



TUGAS AKHIR - MN 141581

**STUDI DESAIN *INTEGRATED TUG-BARGE* (ITB)
PENGANGKUT CPO (*Crude Palm Oil*) YANG SESUAI
UNTUK PERAIRAN SUNGAI SIAK, RIAU**

Wahyu Hidayat
N.R.P. 4111 100 104

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

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - MN 141581

**DESIGN STUDY OF INTEGRATED TUG BARGE (ITB)
CPO (*Crude Palm Oil*) CARRIER SUITABLE FOR
SIAK RIVER, RIAU**

Wahyu Hidayat

N.R.P. 4111 100 104

Supervisor

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

Departemen of Naval Architecture & Shipbuilding Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI DESAIN *INTEGRATED TUG-BARGE* (ITB) PENGANGKUT CPO (*Crude Palm Oil*) YANG SESUAI UNTUK PERAIRAN SUNGAI SIAK, RIAU

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Desain Kapal
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

WAHYU HIDAYAT
NRP. 4111 100 104

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing,



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

NIP. 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JANUARI 2015

LEMBAR REVISI

**STUDI DESAIN *INTEGRATED TUG-BARGE* (ITB)
PENGANGKUT CPO (*Crude Palm Oil*) YANG SESUAI UNTUK
PERAIRAN SUNGAI SIAK, RIAU**

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir

Tanggal 07 Januari 2015

Bidang Studi Desain Kapal
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Wahyu Hidayat

N.R.P. 4111 100 104

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

Ir. I Gusti Made Santosa

M. Nurul Misbah, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

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



SURABAYA, JANUARI 2015

**STUDI DESAIN *INTEGRATED TUG-BARGE* (ITB)
PENGANGKUT CPO (*Crude Palm Oil*) YANG SESUAI UNTUK
PERAIRAN SUNG AI SIAK, RIAU**

Nama : Wahyu Hidayat
NRP : 4111 100 104
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi penghasil CPO (*Crude Palm Oil*) terbesar di Indonesia. Melalui Pelabuhan Dumai perputaran 5.803.920 ton CPO tiap tahunnya terjadi dengan nilai transaksi hingga Rp. 5 Trilliun yang membuat CPO menjadi menyumbang devisa terbesar kedua setelah komoditas migas. Jalur distribusi CPO terbesar terjadi pada salah satu sungai di Riau yaitu Sungai Siak dimana menghubungkan antara kebun-kebun atau pabrik pengolahan kepala sawit dengan Pelabuhan Dumai. Dengan panjang sungai sekitar 300 km dan memiliki karakteristik berkelok-kelok serta mengalami pendangkalan tiap tahunnya, maka dibutuhkan suatu inovasi alat transportasi pengangkutan CPO dari yang selama ini hanya menggunakan tongkang yang ditarik oleh kapal tunda. *Integrated Tug Barge* (ITB) diharapkan menjadi inovasi solusi yang cukup baik dalam hal sarana transportasi CPO di Sungai Siak menuju Pelabuhan Dumai. Dengan mencari rata-rata *payload* dari suatu armada yang melayani distribusi CPO melalui Sungai Siak yang selanjutnya akan dijadikan nilai owner requirement. Lalu dengan menggunakan metode *optimization design approach*, *Integrated Tug Barge* dihitung dan dirancangan dengan beberapa batasan untuk mencari nilai pembangunan kapal yang paling minimum menggunakan fitur *solver* pada program *Microsoft Excel*. Dari proses optimasi didapatkan ukuran utama *barge* adalah $L = 62.24$ m, $B = 18$ m, $H = 6.1$ m, $T = 4.74$ m. Sedangkan *pusher tug* sebagai pendorong adalah $L = 22.3$ m, $B = 6$ m, $H = 3.18$ m, $T = 2.31$ m dengan mesin 2x715 HP *Cartepillar Type C12*. Sedangkan panjang *Integrated Tug Barge* hasil penggabungan kedua desain adalah $L = 81.9466$ m
Kata kunci: CPO; Sungai Siak, *Optimization Design Approach*, *Integrated Tug Barge*.

***DESIGN STUDY OF INTEGRATED TUG-BARGE (ITB)
CPO (Crude Palm Oil) CARRIER SUITABLE FOR
SIAK RIVER, RIAU***

Name : Wahyu Hidayat
NRP : 4111 100 104
Departement : *Naval Architecture and Ship Building*
Supervisor : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Riau Province is one of the largest province in which produces CPO in Indonesia. Through Dumai Port there are 5.80392 million tons pass of CPO per year occur with transaction value up to Rp . 5 Trillion which makes CPO became the second largest foreign exchange earner after oil and gas commodities . Siak River is the main line in Riau Province to distribute CPO from the gardens or the oil palm processing plants to Dumai Port. The length of river which about 300 km, winding characteristics, and the river getting swallow every year, it takes another innovative model of CPO transportation during which only uses barges towed by tugs . Integrated Tug Barge (ITB) is a good innovation to improve CPO transportation in the Siak River to the Port of Dumai . The average payload of a fleet company that serves the CPO distribution through the Siak River is became the value of owner requirements or payload requirements. By using the method of Optimization design approach, Integrated Tug Barge calculated and designed with some limits to find the value of the minimum cost construction to build the ship using the features in Microsoft Excel. Obtained from the optimization process, barge main size is $L = 62.24$ m , $B = 18$ m , $H = 6.1$ m , $T = 4.74$ m . While the pusher tug as a pusher is $L = 22.3$ m , $B = 6$ m , $H = 3.18$ m , $T = 2.31$ m with 2x715 HP *Cartepillar Type C12* Engine . While the length of all the Integrated Tug Barge result of merging the two designs is $L = 81.9466$ m.

Keywords: CPO; Siak River, *Optimation Design Approach, Integrated Tug Barge.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI DESAIN INTEGRATED TUG-BARGE (ITB) PENGANGKUT CPO (Crude Palm Oil) YANG SESUAI UNTUK PERAIRAN SUNGAI SIAK. RIAU”** dengan baik. Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh ilmu pengetahuan.

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, ilmu, untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak M. Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di jurusan teknik perkapalan.
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Ibu, bapak, adik, dan abang yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya.
5. Keluarga P-51 (CENTERLINE) yang selalu menemani dan mendukung.
6. Pradesta Wienpy dan Kemal Rasyad atas seluruh fasilitas yang sudah diberikan selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Hakara Warid, Riznanda Raiz, Prasetyo Wibowo, dan M. Aulia atas kerja samanya selama mengerjakan tugas-tugas merancang.
8. Clara Yunita, Vinesia Annisa, Andi Muhammad Alif, M. Rino, M. Ardan, Nabiel Mufti, dan Nandika B.P atas dukungannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta kelak ada usaha untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Penyusun
14 Januari 2015

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	1
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1.PENDAHULUAN	1
1.1 Gambaran Umum.....	1
1.2 Latar Belakang.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan	4
1.6 Manfaat	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 <i>Crude Palm Oil</i>	8
2.2.1 <i>Crude Palm Oil</i>	8
2.2.2 Pemanfaatan <i>Crude Palm Oil</i>	9
2.2.3 Pendistribusian <i>Crude Palm Oil</i>	9
2.3 Sungai Siak, Provinsi Riau	10
2.4 Kapal Tunda (<i>Tug Boat</i>)	11
2.4.1 Kapal Tunda untuk Perairan Samudera	11
2.4.2 Kapal Tunda untuk Pelabuhan dan Dok	11
2.4.3 Kapal Tunda untuk Sungai	11
2.4.4 Kapal Tunda untuk Perairan Pantai	12
2.4.5 Kapal Tunda Pendukung <i>Offshore</i>	12

2.4.6	Kombinasi Sistem Kapal Tunda-Tongkang	12
2.5	<i>Integrated Tug Barge</i>	12
2.6	Sistem Sambungan pada <i>Integrated Tug Barge</i>	13
2.6.1	<i>Rope Connection</i>	14
2.6.2	<i>Mechanical Connection</i>	14
2.7	Teori Desain	16
2.8	Tujuan Desain.....	16
2.9	Tahapan Desain	16
2.9.1	<i>Concept design</i>	17
2.9.2	<i>Preliminary Design</i>	17
2.9.3	<i>Contract Design</i>	18
2.9.4	<i>Detail Design</i>	18
2.10	Metode Perancangan Kapal.....	19
2.10.1	<i>Parent Design Approach</i>	19
2.10.2	<i>Trend Curve Approach</i>	19
2.10.3	<i>Iteratif Design Approach</i>	19
2.10.4	<i>Parametric Design Approach</i>	20
2.10.5	<i>Optimization Design Approach</i>	20
2.11	Tinjauan Teknis Perancangan Kapal	20
2.11.1	Penentuan Ukuran Utama Dasar	20
2.11.2	Perhitungan Berat Baja Kapal	21
2.11.3	Perhitungan Hambatan Kapal.....	21
2.11.4	Perhitungan daya mesin	23
2.11.5	Perhitungan Trim dan Stabilitas	23
2.11.6	Perhitungan <i>Freeboard</i>	25
BAB 3.METODOLOGI PENELITIAN DAN PENGUMPULAN DATA		27
3.1	Pendahuluan	27
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.3	Langkah Pengerjaan	29
3.3.1	Pengumpulan Data	29
3.3.2	Analisa Data dan Penentuan Parameter Desain	30
3.3.3	Perhitungan Optimasi Ukuran Utama	30
3.3.4	Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Barge</i>	31

3.3.5	Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Tugboat</i>	32
3.3.6	Pembuatan Rencana Umum <i>Integrated Tug-Barge</i>	32
3.3.7	Kesimpulan dan Saran	32
BAB 4.PERANCANGAN BARGE.....		33
4.1	Pendahuluan.....	33
4.2	Penentuan Jumlah Muatan <i>Barge</i>	34
4.3	Penentuan Ukuran Utama Tongkang (<i>Barge</i>)	35
4.3.1	Penentuan Variabel.....	35
4.3.2	Penentuan Parameter	35
4.3.3	Penentuan Batasan	36
4.3.4	Penentuan fungsi objektif	37
4.4	Penerapan Model Optimasi <i>Barge</i> Menggunakan <i>Software Excel</i>	37
4.4.1	Pembuatan batasan.....	37
4.4.2	Running Model Iterasi <i>Solver Barge</i>	39
4.4.3	Perhitungan <i>Freeboard Barge</i>	40
4.4.4	Perhitungan Hambatan <i>Barge</i>	42
4.4.5	Perhitungan Berat Baja <i>Barge</i>	46
4.4.6	Perhitungan Peralatan dan Perlengkapan <i>Barge</i>	48
4.4.7	Perhitungan Titik Berat <i>Barge</i>	49
4.4.8	Perhitungan Trim <i>Barge</i>	50
4.4.9	Perhitungan Stabilitas <i>Barge</i>	51
4.4.10	Perhitungan Biaya Pembangunan <i>Barge</i>	52
4.5	Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Barge</i>	53
4.5.1	Rencana Garis <i>Barge</i>	53
BAB 5.PERANCANGAN PUSHER TUG		61
5.1	Pendahuluan.....	61
5.2	Pembuatan Model Optimasi <i>Pusher Tug</i>	62
5.2.1	Perhitungan Hambatan <i>Pusher Tug</i>	63
5.2.2	Perhitungan Daya Mesin <i>Pusher Tug</i>	67
5.2.3	Perhitungan <i>Displacement Pusher Tug</i>	68
5.2.4	Perhitungan Biaya Pembangunan <i>Pusher Tug</i>	71
5.3	Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Pusher Tug</i>	72
5.3.1	Rencana Garis <i>Pusher Tug</i>	72

5.3.2 Rencana Umum <i>Pusher Tug</i>	74
BAB 6.PERANCANGAN INTEGRATED TUG BARGE	79
6.1 Pendahuluan	79
6.2 Pemilihan Pengikatan <i>Integrated Tug Barge</i>	80
6.3 <i>Operation Visibility Integrated Tug Barge</i>	81
6.4 Total Biaya Pembangunan <i>Integrated Tug Barge</i>	81
BAB 7.KESIMPULAN DAN SARAN	83
7.1 Pendahuluan	83
7.2 Kesimpulan.....	84
7.3 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kadar Asam Lemak Dalam Minyak Sawit.....	8
Tabel 2. 2 Harga $1+k_1$	22
Tabel 4. 1 Data Kapal Pembanding dan Payload.....	34
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Berat Baja	47
Tabel 4. 3 Pemilihan E&O Berdasarkan EN (ABS, 2014).....	48
Tabel 4. 4 Daftar Peralatan dan Beratnya untuk Barge	49
Tabel 4. 5 Titik Berat Total (gabungan)	49
Tabel 4. 6 <i>Revision MARPOL 73/78 Annex II</i> (01 Januari 2007).....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jalur Pendistribusian CPO Sungai Siak-Dumai	3
Gambar 2. 1 Tandan Kelapa Sawit (kiri) dan <i>Crude Palm Oil</i> (kanan).....	8
Gambar 2. 2 Truck Tandan Sawit (kiri) dan Pabrik Pengolahan (kanan).....	9
Gambar 2. 3 <i>Loading</i> CPO ke truk (kiri) dan Tanki Timbun CPO	9
Gambar 2. 4 <i>Towing Rope Tug-barge</i>	10
Gambar 2. 5 Sungai Siak	10
Gambar 2. 6 <i>Integrated Tug Barge</i>	12
Gambar 2. 7 <i>Integrated Tug Barge</i> dengan <i>Rope Connection</i>	14
Gambar 2. 8 Diagram Desain Spiral	17
Gambar 3. 1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	29
Gambar 3. 2 Proses Optimasi Ukuran Utama	31
Gambar 4. 1 Tabel Proses Iterasi <i>Barge</i>	39
Gambar 4. 2 Tampilan <i>Solver</i>	39
Gambar 4. 3 Tampilan bahwa proses <i>running solver</i> berhasil.....	40
Gambar 4.4 Bagian Pelat Alas, dan Bilga.....	53
Gambar 4. 6 Tabs Size Surface	54
Gambar 4. 5 Model dan Rencana Garis <i>Barge</i> Tampilan <i>Maxsurf</i>	54
Gambar 4. 7 Pengaturan Jumlah Section, Buttock dan Waterlaine	55
Gambar 4. 8 Pengaturan Sarat dari Model dalam <i>Maxsurf</i>	55
Gambar 4. 9 Nilai Hidrostatik <i>Barge</i> pada <i>Maxsurf</i>	56
Gambar 4. 10 Desain Rencana Garis <i>Barge</i>	57
Gambar 4. 11 Rencana Umum <i>Barge</i>	59
Gambar 5. 1 Hasil Optimasi Ukuran Utama <i>Pusher Tug</i>	62
Gambar 5. 2 Proses <i>Input Image Background Maxsurf</i>	72
Gambar 5. 3 Data Hidrostatik <i>Pusher Tug</i>	73
Gambar 5. 4 Rencana Garis <i>Pusher Tug</i>	74
Gambar 5. 5 Rencana Umum <i>Pusher Tug</i>	77
Gambar 6. 1 Rencana Umum <i>Integrated Tug Barge</i>	80
Gambar 6. 2 Jarak Pandang Saat Kapal Keadaan Muatan Penuh.....	81
Gambar 6. 3 Jarak Pandang Saat Kapal Keadaan Muatan Kosong	81

LAMPIRAN

1. Perhitungan *Barge*
2. Perhitungan *Pusher Boat (Tug)*
3. Rencana Garis dan Rencana Umum



“More focus for a good future”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Gambaran Umum

Pada bab 1 ini berisikan tentang latar belakang adanya suatu permasalahan yang dijadikan sebagai topik utama dalam pembuatan Tugas Akhir dimana bab ini juga berisikan rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, manfaat, serta sistematika dalam penulisan Tugas Akhir. Pembahasan permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini terdapat pada sub bab rumusan masalah. Dari permasalahan tersebut diperlukannya ruang lingkup atau batasan masalah agar tidak menyimpang jauh dari pembahasan yang sudah ditentukan, yang diatur dalam sub bab batasan masalah. Kemudian untuk sub bab maksud dan tujuan, serta manfaat membahas untuk apa Tugas Akhir ini dibuat dan manfaat apa saja yang diperoleh dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Serta dalam sub bab sistematika penulisan berisi bagaimana format penulisan Tugas Akhir ini.

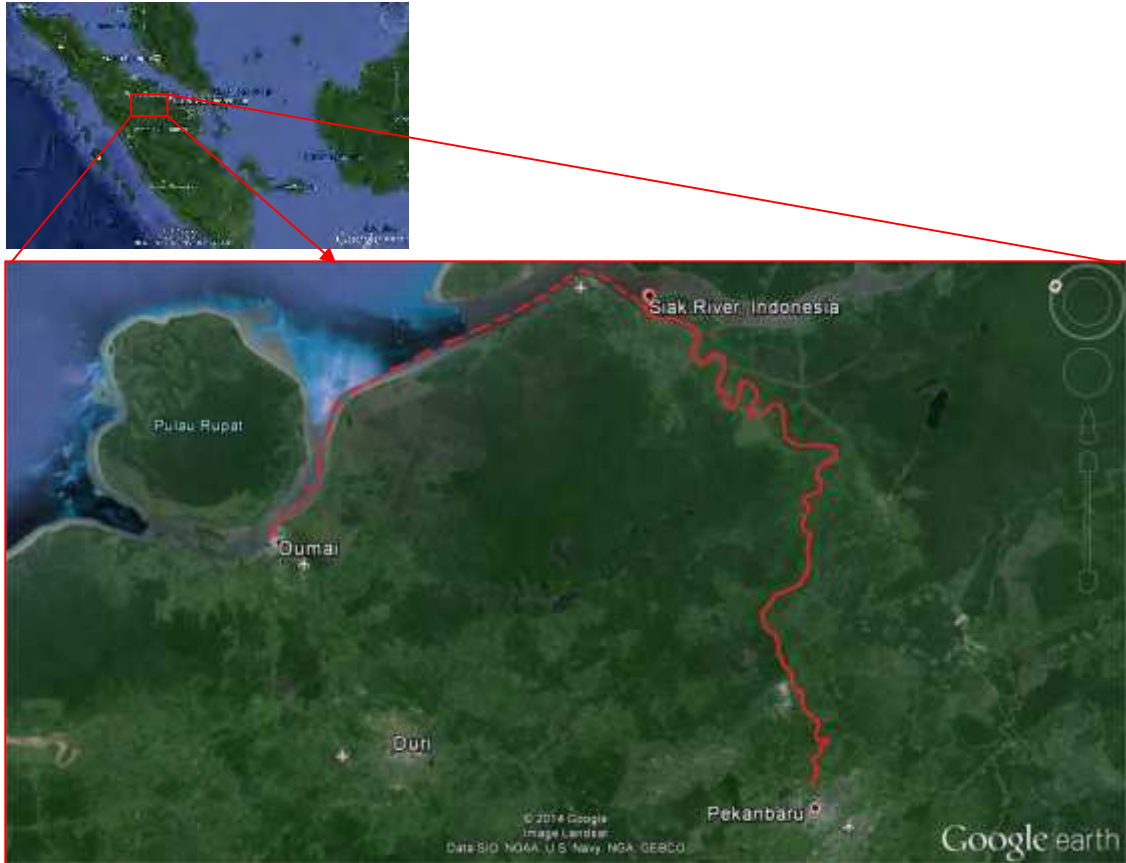
1.2 Latar Belakang

Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi penghasil CPO (Crude Palm Oil) terbesar di Indonesia. Sekitar 2.372.402 hektar lahan kelapa sawit membentang di tanah Provinsi Riau guna memenuhi permintaan CPO dari dalam maupun luar negeri (riau.bps.go.id, 2012). Komoditas *crude plam oil* memiliki prospek yang sangat menjanjikan. Tingginya siklus produksi CPO di provinsi Riau ini di tandai dengan hasil kajian Bank Indonesia mengenai perputaran uang dari komoditas ini sebesar Rp. 5 Triliun sebulan (id.beritasatu.com, 2014).

Aspek yang cukup mendukung dalam pengembangan CPO di Provinsi Riau ini adalah distribusi CPO tersebut dari daerah pengolahan dan tangki penyimpanan dimana tandan diolah menjadi CPO ke tujuan seperti pelabuhan terminal CPO. Dimana pelabuhan terminal CPO tempat terjadinya transaksi terletak di tepian jauh dari pusat perkebunan atau tempat pengolahan tandan sawit. Salah satunya adalah Pelabuhan Dumai. Hingga saat ini Crude Palm Oil (CPO) masih menjadi komoditi primadona di dermaga umum Pelabuhan Cabang Dumai. Dari 10 besar komoditi andalan di dermaga umum Cabang Dumai, CPO menguasai hingga 78 persen dengan jumlah total 5.803.920 ton. (pekanabru.tribunnews.com, 2014). Komoditas ini merupakan komoditas kedua terbesar penyumbang devisa Negara setelah komoditas minyak bumi dan gas alam.

Sesuai bentuk geografis daerah Riau, maka distribusi yang paling efektif dan memungkinkan dengan menggunakan jalur sungai. Sungai yang menjadi jalur pelayaran utama CPO di daerah Riau adalah Sungai Siak yang tidak lain sungai terbesar di provinsi tersebut. Walaupun Sungai Siak memiliki kedalaman yang cukup untuk sejenis kapal pengangkut seperti tanker akan tetapi dari tahun-ketahun kedalaman Sungai Siak mengalami pendangkalan. Maka perhatian mulai teralih ke penggunaan tongkang dan *tugboat* sebagai sarana distribusi.

Saat ini, tonkang yang banyak beroperasi di perairan dangkal masing menggunakan tongkang konvensional, yaitu dengan sistem *Convensional Towing-rope Tug Boat*. Pemakaian sistem tersebut sebenarnya memiliki beberapa kendala dalam pengopersiannya akibat dari kondisi perairan yang memiliki tikungan tajam dan berarus cukup kuat. Maka daripada itu, untuk mengatasi masalah tersebut, dapat digunakan jenis *Integrated Tug Barge* yang dimana mengkombinasikan antara *Barge* dan *Push-Tug Boat*



Gambar 1. 1 Jalur Pendistribusian CPO Sungai Siak-Dumai

(<https://www.google.co.id/maps/place/Sungai+Siak>)

Berdasarkan permasalahan yang ada maka penulis tergerak untuk melakukan studi desain tentang *Integrated Tug Barge* yang secara khusus dapat digunakan di daerah perairan Sungai Siak, Provinsi Riau untuk mendistribusikan hasil *Crude Palm Oil*.

1.3 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana desain *Integrated Tug Barge* yang sesuai dengan karakteristik perairan Sungai Siak, Provinsi Riau yang dapat menjadi pilihan sarana distribusi *Crude Palm Oil* (CPO) pada daerah tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

- Perairan yang digunakan untuk studi kasus adalah perairan Sungai Siak, Riau.
- Pembuatan desain dibatasi oleh penggunaan *software Maxsurf*.
- Proses desain yang dibahas hanya sebatas *concept design*.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Mendapatkan dan mengolah data-data kondisi lapangan Sungai Siak
- Mendapatkan *payload* yang sesuai dengan kondisi lapangan.
- Mendapatkan dan mengolah data-data kapal pembanding.
- Mendapatkan ukuran utama *barge* dan tugboat (L, B, H, T).
- Mendapatkan desain *linesplan* (Rencana Garis) dari *integrated tug barge* pengangkut CPO.
- Mendapatkan desain *general arrangement* (Rencana Umum) *integrated tug barge* pengangkut CPO.
- Mengetahui biaya pembangunan *integrated tug barge* pengangkut CPO untuk perairan Sungai Siak, Riau.

1.6 Manfaat

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

- a. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.
- b. Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan dan desain *Integrated Tug Barge* yang sesuai, sebagai bahan pertimbangan dalam pembuatan kapal untuk sarana pendistribusian CPO di perairan Sungai Siak maupun di daerah lainnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah serta batasan masalahnya, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini, manfaat yang diperoleh, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian Tugas Akhir. Dasar-dasar teori, informasi daerah pelayaran serta persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir tercantum dalam bab ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan metodologi dalam menyelesaikan permasalahan secara berurutan dimulai dari tahap pengumpulan data dan studi literature, hingga pengolahan data untuk analisis lebih lanjut yang nantinya akan menghasilkan sebuah kesimpulan guna menjawab perumusan masalah yang sudah ditentukan.

BAB IV. PERANCANGAN *BARGE*

Bab ini merupakan inti dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses optimasi desain yang dilakukan guna mendapatkan ukuran utama *barge* yang sesuai serta memenuhi persyaratan. Kemudian dilanjutkan dengan tahap perencanaan desain rencana garis dan rencana umum *barge* sesuai dengan ukuran utama tersebut dan peraturan-peraturan yang berlaku.

BAB V. PERANCANGAN *PUSHER TUG*

Setelah ukuran utama *barge* hasil optimasi ditemukan, selanjutnya adalah melakukan pencarian ukuran utama *pusher tug*. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses optimasi desain yang dilakukan guna mendapatkan ukuran utama *pusher tug* yang sesuai serta memenuhi persyaratan. Kemudian dilanjutkan dengan tahap perencanaan desain rencana garis dan rencana umum *pusher tug* sesuai dengan ukuran utama tersebut dan peraturan-peraturan yang berlaku.

BAB VI. PERANCANGAN *INTEGRATED TUG-BARGE*

Pada bab ini merupakan bagian dari proses penggabungan desain *barge* dengan desain *pusher tug* untuk menjadi *integrated tug-barge*. Pada bab ini akan menghasilkan rencana umum *integrated tug barge* yang sesuai dengan hasil desain *barge* dan *pusher tug* sebelumnya dan sudah diberikan jenis pengikatan antar keduanya.

BAB VII. PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapatkan dari proses penelitian yang dilakukan serta memberikan saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya

(Halaman ini sengaja dikosongkan penulis)



“Don’t wait for a right moment, but make that right moment”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan secara detail dasar teori termasuk pengetahuan mengenai jenis muatan , kondisi perairan Sungai Siak, jenis kapal yang digunakan, serta rumus pendekatan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dan. Dalam bab ini juga terdapat konsep-konsep serta peraturan-peraturan yang digunakan guna mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

2.2 Crude Palm Oil

2.2.1 Crude Palm Oil

Crude Palm Oil atau minyak kelapa sawit adalah bentuk pengolahan dari buah kelapa sawit atau tandan (*Elaeis guineensis*). Minyak kelapa sawit ialah tumbuhan yang hidup dalam iklim tropis yang lembap dengan massa jenis yang bermacam-macam. Kelapa sawit dapat ditemukan di bagian Afrika Timur dan Afrika Tengah, dan Madagascar serta Asia Tenggara.



Gambar 2. 1 Tandan Kelapa Sawit (kiri) dan *Crude Palm Oil* (kanan)

(http://www.globalinterinti.com/images/gallery/1_20110121_11281440.jpg)

Standar mutu dari *crude palm oil* yang baik diperhatikan dari komposisi kimia dari akhir proses pengolahan. Komposisi kimia dari crude plam oil berupa 50%-80% lemak asam (fatty acid), 1%-8.5% air, sisa merupakan kontaminasi lainnya. Pengujian standar mutu menggunakan standar International dimana kadar ragam minyak/lemak minimum 48%, kadar air maksimum 8.5%, dan kontaminasi maksimum 4%. (DEPPERIN, 2007)

Tabel 2. 1 Kadar Asam Lemak Dalam Minyak Sawit
(Departemen Perindustrian RI, 2007)

Tipe Asam Lemak		Presentase
Palmitic C16		44.3%
Stearic C18		4.6%
Myristic C14		1.0%
Oleic C18		38.7%
Linoleic C18		10.5%
Lainnya		0.9%

Hijau: Lemak Jenuh; **Biru:** Satu Lemak Tidak Jenuh; **Jingga:** Banyak Lemak Tidak Jenuh

2.2.2 Pemanfaatan *Crude Palm Oil*

Secara garis besar pemanfaatan *crude palm oil* antara lain :

1. Bahan utama dalam industri sabun dan kosmetik.
2. Bahan utama dalam industri minyak goreng, margarine, dan turunannya.
3. Bahan utama dalam industri bahan kimia seperti *fatty acid*, *alcohol*, dan *glycerin*.
4. Dalam industri baja digunakan sebagai bahan pelumas.
5. Bahan bakar alternatif pengganti solar untuk *boodiesel* atau pembangkit listrik tenaga diesel.

2.2.3 Pendistribusian *Crude Palm Oil*

Pendistribusian *crude palm oil* dari kebun ke pelabuhan penampungan atau tujuan melalui beberapa proses atau langkah. Langkah-langkah proses pendistribusian *crude palm oil* sebagai berikut (PT. Sumber Surya Kencana INHU, 2010) :

1. Buah tandan dari pohon kelapa sawit dibawa dengan menggunakan truck menuju pabrik pengolahan tandan sawit menjadi minyak kelapa sawit atau *crude palm oil*.



Gambar 2. 2 Truck Tandan Sawit (kiri) dan Pabrik Pengolahan (kanan)

(http://www.antarasumbar.com/id/foto/berita/251114112836_truk_pabrik_sawit.jpg)

2. Kemudian *crude palm oil* yang merupakan hasil akhir pengolahan pabrik tersebut dibawa oleh truk tanki ke pelabuhan atau tanki timbun untuk proses selanjutnya.



Gambar 2. 3 Loading CPO ke truk (kiri) dan Tanki Timbun CPO

(<http://skgroup.co.id/images/operation/onshore.jpg>)

3. Kemudian crude palm oil dari penyimpanan tersebut dipompa menuju kapal-kapal pengangkut CPO. Kapal-kapal yang biasa digunakan untuk pengangkutan *crude palm oil* didaerah Sungai Siak adalah tongkang yang ditarik oleh kapal tunda (*Towing Rope Tug-Barge*)



Gambar 2. 4 *Towing Rope Tug-barge*

(http://www.maritimejournal.com/_data/assets/image/0008/813824/varieties/carousel.jpg)

2.3 Sungai Siak, Provinsi Riau

Sungai Siak berada di Propinsi Riau yang merupakan sungai terdalam di Indonesia dengan kedalaman sekitar 20 meter. Walau sekarang sudah terjadi pendangkalan di beberapa bagian sungai sehingga rata-rata kedalaman sekarang adalah 10 meteran. Sungai ini memiliki panjang sekitar 300 km yang mengalir di 4 kabupaten dan 1 kota di Propinsi Riau yaitu bermula dari Kabupaten Rokan Hulu, Kabupaten Kampar, Kota Pekanbaru, Kabupaten Siak, dan Kabupaten Bengkalis.



Gambar 2. 5 Sungai Siak

(<https://www.google.com/maps/place/Sungai+Siak>)

2.4 Kapal Tunda (*Tug Boat*)

Menurut (Wikipedia, 2014) kapal tunda adalah kapal yang dapat digunakan untuk melakukan *manuver* / pergerakan, utamanya menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai atau terusan. Kapal tunda digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak, dan peralatan lainnya. Kapal tunda memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya.

Secara umum, kapal tunda mempunyai karakteristik yang tidak jauh berbeda dari jenis kapal lainnya. Adapun perbedaan terletak pada fungsinya. Berikut ini adalah jenis kapal tunda berdasarkan fungsinya (Lamb, 2004) :

2.4.1 Kapal Tunda untuk Perairan Samudera

Kapal tunda jenis ini terutama digunakan untuk:

- a. Menarik kapal-kapal yang tidak memiliki mesin penggerak sendiri, seperti misalnya *offshore*, kran apung, dok apung, tongkang untuk antar pulau, serta alat apung lainnya di laut bebas dengan jarak jauh.
- b. Mengangkat kapal yang tenggelam dan menolong kapal yang tidak dapat berjalan sendiri akibat kecelakaan.

2.4.2 Kapal Tunda untuk Pelabuhan dan Dok

Kapal tunda jenis ini digunakan untuk menggiring dan merapatkan kapal di pelabuhan atau di galangan untuk proses pengedokan. Karena itu, kapal tunda ini harus kecil dan lincah serta mempunyai sarat yang terbatas. Perencanaan dari kapal tunda jenis ini harus sesuai dengan lokasi dimana kapal ini akan beroperasi. Untuk kapal tipe ini, kemampuan dan kelincahan berputar atau manuever adalah satu hal yang sangat penting.

Dari segi tenaga penggerak, kapal tunda untuk pelabuhan dan do harus memiliki tenaga yang sangat besar. Sebab, kapal tunda jenis ini harus mampu untuk menarik kapal-kapal besar dengan kapasitas muatan penuh.

2.4.3 Kapal Tunda untuk Sungai

Kapal tunda jenis in dirancang untuk beroperasi di perairan sungai dan memiliki kemampuan tarik kurang dari 3 knot. Desain lambung kapal ini membuat operasional di lautan terbuka berbahaya.

2.4.4 Kapal Tunda untuk Perairan Pantai

Kapal Tunda yang dirancang untuk melayani pelayaran disekitaran pantai. Biasa digunakan untuk menarik tongkang sekitar pelayaran pantai atau memandu kapal besar merapat ke pantai.

2.4.5 Kapal Tunda Pendukung *Offshore*

Kapal tunda jenis ini dirancang untuk membantu pengerjaan kilang minyak di tengah laut. Digunakan untuk memasok makanan, membawa alat-alat keperluan pengeboran dan alat-alat reparasi.

2.4.6 Kombinasi Sistem Kapal Tunda-Tongkang

Kapal tunda inovasi yang dikombinasikan dengan tongkang guna mengangkut binaan. Kapal jenis ini memiliki manuver dan keandalan tertentu dibandingkan kapal tunda yang menarik tongkang dengan tali.

2.5 *Integrated Tug Barge*

Sistem kapal tunda dengan cara mendorong (*Pusher Tug*) pertama kali diperkenalkan di Jepang pada tahun 1963, dan penerapan pertamanya menggunakan sistem tali pengikat untuk perairan sungai (Lamb, 2004). Meskipun nantinya banyak diterapkan untuk perairan sungai, pada awalnya kapal tunda sistem ini diterapkan untuk kebutuhan pantai. Kapal tunda ini awalnya digunakan di Jepang di daerah perairan yang terlindung untuk pembangunan reklamasi pelabuhan Kobe. Tetapi kapal tersebut tidak mampu untuk menahan tinggi gelombang lebih dari setengah meter. Maka dari itu, dimulailah penelitian untuk mengembangkan sistem kapal tunda tersebut.



Gambar 2. 6 *Integrated Tug Barge*

(<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/images/itb-image82.jpg>)

Baru-baru ini sedang terjadi peningkatan minat dalam penggunaan *Integrated Tug Barge* untuk transportasi laut. Permasalahan ini mendorong pengembangan berbagai sistem koneksi *tug barge* menggabungkan fitur desain yang inovatif. Meskipun kapal *self-propelled* lebih sering digunakan di industri maritim, terutama untuk perdagangan khusus, namun baru-baru ini *pusher tug* sedang dikembangkan. Kelas kapal yang telah berkembang menggunakan berbagai pengaturan dan desain, beberapa di antaranya cukup mengganti atau menambah pengaturan tali kawat konvensional.

Dari sejarah perkembangannya hingga saat ini dapat diperoleh beberapa keuntungan dari penggunaan *pusher tug*. Keuntungan utama dari dilakukannya pengikatan secara langsung antara *tug boat* dengan tongkang untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan dari kapal tersebut. Selain itu, hal ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi baling-baling dan untuk mengurangi hambatan kapal. Berikut ini adalah beberapa keuntungan dari penggunaan *pusher barge* dibandingkan dengan penggunaan kapal tunda konvensional (*towing rope*) :

1. Sistem *pusher-barge* memiliki ukuran panjang keseluruhan yang relative lebih pendek daripada dengan menggunakan tugboat konvensional, hal ini berarti kapal dapat lebih aman.
2. Sistem *pusher barge* dapat mengatur power kapal dengan sendirinya, jika menggunakan tugboat konvensional meskipun tugboat sudah mengurangi kecepatan namun belum tentu tongkang juga ikut berhenti. Perbedaan ini terlihat jelas jika digunakan untuk perairan sungai yang berarus.
3. *Pusher barge* dapat melakukan manuver lebih mudah terutama untuk wilayah perairan sungai yang berkelok.
4. Sistem *pusher barge* dapat mengendalikan badan kapal dengan mudah, karena tongkang terikat kuat pada *tugboatnya*. Sedangkan untuk tugboat konvensional, ada kemungkinan untuk tongkang bergerak dengan sendirinya karena adanya arus sungai yang tidak terprediksi.

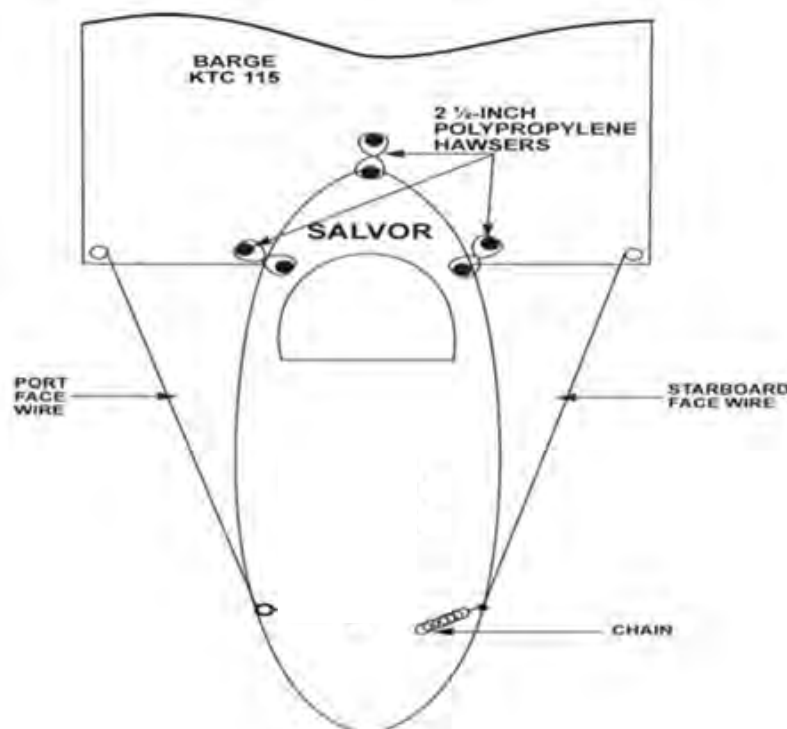
2.6 Sistem Sambungan pada *Integrated Tug Barge*

Sistem pengikatan antara *tug boat* dengan tongkang pada *Integrated Tug Barge* (ITB) berbeda dengan sistem pada *tugboat* umumnya. Pada ITB tugboat berhimpit dengan tongkang di posisi belakang. Pengikatan dibuat khusus agar tongkang tidak terpisah dari *tugboat*

sehingga keduanya dapat bergerak dengan bersamaan. Secara garis besar sistem pengikatan pada ITB digolongkan menjadi dua jenis yaitu *rope connection* dan *mechanical connection*.

2.6.1 *Rope Connection*

Sistem penyambungan dilakukan dengan cara mengikatkan bagian ujung kapal tunda dengan bagian belakang tongkang. Pengikatan bagian ujung kapal tunda tersebut tidak terlalu kuat dan tidak terkunci secara keseluruhan. Pengikatan ini difungsikan untuk bermanuver maju dan mundur saja. Untuk pergerakan *manuver* belok, perlu ditambahkan pengikatan berupa tali tambang antara kapal tunda dan tongkang yang terpasang pada bagian sisi kapal.



Gambar 2. 7 *Integrated Tug Barge* dengan *Rope Connection*

(<http://www.tsb.gc.ca/eng/rappports-reports/marine/>)

Untuk sistem pengikatan *rope connection*, tidak harus menggunakan kapal tunda jenis *pusher-tug*, namun dapat dilakukan dengan menggunakan kapal tunda pada umumnya. Tali pengikat dikaitkan pada *bollard* di bagian belakang tongkang.. Tali harus diikat dengan kuat agar kapal dapat bermanuver dengan baik.

2.6.2 *Mechanical Connection*

Sistem penyambungan antara *tugboat* dengan *barge* yang kedua adalah sistem *mechanical connection*. Perbedaan yang dapat dilihat secara langsung adalah pada

pengikatan sistem ini tidak membutuhkan ikatan berupa tali tambang. Jika menggunakan sistem ini, *tugboat* dan *barge* seolah menjadi satu kesatuan, sehingga kapal dapat bergerak sesuai yang diinginkan.

Alat pengikat pada sistem *Mechanical Connection* berupa *connecting blok*. *Connecting blok* dapat bekerja secara mekanis yang dikendalikan dari ruang kemudi *tugboat*. Peralatan pengikatan ini mengikat bagian depan kapal tunda dengan bagian belakang tongkang dengan baik dan aman.



Gambar 2.1. Connecting block

(<http://www.westecequipment.com/tugbarge.cfm?sec=m>)

Dari kedua jenis pengikatan tersebut di atas, ada beberapa keuntungan dan kerugian dalam penggunaannya. Karena masih terolong lebih baru dan canggih, sistem *mechanical connection* memiliki keuntungan lebih banyak. [Muis, 2003]. Diantaranya :

1. Lebih mudah dalam penggunaan, karena dapat dikendalikan secara mekanis.
2. Proses pengikatan pada sistem ini lebih cepat. Untuk sistem *rope connection* membutuhkan waktu 10-20 menit untuk melakukan pengikatan, sedangkan dengan sistem *mechanical connection* hanya butuh waktu 30-40 detik.
3. Untuk proses pengikatan tidak membutuhkan banyak tenaga kru kapal.
4. Penggunaan *mechanical connection* cenderung lebih aman. Selain aman untuk kapal, juga aman bagi kru atau awak kapal yang bekerja terutama saat proses pengikatan dan pelepasan.

Disamping keuntungan yang ada, ada beberapa kerugian dalam penggunaan sistem *mechanical connecton*. [Muis,2003]. Diantaranya :

1. Biaya yang dibutuhkan lebih mahal dibandingkan dengan sistem *rope connection* karena membutuhkan peralatan khusus.
2. Selain peralatan khusus yang dipasang di kapal tunda, pada setiap tongkang yang akan didorong juga harus punya *mechanical connection*.

2.7 Teori Desain

Klasifikasi desain dibedakan menjadi dua berdasarkan latar belakangnya, pertama “*invension*” yang merupakan eksploitasi dari ide-ide asli untuk menciptakan suatu produk baru, yang kedua adalah “*inovation*” yaitu sebuah pembaruan atau rekayasa desain terhadap sebuah produk yang sudah ada (Atmoko,2008). Proses mendesain kapal adalah proses berulang, yaitu seluruh perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Desain ini digambarkan pada desain spiral Dalam desain spiral membagi seluruh proses menjadi 4 tahapan yaitu: concept design, preliminary design, contract deign, dan detail design (Evans, 1959).

2.8 Tujuan Desain

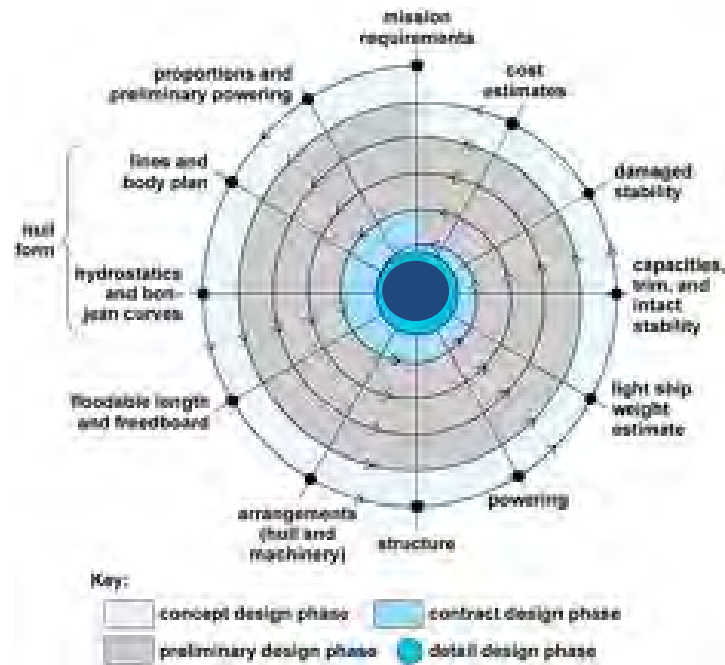
Dalam proses awal mendesain kapal diperlukannya tujuan, misi dan kegunaan kapal yang akan dibangun yang digunakan sebagai arahan bagi seorang desainer kapal dalam menentukan pilihan-pilihan yang rasional ketika mendesain. Selain itu juga diperlukannya data permintaan pemilik kapal (*owner requirement*) seperti tipe atau jenis kapal, daerah pelayaran, kecepatan, muatan dan kapasitas dari kapal. Data yang diperoleh dari pihak *owner* ini, yang akan diterjemahkan dan diolah oleh designer menjadi sebuah data kompleks yang cukup untuk digunakan dalam pembangunan dan pengoperasian kapal tersebut. Dalam proses mendesain kapal diperlukannya batasan-batasan desain. Selain dari batasan desain dari permintaan pemilik kapal, designer harus mengatur batasan-batasan untuk desain itu sendiri, seperti batasan waktu dan biaya.

2.9 Tahapan Desain

Pada umumnya proses desain dan pembangunan kapal menggunakan metode spiral desain, atau inovasi terhadap sebuah desain kapal yang sudah ada sebelumnya, dengan melakukan rekayasa desain untuk mendapatkan desain yang lebih optimal. Berikut adalah uraian tahapan-tahapan perancangan sebuah kapal.

2.9.1 Concept design

Konsep desain kapal merupakan tahap lanjutan setelah adanya *Owner design requirement* dimana konsep desain juga merupakan basic design dalam proses perancangan kapal. Konsep desain kapal adalah tugas atau misi designer untuk mendefinisikan sebuah objek untuk memenuhi persyaratan misi dan mematuhi seperangkat kendala



Gambar 2. 8 Diagram Desain Spiral

Konsep bisa dibuat dengan menggunakan rumus pendekatan, kurva ataupun pengalaman untuk membuat perkiraan-perkiraan awal yang bertujuan untuk mendapatkan estimasi biaya konstruksi, biaya permesinan kapal dan biaya perlatan serta perlengkapan kapal. Hasil dari tahapan konsep desain ini biasanya berupa gambar atau sketsa secara umum, baik sebagian ataupun secara lengkap.

2.9.2 Preliminary Design

Tahapan yang kedua dalam proses desain adalah *preliminary design*. *Preliminary design* adalah usaha teknis lebih lanjut yang akan memberikan lebih banyak detail pada konsep desain. Dalam hubungannya dengan desain spiral, *preliminary design* ini merupakan iterasi kedua atau bisa dikatakan lintasan kedua pada desain spiral. Adapun yang dimaksud detail meliputi fitur-fitur yang memberikan dampak signifikan pada kapal, termasuk juga pendekatan awal biaya yang akan dibutuhkan. Contoh dari penambahan detail adalah perhitungan kekuatan memanjang kapal, pengembangan bagian midship kapal, perhitungan yang lebih akurat mengenai berat dan titik berat kapal, sarat, stabilitas, dan lain-lain.

2.9.3 *Contract Design*

Pada tahap *contract design* merupakan tahap lanjutan setelah *preliminary design*. Pada tahapan ini merupakan tahap pengembangan perancangan kapal dalam bentuk yang lebih mendetail yang memungkinkan pembangun kapal memahami kapal yang akan dibuat dan mengestimasi secara akurat seluruh biaya pembuatan kapal.

Tujuan utama pada kontrak desain adalah pembuatan dokumen yang secara akurat dengan mendeskripsikan kapal yang akan dibuat. Selanjutnya dokumen tersebut akan menjadi dasar dalam kontrak atau perjanjian pembangunan antara pemilik kapal dan pihak galangan kapal. Adapun komponen dari *contract drawing* dan *contract specification* meliputi :

- *Arrangement drawing*
- *Structural drawing*
- *Structural details*
- *Propulsion arrangement*
- *Machinery selection*
- *Propeller selection*
- *Generator selection*
- *Electrical selection*

Dimana keseluruhan komponen-komponen di atas biasa disebut *key plan drawing*. *Key plan drawing* tersebut harus merepresentasikan secara detail fitur-fitur kapal sesuai dengan permintaan pemilik kapal

2.9.4 *Detail Design*

Detail design adalah tahap terakhir dari proses mendesain kapal. Pada tahap ini hasil dari tahapan sebelumnya dikembangkan menjadi gambar kerja yang detail. Pada tahap detail design mencakup semua rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan operasional kapal. Bagian terbesar dari pekerjaan ini adalah produksi gambar kerja yang diperlukan untuk penggunaan mekanik yang membangun lambung dan berbagai unit mesin bantu dan mendorong lambung, fabrikasi, dan instalasi perpipaan dan kabel. Hasil dari tahapan ini adalah berisi petunjuk atau intruksi mengenai instalasi dan detail konstruksi pada *fitters, welders, outfitters, metal workers, machinery vendors, pipe fitters*, dan lain-lainnya.

2.10 Metode Perancangan Kapal

Setelah melakukan tahap-tahapan desain di atas, langkah selanjutnya dalam proses desain kapal menentukan metode perancangan kapal. Secara umum metode dalam perancangan kapal adalah sebagai berikut:

2.10.1 *Parent Design Approach*

Parent design approach merupakan salah satu metode dalam mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara menganbil sebuah kapal yang dijadikan sebagai acuan kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan dirancang. Dalam hal ini designer sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan kapal yang akan dirancang, dan terbukti mempunyai performance yang bagus.

Keuntungan dalam *parent design approach* adalah :

- Dapat mendesain kapal lebih cepat, karena sudah ada acuan kapal sehingga tinggal memodifikasi saja.
- Performance kapal terbukti (*stability, motion, reistance*)

2.10.2 *Trend Curve Approach*

Dalam proses perancangan kapal terdapat beberapa metode salah satunya yaitu *Trend Curve approach* atau biasanya disebut dengan metode statistik dengan memakai regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan main dimension. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding dikomparasi dimana variabel dihubungkan kemudian ditarik suatu rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan dirancang.

2.10.3 *Iteratif Design Approach*

Iteratif desain adalah sebuah metodologi desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping, testing, dan analyzing*.. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan berdasarkan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada. Proses desain kapal memiliki sifat iteratif yang paling umum digambarkan oleh spiral desain yang mencerminkan desain metodologi dan strategi. Biasanya metode ini digunakan pada orang-orang tertentu saja (sudah berpengalaman dengan menggunakan *knowledge*).

2.10.4 *Parametric Design Approach*

Parametric design approach adalah metode yang digunakan dalam mendesain kapal dengan parameter misalnya (L, B, T, Cb, LCB dll) sebagai main dimension yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dihitung hambatannya (Rt), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, trim, dan lain-lain.

2.10.5 *Optimation Design Approach*

Metode optimasi digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimum serta kebutuhan daya motor penggeraknya pada tahap *basic design*. Dalam hal ini, disain yang optimum dicari dengan menemukan disain yang akan meminimalkan *economic cost*. Adapun parameter dari optimasi ini adalah hukum fisika, kapasitas ruang muat, stabilitas, freeboard, trim, dan harga kapal.

2.11 Tinjauan Teknis Perancangan Kapal

2.11.1 Penentuan Ukuran Utama Dasar

Dala, proses perancangan kapal terdapat langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran utama kapal yang dirancang berdasarkan kapal-kapal pembanding. Langkah-langkah ini berlaku pada umumnya untuk berbagai tipe kapal. Ukuran utama yang dicari harus sesuai dengan jenis kapal yang telah ditentukan. Sebagai langkah awal, dicari berbagai variasi tonase kapal tunda berdasarkan ukuran serta kapasitas tongkang yang akan didorong.

Adapun ukuran-ukuran yang perlu diperhatikan sebagai kapal pembanding adalah:

a. Lpp (*Length between Perpendicular*)

Panjang yang diukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis tegak buritan (*After Perpendicular/AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/FP*).

b. LOA (*Length Overall*)

Panjang seluruhnya, yaitu jarak horizontal yang diukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal.

c. Bm (*Moulded Breadth*)

Lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal-kapal baja. Untuk kapal yang terbuat dari kayu atau bukan logam lainnya, diukur antara dua sisi terluar kulit kapal.

d. H (*Heigh*)

Jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai titik atas balok geladak sisi kapal.

e. T (*Draught*)

Jarak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

2.11.2 Perhitungan Berat Baja Kapal

Intgated tug barge merupakan kapal baja, oleh karena itu pada tahap ini perhitungan berat baja kapal dilakukan dengan rumus dari buku *Practical Ship Design* (Watson, 1998). Selain menghitung berat baja kapal kosong, juga dilakukan perhitungan berat perlengkapan, berat permesinan serta berat cadangan. Adapun rumus dasar perhitungan ini adalah:

1. Menghitung LWT kapal.

a. Peerhitungan berat baja kapal.

$$W_{si} = K \cdot E^{1.36} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$E = L(B+T) + 0.85 L (D-T) + 0.85 \{(l_1 \cdot h_1)+0.75(l_2 \cdot h_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : K = koefisien factor

Untuk tug boat K = 0.044 ±0.002

b. Perhitungan berat perlengkapan

$$W_o = C_o \times L \times B \dots\dots\dots (2.3)$$

C_o = outfit weigh coefficient

c. Berat cadangan (*Wres*)

$$W_{res} = (7-10)\% \times LWT \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Menghitung DWT kapal

Dalam perancangan tugboat tidak ada perhitungan untuk menghitung besarnya payload. Maka, dalam perhitungan DWT kapal hanya akan dilakukan perhitungan consumable. Dalam perhitungan ini hanya dipengaruhi oleh besarnya BHP mesin serta jumlah kru yang ada di atas kapal saat beroperasi. Jumlah kru yang bekerja pada kapal tunda tidak diperoleh dari rumus, tetapi ditentukan sendiri sebagai owner requirement.

2.11.3 Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dilakukan untuk memperoleh daya mesin yang dibutuhkan. Nilai yang mempengaruhi besarnya hambatan adalah ukuran dari kapal,

badan kapal yang tercelup dalam air, serta kecepatan yang diinginkan. Namun, dalam perancangan kapal tunda, khususnya untuk push boat, hambatan yang dihitung tidak hanya hambatan untuk kapal tunda saja, melainkan juga dihitung besarnya hambatan yang terjadi terhadap tongkang yang didorong. Besarnya hambatan total yang terjadi diperoleh dengan menjumlahkan besarnya hambatan kapal tunda dengan hambatan pada tongkang.

Untuk *integratd tug barge* nilai hambatan kapan tunda ditambahkan dengan nilai hambatan dari tongkang. Hal ini untuk memastikan pemilihan mesin yang tepat untuk kapal tunda guna mendorong kapal itu sendiri dan mendorong tongkang yang didesain.

1. Hambatan kapal tunda (*pusher tug*)

Dalam menentukan hambatan kapal tunda menggunakan metode *holtrop*.

Total Resistance:

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot (C_F (1+k) + C_A) + (R_w/W) \cdot W \dots\dots\dots(2.5)$$

Variable-variabelnya yaitu:

a. Hambatan kekentalan (*viscous resistance*)

Hambatan kekentalan adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengintegrasikan tegangan tangensial keseluruhan permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal. persamaannya adalah:

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_{FO} \cdot (1+k_1) \cdot S \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

$1+k_1$ = factor bentuk lambung kapal

$$1+k_1 = 0,93+0,4871 \cdot C \cdot (B/L)^{1,081} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L^3/V)^{0,3649} \cdot (1-C_p)^{-0,6042} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$1+k = 1+k_1 + [1+k_2 - (1+k_1)] S_{app}/S_{tot} \dots\dots\dots(2.8)$$

$1+k_2$ = koefisien karena bentuk tonjolan pada lambung kapal

Harga $1+k_2$ (Holtrop, 1984) ditunjukkan pada table berikut.

Tabel 2. 2 Harga $1+k_1$

<i>Type of Appendages</i>	<i>Value of $1+k_2$</i>
<i>Rudder of single screw ships</i>	1.3 to 1.5
<i>Spade type rudder of twin screw ships</i>	2.8
<i>Skeg-rudders of twin-screw ships</i>	1.5 to 2
<i>Shaft Brackets</i>	3.0
<i>Bossing</i>	2.0
<i>Bilge keel</i>	1.4

<i>Stabilizer fins</i>	2.8
<i>Shafts</i>	2.0
<i>Sonar dome</i>	2.7

b. Hambatan gelombang (*wave resistance*)

Tahanan gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh gelombang pada saat kapal berjalan dengan kecepatan tertentu. Persamaannya adalah:

$$R_w/W = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}} \dots\dots\dots(2.9)$$

c. *Model ship correlation allowance*

$$C_A = 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad \text{for } T_f/L_{wl} > 0.04 \dots\dots\dots(2.10)$$

2. Hambatan tongkang

Dalam menghitung hambatan tongkang, menggunakan juga formula *Holtrop*.

2.11.4 Perhitungan daya mesin

Dengan mengetahui hambatan yang dialami kapal dan juga efisiensi dari *propeller* yang direncanakan maka dapat dihitung daya mesin yang dibutuhkan.

$$P_B = BHP = P_D / \eta_s \cdot \eta_{rg} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{Dimana: } P_D = (R_T \cdot V_s) / \eta_D \dots\dots\dots(2.14)$$

2.11.5 Perhitungan Trim dan Stabilitas

Perhitunga trim merupakan syarat mutlak dalam perancangan sebuah kapal. Suatu kapal dapat dikatakan layak untuk berlayar jika telah memenuhi beberapa persyaratan, salah satu syarat itu adalah besarnya kondisi trim kapal yang terjadi. Suatu kapal dikatakan dalam kondisi baik untuk berlayar jika berada dalam kondisi even-keel. Namun bila tidak diperoleh kondisi tersebut, ada beberapa persyaratan yang diijinkan dalam kondisi trim, yaitu besarnya trim tidak lebih dari 0.05%. nilai ini dijadikan sebagai batasan (*constrain*) dalam proses iterasi dalam memperoleh ukuran utama.

Selain trim, ada persyaratan lain dalam perancangan kapal yaitu persyaratan stabilitas. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan stabilitas utuh (*intac stability*) dengan menggunakan rumus dari “*The Teory and Ttechnique of Ship Design*” [Manning, 1996]. Pengertian stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali pada kedudukan setimbang dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi

tersebut. Perhitungan stabilitas dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan kapal kembali pada kedudukan semula apabila mengalami oleng pada saat berlayar. Keseimbangan statis suatu benda dibedakan atas tiga macam yaitu:

1. Keseimbangan stabil

Adalah kondisi ketika benda mendapat kemiringan akibat adanya gaya luar, maka benda akan kembali pada kondisi semula setelah gaya tersebut hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik G (*centre of gravity*) berada dibawah titik M (*metacentre*).

2. Keseimbangan Labil

Adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan akibat adanya gaya luar yang bekerja pada benda tersebut, maka kedudukan benda akan cenderung berubah lebih banyak dari kedudukan semula sesudah gaya tersebut hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik G berada diatas titik M.

3. Keseimbangan *indeferent*

Adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan sedikit dari kedudukannya akibat adanya gaya dari luar, maka benda tetap pada kedudukannya yang baru walaupun gaya tersebut telah hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik berat G berimpit dengan titik *metacentre* M.

Kapal harus mempunyai stabilitas yang baik dan harus mampu menahan semua gaya luar yang mempengaruhinya hingga kembali pada keadaan seimbang. Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain:

- a. Titik G (*gravity*), yaitu titik berat kapal.
- b. Titik B (*buoyancy*), yaitu titik tekan keatas akibat air yang dipindahkan akibat badan kapal yang tercelup.
- c. Titik M (*metacentre*), yaitu titik perpotongan antara vector gaya tekan keatas pada keadaan tetap dengan vector gaya tekan keatas pada sudut oleng.

Kemampuan apung kapal adalah kemampuan kapal untuk mendukung gaya berat yang dibebankan dengan menggunakan tekanan hidrostatis yang bekerja dibawah permukaan air dan memberikan daya dukung dengan gaya angkat statis pada kapal. Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut memenuhi standart keselamatan pelayaran *Safety Of Life At Sea* (SOLAS) atau *International Maritime Organization* (IMO).

Ada beberapa kriteria utama dalam menghitung stabilitas kapal. Kriteria stabilitas tersebut diantaranya [*IMO regulation A. 749(18)*] adalah:

1. $e_{0 30^\circ} \geq 0.055 \text{ m.rad}$

Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055 \text{ m.rad}$

2. $e_{0 40^\circ} \geq 0.09 \text{ m.rad}$

Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.09 \text{ m.rad}$

3. $e_{30,40^\circ} \geq 0.03 \text{ m.rad}$

Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03 \text{ m.rad}$

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

lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 m pada sudut oleng 30° atau lebih.

5. $H_{\max} \text{ pada } \phi_{\max} \geq 25^\circ$

Lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 25°

6. $GM_0 \geq 0.15 \text{ m}$

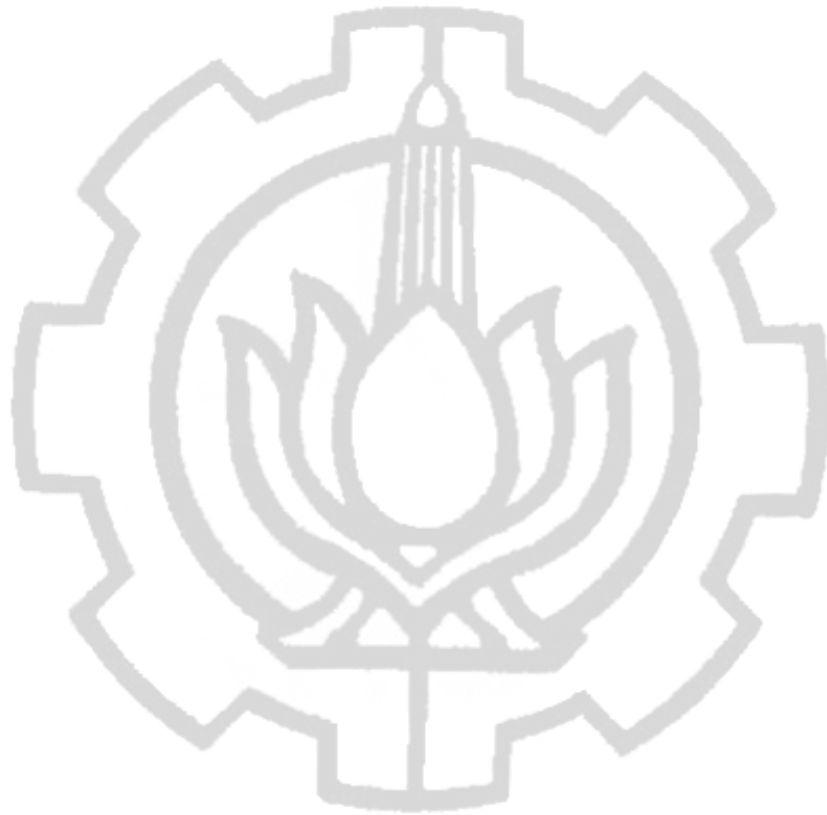
Tinggi metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

2.11.6 Perhitungan *Freeboard*

Lambung timbul (*freeboard*) merupakan salah satu jaminan keselamatan kapal selama melakukan perjalanan dalam mengangkut muatan menjadi jaminan utama kelayakan dari sistem transportasi laut yang ditawarkan pada pengguna jasa, terlebih pada kapal penumpang, keselamatan merupakan prioritas utama.

Secara sederhana pengertian lambung timbul adalah jarak tepi sisi geladak terhadap air yang diukur pada tengah kapal. Karena lambung timbul menyangkut keselamatan kapal, maka terdapat beberapa peraturan mengenai lambung timbul antara lain untuk kapal yang berlayar di perairan dapat menggunakan PGMI (Peraturan Garis Muat Indonesia) tahun 1985 dan peraturan internasional untuk lambung timbul yang dihasilkan dari konferensi internasional tentang peraturan lambung timbul minimum ILLC (*International Load Lines Convention, 1966 on London*), dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa tinggi lambung timbul minimum (*summer load lines*) telah disebutkan dalam table lambung timbul minimum untuk kapak dengan panjang tertentu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan penulis)



“The time is unlimited, but your time is limited”

BAB 3

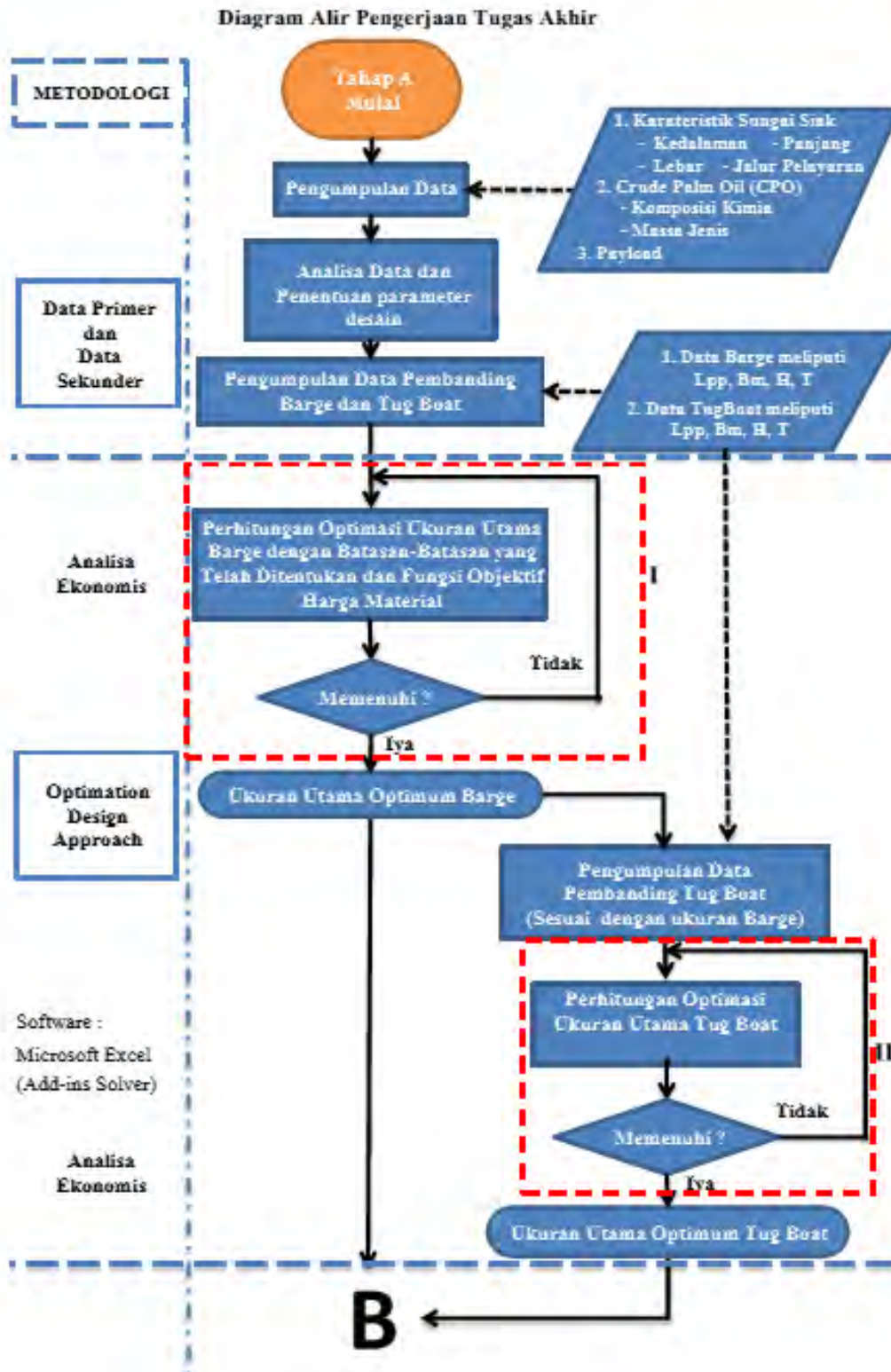
METODOLOGI PENELITIAN

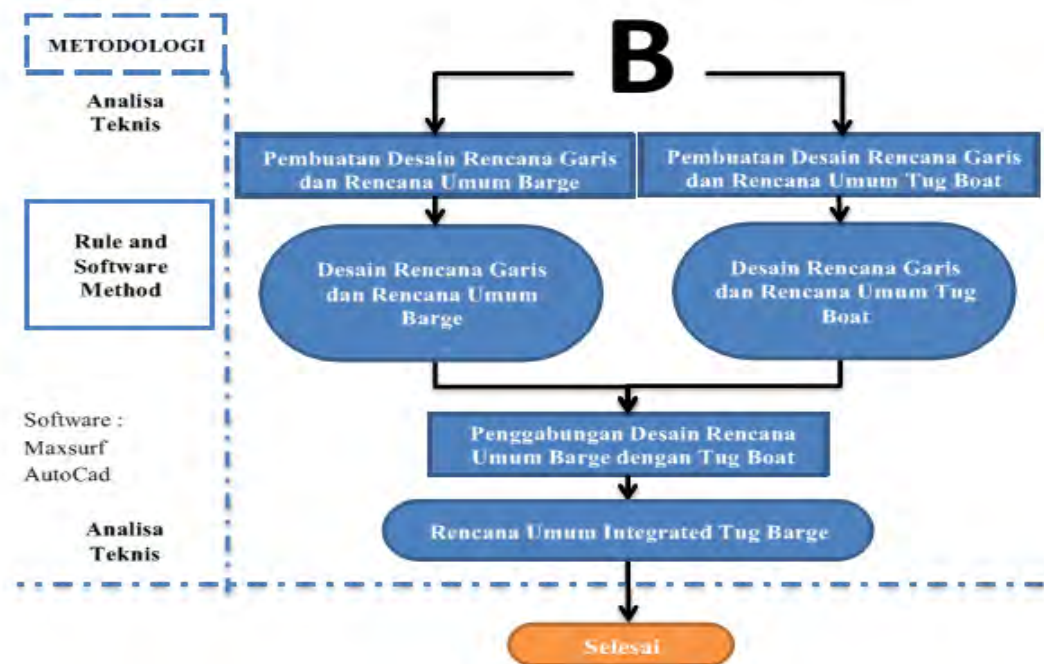
3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Digambarkan dengan diagram alir pengerjaan, kemudian dijelaskan setiap poin yang ada dalam diagram alir tersebut.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pengerjaan sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

3.3 Langkah Pengerjaan

3.3.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengambilan data primer maupun sekunder guna menunjang proses desain awal barge. Data-data inilah yang akan menjadi patokan inti dari proses perancangan *integrated tug-barge* ini kedepannya. Data-data yang dibutuhkan antara lain:

- **Karakteristik Sungai Siak**
Data mengenai karakteristik Sungai Siak meliputi kedalaman sungai, panjang, dan lebar. Data-data karakteristik Sungai Siak didapatkan dari data BMKG Provinsi Riau. Selain itu diperlukan juga data rute pelayaran yang berada di Sungai Siak dimana diambil rute pelayaran dari hutan Pekanbaru ke Pelabuhan Dumai.
- **Crude Palm Oil (CPO)**
Data yang ingin diperoleh adalah data mengenai karakteristik CPO meliputi komposisi kimia dan massa jenis. Hal ini berguna untuk dalam penentuan ruang muat pada *barge*.

- *Payload* CPO

Data mengenai jumlah *payload* CPO yang selama ini didistribusikan melalui jalur pelayaran Sungai Siak menjadi modal utama dalam proses awal pembuatan desain *integrated tug-barge* karena akan mempengaruhi hasil langkah awal yang akan dilakukan. Data ini didapatkan dari rata-rata *payload* armada suatu perusahaan pelayaran yang mendistribusikan CPO melalui jalur pelayaran Sungai Siak. Perusahaan yang armadanya dipakai dalam hal ini adalah armada dari PT. Sumber Surya Kencana INHU

3.3.2 Analisa Data dan Penentuan Parameter Desain

Pada proses ini dilakukan setelah terkumpulnya data-data yang dibutuhkan dan ditunjang dengan proses pembelajaran literatur-literatur lebih lanjut. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan rencana jumlah muatan atau *payload* serta batasan-batasan dalam pencairan data kapal pembanding. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data-data kapal pembanding yang sesuai dengan batas-batas *payload* yang sudah ditentukan.

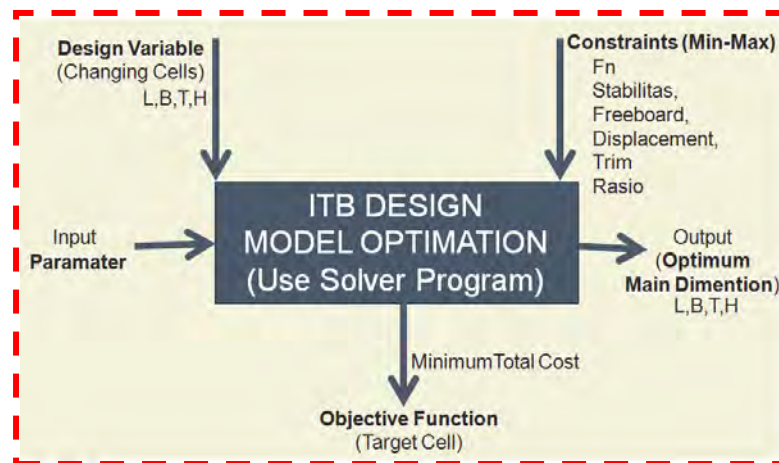
3.3.3 Perhitungan Optimasi Ukuran Utama

Dalam proses perhitungan ukuran utama, terlebih dahulu menentukan ukuran utama barge karena untuk ukuran utama tugboat merupakan fungsi dari nilai besar hambatan barge. Proses perhitungan ukuran utama barge menggunakan metode optimasi dimana pengambilan data sebanyak 18 data kapal pembanding dengan batas atas-bawah data sebelum 20 %.

Metode optimasi adalah metode yang digunakan untuk mencari harga optimum (*maximum* atau *minimum*) dari suatu fungsi matematis. Pada metode ini, fungsi tidak dapat berdiri sendiri tetapi ada batasan-batasannya. Maka sebelum melaksanakan metode tersebut terlebih dahulu menentukan fungsi objektif, desain variabel, konstanta, batasan-batasan, dan parameter.

- Fungsi Objektif : fungsi dari desain variabel yang akan menghasilkan satu harga. Dimana pada proses ini harga pembangunan kapal menjadi fungsi objektif yang disetting dengan harga minimum.
- Desain Variabel : Nilai yang ingin dicari atau dihitung berdasarkan fungsi objektifnya. Nilai yang dicari antara lain panjang, lebar, tinggi, sarat, dan koefisien blok kapal.

- Konstanta : Nilai yang besarnya sudah ditetapkan dan tidak berubah selama proses optimasi (berat jenis air, berat jenis baja, berat jenis muatan, gravitasi, dll).
- Parameter : Nilai yang sudah ditetapkan sebagai acuan (jumlah muatan dan kedalaman perairan)
- Batasan : Nilai-nilai yang sudah ditetapkan akan standar minimumnya berdasarkan aturan atau *rule* yang berlaku (Nilai F_n , stabilitas, *freeboard*, trim, *displacement*, dan rasio).



Gambar 3. 2 Proses Optimasi Ukuran Utama

Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan suatu persamaan dari setiap variabel yang di ukur yaitu variabel panjang (L), lebar (B) , tinggi (H), dan sarat (T) terhadap jumlah batas muatan kapal-kapal pemanding. Selanjutnya untuk memperoleh ukuran utama dengan cara memasukkan nilai-nilai diatas untuk dioptimalkan oleh software.

3.3.4 Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum *Barge*

Pada proses ini didahului untuk melakukan perhitungan parameter-parameter yang sudah ditentukan pada suatu kapal dengan metode *Parametric Design Approach*. Parameter-parameter yang sudah ditentukan antara lain :

- Rasio
- *Displacement*
Berat total barge (DWT+LWT+Margin yang ditentukan) yang akan direnckana harus sama dengan nilai displacement hasil perhitungan (LxBxTxCb)
- Trim

- *Freeboard*
Acuan lambung timbul yang nantinya akan digunakan sebagai nilai minimum yang harus dipenuhi pada muatan penuh
- Stabilitas
Persyaratan stabilitas yang mengacu pada IMO Regulation dengan menghitung intact stability. (*IMO Regulation A.749.18, 2007*)

Selanjutnya dilakukan proses pembuatan rencana garis dengan bantuan *software maxsurf*. Pembuatan desain dilakukan dengan memperhatikan desain-desain *barge* pada umumnya. Kemudian hasil rencana garis dari *maxsurf* diproses kembali dengan *software AutoCad* guna memperbaiki hasil desain dan dilanjutkan dengan proses pembuatan rencana umum.

3.3.5 Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum *Tugboat*

Pada proses sebelumnya didapatkan nilai besar hambatan dari *barge*. Nilai besar hambatan yang sudah diproses menjadi besar dari daya dorong atau BHP inilah yang akan menjadi acuan pencarian data kapal *tugboat* pembanding. Hasil data-data kapal *tugboat* pembanding tersebut diproses menggunakan metode optimasi yang sama dengan *barge* sehingga didapatkan ukuran utama dari kapal *tugboat* yang dibutuhkan.

Kemudian dilakukan proses perhitungan parameter-parameter yang sudah ditentukan dan dilanjutkan dengan proses desain menggunakan *maxsurf* dan *AutoCad*.

3.3.6 Pembuatan Rencana Umum *Integrated Tug-Barge*

Desain Rencana Umum *Integrated Tug-Barge* adalah penggabungan desain dari desain rencana umum *barge* dan desain rencana *tugboat*. Terdapat modifikasi pada buritan *barge* dimana diberikan bentuk cekungan (*Notch*) agar haluan *tugboat* dapat masuk dan terikat kuat antara keduanya.

3.3.7 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahap selesai dilaksanakan maka selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisa dan perhitungan dimana kesimpulan berupa ukuran utama kapal dan estimasi biayanya. Hal ini akan menunjukkan hasil utama dari proses desain ini.

Sedangkan saran dibuat untuk memberitahukan bagian apa yang diperlukan penyempurnaan pada proses desain ini.



“All real education is the architecture of the soul”

BAB 4

PERANCANGAN *BARGE*

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas proses pengaturan jumlah muatan dan bagaimana cara menentukan ukuran utama *barge*. Selain itu pada bab ini akan dibahas juga perhitungan *freeboard*, perhitungan hambatan, perhitungan berat dan titik berat *barge*, perhitungan stabilitas, serta perhitungan trim. Dalam perhitungan ini terdapat kriteria-kriteria yang harus dipenuhi, seperti kriteria IMO (*International Maritime Organization*) dan kriteria trim, baik untuk *barge*. Pembuatan rencana garis serta rencana umum dari ukuran optimum hasil optimasi *barge* tersebut.

4.2 Penentuan Jumlah Muatan Barge

Dalam mendesain kapal diperlukannya batasan desain, yang dijadikan sebagai acuan dalam proses desain. Permintaan pemilik kapal atau yang disebut *Owner Requirement* merupakan salah satu batasan desain yang harus dipenuhi oleh designer dalam proses mendesain kapal.

Dalam Tugas Akhir ini, *Owner Requirement* didasarkan dari rata-rata *payload* armada kapal yang sering melalui jalur pelayaran Sungai Siak. Armada yang digunakan merupakan armada khusus pembawa CPO. Dalam hal ini, data yang digunakan adalah armada kapal dari salah satu perusahaan pengakut CPO terbesar di daerah Provinsi Riau, yaitu armada kapal dari PT. Sumber Surya Kencana INHU.

Tabel 4. 1 Data Kapal Pembanding dan Payload

(<http://skgroup.co.id/tongkang.php>)

Tongkang	Payload	Principal Dimension (m)				Rasio		
		Lpp	Bm	H	T	L/B	B/T	T/H
Sumber Kencana 1	3500	62.43	18	4.4	3.4	3.468	5.294	0.773
Sumber Kencana 2	4000	74.91	22	5.3	4.3	3.405	5.116	0.811
Sumber Kencana 3	5000	80.76	21.34	5.46	4.49	3.784	4.753	0.818
Sumber Kencana 4	4300	79.01	21.34	5.18	4.18	3.702	5.105	0.807
Sumber Kencana 5	5000	80.76	21.34	5.49	4.49	3.784	4.753	0.818
Sumber Kencana 7	500	80.76	21.34	5.49	4.49	3.784	4.753	0.818
Sumber Kencana 8	4000	79.01	23.14	5.18	4.18	3.414	5.536	0.807
Sumber Kencana 9	4800	80.76	21.43	5.49	4.49	3.769	4.773	0.818
Sumber Kencana 10	5000	80.76	21.34	5.48	4.48	3.784	4.763	0.818
Sumber Kencana 11	5000	80.76	21.34	5.49	4.49	3.784	4.753	0.818
Sumber Kencana 12	5000	80.76	21.34	5.49	4.49	3.784	4.753	0.818
Sumber Kencana 14	5000	76.08	21.34	6.1	5.1	3.565	4.184	0.836
Sumber Kencana 16	3500	69.05	20.73	5.18	4.18	3.331	4.959	0.807
Mitra Bahari 8	5000	80.76	21.34	5.49	4.49	3.784	4.753	0.818
Mitra Bahari 10	5000	76.08	21.34	6.1	5.1	3.565	4.184	0.836
BSI 4	5000	76.08	21.54	6.1	5.1	3.532	4.224	0.836
BSI 2	5000	76.08	21.54	6.1	5.1	3.532	4.224	0.836
Mitra Bahari 5	3250	61.45	18.29	4.88	3.88	3.36	4.714	0.795
Min	3250	61.45	18	4.4	3.4	3.33	4.18	0.77
Max	5000	80.76	23.1	6.1	5.1	3.78	5.54	0.84

Maka dapat disimpulkan bahwa *Owner Requirement* sebagai berikut:

- Jenis kapal : *Integrated Tug Barge*

- Kapasitas Muatan CPO : 4300 Ton
- Kecepatan dinas : 8 knot
- Rute pelayaran : Sungai Siak (Pekanbaru-Dumai)

4.3 Penentuan Ukuran Utama Tongkang (*Barge*)

Perencanaan ukuran utama dilakukan berdasar data beberapa *barge* yang telah dibangun dan beroperasi di perairan dangkal. Data tersebut digunakan sebagai batasan (*constraints*) untuk menentukan nilai minimum dan maksimum. Pemilihan data *barge* pembanding ditentukan berdasarkan kedalaman perairan, ukuran *minimum deck*, dan panjang *barge* yang biasa beroperasi di Sungai Siak. Data-data tersebut diambil dari salah satu armada pelayaran dari perusahaan pengangkut CPO di Provinsi Riau yaitu PT. Surya Sumber Kencana INHU

Dari data kapal pembanding di atas selanjutnya digunakan sebagai batasan untuk menentukan nilai minimum dan maksimum dalam menentukan nilai variabel yang dicari dan sebagai batasan untuk rasio ukuran utama.

4.3.1 Penentuan Variabel

Dalam proses iterasi, yang berfungsi sebagai variabel adalah panjang, lebar, tinggi, dan sarat. Sebagai nilai awal (*initial value*), diambil salah satu ukuran utama *barge* yang digunakan sebagai kapal pembanding yaitu:

$$L = 79.01 \text{ meter}$$

$$B = 21.34 \text{ meter}$$

$$T = 4.18 \text{ meter}$$

$$H = 5.18 \text{ meter}$$

4.3.2 Penentuan Parameter

Parameter adalah harga yang nilainya tidak berubah selama proses iterasi karena adanya syarat – syarat yang harus dipenuhi. Pada proses optimisasi ini ini, yang berfungsi sebagai parameter adalah :

1. Permintaan *owner* berupa kapasitas angkut sebesar 4300 ton
2. Kedalaman rata-rata perairan Sungai Siak sebesar 10 meter

4.3.3 Penentuan Batasan

Batasan (*Constraints*) adalah harga batas yang ditentukan sebelumnya agar nilai variabel tidak menyimpang dari apa yang diharapkan. Batasan – batasan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah :

1. *Froude Number*

Batasan F_n untuk barge antara 0.15 hingga 0.3

2. Lambung timbul minimum

Acuan yang digunakan adalah sesuai dengan yang tercantum dalam PGMI. Beberapa koreksi harus dipenuhi untuk menentukan tinggi *freeboard* minimum, yaitu koreksi lambung timbul awal, koreksi koefisien blok, koreksi tinggi, dan koreksi lengkung memanjang kapal. Koreksi bangunan atas tidak masuk dalam perhitungan karena barge hanya dirancang sebatas geladak saja. Dalam kategori PGMI, barge masuk ke dalam kategori B. yaitu kapal dengan muatan selain minyak. Tinggi lambung timbul aktual tidak boleh kurang dari lambung timbul hasil perhitungan.

3. Batasan trim

Batasan trim maksimal adalah -0,1 s/d 0,1 % LPP.

4. Koreksi *Displacement*

Berat total *barge* ($DWT+LWT$) yang akan dirancang harus masih berada dalam rentang displacemen hasil perhitungan ($LxBxTxCb$) sebesar 1% s/d 3%.

5. Batasan stabilitas

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan dari sebuah kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan itu dipengaruhi lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen-komponen stabilitas terdiri dari GZ , KG dan GM , ketiga komponen tersebut sangat berperan penting dalam stabilitas. Dalam perhitungan stabilitas yang paling penting adalah mencari lengan dinamis (GZ).

Persyaratan stabilitas mengacu pada IMO Regulation untuk menghitung *intact stability*, (*IMO Regulation A.749.18, 2002*) yaitu:

- Tinggi Metacentre (MG) pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0.15 m
- Lengan statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.20 m
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng lebih dari 15°

- o Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.06 m radian sampai dengan 30° sudut oleng
- o Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.09 m radian sampai dengan 40° sudut oleng.

6. Batasan rasio ukuran utama

Rasio ukuran utama kapal yaitu meliputi L/B, B/T, L/T. Dari kapal pembanding yang ada, didapatkan rasio sebagai berikut:

$$L/B_{\min} = 3.4, L/B_{\max} = 10$$

$$B/T_{\min} = 3.85, B/T_{\max} = 10$$

$$L/T_{\min} = 10, L/T_{\max} = 30$$

4.3.4 Penentuan fungsi objektif

Fungsi objektif di sini adalah biaya material yang dikeluarkan untuk pembangunan kapal, yang meliputi baja lambung kapal dan *E&O (Engine & Outfitting)* yang dibutuhkan sesuai standar klas.

4.4 Penerapan Model Optimasi *Barge* Menggunakan *Software Excel*

Dalam mencari nilai optimum dari sekelompok data dengan dibatasi beberapa *constraint*, program *Excel* memiliki salah satu fitur yang dapat menyelesaikannya. Fitur tersebut adalah *solver*. Dengan *solver*, dapat dicari nilai optimum maksimum maupun nilai optimum minimum. Makadaripada itu, proses optimasi *barge* ini menggunakan fitur *solver* untuk menyelesaikannya.

4.4.1 Pembuatan batasan

Sebelum model iterasi *solver* dibuat, terlebih dahulu dilakukan perhitungan-perhitungan yang digunakan sebagai dasar penentuan batasan dalam proses iterasi. Perhitungan tersebut adalah :

1. *Froude Number*

Perhitungan *Froude Number* dilakukan berdasarkan ketentuan pada *Parametric Design* dimana nilai besarnya untuk *barge* antara 0.15 hingga 0.3.

2. Perhitungan *freeboard*

Perhitungan *freeboard* berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan oleh *International Convention on Load Lines 1966 and protocol of 1988*. *Barge* yang dirancang merupakan kapal tipe B, sehingga diambil *freeboard* standar yang telah

ditetapkan untuk kapal tipe B berdasarkan panjang kapal. Kemudian ditambah dengan koreksi hingga didapatkan *freboard* minimal yang disyaratkan. *Freeboard* minimal inilah yang dijadikan salah satu batasan dalam iterasi yang dilakukan.

3. Perhitungan berat baja

Untuk perhitungan berat baja *barge* dilakukan dengan menggunakan rule ABS. Hal ini dikarenakan untuk rumus pendekatan, tidak diketahuinya salah satu koefisien untuk *barge* sehingga setiap profil dan pelat yang diperlukan dalam proses perancangan dihitung sesuai rumus yang ada dan kemudian ditotal jumlahnya.

4. Perhitungan peralatan dan perlengkapan kapal

Dari ukuran utama kapal dapat diketahui nilai dari EN (*Equipment Number*) kapal tersebut. Dari nilai yang didapat, dicocokkan dengan tabel yang tersedia untuk menentukan jumlah jangkar, panjang rantai, ukuran hawser, towline, dan peralatan perlengkapan lainnya.

5. Perhitungan koreksi displacement

Berat baja yang telah dihitung dijumlahkan dengan berat peralatan dan perlengkapan sehingga didapatkan LWT. LWT kemudian dijumlahkan dengan berat total muatan (DWT) dan didapatkanlah berat *displacement*. Berat LWT + DWT dibandingkan dengan displacement yang didapat dari perkalian $L \times B \times T \times C_{bxp}$. Selisih antara keduanya harus dalam range 1% sampai 3%. Dalam hal ini $L \times B \times T \times C_{bxp}$ harus lebih besar daripada LWT+DWT yang didapat dari perhitungan, sehingga tetap ada berat cadangan didalamnya.

6. Perhitungan trim

Perhitungan trim berdasarkan rumus yang terdapat dalam “*Parametric Design Chapter 11*” [Parson,2001].

7. Perhitungan harga material

Harga material dapat diestimasi dari perhitungan berat baja dan E&O. Dari total berat baja dikalikan harga baja per ton, maka didapat harga material baja dari *barge* tersebut. Sementara untuk E&O dilakukan penjumlahan total berat masing – masing item, yang kemudian dikalikan dengan estimasi harga per ton.

4.4.2 Running Model Iterasi *Solver Barge*

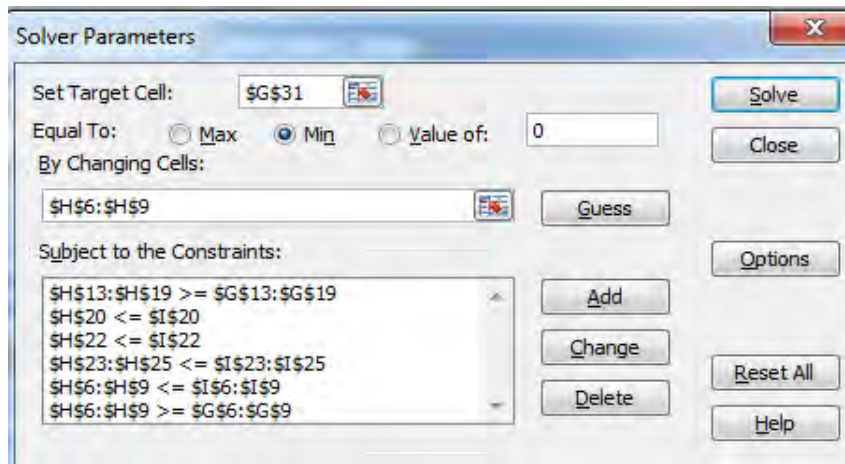
Setelah semua batasan selesai dibuat, selanjutnya adalah membuat model *solver* untuk memperoleh ukuran utama yang optimum. Langkah – langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membuat model *solver* dimana di dalamnya terdapat *value* yang akan dicari, batasan yang telah ditentukan sebelumnya, dan fungsi objektif sebagai acuan untuk proses iterasi. Model yang dibuat pada penelitian ini tampak seperti gambar di bawah

PROSES OPTIMASI PERENCANAAN BARGE									
CHANGING VARIABLE									
		Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark	
Ukuran Utama	Panjang		m	L	61.45	62.24	80.76	ACCEPTED	
	Lebar		m	B	18.00	18.00	23.14	ACCEPTED	
	Tinggi		m	H	4.40	6.10	6.10	ACCEPTED	
	Sarat		m	T	3.40	4.74	5.10	ACCEPTED	
CONSTRAINT									
Syarat Teknis		Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark	
Froude Number	$F_n = V / (g * L_{pp})^{0.5}$				0.15	0.17	0.30	ACCEPTED	
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0°		m	MG ₀	0.15	7.94		ACCEPTED	
	Lengan statis pada sudut oleng >30°		m	L _{s30}	0.2	29.68		ACCEPTED	
	Sudut kemiringan pada L _s maksimum		deg	L _{s,max}	25	46.37		ACCEPTED	
	Lengan dinamis pada 30°		m.rad	L _{d30}	0.055	1.205		ACCEPTED	
	Lengan dinamis pada 40°		m.rad	L _{d40}	0.09	1.900		ACCEPTED	
Luas Kurva GZ antara 30° - 40°		m.rad			0.03	0.69		ACCEPTED	
Freeboard	F _s		m	F		1.36	1.36	ACCEPTED	
Displacement	Koreksi displacement		%		1.00%	1.26%	3.00%	ACCEPTED	
Trim	Selish Trim		%			2.29	6.22	ACCEPTED	
Rasio				L/B	3.400	3.46	10.000	ACCEPTED	
				B/T	1.800	3.79	10.000	ACCEPTED	
				L/T	10.000	13.12	30.000	ACCEPTED	
OBJECTIVE FUNCTION									
		Item	Unit	Symbol	Value				
		Hull Cost	\$		1,271,799				
		E & O Cost	\$		61,865				
		Total Cost	\$		1,333,664 ← Target Cell				

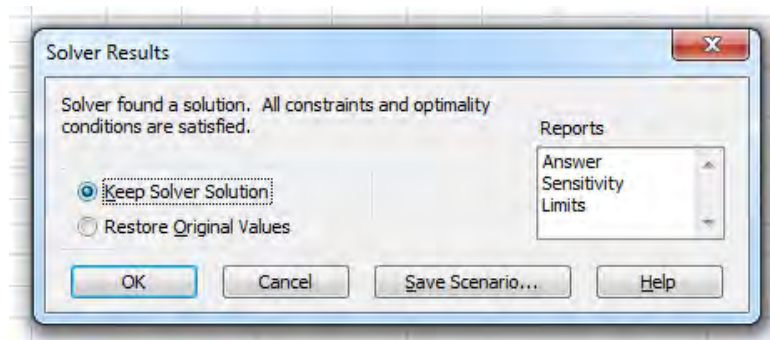
Gambar 4. 1 Tabel Proses Iterasi *Barge*

2. Setelah model selesai dibuat selanjutnya adalah melakukan *running model*. Fasilitas *solver* dapat diakses melalui *toolbar data - solver*. Selanjutnya akan muncul tampilan *Solver Parameters*. Pada menu *set target cell*, set pada *cell Total Cost*. Dimana pencarian dipilih minimum karena akan dicari *total cost* yang paling rendah. Untuk *menu by changing cell* dipilih variabel yang akan dicari yaitu L, B, T, H. Kemudian pada *menu subject to the constraints* dimasukkan semua nilai minimum dan maksimum yang berfungsi sebagai batasan dari proses iterasi. Tampilan *solver* ketika dilakukan proses *running* akan tampak seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4. 2 Solver Paramaters Input Tabel

- Setelah semua telah terisi, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *running solver* dengan . Apabila iterasi yang dilakukan memenuhi semua batasan yang diberikan maka akan muncul pemberitahuan bahwa solver telah menemukan solusi untuk model yang dibuat.



Gambar 4. 3 Tampilan bahwa proses *running solver* berhasil

Variabel yang didapatkan dari proses *running solver* yang telah dilakukan adalah:

- Lpp = 61.45 meter
- B = 18.00 meter
- H = 4.40 meter
- T = 6.10 meter

4.4.3 Perhitungan *Freeboard Barge*

- *Freeboard standart*

Yaitu *freeboard* yang tertera pada tabel *freeboard* standar sesuai dengan tipe kapal.

$$F_b = 855 \text{ mm}$$

- Koreksi untuk kapal dibawah 100m (F_{b1})

Untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100$ m dan mempunyai *superstructure* tertutup dengan panjang efektif mencapai 35%L. barge ini tidak memiliki bangunan atas sehingga $Fb_1=0$

- Koreksi koefisien blok (untuk kapal dengan $C_b > 0.68$)

$$Fb_2 = fb \times (0.68 + C_b) / 1.36$$

$$= 109.95 \text{ mm}$$

- Koreksi tinggi (Fb_3)

Koreksi dilakukan apabila $D > L/15$

$D =$ tinggi kapal = 6.1 meter

$L/15 = 4.149$; $D > L/15$ maka $Fb_3 = Fb_2 + (R(D - (L/15)))$

$$Fb_3 = 362.9 \text{ mm}$$

- Koreksi lengkung memanjang kapal

$$A = 1/6(2.5 \times (L+30) - 100(S_f + S_a)) \times (0.75 - S/2L)$$

$$= 27.824 \text{ mm}$$

$$B = 0.125 \times L$$

$$= 7.779 \text{ mm}$$

Jika $A > 0$, maka koreksi LMK = A

$A < 0$, dan $|A| > B$ maka koreksi LMK = B

$A < 0$, dan $|A| < B$ maka koreksi LMK = A

S_f adalah tinggi lengkung memanjang pada FP

S_a adalah tinggi lengkung memanjang pada AP

S adalah panjang seluruh bangunan atas

Maka koreksi LMK = 28.824 mm

- Lambung timbul minimum

Adalah penjumlahan dari semua koreksi untuk mendapatkan tinggi lambung timbul minimum.

$$\text{Freeboard standart} = 855 \text{ mm}$$

$$\text{Koreksi koefisien blok} = 109.95 \text{ mm}$$

$$\text{Koreksi Depth} = 362.90 \text{ mm}$$

$$\text{koreksi LMK} = 28.824 \text{ mm}$$

$$\text{Lambung timbul (Freeboard) minimum} = 1355.67 \text{ mm}$$

Dari perhitungan batasan yang telah dibuat didapat nilai lambung timbul minimum adalah 1355.67 mm. Lambung timbul hasil iterasi yang didapatkan dari H – T didapat nilai 1356.7 mm. Jadi lambung timbul *barge* telah memenuhi standar.

4.4.4 Perhitungan Hambatan *Barge*

A. Perhitungan Tahanan Gelombang (R_w / W)

$$F_n = 0.17$$

Untuk $F_n \leq 0.4$ maka ;

A.1 Perhitungan Koefisien C_1

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{-1.3757} \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.92})$$

dimana ;

$$B/L = 0.278$$

Untuk $B/L \geq 0,25$, maka $C_4 = 0.5 - 0.0625(L/B)$, yaitu :

$$L/B = 3.596$$

$$C_4 = 0.276$$

$$\begin{aligned} iE &= 125.67 B/L - 162.25 C_p^2 + 234,32 C_p^3 + (LCB + 6.8 (T_a - T_f)/T)^3 \\ &= 34.673 \end{aligned}$$

$$C_1 = 43.728 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.93})$$

A.2 Perhitungan Koefisien C_2

$C_2 =$ koefisien pengaruh *bulbous bow*

$$C_2 = e^{-1.89} A_{bt} R_b / B.T(R_b + i)$$

$C_2 = 1$, untuk kapal tanpa *bulbusbow*

A.3 Perhitungan Koefisien C_3

$C_3 =$ koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan

$$C_3 = \frac{1 - 0,8 \times A_T}{B \times T \times C_m} \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.93})$$

dimana ;

$$A_T = 0 \quad m^2$$

$$C_3 = 1$$

A.4 Parameter d

$$d = -0.9 \quad (\text{tetapan untuk } F_n \leq 0.4)$$

A.5 Perhitungan Koefisien C_5

koefisien dengan fungsi koefisien prismatic

$$C_5 = (C_p)$$

dimana ;

$$C_p = 0.831$$

Untuk ($C_p \geq 0.8$), maka C_5 dihitung sebagai berikut :

$$C_5 = 1.7301 - 0.7067 C_p$$

$$C_5 = 1.146$$

A.6 Perhitungan Koefisien C_6

C_6 = koefisien pengaruh terhadap harga L^3/V

dimana ;

$$L^3/V = 59.730$$

Untuk ($L^3/V \leq 512$), maka C_6 adalah :

$$C_6 = -1.694$$

(ref : PNA vol.II, hal.92)

A.7 Perhitungan Koefisien m_1

$$m_1 = 0.01404 L/T - 1.7525 V^{1/3}/L - 4.7932 B/L - C_5$$

$$0.01404 \times (62.24/4.74) - 1.7525 \times$$

$$((4.115^{1/3})/62.24) - 4.7932 \times 0.278 - 1.251$$

$$= -2.735$$

A.8 Perhitungan Koefisien m_2

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

$$= -1.694 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times 0.203^{(-3.29)}}$$

$$= 0$$

A.9 Perhitungan Koefisien l

l = koefisien pengaruh terhadap harga L/B

dimana ;

$$L/B = 3.785$$

Untuk ($L/B < 12$), maka l adalah :

$$l = 1.446C_p - 0.03 L/B$$

$$(1.446 \times 0.831) - (0.03 \times$$

$$= 3.785)$$

$$= 1.088$$

A.10 Perhitungan W

$$W = \rho g V \times 10^{-3} \quad \text{kN}$$

$$= 1025 \times 9.81 \times 4.115 \times (10^{-3})$$

$$= 46.04 \quad \text{kN}$$

(ref : PNA vol.II, hal.64 - 65)

Sehingga, harga R_w / W adalah :

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

$$= 0.0000482$$

B. Perhitungan ($1 + k$)

B.1 Perhitungan Koefisien $1+k_1$

$$1+k_1 = 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)}$$

dimana ;

$$\begin{aligned}
c &= \text{koefisien bentuk afterbody} \\
c &= \frac{1 + 0.011 c_{\text{stern}}}{C_{\text{stern}}} \gg C_{\text{stern}} = 0 \\
&= 1 \quad \text{for normal section shape} \\
c_{\text{stern}} &= 25 \quad \text{for pram with gondola} \\
c_{\text{stern}} &= 10 \quad \text{for V-shaped sections} \\
c_{\text{stern}} &= 0 \quad \text{for normal section shape} \\
&\quad \text{for U-shaped sections with} \\
c_{\text{stern}} &= 10 \quad \text{Hogner stern}
\end{aligned}$$

B.2 Perhitungan L_R/L

$$\begin{aligned}
L_R/L &= 1 - C_p + 0.06 C_p LCB / (4 C_p - 1) \\
&= 0.218
\end{aligned}$$

Sehingga, harga $1+k_1$ adalah :

$$\begin{aligned}
1+k_1 &= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)} \\
&= 1.512
\end{aligned}$$

B.3 Perhitungan Koefisien $1+k_2$

Koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air.

$$1+k_2 = 1.4 \quad (\text{bilge keel})$$

(ref : PNA vol.II, tabel 25, hal.92)

B.4 Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal

$$\text{WSA } S = L(2T + B)C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WP}) + 2.38 A_{BT}/C_B$$

WSA

$$S_{\text{app}} = A_{\text{rudder}}$$

$$= c_1 * c_2 * c_3 * c_4 * ((1.75 * L * T) / 100)$$

$$c_1 = 1 \quad \text{for barge}$$

$$c_2 = 1 \quad \text{general type rudder}$$

$$c_3 = 1 \quad \text{for NACA}$$

for rudder in propp

$$c_4 = 1 \quad \text{jet}$$

$$\begin{aligned}
A_{\text{rudder}} &= 0 \text{ m}^2 \\
\text{for 2 rudder} &= 0 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Maka, total luas permukaan basah kapal :

$$\begin{aligned} S_{\text{tota}} &= WSA + S_{\text{app}} \\ &= 1513.307 + (0) \\ &= 1513.307 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

B.5 Perhitungan Koefisien 1+k

$$\begin{aligned} 1+k &= 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] S_{\text{app}}/S_{\text{tot}} \\ &= 1.512 + [1.4 - 1.512] \times \frac{0}{1513.30} \\ &= 1.512 \end{aligned}$$

C. Perhitungan Koefisien Gesek, C_F

Untuk perhitungan harga koefisien gesek ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berdasarkan ITTC 1957, yaitu :

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.90})$$

dimana ;

$$R_n = \frac{v \cdot L \cdot W^l}{\nu} \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.59})$$

$$\nu = 1.18831 \times 10^{-6}$$

$$= 224155146.41$$

$$\begin{aligned} C_F &= 0.075 / [\log (224155146.41) - 2]^2 \\ &= 0.00186 \end{aligned}$$

D. Perhitungan model-ship correlation allowance, C_A

$$C_A = 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.93})$$

dimana ;

$$T/L_{WL} = 0.07$$

Untuk ($T/L_{WL} > 0.04$), maka C_A adalah :

$$\begin{aligned} C_A &= 0.006 (64.7273 + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\ &= 0.0006 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Hambatan Total, R_T

1. Hambatan *Barge*

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{tot}} [C_F (1+k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W \\ &= 0.5 \times 1.025 \times (4.115)^2 \times 1513.307 \times [(0.00186 \times 1.37) + 0.0006] + \\ &= (0.000048 \times 46040) \\ &= 44.836 \quad \text{kN} \sim +15\% \text{ margin} = 51.561 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.4.5 Perhitungan Berat Baja *Barge*

Komponen berat adalah DWT dan LWT. Yang termasuk ke dalam komponen DWT adalah muatan yang diangkut. Sementar komponen LWT adalah berat baja *barge*, berat peralatan dan perlengkapan.

Perhitungan ukuran pelat dan profil digunakan rule ABS 2014 : *Steel Barge*. Kebutuhan baja yang diperlukan untuk pembangunan bage dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Berat Baja
(Based ABS STEEL BARGE RULE 2014)

masa jenis baja = 7.85 ton/m³

No	item	luas dan panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)				face(mm)		berat	
1	Pelat Geladak	1120.280	m ²	1	8	mm							70.354	ton
2	Pelat Sekat Memanjang	1120.280	m ²	1	5	mm							43.092	ton
3	Pelat Alas	896.224	m	1	9	cm ³							63.318	ton
4	Pelat Sisi	303.72	m ²	1	9	mm							21.458	ton
5	Pelat Sisi Pada 0.1L	121.488	m ²	1	9	mm							8.583	ton
6	Pelat Alas Pada 0.1L	280.070	m	1	11	cm ³							24.184	ton
7	Pembujur Geladak	62.24	m ²	29	67.552	mm	120	8	80	8			22.669	ton
8	Pelintang Geladak	18	m ²	25	145.409	mm	120	8	80	8			5.652	ton
9	Pembujur Sisi	62.238	m ²	19	136.469	mm	120	8	80	8			14.852	ton
10	Pembujur Alas	49.79	m ²	29	146.295	mm	120	8	80	8			18.136	ton
11	Pelintang Sisi	6.1	m	50	116.103	cm ³	120	8	80	8			3.831	ton
12	Pelintang Alas	18	m	20	116.103	cm ³	120	8	80	8			4.522	ton
13	Pelat Sekat Tubrukan	109.8	m ²	1	8	mm							6.895	ton
14	Pelat Sekat Melintang	109.8	m	3	7	cm ³							18.101	ton
15	Penegar Sekat	6.1	m	116	297.436	cm ³	100	6	50	6			4.999	ton
		total steel weight										=	330.646	ton

Total kebutuhan berat baja adalah sebesar 330.646 ton. Untuk detail perhitungannya dapat dilihat pada bagian lampiran.

4.4.6 Perhitungan Peralatan dan Perlengkapan *Barge*

Untuk mengetahui detail perlengkapan dan peralatan barge terlebih dahulu dihitung *equipment number barge*. ABS telah menentukan harga $EN = \Delta^{2/3} + 2(Ba + bh) + 0.1A$. Dimana :

$$\begin{aligned}
 EN &= \Delta^{2/3} + 2(Ba + bh) + 0.1A \\
 \Delta &= \text{moulded displacement} \\
 &= 4693.207 \text{ ton} \\
 B &= \text{lebar moulded} \\
 &= 18 \text{ m} \\
 a &= \text{freeboard} \\
 &= 1.36 \text{ m} \\
 &= \text{lebar maksimum bangunan} \\
 b &= \text{atas} \\
 &= 0 \text{ m} \\
 h &= h_1 + h_2 + \dots (\text{tinggi layer bangunan atas}) \\
 &= 0 \text{ m} \\
 A &= \text{luasan profil view diatas sarat} \\
 &= 84.46628 \text{ m}^2 \\
 EN &= 337.5629
 \end{aligned}$$

Dari nilai yang didapat selanjutnya mencocokkannya dengan tabel berikut :

Tabel 4. 3 Pemilihan E&O Berdasarkan EN (ABS, 2014)

TABLE 1
Equipment for Barges with Ⓢ

SI, MKS Units							
Equipment Numeral	Equipment Number*	Stockless Bower Anchors		Chain Cable Stud Link Bower Chain			
		Number	Mass per Anchor, kg	Length, m	Diameter		
					Normal-Strength Steel (Grade 1), mm	High-Strength Steel (Grade 2), mm	Extra High-Strength Steel (Grade 3), mm
UA1	30	2	80	165	11	—	—
UA2	40	2	100	192.5	11	—	—
UA3	50	2	120	192.5	12.5	—	—
UA4	60	2	140	192.5	12.5	—	—
UA5	70	2	160	220	14	12.5	—
U8	205	2	660	302.5	26	22	20.5
U9	240	2	780	330	28	24	22
U10	280	2	900	357.5	30	26	24
U11	320	2	1020	357.5	32	28	24
U12	360	2	1140	385	34	30	26
U13	400	2	1290	385	36	32	28

**TABLE 3
Towline and Hawsers**

SI & MKS Units

Equipment Numeral	Equipment Number*	Towline Wire or Rope			Hawsers			
		Length, m	Breaking Strength,		Number	Length of Each, m	Breaking Strength,	
			KN	kgf			kN	kgf
UA1	30	—	—	—	—	—	—	—
UA2	40	—	—	—	—	—	—	—
UA3	50	180	98.0	10000	3	80	34.0	3475
UA4	60	180	98.0	10000	3	80	34.0	3475
UA5	70	180	98.0	10000	3	100	37.0	3775
UA6	80	180	98.0	10000	3	100	37.0	3775
UA7	90	180	98.0	10000	3	110	39.0	3975
UA8	100	180	98.0	10000	3	110	39.0	3975
UA9	110	180	98.0	10000	3	110	44.0	4475
UA10	120	180	98.0	10000	3	110	44.0	4475
UA11	130	180	98.0	10000	3	120	49.0	5000
UA12	140	180	98.0	10000	3	120	49.0	5000
U6	150	180	98.0	10000	3	120	54.0	5500
U7	175	180	112.0	11400	3	120	59.0	6000
U8	205	180	129.0	13150	4	120	64.0	6500
U9	240	180	150.0	15300	4	120	71.0	7250
U10	280	180	174.0	17750	4	140	78.0	7950
U11	320	180	207.0	21100	4	140	86.0	8770
U12	360	180	224.0	22850	4	140	93.0	9500
U13	400	180	250.0	25500	4	140	101.0	10300

Dari tabel di atas diketahui bahwa barge tersebut minimal harus memenuhi peralatan dan perlengkapan kapal sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Daftar Peralatan dan Beratnya untuk Barge

no	item	jumlah	berat per satuan	total
1	jangkar	2	140 kg	2280 kg
2	rantai jangkar	385 m	34 kg	13090 kg
3	towline	180 m	0.817 kg	147.06 kg
4	hawsers	140 m	0.293 kg	41.02 kg
5	windlas	2	250 kg	500 kg
<i>total E&O weight</i>				16058.08 kg

4.4.7 Perhitungan Titik Berat Barge

Perhitungan titik berat baja tongkang dilakukan dengan mencari titik berat masing-masing komponen. Untuk lebih jelasnya dalam tabel berikut:

Tabel 4. 5 Titik Berat Total (gabungan)

TITIK BERAT BAJA KAPAL			
Berat baja	=	330.646	ton
KG	=	0.843	m
LCG	=	31.88	m from FP

TITIK BERAT E&O			
berat E&O	=	16.058	ton
KG	=	6.1	m
LCG	=	0.622	m dari FP
TITIK BERAT PAYLOAD			
berat payload	=	4300	ton
KG	=	2.7	m
LCG	=	31.12	m dari FP
TITIK BERAT BERAT CADANGAN			
berat cadangan	=	46.50	ton
KG	=	5.6955	m
LCG	=	31.12	m dari FP
TITIK BERAT GABUNGAN			
total berat	=	4693.207	ton
KG	=	2.611	m
LCG	=	31.068	m dari FP

4.4.8 Perhitungan Trim *Barge*

Trim adalah perbedaan tinggi sarat kapal antara sarat depan dan belakang. Sedangkan *even keel* merupakan kondisi dimana sarat belakang TF dan sarat depan Ta adalah sama. Trim terbagi dua yaitu :

1. Trim haluan
2. Trim buritan

Perhitungan trim dengan rumus yang diambil dari *Parametric Design chapter 11*

[*Parsons*]:

* Titik berat kapal (KG dan LCG)]

$$KG = 2.6105 \text{ m}$$

$$LCG = 31.068 \text{ m}$$

* Titik berat gaya tekan keatas (KB dan LCB)]

$$LCB = 33.4403 \text{ m}$$

$$KB/T = 0.51822$$

$$KB = 2.45809 \text{ m}$$

* Jari-jari metacentre melintang kapal (BM_T)

$$BM_T = I_T / V$$

dimana :

$$I_T = \text{momen inersia melintang kapal}$$

$$= C_{IL} * B^3 * L$$

$$C_{IT} = 0.06784$$

$I_T = 24624.7 \text{ m}^4$
jadi jari-jari metacentre melintang kapal adalah :

$$BM_T = 5.37806 \text{ m}$$

* Jari-jari metacentre memanjang kapal (BM_L)

$$BM_L = I_L / V$$

dimana :

$I_L =$ momen inersia memanjang kapal

$$= C_{IL} * B * L^3$$

$$C_{IL} = 0.0639$$

$$I_L = 277301 \text{ m}^4$$

jadi jari-jari metacentre memanjang kapal adalah :

$$BM_L = 60.5628 \text{ m}$$

* Tinggi metacentre memanjang kapal (GM_L)

$$GM_L = KB + BM_L - KG$$

$$GM_L = 60.4103 \text{ m}$$

* Selisih LCG dan LCB

$$LCB - LCG = -2.3722 \text{ m}$$

* Trim = $(LCB - LCG) * (L / GM_L)$

$$Trim = -2.444 \text{ m}$$

* Pengecekan kondisi dan kriteria trim

Kondisi = Trim Haluan

$$\text{kriteria} = 0.1\% Lwl \quad \text{m}$$

$$= 6.22378 \text{ m}$$

Status = Diterima

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa tongkang mengalami trim haluan sebesar 2.444 m , dan ini tidak melebihi 0.1% Lwl. Maka ukuran utama yang dihasilkan dari iterasi solver telah memenuhi kriteria trim.

4.4.9 Perhitungan Stabilitas *Barge*

Detail perhitungan stabilitas dapat dilihat di lampiran. Batasan yang digunakan untuk stabilitas menggunakan standar IMO. Berikut adalah pemeriksaan hasil hitungan yang telah dibandingkan dengan batasannya :

- Tinggi Metacentre (MG) pada sudut oleng 0° : tidak boleh kurang dari 0.15 m, hasil optimisasi MG = 7.937 m (memenuhi).

- Lengan statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.20 m, hasil optimisasi GZ = 2.968 m (memenuhi).
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng sebaiknya lebih dari 15° dan tidak boleh kurang dari 25° , hasil optimisasi GZ maks terjadi pada sudut 46° (memenuhi).
- Luasan bidang yang terletak dibawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng 30° dan 40° tidak boleh kurang dari 0.03 m radian, hasil optimisasinya adalah 0.694 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.055 m radian sampai dengan 30° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 1.205 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.09 m radian sampai dengan 40° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 1.900 m (memenuhi).

Dari hasil pemeriksaan diatas maka telah dibuktikan bahwa ukuran utama yang dihasilkan dari proses iterasi solver telah memenuhi semua kriteria stabilitas.

4.4.10 Perhitungan Biaya Pembangunan *Barge*

Perhitungan biaya pembangunan barge ini terdiri dari 3 rumus pendekatan yaitu perhitungan terhadap berat baja, berat permesianan, dan perhitungan terhadap berat perlengkapan kapal. Akan tetapi karena barge tidak menggunakan bagian permesinan maka hanya digunakan 2 rumus saja. Rumus pendekatan menggunakan rumus pendekatan dari (Watson, 1998).

➤ *Structural Cost*

$$y = -0.0000000011x^3 + 0.0000297994x^2 - 0.3899111919x + 3972.1153343$$

$$x = \text{Berat baja total} = 330.65 \text{ ton}$$

$$y = 3.846,41 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{maka, Total Structural Cost} = \$ 1.271.789,63$$

➤ *Out Fitting Cost*

$$y = -0.0000001095 x^3 + 0.0.0004870798x^2 - 3.1578067923x + 18440.6636$$

$$x = \text{Berat Outfitting total} = 16.06 \text{ ton}$$

$$y = 18,390 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{maka, Total Outfitting Cost} = \$ 295.309,38$$

Total biaya pembangunan barge tersebut adalah \$ 1.567.108, 00.

4.5 Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum *Barge*

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

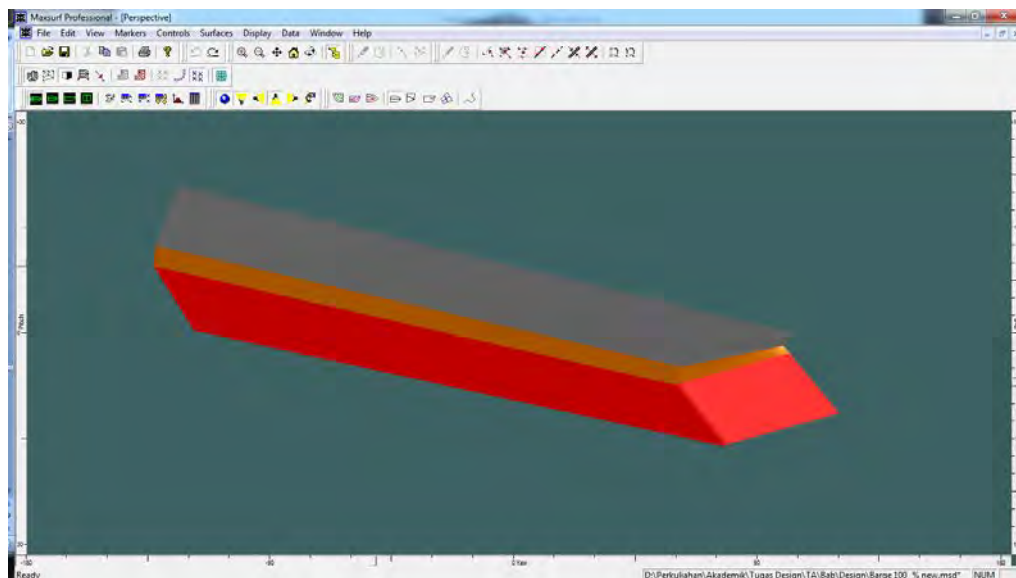
Dalam proses desain *barge* ini, pembuatan rencana garis di *maxsurf* dilakukan dengan membuat *surface* baru. *Surface* tersebut diatur sedemikian rupa agar didapatkan bentuk kapal yang sesuai. Panjang, lebar, tinggi dan sarat disesuaikan dengan ukuran utama yang telah didapatkan dari proses *optimasi solver*.

Pembuatan rencana umum dilakukan sepenuhnya menggunakan *software Autocad*. Ukuran pembagian ruang dan sekat berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Mengenai peralatan dan perlengkapan berdasarkan ketentuan yang berlaku.

4.5.1 Rencana Garis *Barge*

Pembuatan model tongkang di *maxsurf* cenderung lebih mudah, karena bentuk tongkang yang sederhana. Permasalahan yang agak rumit hanya ketika membuat bentuk haluan. Dalam *maxsurf* telah disediakan beberapa model *surface* yang dapat di *insert*.

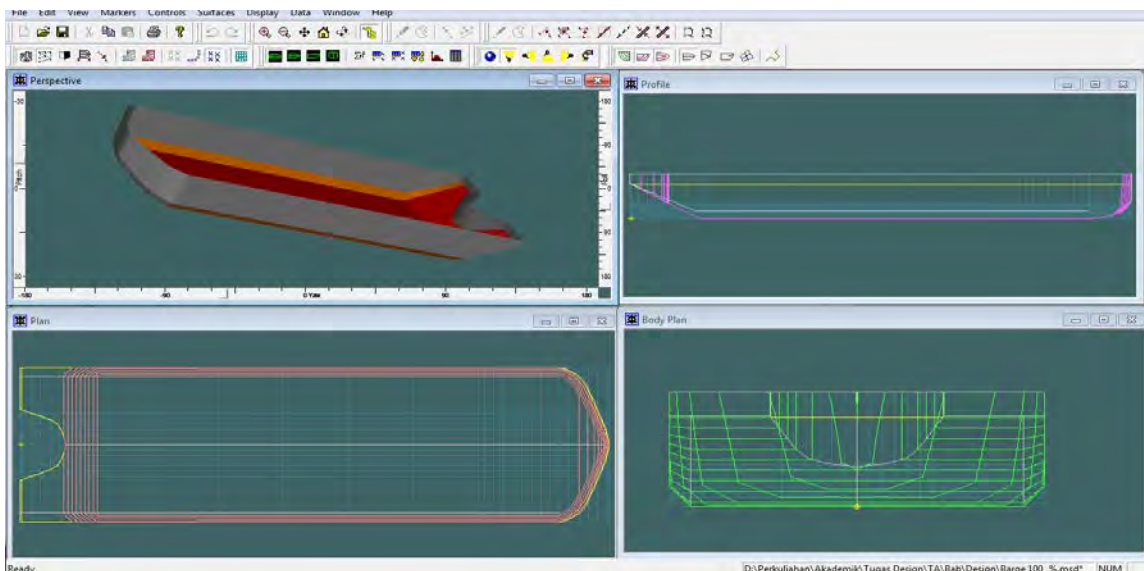
Pembuatan model tongkang diawali dengan membuat bagian parallel middle body dan sebagian buritan. Plat sisi, plat alas dan plat bilga dibuat terlebih dahulu,



Gambar 4.4 Bagian Pelat Alas, dan Bilga

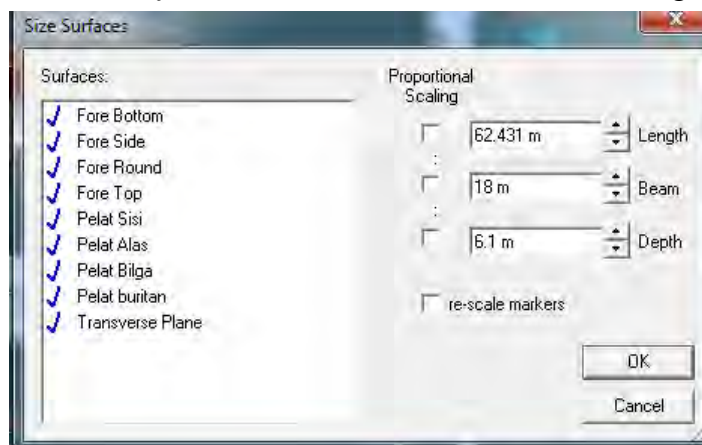
Selanjutnya adalah pembuatan plat haluan dan buritan. Bagian inilah yang dibutuhkan kejelian dalam mengatur *control point* agar permukaan *smooth*. Semakin banyak *control point* yang dibuat maka permukaan plat akan semakin bagus.

Untuk melihat *smooth* atau tidaknya permukaan, didalam *maxsurf* telah disediakan pandangan dari beberapa sudut, yaitu tampak depan/belakang, tampak samping, tampak atas dan pandangan perspektif. Garis-garis dari berbagai sudut pandang itulah yang nantinya akan dijadikan sebagai rencana garis. Berikut merupakan gambar dari model yang telah dibuat.



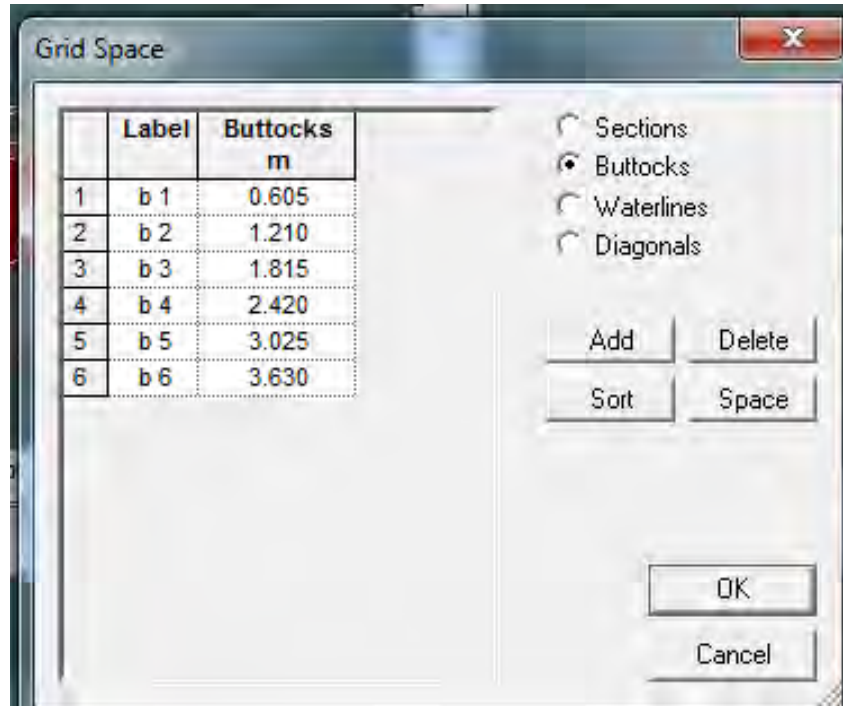
Gambar 4. 5 Model dan Rencana Garis *Barge* Tampilan *Maxsurf*

Setelah model selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, dan tinggi dari model yang dibuat. Caranya yaitu dengan mengubah ukuran *surface* pada menu *surface > size surface* kemudian akan muncul kotak dialog sebagai berikut.



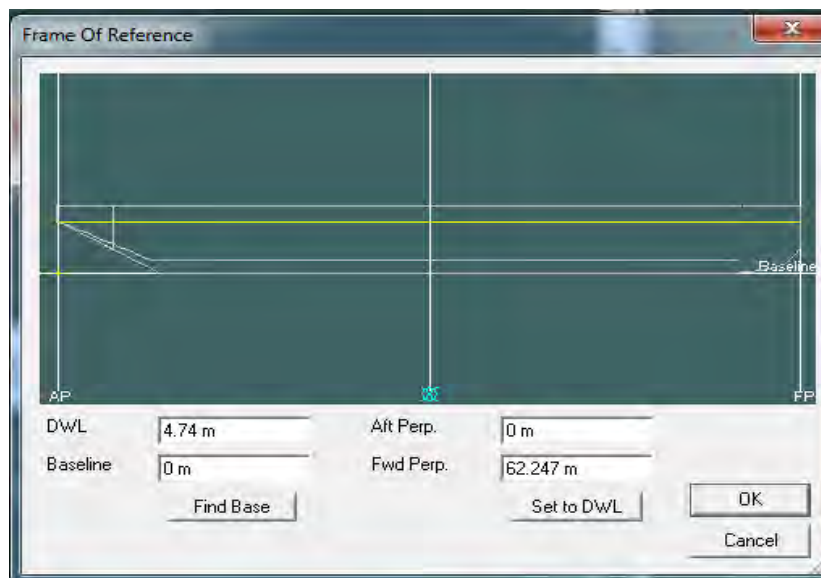
Gambar 4. 6 Tabs Size Surface

Untuk panjang diisi dengan Loa, agar ket Lpp dapat sesuai dengan perhitungan . lebar dan tinggi disamakan dengan hasil perhitungan. Sedangkan untuk mengatur jumlah dan letak dari station, *Buttock line* dan *Water line*, dengan mengakses *menu data > grid spacing* dan akan muncul kotak dialog sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Pengaturan Jumlah Section, Buttock dan Waterlaine

Setelah ukuran sesuai kemudian ditentukan sarat dari model ini. Untuk memasukkan nilai sarat kapal dilakukan dengan mengakses *menu data > frame of reference*. Pada menu ini akan tampak panjang Lwl kapal.



Gambar 4. 8 Pengaturan Sarat dari Model dalam Maxsurf

Setelah sarat kapal ditentukan selanjutnya dilakukan pengecekan nilai hidrostatis dari model yang dibuat, yaitu dengan mengakses *menu data > calculate hydrostatic*. Dari sini akan tampak data-data hidrostatis dari model. Jika data belum sesuai dengan perhitungan maka perlu dilakukan perubahan terhadap model. Namun ketika data hidrostatis telah sesuai maka model ini dapat langsung diexport ke format dxf untuk di perbaiki dengan *software Autocad*.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	4708.78	tonne
2	Volume	4593.932	m ³
3	Draft to Baseline	4.74	m
4	Immersed depth	4.74	m
5	Lwl	62.247	m
6	Beam wl	18	m
7	WSA	1593.899	m ²
8	Max cross sect area	84.15	m ²
9	Waterplane area	1057.231	m ²
10	Cp	0.877	
11	Cb	0.865	
12	Cm	0.987	
13	Cwp	0.944	
14	LCB from zero pt	32.183	m
15	LCF from zero pt	31.033	m
16	KB	2.483	m
17	KG	0	m
18	BMt	6.209	m
19	BMI	67.147	m
20	GMT	8.692	m
21	GMI	69.63	m
22	KMt	8.692	m
23	KMI	69.63	m
24	Immersion (TPc)	10.837	tonne/cm
25	MTc	52.673	tonne.m
26	RM at 1deg = GMT.Di	714.271	tonne.m
27	Precision	Medium	50 station

Density: 1.025 tonne/m³ Recalculate

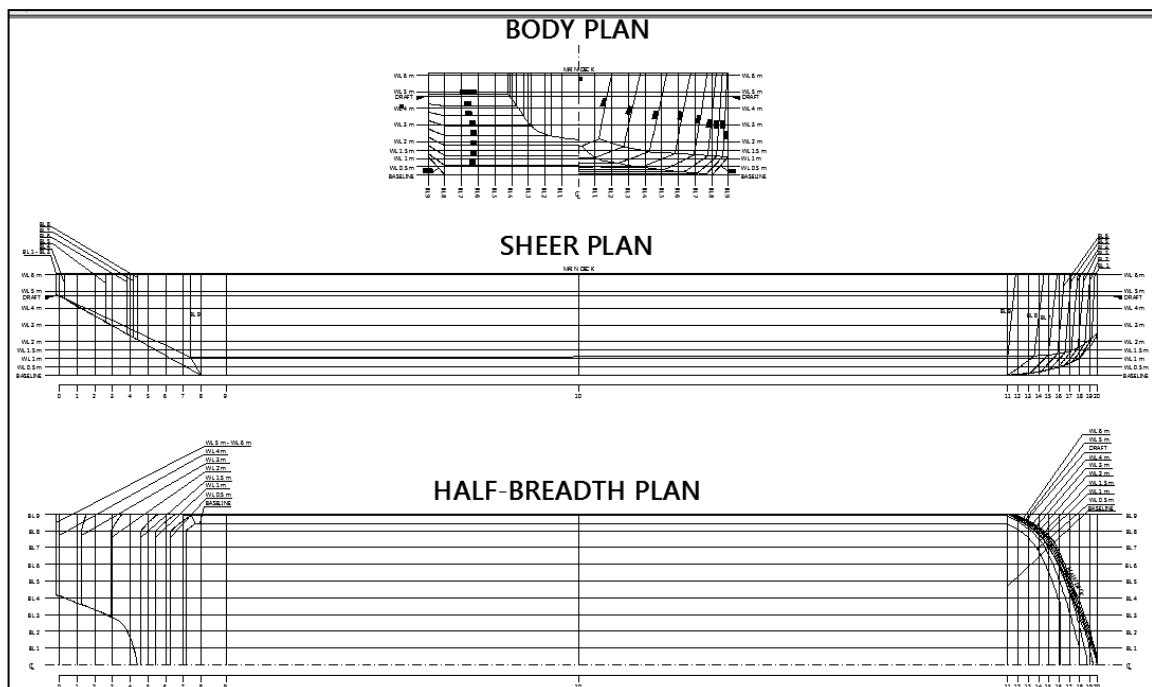
VCG: 0 m Close

Gambar 4. 9 Nilai Hidrostatis *Barge* pada *Maxsurf*

Dari data di atas dapat diketahui bahwa ukuran model telah sesuai dengan perhitungan. Dari perhitungan displacement adalah 4693.207 Ton, sedangkan displacement dari *model maxsurf* adalah 4708.78 Ton. Selisih antara keduanya adalah 15,573 Ton (0.33 %), ini masih dalam rentang batasan yaitu 1%. Maka secara umum model yang telah dibuat dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya.

Untuk menyimpan rencana garis dari model yang telah dibuat, buka salah satu pandangan dari model, kemudian klik *file > export > DXF and IGES*, atur skala 1:1, kemudian klik *ok* dan *save file* baru tersebut. Cara ini berlaku untuk semua pandangan dari model.

Setelah didapatkan *body plan*, *sheer plan* dan *halfbreadth plan*, langkah selanjutnya adalah menggabungkan ketiganya dalam satu file dwg yang merupakan output dari *software autocad*. Dalam proses penggabungan juga dilakukan sedikit *editing* pada rencana garis yang telah didapat. Berikut merupakan rencana garis dari tongkang yang dirancang.




Gambar 4. 10 Desain Rencana Garis Barge

Selanjutnya dilakukan pengerjaan pembuatan desain rencana umum dari *barge* tersebut. Dikarenakan tidak memiliki bangunan atas, maka pembuatan rencana umumnya cukup sederhana. Rencana umum meliputi posisi-posisi pipa, *manifold*, *crane*, *bollard*, dan *outfitting* lainnya yang sudah dihitung sebelumnya.

Dikarenakan peraturan *MARPOL 73/78 Annex II (13 F & G) Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk* dimana untuk kapal dengan muatan lebih dari 600 DWT dan termasuk kedalam bahan bawaan yang berbahaya maka *barge* tersebut diwajibkan konstruksinya memiliki *double bottom* dan *double hull* minimal 760 mm. Dimana *payload* dari *barge* tersebut lebih dari 600 DWT (4300 DWT) dan CPO merupakan salah satu muatan yang dikategorikan berbahaya maka peraturan tersebut diterapkan pada *barge* ini.

Tabel 4. 6 Revision *MARPOL 73/78 Annex II* (01 Januari 2007)

BEFORE REVISION		SAMPLE PRODUCTS	AFTER REVISION	
CAT	Ship Type		CAT	Ship Type
A	1	Liquid chemical wastes, Motor fuel anti-knock compounds, Naphthalene etc.	X	1
B	2			
C	3	Vegetable Oil: Palm Oil, Palm Kernel Oil, Palm Olein, Soya Oil etc.	Y	2 (k)
D				
III	No Requirement	Vegetable protein solution (hydrolysed) Waxes, Urea solution etc.	Z	3
			Other Substances	No Requirement



- Double Hull / Double Bottom**
- Minimum 760 mm Hull distance**
- Revised COF and P&A Manual**

Rumus yang digunakan untuk kapal dibawah 5000 DWT adalah sebagai berikut :

Double Bottom : $h = B/15$

$$h = 18/15$$

$$h = 1.2 \text{ m}$$

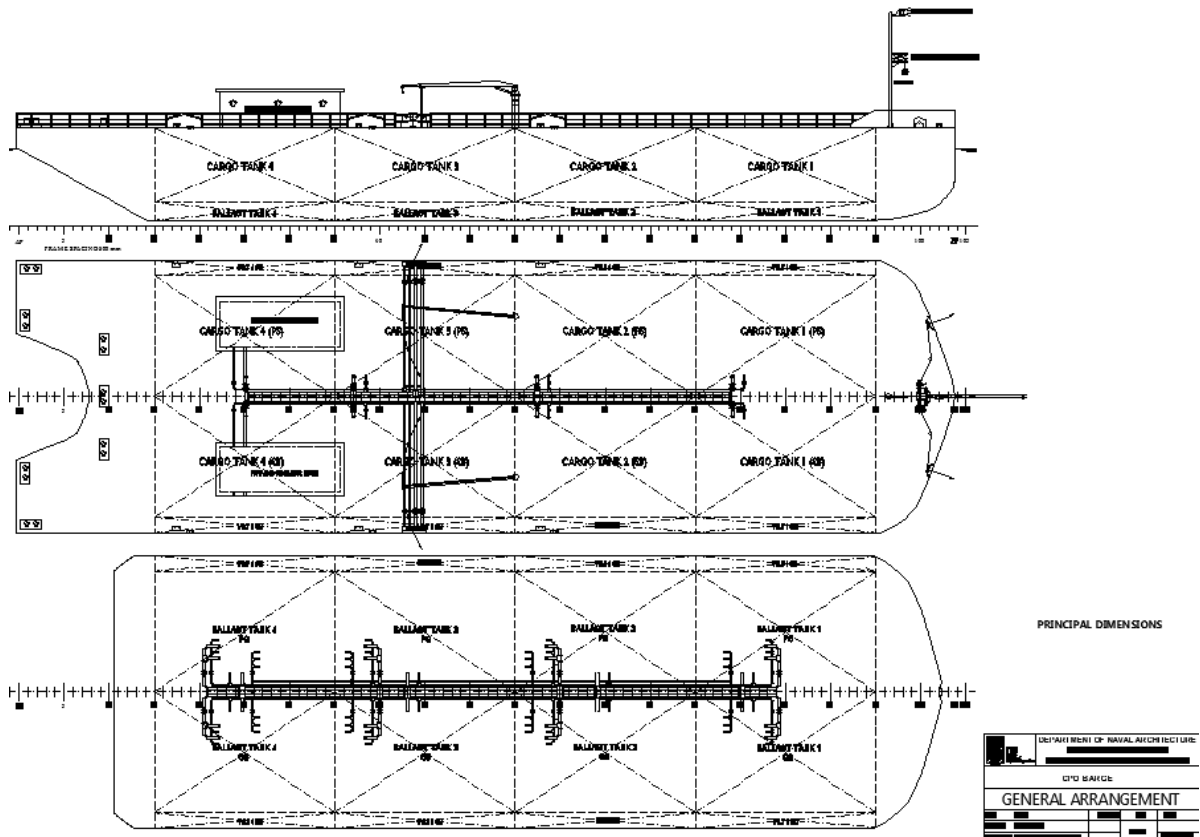
Double Hull : $w = 0.4 + 2.4(\text{DWT})/20.000$

$$w = 0.4 + 2.4(4300)/20.000$$

$$w = 0.916 \sim 1 \text{ meter}$$

Jarak antar gading direncanakan : 600 mm

Panjang tanki muatan direncanakan 12 m, dimana dalam perhitungan klas maksimal 12.53 m dengan 1 sekat memanjang.



Gambar 4. 11 Rencana Umum Barge

(Halaman ini sengaja dikosongkan penulis)



“Whatever good things we build, end up building us”

BAB 5

PERANCANGAN *PUSHER TUG*

5.1 Pendahuluan

Pada bab 5 ini merupakan bagian yang membahas mengenai proses desain *pusher tug* meliputi optimasi ukuran utama, proses perhitungan batasan, pembuatan desain rencana garis hingga desain rencana umum. Proses pembuatan desain *pusher tug* sangat memiliki terkaitan terhadap hasil desain dari barge pada bab 4.

5.2 Pembuatan Model Optimasi *Pusher Tug*

Setelah mendapatkan ukuran utama *barge* hasil optimasi serta desainnya, maka selanjutnya adalah melakukan proses optimasi terhadap ukuran utama *pusher tug* yang merupakan kapal yang akan mendorong *barge* yang sudah didesain sebelumnya.

Proses optimasi *pusher tug* sama halnya dengan proses optimasi *barge* yaitu menggunakan solver. Hanya beberapa bagian yang berbeda meliputi :

1. Nilai hambatan total *pusher tug* ditambahkan dengan nilai hambatan total *barge*. Hal ini berguna untuk memastikan pemilihan mesin *pusher tug* yang tepat untuk mampu mendorong *barge* yang telah didesain.
2. Terdapat perhitungan *machinery plant* dimana untuk *barge* tidak dilakukan.
3. Perhitungan LWT pada *pusher tug* menggunakan rumus pendekatan pada buku “*Practical Ship Design (Watson, 1998)*”. Sedangkan DWT pada *pusher tug* adalah *berat consumable* dan *crew*.

Berikut hasil optimasi ukuran utama *pusher tug* dengan menggunakan *solver*:

CHANGING VARIABLE							
Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark	
Ukuran Utama	Panjang	m	L	21.74	22.30	27.14	ACCEPTED
	Lebar	m	B	6.00	6.00	8.00	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	3.00	3.18	3.65	ACCEPTED
	Sarat	m	T	1.95	2.31	2.65	ACCEPTED
CONSTRAINT							
Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$Fn = V/(g \cdot Lpp)^{0.5}$			0.15	0.27	0.30	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0°	m	MG_0	0.15	2.35		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^\circ$	m	Ls_{30}	0.2	6.23		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada Ls maksimum	deg	Ls_{maks}	25	51.85		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30°	m.rad	Ld_{30}	0.055	0.261		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40°	m.rad	Ld_{40}	0.09	0.395		ACCEPTED
	Luas Kurva GZ antara $30^\circ - 40^\circ$	m.rad		0.03	0.13		ACCEPTED
Displacement	Koreksi Displacement	%		1%	1.25	5%	ACCEPTED
Freeboard	Fs	m	F		0.31	0.87	ACCEPTED
Trim	Selish Trim	%			-5.79	2.23	ACCEPTED
Rasio			L/B	2.92	3.72	4.02	ACCEPTED
			B/T	2.60	2.60	3.81	ACCEPTED
			T/H	0.64	0.73	0.73	ACCEPTED
OBJECTIVE FUNCTION							
Item	Unit	Symbol	Value				
Hull Cost	\$		247,708				
E & O Cost	\$		627,303				
Machinery cost	\$		1,006,814				
Total Cost	\$		1,881,825	<---- Target Cell			

Gambar 5. 1 Hasil Optimasi Ukuran Utama *Pusher Tug*

Maka dari hasil optimasi didapatkan ukuran utama dari *pusher tug* yaitu :

$$L = 22.30 \text{ m}$$

$$B = 6 \text{ m}$$

$$H = 3.18 \text{ m}$$

$$T = 2.31 \text{ m}$$

5.2.1 Perhitungan Hambatan *Pusher Tug*

A. Perhitungan Tahanan Gelombang (R_w / W)

$$F_n = 0.27$$

Untuk $F_n \leq 0.4$ maka ;

A.1 Perhitungan Koefisien C_1

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

dimana ;

$$B/L = 0.259$$

Untuk $B/L \geq 0.25$, maka $C_4 = 0.5 - 0.0625(L/B)$, yaitu :

$$L/B = 3.865$$

$$C_4 = 0.2585$$

$$\begin{aligned} iE &= 125.67 B/L - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + (LCB + 6.8 (T_a - T_f)/T)^3 \\ &= 24.456 \text{ deg} \end{aligned}$$

$$C_1 = 15.029 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.93})$$

A.2 Perhitungan Koefisien C_2

$C_2 =$ koefisien pengaruh bulbous bow

$$C_2 = e^{-1.89} \text{Abt. } R_b / B.T(R_b + i)$$

$C_2 = 1$, untuk kapal tanpa bulbous bow

A.3 Perhitungan Koefisien C_3

$C_3 =$ koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan

$$C_3 = \frac{1 - 0.8 \times A_T}{B \times T \times C_m} \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.93})$$

dimana ;

$$A_T = 0 \quad \text{m}^2$$

$$C_3 = 1$$

A.4 Parameter d

$$d = -0.9 \quad (\text{tetapan untuk } F_n \leq 0.4)$$

A.5 Perhitungan Koefisien C_5

$C_5 =$ koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (C_p)

dimana ;

$$C_p = 0.594$$

Untuk ($C_p \leq 0.8$), maka C_5 dihitung sebagai berikut :

$$C_5 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3$$

$$C_5 = 1.370$$

A.6 Perhitungan Koefisien C_6

koefisien pengaruh terhadap harga

$$C_6 = L^3/V$$

dimana ;

$$L^3/V = 2.74$$

Untuk ($L^3/V \leq 512$), maka C_6 adalah :

$$C_6 = -1.694 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.92})$$

A.7 Perhitungan Koefisien m_1

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.01404 L/T - 1.7525 V^{1/3}/L - 4.7932 B/L - C_5 \\ &= 0.01404 \times (22.3/2.31) - 1.7525 \times ((186.080^{1/3})/22.3) - 4.7932 \times 0.259 - \\ &= 1.370 \\ &= -3.720 \end{aligned}$$

A.8 Perhitungan Koefisien m_2

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times Fn^{(-3.29)}} \\ &= -1.694 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times 0.27^{(-3.29)}} \\ &= -0.0059 \end{aligned}$$

A.9 Perhitungan Koefisien l

l = koefisien pengaruh terhadap harga L/B

dimana ;

$$L/B = 3.86$$

Untuk ($L/B < 12$), maka l adalah :

$$\begin{aligned} l &= 1.446C_p - 0.03 L/B \\ &= (1.446 \times 0.594) - (0.03 \times \\ &= 3.86) \\ &= 0.743 \end{aligned}$$

A.10 Perhitungan W

$$\begin{aligned} W &= \rho g V \times 10^{-3} \quad \text{kN} \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.64 - 65}) \\ &= 1025 \times 9.81 \times 186.09 \times (10^{-3}) \\ &= 3) \\ &= 45.652 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Sehingga, harga R_w / W adalah :

$$\begin{aligned} R_w / W &= C_1 C_2 C_3 e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos (lFn^{-2})} \\ &= 0.0501 \end{aligned}$$

B. Perhitungan (1 + k)

B.1 Perhitungan Koefisien

1+k₁

$$1+k_1 = 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)}$$

dimana ;

c = koefisien bentuk
afterbody

c = 1 +

0.011c_{stern} >> C_{stern} = 0

= 1

for normal section shape

c stern = 25 for pram with gondola

c stern = 10 for V-shaped sections

c stern = 0 for normal section shape

for U-shaped sections with Hogner

c stern = 10 stern

B.2 Perhitungan L_R/L

$$L_R/L = 1 - C_p + 0.06C_p LCB / (4C_p - 1)$$

$$= 0.359$$

Sehingga, harga 1+k₁ adalah

:

$$1+k_1 = 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)}$$

$$= 1.042$$

B.3 Perhitungan Koefisien 1+k₂

Koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air.

$$1+k_2 = 2.8 \quad (\text{twin screw ships})$$

(ref : PNA vol.II, tabel 25, hal.92)

B.4 Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal

$$WSA = S = L(2T + B)C_M^{0.5}(0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WP}) + 2.38 A_{BT}/C_B$$

WSA =

S_{app} = A rudder

$$= c_1 * c_2 * c_3 * c_4 * ((1.75 * L * T) / 100)$$

c₁ = 1.7 for tug

c₂ = 1 general type rudder

c₃ = 1 for NACA

c₄ = 1 for rudder in propp jet

$$A_{rudder} = 0.937 \quad m^2$$

$$S_{app} = 16.234 \quad m^2$$

Maka, total luas permukaan basah kapal adalah

:

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= WSA + S_{\text{app}} \\ &= 164.514 + (16.234) \\ &= 180.748 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

B.6 Perhitungan Koefisien 1+k

$$\begin{aligned} 1+k &= 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] S_{\text{app}}/S_{\text{tot}} \\ &= 1.042 + [2.8 - 1.042] 16.234/180.748 \\ &= 1.2 \end{aligned}$$

C. Perhitungan Koefisien Gesek,

C_F

Untuk perhitungan harga koefisien gesek ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berdasarkan ITTC 1957, yaitu :

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.90})$$

dimana ;

$$R_n = \frac{v \cdot L \cdot W^2}{\nu}$$

$$\begin{aligned} \nu &= 1.18831 \times 10^{-6} \\ &= 120464338.12 \end{aligned}$$

(ref : PNA vol.II, hal.59)

untuk temperatur 15°C

$$\begin{aligned} C_F &= 0.075 / [\log (36015921.8) - 2]^2 \\ &= 0.002028 \end{aligned}$$

D. Perhitungan model-ship correlation allowance, C_A

$$C_A = 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad (\text{ref : PNA vol.II, hal.93})$$

dimana ;

$$T/L_{WL} = 0.099511$$

Untuk $(T/L_{WL} > 0.04)$, maka C_A adalah :

$$\begin{aligned} C_A &= 0.006 (23.19 + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\ &= 0.0007 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Hambatan Total, R_T

1. Hambatan *Pusher Tug*

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{tot}} [C_F (1+k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W \\ &= 0.5 \times 1.025 \times (4.11)^2 \times 180.75 \times [(0.00203 \times 1.2) + 0.0007] + (0.0501 \times 45.652) \\ &= 7.248 \quad \text{kN} \quad \sim +15\% \text{ margin} = 8.335 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Hambatan *Barge*

$$R_{\text{barge}} = 51.561 \quad \text{kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Hambatan Total} &= \text{Hambatan } \textit{Pusher tug} + \text{Hambatan } \textit{Barge} + 15\% \text{ margin} \\ &= 67.630 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.2.2 Perhitungan Daya Mesin *Pusher Tug*

Setelah didapatkan hambatan total *pusher tug* dan *barge* maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui BHP yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan 8 knot. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di lampiran. Hasilnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Break Horse Power, BHP} = 763.5684 \text{ HP}$$

Koreksi untuk jalur pelayaran di Asia Timur sebesar 15% - 20% (ITTC 1957)

$$\text{BHP} = \text{BHP} + 15\% \cdot \text{BHP}$$

$$= 763.5684 + 15\% \times 763.5684$$

$$= 837.7013 \text{ HP} \quad (\text{ref : } \textit{Practical Ship Design} , \text{ hal.224})$$

$$= 615.957 \text{ kW} \quad (\text{untuk musim panas di daerah Asia Timur, pakai } 15\%)$$

Service Margine (untuk *service margine* ditambahkan 15%)

$$\text{BHP} = \text{BHP} + 15\% \cdot \text{BHP}$$

$$= 837.7013 + 15\% \times 837.7013$$

$$= 963.0731 \text{ HP}$$

$$= 708.3503 \text{ kW}$$

Maka pemilihan mesin yang digunakan adalah Mesin Caterpillar Tipe C 12 dengan daya 526 kW (715 HP) yang merupakan mesin terendah dikelasnya sebanyak 2 buah.

Karena menggunakan sistem penggabungan *Rope Connection*, dimana terdapat kekurangan pada gabungan ini yaitu dapat terjadinya *losing power* karena faktor pengikatan yang berkurang sempurna atau faktor ketegangan tali. Maka daripada itu, guna menanggulangi hal tersebut besar BHP diberikan asumsi tambahan power sebesar 15%. Hal ini untuk memastikan bahwa pemilihan mesin *pusher tug* yang dapat menangani adanya *losing power* tersebut. Maka nilai akhir BHP untuk menentukan besaran mesin adalah :

$$= 963.0731 \text{ HP} + 15\% \times 963.0731$$

$$= 1107.534 \text{ HP}$$

Maka pemilihan mesin yang digunakan adalah Mesin Caterpillar Tipe C 12 dengan daya 526 kW (715 HP) yang merupakan mesin terendah dikelasnya sebanyak 2 buah.

5.2.3 Perhitungan *Displacement Pusher Tug*

1. Perhitungan LWT *Pusher Tug*

a. Perhitungan berat baja (Watson, 1998)

$$W_{st} = W_{si}' (1+0.05(Cb'-Cb))$$

- Perhitungan W_{si} ,

$$W_{si} = K.E^{1.36}$$

- Perhitungan faktor E,

$$E = L.(B+T) + 0.85.L(D-T) + 0.85(l_1.h_1)+0.75(l_2.h_2)$$

Dimana:

$$l_1 \text{ (Panjang bangunan atas)} = 11.15 \text{ m}$$

$$h_1 \text{ (tinggi } l_1) = 2.2 \text{ m}$$

$$l_2 \text{ (Panjang houses)} = 6.69 \text{ m}$$

$$h_2 \text{ (tinggi } l_2) = 2.2 \text{ m}$$

$$\text{maka } E = 233.640$$

- Nilai K berdasarkan Tabel 4.1 hal. 85

K untuk pusher tug berkisar antara 0.042-0.046, untuk perhitungan in diambil nilai $K = 0.044$

$$W_{si} = K.E^{1.36} = 73.228 \text{ Ton}$$

- Net Steel Weight

$$W_{si}' = W_{si} - (\%Scrap \cdot W_{si}).$$

Persen scrap menunjukkan sejumlah bagian baja yang hilang karena proses kerja. Nilai persen scrap merupakan fungsi dari Cb serta jenis dan ukuran kapal. Pendekatan grafik dilakukan untuk menentukan persen scrap.

Berdasarkan (Watson, 1998)

Cb	%Scrap
0.5	15
0.6	11
0.7	9
0.8	7
0.9	6
1	5

$$\%Scrap = 5,022Cb^{-1.57}$$

$$= 11.83 \%$$

Koreksi % scrap:

Kondisi		Min	Max	Diambil
60 m > L > 100 m	=	0.5 %	1 %	1%
45 m > L > 60 m	=	1%	2%	2%
L < 45 m	=	3%	3%	3%%
Besarnya penambahan yang digunakan				3%

Maka : % scrap = 14.83%

Wsi' = 62.371 Ton

Rumus diatas pada kapal dengan Cb 0,7 dan 0,8H. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi

$W_{st} = W_{si}' (1 + 0.05(Cb' - Cb))$

$Cb' = Cb + (1 - Cb) \cdot ((0.8 H - T) / 3.T) = 0.58$

Maka : $W_{st} = W_{si}' (1 + 0.05(Cb' - Cb))$

= 62.746 Ton

b. Perhitungan berat mesin

Berat *Machinery*

Daya Tiap Mesin = 526 Kw

Berat mesin = 1.2 ton ; dari katalog mesin

Jumlah Mesin = 2 Unit

Berat ME = 2.4 Ton

Berat *Auxiliary Engine*

Daya Tiap Mesin = 185 Kw

Berat tiap mesin = 0.5 ton ; dari katalog mesin

Jumlah Mesin = 2 Unit

Berat AE = 1 Ton

$W_{prop} + W_{electrical} + W_{ow} + W_m = \underline{51.66 \text{ ton}}$

c. Perhitungan peralatan dan perlengkapan (*Ship Design For Efficiency & Economy*)

$C_{alv} = 165 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$

$C_{eo \text{ main deck}} = 0.18 \text{ ton/m}^2$; Pendekatan 0,18 - 0,26

Luas *Main Deck* = 53.5160 m²

Berat *EO Main Deck* = 8.830 Ton

Luas *Poop Deck* = 46.8265 m²

Berat *EO Main Deck* = 7.726 Ton

Luas *Second Deck House* = 46.8265 m²

Berat EO <i>Second Deck House</i>	=	7.726	Ton
Luas <i>Wheel House</i>	=	46.8265	m ²
Berat EO <i>Wheel House</i>	=	7.726	Ton
Berat Total EO	=	<u>34.217</u>	<u>Ton</u>

Dari perhitungan LWT didapatkan total LWT = 156.637 Ton

2. Perhitungan DWT *Pusher Barge*

a. Berat bahan bakar

- MFO *Main Engine*

Daya <i>Main Engine</i>	=	615.956	kw
Jumlah Mesin	=	2	
Seatime	=	45	Jam
Koefisien konsumsi	=	0.000698	ton/kW.hr
Kebutuhan BB <i>Main Engine</i>	=	19.335	Ton
Koreksi 10%	=	1.933	Ton
Total BB <i>Main Engine</i> +(10%)	=	<u>21.268</u>	<u>Ton</u>

- MDO *Auxilliary Engine*

Daya <i>Auxilliary Engine</i>	=	185	kw
Jumlah Mesin	=	2	
<i>Turn Around Time</i>	=	45	Jam
Koefisien konsumsi	=	0.086	Ton/hour
Kebutuhan BB <i>Auxilliary Engine</i>	=	3.87	Ton
Koreksi 10%	=	0.387	Ton
Total BB <i>Auxilliary Engine</i> + 10%	=	<u>4.254</u>	<u>Ton</u>

b. Berat minyak pelumas

Dari Watson

Wlo dibutuhkan	=	0.031691	Ton
----------------	---	----------	-----

c. Berat air tawar

- Kebutuhan air tawar untuk mandi, minum, dan masak

Kebutuhan air tawar untuk crew	=	170	kg/person/days
Jumlah crew	=	10	orang
Waktu pelayaran	=	1.91	hari
Berat air tawar per trip	=	3.254	Ton

d. Berat makanan (<i>Provisions</i>)	
Konsumsi provisions	= 10 kg/person/days
Jumlah crew	= 10 orang
Turn Around Time	= 1.91 Hari
Berat provisions	= 957 kg
	= 0.957 ton

e. Berat orang dan bawaan	
Konstanta berat orang dan bawaan	= 170 kg/persons
Jumlah crew	= 10 orang
Berat crew dan bawaan	= 1700 kg
	= 1.7 Ton

Jadi Total DWT 31.4647 Ton

Displacement (LWT + DWT) = 188.101 Ton

Displacement (L.B.T.Cb.p) = 190.732 Ton

Selisih = 2.631 Ton

= 1.38 %

Selisih *displacement* masih dalam rentang 1% - 3%, maka ukuran utama yang dihasilkan dari proses *solver* memenuhi kriteria *displacement*.

Perhitungan *pusher tug* selengkapnya dapat dilihat di lampiran. Ukuran utama yang didapatkan dari proses optimasi *solver* ini telah memenuhi semua kriteria yang disyaratkan.

5.2.4 Perhitungan Biaya Pembangunan *Pusher Tug*

Perhitungan biaya pembangunan *pusher tug* ini terdiri dari 3 rumus pendekatan yaitu perhitungan terhadap berat baja, berat permesianan, dan perhitungan terhadap berat perlengkapan kapal. Perhitungan menggunakan rumus pendekatan dari (Watson, 1998).

➤ *Structural Cost*

$$y = -0.0000000011x^3 + 0.0000297994x^2 - 0.3899111919x + 3972.1153343$$

$$x = \text{Berat baja total} = 62.75 \text{ ton}$$

$$y = 3.984 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{maka, Total Structural Cost} = \$ 247.707,74$$

➤ *Out Fitting Cost*

$$y = -0.0000001095 x^3 + 0.0.0004870798x^2 - 3.1578067923x + 18440.6636$$

$x = \text{Berat } Outfitting \text{ total} = 34.22 \text{ ton}$

$y = 18.333 \text{ \$/Ton}$

maka, $\text{Total } Out \text{ Fitting } Cost = \$ 627.303,03$

➤ *Machinery Cost*

$y = -0.0000002814 x^3 + 0.0.0041959716x^2 - 11.60435515x + 20016.89635$

$x = \text{Berat } Machinery \text{ total} = 51.66 \text{ ton}$

$y = 19.424 \text{ \$/Ton}$

maka, $\text{Total } Machinery \text{ Cost} = \$ 1.003.769,87$

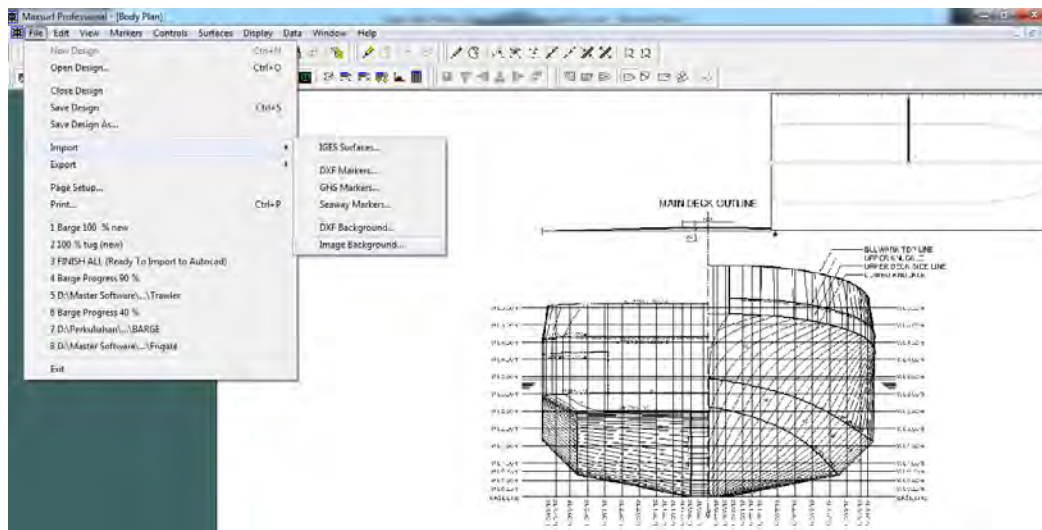
Total biaya pembangunan pusher tug tersebut adalah \$ 1.878.781

5.3 Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum *Pusher Tug*

5.3.1 Rencana Garis *Pusher Tug*

Dalam proses pembuatan desain rencana garis *pusher tug*, sama halnya dengan proses desain *barge*. Tetap menggunakan bantuan *software Maxsurf* dan *AutoCad*. Akan tetapi bentuk lambung *pusher tug* yang cukup sulit mengharuskan pendesain menggunakan referensi desain *pusher tug* dari luar. Referensi desain *pusher tug* dicari melalui bantuan *internet* guna mencari *template picture* desain *pusher tug*.

Selanjutnya tahap pertama yang dilakukan adalah mencari desain *pusher tug* sebagai referensi awal meliputi desain rencana garis tampak *body plan*, *sheer plan*, dan *halfbreath plan* yang sudah dalam format gambar atau JPG. Ketiga gambar tersebutlah yang akan menjadi acuan pembuatan *surface* pada *software Maxsurf*.



Gambar 5. 2 Proses *Input Image Background Maxsurf*

Lalu gambar-gambar referensi tersebut dimasukkan ke dalam *Maxsurf* dengan perintah *file > import > image background*. Proses input gambar-gambar tersebut harus disesuaikan antara jenis gambar dengan pandangan layar. Misalkan gambar *bodyplan* diinput terhadap layar tampak *bodyplan*.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan *surface* dengan menjadikan *image background* tersebut sebagai patokan *control point*. Proses perubahan *control point* guna menyerupai bentuk *image background* dilakukan pada setiap layar pandangan. Selanjutnya sama halnya dalam proses desain *barge*, perubahan pada ukuran *surface ship* kepada ukuran utama hasil optimasi. Kemudian dilakukan pengecekan terhadap nilai hidrostatisnya dan dibandingkan dengan hasil perhitungan optimasi *pusher tug*.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	191.267	tonne
2	Volume	186.602	m ³
3	Draft to Baseline	2.31	m
4	Immersed depth	2.31	m
5	Lwl	22.105	m
6	Beam wl	6.373	m
7	WSA	178.013	m ²
8	Max cross sect area	11.703	m ²
9	Waterplane area	131.485	m ²
10	Cp	0.721	
11	Cb	0.573	
12	Cm	0.805	
13	Cwp	0.933	
14	LCB from zero pt	12.026	m
15	LCF from zero pt	10.771	m
16	KB	1.478	m
17	KG	0	m
18	BMt	2.19	m
19	BMI	26.005	m
20	GMt	3.668	m
21	GMI	27.483	m
22	KMt	3.668	m
23	KMI	27.483	m
24	Immersion (TPc)	1.348	tonne/cm
25	MTc	2.357	tonne.m
26	RM at 1deg = GMT.Di	12.245	tonne.m
27	Precision	Medium	50 station

Density: 1.025 tonne/m³ Recalculate

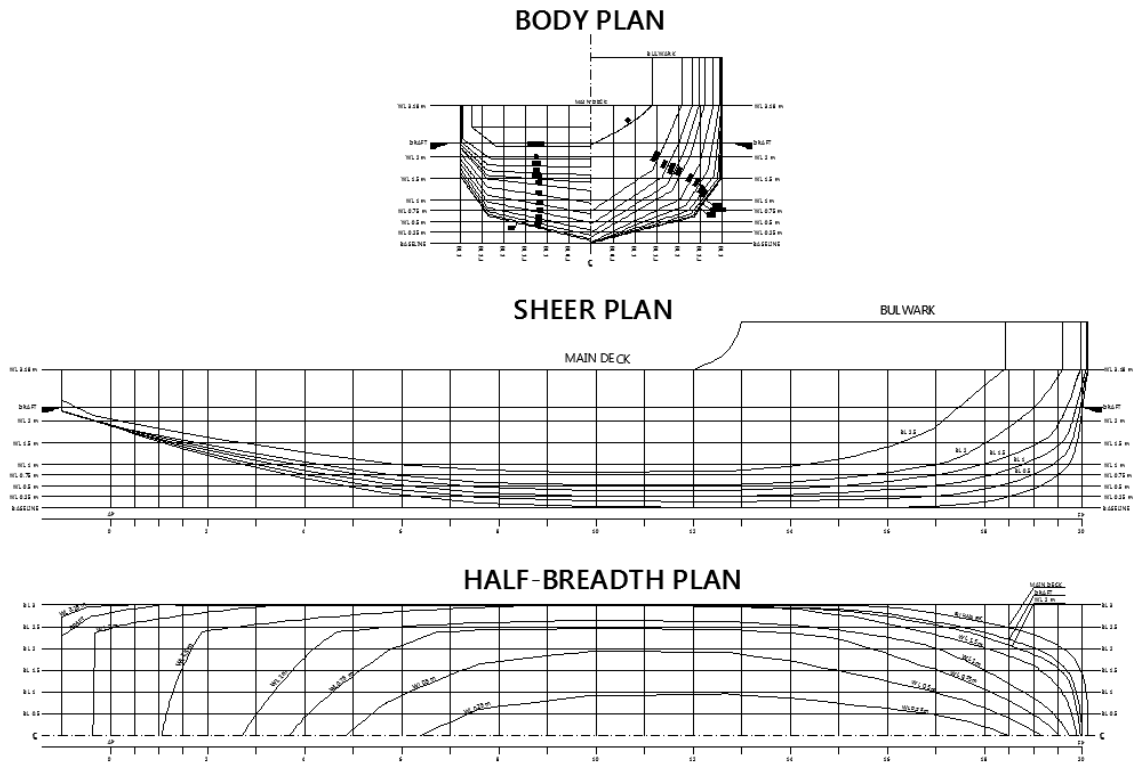
VCG: 0 m Close

Gambar 5. 3 Data Hidrostatik *Pusher Tug*

Nilai *displacement* pada data hidrostatis : 191.267 ton

Nilai *displacement* pada perhitungan optimasi : 190.732 ton

Selisih dari keduanya adalah sebesar 0.535 ton atau sekitar 0.28 %. Dengan nilai selisih kurang dari 1% maka desain *pusher tug* hasil *Maxsurf* tersebut telah masuk dalam kriteria dan dapat digunakan untuk proses selanjutnya. Berikut gambar desain rencana garis daris *pusher tug* tersebut :



Gambar 5. 4 Rencana Garis *Pusher Tug*

5.3.2 Rencana Umum *Pusher Tug*

Dalam proses pembuatan desain rencana umum *pusher tug*, sepenuhnya menggunakan software *AutoCad*. Diawali dengan penentuan jarak gading. Jarak gading yang diambil adalah 500 mm pada umumnya.

1. Penentuan Posisi Sekat

Selanjutnya peletakan sekat-sekat utama meliputi sekat tubrukan, sekat depan kamar mesin, dan sekat belakang kamar mesin. Sekat tubrukan diposisikan pada jarak 1.8 m dari FP karena hasil perhitungan sekat tubrukan maksimal berjarak 1.884 m dari FP (0.08 Lc) berdasarkan rule BKI. Lalu sekat depan kamar mesin berposisi di 7.5 m dari FP dan sekat belakang kamar mesin atau sekat pemisah antara ruang mesin dengan *steering gear room* berada di posisi 1 meter dari AP.

2. Ruang Akomodasi

Jumlah kru yang direncanakan berdasar perhitungan optimasi adalah 10 orang.

Berikut rincian pembagian tugas dari kru-kru tersebut :

- Kapten (1)
- Kepala Kamar Mesin (1)
- Mualim (1)
- Koki (1)
- Masinis 1 (1)
- Masinis 2 (1)
- Oiler (1)
- Elektrisi (1)
- Juru Kemudi (1)
- Kadet (1)

Pembagian ruang tidur dimana kapten dan kepala kamar mesin berada di *poop deck* sedangkan kru lainnya berada di ruang tidur dengan masing-masing kapasitas 2 orang di *main deck* (4 kamar).

3. Mooring Equipment

Dalam menentukan peralatan labuh, penentuan pemilihan alat labuh ditentukan dengan menghitung *Equipment Number (Z)* (*Section 18, BKI 2009 Vol II*).

$$Z = \Delta^{2/3} + 2hB + A/10$$

$$Z = (190.732)^{2/3} + 2(10.364*6) + 104.4398/10$$

$$Z = 167.9$$

Setelah mendapatkan *Z number* tersebut, dilakukan pemilihan *equipment* berdasarkan tabel yang tertera pada "*section 18, BKI Vol. II*" untuk nilai *Z* antara 150-175.

Di bawah ini merupakan alat labuh dan tambat yang direncanakan pada *pusher tug*:

- 2 buah Jangkar 480 kg (*Stockless Anchor*)
- Rantai Jangkar 275 m (diameter 22 mm)
- 2 buah *Winch, gear motor*
- 2 buah *Poly Propylene Rope (Towing)*, 2-1/2", 180 meter (100 kN)
- 4 buah Tali Tambat, 120 m, 55 kN
-

4. *Navigation Light*

Penentuan *navigation light* berdasarkan *COLREG – International Regulation for Preventing Collision at Sea – International Regulation for Preventing Collision at Sea – Rule 21-24 and 30*.

○ *Anchor Light*

Anchor light terletak di bagian haluan kapal, dengan ketentuan sebagai berikut :

- Jumlah 1 buah.
- Sudut 360° pada bidang horisontal.
- Dapat dilihat pada jarak minimal 3 mil.

○ *Side light*.

Side light terletak di bagian ujung tepi haluan, dengan terpasang pada kedua sisi kapal :

- Pada lambung sisi kanan berwarna hijau.
- Pada lambung sisi kiri berwarna merah.
- Bersudut 112,5° dari sisi lambung ke arah luar.
- Dapat dilihat sejauh 2 mil dari depan kapal.
- Dapat dilihat dari sisi lambung ke arah luar.

○ *Mast head light*

- Terletak di atas ruang navigasi
- Warna lampu putih
- Sudut sinar 225°
- Jarak sinar 5 mil

○ *Stern Light*

Stern light terletak di bagian belakang kapal. Pada tugboat ini terpasang *stern light* tepat pada geladak *centerline* buritan.

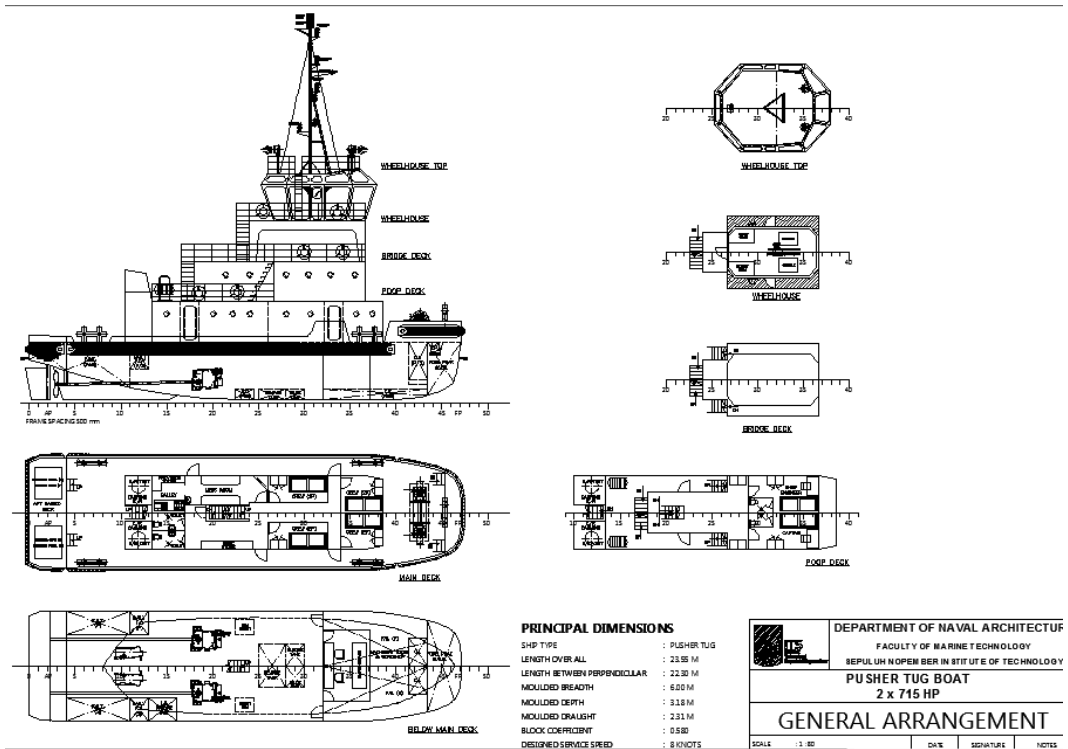
- warna lampu putih berjumlah 1 buah.
- Sudut 135° pada bidang horisontal.
- Dapat dilihat pada jarak minimal 2 mil.
- Tinggi < lampu jangkar.

5. *Safety Equipment*

Di bawah ini alat-alat keselamatan yang direncanakan pada kapal.

- 2 buah *Life raft* kapasitas 10 orang, diletakkan pada *poop deck*, kanan dan kiri.
- 10 buah *life jacket*, terdapat di masing-masing kamar kru.
- 16 *Life buoy*, terpasang di kanan dan kiri *deck house*.
- Botol pemadam *powder*, botol pemadam CO₂, dan botol pemadam *foam*, masing-masing 2 buah.

Selanjutnya setelah mengetahui seluruh informasi mengenai rencana umum *pusher tug*, maka dilakukan ketahap pembuatan desain rencana umum dengan menggunakan *software Autocad*. Berikut hasil dari desain rencana umum *pusher tug*:



Gambar 5. 5 Rencana Umum *Pusher Tug*

(Halaman ini sengaja dikosongkan oleh penulis)



“Smooth sea never made a skilled sailor”

BAB 6

PERANCANGAN INTEGRATED TUG BARGE

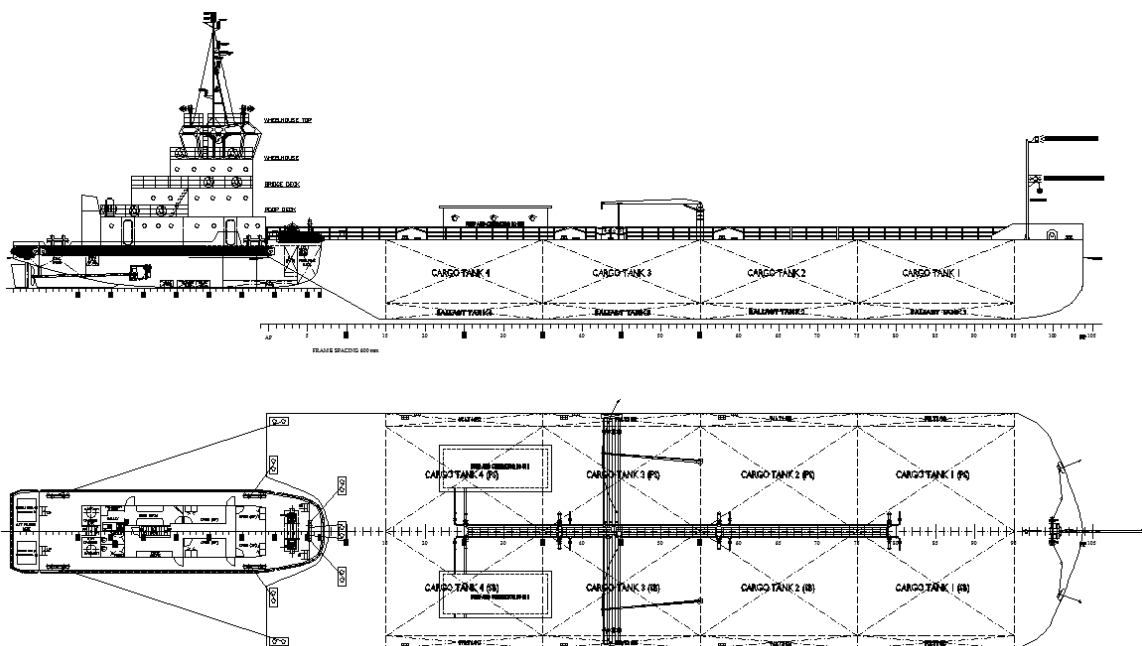
6.1 Pendahuluan

Pada bab 4 telah didapatkan desain rencana umum dari *barge* dan pada bab 5 telah didapatkan desain rencana umum dari *pusher tug*. Maka dalam bab ini akan dibahas mengenai penggabungan desain menjadi *integrated tug barge*, sambungan yang digunakan, harga pembangunan gabungan, dan desain rencana umum *integrated tug barge*.

6.2 Pemilihan Pengikatan *Integrated Tug Barge*

Teknik penyambungan pada *integrated tug barge* ada 2 seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2. Dalam penggabungan desain rencana umum *barge* dengan rencana umum *pusher tug*, penulis memilih teknik penyambungan *rope connection*. Hal ini dikarenakan beberapa hal sebagai berikut :

1. Biaya menggunakan *rope connection* lebih murah dibandingkan *mechanical connection*. Dari awal proses desain, fungsi objektif dari pembangunan kapal *integrated tug barge* ini adalah mencari nilai biaya pembangunan yang seminimum mungkin.
2. Dengan menggunakan *rope connection*, jikalau dikemudian hari salah satu dari kapal digantikan perannya maka tidak dibutuhkan penanganan khusus asalkan kapal yang digantikan perannya saling memenuhi. Misalkan *pusher tug* kemudian hari digantikan perannya oleh *pusher tug* lainnya, cukup mencari *pusher tug* yang memiliki daya mesin cukup untuk mendorong barge. Serta kebalikannya terhadap *barge*.
3. Dikarenakan daerah pelayaran hanya disungai yang tidak memiliki gelombang ombak , maka menurut penulis dengan menggunakan *rope connection* kapal tersebut sudah cukup memadai.

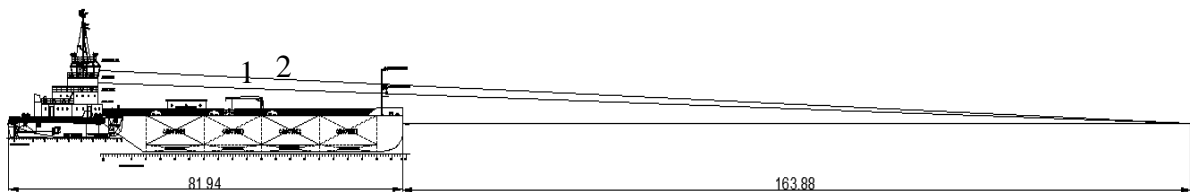


Gambar 6. 1 Rencana Umum *Integrated Tug Barge*

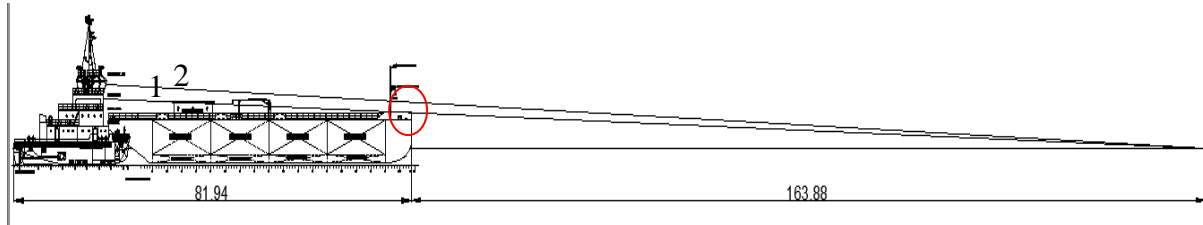
6.3 Operation Visibility Integrated Tug Barge

Masalah utama dalam desain *Integrated Tug Barge* ini adalah mengenai *Operation Visibility*. Hal ini diatur dalam SOLAS Chapter V Reg. 22 dimana kapal dengan panjang keseleruhan lebih dari 55 m, jarak penglihatan dari Ruang Kemudi (*Wheel House*) tidak kurang dari $2 \times L_{oa}$ atau 500 m. Nilai yang dipilih adalah nilai yang terkecil dari keduanya. L_{oa} *Integrated Tug Barge* sebesar 81.94 m. Berarti nilai dari $2 \times L_{oa}$ sebesar 163.88 m.

Dari proses awal desain pada *pusher tug*, *superstructure* ditambahkan satu dengan alasan supaya *Wheel House* memiliki jarak pandang yang cukup sesuai peraturan SOLAS. Maka berikut pembuktian secara pengukuran dimana garis 1 merupakan garis pandangan jika *wheel house* tidak ditinggikan 1 *superstructure* dan garis 2 merupakan garis pandang dimana *wheel house* ditinggikan 1 *superstructure*.



Gambar 6. 2 Jarak Pandang Saat Kapal Keadaan Muatan Penuh



Gambar 6. 3 Jarak Pandang Saat Kapal Keadaan Muatan Kosong

Dapat dilihat bahwa jarak pandang tidak mengalami permasalahan jika keadaan kapal bermuatan penuh. Akan tetapi dalam keadaan kapal kosong, posisi yang dapat mencapai jarak pandangan yang ditentukan hanya posisi garis 2. Garis 1 mengalami halangan penglihatan (lingkaran merah) pada bagian *forecastle*. Sehingga penempatan *wheel house* dengan posisi pandangan garis 2 tidak dapat dilakukan karena terkendala akan jarak pandang. Sehingga penempatan *wheel house* pada jarak pandang garis 2 sudah tepat guna memenuhi jarak pandangan yang ditentukan.

6.4 Total Biaya Pembangunan *Integrated Tug Barge*

Total biaya pembangunan *integrated tug barge* didapatkan dengan menjumlahkan *total cost* dari *barge* dan *pusher tug*.

Total cost barge = \$ 1.567.108

Total cost pusher tug = \$ 1.878.781

Total cost Integrated Tug Barge = \$ 3.445.889 ~ Rp. 42.959.893.905,42-



*“Self-praise is for losers. Be a winner is who stand for something, always have class,
and be humble”*

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Pendahuluan

Pada bab 7 ini berisi beberapa hal meliputi hasil kesimpulan dan seluruh proses perancangan *integrated tug barge* yang telah dilakukan dan dibahas pada bab sebelumnya serta berisikan saran akan penelitian Tugas Akhir selanjutnya.

7.2 Kesimpulan

Dari hasil proses perhitungan optimasi yang memenuhi kriteria-kriteria dan proses desain, maka didapatkan ukuran utama *integrated tug barge* yaitu :

1. Ukuran Utama *Barge* (Tongkang)
 - L (Panjang) = 62.24 m
 - B (Lebar) = 18 m
 - H (Tinggi) = 6.1 m
 - T (Sarat) = 4.74 m
2. Ukuran Utama *Pusher Tug* (Kapal Tunda)
 - L (Panjang) = 22.30 m
 - B (Lebar) = 6 m
 - H (Tinggi) = 3.18 m
 - T (Sarat) = 2.31 m
 - Mesin = 2x715 HP *Cartepillar Type C12*

Sedangkan panjang total dari *Integrated Tug Barge* hasil penggabungan keduanya adalah 81.94 meter dan menggunakan sistem penggabungan *rope connection*. Total perkiraan *cost* yang digunakan untuk membangun *integrated tug barge* sebesar \$ 3.445.889 atau setara dengan Rp. 42.959.893.905,42-

7.3 Saran

Perhitungan yang dilibatkan hanya perhitungan terhadap masing-masing kapal, diperlukannya perhitungan kriteria-kriteria tersebut terhadap desain hasil penggabungan yaitu perhitungan untuk satu kesatuan kapal *integrated tug barge*. Hal ini untuk membuktikan apakah kapal hasil gabungan tersebut memenuhi kriteria-kriteria tersebut apa tidak.

Perhitungan biaya pembangunan secara rill dan terperinci dibutuhkan karena perhitungan pada proses ini hanya menggunakan perhitungan terhadap material dengan rumus pendekatan dimana tidak meliputi perhitungan harga jasa.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. (2014). *Rules For Building And Classing Stell Barge*.
- DEPPERIN. (2007). *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*. Jakarta: Departemen Perindustrian Republik Indonesia.
- id.beritasatu.com*. (2014, Januari 15). Retrieved Mei 19, 2014, from Inverstor Daily Berita Satu Web Site: <http://id.beritasatu.com/agribusiness/ekspor-cpo-tahun-ini-akan-tembus-19-juta-ton/72441>
- IMO. *Intact Stability Code, Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments*. London, UK : IMO
- IMO. 1983. *International Conference on Tonnage Measurement of Ship 1969*. London, UK : IMO
- IMO. 2005. *LOAD LINES, Consolidated Edition 2005*. London, UK : IMO
- IMO. 2002. *MARPOL 73/78, Consolidated Edition 2002*. London, UK : IMO.
- IMO. 2004. *SOLAS, Consolidated Edition 2004*. London, UK : IMO.
- Lamb, T. (2004). *Ship Design & Construction, Volume 2*. New Jersey: the Society of Naval Architecs and Marine Engineers.
- Lewis, Edward V. 1980. *Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration*. Jersey City, NJ : *The Society of Naval Architects & Marine Engineers*.
- Parsons, Michael G. 2001. *Parametric Design, Chapter 11*. University of Michigan, Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.
- pekanabru.tribunnews.com*. (2014, Januari 26). Retrieved Mei 18, 2014, from Tribunnews Pekanbaru, Tribun Network: <http://pekanbaru.tribunnews.com/2014/01/26/cpo-tetap-menjadi-komoditi-primadona-di-pelabuhan-dumai>
- PT. Sumber Surya Kencana INHU*. (2010). Retrieved Mei 25, 2014, from SK GROUP INHU: <http://skgroup.co.id/operation.php>
- riau.bps.go.id*. (2012). Retrieved Mei 15, 2014, from riau.bps.go.id
- Taggart, Robert. (1980). *Ship Design and Construction*. SNAME.
- Utama, Danu. (2013). *Perancangan Integrated Tug-Barge (ITB) Pengangkut*

CNG(*Compressed Natural Gas*) yang Sesuai Untuk Perairan Sembakung-Nunukan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Schneekluth, H and V. Bertram. 1998. *Ship Design Efficiency and Economy, Second Edition* . Oxford, UK : Butterworth Heinemann

Watson, D. (1998). *Practical Ship Design*. Scotland: ELSEVIER.

Wikipedia. (2014). *Wikipedia*. Retrieved Mei 21, 2014, from id.wikipedia.org:
http://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_tunda

LAMPIRAN

1. Perhitungan *Barge*

Data Kapal Pemanding

Persyaratan

- 1 Service Speed = 8 knot
 2 Rute = Pekanbaru - Dumai
 3 Muatan = CPO (*Crude Palm Oil*)
 4 Payload = 4300 ton

Data Kapal Pemanding

No.	Nama Kapal	Bendera	DWT (ton)	GT	LPP (m)	B (m)	H (m)	T (m)	L/B	B/T	T/H	Tahun Pembuatan	Classification
1	SUMBER KENCANA 1	Indonesia	3500	1373	62.430	18.000	4.400	3.400	3.468	5.294	0.773	2003	BKI
2	SUMBER KENCANA 2	Indonesia	4000	2354	74.910	22.000	5.300	4.300	3.405	5.116	0.811	2007	BKI
3	SUMBER KENCANA 3	Indonesia	5000	2576	80.760	21.340	5.490	4.490	3.784	4.753	0.818	2012	BKI
4	SUMBER KENCANA 4	Indonesia	4300	2385	79.010	21.340	5.180	4.180	3.702	5.105	0.807	2008	BKI
5	SUMBER KENCANA 5	Indonesia	5000	2583	80.760	21.340	5.490	4.490	3.784	4.753	0.818	2010	BKI
6	SUMBER KENCANA 7	Indonesia	5000	2560	80.760	21.340	5.490	4.490	3.784	4.753	0.818	2011	BKI
7	SUMBER KENCANA 8	Indonesia	4000	2371	79.010	23.140	5.180	4.180	3.414	5.536	0.807	2007	BKI
8	SUMBER KENCANA 9	Indonesia	4800	2558	80.760	21.430	5.490	4.490	3.769	4.773	0.818	2009	BKI
9	SUMBER KENCANA 10	Indonesia	5000	2580	80.760	21.340	5.48	4.480	3.784	4.763	0.818	2009	BKI
10	SUMBER KENCANA 11	Indonesia	5000	2576	80.760	21.340	5.490	4.490	3.784	4.753	0.818	2011	BKI
11	SUMBER KENCANA 12	Indonesia	5000	2576	80.760	21.340	5.490	4.490	3.784	4.753	0.818	2011	BKI
12	SUMBER KENCANA 14	Indonesia	5000	2666	76.080	21.340	6.100	5.100	3.565	4.184	0.836	2011	BKI
13	SUMBER KENCANA 16	Indonesia	3500	2090	69.050	20.730	5.180	4.180	3.331	4.959	0.807	2011	BKI
14	MITRA BAHARI 8	Indonesia	5000	2578	80.760	21.340	5.490	4.490	3.784	4.753	0.818	2012	BKI
15	MITRA BAHARI 10	Indonesia	5000	2689	76.080	21.340	6.100	5.100	3.565	4.184	0.836	2010	BKI
16	BSI 4	Indonesia	5000	2666	76.080	21.540	6.100	5.100	3.532	4.224	0.836	2012	BKI
17	BSI 2	Indonesia	5000	2666	76.080	21.540	6.100	5.100	3.532	4.224	0.836	2011	BKI
18	MITRA BAHARI 5	Indonesia	3250	1493	61.450	18.290	4.880	3.880	3.360	4.714	0.795	2004	BKI
MIN			3250	1373	61.45	18	4.4	3.4	3.331	4.184	0.773		
MAX			5000	2689	80.76	23.14	6.1	5.1	3.784	5.536	0.836		

PROSES OPTIMASI PERENCANAAN BARGE

CHANGING VARIABLE

	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Ukuran Utama	Panjang	m	L	61.45	62.24	80.76	ACCEPTED
	Lebar	m	B	18.00	18.00	23.14	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	4.40	6.10	6.10	ACCEPTED
	Sarat	m	T	3.40	4.74	5.10	ACCEPTED

CONSTRAINT

Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$F_n = V/(g \cdot L_{pp})^{0.5}$			0.15	0.17	0.22	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0^0	m	MG_0	0.15	7.94		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^0$	m	L_{S30}	0.2	2.97		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada L_s maksimum	deg	$L_{s_{maks}}$	25	46.37		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30^0	m.rad	L_{d30}	0.055	1.205		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40^0	m.rad	L_{d40}	0.09	1.900		ACCEPTED
	Luas Kurva GZ antara $30^0 - 40^0$	m.rad		0.03	0.69		ACCEPTED
Freeboard	F_s	m	F		1.36	1.36	ACCEPTED
Displacement	Koreksi displacement	%		1.00%	1.0%	5.00%	ACCEPTED
Trim	Selisih Trim	%			2.37	6.22	ACCEPTED
Rasio			L/B	3	3.46	10	ACCEPTED
			B/T	2	3.79	10	ACCEPTED
			L/T	10	13.12	30	ACCEPTED

OBJECTIVE FUNCTION

	Item	Unit	Symbol	Value
	Hull Cost	\$		1,271,799
	E & O Cost	\$		295,309
	Total Cost	\$		1,567,108

<---- Target Cell

Coeffisien calculation

Input Data :

$L_o =$	62.24 m	$L_o/B_o =$	3.458
$H_o =$	6.10 m	$L_o/T_o =$	13.121
$B_o =$	18.00 m		
$T_o =$	4.74 m	$V_s =$	8 knot
			4.115 m/s
$F_n =$	0.17	$\rho =$	1.025

Perhitungan :

• Froude Number Dasar

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$= 0.17$$

Principle of Naval Architecture Vol.II hlm.154

• Perhitungan ratio ukuran utama kapal :

$$L_o/B_o = 3.5 \rightarrow 3.4 < L/B < 10$$

$$L_o/T_o = 13.1 \rightarrow 10 < L/T < 30$$

$$B_o/T_o = 3.8 \rightarrow 1.8 < B/T < 10$$

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

• Block Coeffisien (Watson & Gilfillan) :

$$C_b = -4.22 + 27.8 \sqrt{F_n} - 39.1 F_n + 46.6 F_n^3 \rightarrow 0.15 \leq F_n \leq 0.3$$

$$= 0.829$$

Parametric design halaman 11-11

• Midship Section Coeffisien (Series 60')

$$C_m = 0.977 + 0.085(C_b - 0.6)$$

$$= 0.996$$

Parametric design halaman 11-12

• Waterplan Coeffisien

$$C_{wp} = 0.180 + 0.860 C_p$$

$$= 0.895$$

Parametric design halaman 11-16

• Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

$$LCB = (8.80 - 38.9 F_n) + L/2$$

$$= 33.440329 \text{ LCB dari } A_p$$

Parametric design halaman 11-19

• Prismatic Coeffisien

$$C_p = C_b / C_m$$

$$= 0.831$$

• Lwl

$$L_{wl} = 104\% L_{pp}$$

$$= 64.727304 \text{ m}$$

• ∇ (m3)

$$\nabla = L \cdot B \cdot T \cdot C_B$$

$$= 4578.738 \text{ m}^3$$

• Δ (ton)

$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho$$

$$= 4693.207 \text{ ton}$$

Resistance Calculation

[Holtrup & Mennen Method]

Input Data :

Lo =	62.24 m	Cb =	0.829
Ho =	6.10 m	Cm =	0.996
Bo =	18.00 m	Cwp =	0.895
To =	4.74 m	Cp =	0.831

Choice No.	C _{stern}	Used for
1	-25	Pram with Gondola
2	-10	V - Shaped Sections
3	0	Normal Sectional Shape
4	10	U - Shaped Section With Hogner Stern

Perhitungan :

Viscous Resistance

$$Lwl = 104\% \cdot Lpp = 64.7273 \text{ m}$$

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} = 0.17$$

• C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)

PNA Vol II hlm. 100

$$R_n = L_{wl} \cdot \frac{Vs}{v} \quad v = 1.18831 \cdot 10^{-6}$$

$$= 224155146.41$$

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

$$= 0.001860$$

• Harga 1 + k₁

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.487 \cdot C \left(\frac{B}{L} \right)^{1.0681} \cdot \left(\frac{T}{L} \right)^{0.4611} \cdot \left(\frac{L}{L_R} \right)^{0.1216} \cdot \left(\frac{L^3}{\nabla} \right)^{0.3649} \cdot (1 - C_p)^{-0.6042}$$

$$= 1.512$$

c = 1 + 0.011 C_{stern} c_{stern} = 0, karena bentuk Afterbody normal
= 1

PNA Vol II hlm. 100

$$\frac{L_R}{L} = 1 - C_p + \frac{0.06 C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)}$$

$$= 0.218 \quad 18.33716618 \text{ m}$$

$$Lwl^3 / \nabla = 59.227$$

LCB = 2.321433

Resistance of Appendages

• Wetted Surface Area

A_{BT} = cross sectional area of bulb in FP
= 10% . B.T.Cm
= 0 → tanpa bulb

$$S = L(2T + B) C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 \frac{B}{T} + 0.3696 C_{wp}) + 2.38 \frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$= 1513.307$$

$$S_{Rudder} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \frac{1.75 \cdot L \cdot T}{100} \quad \text{dengan } L = Lpp$$

$$= 0.000$$

BKI 2009 Vol II

$$S_{Bilge\ Keel} = L_{Keel} \cdot H_{Keel} \cdot 4 \quad L_{Keel} = 0.6 \cdot Cb \cdot Lwl \quad H_{Keel} = 0.18 / (Cb - 0.2)$$

$$= 0.000 \quad = 0 \quad = 0$$

Watson 1998, hal 254

S_{app} = total wetted surface of appendages

$$= S_{Rudder} + S_{Bilge\ Keel}$$

$$= 0.000$$

S_{tot} = wetted surface of bare hull and appendages

$$= S + S_{app}$$

$$= 1513.307$$

• Harga 1 + k₂

$$(1+k_2)_{\text{effective}} = \frac{\sum S_i (1+k_2)_i}{\sum S_i}$$

$$= 0$$

Harga (1+k₂) = 1.3 - 1.5 → rudder of single screw ship
= 1.4 → for Bilge Keel

$$1+k = 1+k_1 + [1+k_2 - (1+k_1)] \frac{S_{\text{Bilge Keel}}}{S_{\text{tot}}}$$

$$= 1.512$$

Wave Making Resistance

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} \left(\frac{T}{B}\right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$$

$$= 43.728$$

$$C_4 = 0.5 - 0.0625(L/B) \rightarrow B/L \geq 0.25 \quad B/L = 0.278$$

$$= 0.278$$

$$\text{Even Keel} \rightarrow \begin{matrix} T_a = T \\ T_f = T \end{matrix}$$

$$i_E = 12567 \frac{B}{L} - 16225 C_p^2 + 23432 C_p^3 + 0.155 \left(LCB + \frac{6.8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

$$i_E = 62.663 \text{ drg}$$

• Harga m₁

$$m_1 = 0.01404 \frac{L}{T} - 1.7525 \nabla^{1/3} / L - 4.7932 B / L - C_5$$

$$= -2.735$$

$$C_5 = 1.7301 - 0.7067 C_p \rightarrow C_p \geq 0.8$$

$$= 1.146$$

• Harga m₂

$$m_2 = C_6 \cdot 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad \begin{matrix} F_n^{-3.29} = 364.05620 \\ e^{-0.034 F_n^{-3.29}} = 0.00000 \end{matrix}$$

$$= 0.000$$

$$C_6 = -1.69385 \rightarrow L3 / \nabla \leq 512 \quad \frac{L^3}{\nabla} = 59.730$$

• Harga λ

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad L/B \rightarrow \leq 12$$

$$= 1.094$$

• Harga C₂

$$C_2 = 1 \rightarrow \text{without Bulb} \quad d = -0.9$$

• Harga C₃

$$C_3 = 1 - 0.8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M)$$

$$= 1$$

$$A_T = 0$$

A_T = the immersed area of the transom at zero speed

Saat V = 0, Transom tidak tercelup air

• Harga R_{w/w}

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

$$= 0.0000482$$

• C_A (Correlation Allowance)

$$C_A = 0.006 (Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 \rightarrow Tl/Lwl \geq 0.04$$

$$= 0.0006$$

• W (Gaya Berat)

$$W = \rho \cdot g \cdot \nabla$$

$$= 46040.358 \text{ N}$$

• R_{total}

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{wet}} [C_r (1+k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W$$

$$= 44835.64197 \text{ N}$$

$$= 44.836 \text{ kN}$$

• R_{total}+15%(margin)

$$= 51.561 \text{ kN}$$

Freeboard Calculation

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

Input Data :

$$\begin{aligned} L &= 62.24 \text{ m} \\ B &= 18.00 \text{ m} \\ D &= 6.10 \text{ m} \\ d_1 &= 85\% \text{ Moulded Depth} \\ &= 5.19 \text{ m} \\ C_B &= 0.829 \\ \text{Tipe kapal} &= \text{Type A} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} S &= I_{\text{Poop}} + I_{\text{FC}} \\ &= 0.00 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan :

• Freeboard Standard

$$F_b = 855.00 \text{ mm}$$

Regulation 28 Table 28.1

• Koreksi

1. Koreksi untuk Kapal dibawah 100 m

Regulation 29 Correction for depth

untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100$ m dan mempunyai superstructure tertutup dengan panjang mencapai $35\%L$

$$F_{b1} = 7.5 (100-L)(0.35 - E/L)$$

$$E = 0 \text{ m}$$

$E < 35\% L$, maka tidak terdapat koreksi

$$\text{Koreksi} = 99.12579482$$

$$F_{b1} = 0$$

2. Koreksi Cb

Regulation 30 Correction for Cb

Jika $C_b < 0.68$

$$F_{b2} = F_b \cdot [(C_b + 0.68)/1.36]$$

$$= 109.95 \text{ mm}$$

3. Koreksi Depth (D)

Regulation 31 Correction for depth

Untuk kapal dengan harga $D > L/15$ maka dikoreksi sebagai berikut :

$$F_{b3} = R(D-L/15) \text{ [mm]}$$

$$R = L/0.48 \quad (\text{untuk } L < 120\text{m})$$

$$= 129.66$$

$$D = 6.100 \text{ mm}$$

$$\text{Jika } D > L/15 \text{ maka } F_{b3} = F_{b2} + (R(D-(L/15)))$$

$$L/15 = 4.149186163$$

$$F_{b3} = 362.90 \text{ mm}$$

4. Koreksi Bangunan Atas (Super Structure)

Regulation 33-34 Correction for Superstructure

Kapal Tongkang tidak memiliki bangunan atas, maka tidak ada koreksi

5. Koreksi Sheer

Regulation 38 Correction for Sheer

Kapal tongkang tidak menggunakan sheer, maka :

$$\text{Tinggi Sheer di FP} = 0.00 \text{ m} \quad (S_f)$$

$$\text{Tinggi Sheer di AP} = 0.00 \text{ m} \quad (S_a)$$

koreksi kelengkungan =

$$A = 1/6 [2.5 (L+30) - 100(S_f-S_a)] \times [0.75 - S/2L]$$

$$A = 27.82431014 \text{ mm}$$

$$B = 0.125 * L$$

$$B = 7.779724056 \text{ mm}$$

Maka, koreksi LMK yang digunakan adalah

$$A = 27.82 \text{ mm}$$

• Minimum Bow height

Regulation 39 Req. bow height

Kapal Tongkang tidak menggunakan bow, maka

$$F_{b6} = 0 \text{ mm}$$

• **Batasan Freeboard**

Actual Freeboard

$$\begin{aligned} F_{ba} &= H - T \\ &= 1.3567 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Total Calculation Freeboard

$$\begin{aligned} F_b &= 1355.67 \quad \text{mm} \\ F_b &= 1.3557 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Kondisi ($F_{ba} - F_b$)= Accepted (*karena $F_{ba} > F_b$ maka Accepted*)

EQUIPMENT & OUTFITTING WEIGHT CALCULATION

[ABS Rule of Building and Classing : Steel Barge 2014]

part	chapter	section	item
3	3	1	9. berat dan ukuran equipment
			EN = $\Delta^{2/3} + 2(Ba+bh) + 0.1A$
			Δ : moulded displacement
			= 4693.207 ton
			B : lebar moulded
			: 18.00 m
			a : freeboard
			: 1.36 m
			b : lebar maksimum bangunan atas
			: 0 m
			h : h1+h2+,(tinggi layer bangunan atas)
			: 0 m
			A : luasan profil view diatas sarat
			: 84.43628 m ²
			EN = 337.5629

ABS Table for Barge Equipment (ABS Rule of Building and Classing - Stell Barge 2014)

**TABLE 1
Equipment for Barges with Ⓢ**

SI, MKS Units								
Equipment Numerical	Equipment Number*	Stockless Bower Anchors			Chain Cable Stud Link Bower Chain			
		Number	Mass per Anchor, kg	Length, m	Diameter			
					Normal-Strength Steel (Grade 1), mm	High-Strength Steel (Grade 2), mm	Extra High-Strength Steel (Grade 3), mm	
UA1	30	2	80	165	11	—	—	—
UA2	40	2	100	192.5	11	—	—	—
UA3	50	2	120	192.5	12.5	—	—	—
UA4	60	2	140	192.5	12.5	—	—	—
UA5	70	2	160	220	14	12.5	—	—
UA6	80	2	180	220	14	12.5	—	—
UA7	90	2	210	220	16	14	—	—
UA8	100	2	240	220	16	14	—	—
UA9	110	2	270	247.5	17.5	16	—	—
UA10	120	2	300	247.5	17.5	16	—	—
UA11	130	2	340	275	19	17.5	—	—
UA12	140	2	390	275	19	17.5	—	—
U6	150	2	480	275	22	19	—	—
U7	175	2	570	302.5	24	20.5	—	—
U8	205	2	660	302.5	26	22	20.5	—
U9	240	2	780	330	28	24	22	—
U10	280	2	900	357.5	30	26	24	—
U11	320	2	1020	357.5	32	28	24	—
U12	360	2	1140	385	34	30	26	—
U13	400	2	1290	385	36	32	28	—

**TABLE 3
Towline and Hawsers**

SI & MKS Units								
Equipment Numerical	Equipment Number*	Towline Wire or Rope			Hawsers			
		Length, m	Breaking Strength,		Number	Length of Each, m	Breaking Strength,	
			kN	kgf			kN	kgf
UA1	30	—	—	—	—	—	—	—
UA2	40	—	—	—	—	—	—	—
UA3	50	180	98.0	10000	3	80	34.0	3475
UA4	60	180	98.0	10000	3	80	34.0	3475
UA5	70	180	98.0	10000	3	100	37.0	3775
UA6	80	180	98.0	10000	3	100	37.0	3775
UA7	90	180	98.0	10000	3	110	39.0	3975
UA8	100	180	98.0	10000	3	110	39.0	3975
UA9	110	180	98.0	10000	3	110	44.0	4475
UA10	120	180	98.0	10000	3	110	44.0	4475
UA11	130	180	98.0	10000	3	120	49.0	5000
UA12	140	180	98.0	10000	3	120	49.0	5000
U6	150	180	98.0	10000	3	120	54.0	5500
U7	175	180	112.0	11400	3	120	59.0	6000
U8	205	180	129.0	13150	4	120	64.0	6500
U9	240	180	150.0	15300	4	120	71.0	7250
U10	280	180	174.0	17750	4	140	78.0	7950
U11	320	180	207.0	21100	4	140	86.0	8770
U12	360	180	224.0	22850	4	140	93.0	9500
U13	400	180	250.0	25500	4	140	101.0	10300

STEEL WEIGHT CALCULATION

[ABS Rule of Building and Classing : Steel Barge 2014]

part	chapter	section	item
3	1	1	L = 62.24 m Lkons = 96%*L = 59.75 m B = 18.00 m H = 6.10 m T = 4.74 m Cb = 0.83 s = 600 mm l = 2.4 m S = 13.33
3	2	2	3.1 pelat sisi amidship $t = 0.07*L+0.007*s$ (for $L \leq 150$ m) = 8.382 mm t : tebal pelat (mm) L : panjang barge (m) s : jarak gading (mm)
3	2	2	3.2 pelat sekat memanjang $t = 0.07*L+0.007*s$ (for $L \leq 150$ m) = 4.900 mm t : tebal pelat (mm) L : panjang tanki (m) s : jarak gading (mm)
3	2	2	3.5 pelat alas $t = 0.045*L+0.007*s+1.8$ ($L \leq 123$ m) = 8.69 mm
3	2	2	5.1 tebal pelat sisi minimum pada 0.1L $t = 0.055*L+0.007*s+1$ (for $L \leq 76$ m) = 8.49 mm
3	2	2	5.3 tebal pelat alas minimum pada 0.1L $t = 0.055*L+0.01*s+1$ (for $L \leq 110$ m) = 10.29 mm
3	2	2	5.5 tebal bow plating $t = 0.055*L+0.009*s+1$ (mm) = 9.69 mm jadi tebal plat alas pada bow diambil = 10.29 mm
3	2	3	1.1 pelat geladak $t = 0.009*s+2.4$ (for $s \leq 760$ mm) = 7.80 mm $t = (s*(L+48.76))/(26*L+8681)$ $L \leq 183$ m = 6.36 mm
3	2	3	1.7 tebal pelat geladak minimum pada 0.1L F $t = 0.03*L+0.0036*s+2.8$ = 6.75 mm
5	1	1	3.3 beban geladak $p = 10.05*d*C_b$ (kN/m ²) d : sarat kapal (m) C _b : koefisien blok P = 39.496 kN/m ² (beban rumus) p = 37.65397048 kN/m ² (beban muatan)

5	1	1	<p>3.3 modulus penampang minimum pemb gldak</p> $SM = 7.8 * c * h * s * l^2$ <p>c : 1.25</p> <p>h : $p/7.07$ 5.325879842</p> <p>s : 0.6</p> <p>l : 2.4</p> $SM = 179.4608472$
3	2	5	<p>3.1 modulus penampang pembujur geladak</p> $SM = 7.8 * chsl^2$ <p>c : 1.25</p> <p>h : $0.02 * L + 0.76$ 2.004755849</p> <p>s : jarak pembujur (m) 0.6</p> <p>l jarak yang tidak ditumpu (m) 2.4</p> $SM = 67.55225309 \text{ cm}^3$
5	1	1	<p>3.3 modulus pelintang geladak</p> $SM = 4.74 * chsl^2$ $= 145.4093018 \text{ cm}^3$ <p>c : 1</p> <p>h : $p/7.07$ 5.325879842</p>
3	2	5	<p>3.5 modulus pembujur sisi dan alas</p> $SM = 7.8 * chsl^2$ <p>c : 1.34 bottom longitudinal 1.25 side longitudinal</p> <p>h : 4.05 m</p> <p>s : jarak pembujur</p> <p>l : panjang yang tidak ditumpu</p> $SM_{\text{pemb alas}} = 146.2945536 \text{ cm}^3$ $SM_{\text{pemb sisi}} = 136.4688 \text{ cm}^3$
3	2	5	<p>3.7 pelintang sisi dan alas</p> $SM = 4.74 * chsl^2$ <p>c : 1.75 for bottom transvere 1.75 for bottom transvere</p> $SM_{\text{pel alas}} = 116.103456 \text{ cm}^3$ $SM_{\text{pel sisi}} = 116.103456 \text{ cm}^3$
3	2	6	<p>3.1 sekat tubrukan</p> <p>dari fp = $0.05 * L$ for $L < 200 \text{ m}$ 2.987414038 m</p>
3	2	6	<p>3.3 jarak maksimal sekat kedap</p> $S = 0.153 * L + 3.81 \text{ (} L < 122 \text{ m)}$ $= 12.95148696 \text{ m}$
3	2	6	<p>5.1 tebal pelat sekat kedap</p> $t = sk(qh)^{0.5} / c + 1.5$ $= 6 \text{ mm}$ $= s / 200 + 2.5$ <p>s : jarak penegar 600 mm</p> $k = (3.075 * \ddot{O}a - 2.077) / (a + 0.272)$ <p style="text-align: right;">diambil terbesar</p>

			<p> l : 1 a : aspek rasio panel q : $235/Y(24/Y,34000/Y)$ Y : yield point atau yield strength : 235 N/mm^2 q : 1 h : tinggi sekat hingga geladak : 6.1 m c : 254 untuk sekat tubrukan 290 untuk sekat kedap lainnya t_s tubrukan = 7.334215292 mm t_s kedap = 6.609967877 mm </p>
3	2	6	<p> 5.3 modulus penampang penegar $SM = 7.8 \cdot chsl^2 Q$ c : 0.56 bila 2 ujung jepit : 0.6 untuk penegar tanpa jepit : 0.7 penegar membujur pada sekat memanjang s : jarak penegar : 0.6 m h : jarak vertikal dari tengah l hingga geladak lambung timbul pada center : 3.05 m l : panjang yang tidak ditumpu : 6.1 m Q : 1 untuk strength steel biasa $SM = 297.4359024 \text{ cm}^3$ </p>

WEIGHT RECAPITULATION

BERAT BAJA masa jenis baja = 7.85 ton/m³

no	item	luas dan panjang	Jumlah	ukuran diambil	web(mm)	face(mm)	berat		
1	pelat geladak	1120.280 m ²	1	8 mm			70.354	ton	
2	pelat sekat memanjang	1120.280 m ³	1	5 mm			43.092	ton	
3	pelat alas	896.224 m ²	1	9 mm			63.318	ton	
4	pelat sisi	303.720 m ²	1	9 mm			21.458	ton	
5	pelat sisi pada 0.1L	121.488 m ²	1	9 mm			8.583	ton	
6	pelat alas pada 0.1L	280.070 m ²	1	11 mm			24.184	ton	
7	pembujur geladak	62.24 m	29	67.552 cm ³	120	8 80 8	22.669	ton	
8	pelintang geladak	18.000 m	25	145.409 cm ³	120	8 80 8	5.652	ton	
9	pembujur sisi	62.238 m	19	136.469 cm ³	120	8 80 8	14.852	ton	
10	pembujur alas	49.790 m	29	146.295 cm ³	120	8 80 8	18.136	ton	
11	pelintang sisi	6.100 m	50	116.103 cm ³	120	8 80 8	3.831	ton	
12	pelintang alas	18.000 m	20	116.103 cm ³	120	8 80 8	4.522	ton	
13	pelat sekat tubrukan	109.800 m ²	1	8 mm			6.895	ton	
14	pelat sekat melintang	109.800 m ²	3	7 mm			18.101	ton	
15	penegar sekat	6.100 m	116	297.436 cm ³	100	6 50 6	4.999	ton	
Total steel weight							=	330.646	ton

BERAT E&O

no	item	jumlah	berat per satuan	total		
1	jangkar	2	1140 kg	2280	kg	
2	rantai jangkar	385 m	34 kg	13090	kg	
3	towline	180 m	0.817 kg	147.06	kg	
4	hawsers	140 m	0.293 kg	41.02	kg	
5	windlas	2	250 kg	500	kg	
Total E&O weight				16058.08	kg	= 16.05808 ton

Berat Total Steel	=	330.646 ton
Berat Total E&O	=	16.06 ton
Berat Payload	=	4300 ton
Berat Cadangan	=	46.50 ton
TOTAL BERAT	=	4693.206769 ton

Displacement Correction

Pada kondisi full load

1. Gaya Berat

1. LWT = 346.70 ton

2. DWT = 4300.00 ton

LWT + DWT = 4646.704 ton

2. Gaya angkat

▲ = 4693.207 ton

3. Selisih = 46.50 ton

1.00 %

Center of Gravity Calculation

Parametric Design Chapter 11

TITIK BERAT BAJA		
item	value	unit
Berat baja	330.646	ton
KG	0.843	
LCG	1.22	% from midship
LCG	0.760	m from midship
LCG	31.88	m from FP

TITIK BERAT E&O		
item	value	unit
berat E&O	16.058	ton
KG	6.100	m
LCG	0.622	m dari FP

TITIK BERAT PAYLOAD		
item	value	unit
berat paylo	4300	ton
KG	2.7	m
LCG	31.12	m dari FP

TITIK BERAT BERAT CADANGAN		
item	value	unit
berat cadar	46.50	ton
KG	5.6955	m
LCG	31.12	m dari FP

TITIK BERAT GABUNGAN		
item	value	units
total berat	4693.207	ton
KG	2.611	m
LCG	31.068	m dari FP

Trim Calculation

Chapter 11 Parametric Design, Michael G. Parsons

Input Data :

L_{PP}	=	62.24 m
B	=	18.00 m
T	=	4.74 m
C_M	=	0.99642
C_B	=	0.82852
C_{WP}	=	0.89508
∇	=	4578.74 m ³
KG	=	2.6105 m
$LCG_{LWT FP}$	=	31.0681 m
$LCB_{\text{dari FP}}$	=	33.4403 m

Perhitungan :

Sifat Hidrostatik

1. KB

$$\begin{aligned} KB/T &= 0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 18} \\ &= 0.51822 \\ KB &= 2.45809 \text{ m} \end{aligned}$$

2. BM_T

$$\begin{aligned} C_I &= 0.1216 \cdot C_{WP} - 0.041 \\ &\text{Transverse Inertia Coefficient} \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 19} \\ &= 0.06784 \\ I_T &= C_I \cdot L_{PP} \cdot B^3 \\ &= 24624.7 \text{ m}^4 \\ BM_T &= I_T / \nabla \quad ; \text{jarak B dan M secara melintang} \\ &= 5.37806 \text{ m} \end{aligned}$$

3. BM_L

$$\begin{aligned} C_{IL} &= 0.350 \cdot C_{WP}^2 - 0.405 \cdot C_{WP} + 0.146 \\ &\text{Longitudinal Inertia Coefficient} \\ &= 0.0639 \\ I_L &= C_{IL} \cdot L_{PP}^3 \cdot B \\ &= 277301 \text{ m}^4 \\ BM_L &= I_L / \nabla \quad ; \text{jarak B dan M secara melintang} \\ &= 60.5628 \text{ m} \end{aligned}$$

4. GM_L

$$\begin{aligned} &= KB + BM_L - KG \\ &= 60.4103 \end{aligned}$$

5. Trim

$$\begin{aligned} &= ((LCG - LCB) \cdot L_{PP}) \quad ; \text{Parametric Ship Design hal 11 - 27} \\ &= -2.44398 \text{ m} \end{aligned}$$

Kondisi Trim

Trim Haluan

6. Batasan Trim

Δ (LCG - LCB)

$$= -2.37222 \quad \text{---> Absolute} = 2.3722$$

$0.1 \cdot L_{pp}$

$$= 6.22378$$

Kondisi Batasan Trim

Diterima

Stability Calculation

Manning Methode (1965) and IMO Resolution A. 749 (18)

Input Data :

weight = long ton
 Length = feet
 1 feet = 0.3048 m
 L = 204.19 ft
 B = 59.06 ft
 B_w = 59.06 ft (maximum waterline breadth = B)
 H (sarat) = 15.56 ft
 D_M (Depth) = 20.01 ft
 S_F = 0.00 ft
 S_A = 0.00 ft
 D₀ = Δ (ton)/1.016
 = 4619.30 long ton
 L_d = length of superstructure which extend to sides of ship
 = 0.00 ft
 d = 0.00 ft
 C_B = 0.829
 C_W = 0.895
 C_X = midship section coefficient at draft H = Cm
 = 0.996

Perhitungan :

Perhitungan Awal

C_{PV} = vertical prismatic coff. = C_B/C_W
 = 0.926
 A₀ = area of waterline plan at designed draft = L.B_w.C_w
 = 11161.84
 A_M = area of immersed midship section= B.H.C_x
 = 915.74
 S = Mean Sheer:(Ld*d)+(0.5*L*(SF/3))+(0.5*L*(SA/3))
 = 0.00
 A₂ = area of vertical centerline plane to depth D= (0.98*L*DM)+S
 = 4004.794
 D = Mean Depth :(S/L)+DM
 = 20.01
 F = mean freeboard =D-T
 = 4.451
 A₁ = area of waterline plane at depth D maybe estimate from A₀ and nature of stations above waterline = 1.01 . A₀
 = 11273.46

Perhitungan Koefisien GZ

$$\Delta_T = \Delta_0 + \left(\frac{A_0 + A_1}{2} \right) \cdot \left(\frac{F}{35} \right)$$

$$= 6045.87$$

$$\delta = \frac{\Delta_T}{2 - \Delta_0}$$

$$= -1596.36$$

$$C_W' = \frac{A_2}{L \cdot D}$$

$$= 0.980$$

$$C_X' = \frac{A_M - (B \cdot F)}{B \cdot D}$$

$$= -0.205$$

$$C_{PV}' = \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_1 \cdot B}$$

$$= 0.938$$

$$C_{pv}'' = \frac{35 \cdot \Delta T}{A_2 \cdot B}$$

$$= 0.895$$

$$C_w'' = C_w' - \frac{(140 \cdot d) \cdot (1 - C_{pv}'')}{B \cdot D \cdot L}$$

$$= 1.077$$

$$f_0 = \frac{H \cdot \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right]}{2 \cdot F \cdot (1 - C_{pv}'')}$$

$$= 0.235$$

$$f_1 = \frac{H \cdot \left[1 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \right]}{2 \cdot F \cdot (1 - C_{pv}'')}$$

$$= 0.358$$

$$f_2 = \text{jika } CX' \geq 0.89, \text{ maka } = 9.1 \cdot (CX' - 0.342), \quad \text{jika tidak } = 0$$

$$= 0$$

$$KG = C_{KG} D_M$$

$$= 0.07$$

• factor h1

$$f(=0) = 0.476$$

$$f(=0.5) = 0.482$$

$$f(=1) = 0.487$$

h1 = untuk h1, h0 dan h2

jika $0 < f_1 \leq 0.5$, maka $= (f=0) + [(f_1 - 0) / (0.5 - 0)] \cdot ((f=0.5) - (f=0))$

jika tidak $= (f=0.5) + [(f_1 - 0.5) / (1 - 0.5)] \cdot ((f=1) - (f=0.5))$

$$= 0.480$$

$$KG' = (D(1-h_1)\Delta T - \delta) / (2\Delta 0)$$

$$= 6.98$$

$$GG' = (KG' - KG)$$

$$= 6.91$$

• factor h0

$$f(=0) = 0.471$$

$$f(=0.5) = 0.478$$

$$f(=1) = 0.484$$

$$h_0 = 0.475$$

$$KB_0 = (1-h_0)H$$

$$= 8.176$$

$$G'B_0 = KG' - KB_0$$

$$= -1.194$$

• factor h2

$$f(=0) = 1.573$$

$$f(=0.5) = 0.470$$

$$f(=1) = 0.478$$

$$h_2 = 1.573$$

$$G'B_{90} = (DT \cdot h_2 \cdot B) / (4 \cdot D_0) - [d_2 / D_0 \cdot (17.5 / (A_2 - (70 \cdot d) / 8) \cdot (1 - C_{pv}''))]$$

$$= 27.855$$

$$C_1 = 0.069$$

$$BM_0 = 17.934$$

$$CI' = 0.101$$

$$BM_{90} = (C_1 \cdot L \cdot D_3) / (35 \cdot D_0) + [(Ld \cdot d \cdot D_2) / (140 \cdot D_0)]$$

$$= 1.024$$

$$GM_0 = KB_0 + BM_0 - KG$$

$$= 26.040$$

$$G'M_0 = KB_0 + BM_0 - KG'$$

$$= 19.128$$

$$b_1 = [9 \cdot (G'B_{90} - G'B_0) / 8] - [(G'M_0 - G'M_{90}) / 32]$$

$$= 31.244$$

$$b_2 = (G'M_0 + G'M_{90}) / 8$$

$$= -0.963$$

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

$$= -6.585$$

$$G'M_{90} = -26.831$$

19.1.4. Perhitungan Lengan Statis (GZ [feet])

• Heel Angle (f) = 0

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 0.000 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 5

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.602 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 5.425 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.329 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -3.292 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 2.406 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 10

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 1.200 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 10.686 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.619 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -5.703 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 5.565 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 15

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 1.789 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 15.622 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.834 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -6.585 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 9.992 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 20

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.364 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 20.083 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.948 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -5.703 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 15.797 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 25

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.921 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 23.934 \\ b_2 \sin 4f &= b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.948 \\ b_3 \sin 6f &= b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -3.292 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 22.615 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 30

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.456 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 27.058 \\ b_2 \sin 4f &= b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.834 \\ b_3 \sin 6f &= b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 29.680 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 35

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.965 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 29.360 \\ b_2 \sin 4f &= b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.619 \\ b_3 \sin 6f &= b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.292 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 35.998 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 40

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 4.443 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 30.769 \\ b_2 \sin 4f &= b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.329 \\ b_3 \sin 6f &= b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 5.703 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 40.586 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 45

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 4.888 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 31.244 \\ b_2 \sin 4f &= b_2 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ b_3 \sin 6f &= b_3 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.585 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 42.716 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 50

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 5.295 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 30.769 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.329 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 5.703 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 42.096 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 55

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 5.662 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 29.360 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.619 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.292 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 38.933 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 60

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 5.986 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 27.058 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.834 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 33.878 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 65

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.265 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 23.934 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.948 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -3.292 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 27.855 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 70

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.495 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 20.083 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.948 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -5.703 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 21.824 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 75

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 6.677 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 15.622 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.834 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -6.585 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 16.548
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 80

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 6.807 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 10.686 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.619 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -5.703 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 12.410
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 85

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 6.886 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 5.425 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.329 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= -3.292 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 9.348
 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 90

$$\begin{aligned}
 GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 6.912 \\
 b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\
 &= 0.000 \\
 GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
 &= 6.912
 \end{aligned}$$

Perhitungan Lengan Dinamis (L_D [feet.rad])

• h[radian] = (karena jarak sudut yang dibuat 5, maka dimasukkan = 5 / (180/phi))
= 0.0873

• L_D

10° = seperti simpson dari 0 - 10 derajat 1/3 * h * (a + 4 * b + c)
= 0.4419

20° = 1.7840

30° = 3.9542

40° = 6.2325

L_DTotal = 12.4126

REKAPITULASI PERHITUNGAN STABILITAS

unit : metric

Lengan Statis (GZ [m])

GZ	=	
0	=	0.0000
5	=	0.7334
10	=	1.6962
15	=	3.0457
20	=	4.8148
25	=	6.8930
30	=	9.0466
35	=	10.9721
40	=	12.3705
45	=	13.0199
50	=	12.8309
55	=	11.8668
60	=	10.3260
65	=	8.4901
70	=	6.6520
75	=	5.0438
80	=	3.7825
85	=	2.8494
90	=	2.1068

Lengan Dinamis (L_D [m.rad])

L_D	=	
10	=	0.1347
20	=	0.5438
30	=	1.2052
40	=	1.8997

$L_{D\text{Total}} = 3.7834$

Sudut Maksimum

Gz max = nilai maksimum GZ dari semua sudut 0-90
= 13.020

Kolom ke- (nilai terbesar tersebut pada kolom ke berapa)
= 10

Heel at Gz max (pada sudut heel berapa)
= 45

Titik

X1	=	40
X2	=	45
X3	=	50
Y1	=	12.3705
Y2	=	13.0199
Y3	=	12.8309

Hasil perkalian matriks

a	=	-23.010
b	=	1.555
c	=	-0.017

qmax [X°]
= 46

Batasan Stabilitas Menurut IMO Resolution A. 749 (18)

Input data :

e [m . rad]	$GZ 30^\circ = 2.96803$
$30^\circ = 1.205$	$\Theta_{max} [X^\circ] = 46$
$40^\circ = 1.900$	$GM^0 = [\text{feet}] = 26.040376$
$30^\circ - 40^\circ = 0.694$	$[\text{m}] = 7.9371067$

Perhitungan :

• **Kriteria IMO Regulation A. 749 (18)**

$$e_{0,30} \geq 0.055 = \text{Accepted}$$

$$e_{0,40} \geq 0.09 = \text{Accepted}$$

$$e_{30,40} \geq 0.03 = \text{Accepted}$$

$$h_{30} \geq 0.2 = \text{Accepted}$$

$$\phi_{max} \geq 25^\circ = \text{Accepted}$$

$$GM^0 \geq 0.15 = \text{Accepted}$$

Status = OK

Building Cost Calculation

(Reference : Practical Ship Design, D.G.M. Watson)

Input :

A. Biaya Pembangunan Kapal

Rekapitulasi Berat :

Input Data:

Berat Baja	Wst=	330.65 Ton
Berat Perlengkapan	Weo=	16.06 Ton

Perhitungan :

1) Structural Cost

Pst =	Wst x Cst	
Cst=		3,846.41 \$/Ton
Maka, Pst=		1,271,798.63 \$
	Rp.	11,433,469,717

2) Outfitting Cost

Peo =	Weo x Ceo	
Weo=		18,390 \$/Ton
Maka, Peo=		295,309.38 \$
	Rp.	2,654,831,358.49

Curve of Regretion Structural Cost, Machinery Cost & Outfit Cost

[Adapted from : Practical Ship Desgn , David G. M. Watson]

Structural Cost		Machinery Cost		Outfit Cost	
X	Y	X	Y	X	Y
446.11	4016.441	0.00	19999.998	108.512	18095.879
1000	3573.251	250	17404.864	250	17691.549
2000	3177.978	500	15223.740	500	16989.057
3000	2920.543	750	13526.948	750	16278.670
4000	2747.847	1000	12207.742	1000	15634.406
5000	2615.739	1250	11254.785	1250	15106.225
6000	2504.969	1500	10651.590	1500	14539.627
7000	2409.150	1750	10236.659	1750	13984.849
8000	2324.653	2000	9849.905	2000	13396.412
9000	2250.496	2250	9481.228	2250	12875.384
10000	2186.169	2486.794	9246.100	2500	12456.512
11000	2130.366			2750	12042.495
12000	2080.288			3000	11581.376
13000	2033.178			3106.808	11388.140
14000	1987.390				
15000	1943.498				
16000	1902.357				
17000	1864.790				
18000	1831.242				
19000	1801.637				
20000	1775.868				
21000	1753.819				
22000	1734.882				
23000	1717.950				
24000	1701.906				
25000	1685.992				
26000	1670.219				
27000	1654.697				
28000	1639.537				
29000	1624.807				
30000	1610.403				
31000	1596.181				
31275.6	1592.275				

Hasil Regresi :

Structural Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

a =	0.0000000000
b =	-0.0000000011
c =	0.0000297990
d =	-0.3899111919
e =	3972.1153341357

Machinery Cost

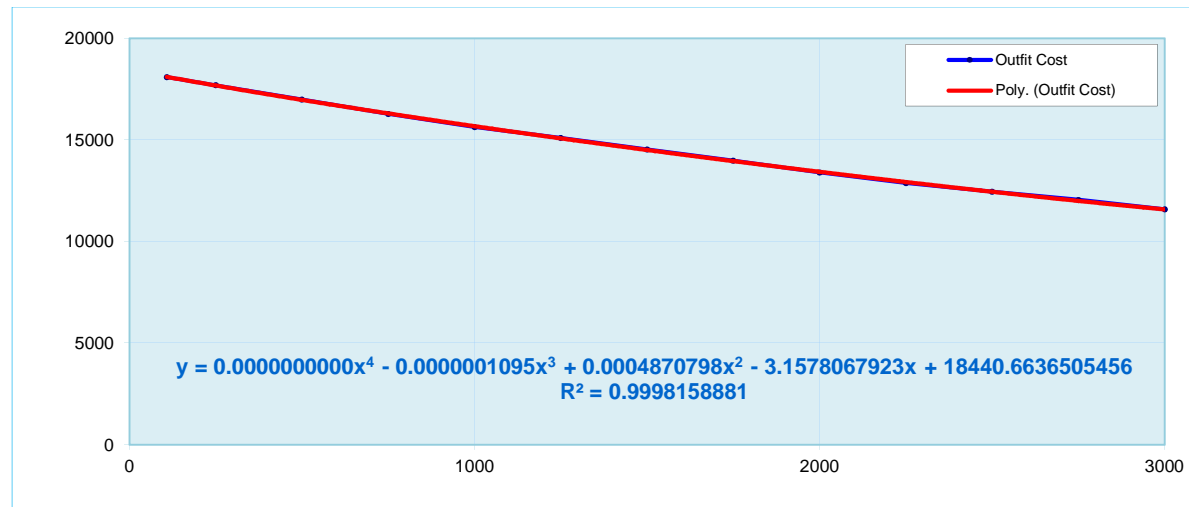
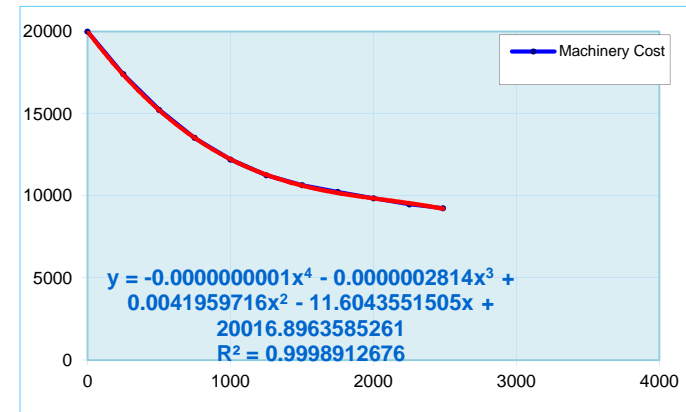
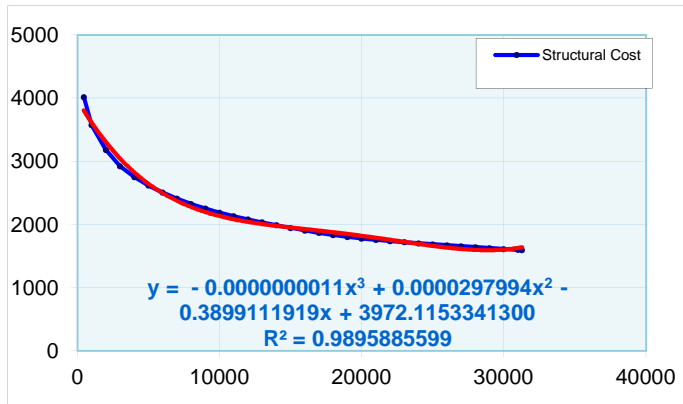
$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

a =	-0.0000000001
b =	-0.0000002814
c =	0.0041959716
d =	-11.6043551506
e =	20016.8963585246

Outfit Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

a =	0
b =	-0.0000001095
c =	0.0004870798
d =	-3.1578067922
e =	18440.6636505112



LAMPIRAN

2. Perhitungan *Pusher Boat (Tug)*

Data Kapal Pemanding

Persyaratan

- 1 Service Speed = 8 knot
 2 Rute = Pekanbaru - Dumai

Data Kapal Pemanding

No.	Nama Kapal	Bendera	GT	LPP (m)	B (m)	H (m)	T (m)	L/B	B/T	T/H	Tahun Pembuatan	Classification
1	MITRA KENCANA 1	Indonesia	103	21.940	6.000	3.010	2.010	3.657	2.985	0.668	2003	BKI
2	MITRA KENCANA 9	Indonesia	157	27.140	8.000	3.100	2.100	3.393	3.810	0.677	1998	BKI
3	MITRA KENCANA 2	Indonesia	186	23.380	8.000	3.650	2.650	2.923	3.019	0.726	2012	BKI
4	MITRA KENCANA 5	Indonesia	155	22.770	7.000	3.600	2.600	3.253	2.692	0.722	2009	BKI
5	MITRA KENCANA 3	Indonesia	153	22.770	7.000	3.600	2.600	3.253	2.692	0.722	2009	BKI
6	MITRA KENCANA 6	Indonesia	138	23.500	7.320	3.200	2.200	3.210	3.327	0.688	2012	BKI
7	MITRA KENCANA 10	Indonesia	127	24.100	6.000	3.000	2.000	4.017	3.000	0.667	2001	BKI
8	MITRA KENCANA 8	Indonesia	158	23.180	7.000	3.600	2.600	3.311	2.692	0.722	2009	BKI
9	MITRA KENCANA 11	Indonesia	138	21.740	7.320	3.2	2.200	2.970	3.327	0.688	2010	BKI
10	MITRA KENCANA 12	Indonesia	188	23.380	8.000	3.650	2.650	2.923	3.019	0.726	2011	BKI
11	MITRA KENCANA 7	Indonesia	115	24.140	6.500	3.500	2.500	3.714	2.600	0.714	1994	BKI
12	MITRA KENCANA 14	Indonesia	188	23.380	8.000	3.650	2.650	2.923	3.019	0.726	2011	BKI
13	MITRA KENCANA 15	Indonesia	185	24.360	7.930	3.650	2.650	3.072	2.992	0.726	2012	BKI
14	MITRA KENCANA 17	Indonesia	185	24.360	7.930	3.650	2.650	3.072	2.992	0.726	2012	BKI
15	MITRA BAHARI 7	Indonesia	119	24.440	6.500	3.100	2.100	3.760	3.095	0.677	1997	BKI
16	MITRA BAHARI 9	Indonesia	185	24.360	7.930	3.650	2.650	3.072	2.992	0.726	2012	BKI
17	BSI 1	Indonesia	185	26.000	7.930	3.650	2.650	3.279	2.992	0.726	2010	BKI
18	BSI 3	Indonesia	185	24.360	7.930	3.200	2.200	3.072	3.605	0.688	2010	BKI
19	MITRA BAHARI 15	Indonesia	139	23.150	7.300	3.050	1.950	3.171	3.744	0.639	2004	BKI
MIN			103	21.74	6	3	1.95	2.923	2.6	0.639		
MAX			188	27.14	8	3.65	2.65	4.017	3.81	0.726		

PROSES OPTIMASI PERENCANAAN PUSHER BOAT

CHANGING VARIABLE

	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Ukuran Utama	Panjang	m	L	21.74	22.30	27.14	ACCEPTED
	Lebar	m	B	6.00	6.00	8.00	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	3.00	3.18	3.65	ACCEPTED
	Sarat	m	T	1.95	2.31	2.65	ACCEPTED

CONSTRAINT

Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$F_n = V/(g \cdot L_{pp})^{0.5}$			0.15	0.27	0.30	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0^0	m	MG_0	0.15	2.35		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^0$	m	LS_{30}	0.2	6.23		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada L_s maksimum	deg	LS_{maks}	25	51.85		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30^0	m.rad	Ld_{30}	0.055	0.261		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40^0	m.rad	Ld_{40}	0.09	0.395		ACCEPTED
	Luas Kurva GZ antara $30^0 - 40^0$	m.rad		0.03	0.13		ACCEPTED
Displacement	Koreksi Displacement	%		1%	1.38	5%	ACCEPTED
Freeboard	F_s	m	F		0.31	0.87	ACCEPTED
Trim	Selisih Trim	%			-5.78	2.23	ACCEPTED
Rasio			L/B	2.92	3.72	4.02	ACCEPTED
			B/T	2.60	2.60	3.81	ACCEPTED
			T/H	0.64	0.73	0.73	ACCEPTED

OBJECTIVE FUNCTION

	Item	Unit	Symbol	Value
	Hull Cost	\$		247,708
	E & O Cost	\$		627,303
	Machinery cost	\$		1,003,770
	Total Cost	\$		1,878,781

<---- Target Cell

Coeffisien calculation

Input Data :

L _o =	22.30 m	L _o /B _o =	3.716
H _o =	3.18 m	B _o /T _o =	2.600
B _o =	6.00 m	T _o /H _o =	0.726
T _o =	2.31 m	V _s =	8 knot
			4.115 m/s
Fn =	0.27	ρ =	1.025

Perhitungan :

• Froude Number Dasar

$$Fn_o = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} \qquad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$= 0.27$$

Principle of Naval Architecture Vol.II hlm.154

• Perhitungan ratio ukuran utama kapal :

L _o /B _o =	3.716	→	3.5 < L/B < 10
B _o /T _o =	2.600	→	1.8 < B/T < 5
T _o /H _o =	0.726	→	0.6 < T/H < 0.85

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

• Block Coeffisien (Watson & Gilfillan) :

$$Cb = -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \qquad \rightarrow \qquad 0.15 \leq Fn \leq 0.3$$

$$= 0.580$$

Parametric design halaman 11-11

• Midship Section Coeffisien (Series 60')

$$Cm = 0.977 + 0.085(Cb - 0.6)$$

$$= 0.975$$

Parametric design halaman 11-12

• Waterplan Coeffisien

$$Cwp = 0.180 + 0.860 C_p$$

$$= 0.691$$

Parametric design halaman 11-16

• Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

$$LCB = (8.80 - 38.9 Fn) + L/2$$

$$= 9.3358113 \text{ LCB dari } A_p$$

Parametric design halaman 11-19

• Prismatic Coeffisien

$$C_p = C_b / C_m$$

$$= 0.594$$

• Lwl

$$Lwl = 104\% Lpp$$

$$= 23.190283 \text{ m}$$

• ∇ (m3)

$$\nabla = L \cdot B \cdot T \cdot C_B$$

$$= 186.080 \text{ m}^3$$

• Δ (ton)

$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \gamma$$

$$= 190.732 \text{ ton}$$

Resistance Calculation

[Holtrop & Mennen Method]

Input Data :

Lo =	22.30 m	Cb =	0.580
Ho =	3.18 m	Cm =	0.975
Bo =	6.00 m	Cwp =	0.691
To =	2.31 m	Cp =	0.594

Choice No.	C _{stern}	Used for
1	-25	Pram with Gondola
2	-10	V - Shaped Sections
3	0	Normal Sectional Shape
4	10	U - Shaped Section With Hogner Stern

Perhitungan :

Viscous Resistance

$$Lwl = 104\% \cdot Lpp = 23.19028 \text{ m}$$

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} = 0.27$$

• C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)

PNA Vol II hlm. 100

$$R_n = L_{wet} \cdot \frac{Vs}{\nu}$$

$$= 120464338.12$$

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

$$= 0.002028$$

• Harga 1 + k₁

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.487 \cdot c \left(\frac{B}{L}\right)^{1.0681} \cdot \left(\frac{T}{L}\right)^{0.4611} \cdot \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.1216} \cdot \left(\frac{L^3}{\nabla}\right)^{0.3649} \cdot (1 - C_p)^{-0.6042}$$

$$= 1.042$$

$$c = 1 + 0.011 c_{stern} \quad c_{stern} = 0, \text{ karena bentuk Afterbody normal}$$

$$= 1$$

PNA Vol II hlm. 100

$$\frac{L_R}{L} = 1 - C_p + \frac{0.06 C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)}$$

$$= 0.359 \quad 30.14147159 \text{ m}$$

$$Lwl^3 / \nabla = 2.747$$

LCB = -1.813363

Resistance of Appendages

• Wetted Surface Area

A_{BT} = cross sectional area of bulb in FP
 = 10% . B . T . Cm
 = 0 → tanpa bulb

$$S = L(2T + B)C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.00346\frac{B}{T} + 0.3696C_{wp}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$= 164.514$$

$$S_{Rudder} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \frac{1.75 \cdot L \cdot T}{100} \quad \text{dengan } L = Lpp$$

$$= 0.937$$

BKI 2009 Vol II

$$S_{Bilge \text{ Keel}} = L_{keel} \cdot H_{keel} \cdot 4 \quad L_{keel} = 0.6 \cdot C_b \cdot Lwl \quad H_{keel} = 0.18 / (Cb - 0.2)$$

$$= 15.298 \quad = 8.063 \quad = 0.474$$

Watson 1998, hal 254

S_{app} = total wetted surface of appendages
 = S_{Rudder} + S_{Bilge Keel}
 = 16.234

S_{tot} = wetted surface of bare hull and appendages
 = S + S_{app}
 = 180.748

• Harga 1 + k₂

PNA Vol II hlm. 92

$$(1+k_2)_{effective} = \frac{\sum S_i (1+k_2)_i}{\sum S_i}$$

$$= 1.4$$

Harga (1+k₂) = 1.3 - 1.5 → rudder of single screw ship
 = 2.8 → for Spade-Type rudders of twin-screw ship

$$1 + k = 1 + k_1 + \left[1 + k_2 - (1 + k_1)\right] \frac{S_{app}}{S_{tot}}$$

$$= 1.200$$

Wave Making Resistance

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} \left(\frac{T}{B}\right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$$

$$= 15.029$$

$$C_4 = 0.5 - 0.0625(L/B) \rightarrow B/L \geq 0.25 \quad B/L = 0.259$$

$$\text{Even Keel} \rightarrow \begin{matrix} T_a = T \\ T_f = T \end{matrix}$$

$$i_E = 12567 \frac{B}{L} - 16225 C_p^2 + 23432 C_p^3 + 0.155 \left(LCB + \frac{6.8(T_a - T)}{T} \right)^3$$

$$i_E = 24.456 \text{ drg}$$

• Harga m_1

$$m_1 = 0.01404 \frac{L}{T} - 1.7525 \nabla^{\frac{1}{3}} / L - 4.7932 B / L - C_5$$

$$= -3.720$$

$$C_5 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3 \rightarrow C_p \leq 0.8$$

$$= 1.370$$

• Harga m_2

$$m_2 = C_6 \cdot 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad F_n^{-3.29} = 71.75923$$

$$e^{-0.034 F_n^{-3.29}} = 0.08718$$

$$= -0.059$$

$$C_6 = -1.69385 \rightarrow L3 / \leq 512 \quad \frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}} = 2.747$$

• Harga λ

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad L/B \rightarrow \leq 12$$

$$= 0.743$$

• Harga C_2

$$C_2 = 1 \rightarrow \text{without Bulb} \quad d = -0.9$$

• Harga C_3

$$C_3 = 1 - 0.8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M)$$

$$= 1$$

$$A_T = 0$$

A_T = the immersed area of the transom at zero speed

Saat $V = 0$, Transom tidak tercelup air

• Harga R_w/w

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

$$= 0.0501$$

• C_A (Correlation Allowance)

$$C_A = 0.006 (Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 \rightarrow Tf/Lwl \geq 0.04 \quad Tf/Lwl = 0.0995112$$

$$= 0.0007$$

• W (Gaya Berat)

$$W = \rho \cdot g \cdot \nabla$$

$$= 45652.659 \text{ N}$$

• R_{total}

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{wet}} [C_r (1 + k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W$$

$$= 7247.890378 \text{ N}$$

$$= 7.248 \text{ kN}$$

• $R_{\text{total}} + 15\%$ (margin)

$$= 8.335 \text{ kN}$$

• $R_{\text{barga}} + R_{\text{total}} + 15\%$ (margin)

$$= 67.630 \text{ kN}$$

Propulsion & Power Calculation

PNA Vol II

Input Data :

$R_T =$	67.63	$D =$	3.900 m
$P/D =$	0.65	$Z =$	4
n (rpm) =	110	$AE/AO =$	0.4
n (rps) =	1.83	PE (kW) =	278.312
$F_n =$	0.273	$\rho =$	1.025
V_s (m/s) =	4.1152	R_n propeler =	120464338.12

Note

D = Diameter propeller, $D = 0.65.T$
 n = Putaran propeller
 P/D = Pitch ratio, 0.5-1.4
 Z = Jumlah daun propeller
 AE/AO = Expanded Area Ratio, 0.4;0.55;0.7;0.85;1
 dalam perhitungan menggunakan 0,4
 PE = Effective Horse Power = $R_T \cdot V_S$

Perhitungan :

ω (Wake Friction)

$$C_v = (1+k) \cdot C_{w0} + C_A = 0.00316$$

$$\omega = 0.3 \cdot C_B + 10 \cdot C_v \cdot C_B - 0.1 \rightarrow t = 0,1 \text{ dan } \eta_R = 0,98 = 0.092$$

PNA Vol II hlm. 162-163

Propulsion Coeffisien (η_D)

$$J = \frac{V_A}{nD} = 0.523 \quad \omega_P = \frac{V - V_A}{V_A} = 0.102$$

$$V_A = V(1-\omega) = 3.736$$

PNA Vol II hlm. 152 - 153

$$\eta_0 = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q} = 0.55 \rightarrow \text{berdasarkan pengalaman}$$

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-\omega} = 0.9913806$$

$$\eta_R = 0.98 \rightarrow \text{Principle of Naval Architecture Vol II hlm.163}$$

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = 0.534 \quad P_E = R_T \cdot V_S = 278.312 \quad P_D = \frac{P_E}{\eta_H \eta_o \eta_r} = 520.838 \text{ kW}$$

Perhitungan PB

$$\eta_B \eta_S = 0.98 \rightarrow \text{Parametric Design Hlm. 31}$$

$$\eta_o = 0.975$$

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_H \eta_o \eta_r \eta_s \eta_B} = 545.094518 \text{ kW}$$

Total P_b adalah P_b ditambah margin sebesar 15% sehingga P_b total = $P_b + 15\%P_b = 615.9568 \text{ kW}$

Koreksi

Letak Mesin = 16.3528356 m
 Faktor Rute = 54.5094518 kW
 Total P_B = 615.956806 kW
 Total BHP = 963.073104 HP

Dikarenakan sistem penggabungan menggunakan *rope connection*, adanya kemungkinan *losing power* saat *pusher tug* mendorong barge. Maka guna menanggulangnya, nilai P_b diberikan tambahan power 15% guna mendapatkan mesin yang lebih besar Total $P_b = 814.6029 \text{ kW} = 1107.534 \text{ HP}$

Pemilihan Mesin Induk

Daya =	526 kW	715 HP
Jumlah =	2 Unit	
RPM =	2300	
L =	1574 mm	
W =	969 mm	
H =	1005 mm	
Dry mass =	1.2 ton	
Total mass =	2.4 ton	

Jenis Mesin

Caterpillar C 12

Pemilihan Genset

Daya Genset yang diminta	263 kW
Daya =	185 kW
Jumlah =	2 unit
H =	699 mm
W =	533 mm
L =	962 mm
Dry mass =	1 ton

Jenis Genset

Caterpillar 3406C Genset

Perhitungan Berat Permesinan

Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition

Input Data :

D = 3.900
n (rpm) = 110
Z = 4 buah
AE/AO = 0.40
P_D = 520.83781 kW
P_B = 545.09452 kW

Perhitungan :

Main Engine

W_E = 2.4 ton

Propulsion Unit

Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hal 175

• Gear Box

$$W_{\text{GEAR}} = (0.3 \sim 0.4) \frac{P_B}{1.982 \text{ tdf}}$$

• Shafting

Panjang poros (l) = 4 m

$$M_s/l = 11.5 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.235$$

$$M_s = M_s/l \cdot l$$

$$= 0.942 \text{ ton}$$

• Propeller

$$d_p = 11.5 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 19.311$$

$$K \approx \left(\left(\frac{d_p}{D} \right) \left(1.85 \frac{A_p}{A_e} \right) - (Z - 2) \right) / 100$$

$$= 0.017$$

$$W_{\text{Prop}} = D^3 \cdot K$$

$$= 0.987 \text{ ton}$$

• Total

$$W_{\text{T,Prop}} = W_{\text{Gear}} + M_s + W_{\text{Prop}}$$

$$= 3.911 \text{ ton}$$

Electrical Unit

Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hal 175

- W_{Agg} = 0,001 · P_B (15 + 0,014 · P_B)
= 12.33621 ton

Other Weight

- W_{ov} = (0,04 hingga 0,07)P_B estimasi diambil 0,05
= 35.418 ton

- Total Machinery Weight = 51.665 ton

Titik Berat Machinery Plant

Parametric Design hlm.11

- h_{db} = B/15
= 1.000 m
- KG_m = hdb + 0.35(D' - hdb)
= 1.112 m
- LCB = 1.115 m
- LCB_{mid} = -5.9261909 m
- LCG dari FP 17.075 m

Perhitungan Berat Baja dan E&O Kapal

Chapter 5 Practical Ship Design (Watson D.) & Ship Design Efficiency and Economy , 1998

No	Type kapal	K	
1	Bulk carriers	0.031	0.002
2	Passenger ship	0.038	0.001
3	Coaster	0.03	0.002
4	Container Ship	0.036	0.003
5	Research ship	0.045	0.002
6	Chemical tanker	0.036	0.001
7	Tanker	0.032	0.003
8	Refrigerated cargo	0.034	0.002
9	Tugs	0.044	0.002
10	Ro-Ro Ferries	0.031	0.006

→ Hal 85 Practical Ship Design

Input Data :

$L_o =$	22.298 m
$H_o =$	3.179 m
$B_o =$	6.000 m
$T_o =$	2.308 m
$F_n =$	0.273

Perhitungan :

1 Berat Baja

$$Wst = Wsi' (1+0.05(Cb'-Cb))$$

$$Wsi' = Wsi - (%Scrap \cdot Wsi)$$

$$Wsi = K \cdot E^{1.36}$$

$$Cb' = 0.7$$

Practical Ship Design hal. 83-85

(Net Steel Weight)

note : % Scrap adalah menunjukkan sejumlah bagian baja yang hilang karena proses kerja. Nilainya fungsi dari Cb, Jenis kapal, dan ukuran kapal (David G.M Watson, Practical Ship Design, 1998)

$$* E = L \cdot (B+T) + 0.85 \cdot L \cdot (D-T) + 0.85(11 \cdot h1) + 0.75(12 \cdot h2)$$

Dimana :	$l1 =$	11.15 m
	$h1 =$	2.2 m
	$l2 =$	6.69 m
	$h2 =$	2.2 m

$$* E = 233.640$$

$$* Wsi = 73.228 \text{ ton}$$

$$* Wsi' = Wsi - (%Scrap \cdot Wsi)$$

$$Wsi' = 62.371 \text{ ton}$$

$$* Wst = Wsi' (1+0.05(Cb'-Cb))$$

$$Wst = 62.746 \text{ ton}$$

Length of Ship	Scrap %	
	Min	Max
60 m > L > 100 m	0.5	1
45 m > L > 60 m	1	2
L < 45 m	3	3

Cb correction Scrap

$$\% \text{ Scrap} = 5.022Cb^{-1.57}$$

$$\% \text{ Scrap} = 11.83 \%$$

$$\text{Total Scrap \%} = 14.83 \%$$

2 Berat Outfitting

$$W_o = C_o \cdot L \cdot B$$

Ship Design For Efficiency & Economy hal 166

$$C_o = \text{Outfit weight coefficient}$$

$$C_o = 165.0 \quad \text{kg/m}^2$$

Perencanaan :

- Luas Forecastle = 13.379 m²
Berat E&O Forecastle = 2.208 Ton

- Luas Main Deck = 53.516 m²
Berat E&O Main Deck = 8.830 Ton

- Luas Poop Deck = 46.8265 m²
Berat E&O Poop Deck = 7.726 Ton

Berat Total E&O = 34.217 Ton

- Luas Second Deck House = 46.8265 m²
Berat E&O Second Deck House = 7.726 Ton

- Luas Wheel House = 46.8265 m²
Berat E&O Whell House = 7.726 Ton

Consumable and Crew Calculation

Chapter 11 Parametric Design : Michael G. Parsons
Lecture of Ship Design and Ship Theory : Herald Poehls J

Input Data :

L =	22.298	m	Vs =	4.1152	m/s	8	knots
B =	6.000	m	PB =	615.9568	kW	963	HP
H =	3.179	m		963.0731	HP		
T =	2.308	m					

Perhitungan :

Consumable :

• Jumlah Crew

$$\begin{aligned}C_{st} &= 1.2 \text{ (Coef steward dept 1,2 - 1.33)} \\C_{dk} &= 11.5 \text{ (Coef deck dept. 11,5 - 14,5)} \\C_{eng} &= 8.5 \text{ (Coef engine dept 8,5 - 11,00 diesel)} \\cadet &= 1 \\Zc &= \text{Cst.Cdk. (L.B.H.35/105)}^{1/6} + \text{Ceng. (BHP/105)}^{1/3} + \text{cadet} \\&= 9.85456995 \text{ orang} \quad \text{dalam kapal ini ada} \quad 10\end{aligned}$$

• Crew Weight

$$\begin{aligned}C_{C\&E} &= 0.17 \text{ ton/person} \\W_{C\&E} &= 1.7 \text{ ton}\end{aligned}$$

Ref: Parametric design chapter 11, p11-25

• Fuel Oil

$$\begin{aligned}\text{SFR} &= 0.00019 \text{ ton/kW.hr} && (0.000190 \text{ ton/kW hr untuk diesel engine)} \\ \text{MCR} &= 615.956806 \text{ kW} \\ \text{Margin} &= 0.1 && [1+(5\% \sim 10\%)] \cdot \text{WFO} \\ W_{FO} &= \text{SFR} \cdot \text{MCR} \cdot S / V_S \cdot (1 + \text{Margin}) && ; \text{Margin 5-10\%} \\ &= 21.268 \text{ ton} && \text{koreksi cadangan engine 1,3-1,5 diambil 1,4} \\ V_{FO} &= 22.836 \text{ m}^3 && \text{S (range) adalah jarak yang ditempuh dalam nautical milles} \\ &&& \text{range} = 147 \text{ nautical milles} \\ &&& 367.5 \text{ nautical milles} \quad (\text{Pekanbaru-Dumai-Pekanbaru})\end{aligned}$$

• Diesel Oil

$$\begin{aligned}C_{DO} &= 0.02 \text{ ton/hour} \\ W_{DO} &= 4.254 \text{ ton} \\ V_{DO} &= 5.104 \text{ m}^3\end{aligned}$$

• Lubrication Oil

$$\begin{aligned}W_{LO} &= \text{bhp} \cdot \text{sloc} \cdot \text{radius pelayaran} / \text{vs} \cdot 10^{-6} \cdot 1,4 \quad \text{ton} \quad (\text{medium speed diesel}) \\ &= 0.031691 \text{ ton} \\ V_{LO} &= 0.037 \text{ m}^3\end{aligned}$$

• Fresh Water

$$\begin{aligned}\text{range} &= 367.5 \text{ mil laut} \\ V_S &= 8 \text{ knot} \\ \text{day} &= 1.9140625 \\ W_{FW \text{ Tot}} &= 0.17 \text{ ton/(person.day)} \\ &= 3.25390625 \text{ ton} \\ \rho_{fw} &= 1 \text{ ton/m}^3 \\ V_{FW} &= 3.3840625 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Ref: Parametric design chapter 11, p11-24

• Provision and Store

$$\begin{aligned}W_{PR} &= 0.05 \text{ ton/(person.day)} \\ &= 0.95703125 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\text{Werew\&consumable} = 31.4647 \text{ ton}$$

WEIGHT RECAPITULATION

LWT + DWT

No	Item		Value	Unit
1	Steel Weight	=	62.746	ton
2	Machinery Plant Weight	=	51.665	ton
3	E&O Weight	=	34.217	ton
4	Wress Weight	=	8.009	ton
5	Crew and Consumable	=	31.465	ton
TOTAL =			188.101	ton
Displacement				
				$\Delta = 190.732 \text{ ton}$
Selisih =				2.631 ton
				1.38 %

Center of Gravity Calculation

Parametric Design Chapter 11

TITIK BERAT BAJA		
item	value	unit
Berat baja	62.74629238	ton
CBD	0.627117596	
KG	1.761344882	m
LCG	-2.91	% from midship
LCG	-0.650	m from midship
LCG	10.50	m from FP

TITIK BERAT E&O		
item	value	unit
berat E&O	34.217	ton
KG	3.179	m
LCG	0.223	m dari FP

TITIK BERAT PAYLOAD		
item	value	unit
berat payload	8.008773714	ton
KG	3.2955	m
LCG	0.22	m dari FP

TITIK BERAT BERAT CADANGAN		
item	value	unit
berat cadanga	2.630930215	ton
KG	4.2955	m
LCG	0.22	m dari FP

TITIK BERAT GABUNGAN		
item	value	units
total berat	188.1013427	ton
KG	1.366129305	m
LCG	3.555581373	m dari FP

Freeboard Calculation

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

Input Data :

$$\begin{aligned}L &= 22.30 \text{ m} \\B &= 6.00 \text{ m} \\D &= 3.18 \text{ m} \\d_1 &= 85\% \text{ Moulded Depth} \\&= 2.70 \text{ m} \\C_B &= 0.580 \\Tipe \text{ kapal} &= \text{Type A}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}S &= I_{Poop} + I_{FC} \\&= 6.69 \text{ m}\end{aligned}$$

Perhitungan :

• Freeboard Standard

$$F_b = 200.00 \text{ mm}$$

Regulation 28 Table 28.1

• Koreksi

1. Koreksi untuk Kapal dibawah 100 m

Regulation 29 Correction for depth

untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100$ m dan mempunyai superstructure tertutup dengan panjang mencapai 35%L

$$F_{b1} = 7.5 (100-L)(0.35 - E/L)$$

$$E = 6.69 \text{ m}$$

$E < 35\% L$, maka tidak terdapat koreksi

$$\text{Koreksi} = 29.1381192 \text{ mm}$$

$$F_{b1} = 0 \text{ mm}$$

2. Koreksi Cb

Regulation 30 Correction for Cb

Jika $C_b = 0.68$

$$F_{b2} = F_b \cdot [(C_b + 0.68)/1.36]$$

$$= 26.99 \text{ mm}$$

3. Koreksi Depth (D)

Regulation 31 Correction for depth

Untuk kapal dengan harga $D > L/15$ maka dikoreksi sebagai berikut :

$$F_{b3} = R(D-L/15) \text{ [mm]}$$

$$R = L/0.48 \quad (\text{untuk } L < 120\text{m})$$

$$= 46.45$$

$$D = 3.179 \text{ mm}$$

$$\text{Jika } D > L/15 \text{ maka } F_{b3} = F_{b2} + (R(D-L/15))$$

$$L/15 = 1.48655659$$

$$F_{b3} = 105.59 \text{ mm}$$

4. Koreksi Bangunan Atas (Super Structure)

Regulation 33-34 Correction for Superstructure

Forecastle

$$I_{FC} = 6.69 \text{ m}$$

$$h_{S_{FC}} = 2.30 \text{ m}$$

$$h_{FC} = 2.20 \text{ m}$$

$$I_{S_{FC}} = 6.40 \text{ m}$$

Poop

$$I_{poop} = 0.00 \text{ m}$$

$$h_{S_{poop}} = 0.00 \text{ m}$$

$$h_{poop} = 0 \text{ m}$$

$$I_{S_{poop}} = 0.00 \text{ m}$$

Effective Length Super Structure

$$E = I_{S_{FC}} + I_{S_{poop}}$$

$$= 6.40 \text{ m}$$

$$E[x.L] = 0.3$$

$$\%F_b = 21\%$$

Superstructure

$$F_{b4} = -42 \text{ mm}$$

5. Koreksi Sheer

Regulation 38 Correction for Sheer

Kapal tidak menggunakan sheer, maka :

$$\text{Tinggi Sheer di FP} = 0.00 \text{ m} \quad (S_f)$$

$$\text{Tinggi Sheer di AP} = 0.00 \text{ m} \quad (S_a)$$

koreksi kelengkungan =

$$A = 1/6 [2.5 (L+30) - 100(Sf-Sa)] \times [0.75 - S/2L]$$

$$A = 16.343234 \text{ mm}$$

$$B = 0.125 \times L$$

$$B = 2.78729361 \text{ mm}$$

Maka, koreksi LMK yang digunakan adalah

$$A = 16.34 \text{ mm}$$

• **Minimum Bow height**

Kapal Tongkang tidak menggunakan bow, maka

$$Fb_6 = 0 \text{ mm}$$

Regulation 39 Req. bow height

• **Batasan Freeboard**

Actual Freeboard

$$Fba = H - T$$

$$= 0.87082729 \text{ m}$$

Total Calculation Freeboard

$$Fb = 306.91 \text{ mm}$$

$$Fb = 0.31 \text{ m}$$

Kondisi (Fba - Fb') = Accepted (karena $Fba > Fb'$ maka Accepted)

Trim Calculation

Chapter 11 Parametric Design, Michael G. Parsons

Input Data :

L_{PP}	=	22.30 m
B	=	6.00 m
T	=	2.31 m
C_M	=	0.97526
C_B	=	0.57952
C_{WP}	=	0.69103
∇	=	186.08 m ³
KG	=	1.36613 m
$LCG_{LWT\ FP}$	=	3.55558 m
$LCB_{\text{dari FP}}$	=	9.33581 m

Perhitungan :

Sifat Hidrostatik

1. KB

$$\begin{aligned} KB/T &= 0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 18} \\ &= 0.54947 \\ KB &= 1.26801 \text{ m} \end{aligned}$$

2. BM_T

$$\begin{aligned} C_I &= 0.1216 \cdot C_{WP} - 0.041 \\ &\text{Transverse Inertia Coefficient} \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 19} \\ &= 0.04303 \\ I_T &= C_I \cdot L_{PP} \cdot B^3 \\ &= 207.246 \text{ m}^4 \\ BM_T &= I_T / \nabla \quad ; \text{jarak B dan M secara melintang} \\ &= 1.11375 \text{ m} \end{aligned}$$

3. BM_L

$$\begin{aligned} C_{IL} &= 0.350 \cdot C_{WP}^2 - 0.405 \cdot C_{WP} + 0.146 \\ &\text{Longitudinal Inertia Coefficient} \\ &= 0.03327 \\ I_L &= C_{IL} \cdot L_{PP}^3 \cdot B \\ &= 2212.91 \text{ m}^4 \\ BM_L &= I_L / \nabla \quad ; \text{jarak B dan M secara melintang} \\ &= 11.8922 \text{ m} \end{aligned}$$

4. GM_L

$$\begin{aligned} &= KB + BM_L - KG \\ &= 11.7941 \end{aligned}$$

5. Trim

$$\begin{aligned} &= ((LCG - LCB) \cdot L_{PP}), \quad ; \text{Parametric Ship Design hal 11 - 27} \\ &= -10.9283 \text{ m} \end{aligned}$$

Kondisi Trim

Trim Haluan

6. Batasan Trim

$$\Delta (LCG - LCB) = -5.78023$$

$$0.1 \cdot L_{pp} = 2.22983$$

**Kondisi Batasan Trim
Diterima**

Stability Calculation

Manning Methode (1965) and IMO Resolution A. 749 (18)

Input Data :

weight = long ton
Length = feet
1 feet = 0.3048 m
L = 73.16 ft
B = 19.69 ft
Bw = 19.69 ft (maximum waterline breadth = B)
H (sarat) = 7.57 ft
D_M (Depth) = 10.43 ft
S_F = 0.00 ft
S_A = 0.00 ft
D₀ = Δ (ton)/1.016
 = 187.73 long ton
L_d = length of superstructure which extend to sides of ship
 = 21.95 ft
d = 7.22 ft
C_B = 0.580
C_w = 0.691
C_x = midship section coefficient at draft H = Cm
 = 0.975

Perhitungan :

Perhitungan Awal

C_{PV} = vertical prismatic coff. = C_B/C_w
 = 0.839
A₀ = area of waterline plan at designed draft = L.Bw.C_w
 = 1207.71
A_M = area of immersed midship section= B.H.C_x
 = 145.35
S = Mean Sheer:(Ld*d)+(0.5*L*(SF/3))+(0.5*L*(SA/3))
 = 158.41
A₂ = area of vertical centerline plane to depth D= (0.98*L*DM)+S
 = 906.054
D = Mean Depth :(S/L)+DM
 = 12.59
F = mean freeboard =D-T
 = 5.022
A₁ = area of waterline plane at depth D maybe estimate from A₀ and nature of
 stations above waterline = 1.01 . A₀
 = 1219.79

Perhitungan Koefisien GZ

$$\Delta_T = \Delta_0 + \left(\left(\frac{A_0 + A_1}{2} \right) \cdot \left(\frac{F}{35} \right) \right)$$

$$= 361.90$$

$$\delta = \frac{\Delta_T}{2 - \Delta_0}$$

$$= -6.78$$

$$C_w' = \frac{A_2}{L \cdot D}$$

$$= 0.983$$

$$C_x' = \frac{A_M - (B \cdot F)}{B \cdot D}$$

$$= -0.357$$

$$C_{PV}' = \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_1 \cdot B}$$

$$= 0.825$$

$$C_{pv}'' = \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_2 \cdot B}$$

$$= 0.710$$

$$C_w'' = C_w' - \frac{(140 \cdot d) \cdot (1 - C_{pv}'')}{B \cdot D \cdot L}$$

$$= 0.999$$

$$f_0 = \frac{H \cdot \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right]}{2 \cdot F \cdot (1 - C_{pv}'')}$$

$$= 0.047$$

$$f_1 = \frac{H \cdot \left[1 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \right]}{2 \cdot F \cdot (1 - C_{pv}'')}$$

$$= 0.071$$

$$f_2 = \text{jika } CX' > 0.89, \text{ maka } = 9.1 \cdot (CX' - 0.342), \quad \text{jika tidak } = 0$$

$$= 0$$

$$KG = C_{KG} D_M$$

$$= 0.13$$

• factor h1

$$f(=0) = 0.438$$

$$f(=0.5) = 0.451$$

$$f(=1) = 0.463$$

h1 = untuk h1, h0 dan h2

jika $0 < f_1 < 0.5$, maka $= (f=0) + [(f_1 - 0) / (0.5 - 0)] \cdot ((f=0.5) - (f=0))$

jika tidak $= (f=0.5) + [(f_1 - 0.5) / (1 - 0.5)] \cdot (f=1) - f=0.5$

$$= 0.440$$

$$KG' = (D(1-h_1)\Delta T^{-\delta}) / (2\Delta 0)$$

$$= 6.82$$

$$GG' = (KG' - KG)$$

$$= 6.68$$

• factor h0

$$f(=0) = 0.442$$

$$f(=0.5) = 0.455$$

$$f(=1) = 0.466$$

$$h_0 = 0.444$$

$$KB_0 = (1-h_0)H$$

$$= 4.213$$

$$G'B_0 = KG' - KB_0$$

$$= 2.606$$

• factor h2

$$f(=0) = 0.623$$

$$f(=0.5) = 0.415$$

$$f(=1) = 0.431$$

$$h_2 = 0.623$$

$$G'B_{90} = (DT \cdot h_2 \cdot B) / 4 \cdot D_0 - [d_2 / D_0 \cdot (17.5 / (A_2 - (70 \cdot d / 8) \cdot (1 - C_{pv}'')))]$$

$$= 5.905$$

$$C_1 = 0.043$$

$$BM_0 = 3.625$$

$$CI' = 0.087$$

$$BM_{90} = (C_1 \cdot L \cdot D_3) / 35 \cdot D_0 + [(Ld \cdot d \cdot D_2) / 140 \cdot D_0]$$

$$= 2.890$$

$$GM_0 = KB_0 + BM_0 - KG$$

$$= 7.703$$

$$\begin{aligned}
G'M_0 &= KB_0 + BM_0 - KG' \\
&= 1.019 \\
b_1 &= [9*(G'B_0 - G'B_0)/8] - [(G'M_0 - G'M_0)/32] \\
&= 3.585 \\
b_2 &= (G'M_0 + G'M_0)/8 \\
&= -0.249 \\
b_3 &= 3*(G'M_0 - G'M_0)/32 - 3*(G'B_0 - G'B_0)/8 \\
&= -0.859
\end{aligned}$$

$$G'M_{90} = -3.015$$

19.1.4. Perhitungan Lengan Statis (GZ [feet])

• Heel Angle (f) = 0

$$\begin{aligned}
GG' \sin 1f &= GG' * \sin((0 * \pi()) / 180) \\
&= 0.000 \\
b_1 \sin 2f &= b_1 * \sin((2 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= 0.000 \\
b_2 \sin 4f &= b_2 * \sin((4 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= 0.000 \\
b_3 \sin 6f &= b_3 * \sin((6 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= 0.000 \\
GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
&= 0.000
\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 5

$$\begin{aligned}
GG' \sin 1f &= GG' * \sin((0 * \pi()) / 180) \\
&= 0.583 \\
b_1 \sin 2f &= b_1 * \sin((2 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= 0.623 \\
b_2 \sin 4f &= b_2 * \sin((4 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= -0.085 \\
b_3 \sin 6f &= b_3 * \sin((6 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= -0.430 \\
GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
&= 0.690
\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 10

$$\begin{aligned}
GG' \sin 1f &= GG' * \sin((0 * \pi()) / 180) \\
&= 1.161 \\
b_1 \sin 2f &= b_1 * \sin((2 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= 1.226 \\
b_2 \sin 4f &= b_2 * \sin((4 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= -0.160 \\
b_3 \sin 6f &= b_3 * \sin((6 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= -0.744 \\
GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
&= 1.483
\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 15

$$\begin{aligned}
GG' \sin 1f &= GG' * \sin((0 * \pi()) / 180) \\
&= 1.730 \\
b_1 \sin 2f &= b_1 * \sin((2 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= 1.793 \\
b_2 \sin 4f &= b_2 * \sin((4 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= -0.216 \\
b_3 \sin 6f &= b_3 * \sin((6 * 0 * \pi()) / 180) \\
&= -0.859 \\
GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\
&= 2.448
\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 20

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.286 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.305 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.246 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.744 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 3.601\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 25

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.825 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.747 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.246 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.430 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 4.896\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 30

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.342 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.105 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.216 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 6.231\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 35

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.834 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.369 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.160 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.430 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 7.472\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 40

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 4.297 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 3.531 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.085 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.744 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 8.486\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 45

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 4.726 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 3.585 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.000 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.859 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 9.171\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 50

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 5.120 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 3.531 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.085 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.744 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 9.481\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 55

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 5.475 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 3.369 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.160 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.430 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 9.435\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 60

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 5.789 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 3.105 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.216 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 9.110\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 65

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 6.058 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 2.747 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= 0.246 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi()) / 180) \\ &= -0.430 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 8.621\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 70

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.281 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 2.305 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.246 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.744 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 8.088\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 75

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.456 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 1.793 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.216 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.859 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 7.606\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 80

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.583 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 1.226 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.160 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.744 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 7.225\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 85

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.659 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.623 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.085 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= -0.430 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 6.937\end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 90

$$\begin{aligned}GG' \sin 1f &= GG' \cdot \sin((0 \cdot \pi)/180) \\ &= 6.684 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \cdot \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \cdot \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \cdot \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)/180) \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 6.684\end{aligned}$$

Perhitungan Lengan Dinamis (L_D [feet.rad])

- $h[\text{radian}]$ = (karena jarak sudut yang dibuat 5, maka dimasukkan =5 / (180/phi)
= 0.0873
- L_D
 - 10° = seperti simpson dari 0 - 10 derajat $1/3 * h * (a+4*b+c)$
= 0.1235
 - 20° = 0.4327
 - 30° = 0.8557
 - 40° = 1.2976
 - $L_{D\text{Total}} = 2.7094$

REKAPITULASI PERHITUNGAN STABILITAS

unit : metric

Lengan Statis (GZ [m])

GZ	=	
0	=	0.0000
5	=	0.2104
10	=	0.4519
15	=	0.7461
20	=	1.0977
25	=	1.4924
30	=	1.8993
35	=	2.2776
40	=	2.5866
45	=	2.7953
50	=	2.8897
55	=	2.8756
60	=	2.7767
65	=	2.6276
70	=	2.4651
75	=	2.3184
80	=	2.2023
85	=	2.1145
90	=	2.0373

Lengan Dinamis (L_D [m.rad])

L_D	=	
10	=	0.0376
20	=	0.1319
30	=	0.2608
40	=	0.3955
$L_{D\text{Total}}$	=	0.8258

Sudut Maksimum

Gz max = nilai maksimum GZ dari semua sudut 0-90
= 2.890

Kolom ke- (nilai terbesar tersebut pada kolom ke berapa)
= 11

Heel at Gz max (pada sudut heel berapa)
= 50

Titik

X1	=	45
X2	=	50
X3	=	55
Y1	=	2.7953
Y2	=	2.8897
Y3	=	2.8756

Hasil perkalian matriks

a	=	-2.936
b	=	0.225
c	=	-0.002
qmax [X°]	=	52

Batasan Stabilitas Menurut IMO Resolution A. 749 (18)

Input data :

e [m . rad]	$GZ 30^\circ = 6.23118$
$30^\circ = 0.261$	$\Theta_{max} [X^\circ] = 52$
$40^\circ = 0.395$	$GM^0 = [\text{feet}] = 7.7032192$
$30^\circ - 40^\circ = 0.135$	$[\text{m}] = 2.3479412$

Perhitungan :

• **Kriteria IMO Regulation A. 749 (18)**

$e_{0,30} \geq 0.055 = \text{Accepted}$

$e_{0,40} \geq 0.09 = \text{Accepted}$

$e_{30,40} \geq 0.03 = \text{Accepted}$

$h_{30} \geq 0.2 = \text{Accepted}$

$\phi_{max} \geq 25^\circ = \text{Accepted}$

$GM^0 \geq 0.15 = \text{Accepted}$

Status = OK

Building Cost Calculation

(Reference : Practical Ship Design, D.G.M. Watson)

Input :

A. Biaya Pembangunan Kapal

Rekapitulasi Berat :

Input Data:

Berat Baja	Wst=	62.75 Ton
Berat Perlengkapan	Weo=	34.22 Ton
Berat Machinery Plan	Wm=	51.66 Ton

Perhitungan :

1) Structural Cost

Pst =	Wst x Cst	
Cst=		3,948 \$/Ton
Maka, Pst=		247,707.74 \$
	Rp.	2,226,892,549

2) Outfitting Cost

Peo =	Weo x Ceo	
Weo=		18,333 \$/Ton
Maka, Peo=		627,303.03 \$
	Rp.	5,639,454,266.13

3) Machinery Cost

Pm =	Wm x Cm	
Wm=		19,429 \$/Ton
Maka, Pm=		1,003,769.87 \$
	Rp.	9,023,891,149.16

Curve of Regretion Structural Cost, Machinery Cost & Outfit Cost

[Adapted from : Practical Ship Design , David G. M. Watson]

Structural Cost		Machinery Cost		Outfit Cost	
X	Y	X	Y	X	Y
446.11	4016.441	0.00	19999.998	108.512	18095.879
1000	3573.251	250	17404.864	250	17691.549
2000	3177.978	500	15223.740	500	16989.057
3000	2920.543	750	13526.948	750	16278.670
4000	2747.847	1000	12207.742	1000	15634.406
5000	2615.739	1250	11254.785	1250	15106.225
6000	2504.969	1500	10651.590	1500	14539.627
7000	2409.150	1750	10236.659	1750	13984.849
8000	2324.653	2000	9849.905	2000	13396.412
9000	2250.496	2250	9481.228	2250	12875.384
10000	2186.169	2486.794	9246.100	2500	12456.512
11000	2130.366			2750	12042.495
12000	2080.288			3000	11581.376
13000	2033.178			3106.808	11388.140
14000	1987.390				
15000	1943.498				
16000	1902.357				
17000	1864.790				
18000	1831.242				
19000	1801.637				
20000	1775.868				
21000	1753.819				
22000	1734.882				
23000	1717.950				
24000	1701.906				
25000	1685.992				
26000	1670.219				
27000	1654.697				
28000	1639.537				
29000	1624.807				
30000	1610.403				
31000	1596.181				
31275.6	1592.275				

Hasil Regresi :

Structural Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

$$a = 0.0000000000$$

$$b = -0.0000000011$$

$$c = 0.0000297990$$

$$d = -0.3899111919$$

$$e = 3972.1153341357$$

Machinery Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

$$a = -0.0000000001$$

$$b = -0.0000002814$$

$$c = 0.0041959716$$

$$d = -11.6043551506$$

$$e = 20016.8963585246$$

Outfit Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

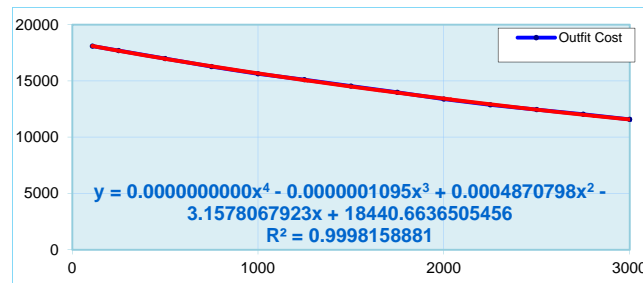
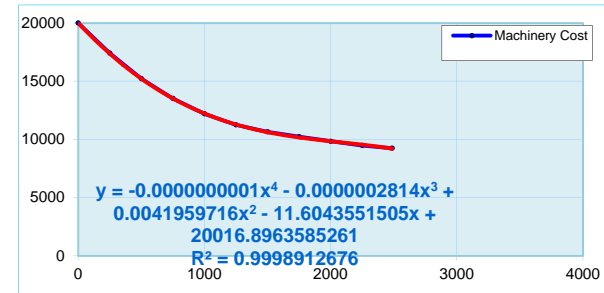
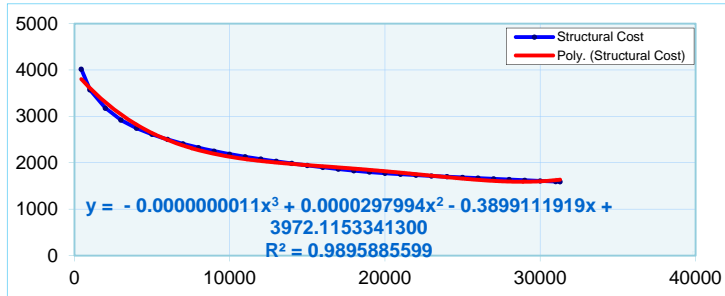
$$a = 0$$

$$b = -0.0000001095$$

$$c = 0.0004870798$$

$$d = -3.1578067922$$

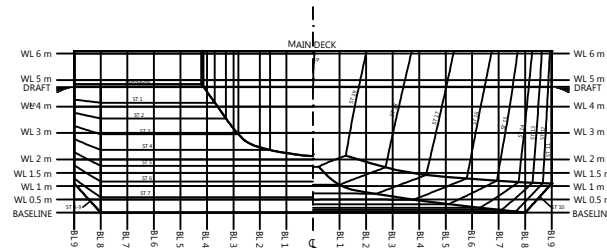
$$e = 18440.6636505112$$



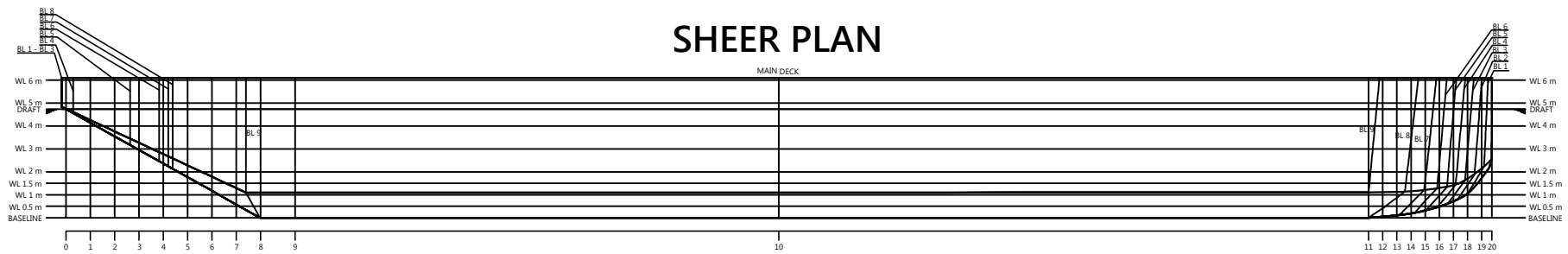
LAMPIRAN

3.Rencana Garis dan Rencana Umum

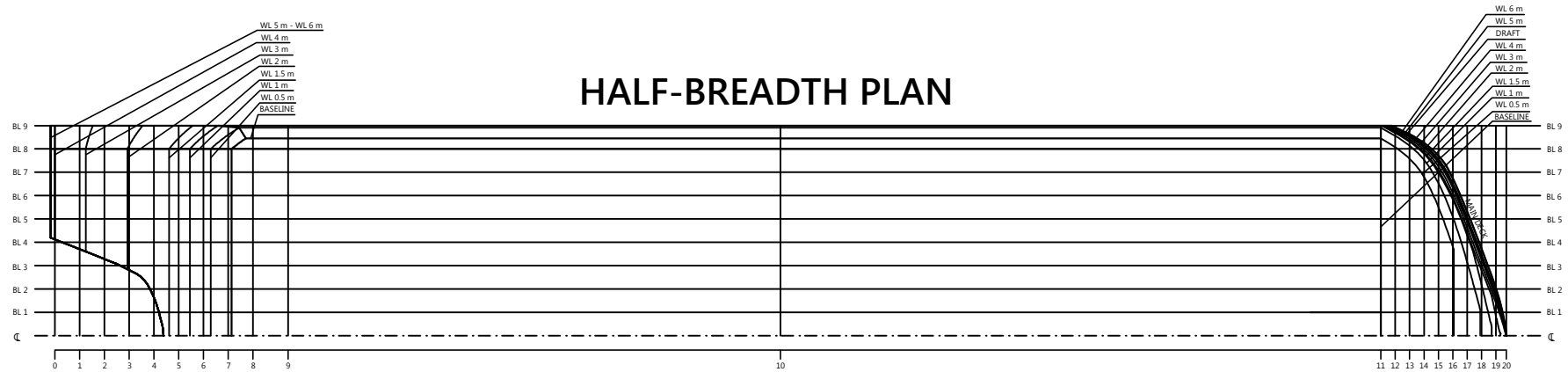
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF-BREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP TYPE	: CPO BARGE
LENGTH OVER ALL	: 62.43 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 62.24 M
MOULDED BREADTH	: 18 M
MOULDED DEPTH	: 6.1 M
MOULDED DRAUGHT	: 4.74 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.829



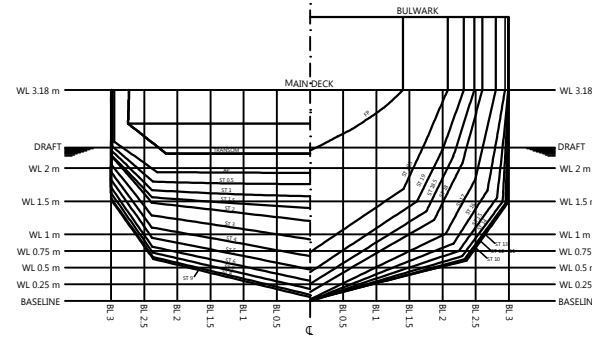
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

CPO BARGE

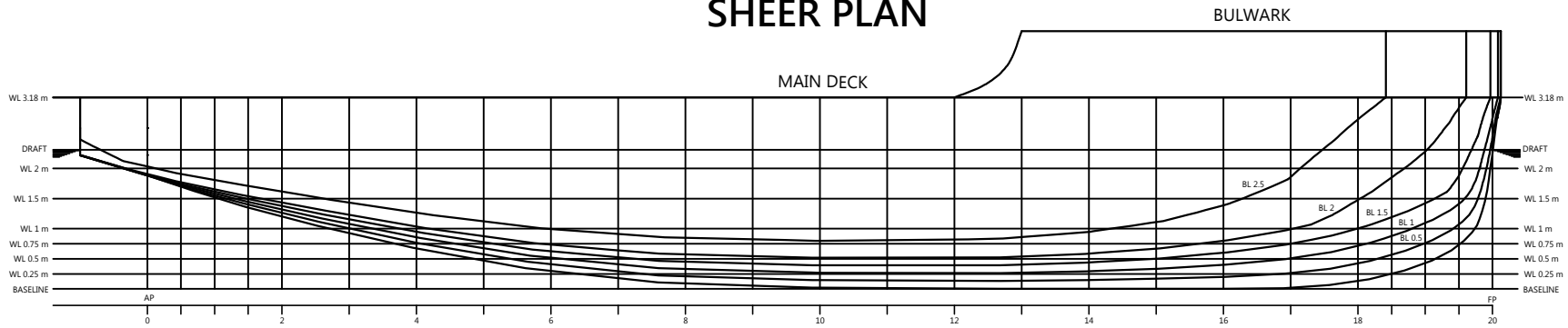
LINES PLAN

SCALE	: 1 : 100	DATE	14-01-2015	SIGNATURE		NOTES	
DRAWN BY	: Wahyu Hidayat	APPROVED BY	: Ir. Wasis Dwi Anyawan, M.Sc, Ph.D.	15-01-2015			Reg. No: 4111100104

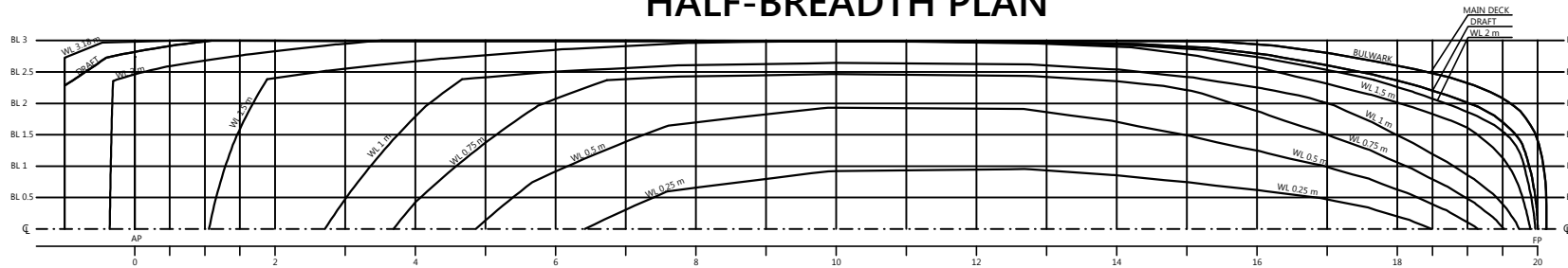
BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF-BREADTH PLAN



PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP TYPE	: PUSHER TUG
LENGTH OVER ALL	: 23.55 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 22.30 M
MOULDED BREADTH	: 6.00 M
MOULDED DEPTH	: 3.18 M
MOULDED DRAUGHT	: 2.31 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.580
DESIGNED SERVICE SPEED	: 8 KNOTS

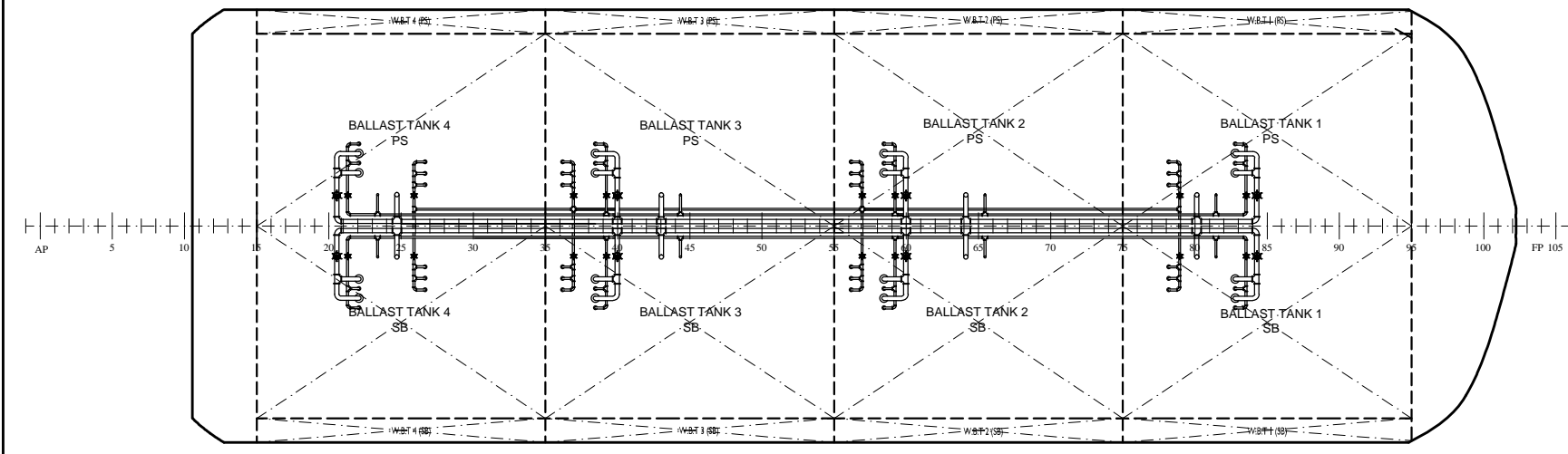
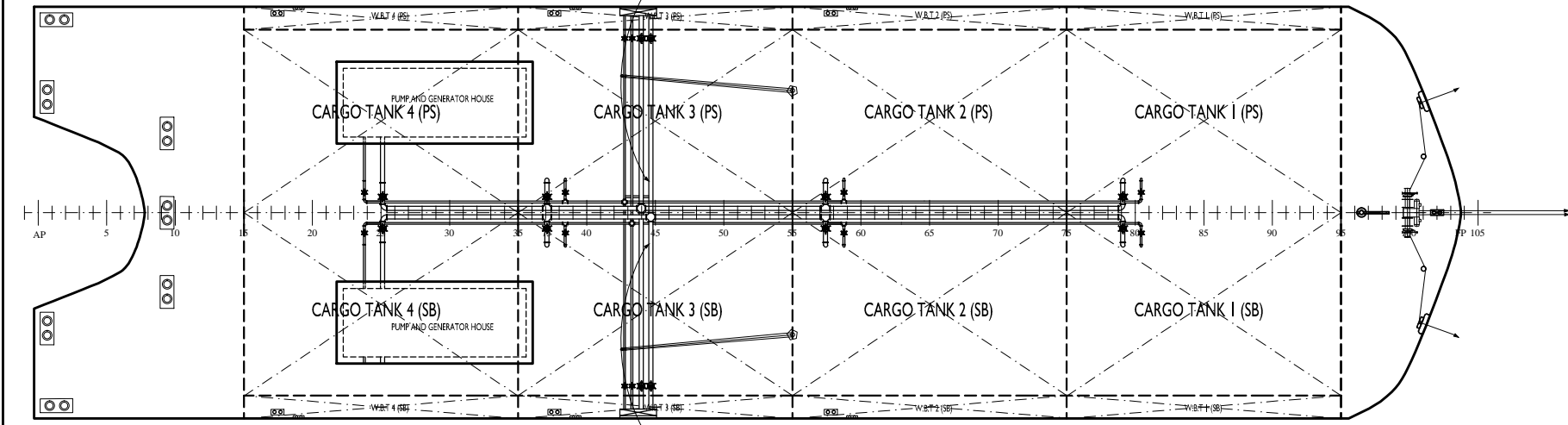
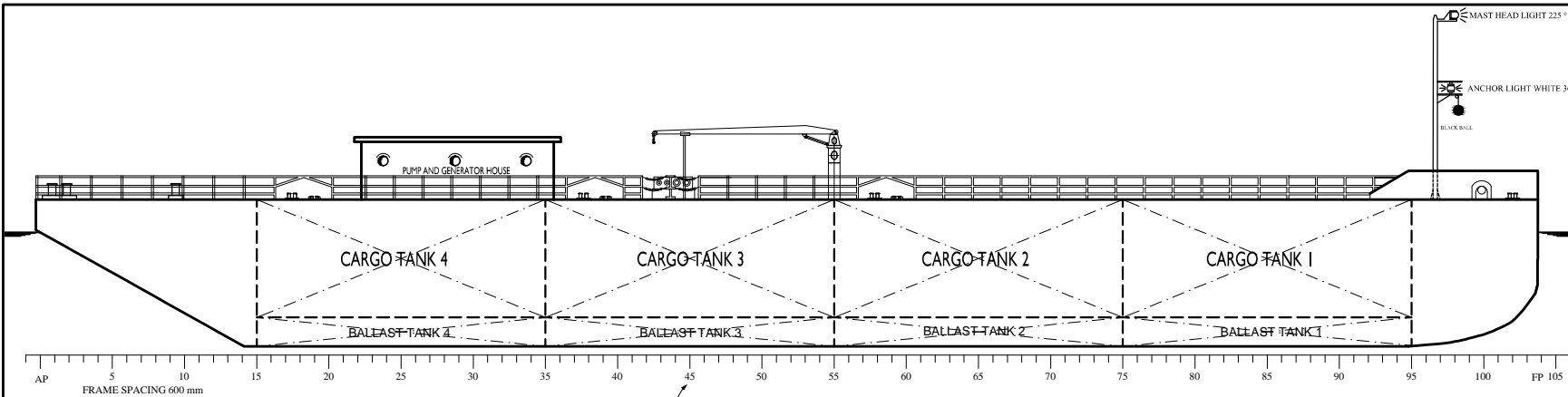


DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

PUSHER TUG BOAT
2 x 715 HP

LINES PLAN

SCALE	DATE	SIGNATURE	NOTES
: 1 : 25	14-01-2015		
DRAWN BY : Wahyu Hidayat	15-01-2015		
APPROVED BY : Ir. Wasis Dwi Anyawan, M.Sc, Ph.D.			Reg. No: 4111100104



PRINCIPAL DIMENSIONS

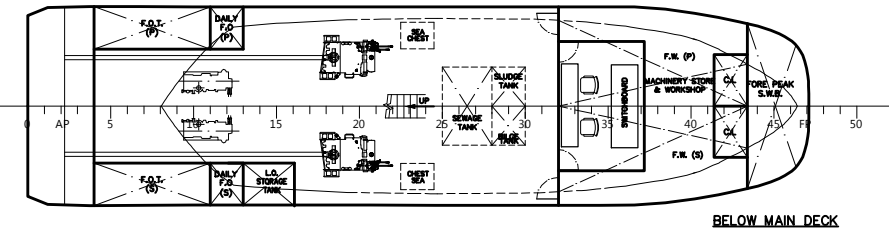
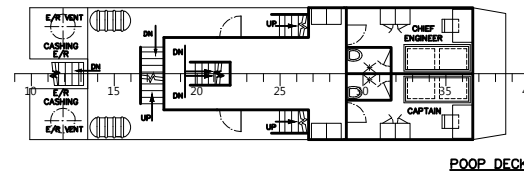
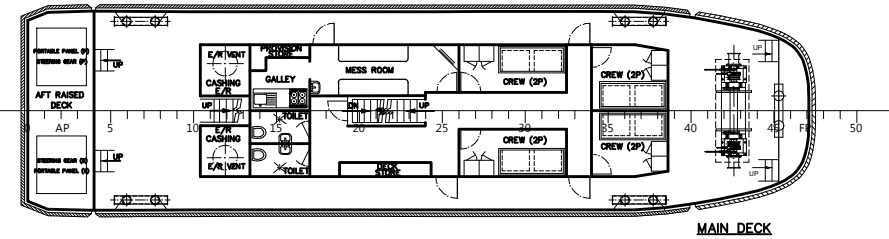
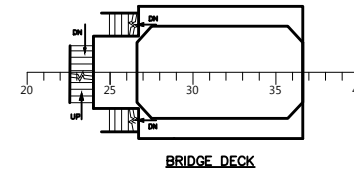
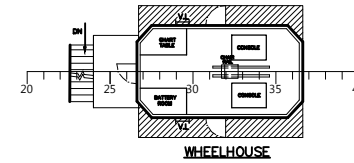
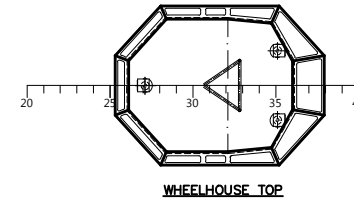
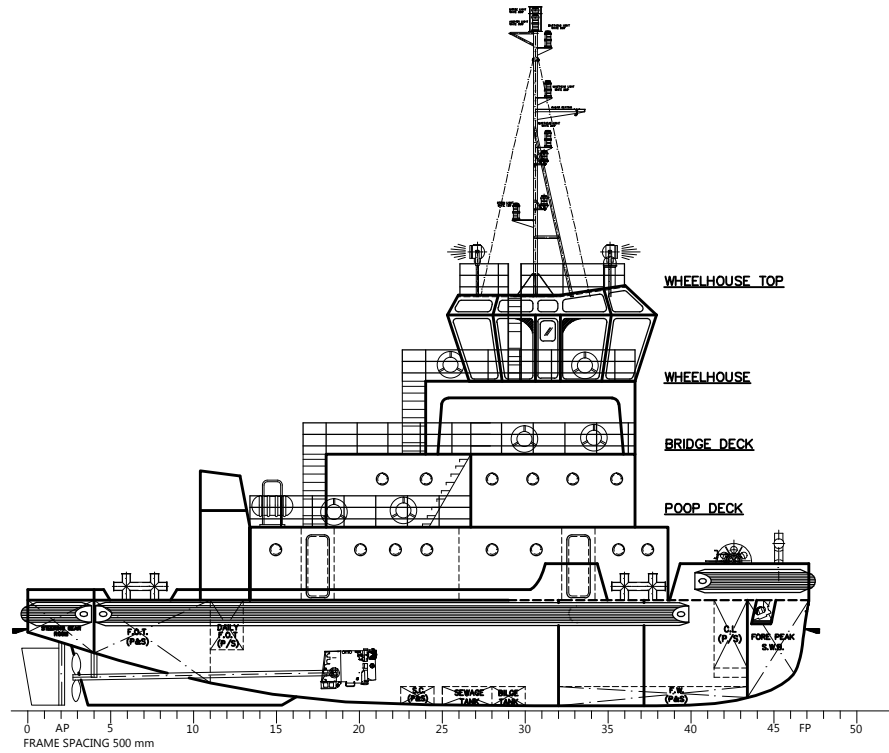
SHIP TYPE	: CPO BARGE
LENGTH OVER ALL	: 62.43 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 62.24 M
MOULDED BREADTH	: 18 M
MOULDED DEPTH	: 6.1 M
MOULDED DRAUGHT	: 4.74 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.829

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

CPO BARGE


GENERAL ARRANGEMENT

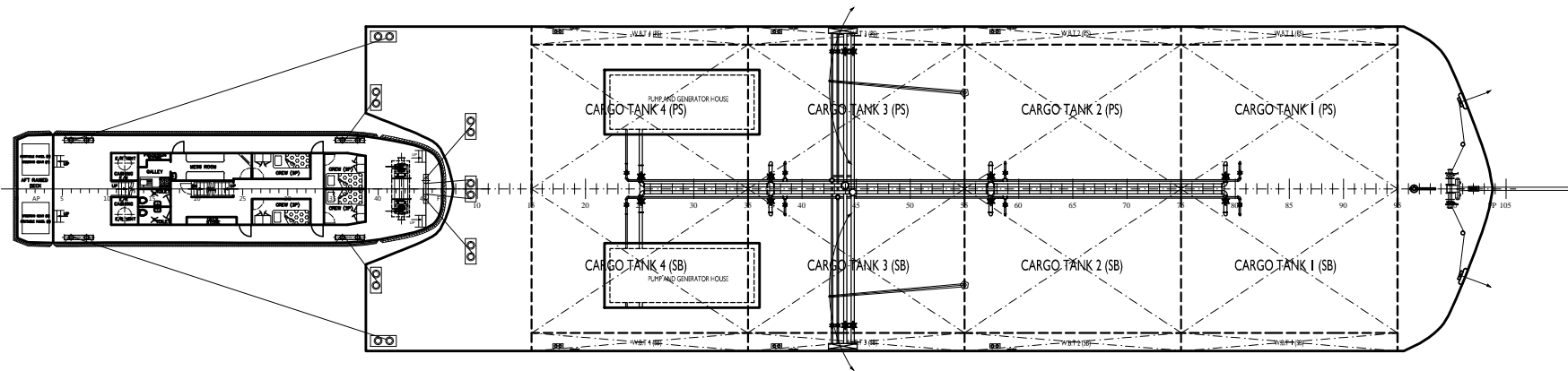
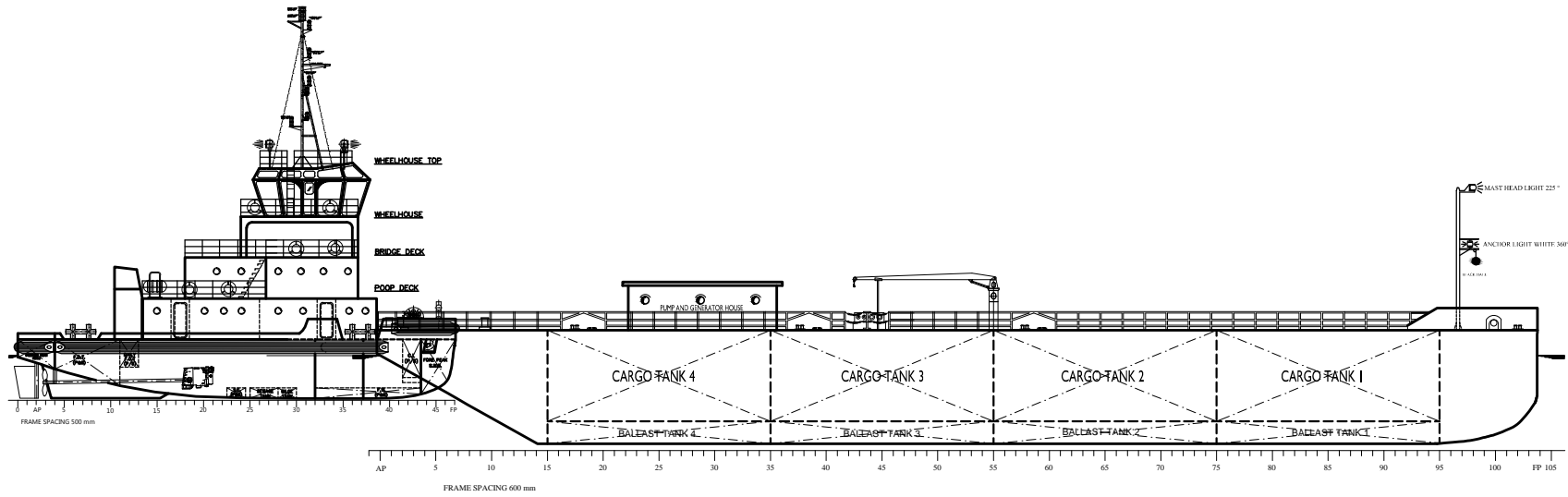
SCALE	: 1:100	DATE	14-01-2015	SIGNATURE		NOTES
DRAWN BY	: Wahyu Hidayat	APPROVED BY	: Wasis Dwi Arjawan, M.Sc. Ph.D.			Rev. No: 43110004



PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP TYPE	: PUSHER TUG
LENGTH OVER ALL	: 23.55 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 22.30 M
MOULDED BREADTH	: 6.00 M
MOULDED DEPTH	: 3.18 M
MOULDED DRAUGHT	: 2.31 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.580
DESIGNED SERVICE SPEED	: 8 KNOTS

	DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY PUSHER TUG BOAT 2 x 715 HP		
	<h2>GENERAL ARRANGEMENT</h2>		
SCALE	: 1 : 80	DATE	14-01-2015
DRAWN BY	: Wahyu Hidayat	SIGNATURE	
APPROVED BY	: Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.	DATE	15-01-2015
		NOTES	Reg No.: 4111100104



PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP TYPE	: CPO BARGE
LENGTH OVER ALL	: 22.43 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 62.24 M
MOULDED BREADTH	: 18 M
MOULDED DEPTH	: 6.1 M
MOULDED DRAUGHT	: 4.74 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.829

PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP TYPE	: PUSHER TUG
LENGTH OVER ALL	: 23.55 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	: 22.30 M
MOULDED BREADTH	: 6.00 M
MOULDED DEPTH	: 3.18 M
MOULDED DRAUGHT	: 2.31 M
BLOCK COEFFICIENT	: 0.580
DESIGNED SERVICE SPEED	: 8 KNOTS

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

INTEGRATED TUG BARGE

GENERAL ARRANGEMENT

SCALE	: 1:100	DATE		SIGNATURE		NOTES	
DRAWN BY	: Wahyu Hilary	DATE	: 14-01-2023	SIGNATURE		NOTES	
APPROVED BY	: Ir. Widi Dwi Anggoro, M.Sc., Ph.D.	DATE	: 15-01-2023	SIGNATURE		NOTES	

PROFIL PENULIS



WAHYU HIDAYAT, terlahir sebagai anak kedua dalam keluarganya pada 1 Agustus, menyelesaikan pendidikan S-1 sebagai Sarjana Teknik Perkapalan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dibesarkan di Batam, tempat dimana penulis menamatkan pendidikan dasarnya. Pada tahun 2008, penulis lulus dari SMPN 3 Batam, dimana penulis bergabung dengan OSIS sekolah ini dan menjabat sebagai Ketua untuk periode 2007-2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Batam dan lulus pada tahun 2011. Semasa bersekolah di sini, penulis banyak terlibat aktif pada beberapa organisasi yaitu; OSIS SMAN 1 Batam sebagai staff pada 2009-2010, Forum Anak Batam sebagai Ketua Departemen Perlindungan Anak pada 2010-2011, dan Kongres Anak Nasional sebagai Ketua Departemen Perlindungan Anak pada 2010-2011.

Semasa mengenyam pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya, dimulai sejak tahun 2011 yang merupakan tahun dimana penulis diterima menjadi mahasiswa, penulis fokus dalam hal akademik dengan visi mengembangkan Indonesia menjadi lebih baik sebagai negara maritim. Beberapa pelatihan diikutinya untuk menjadi salah satu pakar maritim seperti; LKMM Pra-TD diadakan oleh BEM Fakultas Teknologi Kelautan ITS, *Autocad Intermediate Course* diadakan oleh Jurusan Teknik Perkapalan ITS, *Autocad 2D+3D Workshop* diadakan oleh 3D Solution Course Center Surabaya, dan Pelatihan Maxsurf diadakan oleh Jurusan Teknik Perkapalan ITS. Tak hanya itu, di sisi lain dia juga banyak berkontribusi pada organisasi kampus. Terlihat dari pencapaiannya yaitu; staff pada Student Association of Riau Archipelago in Surabaya pada 2011-2012, staff pada Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN 6) pada 2011-2012, staff pada Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN 7) pada 2012-2013, staff pada Departmen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) ITS pada 2012-2013, sie acara ITS EXPO 2013, dan menjadi Ketua Departemen Dalam Negeri HIMATEKPAL ITS pada 2012-2013.

Pada pertengahan tahun 2014, penulis menyelesaikan Kerja Praktek di Multi Ocean Shipyard (MOS) Karimun, di Prov. Kepulauan Riau. Melalui Tugas Akhir yang berjudul “Studi Desain *Integrated Tug-Barge* (ITB) Pengangkut CPO (*Crude Palm Oil*) yang Sesuai

untuk Perairan Sungai Siak”, mengantarkannya menjadi Sarjana Teknik Perkapalan ITS pada tahun 2015.

All these achievements are the reflection of the struggle in every moment which comes to lead him into a higher step closer to be succeed. So, **don't wait for a right moment, but make that right moment.**

Hidayat.wahyu93@gmail.com (+6281267116757)