 \times (L \times T / H)^{0.5} \quad [\text{mm}]$ $a_0 = 0.002 L + 0.48 \quad [\text{m}]$ $= 0.511562 \text{ m}$ $a = 1.36 \text{ m}$ $t = 10.4 \text{ mm}$ <p>Koreksi tebal pelat alas : untuk pelat alas, t ditambahkan 0.5 mm</p> $t = 10.9 \text{ mm}$	
XXXI	B	3	<p>Koreksi untuk tipe barge : tebal bisa dikurangi 5%</p> $t = 10.4 \text{ mm}$	$t_{\text{alas}} = 10.4 \text{ mm}$
			<p>Tebal Pelat Sisi</p> <p>Untuk pelat sisi, tebalnya bisa kurang 0.5 mm dari pelat alas</p> $t = 9.9 \text{ mm}$	$t_{\text{sisi}} = 9.9 \text{ mm}$
			<p>Tebal Pelat Geladak</p> <p>Untuk pelat geladak, tebalnya sama dengan pelat alas</p> $t = 10.4 \text{ mm}$	$t_{\text{alas}} = 10.4 \text{ mm}$
XI	B	2.1	<p>Tebal Pelat Sekat</p> $t = c_p \cdot a \cdot \sqrt{p} + t_k \quad [\text{mm}]$ $t_{\text{min}} = 6 \cdot \sqrt{f} \quad [\text{mm}]$ $f = 235/R_{eH}$ $= 235/235$ $= 1$ $c_p = 0.9 \cdot \sqrt{f}$ $= 0.9$ $a = 1.36 \text{ m}$	

XXXI	B	3	$t' = 5.075822$ $t_K = 1.5$ $t = 6.6 \text{ mm}$ Koreksi untuk tipe barge : tebal bisa dikurangi 5% $t = 6.2$	$t_{\text{tekat}} = 6.2 \text{ mm}$
IX	B	3.1	PERHITUNGAN KONSTRUKSI PENEGAR Pembujur Alas Modulus penampang pembujur tidak boleh kurang dari : $W = (83,3 / \sigma_{pr}) \cdot m_b \cdot a \cdot l^2 \cdot p \text{ [cm}^3\text{]}$ Dimana : $a = 0.51 \text{ m}$ $l = 1.36 \text{ m}$ $m = (m_k^2 - m_b^2) ; m \geq (m_k^2 / 2)$ $m_k = 1 - \Sigma [(l_k / l) \sin^2 a_k]$ $m_b = 0,204 \cdot (a / \ell) [4 - (a / \ell)^2] ; a / \ell \leq 1$ $\sigma_{pr} = \sigma_{perm} - \sigma_L \text{ [N/mm}^2\text{]}$ $\sigma_{perm} = (0.8 + L / 450) \cdot 230 / k \text{ [N/mm}^2\text{]}$ $\sigma_{perm: max} = 230 / k$ $\sigma_L = \sigma_{LB}$ $k = 1.00$	$a_k = 45^\circ$
VI	B	2	$\sigma_{LB} = 12.6 \cdot \sqrt{L} / k ; \text{ untuk } L < 90 \text{ m}$ $\sigma_{LB} = 50.05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm} = 8.87 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pr} = 41.19 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm: max} = 230.00 \text{ N/mm}^2$ $m_k = 1$ $m_b = 0.298102$ $p = 33.30 \text{ kN/m}^2$ Maka : $W = 19 \text{ cm}^3$	
XXXI	B	3	Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W = 18 \text{ cm}^3$ Profile : I 75 x 9	
IX	B	3.1	Pembujur Sisi Modulus penampang pembujur tidak boleh kurang dari : $W = (83,3 / \sigma_{pr}) \cdot m_b \cdot a \cdot l^2 \cdot p \text{ [cm}^3\text{]}$ Dimana : $a = 0.51 \text{ m}$ $l = 1.36 \text{ m}$ $m = (m_k^2 - m_b^2) ; m \geq (m_k^2 / 2)$ $m_k = 1 - \Sigma [(l_k / l) \sin^2 a_k]$ $m_b = 0,204 \cdot (a / \ell) [4 - (a / \ell)^2] ; a / \ell \leq 1$ $\sigma_{pr} = \sigma_{perm} - \sigma_L \text{ [N/mm}^2\text{]}$ $\sigma_{perm} = (0.8 + L / 450) \cdot 230 / k \text{ [N/mm}^2\text{]}$ $\sigma_{perm: max} = 230 / k$ $\sigma_L = \sigma_{LS}$ $k = 1.00$	$a_k = 45^\circ$
VI	C	1.2	$\sigma_{LS} = 0.76 \cdot \sigma_{LB} ; \text{ untuk } L < 90 \text{ m}$ $\sigma_{LB} = 38.04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm} = 8.87 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pr} = 29.18 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm: max} = 230.00 \text{ N/mm}^2$ $m_k = 1$ $m_b = 0.295714$	

			$p = 24.66 \text{ kN/m}^2$ Maka : $W = 20 \text{ cm}^3$ Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W = 19 \text{ cm}^3$ Profile : I 75 x 8	
XXXI	B	3		
IX	B	3.1	Pembujur Geladak Modulus penampang pembujur tidak boleh kurang dari : $W = (83.3 / \sigma_{pr}) \cdot m_b \cdot a \cdot l^2 \cdot p \text{ [cm}^3\text{]}$ Dimana : $a = 0.51 \text{ m}$ $l = 1.36 \text{ m}$ $m = (m_k^2 - m_b^2) ; m \geq (m_k^2 / 2)$ $m_k = 1 - \Sigma [(l/t) \sin^2 a_k]$ $m_b = 0.204 (a/l) [4 - (a/l)^2] ; a/l \leq 1$ $\sigma_{pr} = \sigma_{perm} - \sigma_L \text{ [N/mm}^2\text{]}$ $\sigma_{perm} = (0.8 + L/450) \cdot 230 / k \text{ [N/mm}^2\text{]}$ $\sigma_{perm-max} = 230 / k$ $\sigma_L = \sigma_{LB}$ $k = 1.00$ $\sigma_{LB} = 12.6 \cdot \sqrt{L} / k ; \text{ untuk } L < 90 \text{ m}$ $\sigma_{LB} = 50.05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm} = 8.87 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pr} = 41.19 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm-max} = 230.00 \text{ N/mm}^2$ $m_k = 1$ $m_b = 0.298102$ $p = 17.22 \text{ kN/m}^2$ Maka : $W = 10 \text{ cm}^3$ Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W = 9 \text{ cm}^3$ Profile : I 80 x 8	$a_k = 45^\circ$
VI	B	2		
XXXI	B	3		
VIII	A	1.2	Floor Plates $t = h / 100 + 3 \text{ [mm]}$ $h = 55 B - 45 \text{ [mm]}$ $h = 294.06 \text{ mm}$ $h_{min} = 180 \text{ mm}$ $t = 5.9 \text{ mm}$	
XXXI	B	3	Koreksi untuk tipe barge : tebal bisa dikurangi 5% $t = 5.6 \text{ mm}$	$t_{floor} = 5.6 \text{ mm}$
IX	A	2.1	Web Frame $W_R = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot c_r \cdot k \text{ [cm}^3\text{]}$ $n = 0.9 - 0.0035 \cdot L ; \text{ untuk } L < 100 \text{ m}$ $= 0.844766$ $a = 1.36 \text{ m}$ $l = 0.76 \text{ m}$ $c = 1$ $c_r = 1 ; \text{ untuk frame lurus}$ $p = 24.66 \text{ kN/m}^2$ $k = 1$ $W_R = 16 \text{ cm}^3$	
XXXI	B	3	Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W_R = 16 \text{ cm}^3$ Profile : I 75 x 7	



X	B	1	Deck Beam $W_R = c \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot k$ $a = 1.36 \text{ m}$ $l = 3.08 \text{ m}$ $c = 0.55^2$ $k = 1$ $p = 13.77 \text{ kN/m}^2$ $W_R = 98 \text{ cm}^3$	
XXXI	B	3	Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W_R = 93 \text{ cm}^3$ Profile : I 140 x 14	
IX	A	5.3	Pelintang Sekat Memanjang $W = 0.55 \cdot e \cdot l^2 \cdot p \cdot k \cdot n \quad [\text{cm}^3]$ $n = 1$ $l = 1.53 \text{ m}$ $e = 1.36 \text{ m}$ $p = 17.30 \text{ kN/m}^2$ $k = 1$ $W = 30 \text{ cm}^3$	
XXXI	B	3	Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W_R = 29 \text{ cm}^3$ Profile : I 90 x 10	
IX	B	3.1	Pembujur Sekat Memanjang Modulus penampang pembujur tidak boleh kurang dari : $W = (83.3 / \sigma_{pr}) \cdot m_a \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad [\text{cm}^3]$ Dimana : $a = 0.51 \text{ m}$ $l = 1.36 \text{ m}$ $m = (m_k^2 - m_a^2) ; m \geq (m_k^2 / 2) \quad a_k = 45^\circ$ $m_k = 1 - \Sigma [(l/l) \sin^2 a_k]$ $m_a = 0.204 \cdot (a/l) [4 - (a/l)^2] ; a/l \leq 1$ $\sigma_{pr} = \sigma_{perm} - \sigma_L \quad [\text{N/mm}^2]$ $\sigma_{perm} = (0.8 + L/450) \cdot 230 / k \quad [\text{N/mm}^2]$ $\sigma_{perm-max} = 230 / k$ $\sigma_L = \sigma_{LS}$ $k = 1.00$	
VI	C	1.2	$\sigma_{LS} = 0.76 \cdot \sigma_{LB} \quad ; \text{ untuk } L < 90 \text{ m}$ $\sigma_{LB} = 38.04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm} = 8.87 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pr} = 29.18 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{perm-max} = 230.00 \text{ N/mm}^2$ $m_k = 1$ $m_a = 0.295714$ $p = 17.30 \text{ kN/m}^2$ Maka :	
XXXI	B	3	Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W = 14 \text{ cm}^3$ $W = 13 \text{ cm}^3$ Profile : I 65 x 8	

XXXI	B	3	Penegar Sekat Melintang			
			$W = 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot p \cdot k \cdot n$ [cm ³] $n = 1$ $l = 1,53$ m $e = 0,51$ m $p = 17,30$ kN/m ² $k = 1$ $W = 11$ cm ³ Koreksi untuk tipe barge : modulus bisa dikurangi 5% $W_R = 11$ cm ³ Profile : I 60 x 8			

Perhitungan Berat Baja Lambung Kapal :

Berat jenis baja = 7.85 ton/m³
 = 7.85E-09 ton/mm³

No.	Item	Jumlah	Ukuran [mm]			Volume [mm ³]	Berat [ton]	LCG [mm]	KG [mm]
			Panjang	Lebar	Tebal				
1	Pelat alas	1	16269.31	6164.80	10.39	1042469249.732	8.183	8134.653	0.000
2	Pelat sisi 1	2	16269.31	1527.87	9.89	491870044.171	3.861	8134.653	763.937
3	Pelat sisi 2	2	6164.80	1527.87	9.89	186380598.549	1.463	8134.653	763.937
4	Pelat geladak	1	16269.31	6164.80	10.39	1042469249.732	8.183	8134.653	1527.874
5	Pembujur alas	8	16269.31	75.00	8.00	78092666.508	0.613	8134.653	37.500
6	Pembujur sisi	4	16269.31	75.00	8.00	39046333.254	0.307	8134.653	763.937
7	Pembujur geladak	8	16269.31	80.00	8.00	83298844.275	0.654	8134.653	1487.874
8	Pembujur sekat memanjang	8	16269.31	65.00	8.00	67680310.973	0.531	8134.653	763.937
9	Wrang	9	6164.80	294.06	5.64	92079119.741	0.723	8134.653	147.032
10	Gading besar	9	1527.87	75.00	7.00	7219206.796	0.057	8134.653	763.937
11	Balok geladak	9	6164.80	140.00	14.00	108747159.970	0.854	8134.653	1457.874
12	Pelintang sekat memanjang	9	1527.87	90.00	10.00	12375783.079	0.097	8134.653	763.937
13	Penegar sekat melintang	8	1527.87	60.00	8.00	5867037.904	0.046	8134.653	763.937
TOTAL						3257595604.683	25.572		

Dari hasil perhitungan didapatkan :

- Berat total baja = 25.572 ton
 - LCG Hull = 8.134653 m
 - KG Hull = 0.770 m

LAMPIRAN 5 : Perhitungan Berat dan Titik Berat Backhoe Dredger

Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal

1. Berat Baja Kapal (Hull)

a. Berat baja kapal	=	25.572 ton
b. KG baja	=	0.770 m
c. LCG baja	=	8.135 m

2. Berat Genset

a. Berat genset	=	8.998 ton
b. KG genset	=	0.802 m
c. LCG genset	=	10.846 m

3. Berat SPUD dan Sistemnya

a. Berat spud	=	44.531 ton
b. Berat winch spud	=	2.227 ton
c. Berat total sistem spud	=	46.757 ton
d. KG sistem spud	=	1.528 m
g LCG sistem spud	=	10.135 m

4. Excavator

a. Berat excavator	=	35.100 ton
b. KG excavator	=	2.538 m
c. LCG excavator	=	8.575 m

5. Conveyor Sistem Conveyor Belt

a. Berat conveyor belt + sistem	=	1.790 ton
b. KG conveyor belt + sistem	=	2.028 m
c. LCG conveyor belt + sistem	=	14.462 m

6. Bahan Bakar

a. Berat bahan bakar	=	0.696 ton
b. KG bahan bakar	=	0.147 m
c. LCG bahan bakar	=	11.298 m

7. Minyak Pelumas

a. Berat minyak pelumas	=	0.377 ton
b. KG minyak pelumas	=	0.147 m
c. LCG minyak pelumas	=	11.072 m

LCG Total	=	8.118 m ; dari AP
KG Total	=	1.621 m ; dari baseline kapal

Berat Total	=	119.291 ton
Displacement kapal	=	119.279 ton
Selisih displacement	=	0.01 %

*Perhitungan LCG dilakukan terhadap AP

LAMPIRAN 6 : Perhitungan Trim Backhoe Dredger

Perhitungan Trim :

L	=	16.27 m	
B	=	6.16 m	
T	=	0.89 m	
C _B	=	1	karena bentuk kapal tongkang kotak
∇	=	volume displacement	
	=	L x B x T x C _B	
	=	89.17488 m ³	
LCG	=	8.118 m	dari AP
	=	8.152	dari FP
LCB	=	8.134653 m	dari FP
KB	=	0.444554 m	
KG	=	1.621 m	
I _L	=	momen inersia memanjang kapal	
	=	$\frac{1}{12} \times B \times L^3$	
	=	2212.306 m ⁴	
BM _L	=	jarak antara titik bouyancy ke titik metacenter (memanjang kapal)	
	=	I_L / ∇	
	=	24.80862 m	
GM _L	=	jarak antara titik berat ke titik metacenter (memanjang kapal)	
	=	BM _L + KB - KG	
	=	23.632 m	
Trim	=	(LCG - LCB) x L / GM _L	
	=	0.012 m	Trim Buritan
Syarat trim maksimum	=	0.050 %	trim buritan
Prosentase trim	=	0.013 %	
Kondisi	=	Memenuhi Syarat	

LAMPIRAN 7 : Perhitungan Stabilitas Backhoe Dredger

Perhitungan Stabilitas

Wall Sided Formula (K. J. Rawson) - Basic Ship Theory

INPUT :

Symbol	Description	Value
B	Maximum Breadth	6.16 m
T	Draught	0.89 m
H	Height	1.53 m

KB =	T / 2 =	0.444554 m
BM =	B ² / 12T =	2.815864 m
KG =	H/2 =	0.763937 m
GM =	KB + BM - KG =	2.49648 m

OUTPUT :

Wall Sided Formula :

$$GZ = \sin \phi [GM + BM/2 \tan^2 \phi]$$

ϕ	$\tan \phi$	$\tan^2 \phi$	$BM/2 \tan^2 \phi$	$GM + BM/2 \tan^2 \phi$	$\sin \phi$	GZ [m]
0	0.0000	0.0000	0.0000	2.4965	0.0000	0.0000
5	0.0875	0.0077	0.0108	2.5073	0.0872	0.2185
10	0.1763	0.0311	0.0438	2.5403	0.1736	0.4411
15	0.2679	0.0718	0.1011	2.5976	0.2588	0.6723
20	0.3640	0.1325	0.1865	2.6830	0.3420	0.9176
25	0.4663	0.2174	0.3061	2.8026	0.4226	1.1844
30	0.5774	0.3333	0.4693	2.9658	0.5000	1.4829
35	0.7002	0.4903	0.6903	3.1868	0.5736	1.8279
40	0.8391	0.7041	0.9913	3.4878	0.6428	2.2419
45	1.0000	1.0000	1.4079	3.9044	0.7071	2.7608
50	1.1918	1.4203	1.9997	4.4961	0.7660	3.4442
55	1.4281	2.0396	2.8716	5.3681	0.8192	4.3973
60	1.7321	3.0000	4.2238	6.7203	0.8660	5.8199
65	2.1445	4.5989	6.4750	8.9714	0.9063	8.1309
70	2.7475	7.5486	10.6280	13.1244	0.9397	12.3329
75	3.7321	13.9282	19.6100	22.1064	0.9659	21.3532
80	5.6713	32.1634	45.2839	47.7804	0.9848	47.0545
85	11.4301	130.6461	183.9408	186.4373	0.9962	185.7278
90	1.63246E+16	2.66E+32	3.752E+32	3.75201E+32	1	3.75E+32

CEK PERSYARATAN STABILITAS (IMO) :

Faktor Lengan	1
GM pada sudut oleng 0°	2.50 m
h pada sudut oleng > 20°	0.918 m
h pada sudut oleng > 30°	1.483 m
h maksimum pada sudut	40 deg
lengan dinamis pada 30°	0.1043 m rad
lengan dinamis pada 40°	0.1615 m rad
periode oleng	0.57 detik

Luas antara 30° dan 40°	0.3090	Syarat IMO antara 30° sampai 40° >	0.055 m.rad	sehingga memenuhi syarat
Luas pd 30°	0.363652	Syarat IMO pada 30° >	0.055 m.rad	sehingga memenuhi syarat
Luas pd 40°	0.684683	Syarat IMO pada 40° >	0.090 m.rad	sehingga memenuhi syarat

LAMPIRAN 8 : Perhitungan Hidrostatik Backhoe Dredger

Perhitungan Hidrostatik Kapal

1. Perhitungan Bonjean Backhoe Dredger

LWL	=	16.27 m
Lebar Kapal	=	6.16 m
Sarat Kapal	=	0.89 m
Jumlah Station	=	10 buah
Jarak antar Station	=	1.63 m
Jarak antar Waterline	=	0.05 m

Satuan : m	STATION											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
WATERLINE	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.05	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308
	0.10	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616
	0.15	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925
	0.20	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233
	0.25	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541
	0.30	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849
	0.35	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158
	0.40	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466	2.466
	0.45	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774	2.774
	0.50	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082
	0.55	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391	3.391
	0.60	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699	3.699
	0.65	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007
	0.70	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315	4.315
	0.75	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624	4.624
	0.80	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932	4.932
	0.85	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240	5.240
	0.90	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548	5.548

2. Komponen-komponen Kurva Hidrostatik

	KOMPONEN HIDROSTATIK											
	WPA	WSA	MSA	CM	∇	Δ	Δ_{w}	Δ'	CB	CPM	CW	
WATERLINE	0.00	100.297	100.297	0.000	0.000	0.000	0.000	1.042	1.042	0.000	0.000	1.000
	0.05	100.297	102.541	0.308	1.000	5.015	5.140	1.066	6.206	1.000	1.000	1.000
	0.10	100.297	104.784	0.616	1.000	10.030	10.280	1.089	11.370	1.000	1.000	1.000
	0.15	100.297	107.027	0.925	1.000	15.045	15.421	1.112	16.533	1.000	1.000	1.000
	0.20	100.297	109.271	1.233	1.000	20.059	20.561	1.136	21.697	1.000	1.000	1.000
	0.25	100.297	111.514	1.541	1.000	25.074	25.701	1.159	26.860	1.000	1.000	1.000
	0.30	100.297	113.758	1.849	1.000	30.089	30.841	1.182	32.024	1.000	1.000	1.000
	0.35	100.297	116.001	2.158	1.000	35.104	35.982	1.206	37.187	1.000	1.000	1.000
	0.40	100.297	118.244	2.466	1.000	40.119	41.122	1.229	42.351	1.000	1.000	1.000
	0.45	100.297	120.488	2.774	1.000	45.134	46.262	1.252	47.514	1.000	1.000	1.000
	0.50	100.297	122.731	3.082	1.000	50.149	51.402	1.276	52.678	1.000	1.000	1.000
	0.55	100.297	124.975	3.391	1.000	55.163	56.542	1.299	57.841	1.000	1.000	1.000
	0.60	100.297	127.218	3.699	1.000	60.178	61.683	1.322	63.005	1.000	1.000	1.000
	0.65	100.297	129.461	4.007	1.000	65.193	66.823	1.346	68.169	1.000	1.000	1.000
	0.70	100.297	131.705	4.315	1.000	70.208	71.963	1.369	73.332	1.000	1.000	1.000
	0.75	100.297	133.948	4.624	1.000	75.223	77.103	1.392	78.496	1.000	1.000	1.000
	0.80	100.297	136.192	4.932	1.000	80.238	82.244	1.416	83.659	1.000	1.000	1.000
	0.85	100.297	138.435	5.240	1.000	85.253	87.384	1.439	88.823	1.000	1.000	1.000
	0.90	100.297	140.678	5.548	1.000	90.267	92.524	1.462	93.986	1.000	1.000	1.000

		KOMPONEN HIDROSTATIK									
		LCB	LCF	KB	TPC	T _{BR}	L _{BR}	T _{CR}	L _{CR}	MTC	DDT
WATERLINE	0.00	8.135	8.135	0.000	1.028	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.514
	0.05	8.135	8.135	0.025	1.028	63.341	430.391	63.366	430.416	1.360	0.514
	0.10	8.135	8.135	0.050	1.028	31.671	215.195	31.721	215.245	1.360	0.514
	0.15	8.135	8.135	0.075	1.028	21.114	143.464	21.189	143.539	1.360	0.514
	0.20	8.135	8.135	0.100	1.028	15.835	107.598	15.935	107.698	1.360	0.514
	0.25	8.135	8.135	0.125	1.028	12.668	86.078	12.793	86.203	1.360	0.514
	0.30	8.135	8.135	0.150	1.028	10.557	71.732	10.707	71.882	1.360	0.514
	0.35	8.135	8.135	0.175	1.028	9.049	61.484	9.224	61.659	1.360	0.514
	0.40	8.135	8.135	0.200	1.028	7.918	53.799	8.118	53.999	1.360	0.514
	0.45	8.135	8.135	0.225	1.028	7.038	47.821	7.263	48.046	1.360	0.514
	0.50	8.135	8.135	0.250	1.028	6.334	43.039	6.584	43.289	1.360	0.514
	0.55	8.135	8.135	0.275	1.028	5.758	39.126	6.033	39.401	1.360	0.514
	0.60	8.135	8.135	0.300	1.028	5.278	35.866	5.578	36.166	1.360	0.514
	0.65	8.135	8.135	0.325	1.028	4.872	33.107	5.197	33.432	1.360	0.514
	0.70	8.135	8.135	0.350	1.028	4.524	30.742	4.874	31.092	1.360	0.514
	0.75	8.135	8.135	0.375	1.028	4.223	28.693	4.598	29.068	1.360	0.514
	0.80	8.135	8.135	0.400	1.028	3.959	26.899	4.359	27.299	1.360	0.514
0.85	8.135	8.135	0.425	1.028	3.726	25.317	4.151	25.742	1.360	0.514	
0.90	8.135	8.135	0.450	1.028	3.519	23.911	3.969	24.361	1.360	0.514	

LAMPIRAN 9 : Perhitungan Daya Listrik Backhoe Dredger

Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Genset

Genset yang ada pada kapal digunakan untuk melayani kebutuhan listrik :

1. Winch (marine auxiliary machinery and system) untuk spud :	=	1.9 kW
2. Ekskavator untuk mengeruk	=	295.0 kW
3. Conveyor belt untuk mengangkat sampah di permukaan sungai	=	2.0 kW
Total daya yang dibutuhkan	=	298.9 kW

Jadi, daya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan listrik kapal adalah = 298.856 kW

Dari kebutuhan daya yang sudah dihitung, maka pemilihan genset adalah sebagai berikut :

Jumlah Genset yang dibutuhkan :	1 buah
Daya Genset yang dibutuhkan :	299 kW
Konsumsi BB Genset (total) :	85 L / h
Harga Genset :	429,833,385 IDR
Berat masing-masing genset :	9.00 ton
Berat total genset :	9.00 ton

1. Perhitungan Daya Listrik Winch Untuk SPUD

[Referensi : Hary Prasetyo, 2008]

Jumlah Spud = 4 buah
Berat Total Spud = 44.53 ton / buah

a. Gaya Tarik Winch Barel

$T_b = (P + Q) / (p \times K)$ [kN]
P = berat spud yang ditarik [ton]
= 44.531 ton
Q = berat cargo hook dan schackle
= $(2.2 \sim 2.8) \times P$
diambil 2.2, sehingga
Q = 97.96794 ton
p = efficiency + pulley
= 1
K = safety factor
= 0.85
T_b = 167.6457 kN

b. Diameter Winch Barel

$D_{bd} = D_b + d_r (2z - 1)$ [m]
D_b = diameter drum; maks 0.4 m
= 0.4 m
d_r = diameter tali
= D_b / 17
= 0.0235 m
z = jumlah lilitan pada drum yang direncanakan
= 4
D_{bd} = 0.565 m

c. Torsi yang ditimbulkan pada Shaft Barel

$M_{bd} = 0.5 \times D_{bd} \times (T_b / b)$ [ton.m]
b = efficiency winch barel ~ 0.8
= 0.8
M_{bd} = 59.16906 ton.m

d. Overall Gearing Ratio

$i_{wd} = N_m / N_{bd}$
N_m = putaran poros motor listrik yang direncanakan
= 1200 rpm
N_{bd} = kecepatan putar barel
= $19.1 \times (V_{td} / D_{bd})$ [m/s]
V_{td} = kecepatan mengangkat beban ang direncanak
= 0.4 m/s
N_{bd} = 13.52917 m/s
i_{wd} = 88.69726

e. Torsi untuk motor penggerak

$M_{md} = M_{bd} + (i_{wd} + wd)$ [ton.m]
wd = efficiency keseluruhan (0.65 ~ 0.75)
= 0.7
M_{md} = 148.5663 ton.m

f. Tenaga Winch Spud

$N_e = M_{md} \times (N_m / 71620)$ [HP]
N_e = 2.489243 HP
= 1856.228 W
= 1.856228 kW

2. Perhitungan Daya Excavator

[Referensi : Priestman Bros. Ltd. Hull, England]

Dimensi Bucket Excavator

$$l = (Q \times 1000) / (\eta \times z) \quad [\text{lt}]$$

l = bucket capacity

$$Q = \text{output / hour} \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

$$= 120.910 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\eta = 0.75 \quad ; \text{ for Mud (lumpur)}$$

z = number of bucket empty per hour

$$= 80 \quad ; \text{ for Mud}$$

$$l = 2015.162 \text{ lt}$$

$$= 2.015 \text{ m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa excavator yang dibutuhkan untuk kapal ini adalah excavator dengan kapasitas bucket minimal 2.015 m³ untuk melakukan aktivitas pengerukan.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, digunakan excavator yang diproduksi oleh Hitachi Construction Machinery Co.Ltd dengan spesifikasi teknis sbb.

- Tipe ZAXIS650 H

- Bucket capacity	=	2.8 m ³
- Berat excavator	=	35.1 ton
- Max digging reach	=	12.6 m
- Max digging depth	=	9.26 m
- Max dumping height	=	7.3 m
- Max digging force	=	306 kN for bucket
- Max digging force	=	250 kN for arm
- Rated engine	=	295 kW

LAMPIRAN 10 : Perhitungan Consumable

Perhitungan Consumable

1. Perhitungan Berat Bahan Bakar (Genset)

- Fuel Consumption = 85 L / hour
- = 0.085 m³ / h
- Waktu kerja harian = 8 jam
- Total konsumsi bahan bakar = 0.68 m³ / hari
- Berat jenis minyak diesel = 0.85 ton / m³
- Berat bahan bakar = 0.578 ton

2. Kebutuhan Minyak Pelumas

[Referensi : Herald Poehl]

$$P_{\ell_o} = (0.01 \sim 0.03) * P_{f_o}$$

P_{f_o} = berat bahan bakar

$$= 0.578 \text{ ton}$$

Konstanta diambil 0.2 sehingga

$$P_{\ell_o} = 0.1156 \text{ ton}$$

3. Perencanaan Tanki Bahan Bakar dan Minyak Pelumas

Titik Berat Bahan Bakar						
Dimensi tanki (m)			Vol. (m ³)	Berat _{t_o}	Titik Berat	
t _o	p _o	l _o			KG _{t_o}	LCG _{t_o}
0.29	0.90	3.08	0.82	0.70	0.15	11.30

Titik Berat Minyak Pelumas						
Dimensi tangki (m)			Vol. (m ³)	Berat _{t_o}	Titik Berat	
t _o	p _o	l _o			KG _{t_o}	LCG _{t_o}
0.29	0.45	3.08	0.41	0.38	0.15	11.07

* berat jenis minyak pelumas = 0.92 ton / m³

LAMPIRAN 11 : Perhitungan Ekonomis

Perhitungan Ekonomis

I. Biaya Pembangunan Kapal

Kurs . 1 USD = 9,500 IDR

1. Biaya Lambung Kapal

Berat lambung kapal = 25.5721255 ton
Harga baja kapal = 800 USD / ton = 7,600,000 IDR / ton
Biaya lambung kapal = 194,348,154 IDR

2. Biaya Permesinan Kapal

Harga Genset = 45,246 USD = 429,833,385 IDR

3. Biaya Hull Outfit

a. Harga spud dan sistemnya = 35,625 USD = 338,434,710 IDR
b. Harga ekskavator = 122,378 USD = 1,162,593,483 IDR
c. Harga conveyor belt = 2,864 USD = 27,208,742 IDR
Total biaya hull outfit = 1,528,236,934 IDR

4. Koreksi Biaya Pembangunan

- Keuntungan galangan sebesar 5% dari biaya pembangunan = 107,620,924 IDR
- Biaya untuk inflasi sebesar 2% = 43,048,369 IDR
- Dana dukungan pemerintah sebesar 9% = 193,717,663 IDR
Total biaya koreksi = 43,048,369 IDR

Total Biaya Pembangunan Kapal = 2,109,370,104 IDR

II. Biaya Operasional Kapal

1. Biaya Tetap :

a. Biaya Angsuran dan Bunga Bank

- Harga kapal = 2,109,370,104 IDR
- Pinjaman = 2,109,370,104 IDR
- Usia kapal = 20 tahun
- Bunga pinjaman = 16% per thn
- Masa pinjaman = 5 tahun
- Pembayaran per tahun = 1 kali / tahun
- Angsuran per Tahun = 644,221,419 IDR

b. Biaya Reparasi

Asumsi biaya reparasi kapal adalah 10% dari investasi biaya pembangunan kapal sehingga dapat dihitung = 210,937,010 IDR / tahun

c. Biaya Asuransi

Asumsi biaya asuransi adalah 1.5% dari biaya investasi pembangunan kapal sehingga dapat dihitung = 31,640,552 IDR / tahun

d. Biaya Bongkar Muat

Biaya sewa truck + tenaga bongkar muat = 967,277,778 IDR / tahun

2. Biaya variabel

a. Biaya Bahan Bakar

Perhitungan konsumsi bahan bakar merupakan fungsi dari konsumsi bahan bakar dari genset yang telah dipilih :

- Tingkat konsumsi BB genset = 85 L / jam
- Jam kerja genset = 8 jam
- Kebutuhan bahan bakar genset = 680 L / hari
- Jumlah jam kerja selama 1 proyek = 800 jam
- Kebutuhan BB genset selama 1 proyek = 68000 L
- Harga minyak diesel = 4,500 IDR / Liter
- Biaya bahan bakar genset 1 proyek = 306,000,000 IDR

b. Biaya Minyak Pelumas

- Kebutuhan minyak pelumas perhari	=	0.116 ton
	=	0.106 m ³
	=	106 L
- Kebutuhan minyak pelumas 1 proyek	=	10,635 L
- Harga minyak pelumas	=	30,000 IDR / Liter
- Biaya minyak pelumas untuk 1 proyek	=	3,190,560 IDR

c. Gaji Operator

- Jumlah operator yang direncanakan	=	3 orang
- Jumlah jam kerja efektif operasional kapal	=	800 jam
- Gaji operator per jam	=	8,000 IDR
- Gaji total operator dalam 1 pengerjaan	=	19,200,000 IDR

Total Biaya Operasional Kapal adalah = 2,182,467,319 IDR

Total Biaya Investasi Awal adalah = 4,291,837,422 IDR

LAMPIRAN 12 : Perhitungan Analisa Investasi

Perhitungan Rencana Operasional Kapal dan Perbandingan Investasi

1. Volume Pengerukan

[Referensi . PT (Persero) Pengerukan Indonesia]

- Panjang Sungai Kepetingan	=	5 km
- Lebar Sungai Kepetingan	=	5000 m
- Jumlah segmen yang direncanakan	=	23 m
- Pembagian segmen terhadap panjang sungai	=	100 segmen
- Luas daerah yang dikeruk per segmen	=	50 m / segmen
- Kedalaman pengerukan yang direncanakan	=	1150 m ²
- Sarat rata-rata daerah yang dikeruk	=	2 m
- Volume pengerukan per segmen	=	0 841 m
		967 278 m ³

2. Output per Hour (Q)

- Jumlah segmen per hari	=	1 segmen
- Jam kerja / hari	=	8 jam
- Output / hour	=	120 910 m ³ / hour

3. Perhitungan Biaya Bongkar Muat Material Hasil Kerukan

a. Jumlah Waktu Kerja

Asumsi : 1 bulan = 30 hari; 5 hari kerja per minggu

- Hari kerja efektif dalam 1 bulan	=	25 hari (asumsi 1 bulan = 30 hari)
- Jumlah segmen per bulan	=	25 segmen / bulan
- Waktu untuk menyelesaikan 100 segmen	=	4 bulan

b. Jumlah Kebutuhan Truck

- Volume material yang dikeruk per hari	=	967.3 m ³
- Kapasitas bak per truck	=	20 m ³
- Waktu bongkar muat dan pembuangan lumpur	=	2 jam / truck
	=	2 jam / 20 m ³
- Volume bongkar muat truck per hari	=	80 m ³ / Truck
- Jumlah truck yang dibutuhkan	=	12 buah / hari
- Biaya sewa truck per bulan	=	20.000.000 IDR / truck
- Total biaya sewa truck	=	241.819.444 IDR / bulan
- Total biaya sewa truck pertahun	=	967.277.778 IDR

4. Kalkulasi Perhitungan Biaya Jasa Pengerukan

Referensi : Kompas, Agustus 2005

"Pekerjaan pengerukan alur yang dilaksanakan oleh PT. (Persero) Pengerukan Indonesia menelan biaya sebesar Rp 47,5 milyar untuk mengeruk lumpur sebanyak 3 070.000 m³."

Mengacu pada referensi, maka biaya jasa pengerukan dapat dihitung sbb :

- Total biaya pengerukan	=	47.500.000.000 IDR
- Total volume pengerukan	=	3.070.000 m ³
- Biaya pengerukan per m ³	=	15.472 IDR / m ³

Asumsi untuk tugas akhir ini, biaya pengerukan adalah Rp 15 000 ~ Rp.20 000

Adapun harga pengerukan yang dipakai adalah = 20.000 IDR / m³

Sehingga :

- Biaya pengerukan per segmen	=	19.345.556 IDR
- Total seluruh biaya pengerukan	=	1.934.555.556 IDR

Jadi untuk mengeruk seluruh sungai Kepetingan setiap tahunnya dibutuhkan dana sebesar Rp.1.934.555.556,-

6. Perbandingan Investasi Antara Membuat Kapal Baru dengan Jasa Pengerukan

Biaya Pengerukan	Tahun Ke	Biaya Operasional	Status	Keterangan	Nominal Untung / Rugi	Prosentase Hemat
IDR 1.934.555.556	1	IDR 4.291.837.422	Rugi	Biaya investasi + biaya operasional	IDR (2.357.281.867)	-121.85%
IDR 1.934.555.556	2	IDR 2.182.467.319	Rugi	Biaya operasional	IDR (247.911.763)	-12.81%
IDR 1.934.555.556	3	IDR 2.182.467.319	Rugi		IDR (247.911.763)	-12.81%
IDR 1.934.555.556	4	IDR 2.182.467.319	Rugi		IDR (247.911.763)	-12.81%
IDR 1.934.555.556	5	IDR 2.182.467.319	Rugi		IDR (247.911.763)	-12.81%
IDR 1.934.555.556	6	IDR 1.538.245.900	Untung	Biaya operasional tanpa angsuran + bunga bank	IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	7	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	8	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	9	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	10	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	11	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	12	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	13	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	14	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	15	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	16	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	17	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	18	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	19	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%
IDR 1.934.555.556	20	IDR 1.538.245.900	Untung		IDR 396.309.656	20.49%

Besarnya penghematan yang dilakukan pemerintah IDR 2.595.715.918 selama 20 tahun masa operasional kapal

LAMPIRAN 13 : Regresi Dimensi dan Berat Spud

Regresi Berat SPUD

Conversi Panjang 1 feet = 0.3048 m

Regresi Dimensi dan Berat Spud

No	Tipe Kapal	Ukuran Utama (dalam feet)			Ukuran Utama (dalam meter)			Volume Barge (m ³)	Luas Permukaan Spud		Referensi :
		L	B	H	L	B	H		(ft ²)	(m ²)	
1	barge #24	24	12	3.5	7.315	3.658	1.067	28.543	10	0.929	colonnaship.com
2	barge #32	32	16	3.5	9.754	4.877	1.067	50.744	12	1.115	colonnaship.com
3	Barge 5	36	12	3	10.973	3.658	0.914	36.699	12	1.115	Commercial.apolloduct.com
4	barge #40	40	20	4	12.192	6.096	1.219	90.614	12	1.115	colonnaship.com
5	barge #50	50	25	4.5	15.240	7.620	1.372	159.282	11	1.022	colonnaship.com
6	Barge 1	120	50	7	36.576	15.240	2.134	1189.308	20	1.858	The Waterways Journal (10 Mei 2010)
7	Barge #122	122	50	8	37.186	15.240	2.438	1381.862	24	2.230	waterways equipment.com
8	Barge 3	150	54	8	45.720	16.459	2.438	1834.932	24	2.230	The Waterways Journal (10 Mei 2010)

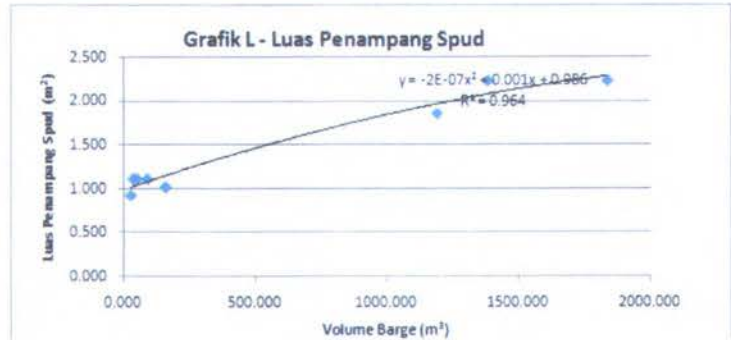
Perhitungan Luas Penampang SPUD menggunakan fungsi volume barge dengan persamaan polinomial :

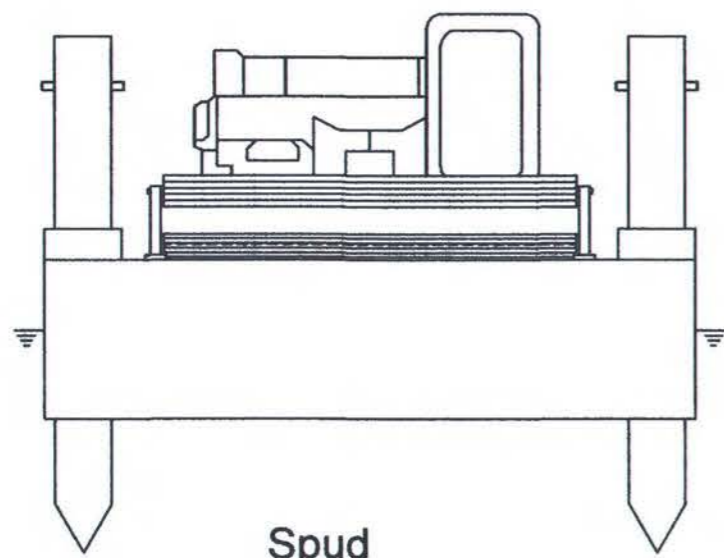
$$-2E-07 x^2 + 0.001 x + 0.986$$

Luas total penampang spud :

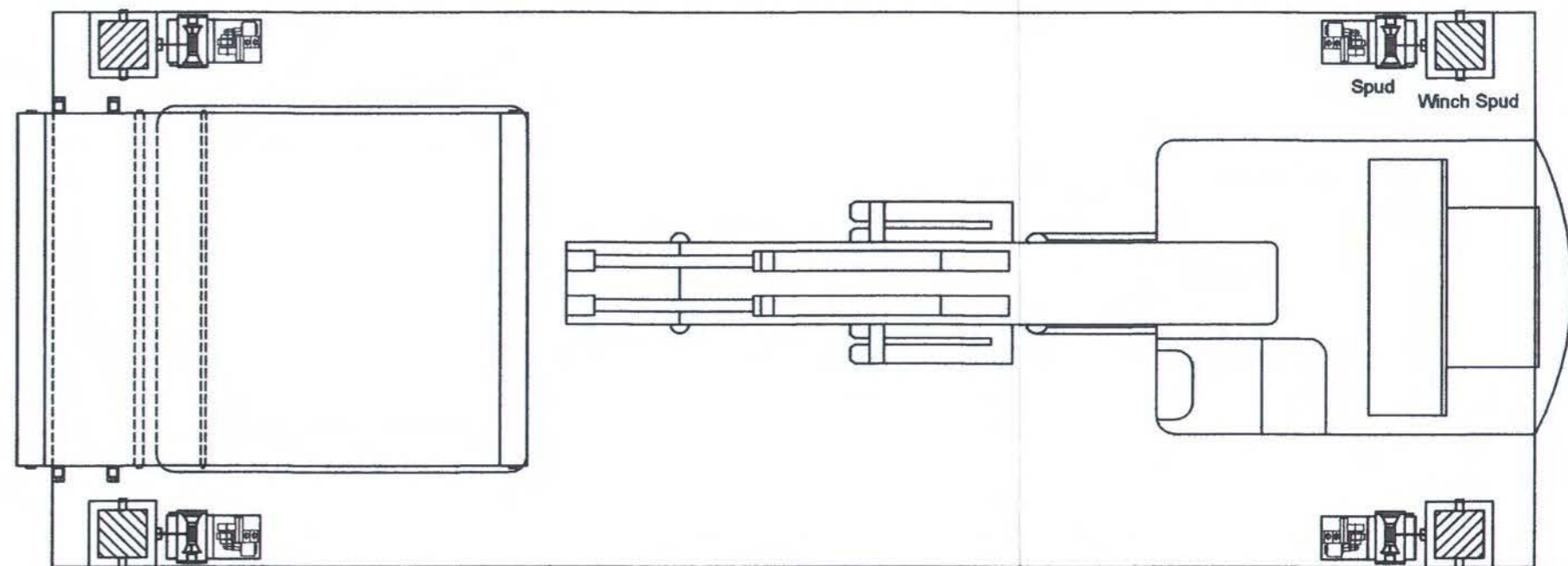
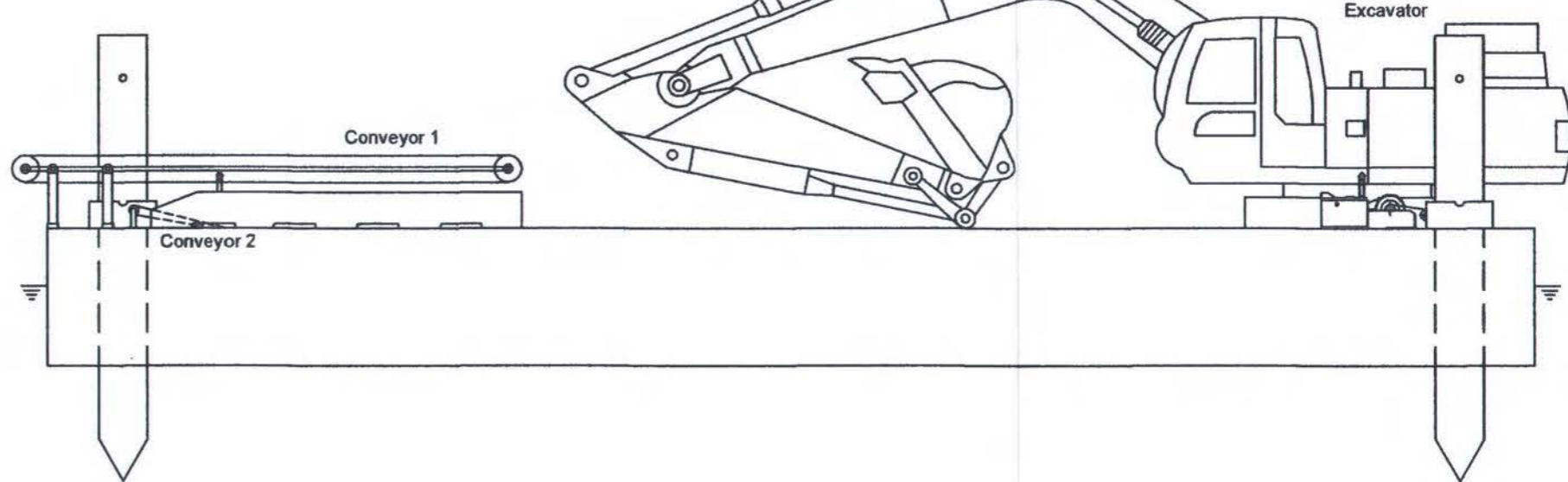
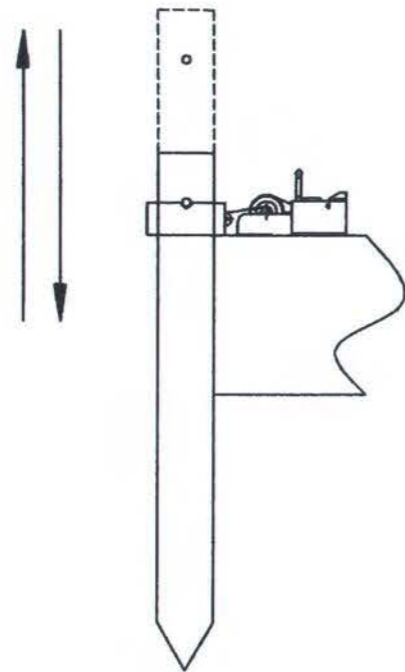
V (m ³)	A (m ²)
153.24	1.13

Panjang spud yg direncanakan = 5 m
 Volume total spud = 5.673 m³
 Berat total spud = 44.53 ton
 Jumlah spud yg direncanakan = 4 buah
 Berat masing-masing spud = 11.1327 ton
 Luas penampang masing2 spud = 0.28 m²

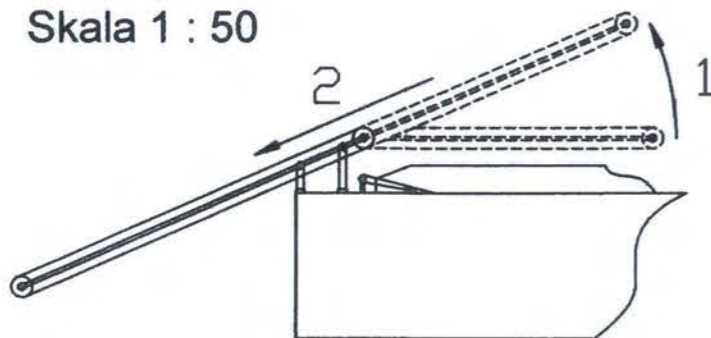




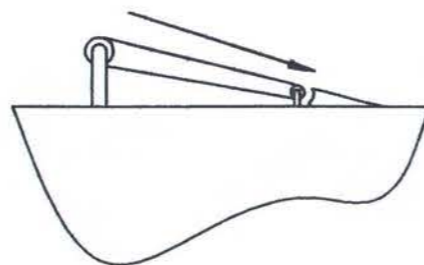
Spud
Skala 1 : 75



Conveyor 1
Skala 1 : 50



Conveyor 2
Skala 1 : 200



UKURAN UTAMA	
LWL	16,27 m
Breadth Moulded	6,16 m
Depth Moulded	1,53 m
Draught	0,89 m
Coefficient Block	1

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN			
BACKHOE DREDGER BARGE - SID Cleaner			
GENERAL ARRANGEMENT			
Scale	: 1 : 75	Signature	Date
Drawn by	: M. Arief Maulana W		
Checked by	: Ir. Wasid D. Aryawan, M.Sc, Ph.D		
Approved by	: Ir. Wasid D. Aryawan, M.Sc, Ph.D		
			NRP : 4105 100 008