



TUGAS AKHIR - MN 141581

**DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* (SPOB)
UNTUK DISTRIBUSI *CRUDE OIL* DI KABUPATEN
SORONG, PAPUA BARAT**

Nandika Bagus Prayoga

N.R.P. 4111 100 021

Dosen Pembimbing

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

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MN 141581

**SELF-PROPELLED OIL BARGE (SPOB) DESIGN FOR
DISTRIBUTION OF CRUDE OIL IN SORONG DISTRICT,
WEST PAPUA**

Nandika Bagus Prayoga

N.R.P. 4111 100 021

Supervisor

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

Department of Naval Architecture & Shipbuilding Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“DESAIN SELF-PROPELLED OIL BARGE (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI CRUDE OIL DI KABUPATEN SORONG, PAPUA BARAT.”** 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 Ketua Jurusan Teknik Perkapalan dan selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, ilmu, untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di jurusan teknik perkapalan.
3. Orang tua dan saudara kandung yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya.
4. Ahmad Subari, Fahrizal Eka S. dan Wahyu Hidayat yang berperan besar dalam membantu menyelesaikan pekerjaan Tugas Akhir ini.
5. Keluarga P-51 (CENTERLINE) yang selalu menemani dan mendukung.
6. Bagus Gelis, Stefanus Ian, Bagus Ivan, Dimas Nurdianto, Bagus Ivan, M. Ardan dan R. Ega Saputra selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Pradesta Wienpy, Nova Eka, Zulharis Olivianto dan Bintang Jiwa selaku teman-teman penghuni rumah kontrakan yang selalu mendukung penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
8. 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

4 Januari 2016

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI *CRUDE OIL* DI KABUPATEN SORONG, PAPUA BARAT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Perencanaan

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NANDIKA BAGUS PRAYOGA

NRP. 4111 100 021

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

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

NIP. 19651002.198901 1 001

SURABAYA, 26 JANUARI 2016

LEMBAR REVISI

DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* UNTUK DISTRIBUSI *CRUDE OIL* DI KABUPATEN SORONG, PAPUA BARAT

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir

Tanggal 14 Januari 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Nandika Bagus Prayoga

N.R.P. 4111 100 021

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

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

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

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



SURABAYA, 20 JANUARI 2016

DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI *CRUDE OIL* DI DAERAH KABUPATEN SORONG, PAPUA BARAT

Nama : Nandika Bagus Prayoga
NRP : 4111 100 021
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Papua Barat merupakan provinsi penghasil minyak bumi yang ada di Indonesia bagian timur, salah satu daerah yang memiliki potensi tersebut adalah di Kabupaten Sorong. Dengan dikenal sebagai julukan kota minyak, kabupaten yang memiliki ibukota dengan nama Sorong tersebut memiliki 350 sumur minyak dan mampu memproduksi sekitar 3.321.698.000 barrel per tahun . Dari hasil tersebut menjadikan produksi minyak bumi sebagai penyumbang devisa daerah terbesar setelah sektor perikanan dan industri kayu. Jalur distribusi minyak bumi daerah kabupaten Sorong terdapat di sepanjang selat yang memisahkan antara Pulau Papua dan Pulau Salawati. Berdasarkan dampak turunnya harga minyak dunia dan dilakukan langkah penghematan pengeluaran biaya perusahaan, maka dibutuhkan suatu inovasi alat transportasi pengangkutan minyak bumi dari yang selama ini hanya menggunakan tongkang yang ditarik oleh kapal tunda. *Self-Propelled Oil Barge* (SPOB) diharapkan menjadi inovasi solusi yang cukup baik dalam hal sarana transportasi minyak bumi di daerah Kabupaten Sorong. Dengan mencari rata-rata *payload* dari hasil perhitungan optimasi penentuan rute distribusi dengan metode *Traveling Salesman Problem*, yang selanjutnya akan dijadikan nilai *owner requirement*. Lalu dengan menggunakan metode *optimization design approach*, *Self-Propelled Oil Barge* dihitung dan dirancangan dengan beberapa batasan untuk mencari nilai pembangunan kapal yang paling minimum. Dari proses optimasi didapatkan ukuran utama barge adalah $L = 70.31$ m, $B = 12$ m, $H = 6.50$ m, $T = 4.40$ m.

Kata kunci: *Minyak bumi; Kabupaten Sorong, Traveling Salesman Problem, Optimization Design Approach, Self-Propelled Oil Barge.*

SELF-PROPELLED OIL BARGE (SPOB) DESIGN FOR DISTRIBUTION OF CRUDE OIL IN SORONG DISTRICT, WEST PAPUA

Nama : Nandika Bagus Prayoga
NRP : 4111 100 021
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

West Papua is an oil-producing province in eastern Indonesia, one of the areas that have the potential is at Sorong District. Known as the city of oil, the district with the name Sorong as capital city has 350 oil wells and is capable to producing approximately 3.321.698.000 barrels per year. From these results make oil production of Sorong as the largest foreign exchange earner after the local fisheries sector and the timber industry. Crude oil distribution channels Sorong district are along the strait that separates the Island of Papua and Salawati Island. Based from recent condition, the world oil price crisis made all company to do cost saving. The innovative solution to transport crude oil which so far only using pulled barges by tugboats is using Self-Propelled Oil Barge (SPOB). SPOB is expected to be a good solution in terms of transportation of crude oil in the area of Sorong. By finding the average payload from calculating the distribution route optimization using Traveling Salesman Problem method, which would be used as the value of owner requirement. Then using the method of Optimization Design Approach, Self-Propelled Oil Barge calculated and designed with some constrain to find the value of the minimum ship building cost. From the optimization process obtaining the main dimension of the barge, the size is : $L = 70.31$ m, $B = 12$ m, $H = 6.50$ m, $T = 4.40$ m.

Key word : Crude oil, Sorong, Travelling Salesman Problem, Optimization Design Approach, Self-Propelled Oil Barge

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Gambaran Umum.....	1
1.2 Latar Belakang.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Tujuan.....	4
1.6 Manfaat.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 <i>Crude Oil</i>	8
2.2.1 Pengertian <i>Crude Oil</i>	8
2.2.2 Pemanfaatan <i>Crude Oil</i>	8
2.2.3 Metode Pemuatan <i>Crude Oil</i>	10
2.3 Sumur Minyak.....	11
2.4 Kilang Minyak.....	12
2.5 Pengangkutan <i>Crude Oil</i>	12
2.5.1 Moda Transportasi <i>Crude Oil</i>	12

2.5.2 Kapal Pengangkut <i>Crude Oil</i>	13
2.5.3 Perkembangan Kapal Pengangkut Muatan Curah Cair	15
2.6 <i>Self-Propelled Barge</i> Sebagai Transportasi Angkut Pilihan.....	16
2.7 Optimasi Jaringan	19
2.7.1 Metode <i>Travelling Salesman Problem</i>	19
2.8 Teori Desain.....	22
2.9 Tujuan Desain	22
2.10 Tahapan Desain.....	23
2.10.1 <i>Concept Design</i>	23
2.10.2 <i>Preliminary Design</i>	23
2.10.3 <i>Contract Design</i>	24
2.10.4 <i>Detail Design</i>	25
2.11 Metode Perancangan Kapal	25
2.11.1 <i>Parent Design Approach</i>	25
2.11.2 <i>Trend Curve Approach</i>	25
2.11.3 <i>Iteratif Design Approach</i>	26
2.11.4 <i>Parametric Design Approach</i>	26
2.12 Tinjauan Teknis Perancangan Kapal	26
2.12.1 Penentuan Ukuran Utama Dasar	26
2.12.2 Perhitungan Berat Baja Kapal.....	27
2.12.3 Menganalisa hambatan <i>Self-Propelled Barge</i>	28
2.12.4 Pengecekan Volume Ruang Muat.....	29
2.12.5 Perhitungan <i>Freeboard</i>	30
2.12.6 Perhitungan <i>Trim</i>	30
2.12.7 Stabilitas Kapal	30
BAB 3	33
TINJAUAN DAERAH	33

3.1	Pendahuluan	33
3.2	Deskripsi Singkat Mengenai Provinsi Papua Barat.....	34
3.3	Kabupaten Sorong dengan potensi Minyak Bumi.....	35
3.4	Kondisi Transportasi Kabupaten Sorong	39
BAB 4.....		41
METODOLOGI PENELITIAN		41
4.1	Pendahuluan	41
4.2	Diagram Alir Penelitian.....	42
4.3	Langkah Pengerjaan	43
4.3.1	Pengumpulan Data	43
4.3.2	Melakukan Studi Literatur.....	45
4.3.3	Analisa Data dan Perencanaan Rute Jaringan	46
4.3.4	Perhitungan Payload Kapal	46
4.3.5	Perhitungan Optimasi Ukuran Utama	46
4.3.6	Pembuatan Desain Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Barge</i>	47
BAB 5.....		49
ANALISA PENENTUAN JUMLAH MUATAN.....		49
5.1	Pendahuluan	49
5.2	Melakukan Pengumpulan Data Produksi tiap <i>Oil Rig</i> dan <i>Oil Refinery</i>	50
5.3	Melakukan Optimasi Perencanaan Jaringan.....	51
5.3.1	Penentuan Komponen Optimasi Perencanaan Jaringan	51
5.3.2	Pembuatan Model Optimasi Perencanaan Jaringan	52
BAB 6.....		55
PERANCANGAN <i>SELF PROPELLED OIL BARGE</i>		55
6.1	Pendahuluan	55
6.2	Penentuan <i>Owner Requirement</i>	56
6.3	Penentuan Ukuran Utama Pembanding <i>Self-Propelled Oil Barge</i>	56

6.4 Pembuatan Model Optimasi Ukuran Utama	57
6.4.1 Penentuan Variabel	57
6.4.2 Penentuan Parameter	57
6.4.3 Penentuan Batasan	58
6.4.4 Penentuan Fungsi Objektif	60
6.4.5 <i>Running Model Iterasi Solver Barge</i>	61
6.4.6 Pengecekan Perhitungan	63
6.4.7 Perhitungan Hambatan	64
6.4.8 Perhitungan Berat dan Titik Berat	68
6.4.9 Pemeriksaan Stabilitas	73
6.4.10 Pemeriksaan Ruang Muat	74
6.4.11 Pemeriksaan <i>Freeboard</i>	76
6.5 Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum <i>Self-Propelled Oil Barge</i>	77
6.5.1 Rencana Garis <i>Self-Propelled Oil Barge</i>	77
6.5.2 Rencana Umum <i>Self-Propelled Oil Barge</i>	81
6.5.3 Pemeriksaan <i>Trim</i>	83
BAB 7	85
KESIMPULAN DAN SARAN	85
7.1 Pendahuluan	85
7.2 Kesimpulan	86
7.3 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	89

Daftar Tabel

Table 1: Nilai koefisien 1+k2 berdasarkan jenis tonjolannya	29
Table 2: Perkembangan lifting minyak bumi di kabupaten Sorong.....	35
Table 3: Tabel data produksi sumur minyak di Papua Barat tahun 2014.....	44
Table 4: Data lokasi sumur minyak dan kilang minyak	50
Table 5: Jarak antar lokasi tinjauan.....	50
Table 6 : Data kapal pembanding.....	57

Daftar Gambar

Gambar 1: Peta Provinsi Papua Barat dan rute distribusi crude oil di Kabupaten Sorong, Papua Barat	3
Gambar 2: Crude Oil	8
Gambar 3: Labelling muatan berbahaya	10
Gambar 4: Drilling rig	11
Gambar 5: Oil Platform	11
Gambar 6: Salah satu kilang minyak yang terdapat di Indonesia.	12
Gambar 7: Panduan Pengangkutan Dangerous Liquid in Bulk.....	14
Gambar 8: Contoh moda transportasi pengangkut liquid in bulk berukuran besar.....	15
Gambar 9: Penggambaran bagaimana optimasi TSP bekerja	19
Gambar 10 : Diagram Desain Kapal	23
Gambar 11: Peta Pulau Papua dan Provinsi Papua Barat.....	34
Gambar 12: Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat beserta lokasi tinjauan sumur minyak	35
Gambar 13 : Salah satu sumur tua yang berada di daerah Kota Sorong, Distrik Klamono	36
Gambar 14: Salah satu sumur minyak yang berada di Pulau Salawati	37
Gambar 15: Sumur minyak lepas pantai dan FPSO Brotojoyo.....	38
Gambar 16: Pelabuhan di kota Sorong.....	39
Gambar 17: Selat Sele yang terletak di Kabupaten Sorong	39
Gambar 18: Alur Metodologi Penelitian Pengerjaan Tugas Akhir	43
Gambar 19: Pemetaan lokasi sumur minyak yang ada di Provinsi Papua Barat sesuai dengan nomer urut	44
Gambar 20: Konsep Pengertian proses optimasi.....	47
Gambar 21: Permodelan Optimasi Travelling Salesman Problem pada software M.S. Excel	52
Gambar 22: Parameter input pada tabel merah dan batasan optimasi pada tabel hijau dan kuning	53
Gambar 23: Hasil optimasi yang didapat menggunakan fungsi solver dari software MS Excel	54
Gambar 24: Grafik berat material baja dengan harga material	60
Gambar 25: Grafik Berat Permesinan dengan Harga Material	61
Gambar 26: Grafik berat perlengkapan dengan harga material	61
Gambar 27: Hasil Optimasi Ukuran Utama Kapal.....	62
Gambar 28: Proses Running Optimasi Ukuran Utama Kapal.....	62



“Whaou seed is what you get!” – Ash Ketchup

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

Minyak bumi merupakan salah satu sumber kekayaan yang sangat penting dan merupakan salah satu faktor pendukung peradaban manusia. Hingga kini telah banyak dibangun kilang minyak di seluruh dunia sebagai proses produksi minyak bumi. Namun, produktivitas minyak bumi tersebut terbatas oleh ketersediaan sumber daya yang akan habis dan eksplorasi sumber minyak bumi yang kini semakin sulit untuk didapatkan. Terbatasnya sumber minyak bumi yang ada diperburuk dengan tingginya tingkat persediaan minyak bumi dari negara superior penghasil minyak bumi seperti Amerika Serikat dan Arab Saudi. Produktivitas berkelanjutan tersebut berakibat turunnya harga minyak dunia secara drastis, yang saat ini mencapai harga US\$ 45-50 per barel, daripada tahun sebelumnya yang berkisar US\$ 100 per barel. (*detik Finance*, Agustus 2015). Penurunan harga tersebut juga berdampak langsung pada perekonomian di Indonesia.

Untuk menghindari kerugian terhadap turunnya harga minyak bumi, berbagai perusahaan minyak di dunia mulai ramai mengambil langkah penghematan, begitu juga dengan negara Indonesia. Bentuk penghematan yang dilakukan dengan memangkas karyawan perusahaan dan meminimalisir biaya operasi. Faktor pengoperasian diminimalisir berdasarkan pengurangan waktu pengeboran dan pengalihan moda transportasi angkut yang lebih fleksibel.

Sebagai bagian dari penghematan adalah dengan menciptakan moda transportasi yang lebih fleksibel. Berdasarkan bentuk geografis, Provinsi Papua Barat merupakan salah satu provinsi penghasil minyak bumi terbesar di Indonesia bagian timur, dengan potensi sebesar 66 juta barel (*Ditjen Migas – 2010*). Sumur minyak yang masih dieksploitasi terletak di distrik Klamono, pulau Salawati dan bagian utara kota Sorong. Selain terdapat sumur minyak, Provinsi Papua Barat juga memiliki kilang minyak dengan kapasitas 10 ribu barel per hari yang dibangun PT. Pertamina di desa Malabam, 90 km dari selatan kota Sorong. Kilang minyak tersebut didirikan sejak Juli 1997 untuk memenuhi kebutuhan BBM (Bahan Bakar Minyak) daerah Papua dan sekitarnya. (*pertamina.com – Januari 2014*)

Dalam prakteknya dewasa ini produksi dan distribusi *crude oil* dilakukan dari daerah Klamono menuju kota Sorong melalui jalur pipa kemudian didistribusikan langsung melalui pesisir pantai menuju tempat penyulingan di Pertamina Unit Pengolahan VII di Kasim. Selain itu proses distribusi juga berasal dari pulau Salawati dengan menyeberangi selat Sele.



Gambar 1: Peta Provinsi Papua Barat dan rute distribusi crude oil di Kabupaten Sorong, Papua Barat.

Proses distribusi minyak bumi di Provinsi Papua Barat masih dilayani oleh kapal-kapal tanker yang secara teknik biaya operasional yang besar, dan menggunakan kapal tongkang yang didorong maupun ditarik menggunakan kapal tunda untuk rute laut yang relatif pendek. Penggunaan kapal tongkang sendiri memiliki keuntungan dalam pengoperasian bongkar muat yang lebih cepat juga biaya pelabuhan yang lebih murah karena volume ruangan tertutup kecil. Namun penggunaan kapal tongkang yang ditarik menggunakan kapal tunda memiliki resiko dapat terbalik apabila berlayar dalam keadaan gelombang tinggi akibat dari merenggangnya tali yang menghubungkan antara kapal tunda dan kapal tongkang tersebut. Kebanyakan kapal tunda yang menarik kapal tongkang memiliki beberapa kendala dalam pengopersiannya akibat dari kondisi perairan sungai yang memiliki tikungan tajam dan berarus cukup kuat. Selain itu daya mesin yang dibutuhkan kapal tunda untuk menarik kapal tongkang terbilang besar, untuk itu dibutuhkan mesin penggerak sendiri untuk menambah efisiensi dalam sektor operasi.

Untuk menekan biaya operasional dalam pendistribusian minyak mentah sebagai salah satu upaya penghematan dari krisis jatuhnya harga minyak dunia, maka dirancang kapal tongkang yang memiliki penggerak sendiri, atau biasa disebut *Self-Propelled Barge*.

1.3 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana desain *Self-Propelled Oil Barge* yang sesuai dengan karakteristik perairan di sekitar kota Sorong, Provinsi Papua Barat yang dapat menjadi pilihan sarana distribusi *Crude Oil* pada daerah tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

- 1) Perairan yang digunakan untuk studi kasus adalah perairan Papua Barat.
- 2) Pembuatan desain dibatasi oleh penggunaan *software Maxsurf*.
- 3) Proses desain yang dibahas hanya sebatas *concept design*.
- 4) Tidak sampai membahas perhitungan konstruksi, kekuatan memanjang, dan kekuatan melintang.
- 5) Kapal tongkang yang dimaksud adalah *Self-Propelled Barge* yang dapat mengangkut *Crude Oil*.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mendapatkan *payload* yang sesuai dengan kondisi lapangan.
- 2) Mendapatkan dan mengolah data-data kapal pembanding.
- 3) Mendapatkan ukuran utama *Self-Propelled Oil Barge* (L, B, H, T).
- 4) Mendapatkan desain *linesplan* (rencana garis) dari *Self-Propelled Oil Barge*.
- 5) Mendapatkan desain *general arrangement* (rencana umum) dari *Self Propelled Oil Barge*.

1.6 Manfaat

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

- 1) Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.
- 2) Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan dan desain *Self-Propelled Oil Barge* yang sesuai, sebagai bahan pertimbangan dalam pembuatan kapal untuk sarana pendistribusian *Crude Oil* di perairan Papua Barat dan sekitarnya.

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. TINJAUAN DAERAH

Bab ini berisikan pemaparan data mengenai daerah operasional dari kapal yang akan didesain. Dalam bab ini berisi informasi mengenai daerah pelayaran, kondisi laut, dan faktor-faktor pendukung operasional kapal.

BAB IV. 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 V. ANALISA PENENTUAN JUMLAH MUATAN

Bab ini berisi merupakan tujuan pertama dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses optimasi rute pelayaran kapal demi mendapat rute pelayaran kapal yang dianggap optimum. Kemudian dilanjutkan dengan tahap perhitungan jumlah muatan bersih yang akan diangkut oleh kapal atau biasa disebut dengan *payload*.

BAB VI. PERANCANGAN *SELF-PROPELLED BARGE*

Bab ini merupakan inti dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses optimasi desain yang dilakukan guna mendapatkan ukuran utama

bage 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 VII. PENUTUP

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



“If youun you stand a chance of losing, but if you don’t run you’ve already lost.”

– Barack Obama

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan secara detail dasar teori termasuk pengetahuan mengenai jenis muatan, kondisi perairan Selat Sele, 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 Oil

2.2.1 Pengertian Crude Oil

Crude Oil, atau diartikan sebagai minyak bumi dalam bahasa Indonesia adalah cairan kental, berwarna coklat atau kehijauan yang mudah terbakar. Minyak bumi merupakan sumber energi utama dalam kehidupan manusia. Minyak bumi terkandung dari campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon, sebagian besar seri alkane, tetapi bervariasi dalam penampilan, komposisi, dan kemurniannya. Minyak bumi terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang tertimbun dalam kerak bumi, tekanan yang hebat dari timbunan itu dan suhu yang sangat ekstrem selama jutaan tahun menjadi cair, Lamanya pembentukan minyak bumi inilah yang menjadikan minyak bumi dikatakan sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui.



Gambar 1: Crude Oil

(Buku Pintar Migas Indonesia – www.academia.edu)

2.2.2 Pemanfaatan Crude Oil

Minyak bumi dapat diolah menjadi suatu bahan yang sangat berguna bagi kelangsungan kehidupan manusia, yaitu sebagai berikut :

1) LPG

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan gas hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas, yang komponen utamanya adalah gas propane dan butane lebih kurang 99% dan selebihnya adalah gas pentane yang dicairkan.

2) Bensin

Bensin merupakan bahan bakar transportasi yang masih memegang peranan penting sampai saat ini. Bensin mengandung lebih dari 500 jenis

hidrokarbon yang memiliki rantai C5-C10. Kadarnya bervariasi tergantung komposisi minyak mentah dan kualitas yang diinginkan.

3) Bahan bakar penerbangan

Bahan bakar penerbangan salah satunya *avtur* yang digunakan sebagai bahan bakar pesawat terbang.

4) Minyak tanah (kerosin)

Bahan bakar hidrokarbon yang diperoleh sebagai hasil penyulingan minyak bumi dengan titik didih yang lebih tinggi daripada bensin.

5) Solar

Diesel, di Indonesia lebih dikenal dengan nama solar, adalah suatu produk akhir yang digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin diesel yang diciptakan oleh Rudolf Diesel, dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering.

6) Pelumas

Pelumas adalah zat kimia, yang umumnya cairan, yang diberikan diantara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan.

7) Lilin

Lilin adalah sumber penerangan yang terdiri dari sumbu yang diselubungi oleh bahan bakar padat. Bahan bakar yang digunakan adalah paraffin.

8) Minyak bakar

Minyak bakar adalah hasil distilasi dari penyulingan minyak tetapi belum membentuk residu akhir dari proses penyulingan itu sendiri. Biasanya warna dari minyak bakar ini adalah hitam chom. Selain itu minyak bakar lebih pekat dibandingkan dengan minyak diesel.

9) Aspal

Aspal ialah bahan hidrokarbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan *viscoelastis*. Aspal sering juga disebut bitumen karena merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang digunakan sebagai bahan pelapis jalan raya.

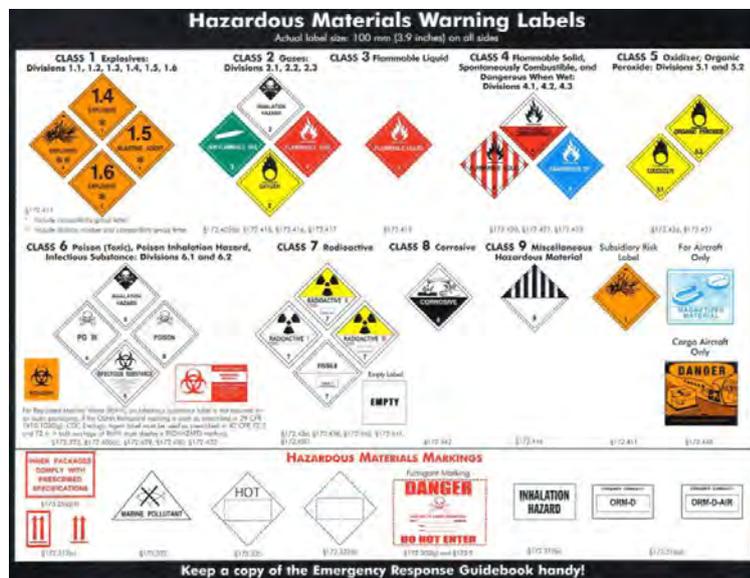
10) Plastik

Plastik adalah bahan yang elastik, tahan panas, mudah dibentuk, lebih ringan dari kayu, dan tidak berkarat oleh adanya kelembapan. Plastik selain harganya murah, juga dapat digunakan sebagai isolator dan mudah diwarnai.

Sedangkan kelemahan plastik adalah tidak dapat dihancurkan (degradasi). Biasanya bahan baku plastik digunakan untuk berbagai keperluan ringan sehari-hari.

2.2.3 Metode Pemuatan *Crude Oil*

Minyak bumi merupakan muatan yang dikemas dalam bentuk curah (*bulk*), dimana pengertian dari muatan curah adalah “muatan tidak dikemas dan dikapalkan sekaligus dalam jumlah besar” (Sudjatmiko, 1967), dari kutipan pengertian di atas dapat diartikan bahwa muatan curah memiliki karakteristik unik yang dapat mempengaruhi resiko keselamatan transportasi ketika perjalanan menuju pelabuhan tujuan. Maka dari itu diperlukan penanganan khusus agar transportasi muatan curah cair dapat berlangsung aman. Bahkan kebijakan pemerintah pada Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 69 Tahun 1993 menyebutkan pada setiap pengiriman barang muatan curah, harus dilengkapi dengan dokumen berisi keterangan nama dan alamat perusahaan, nama barang, tempat tangki timbun di pelabuhan (*Shore tank*), tanggal pengiriman, berat bersih, tempat/negara tujuan, dan keterangan-keterangan lain yang diperlukan.



Gambar 2: Labelling muatan berbahaya

2.3 Sumur Minyak

Sumur minyak adalah istilah umum untuk segala pemboran melalui permukaan bumi yang dirancang untuk mencari dan mendapatkan minyak bumi dalam bentuk hidrokarbon. Biasanya beberapa gas alam yang diproduksi bersama dengan minyak. Sumur minyak dapat terbagi menjadi dua macam jenis, yaitu :

- 1) *Drilling rig*, pengeboran minyak yang dilakukan di daratan, biasa disebut juga dengan *on-shore oil drilling*.



Gambar 3: Drilling rig

- 2) *Oil Platform*, pengeboran minyak yang dilakukan di laut lepas atau *offshore*, dengan bentuk bangunan besar yang bisa mengapung dan ada yang dibangun dari dasar laut, yang terdapat fasilitas untuk melakukan pengeboran.



Gambar 4: Oil Platform

2.4 Kilang Minyak

Kilang minyak atau disebut juga dengan *oil refinery* adalah pabrik atau fasilitas industri yang mengolah minyak mentah menjadi suatu produk yang bisa langsung digunakan maupun produk-produk lain yang menjadi bahan baku bagi industri lainnya. Produk-produk utama yang dihasilkan dari kilang minyak antara lain : minyak nafta, bensin, bahan bakar diesel, minyak tanah dan elpiji.



Gambar 5: Salah satu kilang minyak yang terdapat di Indonesia.

2.5 Pengangkutan *Crude Oil*

2.5.1 Moda Transportasi *Crude Oil*

Model pengangkutan untuk hasil minyak bumi atau *crude oil* terdapat dua macam, yaitu pengangkutan melalui terusan pipa hingga ke tempat kilang minyak atau pengangkutan dengan menggunakan transportasi laut. Dimana yang digunakan sebagai objek penelitian dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah pengangkutan hasil produksi minyak bumi dengan menggunakan transportasi laut, yang diangkut oleh kapal tanker. Berikut tahapan alir yang harus dilalui oleh minyak bumi dari sumur minyak hingga menuju kilang minyak sebagai berikut :

- 1) Minyak bumi biasanya berada 3-4 km di bawah permukaan. Minyak bumi diperoleh dengan membuat sumur bor, baik dari pengeboran di atas daratan atau di atas laut/lepas pantai. Khusus untuk pengeboran di laut, minyak mentah dari sumur pengeboran, akan dialirkan dengan pipa bawah laut menuju *onshore* atau diangkut menggunakan kapal tanker menuju stasiun penyimpanan bahan baku untuk diolah. Selain pengangkutan melalui kapal tanker ada juga diolah

langsung di laut lepas, dengan menggunakan bangunan atau kapal apung yang disebut FPSO (*Floating Production, Storage & Offloading*).

- 2) Masing-masing sumur minyak di darat dan laut lepas memiliki daya produksi minyak bumi, kemudian ditampung di tanki penyimpanan sebelum dipindahkan menuju tempat pengolahan minyak bumi. Jika akan memenuhi daya tampung maksimum, maka minyak bumi tersebut dipompa menuju kapal-kapal pengangkut minyak bumi. Kapal-kapal yang biasanya digunakan mengangkut minyak bumi ini adalah kapal tanker atau kapal *tow barge* jenis *tank barge*.

Kapal-kapal yang mengangkut muatan curah cair memiliki persyaratan sendiri dimana kapal tanker atau kapal pengangkut muatan curah cair adalah kapal yang direncanakan untuk mengangkut produk-produk bersifat *liquid* dengan kepadatan 37-49 *cubic feet per ton* (fpt) dan mempunyai titik nyala dibawah 60 derajat Celcius (Sanjaya, 2010).

Kapal pengangkut muatan cair memiliki karakteristik khusus yang harus diperhatikan saat merencanakan konstruksinya. Muatan zat cair yang selalu mengambil posisi sejajar dengan garis air pada waktu kapal oleng menyebabkan kapal tanker umumnya dilengkapi dengan sekat melintang dan sekat memanjang untuk mengurangi pengaruh momen dari luas permukaan bebasnya. Selain itu, dilengkapi dengan instalasi pompa untuk bongkar muat dari dan ke kapal. Letak kamar mesin pada kapal tanker umumnya diletakkan di daerah belakang kapal yang ditujukan untuk menghindari bahaya kebakaran selain untuk menghemat ruangan, karena apabila mesin berada di tengah poros kemudi semakin panjang dan memerlukan ruangan poros.

2.5.2 Kapal Pengangkut *Crude Oil*

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan terhadap kapal yang akan disewa untuk mengangkut *crude oil*, diantaranya adalah kelayakan kapal. Masalah-masalah yang sering dijumpai pada pengapalan *crude oil* sebagai berikut.

- 1) Tangki kapal berkarat.
- 2) Sistem pemipaan, logam termometer, dan peralatan untuk pengambilan analisis contoh berkarat.
- 3) Koil pemanas kapal terbuat dari logam paduan aluminium dan kuningan.
- 4) Tangki masih mengandung residu berbau tidak sedap yang berasal dari kargo sebelumnya dan residu bahan kimia pembersih tangki.

Kondisi tangki kapal dan fasilitas pendukung yang demikian akan menimbulkan kontaminasi logam berat, seperti Fe, Cu, dan Pb serta kontaminasi bahan kimia organik seperti Toluene, Ethylene, Decolide dan Styrene (Ufron, 2008).

Sehingga perlu adanya sebuah peraturan untuk kapal-kapal yang akan digunakan dalam pengangkutan *crude oil*, bicara mengenai *rules and regulations* yang mengatur mengenai kapal pengangkut curah cair banyak sekali hal yang perlu dipastikan dan diikuti, mengingat kepedulian masyarakat dunia dewasa ini terhadap pencemaran lingkungan oleh limbah minyak sangat tinggi. Selain memperhatikan keselamatan lingkungan, keselamatan kru, kapal dan muatannya perlu dirancang sedemikian rupa agar karakteristik dari *dangerous goods* ini seperti sifatnya yang mudah terbakar, mudah meledak, beracun, dan lain-lain dapat diantisipasi dan diminimalisir. Beberapa peraturan mengenai keselamatan serta perlindungan dari dan untuk kapal tanker sendiri sudah dibuat, mulai dari peraturan yang sifatnya internasional sampai yang sifatnya regional seperti peraturan pemerintahan (*flag state*) sudah ada, seperti :

- 1) Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2010 Tentang Perlindungan Lingkungan Maritim (Lembaga Negara Republik Indonesia Tahun 2010 Nomor 27, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5109).
- 2) Keputusan Presiden Nomor 46 Tahun 1986 Tentang Pengesahan *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships 1973*, beserta protokol.
- 3) SOLAS 1974 Chapter VII : *Carriage of dangerous goods* yang dijabarkan lebih detail pada *IMDG Code*, dan.
- 4) MARPOL yaitu pada annex I *Prevention of Pollution by Oil*) dan Annex II (*Preventions of Pollution Noxious Liquid Substances in Bulk*).



Gambar 6: Panduan Pengangkutan Dangerous Liquid in Bulk

(sumber: <http://www.imo.org/MARPOL>)

2.5.3 Perkembangan Kapal Pengangkut Muatan Curah Cair

Perkembangan jenis pengangkut muatan curah cair berkembang disesuaikan dengan jenis barang muatan yang dibawanya dan kondisi kebutuhan industri dewasa ini, seperti :

- *Super Tanker*

Kapal tanker jenis ini merupakan kapal tanker yang dibuat guna memenuhi kebutuhan industri pada saat ini yang membutuhkan sebuah alat transportasi massal yang efektif dan efisien dari sisi kapasitas muatnya. Berikut jenis kapal-kapal tanker sesuai kapasitas muatnya ULCC (*Ultra Large Crude Carrier*) berkapasitas 500.000 ton, VLCC (*Very Large Crude Carrier/Malaccamax*) berkapasitas 300.000 ton, Suezmax yang dapat melintasi Terusan Suez dalam muatan penuh, berkapasitas 125.000-200.000 ton, Aframax (*Average Freight Rate Assessment*) berkapasitas 80.000-125.000 ton, Panamax, yang dapat melintasi pintu di Terusan Panamá, berkapasitas 50.000-79.000 ton.



Gambar 7: Contoh moda transportasi pengangkut liquid in bulk berukuran besar.

- *Chemical Tanker*

Kapal tanker ini dirancang khusus untuk membawa muatan atau cargo dalam bentuk curah utamanya cairan kimia yang bersifat mudah terbakar, berbahaya, beracun, korosif & bereaksi dengan air.

- *Gas Carrier (LNG & LPG) Tanker*

Kapal tanker ini dirancang khusus untuk mengangkut Gas (baik yang Natural Gas seperti Methane atau Petroleum Gas seperti Propane & Butane) muatan dalam bentuk curah.

Umumnya tangki dirancang khusus untuk tekanan tinggi dan temperatur di dinginkan sampai –50 derajat celcius.

- *Barge*

Tongkang atau Ponton adalah suatu jenis kapal yang dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung, digunakan untuk mengangkut barang dan ditarik dengan kapal tunda atau digunakan untuk mengakomodasi pasang-surut seperti pada dermaga apung. Tongkang sendiri tidak memiliki sistem pendorong (propulsi) seperti kapal pada umumnya. Pembuatan kapal tongkang juga berbeda karena hanya konstruksi saja, tanpa sistem seperti kapal pada umumnya. Tongkang sendiri umum digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar seperti kayu, batubara, pasir dan lain-lain.

- *Self-Propelled Barge*

Tongkang ini berbeda karena memiliki tenaga penggerak sendiri, dengan bentuk kapal yang basisnya sama dengan kapal tongkang. *Self-Propelled Barge* biasanya dioperasikan pada perairan dangkal maupun sungai.

2.6 Self-Propelled Barge Sebagai Transportasi Angkut Pilihan

Pengangkutan muatan cair melalui jalur laut dibutuhkan moda transportasi khusus, yaitu kapal berjenis *tanker*. Kapal *tanker* memiliki karakteristik khusus yang berbeda dengan kapal lainnya. Biasanya diberi perlindungan khusus berupa lambung ganda sepanjang ruang muat untuk kapal diatas 600 tdw, berdasarkan MARPOL 73/78, Aneks I. Selain itu *Tanker* banyak memiliki perbedaan bentuk dengan kapal niaga lainnya.

Kecenderungan dari *Tanker* adalah :

- 1) Ukuran besar, khususnya untuk daerah pelayaran antar negara.
- 2) Memiliki blok koefisien yang besar.
- 3) Memiliki daerah *Parallel Middle Body* yang panjang, hingga lebih dari panjang kapal keseluruhan.
- 4) Lokasi kamar mesin umumnya di belakang, adapun alasan pemilihan kamar mesin di belakang kapal adalah :
 - Ruang muat *Tanker* memerlukan kapasitas yang lebih besar.

- *Safety* (keselamatan) yaitu untuk menghindari adanya kebakaran. Berkaitan dengan arah pembuangan gas mesin (asap panas) yang selalu menuju kebelakang. Apabila mesin dan cerobong asap berada di tengah dan di belakangnya terdapat tangki muat minyak, probabilitas terjadinya kebakaran sangat tinggi ketika gas buang melewati atas tangki.
- Sistem bongkar muat lebih sederhana. Mesin dibelakang hanya cukup memerlukan satu sistem pompa dan satu *pipeline* yang menyeluruh dari tangki muat depan hingga paling belakang. Untuk mesin ditengah diperlukan 2 set sistem bongkar muat, karena terpisah dengan kamar mesin.
- Hanya membutuhkan satu sisi *oil tight*, yaitu yang membatasi ruang muat dan kamar mesin.
- Poros propeller pendek.

Selain *Tanker*, kapal pengangkut muatan cair lainnya sebagai fungsi alternatif adalah menggunakan *barge* atau tongkang. Berdasarkan bentuk dan fungsi, *Tanker* dan *Barge* memiliki perbedaan sebagai berikut :

- Tenaga penggerak *Tanker* menggunakan mesin kapal sendiri, sedangkan *Barge* tidak memiliki mesin penggerak, sehingga digunakan tenaga bantu dengan *Tug Boat*, baik didorong maupun ditarik menggunakan tali.
- Walaupun keduanya memiliki bentuk kapal yang gemuk, namun desain lambung *Barge* cenderung berbentuk lebih kotak daripada *Tanker*. Hal tersebut difungsikan untuk memaksimalkan jumlah muatan yang akan dibawa.
- Umumnya *Barge* beroperasi dalam kecepatan rendah, disebabkan karena bentuk lambung *Barge* yang kotak menjadikan nilai tahanan yang dihasilkan besar, sehingga efisiensi gaya dorong yang dihasilkan menjadi rendah. Untuk *Tanker* dapat beroperasi lebih cepat karena faktor bentuk lambung yang *streamline*.
- Jarak tempuh operasi yang dekat sangat cocok menggunakan *Barge* dinilai dari segi efisiensi dan ekonomis biaya logistik, terutama saat beroperasi di perairan dangkal seperti sungai. Dan *Tanker* cocok digunakan dalam pelayaran yang jauh berdasarkan efisiensi waktu dan banyaknya daya angkut muatannya.

Terdapat pertimbangan-pertimbangan dalam memilih moda transportasi yang akan digunakan berdasarkan lokasi tinjauan saat beroperasi. Untuk fungsi *Self-Propelled Barge* itu sendiri serupa dengan fungsi *Barge* yang ada. Namun *Barge* sendiri memiliki kekurangan-kekurangan sebagai berikut jika dibandingkan dengan *Self-Propelled Barge* :

- Nilai hambatan yang lebih besar dari *Self-Propelled Barge*, karena baik dari *Push Barge* maupun *Towing Barge* menggunakan tenaga mesin *Tug Boat* yang dimana menggunakan mesin dengan daya yang besar.
- *Manuever* yang lebih sulit, apalagi saat berlayar di sungai yang berkelak-kelok.
- Mempunyai resiko *Tug Boat* dapat terbalik apabila berlayar dalam gelombang yang tinggi akibat merenggangnya tali yang menghubungkan *Tug Boat* dengan *Barge*.

Jika *Self-Propelled Barge* dan *Tanker* dibandingkan, tiap kapal tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing sesuai dengan kebutuhan :

1) *Self Propelled Barge*

Kelebihan :

- + Biaya pembangunan kapal lebih murah dan lebih mudah, karena bentuk lambung kapal lebih kotak sehingga proses produksi tidak memakan waktu besar untuk membuat bentuk lambung yang rumit.
- + Daya angkut muatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran utama kapal yang sama, karena nilai sarat yang kecil dan bentuk lambung kapal yang berbentuk kotak sehingga daya angkut muatan lebih maksimal.
- + Stabilitas yang lebih besar dari kapal *Tanker*.
- + Gaya apung yang lebih besar, karena nilai koefisien blok yang besar dari bentuk lambung kapal yang berbentuk kotak.
- + Sangat efisien jika dioperasikan dalam rute pelayaran yang relatif pendek dan berada di perairan yang dangkal seperti sungai, danau dan perairan laut tepi.

Kekurangan :

- Tidak dapat digunakan untuk pelayaran yang jauh, berdasarkan dari segi ekonomis karena *speed* operasi kapal lambat.
- Tidak dapat beroperasi jika salah satu mesin utama rusak. (*Self-Propelled Barge* memiliki mesin utama ganda).

- Tidak dapat dioperasikan di perairan yang bergelombang besar, karena kapal dengan sarat kecil sangat mudah tenggelam jika terkena ombak yang besar.

2) *Tanker*

Kelebihan :

- + Dioperasikan untuk rute pelayaran yang lebih jauh, *speed* operasional lebih cepat.
- + Dapat mengangkut muatan yang lebih besar (Untuk kapal kelas *Super Tanker*, untuk *Self-Propelled Barge* tidak ada).

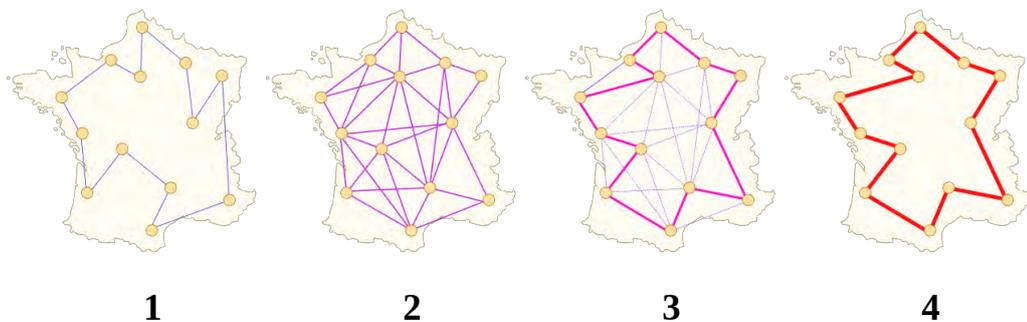
Kekurangan :

- Tidak efektif dan ekonomis jika dioperasikan dalam rute pendek dan dalam perairan dangkal.
- Biaya operasional lebih besar karena memiliki volume ruang tertutup yang lebih besar dari *Self-Propelled Barge*, dalam hal ini yang dimaksud adalah harga *Gross Tonnage*.

2.7 Optimasi Jaringan

2.7.1 Metode *Travelling Salesman Problem*

Metode optimasi *Travelling Salesman Problem* (TSP) merupakan masalah kombinasi optimasi dalam operasi penelitian dan teori ilmu komputer. Dengan daftar kota-kota yang akan dikunjungi, cara ini sangat tepat untuk menemukan dengan sesingkat mungkin setiap kota yang akan dikunjungi dengan waktu, dan penggunaan biaya yang tepat, dan efisien.



Gambar 8: Penggambaran bagaimana optimasi TSP bekerja

Masalah ini pertama kali dirumuskan sebagai masalah matematika pada tahun 1930 dan merupakan salah satu masalah yang paling intensif dalam mempelajari masalah optimasi, dan digunakan sebagai patokan bagi banyak metode optimasi dalam jumlah besar dengan cara yang tepat, dan metode yang mudah untuk diketahui, sehingga beberapa kasus dengan puluhan ribu kota dapat diselesaikan dengan baik. TSP memiliki beberapa aplikasi, seperti perencanaan, logistik, dan manufaktur. Dalam aplikasi ini, TSP merupakan konsep jarak perjalanan waktu atau biaya. Dalam banyak aplikasi, dapat muncul kendala seperti keterbatasan sumber daya atau waktu.

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah problem untuk mengoptimasi dan menemukan perjalanan (tour) yang paling terpendek (Mustakim, Achmad. 2015). TSP adalah problem untuk menentukan urutan dari sejumlah kota yang harus dilalui oleh salesman, setiap kota hanya boleh dilalui satu kali dalam perjalanannya, dan perjalanan tersebut harus berakhir pada kota keberangkatannya dimana salesman tersebut memulai perjalanannya, dengan jarak antara setiap kota satu dengan kota lainnya sudah diketahui. Salesman tersebut harus meminimalkan pengeluaran biaya, dan jarak yang harus ditempuh untuk perjalanannya tersebut.

Bentuk dasar problem linear yang akan diselesaikan bisa dituliskan sebagai berikut :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{the path goes from city } i \text{ to city } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Untuk $i = 0, \dots, n$, jadikan u_i sebagai variabel bebas, dan ambil c_{ij} menjadi jarak antara kota i dan kota j . Kemudian TSP dapat ditulis sebagai masalah pemrograman linear bilangan bulat berikut :

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i, j=0}^n c_{ij} x_{ij} \\ & 0 \leq x_{ij} \leq 1 && i, j = 0, \dots, n \\ & u_i \in \mathbf{Z} && i = 0, \dots, n \\ & \sum_{i=0, i \neq j}^n x_{ij} = 1 && j = 0, \dots, n \\ & \sum_{j=0, j \neq i}^n x_{ij} = 1 && i = 0, \dots, n \\ & u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 && 1 \leq i \neq j \leq n \end{aligned}$$

Dengan mengambil permasalahan dari Tugas Akhir, maka didapatkan perumusan TSP sebagai berikut :

Objective Function :

$$Z = \left[\sum_{i=1}^{n-m} W_i \right] \cdot K$$

$$Z = \left(\sum_{i=1}^{n-m} W_i \right) \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} \cdot S_{ij}}{v} + \sum_{i=1}^n P_i \right)$$

Dimana :

- z = payload kapal (ton)
- i = sumur minyak (i = 0, ..., n)
- K = waktu roundtrip kapal (hari)
- Rtrip = waktu yang dibutuhkan untuk sekali perjalanan PP
- X = rute terpilih (1 = terpilih, 0 = tidak terpilih)
- W = kecepatan produksi sumur minyak (ton/hari)
- s = jarak tempuh
- n = input total lokasi yang dilalui
- m = jumlah kilang minyak yang tidak memproduksi minyak bumi

Constrain :

Kapasitas bongkar muat :

$$\left(\frac{Q_i}{(B_i - 2 \cdot l)} \right) \leq Sp, \quad (h = 1, 2, \dots, n)$$

Untuk kondisi jumlah satu kapal :

$$\sum_{i=1}^n X_{h,i} = 1 \quad (h = 1, 2, \dots, n)$$

Untuk Kapasitas tanki :

$$W_i \cdot K \leq Y_i$$

Dimana :

- X_(1..n) = rute terpilih
- l = waktu persiapan bongkar muat (+3 jam diasumsikan untuk proses pemasangan pompa)

- Q = Jumlah produksi minyak bumi (ton)
P = Waktu Pelabuhan (*waktu persiapan+waktu loading unloading*)
 S_p = Kapasitas Daya Pompa (ton/jam)
 Y_i = Kapasitas tanki tiap lokasi (ton)

Sehingga dengan menggunakan metode ini didapatkan rute pelayaran yang optimal, kemudian dapat dicari waktu berlayar (*sea time + port time*) berdasarkan data dari kecepatan kapal yang telah ditentukan. Waktu berlayar tersebut diakumulasikan sebagai lamanya kapal untuk melakukan satu *round trip*, yang kemudian lama *round trip* tersebut dikalikan dengan kecepatan produksi tiap lokasi sumur minyak dalam satuan jam, dan didapatkan nilai *payload* kapal yang optimum.

2.8 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).

2.9 Tujuan Desain

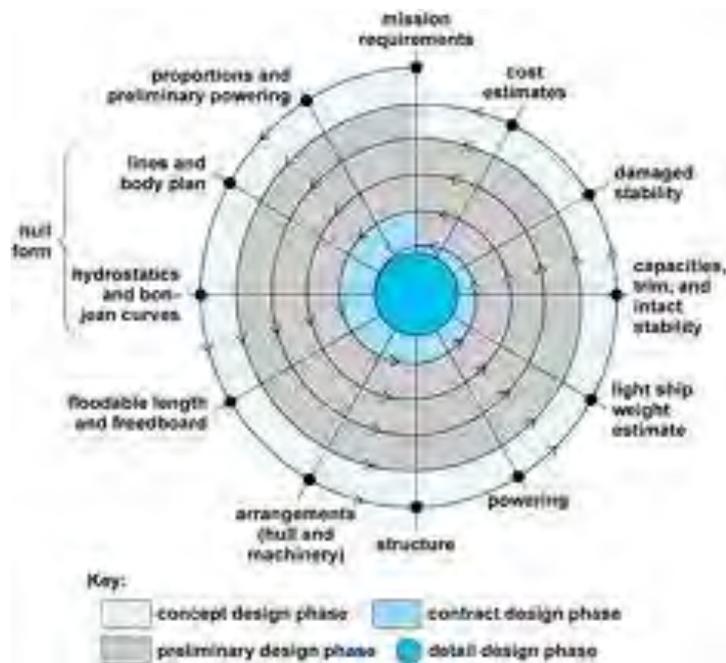
Dalam proses awal mendesain kapal diperlukannya tujuan, misi dan kegunaan kapal yang akan dibangun yang digunakan sebagai arahan bagi seorang desainer kapal dalam menentukan pilihan-pilihan yang rasional ketika mendesain. Selain itu juga diperlukannya data permintaan pemilik kapal (*owner requirement*) 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.

2.10 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.

2.10.1 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 9 : Diagram Desain Kapal

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.

2.10.2 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.

2.10.3 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

2.10.4 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.

2.11 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:

2.11.1 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*)

2.11.2 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.

2.11.3 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*).

2.11.4 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 (R_t), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, trim, dan lain-lain.

2.12 Tinjauan Teknis Perancangan Kapal

2.12.1 Penentuan Ukuran Utama Dasar

Dalam 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 (*Height*)

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.

2.12.2 Perhitungan Berat Baja Kapal

Self-Propelled 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) Perhitungan berat baja kapal.

$$W_{si} = K \cdot E^{1.36}$$

$$E = L(B+T) + 0.85 L (D-T) + 0.85 \{(11 \cdot h_1) + 0.75(12 \cdot h_2)\}$$

Dimana : K = koefisien factor

Untuk tanker $K = 0.032 \pm 0.003$

b) Perhitungan berat perlengkapan

$$W_o = C_o \times L \times B$$

C_o = outfit weight coefficient

c) Berat cadangan (W_{res})

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

2) Menghitung DWT kapal

Dalam perancangan *self-propelled barge* ini komponen DWT yang dihitung adalah dari *payload* dan *consumable*. Dalam perhitungan *consumable* dipengaruhi oleh jenis mesin yang kaitannya dengan perhitungan SFR serta ada juga pengaruh dari BHP mesin serta jumlah kru yang ada di atas kapal saat beroperasi. Jumlah kru yang bekerja pada kapal Self-Propelled Barge diperoleh dari rumus untuk penentuan nilai minimumnya, dan ditambahkan pula beberapa kru sesuai *owner requirement*.

2.12.3 Menganalisa hambatan *Self-Propelled Barge*

Dalam menentukan hambatan *Self Propelled Barge* menggunakan metode Holtrop.

Total Resistance:

$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Stot \cdot (CF(1+k) + CA) + (Rw/W) \cdot W$$

Variable-variabelnya yaitu:

1) *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:

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

Dimana:

$1+k_1$ = factor bentuk lambung kapal

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

$$1+k = 1+k_1 + [1+k_2 - (1+k_1)] Sapp/Stot$$

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

Harga $1+k_2$ (Holtrop, 1984) ditunjukkan pada tabel berikut :

Table 1: Nilai koefisien $1+k_2$ berdasarkan jenis tonjolannya

Type of Appendages	Value of $1+k_2$
Rudder of single screw ships	1.3 to 1.5
Spade type rudder of twin screw ships	2.8
Skeg-rudders of twin-screw ships	1.5 to 2
Shaft Brackets	3.0
Bossing	2.0
Bilge keel	1.4
Stabilizer fins	2.8
Shafts	2.0
Sonar dome	2.7

2) *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:

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

Model ship correlation allowance

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

2.12.4 Pengecekan Volume Ruang Muat

Kapal didesain untuk mengangkut muatan tertentu dan dengan jumlah tertentu pula tergantung daripada *Owner Requirement* , pengecekan volume ruang muat ini penting dilakukan untuk menghitung dan memastikan apakah semua muatan yang akan diangkut dapat akomodasi semua oleh kapal. Selain itu, kegunaan dari pengecekan volume ruang muat adalah untuk mengetahui GT dari sebuah kapal dimana GT merupakan acuan dari syahbandar atau otoritas pelabuhan untuk melakukan charge ke kapal. Volume ruang muat juga tidak boleh terlalu besar jika dibanding volume muatan yang akan diangkutnya, karena ini mengakibatkan GT kapal akan menjadi besar dan pajak yang harus dibayar semakin besar.

2.12.5 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 tabel lambung timbul minimum untuk kapak dengan panjang tertentu.

2.12.6 Perhitungan *Trim*

Perhitungan 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*.

2.12.7 Stabilitas Kapal

Selain trim, ada persyaratan lain dalam perancangan kapal yaitu persyaratan stabilitas. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan stabilitas utuh (*intact 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 mengalangi 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 *indifferent*

Adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan sedikit dari kedudukannya akibat adanya gaya dari luar, maka benda tetap pada kedudukannya yang 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:

- Titik G (*gravity*), yaitu titik berat kapal.
- Titik B (*buoyancy*), yaitu titik tekan keatas akibat air yang dipindahkan akibat badan kapal yang tercelup.
- Titik M (*metacentre*), yaitu titik perpotongan antara vektor gaya tekan keatas pada pada keadaan tetap dengan vektor 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 (*IS Code*, 2008). Kriteria stabilitas tersebut antara lain adalah:

a) $e_{0,30^\circ} \geq 0.055 \text{ m.rad}$

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

b) $e_{0,40^\circ} \geq 0.09 \text{ m.rad}$

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

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

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

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

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

e) $H_{\max} \text{ pada } \phi_{\max} \geq 25^\circ$

Lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 25°

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

Tinggi metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter.



“Your life does not get better by chance, it gets better by change..”

– Jim Rohn

BAB 3

TINJAUAN DAERAH

3.1 Pendahuluan

Dalam bab ini akan dibahas mengenai karakteristik daerah dimana kapal yang dirancang akan dioperasikan. Penjelasan mengenai kedalaman perairan, sekilas pengenalan daerah, fasilitas dermaga, kilang minyak yang masih beroperasi, serta potensi sumber daya *crude oil* yang terdapat di daerah tersebut dibahas pula dalam bab ini.

3.2 Deskripsi Singkat Mengenai Provinsi Papua Barat

Papua Barat (sebelumnya Irian Jaya Barat) adalah sebuah provinsi Indonesia yang terletak di bagian barat Pulau Papua dengan Ibukota bernama Manokwari. Dengan luas area provinsi sebesar 115363,50 km² dan dihuni sekitar 760 ribu jiwa, wilayah Papua Barat ini mencakup kawasan kepala burung pulau Papua dan kepulauan-kepulauan di sekelilingnya. Provinsi ini dibagi atas 1 kota dan 12 kabupaten

Gambar 1: Peta Pulau Papua dan Provinsi Papua Barat

No.	Kabupaten/Kota	Ibukota
1.	Kota Sorong	
2.	Kabupaten Pegunungan Arfak	Arfak
3.	Kabupaten Fakfak	Fakfak
4.	Kabupaten Kaimana	Kaimana
5.	Kabupaten Manokwari	Manokwari
6.	Kabupaten Manokwari Selatan	Ransiki
7.	Kabupaten Maybrat	Kumurkek
8.	Kabupaten Raja Ampat	Waisai
9.	Kabupaten Sorong	Aimas
10.	Kabupaten Sorong Selatan	Teminabuan
11.	Kabupaten Tambrau	Fef
12.	Kabupaten Teluk Bintuni	Bintuni
13.	Kabupaten Teluk Wondama	Rasiei

(sumber : http://id.wikipedia.org/wiki/Papua_Barat)

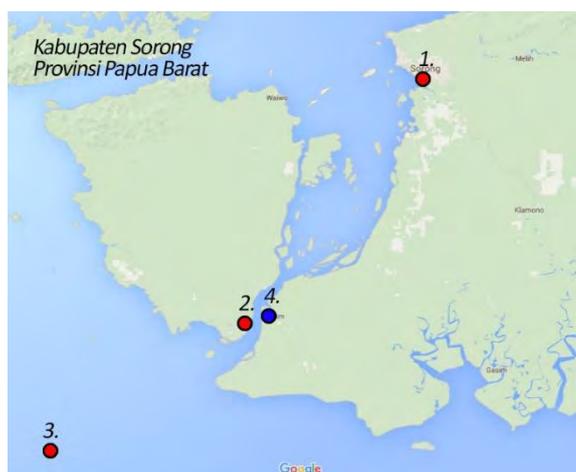
Provinsi ini mempunyai potensi yang luar biasa, baik itu pertanian, pertambangan, hasil hutan maupun pariwisata. Mutiara dan rumput laut dihasilkan di kabupaten Raja Ampat sedangkan satu-satunya industri tradisional tenun ikat yang disebut kain Timor dihasilkan di kabupaten Sorong Selatan. Sirup pala harum dapat diperoleh di kabupaten Fak-Fak serta beragam potensi lainnya. Selain itu wisata alam juga menjadi salah satu andalan Irian Jaya Barat, seperti Taman Nasional Teluk Cenderawasih yang berlokasi di kabupaten Teluk Wondama. Taman Nasional ini membentang dari timur Semenanjung Kwatisore sampai utara

Pulau Rumberpon dengan panjang garis pantai 500 km, luas darat mencapai 68.200 ha, luas laut 1.385.300 ha dengan rincian 80.000 ha kawasan terumbu karang dan 12.400 ha lautan.

Disamping itu baru-baru ini, ditemukan sebuah gua yang diklaim sebagai gua terdalam di dunia oleh tim ekspedisi speologi Perancis di kawasan Pegunungan Lina, Kampung Irameba, Distrik Anggi, Kabupaten Manokwari. Gua ini diperkirakan mencapai kedalaman 2000 meter. Kawasan pegunungan di Papua Barat masih menyimpan misteri kekayaan alam yang perlu diungkap.

3.3 Kabupaten Sorong dengan potensi Minyak Bumi

Dengan tinjauan daerah yang secara terperinci dilakukan di Kabupaten Sorong, salah satu Kabupaten yang berada di Provinsi Papua Barat. Sorong merupakan kabupaten penghasil minyak utama di Indonesia. Dengan luas wilayah seluas 18.170 km², daerah ini berbatasan langsung dengan Kabupaten Raja Ampat di sebelah utara dan barat, Kabupaten Sorong Selatan di sebelah selatan dan Kabupaten Manokwari di sebelah timur.



Gambar 2: Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat beserta lokasi tinjauan sumur minyak

Kabupaten Sorong menyimpan kekayaan hasil tambang dimana beberapa diantaranya telah eksplorasi seperti minyak bumi dan gas bumi yang dilakukan oleh perusahaan Pertamina dan perusahaan Petrochina. Untuk *lifting* minyak bumi, pada tahun 2012-2014 secara umum *lifting* minyak bumi mengalami kenaikan produksi.

Table 1: Perkembangan *lifting* minyak bumi di kabupaten Sorong

TOTAL LIFTING MINYAK BUMI (RIBU BAREL) KAB. SORONG		
2012	2013	2014
2.006.12	2.592.692.47	3.321.698

(sumber: Dinas Pertambangan dan Lingkungan Hidup Kabupaten Sorong, 2014)

Berikut adalah hasil tinjauan sumur-sumur minyak yang masih beroperasi di daerah Kabupaten Sorong berdasarkan nomor urut pada gambar 12 :

1) Sumur minyak di daerah Kota Sorong



Gambar 3 : Salah satu sumur tua yang berada di daerah Kota Sorong, Distrik Klamono

Tepatnya berada di daerah distrik Klamono, sumur minyak di daerah tersebut masih mengandalkan sumur minyak tua hasil peninggalan Belanda. Saat ini kawasan tersebut dikelola PT Pertamina EP Region KTI Field Papua. Guna mengakses ke daerah yang berjarak 45 kilometer dari Bandara Domine Eduard Osok di pusat Kota Sorong, dibutuhkan waktu sekitar dua jam. Namun, jalan menuju wilayah itu tidak semuanya mulus. Masih ada jalan yang bergelombang, bahkan masih ada sebagian yang berbatu. Distribusi minyak bumi dari sumur menuju tempat tanki penyimpanan masih menggunakan pipa peninggalan Belanda. Untuk kondisi saat ini, sumur minyak yang berada di daerah kota Sorong mengalami penurunan drastis, dan kandungan minyak hasil *lifting* yang didapat adalah 1% minyak bumi dan 99% air.

Jenis sumur minyak	=	Drilling Rig	
Potensi sumur minyak	=	51	sumur
Produksi maksimum (per hari)	=	1100	barel
Tanki penyimpanan	=	1750	ton

2) Sumur minyak di Pulau Salawati



Gambar 4: Salah satu sumur minyak yang berada di Pulau Salawati

Di Kabupaten Sorong terdapat Pulau Salawati yang terletak di sebelah barat kepala burung Papua. Lokasi sumur minyak ini disebut juga Lapangan Matoa, yang dimiliki oleh *Joint Operating Body Pertamina – Petrochina Salawati*, yang berada di Distrik Salawati Selatan. Lokasi ini dapat dicapai dari kota Sorong dengan melewati selat Sele, kemudian berlabuh di Terminal Canal, pelabuhan kecil yang berada di Salawati Selatan. Jarak lapangan sumur dengan Terminal Canal sekitar 13 kilometer, dengan melewati jalan tanah yang diapit oleh hutan yang dipenuhi pohon sagu. Lapangan ini juga sudah termasuk tua dan tidak banyak memproduksi minyak bumi, biasanya hasil produksi digunakan untuk memenuhi kebutuhan pembangkit listrik kawasan itu sendiri.

Jenis sumur minyak	= <i>Drilling Rig</i>
Potensi sumur minyak	= - sumur
Produksi maksimum (per hari)	= 1665.753 barel
Tanki penyimpanan	= 1400 ton

3) Sumur minyak di PC. Int. Bermuda

Sumur minyak yang tepatnya berada sekitar 45 kilometer sebelah barat daya dari pantai Pulau Salawati, yaitu berada di laut lepas. Saat ini sumur minyak tersebut masih dioperasikan oleh *Joint Operating Body (JOB) Pertamina*

– Petrochina, setelah sebelumnya sumur minyak ini sempat ditutup karena berakhirnya kontrak sewa fasilitas produksi terapung atau *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) Brotojoyo. Saat ini FPSO Brotojoyo dioperasikan kembali secara penuh, fasilitas ini mampu menampung produksi minyak dalam jumlah besar dan telah dilengkapi dengan kompresor untuk membantu pengangkatan produksi sumur yang ada dengan cara *gas lift*.



Gambar 5: Sumur minyak lepas pantai dan FPSO Brotojoyo

Jenis sumur minyak	= <i>Oil Platform</i>
Potensi sumur minyak	= 2 sumur
Produksi maksimum (per hari)	= 5944.361 barel
Tanki penyimpanan	= 450.000 ton

3.4 Kondisi Transportasi Kabupaten Sorong



Gambar 6: Pelabuhan di kota Sorong

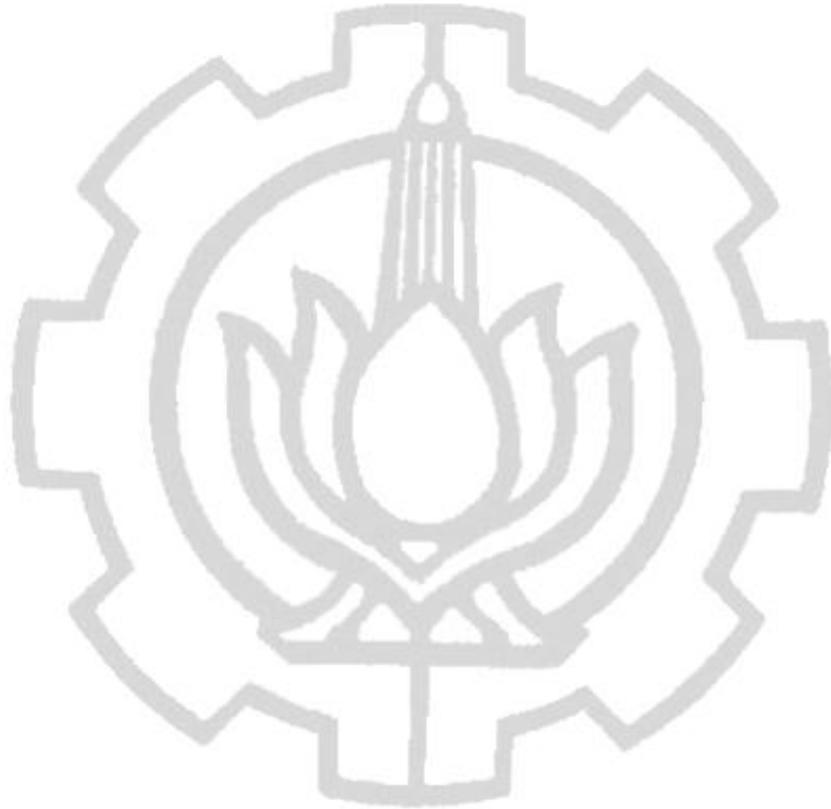
Kabupaten Sorong itu sendiri memiliki satu pelabuhan yang berada di kota Sorong, pelabuhan Sorong berfungsi sebagai pelabuhan umum walaupun terbilang berukuran kecil, kapal dapat bersandar dengan kedalaman minimum sebesar 11 meter. Sepanjang arah selatan kota Sorong, Papua Barat dipisahkan antar dua pulau, yaitu Pulau Papua di bagian timur dan Pulau Salawati di bagian barat. Kedua pulau tersebut dipisahkan oleh Selat Sele sepanjang 28,9 km, dengan lebar selat terpendek adalah 1,4 km dan termasuk dalam perairan dangkal, sekitar 17 meter (Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, 1991).



Gambar 7: Selat Sele yang terletak di Kabupaten Sorong

(sumber : wikimapia.org)

Selain pelabuhan yang terletak di kota Sorong, terdapat dua *port* lain yang berada sepanjang selat Sele. Di bagian pulau Salawati terdapat tempat sandar kecil, yaitu pelabuhan Canal. Kemudian di seberang selat Sele arah timur terdapat pelabuhan Kasim Marine Terminal, pelabuhan ini dibangun sebagai pelabuhan khusus (milik Petrochina dan Pertamina). Pelabuhan Kasim Marine Terminal hanya berjarak 6,1 km dari pelabuhan Canal.



*“There is a fine line between bravery and stupidity”
– Yurnero the Juggernaut*

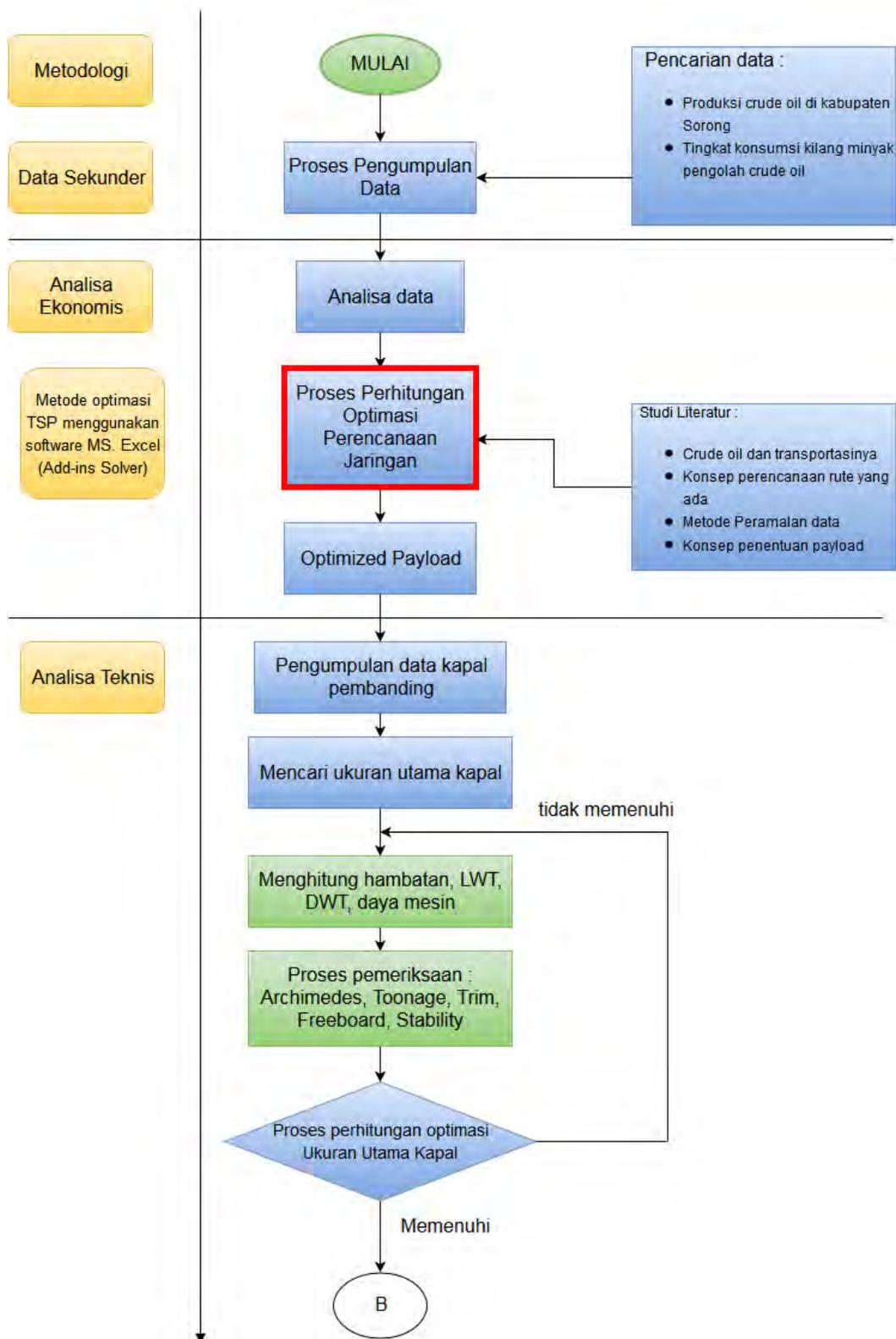
BAB 4

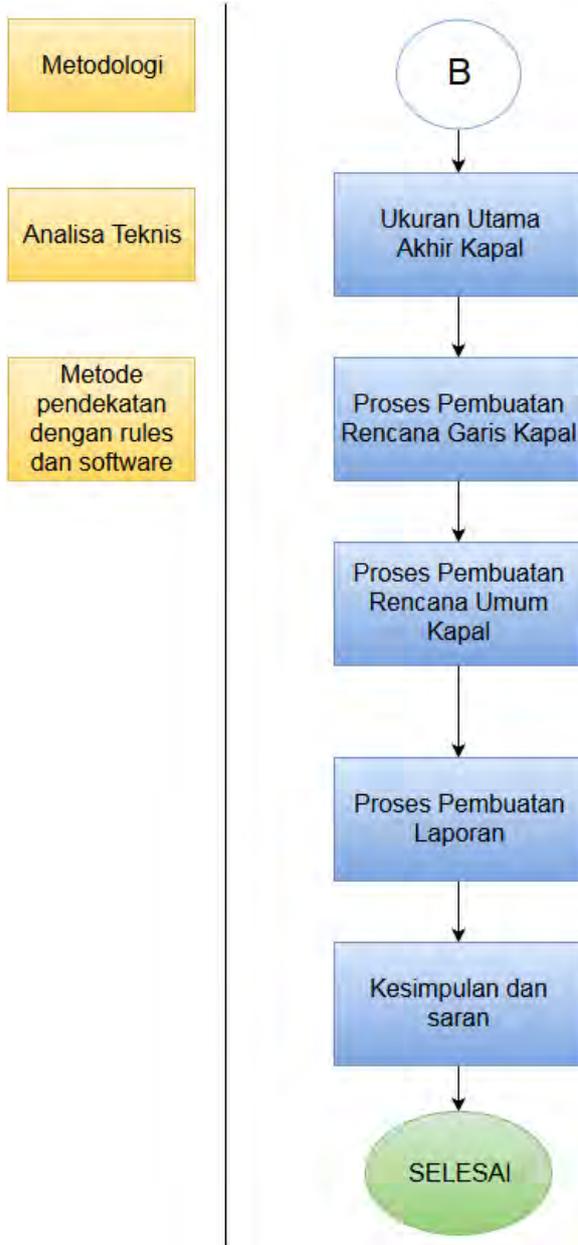
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan serta langkah-langkah pengerjaan dalam Tugas Akhir ini. Yang akan digambarkan dengan diagram alir penelitian, dengan diberikan penjelasan singkat pada setiap langkah yang ada dalam diagram alir tersebut.

4.2 Diagram Alir Penelitian





Gambar 1: Alur Metodologi Penelitian Pengerjaan Tugas Akhir

4.3 Langkah Pengerjaan

4.3.1 Pengumpulan Data

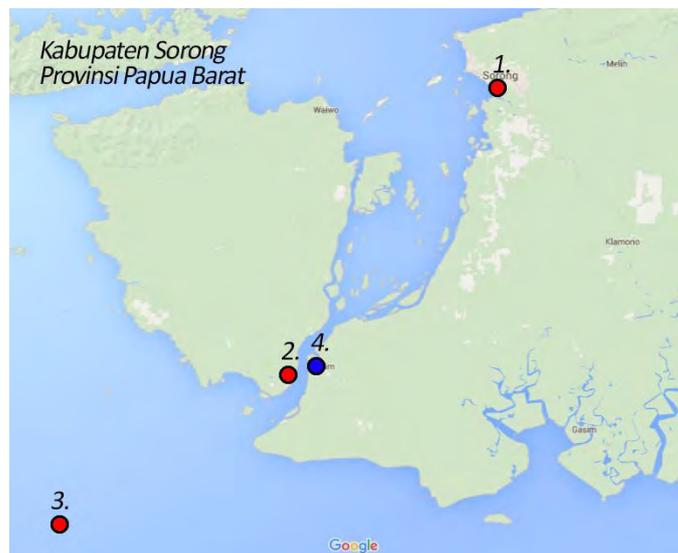
Pada tahap ini dilakukan proses pengambilan data sekunder guna menunjang proses desain awal *Self-Propelled Oil Barge*. Data-data inilah yang nantinya akan menjadi patokan pada saat proses perancangan *Self-Propelled Oil Barge* ini. Data-data yang dibutuhkan antara lain:

- Jumlah Produksi *Crude Oil*

Data jumlah produksi yang dimaksud adalah volume *Crude Oil* yang dihasilkan dari setiap oil rig yang ada di Provinsi Papua. Terdapat 4 calon pelabuhan hub yang diproyeksikan akan menjadi pelabuhan penyuplai *Crude Oil*. Dimana 3 diantaranya adalah sumur minyak penghasil *crude oil* dan satunya adalah tempat pengolahan minyak

Table 1: Tabel data produksi sumur minyak di Papua Barat tahun 2014

No	Nama	Jenis Tempat	Produksi per hari(per barrel)
1	Sorong	Sumur minyak	1005
2	Salawati	Sumur minyak	1666.753
3	Bermuda	Sumur minyak	5944.361
4	UP Pertamina Kasim	Kilang minyak	10000 (kapasitas)



Gambar 2: Pemetaan lokasi sumur minyak yang ada di Provinsi Papua Barat sesuai dengan nomer urut

Data diatas didapat dari database yang dimiliki oleh Dinas Pertambangan dan Lingkungan Hidup Kabupaten Sorong tahun 2014.

- Jumlah Konsumsi *Crude Oil*

Jumlah konsumsi *Crude Oil* yang dimaksud adalah kapasitas maksimum *crude oil* yang dapat diolah di tempat pengolahan minyak di Papua Barat, yaitu tempat UP Pertamina Kasim dengan daya olah sebesar 10 ribu barrel per hari. Data didapat dari database situs Pertamina Unit Pengolahan VII – Kasim.

- Karakteristik Wilayah Daerah Pelayaran

Data mengenai karakteristik di wilayah daerah pelayaran dimana kapal ini akan beroperasi nantinya seperti panjang selat, jarak antar pelabuhan, kedalaman laut, kondisi perairan dan gelombang, serta fasilitas dermaga yang tersedia didapatkan dari sumber BMKG provinsi Papua Barat.

4.3.2 Melakukan Studi Literatur

Dalam tahap ini akan dilakukan studi literatur mengingat aspek yang dikaji cukup luas mulai dari aspek transportasi sampai aspek teknisnya sendiri dalam mendesain kapal dengan menggunakan kapal berkarakteristik baru seperti *Self-Propelled Oil Barge* ini. Patokan studi literatur inilah yang nantinya akan dijadikan pedoman dalam perencanaan transportasinya dan perancangan kapal itu sendiri. Studi literatur yang dibutuhkan antara lain :

- Konsep Perencanaan Jaringan

Studi literatur ini amat dibutuhkan mengingat pada penelitian ini jumlah volume yang akan diangkut belum diketahui, sehingga dibutuhkan perencanaan jaringan untuk mengetahui rute dari kapal dan jumlah payload yang akan diangkut. Studi literatur mengenai konsep perencanaan jaringan ini mengacu pada teori metode *linier alghoritm* yang umum digunakan untuk mencari nilai optimum dari sebuah perencanaan jaringan yang biasanya terdiri dari lebih dari 3 rute tujuan.

- *Self-Propelled Oil Barge*

Pada studi literatur ini akan dicari informasi mengenai karakteristik khusus dari kapal berjenis *Self-Propelled* ini. Dan untuk mengetahui aspek-aspek khusus yang terdapat pada kapal sejenis jika dilihat dari bentuk badan kapal, perbandingan ukuran utama, batas kecepatan, dan lain-lain. Informasi yang didapat dari studi literatur ini nantinya akan dijadikan pengetahuan dasar dalam mendesain kapal yang akan diteliti. Dan pada studi literatur ini pula akan didapat

beberapa constraint dan parameter tambahan yang bisa ikut dimasukkan dalam perhitungan desain kapal *Self-Propelled Barge* ini.

4.3.3 Analisa Data dan Perencanaan Rute Jaringan

Proses ini dilakukan setelah terkumpulnya data-data yang dibutuhkan yang kemudian dilakukan forecasting atau peramalan data yang sudah didapat. Data yang sudah dilakukan peramalan tadi kemudian diambil untuk dijadikan input ketika proses perencanaan jaringan dilakukan. Analisa dan perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan rute transportasi mana yang nantinya paling efektif dan efisien dari sisi biaya dan selanjutnya akan dihitung ke tahap selanjutnya yaitu penentuan payload kapal.

4.3.4 Perhitungan Payload Kapal

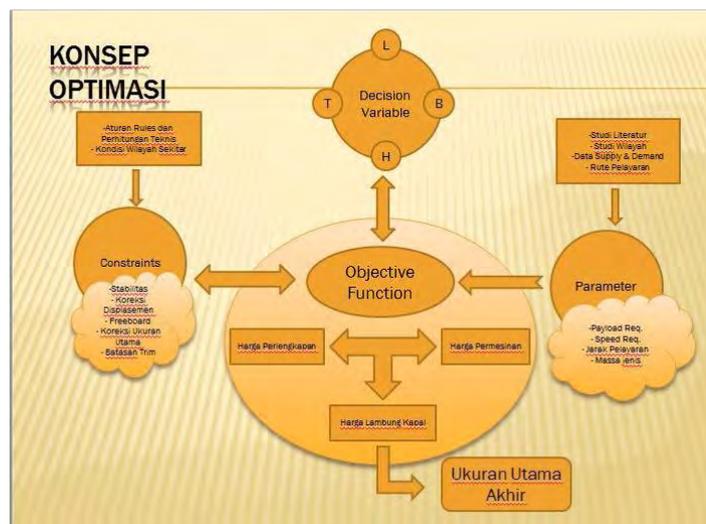
Setelah ditemukan jumlah payload yang akan diangkut dalam satu tahun selanjutnya adalah menghitung payload kapal yang akan dibangun. Pada proses ini dibutuhkan beberapa data yang akan dijadikan parameter dalam menghitung seperti daftar lama bongkar muat, jumlah kapal yang beroperasi dan lain sebagainya. Setelah itu proses selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan batasan-batasan dalam pencarian data kapal pembanding. Yang diawali dengan melakukan pengumpulan data-data kapal pembanding yang sesuai dengan batas-batas payload yang sudah ditentukan.

4.3.5 Perhitungan Optimasi Ukuran Utama

Dalam proses perhitungan ukuran utama, terlebih dahulu menentukan jumlah payload atau lebih mudah menggunakan perhitungan DWT yang dihitung berdasarkan fungsi dari *payload* yang akan diangkut kapal tersebut. Proses perhitungan ukuran utama *Self-Propelled Barge* menggunakan metode optimasi dimana pengambilan data sebanyak 5 data kapal pembanding dengan batas atas dan bawah data sebesar 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 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 Fn, stabilitas, *freeboard*, *trim*, *displacement*, dan rasio).



Gambar 3: Konsep Pengertian proses optimasi

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 dioptimasi oleh *software*.

4.3.6 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 direncanakan harus sama dengan nilai displacement hasil perhitungan ($L \times B \times T \times C_b$)
- *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 memperbagus hasil desain dan dilanjutkan dengan proses pembuatan rencana umum.



“Use what talents you possess, the woods will be very silent if no birds sang there except those that sang best.”

– Henry van Dyke

BAB 5

ANALISA PENENTUAN JUMLAH MUATAN

5.1 Pendahuluan

Pada Bab ini akan dibahas mengenai isi dari pengerjaan Tugas Akhir guna memenuhi salah satu tujuan dari yang telah disebutkan pada Bab I yaitu mengenai penentuan jumlah muatan yang optimum. Ada beberapa perhitungan yang dilakukan seperti menghitung jumlah suplai sesuai dengan daya tamping olah di daerah yang ditinjau, kemudian dilanjutkan dengan proses optimasi rute jaringan disertai dengan pembuatan modelnya. Dan tahapan terakhir pada bab ini setelah didapatkan rute yang optimum dilakukan perhitungan jumlah muatan kapal.

5.2 Melakukan Pengumpulan Data Produksi tiap *Oil Rig* dan *Oil Refinery*

Data yang dikumpulkan antara lain adalah jumlah *supply oil* dari tiap sumber sumur dan dikirim menuju *port hub* terdekat. Selain itu ada sumber sumur yang bersifat *offshore* dengan memproduksi minyak bumi di laut lepas, kemudian dibuat penyimpanan sementara dalam bentuk FSO. Karena mengingat judul dari Tugas Akhir ini adalah mengenai perencanaan transportasi *crude oil* untuk daerah Kabupaten Sorong, maka akan ditinjau dan dipilih beberapa dermaga hub yang menjadi tempat pengiriman dan penyimpanan sementara *crude oil* dari sumber sumur terdekat. Tempat yang terpilih ini berdasarkan prospek perkembangannya yang cukup pesat dan di pelabuhan tersebut sudah tersedia juga fasilitas untuk bongkar muat, tanki penyimpanan sementara untuk muatan *crude oil*. Untuk pemetaan lokasi tiap sumur produksi *crude oil* dapat dilihat pada tabel 3 sub bab 4.3.1.

Hasil keseluruhan data yang didapat direkap dalam bentuk tabel seperti berikut :

Table 1: Data lokasi sumur minyak dan kilang minyak

	Nama Lokasi			
	Sorong	Salawati	PC. Int. Bermuda	UP VII Pertamina
Status	<i>Drilling Rig</i>	<i>Drilling Rig</i>	<i>Oil Platform</i>	<i>Oil Refinery</i>
Produksi (ton/hari)	140.7	233.205	832.211	-
Kapasitas Tampung Tangki (ton)	1750	1400	9524.9	10000
Estimasi Waktu Tanki Penuh (hari)	12.4	6	11.4	

Table 2: Jarak antar lokasi tinjauan

Jarak (nm)				
	Sorong	Salawati	PC. INT. Bermuda	UP VII Pertamina
Sorong	0	31	52	28
Salawati	31	0	20	3
PC. INT. Bermuda	52	20	0	23
UP VII Pertamina	28	3	23	0
	Jarak tempuh total		=	102

5.3 Melakukan Optimasi Perencanaan Jaringan

Pada Sub Bab ini akan dilakukan proses optimasi rute pelayaran dengan metode *Traveling Salesman Problem* (TSP), dimana metode TSP merupakan salah satu teknik penyelesaian dalam program algoritma, yaitu dengan mencari semua kombinasi yang mungkin terjadi, kemudian memilih kombinasi perjalanan dengan jarak terdekat. Metode TSP digunakan untuk mencari nilai optimal dari program linier yang melibatkan banyak *constraint* (pembatas) dan banyak *variabel* (lebih dari dua variabel). Banyak komponen yang harus diketahui sebelum membuat perhitungan optimasi dengan menggunakan metode simplex ini seperti jumlah variabel, fungsi tujuan, dan batasan-batasan yang diberikan.

5.3.1 Penentuan Komponen Optimasi Perencanaan Jaringan

Ada 4 komponen penting dari kegiatan optimasi pada umumnya, hal ini pula yang dijadikan acuan dalam pembuatan komponen optimasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, antara lain :

- *Objective Function* : Berisi rumusan atau formulasi yang akan dioptimumkan nilainya bisa jadi nilai minimum atau nilai maksimum.
- *Decision variabel* : Berisi variabel yang nilainya dapat mempengaruhi proses iterasi nilai optimum fungsi tujuan.
- *Parameter* : Berisi nilai input seperti jumlah produksi, jarak pelayaran, biaya transportasi.
- *Constraint* : Berisi mengenai batasan-batasan yang digunakan dalam proses perhitungan optimasi, seperti :
 - Jenis pelayaran yang bersifat *Liner Service* yang artinya trayek pelayaran dan perjalanan kapal yang tetap dan teratur. Yaitu kapal-kapal dalam berlayar tidak berpindah-pindah wilayah perairannya, melainkan harus tetap bergerak dalam wilayah operasi yang ditentukan.
 - Kondisi transportasi ideal dimana artinya jumlah demand dapat terpenuhi seluruhnya oleh supply yang tersedia.
 - Data yang didapatkan adalah kemampuan produksi sumur minyak dalam sekali setahun, kemampuan pompa dalam *loading & unloading*,

5.3.2 Pembuatan Model Optimasi Perencanaan Jaringan

Untuk mempermudah proses analisa, perhitungan, dan penyajian data dan informasi maka dibuat model optimasi metode algoritma dengan bantuan software *Ms. Excel*. Langkah pertama yang dilakukan dalam pembuatan model ini adalah penentuan fungsi tujuan daripada model optimasi tersebut yang kemudian dilanjutkan dengan penentuan parameter-parameter yang ada serta batasan-batasan yang nantinya akan dijadikan input optimasi dengan menggunakan metode simpleks ini. Berikut gambaran model yang dibuat sebagai acuan dalam analisa dan perhitungan optimasi jaringan dengan metode TSP

B. Optimasi Travelling Salesman Problem					
Route Optimum					
	Sorong	Salawati	C. INT. Bermud	UP VII Pertamina	
Sorong	0	1	0	0	1 = 1
Salawati	0	0	1	0	1 = 1
PC. INT. Bermuda	0	0	0	1	1 = 1
UP VII Pertamina	1	0	0	0	1 = 1
Jarak (nm)					
	Sorong	Salawati	C. INT. Bermud	UP VII Pertamina	
Sorong	0	31	51	28	
Salawati	31	0	20	3	
PC. INT. Bermuda	51	20	0	23	50.254832
UP VII Pertamina	28	3	23	0	
Total Roundtrip	102				
Waktu Berlayar (Jam)					
	Sorong	Salawati	C. INT. Bermud	UP VII Pertamina	
Sorong	0.00	3.42	0.00	0.00	
Salawati	0.00	0.00	2.22	0.00	
PC. INT. Bermuda	0.00	0.00	0.00	2.52	
UP VII Pertamina	3.13	0.00	0.00	0.00	
Waktu Pelabuhan (Jalcepan rata-rata (Ton/jam)				Kapasitas (Ton/jam)	
Sorong	6.2	1073	<=	1058	
Salawati	6.4	1073	<=	1058	
PC. INT. Bermuda	7.3	1073	<=	1058	
UP VII Pertamina	7.8	1073	<=	1058	

(mesin pompa yang digunakan adalah SANKO PUMP 600m³ x 2 SETS)

Gambar 1: Permodelan Optimasi Travelling Salesman Problem pada software M.S. Excel

Sumur Minyak	produksi (Ton/hari)	Jumlah Distribusi (Ton)
Sorong	140.7	228
Salawati	233.20542	378
PC. INT. Bermuda	832.21054	1350

Batasan		
Sorong	0 =	0
Salawati	0 =	0
PC. INT. Bermuda	0 =	0
UP VII Pertamina	0 =	0
Perputaran Kembali	0 =	0

Rute Tidak Ke UP Pertamina		
Sorong-salawati	0 =	0
Sorong-Bermuda	0 =	0
Salawati-Bermuda	0 =	0

Gambar 2: Parameter input pada tabel merah dan batasan optimasi pada tabel hijau dan kuning

Berdasarkan gambar, pada tabel pertama dengan nama Rute Optimum menjelaskan bagaimana alur rute ditentukan. Tabel Rute Optimum adalah tabel *decision variable* dimana tabel ini dapat kita tentukan sendiri, dari lokasi keberangkatan hingga lokasi terakhir setelah melalui rute-rute yang ditentukan. Untuk nama lokasi dibuat dalam kolom dan baris fungsi dimana input yang dimasukkan ke dalam tabel berupa angka 0 dan 1. Untuk angka 1 adalah rute tujuan yang valid dan angka 0 adalah rute yang tidak valid.

Dari pembacaan tabel di gambar 18, rute *start* dipilih pada baris 4 kolom 1, dengan diberi angka 1, dapat diartikan rute *start* dari baris Sorong dan kolom U.P. VII Pertamina adalah valid, menandakan rute pertama diambil dari lokasi U.P.VII Pertamina menuju lokasi Sorong. Kemudian dilanjutkan pembacaan angka pada tabel baris ke 2, dimana angka 1 didapatkan pada baris 1 kolom 1, dapat diartikan rute selanjutnya diambil dari lokasi Sorong menuju lokasi Salawati. Untuk baris berikutnya dilakukan pembacaan yang sama, hingga didapat lokasi PC. Int. Bermuda menuju lokasi asal yaitu menuju U.P. VII Pertamina (pada kolom 4 baris 3). Yang dilingkari merah pada gambar tersebut menandakan *constrain*, batasan pada tabel pertama jika jumlah nilai valid yang didapat adalah angka 1. Jika angka yang diperoleh selain 1, maka rute yang dicari kemungkinan arah rutenya lebih dari satu. Untuk mendapatkan rute tersebut akan dilakukan langkah *solver* untuk mendapatkan rute yang optimum.

Pada gambar 18 dan 19, diberikan parameter input untuk melengkapi data optimasi, yaitu produksi minyak, jarak antar lokasi (diberikan pada tabel ke 2 gambar 18), lama waktu

berlayar (tabel ke 3 gambar 18), waktu berlabuh, *speed* kapal, *variation cost*, dan kecepatan bongkar muat (tabel ke 4 gambar 18). Kemudian batasan pada tabel ke 2 gambar 19 menunjukkan batasan yang terhubung dengan variabel tabel “Rute Optimum” (tabel ke 1 gambar 18), angka 0 adalah rute yang saling terhubung satu lokasi dengan lokasi yang lain, jika ada baris tabel terisi dengan angka selain 0 maka terjadi *error* pada baris tersebut. Baris dengan nama “Perputaran Kembali” menunjukkan jika pada tabel “Rute Optimum” angka 1 tidak terdapat pada baris dan kolom yang sama, karena hal tersebut menunjukkan tidak adanya pergerakan sama sekali ke lokasi berikutnya.

Setelah semua parameter dan batasan dipenuhi, maka langkah berikutnya dilakukan dengan menggunakan *solver* pada bagian menu data dari *software* M.S. Excel. *Solver* digunakan untuk mendapatkan nilai optimum dari data parameter dan batasan yang diperoleh. Hasil optimasi dari *solver* yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Variabel Cost	(Rp/km.ton)	130,000
	(Rp)	25,854,708,193
Fixed Cost	(Rp/tahun)	25,870,738,772
	(Rp/Roundtrip)	127,197,134.61
Cost Distribution	(Rp/roundtrip)	25,981,905,328
	(Rp/Ton)	13,276,986
Payload (Ton)	1957	
Kecepatan (Knot)	9	
Seatime (Jam)	11.292	
Port Time (jam)	27.6475	
waktu kapal (Jam)	38.94	
Jumlah (Rountrip/Tahun)	203.3908928	

Gambar 3: Hasil optimasi yang didapat menggunakan fungsi *solver* dari *software* MS Excel

Sesuai dengan judul bab ini, hasil optimasi yang akan kita cari adalah nilai *payload*. Dari hasil pilihan rute yang didapat dari tabel pertama pada gambar 18, maka didapat waktu kapal berlayar dan waktu berlabuh. Lamanya waktu sekali *roundtrip* didapat dari jumlah waktu kapal berlayar dan berlabuh. Hasil waktu *roundtrip* tersebut akan dibuat senilai dengan lama waktu produksi minyak bumi tiap sumur (dalam waktu per jam). Hasil nilai *payload* yang didapatkan adalah 1957 ton dengan *cost distribution* paling kecil.



“Everything should be made as simple as possible, but not simpler.”

– Albert Einstein

BAB 6

PERANCANGAN *SELF PROPELLED OIL BARGE*

6.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas bagaimana cara menentukan ukuran utama *Self-Propelled Oil Barge*. Selain itu pada bab ini akan dibahas juga perhitungan koefisien-koefisien yang ada dalam kapal *barge*, perhitungan hambatan, perhitungan daya mesin, perhitungan berat dan titik berat *Self-Propelled Oil Barge*, koreksi ruang muat, koreksi *stabilitas*, koreksi *freeboard*, serta koreksi kondisi trim kapal *barge*. Dalam perhitungan ini terdapat kriteria- kriteria yang harus dipenuhi, seperti kriteria IMO (*International Maritime Organization*) untuk koreksi *freeboard* dan stabilitas kapal. Pembuatan rencana garis serta rencana umum dari ukuran optimum hasil optimasi *Self-Propelled Oil Barge* tersebut.

6.2 Penentuan *Owner Requirement*

Dalam mendesain kapal diperlukan yang namanya parameter desain, yang dijadikan sebagai acuan sesuatu yang harus terpenuhi selama dalam proses desain. Permintaan pemilik kapal atau yang disebut *Owner Requirement* merupakan salah satu parameter desain yang harus dipenuhi oleh desainer dalam proses mendesain kapal.

Dalam Tugas Akhir ini, *Owner Requirement* didapatkan dari perhitungan *payload* pada Bab sebelumnya. Armada yang digunakan merupakan armada khusus pengangkut CPO yang berlayar dengan sistem liner yang artinya penjadwalan, dan rutenya tetap dan tidak ada sistem musiman.

Dari hasil perhitungan Bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa *Owner Requirement* yang harus dicapai adalah sebagai berikut:

Jenis kapal	: <i>Self-Propelled Oil Barge</i>
Kapasitas Muatan CPO	: 1957 Ton
Kecepatan dinas	: 9 knot
Rute pelayaran	: U.P. VII Pertamina – Sorong – Salawati – PC Int. Bermuda – U.P. VII Pertamina

Dimana parameter owner yang dimasukkan ini berasal dari perhitungan muatan Bab sebelumnya yaitu 1957 ton, rute optimum yang didapat dari hasil optimasi yaitu U.P VII Pertamina – Sorong – Salawati – PC Int. Bermuda – U.P. VII Pertamina, dan batasan kecepatan maksimum barge pada tinjauan pustaka sebesar 15 km/jam atau setara dengan 9 knots.

6.3 Penentuan Ukuran Utama Pemanding *Self-Propelled Oil Barge*

Perencanaan ukuran utama barge dilakukan dengan proses optimasi yang didasarkan pada data beberapa kapal tanker yang sudah dibuat dan beroperasi. Data tersebut digunakan sebagai batasan (*constraints*) untuk menentukan nilai minimum dan maksimum dalam penentuan ukuran utama. Pemilihan data kapal tanker didasarkan pada besar *deadweight* yang diangkut dan sedikit ditambahkan mengenai batasan kedalaman Selat Sele.

Table 1 : Data kapal pemanding

Payload	=	1957 ton						
DWT	=	2152.60 ton						
Batas atas	=	2583.13 ton						
Batas bawah	=	1722.08 ton						
Nama Kapal	DWT (Ton)	Principal Dimension				Rasio		
		Lpp (m)	Bm (m)	H (m)	T (m)	L/B	B/T	T/H
ZHONG RAN 22	2426	82	15	6.2	5.4	5.47	2.78	0.87
GRIYA FLORES	2350	72	12	6.3	5.2	6.00	2.31	0.83
MARINE 2	1947	67.5	11.5	5.2	3.8	5.87	3.03	0.73
BITUNG	2000	74	12	5.5	4.8	6.17	2.50	0.87
HSB 6	2300	79.5	12	5.5	4.8	6.63	2.50	0.87

Dari data kapal pemanding di atas selanjutnya digunakan sebagai batasan untuk menentukan nilai minimum dan maksimum dalam menentukan nilai *decision variable* yang dicari dan sebagai batasan dalam hal ini adalah ukuran utama kapal meliputi panjang LPP, lebar, tinggi, dan sarat kapal.

6.4 Pembuatan Model Optimasi Ukuran Utama

6.4.1 Penentuan Variabel

Dalam proses iterasi, ada yang namanya *decision variable* yang nilainya akan berganti-ganti setiap saat ketika proses iterasi dilakukan oleh software dan yang berfungsi sebagai variabel penentu pada perhitungan ini adalah panjang LPP, lebar moulded, tinggi moulded, dan sarat pada Summer Load Line Waterline dari kapal pemanding yang sudah dicari pada tahap sebelumnya.

6.4.2 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 :

- Kapasitas angkut optimum sebesar 1957 ton.
- Kedalaman rata-rata perairan Selat Sele sebesar 17-20 meter.
- Kecepatan *barge* maksimal adalah 9 knot atau 15 km/jam.
- Massa jeni air laut sebesar 1.025 ton / m³.

6.4.3 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 :

➤ *Froude Number*

Batasan F_n untuk barge antara 0.15 hingga 0.3 untuk kapal dagang biasa

➤ Batasan stabilitas

Stabilitas kapal dapat diartikan sebagai kemampuan dari sebuah kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar dengan beratnya sendiri. 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, (IS Code, 2008) yaitu:

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

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

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

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

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

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

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

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

5) h_{\max} pada $\varphi_{\max} \geq 25^\circ$

Lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 25°

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

Tinggi Metasentra awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0.15 meter

➤ Lambung timbul minimum

Acuan yang digunakan adalah sesuai dengan yang tercantum dalam Peraturan Garis Muat Indonesia (PGMI). Beberapa koreksi harus dipenuhi untuk menentukan tinggi freeboard minimum, yaitu, koreksi bangunan atas, koreksi koefisien blok, koreksi tinggi, dan koreksi lengkung memanjang kapal. Dalam kategori PGMI, barge memiliki karakteristik yang sama dengan kapal tanker dan masuk ke dalam kategori A. yaitu kapal dengan muatan curah cair. Tinggi lambung timbul aktual tidak boleh kurang dari lambung timbul hasil perhitungan.

➤ Koreksi Displacement

Berat total barge ($DWT+LWT$) yang akan dirancang harus masih berada dalam rentang displacemen hasil perhitungan ($LxBxTxCb$) sebesar 2% s/d 5%.

➤ Batasan rasio ukuran utama

Rasio ukuran utama kapal yaitu meliputi L/B , B/T , L/T . Untuk batasan rasio ukuran utama ini yang digunakan acuan adalah dari buku *Principal Naval Architecture* Volume I halaman 19 yang menyebutkan bahwa rasio-rasio ukuran utama yang terdapat pada kapal adalah sebagai berikut :

$$L/B_{\min} = 3.5, L/B_{\max} = 10$$

$$B/T_{\min} = 1.8, B/T_{\max} = 5$$

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

➤ Koreksi Volume Ruang Muat

Koreksi ruang muat selanjutnya perlu dilakukan perhitungan, pengecekan, dan koreksi karena berkaitan dengan salah satu parameter yang harus terpenuhi. Mengingat sifat muai dari minyak jenis *Crude Oil* yang unik ketika dibongkar atau dimuat maka rentang koreksi yang diberikan untuk ruang muat ini cukup besar yaitu berkisar antara 0% sampai 5%.

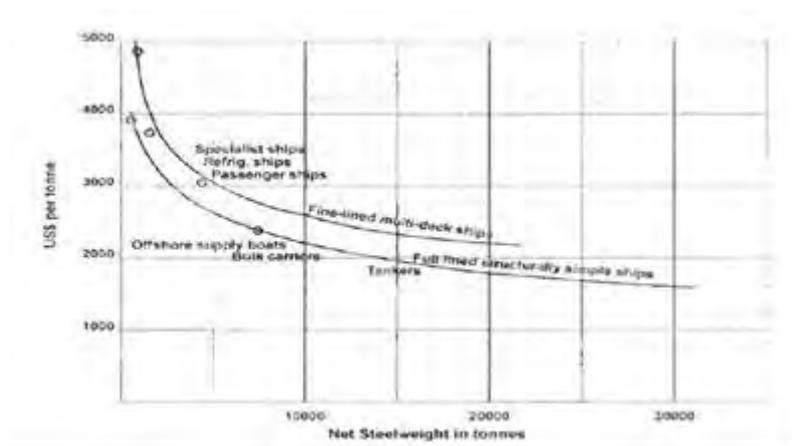
6.4.4 Penentuan Fungsi Objektif

Fungsi objektif yang dipakai di sini adalah estimasi awal pembiayaan kapal yang akan dikeluarkan untuk pembangunan kapal tersebut, yang meliputi harga baja kapal, harga permesinan, dan harga outfitting di kapal yang dibutuhkan sesuai standard klas.

$$Total\ Cost = Hull\ cost + EO\ cost + Machinery\ cost$$

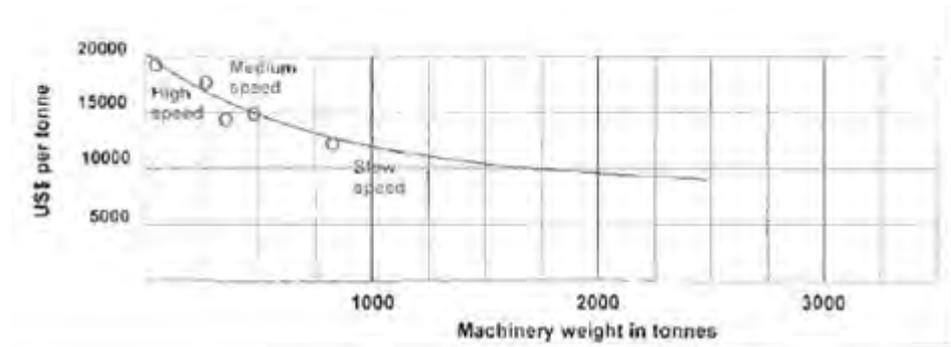
Menggunakan metode yang diberikan pada buku *Practical Ship Design* karangan D.G.M Watson dimana disebutkan bahwa estimasi harga atau biaya pembangunan kapal merupakan fungsi dari masing-masing berat item-item tersebut. Bisa dikatakan fungsi karena hubungan antara berat item-item di kapal dan harga membentuk sebuah grafik sebagai berikut :

a) Grafik hubungan berat baja dan harga material



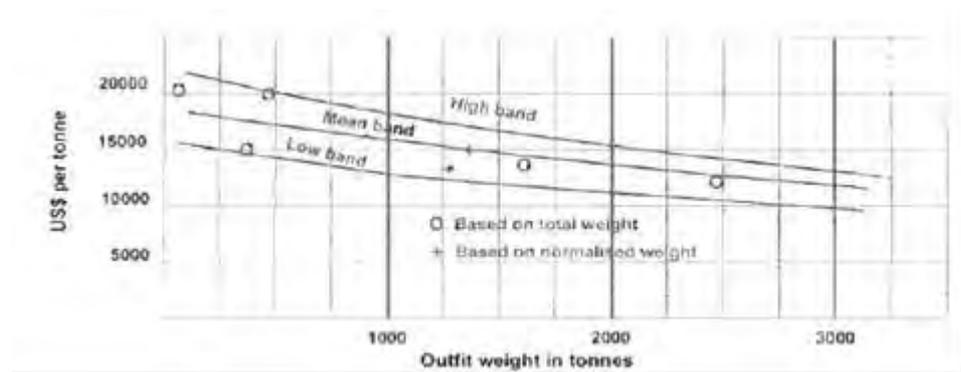
Gambar 1: Grafik berat material baja dengan harga material

b) Grafik hubungan berat permesinan dengan harga material



Gambar 2: Grafik Berat Permesinan dengan Harga Material

c) Grafik hubungan berat perlengkapan dengan harga material



Gambar 3: Grafik berat perlengkapan dengan harga material

6.4.5 Running Model Iterasi Solver Barge

Setelah semua batasan selesai dibuat, selanjutnya adalah melakukan running program 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 SELF-PROPELLED BARGE

Decision Variabel							
	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Ukuran Utama	Panjang	m	LPP	67.50	67.78	82.00	ACCEPTED
	Lebar	m	B	12.00	12.00	18.00	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	5.50	6.50	6.50	ACCEPTED
	Sarat	m	T	4.40	4.40	5.40	ACCEPTED

Constraints							
Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$F_n = V/(g \cdot Lpp)^{0.5}$				0.18	0.30	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0°	m	MG_0	0.15	0.64		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^\circ$	m	Ls_{30}	0.2	2.48		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada Ls maksimum	deg	Ls_{maks}	25	39.87		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30°	m.rad	Ld_{30}	0.055	0.102		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40°	m.rad	Ld_{40}	0.09	0.151		ACCEPTED
Freeboard	Luas Kurva GZ antara $30^\circ - 40^\circ$	m.rad		0.03	0.05		ACCEPTED
Displacement	F_s	m	F	1.17	2.10		ACCEPTED
Rasio	Koreksi displacement	%		2.00%	4.57%	5.00%	ACCEPTED
			L/B	3.50	5.65	10.00	ACCEPTED
			B/T	1.80	2.73	5.00	ACCEPTED
Hold Capacity			L/T	10.00	15.40	30.00	ACCEPTED
	Koreksi volume ruang muat	%		0%	3.81%	5%	ACCEPTED

Objective Function				
	Item	Unit	Symbol	Value
	Hull Cost	Rp		22,740,450,775
	E & O Cost	Rp		33,710,811,827
	Machinery Cost	Rp		8,902,233,821
	Total Cost	Rp		65,353,496,423

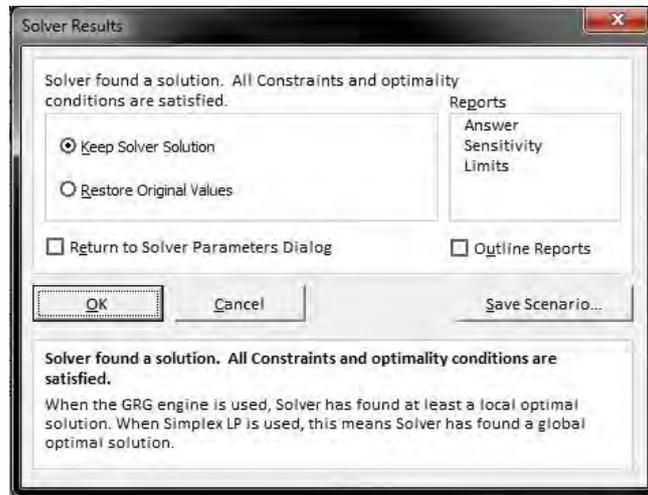
Gambar 4: Hasil Optimasi Ukuran Utama Kapal

- 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 5: Proses Running Optimasi Ukuran Utama Kapal

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 6: Tampilan Solver Saat Semua Batasan Terpenuhi

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

$$L_{pp} = 67.78 \text{ meter}$$

$$B = 12.00 \text{ meter}$$

$$H = 6.50 \text{ meter}$$

$$T = 4.40 \text{ meter}$$

6.4.6 Pengecekan Perhitungan

Karena proses perhitungan optimasi ini merupakan proses iterasi yang dapat mempengaruhi perhitungan teknis dalam mendesain kapal sehingga perlu adanya melakukan pengecekan ulang untuk memastikan semua batasan dan parameter terpenuhi. Mengingat proses optimasi ini menghasilkan ukuran utama yang dijadikan acuan dalam perhitungan hambatan, berat dan titik berat yang akhirnya menuju ke koreksi displacement dan pengecekan stabilitas, serta koreksi ruang muat akibat perubahan panjang kamar mesin yang dipengaruhi panjang mesin maka perlu dilakukan pengecekan ulang pada item-item tersebut. Dan untuk koreksi trim dan lambung timbul dilakukan setelah proses perencanaan penempatan tanki selesai dilakukan, yaitu setelah perencanaan rencana umum.

6.4.7 Perhitungan Hambatan

Perhitungan hambatan menggunakan metode *Holtrop*, dan menggunakan referensi *Lewis, Edward V., Principles of Naval Architecture, Volume II Resistance, Propulsion, and Vibration, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, NJ.*

Nilai ini didapat dengan cara menghitung komponen hambatan *wave making resistance* (R_w/w) dan menghitung komponen hambatan akibat *viscous resistance* yang dirasa kedua komponen hambatan tersebut adalah yang paling besar dan berpengaruh terhadap perhitungan.

Berikut merupakan rumus Holtrop yang digunakan untuk menghitung hambatan gelombang

Perhitungan Tahanan Gelombang (R_w / W)

$$F_n = 0.177$$

Untuk $F_n \leq 0.4$ maka ;

- 1) Perhitungan koefisien C_1

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

Dimana :

$$B/L = 0.172$$

Untuk $0.11 \leq B/L \leq 0.25$, maka $C_4 = B/L$

$$C_4 = 0.172$$

$$iE = 125.67 B/L - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551 (LCB + 6.8 (T_a - T_f)/T)^3 \\ = 51.110$$

$$C_1 = 6.223$$

Perhitungan Koefisien C_2

C_2 = koefisien pengaruh *bulbous bow*

$$C_2 = 1 \text{ (tanpa } \textit{bulbous bow})$$

- 2) Perhitungan Koefisien C_3

C_3 = koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan

$$C_3 = 1 - 0,8 \times A_T / B \times T \times C_m$$

dimana :

$$A_T = 0 \text{ m}^2 \text{ (} A_T \text{: Luas transom tercelup ketika kapal diam)}$$

$$C_3 = 1$$

- 3) Parameter d

$d = -0.9$ (tetapan untuk $Fn \leq 0.4$)

4) Perhitungan koefisien C_5

C_5 = koefisien dengan fungsi koefisien prismatic

$$C_p = 0.818$$

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

$$C_5 = 8.0798 \cdot C_p - 13.8673 \cdot C_p^2 + 6.9844 \cdot C_p^4$$

$$C_5 = 1.153$$

5) Perhitungan koefisien C_6

C_6 = koefisien pengaruh terhadap harga L^3/V ; dimana :

$$L^3/V = 113,438$$

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

$$C_6 = -1.694$$

Perhitungan koefisien m_1

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

$$m_1 = -2.469$$

6) Perhitungan koefisien m_2

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

$$m_2 = -2.65158E-05$$

7) Perhitungan Koefisien λ

λ = koefisien pengaruh terhadap harga L/B

dimana :

$$L/B = 5.6482$$

Untuk ($L/B < 12$), maka λ adalah :

$$\lambda = 1.446C_p - 0.03 L/B$$

$$\lambda = 1.008$$

8) Perhitungan W

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

$$W = 30.159 \text{ kN}$$

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

$$= 0.000004975$$

$$R_w = 1.5 \text{ kN}$$

Maka didapat nilai $R_w = 1.5 \text{ kN}$, hambatan dari gelombang ini nilainya sangat kecil yaitu kurang dari 1% atau lebih tepatnya sebesar 0.56%. Hal ini bisa terjadi karena komponen yang menyebabkan hambatan gelombang adalah bentuk dan kecepatan kapal, dan pada tugas akhir ini *desain Self-Propelled Oil Barge* dianggap sebagai kapal berkecepatan rendah dan lambung *full displacement*.

Kemudian selanjutnya adalah menghitung komponen hambatan yang dirasa paling besar yaitu viscous resistance, dimana metode perhitungannya adalah:

➤ Perhitungan $(1 + k)$

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 ;

c = koefisien bentuk afterbody

$$c = 1 + 0.011c_{\text{stern}} \quad \gg C_{\text{stern}} = 0$$

$$= 1 \quad \text{for normal section shape}$$

$$c_{\text{stern}} = -25 \quad \text{for pram with gondola}$$

$$c_{\text{stern}} = -10 \quad \text{for V-shaped sections}$$

$$c_{\text{stern}} = 0 \quad \text{for normal section shape}$$

$$c_{\text{stern}} = 10 \quad \text{for U-shaped sections with Hogner stern}$$

Perhitungan LR/L

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

$$= 0.182$$

Sehingga, harga $1+k_1$ adalah :

$$= 1.352$$

Perhitungan Koefisien $1+k_2$

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

$$1+k_2 = 2.8 \quad (\text{rudder for twin screw ship})$$

Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal

$$WSA=L(2T+B)CM^{0.5}(0.453+0.4425C_B-0.2862C_M-0.003467$$

$$B/T+0.3696C_{WP})+2.38A_{BT}/C_B$$

$$W_{SA} = 1225.379 \text{ m}^2$$

$$S_{app} = S \text{ rudder} + S \text{ Bilge Keel}$$

$$S_{app} = 14.061 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka, total luas permukaan basah kapal : } S_{total} = WSA + S_{app}$$

$$= 1239.439 \text{ m}^2$$

Perhitungan Koefisien 1+k

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

$$= 1.352$$

Perhitungan Koefisien Gesek, C_F

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

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2$$

dimana ;

$$R_n = v \cdot L_{wl} / u$$

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

$$= 271984158.6$$

$$C_F = 0.075 / [\log (271984158.6) - 2]^2$$

$$= 0.001811$$

Perhitungan model-ship correlation allowance, C_A

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

$$C_A = 0.006 (69.812 + 100)^{-0.16} - 0.00205$$

$$= 0.0005885$$

Perhitungan Hambatan Total, R_T

Hambatan Barge

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

$$= 41.362 \text{ kN} + 15\% \text{ margin} = 47.567 \text{ kN}$$

Sehingga didapat nilai hambatan totalnya adalah 47.567 kN dengan tambahan 15% sea margin.

6.4.8 Perhitungan Berat dan Titik Berat

Perhitungan berat kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk LWT dan DWT (Watson D. , 1998). Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

1) Menghitung LWT Kapal

- Perhitungan berat baja kapal.

$$W_{si}(\text{Ton}) = K \times E^{1.36}$$

Dimana:

$$E = L(B + T) + 0,85L(D - T) + 0,85\{(l1 \cdot h1) + 0,75(l2h2)\}$$

$$E = 1343.802$$

$$K = 0,003$$

$$W_{si} = 575.024 \text{ ton}$$

Selanjutnya dilakukan koreksi karena pengurangan material untuk *scrap* yaitu :

$$W_{si}' = W_{si} - (\% \text{Scrap} \cdot W_{si}) \quad ; \quad \% \text{ Scrap} = 7,94\% \text{ (grafik watson)}$$

$$W_{si}' = 529.360 \text{ Ton}$$

Koreksi berikutnya ialah koreksi koefisien blok kapal. Maka nilai koreksinya sebesar :

$$W_{st} = W_{si}' (1 + 0,05 (C_{b'} - C_b)) \quad ; \quad C_{b'} = 0,814$$

$$W_{st} = 679.899 \text{ ton}$$

- Perhitungan berat permesinan kapal dilakukan dengan mengadopsi rumusan yang diberikan oleh (Watson D. , 1998). Hasil perhitungannya sebagai berikut :

- Berat Mesin Utama

$$\text{Berat mesin} = 4.548 \text{ Ton}$$

$$\text{Jumlah mesin} = 2$$

$$\text{Total } W_{me} = 9096 \text{ ton}$$

- Berat Mesin Bantu

$$\text{Wae tiap mesin} = 0.5 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah mesin} = 2$$

$$\text{Total Wae} = 1 \text{ ton}$$

- Perhitungan berat perlengkapan (EO) dilakukan dengan mengadopsi metode dalam buku *Ship Design for Efficiency and Economy* (H Schneeklutch, 1998). Perhitungan berat EO terbagi menjadi dua bagian yaitu untuk rumah geladak (*group III : Living Quarters*) dan selain rumah geladak (*group IV : Miscellaneous*).

- Weo Living Quarters

$$\text{Weo Living Quarters} = \text{Luas Houses} \cdot \text{Calv}$$

Dimana,

$$\text{Calv} = 195 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Luas houses} = 365.622 \text{ m}^2$$

$$\text{Weo Living Quarters} = 54.84 \text{ ton}$$

- Weo Miscellaneous

$$\text{Weo Miscellaneous} = (L \cdot B \cdot H)^{2/3} \times \text{Ceo}$$

Dimana,

$$\text{Ceo} = 0,25 \text{ Ton/ m}^2$$

$$\text{Weo selain houses} = 75.869 \text{ ton}$$

- Weo total

$$\text{Weo Total} = \text{Weo Living Quarters} + \text{Weo selain houses}$$

$$\text{Weo total} = 210.712 \text{ ton}$$

2) Perhitungan Titik Berat LWT

- Titik berat baja kapal ditentukan dengan metode pendekatan berdasarkan Harvald and Jensen Method yang dikembangkan pada tahun 1992.

$$\text{KG (m)} = C_{\text{KG}} \cdot D_a$$

C_{KG} = asumsi diambil 0.53

koefisien titik berat KG untuk tanker antara 0.52 – 0.54

$$D_a = 7.537 \text{ m}$$

jadi KG = 4.482 m dan LCG baja kapal = 34.91 dari AP

- Titik berat baja permesinan ditentukan dengan metode pendekatan sebagai berikut (H Schneeklutch, 1998)

$$KG_m(m) = HDB + 0,35(D - HDB)$$

$$H_{DB} = 0.82 \text{ m}$$

$$\text{Jadi KG} = 9,051 \text{ m}$$

$$D = 6.50 \text{ m}$$

$$K_{Geo}(m) = (1,02 \sim 1,08) \times D_A$$

Diambil, 1,02

$$\text{Jadi KG} = 7.914 \text{ m}$$

$$\text{LCG peralatan kaman dan perlengkapan} = -51.741 \text{ m dari FP}$$

3) Perhitungan Berat DWT

Seperti dijelaskan pada subbab sebelumnya, komponen DWT terdiri dari berat payload, consumable dan complement. Besarnya dipengaruhi oleh jenis mesin yang digunakan, besar mesin, dan jumlah crew yang ada diatas kapal. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Payload = 1957 Ton
- Consumble (Bahan bakar)

Perhitungan consumble dibagi menjadi tiga bagian yaitu perhitungan bahan bakar mesin utama (MDO), mesin bantu (MFO), dan minyak lumas (Lub. Oil)

$$\text{a) Kebutuhan } M_{FO} = MCR \times SFR \times \text{Seatime} \times 1,4$$

Dimana,

$$SFR = 0,00019 \text{ ton/jam (untuk diesel engine)}$$

$$\text{Sea time} = 11.292 \text{ jam}$$

$$\text{Kebutuhan MFO/trip} = 6.198 \text{ Ton}$$

$$\text{b) Kebutuhan } M_{DO} = C_{DO} \times \text{Volume } M_{DO}$$

Dimana,

$$C_{DO} = 0.2 \text{ ton/m}^3$$

$$V_{DO} = 1.48756703 \text{ m}^3$$

$$\text{Kebutuhan } M_{DO}/\text{trip} = 1.239 \text{ ton}$$

c) Kebutuhan Lub Oil = 20 ton (*medium speed diesel*)

Dari *Parametric Design* memberikan ketentuan bahwa kebutuhan lubricating oil adalah 20 ton untuk jenis mesin *medium speed diesel* dan 10 ton untuk *low speed diesel*. Kebutuhan totalnya adalah sebagai berikut :

d) Kebutuhan air tawar = $W_{fw} \times \text{jumlah crew} \times \text{RTD}$

Dalam *Parametric Design* (Parsons, 2001) diberikan asumsi penggunaan air bersih (W_{fw}) sebesar 0,17 ton/orang/hari untuk kapal-kapal pelayaran jauh. Jumlah crew kapal ditentukan sebanyak 17 orang dan lama perjalanan dalam satu kali trip kapal adalah 38.94 jam sehingga total kebutuhan air tawar menjadi :

Kebutuhan air tawar = 4.69 ton/trip

e) Complement (*Provision and Store*)

Perhitungan *provision and store* dibagi menjadi 2 bagian yaitu perhitungan berat perbekalan dan perhitungan berat bawaan *crew*.

Perbekalan = Koefisien perbekalan \times jumlah crew \times lama waktu berlayar

Koefisien perbekalan dari *Parametric Design* (Parsons, 2001) ialah 10 kg/orang/hari. Maka hasil perhitungannya adalah = 0.277 ton/trip

Crew dan bawaan = Koefisien crew dan bawaan \times Jumlah crew

Koefisien crew dan bawaan (Cc&e) adalah 0,17 ton/orang (Parsons, 2001). Dengan jumlah crew 17 orang, maka berat total crew dan bawaannya menjadi 3,57 ton.

a) Perhitungan DWT Total

Nilai DWT total dapat dihitung dengan menjumlahkan komponen penyusunnya dari poin *payload* (a), *consumable* (b), dan *complement* (c). Berdasarkan penjumlahan tersebut, nilai DWT adalah 1992.3Ton.

4) Perhitungan Titik berat DWT

Penentuan titik berat *consumable* ini sebenarnya adalah hasil perencanaan dari rencana umum kapal sehingga prosesnya sangat berkaitan kemudian setelah dianggap desain rencana umum hampir selesai didapat hasil titik berat dari *consumable* sebagai berikut :

- Titik berat Air Tawar

$$KG_{FW} = 6.188 \text{ m}$$

$$LCG_{FW} = 1.367 \text{ m dari AP}$$

- Titik berat Bahan Bakar

$$KG_{FO} = 1.057 \text{ m}$$

$$LCG_{FO} = 14.597 \text{ m dari AP}$$

- Titik berat minyak lumas

$$KG_{LO} = 0.5 \text{ m}$$

$$LCG_{FO} = 13.556 \text{ m dari AP}$$

- Titik berat diesel oil

$$KG = 6.298 \text{ m}$$

$$LCG = 6.033 \text{ m dari AP}$$

- Titik berat payload

$$KG = 3.75 \text{ m}$$

$$LCG = 38.102 \text{ m dari AP}$$

- Total Titik Berat keseluruhan

$$KG = 3.72 \text{ m}$$

$$LCG = -30.138 \text{ m dari FP}$$

5) Pengecekan Berat Kapal dengan Displacement

Pengecekan berat kapal dengan *displacement* kapal ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah kapal yang sudah didesain dengan sarat tertentu ini sudah dikatakan memiliki daya apung yang cukup untuk mengakomodir dan melawan gaya berat kapal beserta muatannya. Persyaratan dari koreksi ini adalah *displacement* kapal harus lebih besar dibandingkan dengan berat kapal beserta isinya, besar koreksi yang diberikan antara 2% sampai %5.

Berat total LWT + DWT = 2933.859 ton

Displacement Kapal = 3074.36 ton

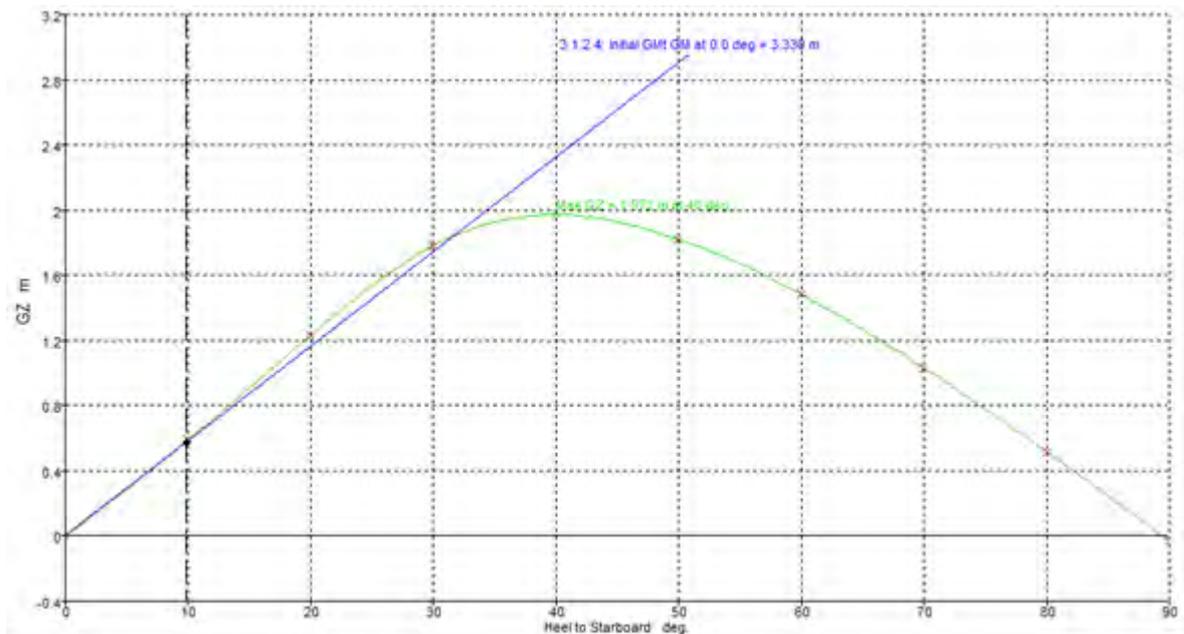
Setelah dilakukan koreksi perhitungan akhirnya didapat koreksi antara berat kapal dengan displacement kapal sebesar 4.573%.

6.4.9 Pemeriksaan Stabilitas

Detail perhitungan stabilitas dapat dilihat di lampiran. Batasan yang digunakan untuk stabilitas menggunakan standar (IS code, 2008). Berikut adalah pemeriksaan hasil hitungan yang telah dibandingkan dengan batasannya :

- Lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.055 m radian sampai dengan 30° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 1,029 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.09 m radian sampai dengan 40° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 1,787 m (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 0.757 m (memenuhi).
- Lengan statis (GZ) pada sudut oleng > 30° tidak boleh kurang dari 0.20 m, hasil optimisasi GZ = 26,909 m (memenuhi).
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng sebaiknya lebih dari 25° , hasil optimisasi GZ maks terjadi pada sudut 46° (memenuhi).
- Tinggi Metacentre (MG) pada sudut oleng 0° : tidak boleh kurang dari 0.15 m, hasil optimisasi MG = 2,72 m (memenuhi).

Dari hasil pemeriksaan diatas maka telah dibuktikan bahwa ukuran utama yang dihasilkan dari proses iterasi solver telah memenuhi semua kriteria stabilitas. Dan dilampirkan juga kurva GZ-Heel Angle pada gambar 6-8 berikut:



Gambar 7: Kurva Stabilitas

6.4.10 Pemeriksaan Ruang Muat

Perhitungan volume ruang muat diawali dengan menghitung volume ruangan dibawah deck yang tersedia dengan menggunakan rumus :

$$V_h = C_{bdeck} \times L \times B \times D'$$

Dimana :

- L = $L_{pp} = 67.779$ m
- B = $B_m = 12.000$ m
- D' = Perhitungan akibat penambahan sheer pada kapal = 6.66 m
- C_{bdeck} = Koreksi C_{bdeck} dengan variable C_b kapal dan Tinggi = 0,840

Didapat perhitungan besar volume ruang dibawah main deck adalah 4552.221 m³

Karena kapal ini mengangkut muatan cair maka diusahakan muatan yang diisikan semaksimal mungkin untuk mengurangi efek dari luas permukaan bebas muatan jika tidak diisi penuh. Maka ditambahkan volume muatan yang berada di daerah sekitar palkah dengan cara menghitung volume daerah palkah, dengan dimensi palkah sebagai berikut :

Panjang = 8.3 m
Lebar = 6.4 m
Tinggi = 0,8 m
Jumlah = 3 palkah

Maka didapatkan volume muatan yang berada di sekitar palkah sebesar $V_{hc} = 127.543 \text{ m}^3$.

Selanjutnya adalah melakukan pengurangan volume ruangan di bawah deck dengan volume kamar mesin, volume ceruk haluan, dan volume ceruk buritan, berikut hasil perhitungan volume-volume ruangan tersebut :

- Volume kamar mesin = 842.4 m^3
- Volume ceruk buritan = 476.28 m^3
- Volume ceruk haluan = 462.384 m^3

Berikut hasil perhitungan volume ruang muat dibawah deck :

$$= V_h + V_{hc} - V_{km} - V_{ch} - V_{cb}$$
$$= 1703 \text{ m}^3.$$

Hasil perhitungan volume ruang tersebut termasuk koreksi pengurangan volume dengan volume double botton, double skin, dan volume untuk slop tank :

- Volume double bottom = 395.358 m^3
- Volume double skin = 456.429 m^3
- Volume slop tank = 102.24 m^3

Dari hasil perhitungan tersebut dihasilkan margin untuk koreksi ruang muat yaitu tercapai sekitar 3.81%

6.4.11 Pemeriksaan *Freeboard*

Pada perhitungan *freeboard* ini ada dua hal yang dilakukan perhitungan koreksi, yaitu : tinggi *freeboard minimum* dan *minimum bow height*. Untuk yang pertama adalah melakukan pengecekan tinggi *minimum freeboard* kapal alurnya sebagai berikut :

1) *Freeboard standart*

Yaitu freboard yang tertera pada tabel freeboard standar yang sudah diberikan oleh IMO sesuai dengan tipe kapal untuk kapal dengan panjang 67.78 m freeboard minimumnya adalah $Fb = 786 \text{ mm}$

2) Koreksi untuk kapal dengan bangunan atas (Fb_4)

Untuk kapal ini bangunan atas terdiri dari bangunan atas *poop deck dengan forecastle deck* dengan panjang *poop* adalah 14.06 m dan panjang *forecastle* 7.03 m. Kemudian panjang total dari bangunan atas itu sebesar 21.09 m, lalu dilihat perbandingan antara panjang total bangunan atas dengan panjang total kapal dan didapat angka 0,3. Dari table didapatkan informasi bahwa untuk perbandingan panjang bangunan atas 0,3 koreksi penambahan freeboardnya adalah 21% dari panjang kapal dan didapatkan hasil 165 mm.

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

$$\begin{aligned} Fb_2 &= fb \times (0.68 + C_b) / 1.36 \\ &= 863 \text{ mm} \end{aligned}$$

4) Koreksi tinggi (Fb_3)

$$\begin{aligned} Fb_3 &= R(D - L/15) \quad [\text{mm}] \\ R &= L/0.48 \\ &= 141.21 \text{ m} \quad (\text{untuk } L < 120\text{m}) \\ Fb_3 &= 279.79 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

Jika $D < L/15$ tidak ada koreksi

Lambung timbul minimum

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

- *Freeboard standart* = 786 mm
- Koreksi koefisien blok = 1169.54mm

- Koreksi bangunan atas = 165 mm
- Koreksi tinggi kapal = 279.79 mm
- Lambung timbul (*Freeboard*) minimum = 2987 mm

Dari perhitungan batasan yang telah dibuat didapat nilai lambung timbul minimum adalah 2987 mm. Lambung timbul hasil iterasi yang didapatkan dari H – T didapat nilai 2100 mm. Jadi lambung timbul barge telah memenuhi standar.

6.5 Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum *Self-Propelled Oil 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.

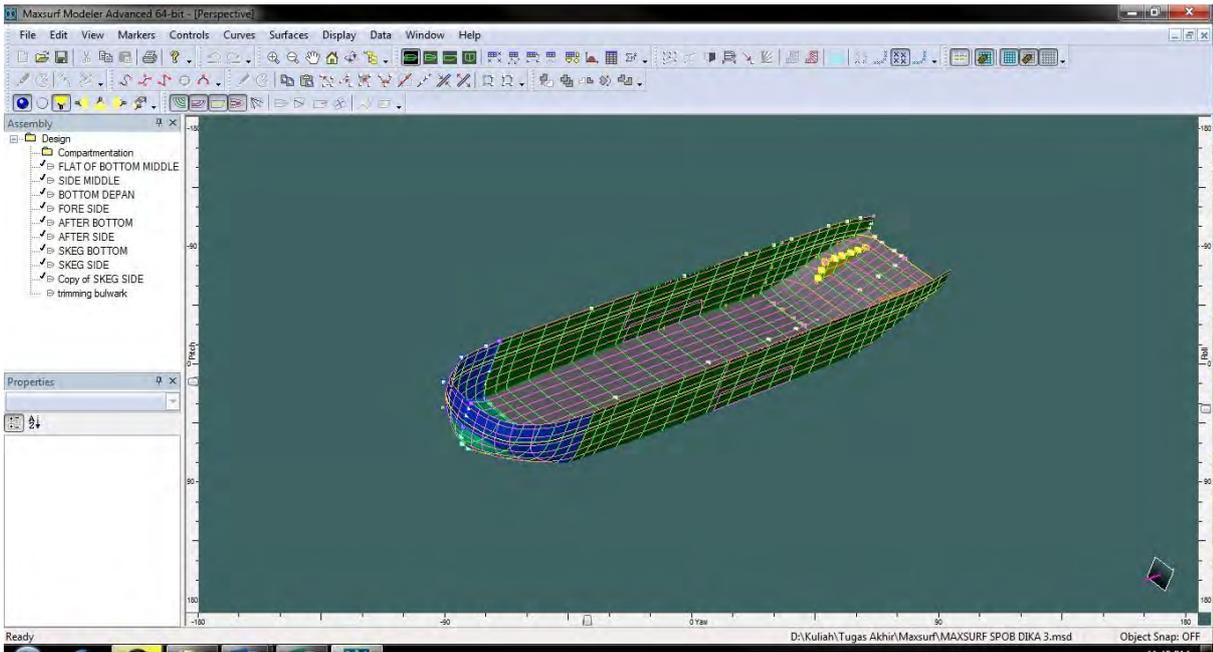
Dalam proses desain barge ini, pembuatan rencana garis di maxsurf dilakukan dengan membuat surface baru. Surface tersebut diatur sedemikian rupa agar didapatkan bentuk kapal yang sesuai. Panjang, lebar, tinggi dan sarat disesuaikan dengan ukuran utama yang telah didapatkan dari proses optimasi solver.

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.

6.5.1 Rencana Garis *Self Propelled Oil Barge*

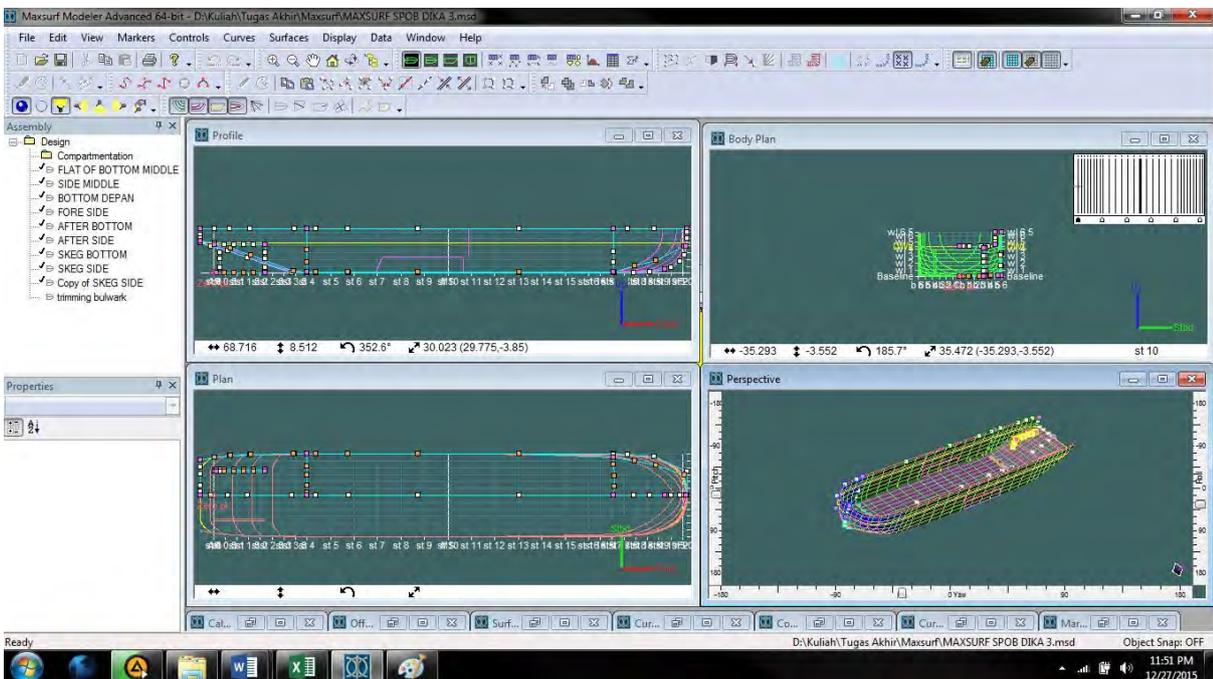
Pembuatan model *Self-Propelled Oil Barge* di Maxsurf cenderung lebih mudah, karena bentuk tongkang yang sederhana. Permasalahan yang agak rumit hanya ketika membuat bentuk haluan karena dituntut untuk membuat rencana garis yang bentuknya smooth demi mendapat hambatan kapal yang terkecil. Dalam maxsurf telah disediakan beberapa model *surface* yang dapat di insert.

Selanjutnya adalah pembentukan bagian 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.



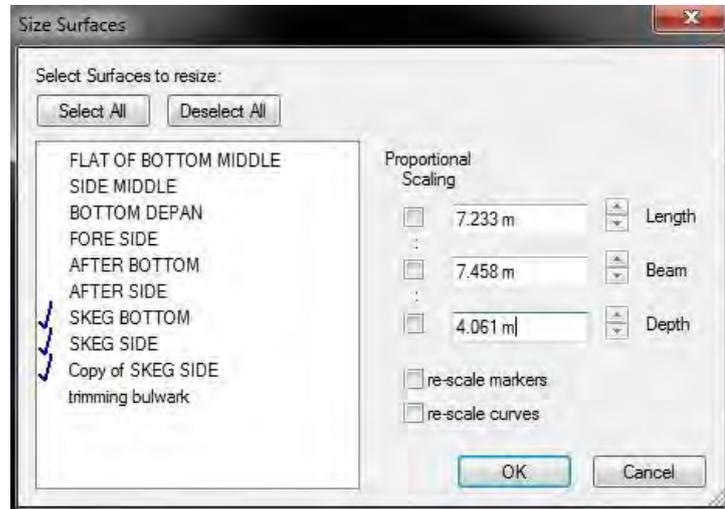
Gambar 8: Tampilan perspektif maxsurf

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.



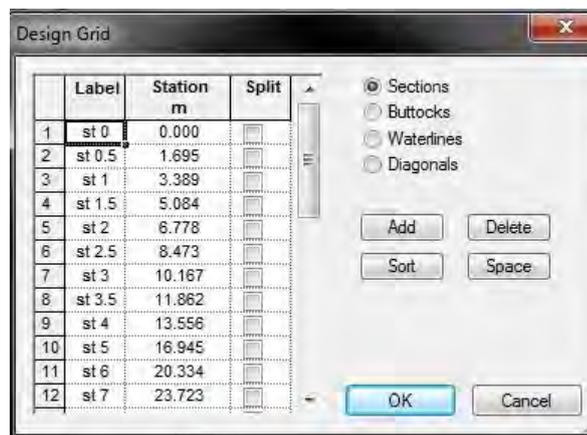
Gambar 9: Tampilan 4 sudut pandang Maxsurf

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 10: Tampilan Input Size Surface

Untuk panjang diisi dengan *Loa*, agar keterangan *Lpp* bisa didapat sesuai ketika di set pada waktu *frame of references*. lebar dan tinggi disamakan dengan hasil perhitungan. Sedangkan untuk mengatur jumlah dan letak dari station, *Buttock line* dan *Water line*, dengan mengakses menu *data > grid spacing* dan akan muncul kotak dialog sebagai berikut.



Gambar 11: Tampilan setting design grid

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. Setelah sarat kapal ditentukan selanjutnya dilakukan pengecekan nilai hidrostatis dari model yang dibuat, yaitu dengan mengakses menu *data > calculate hydrostatic*.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	3174	t
2	Volume (displaced)	3096.236	m ³
3	Draft Amidships	4.399	m
4	Immersed depth	4.399	m
5	WL Length	70.226	m
6	Beam max extents o	12.000	m
7	Wetted Area	1423.476	m ²
8	Max sect. area	52.395	m ²
9	Waterpl. Area	811.081	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.841	
11	Block coeff. (Cb)	0.835	
12	Max Sect. area coeff	0.992	
13	Waterpl. area coeff.	0.962	
14	LCB length	34.822	from z
15	LCF length	32.696	from z
16	LCB %	49.585	from z
17	LCF %	46.558	from z
18	KB	2.335	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMT	2.996	m
21	BML	101.092	m
22	GMt corrected	5.332	m
23	GML	103.427	m
24	KMt	5.332	m
25	KML	103.427	m
26	Immersion (TPc)	8.314	tonne/c
27	MTc	48.427	tonne
28	Rll at 1deg = GMT.Dl	295.325	tonne

Density (water)

Std. densities

VCG

Select Rows ...

D:\Kuliah\Tugas Akhir\Maxsurf\MAXS

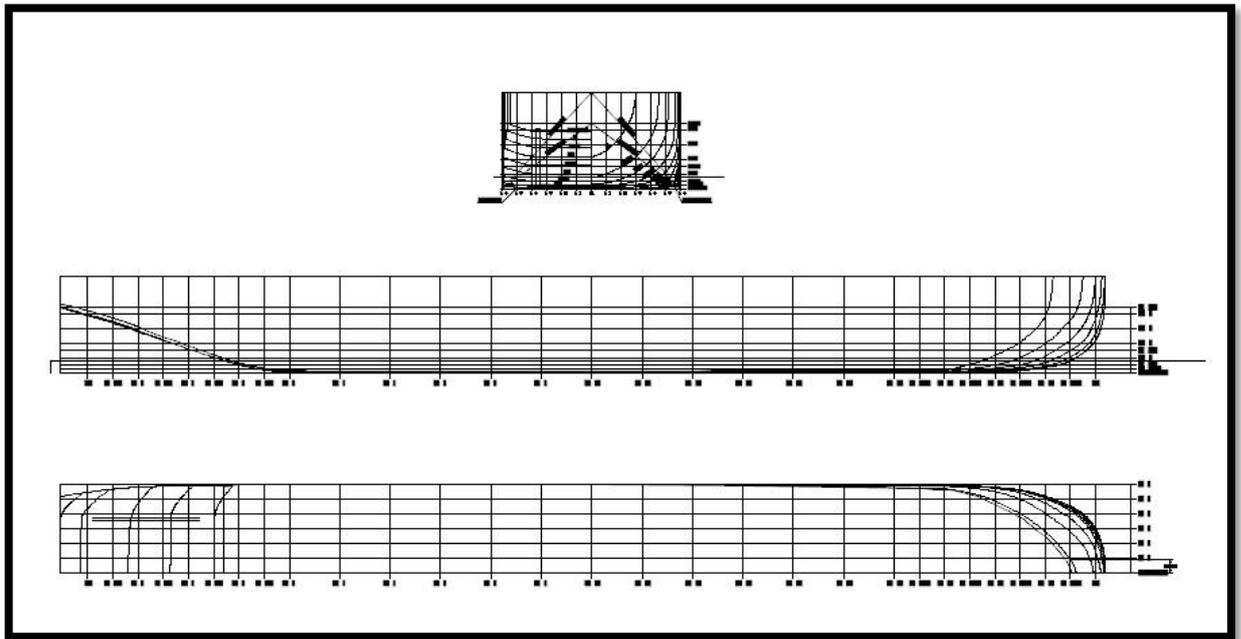
Gambar 12: Tampilan perhitungan hidrostatik

Dari sini akan tampak data-data hidrostatik dari model. Jika data belum sesuai dengan perhitungan maka perlu dilakukan perubahan terhadap model.

Dari data di atas dapat diketahui bahwa ukuran model telah sesuai dengan perhitungan. Dari perhitungan displacement adalah 3074.36 ton, sedangkan displacement dari model maxsurf adalah 3174 ton. Selisih antara keduanya adalah (0.95%), ini masih dalam rentang batasan maksimum 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 *Self-Propelled Oil Barge* yang dirancang.



Gambar 13: Rencana Garis Self-Propelled Oil Barge

6.5.2 Rencana Umum Self-Propelled Oil Barge

Selanjutnya dilakukan pengerjaan pembuatan desain rencana umum dari *Self-Propelled Barge* tersebut. Rencana umum dari sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai perancangan di dalam penentuan atau penandaan dari semua ruangan yang dibutuhkan, ruangan yang dimaksud seperti ruang muat dan ruang kamar mesin dan akomodasi, dalam hal ini disebut superstructure (bangunan atas). Disamping itu juga direncanakan penempatan peralatan-peralatan dan letak jalan-jalan dan beberapa sistem dan perlengkapan lainnya.

Pengerjaan Rencana Umum *Self-Propelled Oil Barge* dilanjutkan menggunakan perangkat lunak *AutoCAD*, dengan mengambil *template* garis *offset* dari gambar *linesplan*. Yang harus digambarkan dalam pengerjaan Rencana Umum adalah :

- ✓ Pandangan samping kapal
- ✓ Pandangan atas kapal (termasuk layout kapal setinggi *deck*, *double bottom*, *tween deck*, *forecastle deck* dan tiap *layer* bangunan atas)
- ✓ Pandangan depan kapal

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

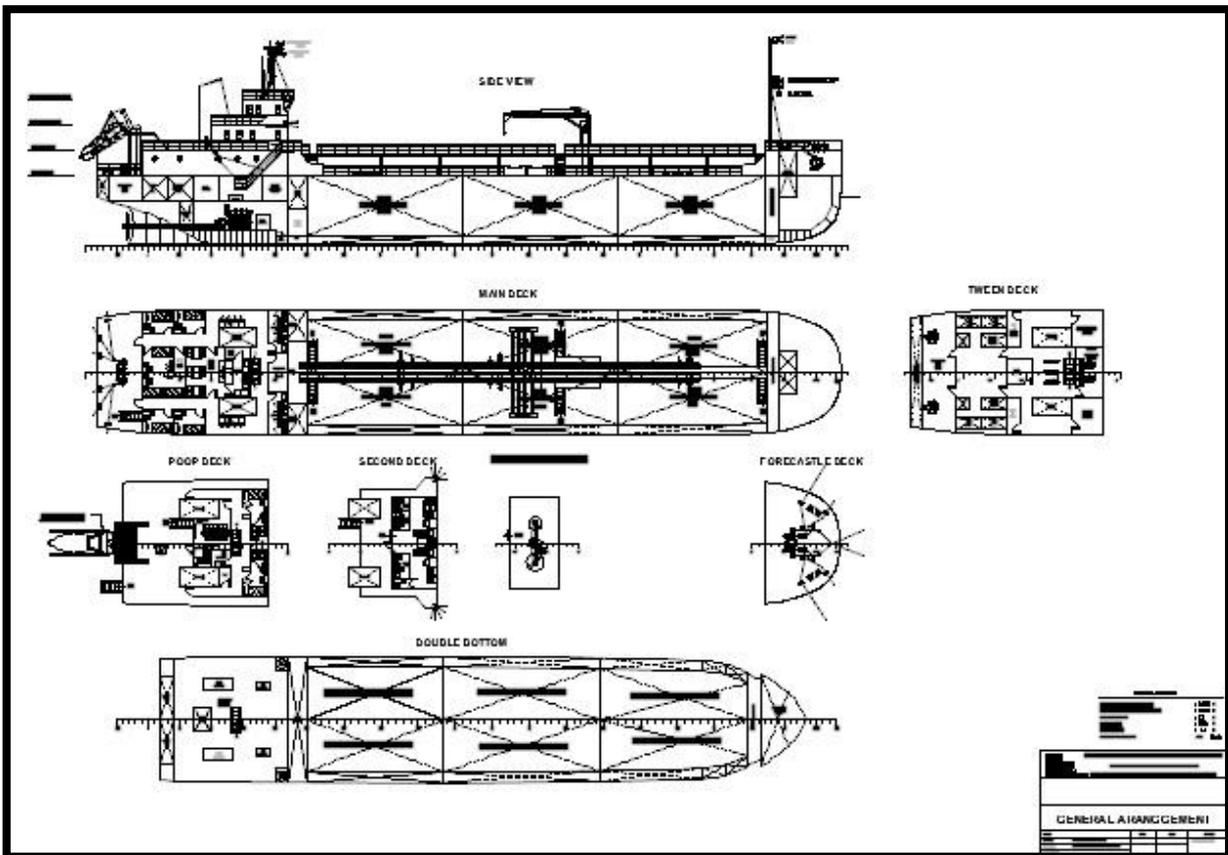
diwajibkan kostrukasinya memiliki double bottom minimal 760 mm. Dimana payload dari barge yang telah didesain lebih dari 600 DWT (1957 DWT) dan *crude oil* merupakan salah satu muatan yang dikategorikan berbahaya maka diwajibkan memiliki *double hull*.

$$\begin{aligned} \text{Double Bottom} & : h_{DB} = B/15 \\ & = 0.800 \text{ (diambil 0.820)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Double Hull} & : w = 0.5 + (DWT)/20000 \\ & = 0.607 \text{ m} \\ & = 1.00 \text{ m (diambil yang terkecil)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Susunan ABK} & : Z_c = C_{st} \cdot C_{dk} \cdot \left(L \cdot B \cdot H \cdot \frac{35}{105} \right) \cdot \frac{1}{6} \cdot C_{eng} \cdot \left(\frac{BHP}{105} \right) \cdot \frac{1}{3} + \text{cadet} \\ & = 17 \text{ orang} \end{aligned}$$

Dimana untuk peraturan BKI section 11 tabel 11.1 dengan panjang kapal 67 m maka jumlah sekat melintangnya adalah sebanyak 4 buah.



Gambar 14: Rencana Umum Self-Propelled Oil Barge

6.5.3 Pemeriksaan *Trim*

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 trim haluan dan trim buritan.

Perhitungan trim dengan rumus yang diambil dari Parametric Design (Parsons, 2001):

- Titik berat kapal (KG dan LCG)

$$KG = 4.32 \text{ m}$$

$$LCG = -32.65 \text{ m} \quad \text{dari FP}$$

- Titik berat gaya tekan ke atas (KB dan LCB)

$$LCB = -32.29 \text{ m} \quad \text{dari FP}$$

$$KB/T = 0.52$$

$$KB = 2.2884 \text{ m}$$

- Jari-jari *metacenter* melintang kapal (BM_T)

$$BM_T = I_T/V$$

dimana :

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

$$= C_I * B^3 * L$$

$$= 7803.4 \text{ m}^4$$

Jadi jari-jari *metacenter* melintang kapal adalah :

$$BM_T = 2.6017 \text{ m}$$

- Jari-jari *metacenter* memanjang kapal (BM_L)

$$BM_L = I_L/V$$

dimana :

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

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

$$C_{IL} = 0.0617$$

$$I_L = 230622 \text{ m}^4$$

Jadi jari-jari *metacenter* memanjang kapal adalah :

$$BM_L = 76.89 \text{ m}$$

- Selisih LCG dan LCB

$$LCB - LCG = 0.051 \text{ m}$$

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

$$= 0.00472 \text{ m}$$

- Kondisi : Trim Buritan

$$\begin{aligned} \text{Kriteria} &= 0.1\% \cdot L_{pp} \\ &= 0.1\% \cdot 67.78 \\ &= 0.0677 \end{aligned}$$

Status : Diterima

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa tongkang mengalami trim buritan dan ini tidak melebihi 0.1% Lpp.



“How can you move forward, If you keep regretting the past.”
– Edward Elric the Alchemist

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Pendahuluan

Bab ini menerangkan beberapa hal meliputi hasil kesimpulan dan seluruh proses perancangan *Self-Propelled Oil Barge* yang telah dilakukan dan dibahas pada bab sebelumnya serta berisikan saran akan penelitian Tugas Akhir selanjutnya.

7.2 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari Tugas Akhir ini terdapat 3 poin yang dihasilkan

I. Data produksi *crude oil* pada masing-masing sumber sumur yaitu :

- Sorong = 140.7 ton per hari
- Salawati = 233.205 ton per hari
- PC. Int. Bermuda = 832.211 ton per hari

II. Rute pelayaran dan besar *payload* yang akan diangkut kapal

Dari hasil perhitungan model optimasi perencanaan jaringan didapatkan rute yang dilayani adalah dari Kasim Marine Terminal di UP VII Pertamina Kasim, kemudian menuju Pelabuhan Sorong di kota Sorong, dilanjutkan ke Pelabuhan Canal di Salawati, berlanjut ke sumur *offshore* di PC. Int. Bermuda, dan kembali ke Kasim Marine Terminal, dengan besar *payload* 1957 ton.

III. Ukuran utama kapal yang akan didesain

Dari hasil proses perhitungan optimasi ukuran utama untuk kapal yang memenuhi batasan-batasan dan parameter yang diberikan, maka didapatkan ukuran utama *Self-Propelled Oil Barge* yaitu :

Ukuran utama *Self-Propelled Oil Barge*

- L (panjang) = 70.31 m
- B (lebar) = 12.00 m
- H (tinggi) = 6.50 m
- T (sarat) = 4.40 m
- Mesin = 2 x 368 kW YANMAR 6RY17W

Total perkiraan cost yang digunakan untuk membangun *Self-Propelled Oil Barge* sebesar Rp. 65,353,496,423 yang terdiri dari harga struktur, permesinan, dan *outfitting*.

7.3 Saran

Pada pengerjaan tugas akhir ini terdapat beberapa kelemahan pengumpulan data yang disebabkan data yang terkumpul masih cukup kurang dan dirasa kurang *up to date* sehingga hal ini bisa berimbas pada hasil akhir penelitian. Selain menggunakan metode optimasi *Salesman Travelling Problem* (TSP), masih banyak metode optimasi lain yang dapat diaplikasikan, juga

masih banyak sumber minyak yang tersebar luas di tanah Papua maupun negara kita, namun kerahasiaan data perusahaan mempersulit untuk mendapatkan data produksi *crude oil* yang *valid*.

Sehingga untuk mendapatkan hasil perhitungan dan analisa yang lebih valid sebaiknya data yang dikumpulkan juga lebih banyak dan sumbernya bisa dipertanggungjawabkan. Selain itu perlu dilakukan pula tinjauan daerah yang lebih mendetail mengenai kondisi lingkungan sekitar dan fasilitas pelabuhan yang ada.

A.1 Perhitungan Jenis Muatan

1 barrel	=	0.159 m ³
(jenis 42 US gallon)	=	158987.238 cm ³
	=	158.987 liter

Kandungan jenis minyak bumi Papua : Kandungan Berat

	=	0.865-0.905
--	---	-------------

Massa jenis diambil	=	0.88
1 barrel <i>crude oil</i>	=	158.987 x 0.88
	=	139.909 kg
	=	0.140 ton

Perencanaan Optimasi menggunakan metode Travelling Salesman Problem

Rute Optimum				
	Sorong	Salawati	PC. INT. Bermuda	UP VII Pertamina
Sorong	0	1	0	0
Salawati	0	0	1	0
PC. INT. Bermuda	0	0	0	1
UP VII Pertamina	1	0	0	0

1 = 1
 1 = 1
 1 = 1
 1 = 1

Jarak (nm)				
	Sorong	Salawati	PC. INT. Bermuda	UP VII Pertamina
Sorong	0	31	52	28
Salawati	31	0	20	3
PC. INT. Bermuda	52	20	0	23
UP VII Pertamina	28	3	23	0
	Jarak tempuh total			= 102

50.25483167

Waktu Berlayar (Jam)				
	Sorong	Salawati	PC. INT. Bermuda	UP VII Pertamina
Sorong	0.00	3.42	0.00	0.00
Salawati	0.00	0.00	2.22	0.00
PC. INT. Bermuda	0.00	0.00	0.00	2.52
UP VII Pertamina	3.13	0.00	0.00	0.00

	Waktu Pelabuhan (Jam)	Pump rate (Ton/jam)
Sorong	6.2	1073 <=
Salawati	6.4	1073 <=
PC. INT. Bermuda	7.3	1073 <=
UP VII Pertamina	7.8	1073 <=

Pump Capacity (Ton/jam)
1305
1305
1305
1305

(mesin pompa yang digunakan adalah SANKO PUMP 750m³ x 2 SETS)

Variabel Cost	(Rp/km.ton)	130,000
	(Rp)	25,854,708,193
Fixed Cost	(Rp/tahun)	25,870,738,772
	(Rp/Roundtrip)	127,197,134.61
Cost Distribution	(Rp/roundtrip)	25,981,905,328
	(Rp/Ton)	13,276,986

$$\text{Fixed Cost} = 3000000 * \text{Payload} + 20000000000$$

Payload (Ton)	1957
Kecepatan (Knot)	9
Seatime (Jam)	11.292
Port Time (jam)	27.6475
waktu kapal (Jam)	38.94
Jumlah (Rountrip/Tahun)	203
Jarak Tempuh (nm)	101.6

variable cost = biaya bahan bakar + biaya bongkar muat + biaya pelabuhan

Fixed cost = Maintenance + gaji kru + depresiasi kapal
 depresiasi kapal = (harga kapal-salvage)/umur ekonomis

Total cost = fixed cost + variable cost

Sumur Minyak	Produksi (Ton/hari)	Jumlah Distribusi (Ton)
Sorong	140.7	228
Salawati	233.20542	378
PC. INT. Bermuda	832.21054	1350
Total	1206.11596	1957

Kapasitas Tanki
1750
1400
450000

<=

<=

<=

Batasan		
Sorong	0 =	0
Salawati	0 =	0
PC. INT. Bermuda	0 =	0
UP VII Pertamina	0 =	0

Perputaran Kembali	0 =	0
--------------------	-----	---

Rute Tidak Ke UP Pertamina		
Sorong-salawati	0 =	0
Sorong-Bermuda	0 =	0
Salawati-Bermuda	0 =	0

Hasil Perbandingan Tiap Rute

Rute 1 Pertamina - Sorong - Salawati - Bermuda - Pertamina
 Rute 2 Pertamina - Salawati - Sorong - Bermuda - Pertamina
 Rute 3 Pertamina - Sorong - Bermuda - Salawati - Pertamina

	Rute 1	Rute 2	Rute 3
Payload (Ton)	1957	1992	1962
Kecepatan (Knot)	9		
Seatime (Jam)	11.3	12.0	11.4
Port Time (jam)	27.6	27.6	27.6
Waktu kapal (Jam)	38.9	39.6	39.1
Jumlah (Rountrip/Tahun)	203	200	203
Jarak Tempuh (nm)	101.631	107.911	102.631
Cost Distribution (Rp/ton)	13276986	14093751.3	13407028

Min. Payload	1957	Rute 1
Min. Cost Distribution	13276986	Rute 1
Min. Route Range	101.631	Rute 1

SUMMARY

Ukuran Utama kapal

Lpp =	67.779 m	Cb =	0.814
Lwl =	69.812 m	Cp =	0.818
B =	12.000 m	Cm =	0.995
T =	4.400 m	Cwp =	0.885
H =	6.500 m	$\rho =$	1.025 kg/m ³

Rute = UP VII Pertamina Kasim - Sorong - Salawati - Petrochina Bermuda - UP VII Pertamina Kasim
 Radius = 102 nautical mills

Hambatan = 47.567 kN

Machinery

Daya Mesin =	736 kW
Tipe Mesin =	YANMAR 6RY17W
Panjang =	2723 mm
Lebar =	1147 mm
Tinggi =	1759 mm

Perbandingan Ukuran Utama

$L_o/B_o =$	5.818	→	$3.5 < L/B < 10$	yes
$B_o/T_o =$	2.727	→	$1.8 < B/T < 5$	yes
$L_o/T_o =$	15.866	→	$10 < L/T < 30$	yes
$L/16 =$	4.2361632			

LWT

Weight (ton)

Steel Weight =	679.899
Outfit =	210.712
Machinery =	50.947

Total LWT = 941.559

DWT

Weight (ton)

Payload =	1957
Fuel Oil =	6.198
Lube Oil =	20.000
Fresh Water =	4.696
crew and effect =	2.890
Provision =	0.276
Diesel Oil =	1.240

Total DWT = 1992

Koreksi Displasment

Berat Total Kapal =	2933.772 ton
Dispacement =	3074.360 ton

Correction = 4.573 % **NO**

Volume Ruang Muat

Volume ruang muat = 4388.8973 m3
Berat muatan = 1957 ton
Volume muatan = 4335 m3

Jenis Muatan

Crude Oil

Selisih Volume r.muat & Volume muatan= 53.90 m3
Selisih dalam % = 1.23%
Kondisi = **YES** || (Batasan kondisi=5%)

Stabilitas

• Kriteria IMO Regulation (IS Code tahun 2008)

$e_{0,30}^0 \geq 0.055$
 $e_{0,40}^0 \geq 0.09$
 $e_{30,40}^0 \geq 0.03$
 $h_{30}^0 \geq 0.2$
 $\phi_{max} \geq 25^\circ$
 $GM^0 \geq 0.15$

Hasil Perhitungan

$e_{0,30}^0 = 1.0295129$ m . rad **Accepted**
 $e_{0,40}^0 = 1.7871184$ m . rad **Accepted**
 $e_{30,40}^0 = 0.7576055$ m . rad **Accepted**
 $h_{30}^0 = 26.909145$ m **Accepted**
 $\phi_{max} = 46$ **Accepted**
 $GM^0 = 2.7276026$ m **Accepted**

Status

Status **OK**

Freeboard

• Batasan Freeboard

Fb' = 1.64 m

• Actual Freeboard (H-T)

Fba = 2.568 m

Status (Fba - Fb') = **Accepted** (karena Fba > Fb' maka Accepted)

• Minimum Bow Height

Fba + Sf + h_{FC} = 4.97 m

Bwm = 3.83 m

Status Minimum Bow Height = **Accepted** (jika nilai dari Fba + Sf + h_{FC} > Bwm, maka Accepted)

SUMMARY

Ukuran Utama kapal

Lpp =	67.779 m	Cb =	0.814
Lwl =	69.812 m	Cp =	0.818
B =	12.000 m	Cm =	0.995
T =	4.400 m	Cwp =	0.885
H =	6.500 m	$\rho =$	1.025 kg/m ³

Rute = UP VII Pertamina Kasim - Sorong - Salawati - Petrochina Bermuda - UP VII Pertamina Kasim
 Radius = 102 nautical mills

Hambatan = 47.567 kN

Machinery

Daya Mesin =	736 kW
Tipe Mesin =	YANMAR 6RY17W
Panjang =	2723 mm
Lebar =	1147 mm
Tinggi =	1759 mm

Perbandingan Ukuran Utama

$L_o/B_o =$	5.818	→	$3.5 < L/B < 10$	yes
$B_o/T_o =$	2.727	→	$1.8 < B/T < 5$	yes
$L_o/T_o =$	15.866	→	$10 < L/T < 30$	yes
$L/16 =$	4.2361632			

LWT

Weight (ton)

Steel Weight =	679.899
Outfit =	210.712
Machinery =	50.947

Total LWT = 941.559

DWT

Weight (ton)

Payload =	1957
Fuel Oil =	6.198
Lube Oil =	20.000
Fresh Water =	4.696
crew and effect =	2.890
Provision =	0.276
Diesel Oil =	1.240

Total DWT = 1992

Koreksi Displasment

Berat Total Kapal =	2933.772 ton
Dispacement =	3074.360 ton

Correction = 4.573 % **NO**

Volume Ruang Muat

Volume ruang muat = 4388.8973 m3
Berat muatan = 1957 ton
Volume muatan = 4335 m3

Jenis Muatan

Crude Oil

Selisih Volume r.muat & Volume muatan= 53.90 m3
Selisih dalam % = 1.23%
Kondisi = **YES** || (Batasan kondisi=5%)

Stabilitas

• Kriteria IMO Regulation (IS Code tahun 2008)

$e_{0,30}^0 \geq 0.055$
 $e_{0,40}^0 \geq 0.09$
 $e_{30,40}^0 \geq 0.03$
 $h_{30}^0 \geq 0.2$
 $\phi_{max} \geq 25^\circ$
 $GM^0 \geq 0.15$

Hasil Perhitungan

$e_{0,30}^0 = 1.0295129$ m . rad
 $e_{0,40}^0 = 1.7871184$ m . rad
 $e_{30,40}^0 = 0.7576055$ m . rad
 $h_{30}^0 = 26.909145$ m
 $\phi_{max} = 46$
 $GM^0 = 2.7276026$ m

Status

Accepted
Accepted
Accepted
Accepted
Accepted
Accepted

Status **OK**

Freeboard

• Batasan Freeboard

Fb' = 1.64 m

• Actual Freeboard (H-T)

Fba = 2.568 m

Status (Fba - Fb') = **Accepted** (karena Fba > Fb' maka Accepted)

• Minimum Bow Height

Fba + Sf + h_{FC} = 4.97 m

Bwm = 3.83 m

Status Minimum Bow Height = **Accepted** (jika nilai dari Fba + Sf + h_{FC} > Bwm, maka Accepted)

PROSES OPTIMASI PERENCANAAN SELF-PROPELLED BARGE

Decision Variabel							
	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Ukuran Utama	Panjang	m	LPP	67.50	67.78	82.00	ACCEPTED
	Lebar	m	B	12.00	12.00	18.00	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	5.50	6.50	6.50	ACCEPTED
	Sarat	m	T	4.40	4.40	5.40	ACCEPTED

Constraints							
Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$F_n = V / (g * L_{pp})^{0.5}$				0.18	0.30	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0^0	m	MG_0	0.15	0.64		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^0$	m	LS_{30}	0.2	2.48		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada L_s maksimum	deg	LS_{maks}	25	39.87		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30^0	m.rad	Ld_{30}	0.055	0.102		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40^0	m.rad	Ld_{40}	0.09	0.151		ACCEPTED
	Luas Kurva GZ antara $30^0 - 40^0$	m.rad		0.03	0.05		ACCEPTED
Freeboard	F_s	m	F	1.17	2.10		ACCEPTED
Displacement	Koreksi displacement	%		2.00%	4.57%	5.00%	ACCEPTED
Rasio			L/B	3.50	5.65	10.00	ACCEPTED
			B/T	1.80	2.73	5.00	ACCEPTED
			L/T	10.00	15.40	30.00	ACCEPTED
Hold Capacity	Koreksi volume ruang muat	%		0%	0.82%	5%	ACCEPTED

Objective Function				
	Item	Unit	Symbol	Value
	Hull Cost	Rp		22,740,450,775
	E & O Cost	Rp		33,710,811,827
	Machinery Cost	Rp		8,902,233,821
	Total Cost	Rp		65,353,496,423

Parameter				
	Item	Unit	Symbol	Value
	Massa Jenis Air Laut	ton/m ³	ρ air laut	1.025
	Gaya Gravitasi	m/s ²	g	9.81
	Kecepatan Relatif Angin	Knot	V_a	8
	Kedalaman Perairan (maksimal)	m		20
	Massa Jenis Baja	kg/m ³	ρ baja	7,850
	Kecepatan Dinas	Knot	V_s	9.0
	Payload	ton		1,957

Kalkulasi				
	Item	Unit	Symbol	Value
Kapasitas	Displacement	Ton	Δ	3074.360
	Deadweight	Ton	DWT	1992.21
	Lightweight	Ton	LWT	941.56
	Total Berat	Ton	DWT+LWT	2933.77
	Selisih displacement-berat	%		0.05
LWT	Hull	Ton	W_{st}	679.899
	Hull Equipment & Outfitting	Ton	W_{eo}	210.712
	Machinery	Ton	W_{res}	50.9
Koefisien	Koefisien Prismatic		C_p	0.818
	Koefisien Midship		C_m	0.995
	Koefisien garis air		C_w	0.885
	Koefisien blok		C_b	0.814
Titik Berat	Tinggi Titik Berat	m	KG	4.319
	Jarak titik berat dari AP	m	LCG	34.931
Titik Apung	Tinggi Titik Apung	m	KB	2.29
	Jarak titik apung dari AP	m	LCB	32.29

OUTPUT UKURAN UTAMA BARGE

item	value	unit
Lwl	69.81	m
Loa	70.31	m
Lpp	67.78	m
B	12.00	m
H	6.50	m
T	4.40	m
v	9	knots
v	4.6296	m/s
fn	0.177	
cb	0.814	
cm	0.996	
cp	0.828	
cwp	0.891	
lcb/L	0.03	% from midship
lcb	1.601	m from midship
lcb	2.36	% from midship
volum displ	2999.375	m ³
berat displ	3074.360	ton
ρ	1.025	ton/m ³
g	9.81	m/s ²

96%*Lwl 67.01949
 97%*Lwl 67.71761
 midship 45.987 dari AP

Hasil perhitungan Hidrostatik Maxsurf

Item	Value	Unit	Differences(%)
Lwl	69.81	m	0.00
Loa	70.31	m	0.00
Lpp	67.78	m	0.00
B	12	m	0.00
H	6.5	m	0.00
T	4.4	m	0.00
v	N/A	knots	-
v	N/A	m/s	-
fn	N/A		-
cb	0.833		2.37
cm	0.993		-0.30
cp	0.841		1.57
cwp	N/A		-
lcb/L	N/A	% from midship	-
lcb	0.874	m from midship	45.44
lcb	34.763	m from AP	-
volum displ	3088	m ³	2.95
berat displ	3165	ton	2.95
ρ	N/A	ton/m ³	-
g	N/A	m/s ²	-

C. KOREKSI UKURAN UTAMA DAN PERHITUNGAN KOEFISIEN

C.1 Ukuran Utama

$$\begin{aligned}
 L_{pp} &= 67.78 \text{ m} & L_{wl} &= 103\% \cdot L_{pp} \\
 B &= 12.00 \text{ m} & &= 69.81 \text{ m} \\
 H &= 6.50 \text{ m} & \rho &= 1.025 \\
 T &= 4.40 \text{ m} & & \\
 V_s &= 9 \text{ knot} \\
 &= 4.630 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

C.2 Perhitungan Froude Number (Principles of Naval Architecture Vol. II hal. 154)

$$\begin{aligned}
 F_n &= \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}} = \frac{9}{\sqrt{9.81 \cdot 80.73}} & g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 0.177
 \end{aligned}$$

C.3 Perbandingan Ukuran Utama

$$\begin{aligned}
 L/B &= 5.648 \rightarrow 3.5 < L/B < 10 & (\text{Principles of Naval Architecture Vol I hal 19}) \\
 B/T &= 2.727 \rightarrow 1.8 < B/T < 5 & (\text{Principles of Naval Architecture Vol I hal 19}) \\
 L/T &= 15.404 \rightarrow 10 < L/T < 30 & (\text{Principles of Naval Architecture Vol I hal 19})
 \end{aligned}$$

C.4 Block Coeffisien (Watson & Gilfillan) (Parametric Design hal 11- 11)

$$\begin{aligned}
 C_b &= -4.22 + 27.8 \sqrt{F_n} - 39.1 F_n + 46.6 F_n^3 \rightarrow 0.15 \leq F_n \leq 0.32 \\
 &= -4.22 + 27.8 \sqrt{0.167} - 39.1 \times 0.167 + 46.6 \times 0.167^3 \\
 &= 0.814
 \end{aligned}$$

C.5 Midship Section Coeffisien (Series 60') (Parametric Design hal 11 - 12)

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0.977 + 0.085 (C_b - 0.6) \\
 &= 0.977 + 0.085 (0.828 - 0.6) \\
 &= 0.995
 \end{aligned}$$

C.6 Waterplan Coeffisien (Parametric Design hal 11 - 16)

$$\begin{aligned}
 C_{wp} &= C_b / (0.471 + 0.551 C_b)^* & *Equation for tankers and bulk carriers (17) \\
 &= 0.885
 \end{aligned}$$

C.7 Prismatic Coeffisien (Ship design for Efficiency and Economy hal 18)

$$\begin{aligned}
 C_p &= C_b / C_m \\
 &= 0.818
 \end{aligned}$$

C.8 Longitudinal Center of Bouyancy (LCB) (Parametric Design hal 11 - 19)

$$\begin{aligned}
 LCB &= -13,5 + 19,4 C_p & LCB \text{ dari M} &= \frac{LCB (\%)}{100} \cdot L_{PP} \\
 &= 2.363 \% m & &= 1.601 \text{ m dari M} \\
 LCB \text{ dari AP} &= 0.5 \cdot L_{pp} - LCB_M \\
 &= 32.288 \text{ m dari AP} & &= -32.288
 \end{aligned}$$

C.9 Volume Displacement

$$\begin{aligned}
 V &= L \cdot B \cdot T \cdot C_b \\
 &= 2999.375 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

C.10 Displacement

$$\begin{aligned}
 \Delta &= L \cdot B \cdot T \cdot C_b \cdot \gamma \\
 &= 3074.360 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

C. KOREKSI UKURAN UTAMA DAN PERHITUNGAN KOEFISIEN

C.1 Ukuran Utama

Lpp	=	67.78 m	Lwl	=	103% . Lpp
B	=	12.00 m		=	69.81 m
H	=	6.50 m	ρ	=	1.025
T	=	4.40 m			
Vs	=	9 knot			
		4.630 m/s			

C.2 Perhitungan Froude Number (Principles of Naval Architecture Vol. II hal. 154)

Fn	=	$\frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}}$	=	$\frac{9}{\sqrt{9.81 \cdot 80.73}}$	
	=	0.177			$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

C.3 Perbandingan Ukuran Utama

L/B	=	5.648	→	3.5 < L/B < 10	(Principles of Naval Architecture Vol I hal 19)
B/T	=	2.727	→	1.8 < B/T < 5	(Principles of Naval Architecture Vol I hal 19)
L/T	=	15.404	→	10 < L/T < 30	(Principles of Naval Architecture Vol I hal 19)

C.4 Block Coeffisien (Watson & Gilfillan) (Parametric Design hal 11- 11)

Cb	=	- 4.22 + 27.8 √Fn - 39.1 Fn + 46.6 Fn ³	→	0.15 ≤ Fn ≤ 0.32
	=	- 4.22 + 27.8 √0.167 - 39.1 x 0.167 + 46.6 x 0.167 ³		
	=	0.814		

C.5 Midship Section Coeffisien (Series 60') (Parametric Design hal 11 - 12)

Cm	=	0.977 + 0.085 (Cb - 0.6)
	=	0.977 + 0.085 (0.828 - 0.6)
	=	0.995

C.6 Waterplan Coeffisien (Parametric Design hal 11 - 16)

Cwp	=	Cb/(0.471 + 0.551 Cb)*		<i>*Equation for tankers and bulk carriers (17)</i>
	=	0.885		

C.7 Prismatic Coeffisien (Ship design for Efficiency and Economy hal 18)

Cp	=	Cb / Cm
	=	0.818

C.8 Longitudinal Center of Bouyancy (LCB) (Parametric Design hal 11 - 19)

LCB	=	-13,5 + 19,4 CP	LCB dari M =	$\frac{LCB(\%)}{100} \cdot L_{PP}$
	=	2.363 % m		
			=	1.601 m dari M
LCB dari AP =		0.5 . Lpp - LCBM		
	=	32.288 m dari AP	=	-32.288

C.9 Volume Displacement

V	=	L*B*T*Cb
	=	2999.375 m ³

C.10 Displacement

Δ	=	L*B*T*CB*γ
	=	3074.360 ton

D. PERHITUNGAN HAMBATAN

Lpp	=	67.779 m	Cm	=	0.995
Lwl	=	69.812 m	Cp	=	0.818
B	=	12.000 m	Cwp	=	0.885
H	=	6.500 m	Fn	=	0.177
T	=	4.400 m	Cstern	=	0.000 (Normal Sectional Shape)
Cb	=	0.814	Vs	=	4.630 m/s

Perhitungan

D.1 Viscous Resistance

D.1.1 CFO (PNA vol II hal 90)

$$R_n = \frac{L_{WL} \cdot V_S}{1.18831 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 271984158.6$$

Koefisien tahanan gesek

$$C_{FO} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

$$= 0.001811$$

D.1.2 1 + k1 (PNA vol II hal 91)

$$C = 1 + (0.11 \cdot C_{STERN})$$

$$= 1$$

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

$$= 0.182$$

$$L_{WL}^3/disp = \frac{L_{WL}^3}{L_{PP} \cdot B \cdot T \cdot C_B}$$

$$= 116.841$$

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.4871 \cdot C \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{1.0681} \cdot \left(\frac{T}{L}\right)^{0.4611}$$

$$\cdot \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.1216} \cdot \left(\frac{L_{WL}^3}{V}\right)^{0.3649} \cdot (1 - C_P)^{-0.6042}$$

$$= 1.336$$

D.2 Grafik Hubungan antara Froude Number dan Koefisien Blok untuk menentukan perlu atau tidaknya pemakaian Bulbous Bow (Practical Ship Design hal 233)

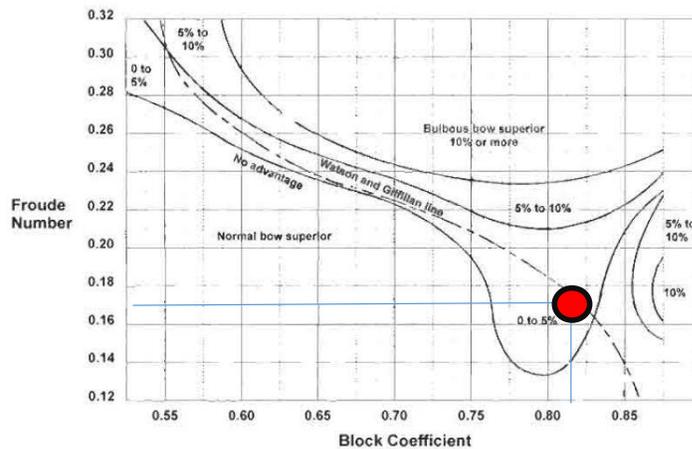


Fig. 8.1. The combination of Froude number and block coefficient at which a bulbous bow is likely to be advantageous.

$$Fn = 0.177$$

$$C_B = 0.814$$

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa tidak ada keuntungan dengan penambahan bulbous bow.

D.3 Resistance Appendages

D.3.1 Wetted Surface Area

$$\begin{aligned}
 A_{BT} &= 0 \quad (\text{Tanpa Bulbous Bow}) \\
 S &= L_{WL} \cdot (2 \cdot T + B) \cdot \sqrt{C_M} \cdot (0.453 + 0.4425 \cdot C_B \\
 &\quad - 0.2862 \cdot C_M - 0.003467 \cdot \frac{B}{T} + 0.3696 \cdot C_{WP} \\
 &\quad + 2.38 \cdot \frac{A_{BT}}{C_B} \\
 &\quad (\text{Principle of Naval Architecture Vol II hal 91}) \\
 &= 1225.379 \\
 S_{rudder} &= 2 \cdot (C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot 1.75 \cdot L_{PP} \cdot \frac{T}{100}) \\
 &= 10.438 \\
 &\quad (\text{BKI Vol II hal 14-1}) \\
 S_{skeg} &= 1/2 \cdot L_{skeg} \cdot H_{skeg} & L_{skeg} &= L_{oa} - L_{pp} &= 2.53 \\
 & & H_{skeg} &= 0.65 T &= 2.860 \\
 &= 3.623 \\
 S_{app} &= S_{rudder} + S_{bilgekeel} \\
 &= 14.061 \\
 S_{total} &= S + S_{app} \\
 &= 1239.439 \\
 1 + k_2 &= \frac{2.8 \cdot S_{rudder} + 1.4 \cdot S_{bilgekeel}}{S_{rudder} + S_{bilgekeel}} \\
 &= 2.439 \\
 \\
 \text{Harga } (1+k_2) &= 2.8 \quad (\text{rudder of twin screw ship}) \\
 &= 2 \quad (\text{for skeg}) \\
 \\
 1 + k &= (1 + k_1) + ((1 + k_2) - (1 + k_1)) \cdot \frac{S_{app}}{S_{total}} \\
 &= 1.352
 \end{aligned}$$

D.4 Wave Making Resistance

D.4.1 C_1

$$\begin{aligned}
 B/L_{WL} &= 0.172 \\
 C_4 &= 0.172 ; \text{ karena } 0.11 < B/L_{WL} \leq 0.25 \\
 T_a &= 4.400 \text{ m} \\
 T_f &= 4.400 \text{ m} \\
 iE &= 125.67 \cdot \frac{B}{L_{WL}} - 162.25 \cdot C_p^2 + 234.32 \cdot C_p^3 + 0.1551 \cdot [LCB_{AP} + (6.8 \cdot \frac{T_a - T_f}{T})^3] \\
 &= 51.110 \\
 d &= -0.9 \\
 &\quad (\text{Principle of Naval Architecture}) \\
 C_1 &= 2223105 \cdot C_4^{3.7861} \cdot (\frac{T}{B})^{1.0796} \cdot (90 - iE)^{-1.3757} \\
 &= 6.223
 \end{aligned}$$

D.4.2 m_1

$$\frac{\sqrt[3]{v}}{L_{WL}} = 0.408$$

$$C_5 = 8.0798 \cdot C_P - 13.8673 \cdot C_P^2 + 6.9844 \cdot C_P^4$$

(Untuk Cp ≤ 0.8)

$$= 1.153$$

$$m_1 = 0.01404 \cdot \frac{L_{WL}}{T} - 1.7525 \cdot \frac{\sqrt[3]{V}}{L_{WL}} - 4.7932 \cdot \left(\frac{B}{L_{WL}} \right) - C_5$$

$$= -2.469$$

$$\lambda = 1.446 \cdot C_P - 0.03 \cdot \frac{L}{B} \quad (Untuk L/B \leq 12)$$

$$= 1.008$$

D.4.3 m₂

$$C_6 = -1.69385 \quad (Untuk LWL^3/V \leq 512)$$

$$m_2 = C_6 \cdot 0.4 \cdot e^{-0.034 \cdot Fn^{-3.29}} \quad 113.4380856$$

$$= -2.65158E-05$$

D.4.4 C₂

$$A_{BT} = 0 \quad (Tanpa Bulbous Bow)$$

$$r_B = 0.56 \cdot \sqrt{A_{BT}}$$

$$= 0$$

$$h_B = 0$$

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

$$= 4.400$$

$$C_2 = 1$$

$$A_T = 0$$

D.4.5 C₃

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

$$= 1$$

D.4.6 RW/W

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

$$= 4.97501E-05$$

$$TF/LWL = 0.063 \quad (TF/LWL > 0.04)$$

D.4.7 C_A

$$= 0.006 \cdot (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205$$

$$= 0.0005885$$

D.4.8 W

$$= Displacement \cdot g$$

$$= 30159.467 \text{ N}$$

D.4.9 R_{total}

$$= 0.5 \cdot 1025 \cdot V_S^2 \cdot S_{total} \cdot (C_{FO} \cdot (1 + k) + C_A + \left(\frac{R_W}{W} \cdot W \right))$$

$$= 41362.240 \text{ N}$$

$$= 41.362 \text{ kN}$$

(PNA 2 hal 93)

Margin 15% total

$$= 47.567 \text{ kN}$$

Hambatan Maxsurf

$$= 58.4 \text{ kN}$$

Perbandingan

$$= 10.833$$

$$0.18550383$$

E. Perhitungan Propulsi dan Daya Mesin

$$\begin{aligned}
 L_{wl} &= 69.81 \text{ m} & B &= 12.00 \text{ m} \\
 t &= 4.40 \text{ m} & H &= 6.50 \text{ m} \\
 C_b &= 0.814 & V_s &= 4.63 \text{ m/s} \\
 R_T &= 47.567 \\
 D &= 2.640 \text{ ; Diameter (0.6 s.d. 0.65) } T
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_E &= R_T \cdot V / 1000 \\
 P_E &= 220.2142219 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P/D &= 1.1 && \text{ ; PNA vol .II hlm. 192 (Pitch Diameter ratio for 4 blades propeller 0.5-1.4)} \\
 C_v &= 0.00304 && \text{ ; PNA vol .II hlm. 162 (Viscous Resistance Coefficient)} \\
 w &= 0.193 && \text{ ; PNA vol .II hlm. 163 (Holtrop et al 1982 and Holtrop 1984 for twin screw vessel)} \\
 t &= 0.196 && \text{ ; PNA vol .II hlm. 163 (Holtrop et al 1982 and Holtrop 1984 for twin screw vessel)} \\
 &&& 0,75X, 0,7X, 0,65X, 0,61 OK
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_o &= 0.5 && \text{ ; Tahanan dan Propulsi Kapal hlm. 217 0,35-0,75 MAN's paper hlm. 16} \\
 \text{(awal 0.55)}
 \end{aligned}$$

$$\mu_r = 0.989 \text{ ; PNA vol .II hlm. 163 (Holtrop et al 1982 and Holtrop 1984 for twin screw vessel)}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_p &= \mu_r \cdot \mu_o \\
 &= 0.494
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ADV} &= V \cdot (1-w) && \text{ ; Basic Principles of Ship Propulsion hlm.15} \\
 &= 3.736 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$V_A / V_S = 0.8 \text{ ; V (0,55-0,8 V MAN's paper hlm. 15)}$$

$$\begin{aligned}
 n &= C \cdot (PM/D_{prop})^{5 \cdot 1/3} && \text{ ; Basic Principles of Ship Propulsion hlm. 15} \\
 &= 184.069 \text{ r/min} \\
 &= 3.068 \text{ r/s}
 \end{aligned}$$

$$C(\text{constant}) = 115 \text{ (4 blades)}$$

$$PM_{awal} = 525.857 \text{ kW (main engine power)}$$

$$\begin{aligned}
 J &= V_A / (n \cdot D_{prop}) && \text{ ; Basic Principles of Ship Propulsion hlm.18} \\
 &= 0.461
 \end{aligned}$$

$$\mu_s = 0.9775 \text{ ; 0,96-0,995 MAN's paper hlm. 17}$$

$$P_T = P_E \cdot (1-w) / (1-t) \text{ ; Chapter 11 Parametric Design Hal. 11-29}$$

$$P_T = 221.027$$

$$P_D = P_T / \mu_p \text{ ; Chapter 11 Parametric Design Hal. 11-29}$$

$$= 446.979 \text{ kW}$$

$$P_B = P_D / \mu_s$$

$$= 457.267 \text{ kW}$$

$$MCR = NCR + 15\% \text{ ; (Koreksi Hambatan Untuk Rumus Pendekatan Holtrop)}$$

$$MCR = 525.857 \text{ kW}$$

$$BHP = 705.186 \text{ hp}$$

$$MCR = 368 \text{ kW}$$

(katalog)

$$BHP = 493.496 \text{ hp}$$

1 hp	=	745.700 W
1 hp	=	0.746 kW
1 kW	=	1.341 hp

Pemilihan Main Engine

Daya = 368 kW

Jumlah mesin induk yang dipasang = 2 buah

Kebutuhan daya tiap mesin induk = 262.929 kW

Mesin yang dipilih : YANMAR 6RY17W

L = 2723 mm

W = 1147 mm

H = 1759 mm

Dry mass = 4.548 ton

Total mass = 9.096 ton

E.3 Pemilihan Auxiliary Engine

Data auxiliary engine yang diminta 92 kW

Mesin yang dipilih : Cummins 6BT5.9-GM100

L = 1310 mm

W = 900 mm

H = 1400 mm

Dry mass = 0.5 ton

Daya = 100 kW

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_{oa} =	70.312 m
H_o =	6.500 m
B_o =	12.000 m
T_o =	4.400 m
F_n =	0.177
C_b =	0.814

Perhitungan :

1 Berat Baja

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

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

$$W_{si} = K \cdot E^{1.36}$$

$$C_b' = 0.7$$

Practical Ship Design hal. 83-85

(Net Steel Weight)

note : % Scrap adalah menunjukkan sejumlah bagian baja yang hilang karena proses kerja. Nilainya fungsi dari C_b , Jenis kapal, dan ukuran kapal (David G.M Watson, Practical Ship Desing, 1998)

$$* E = L \cdot (B + T) + 0.85 \cdot L \cdot (D - T) + 0.85(11 \cdot h_1) + 0.75(12 \cdot h_2)$$

Superstructure length and height	
Dimana :	$L_{fore} = 7.03$ m
	$h_{fore} = 2.4$ m
	$L_{poop} = 14.06$ m
	$h_{poop} = 2.4$ m

Deckhouse length and height	
$L_{2nd Deck} =$	7.03 m
$h_{2nd Deck} =$	2.4 m
$L_{Nav. Deck} =$	5.27 m
$h_{Nav. Deck} =$	2.4 m

$$* E = 1343.802$$

$$* W_{si} = 575.024 \text{ ton}$$

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

$$W_{si}' = 529.360 \text{ ton}$$

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

$$W_{st} = 679.899 \text{ ton}$$

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

$$\% \text{ Scrap} = 5.022 C_b^{-1.57}$$

$$\% \text{ Scrap} = 6.94 \quad \%$$

$$\text{Total Scrap \%} = 7.94 \quad \%$$

Center Gravity of Steel

Input Data :

$$\begin{aligned}L_{oa} &= 70.312 \text{ m} \\ B &= 12.000 \text{ m} \\ H &= 6.500 \text{ m} \\ \nabla_A \text{ Superstructure} &= 607.49542 \text{ m}^3 \\ \nabla_{DH} \text{ Deckhouse} &= 236.24822 \text{ m}^3 \\ \text{LCB (\%)} &= 2.363\end{aligned}$$

Parametric design halaman 11-19

Perhitungan :

KG

$$\begin{aligned}C_{KG} &= 0.53 \rightarrow \text{koefisien titik berat} \\ \text{KG} &= C_{KG} \cdot D_A = C_{KG} \cdot D + \frac{\nabla_A + \nabla_{DH}}{L_{PP} \cdot B} \\ &= 4.482 \text{ m}\end{aligned}$$

Ship Design for Efficiency and Economy-2nd Edition hlm.150

LCG dari midship

$$\begin{aligned}\text{dalam \%L} &= -0.15 + \text{LCB} \\ &= 2.213 \\ \text{dalam m} &= \text{LCG(\%)} \cdot L \\ &= 1.017 \text{ m}\end{aligned}$$

Parametric Design Chapter 11 , Hlm.25

LCG dari FP

$$\begin{aligned}\text{LCG}_{FP} &= -(0.5 \cdot L - \text{LCG dr midship}) \\ &= -32.872 \text{ m}\end{aligned}$$

LCG dari AP

$$\text{LCG}_{Ap} = 34.91 \text{ m}$$

Consumable and Crew Calculation

Chapter 11 Parametric Design : Michael G. Parsons
Lecture of Ship Design and Ship Theory : Herald Poehls]

Input Data :

Lpp =	67.779 m	Vs =	4.6296 m/s =	9 knots	15.432 km/jam
B =	12.000 m	PB =	457.2671 kW =	1.341022 HP	
H =	6.500 m		613.2052 HP		
T =	4.400 m	H _{DB} =	B/15		
			=	0.800	
		H _{DB} =	0.820 m		

Perhitungan :

Consumable :

• Jumlah Crew

C _{st} =	1.2 (Coef steward dept 1,2 - 1.33)	
C _{dk} =	11.5 (Coef deck dept 11,5 - 14,5)	
C _{eng} =	8.5 (Coef engine dept 8,5 - 11,00 diesel)	
cadet =	2 (umumnya 2 orang)	
Zc =	Cst.Cdk.(L.B.H.35/105) ^{1/6} + Ceng.(BHP/105) ^{1/3} + cadet	
	= 16.8462999 orang	dalam kapal ini ada 17 orang

• Crew Weight

C _{C&E} =	0.17 ton/person
W _{C&E} =	2.89 ton

Ref: Parametric design chapter 11, p11-25

• Fuel Oil

SFR =	0.00019 ton/kW.hr	(0.000190 ton/kW hr untuk diesel engine)
MCR =	736 kW	
Margin =	0.1	[1+(5% ~ 10%)].WFO
W _{FO} =	MCR*SFR*radius pelayaran/vs*1,4	koreksi cadangan engine 1,3-1,5 diambil 1,5
	= 6.19819596 ton	S (range) adalah jarak yang ditempuh dalam kilometer
V _{FO} =	6.65490513 m ³	range = 456 kilometer (4x roundtrip)
V _{FO} (PS) =	3.32745257 m ³	V _{FO} (SB) = 3.3274526 m ³

• Diesel Oil

C _{DO} =	0.2 ton/m ³	
W _{DO} =	1.23963919 ton	
V _{DO} =	1.48756703 m ³	
V _{DO} (PS) =	0.74378351 m ³	V _{DO} (SB) = 0.7437835 m ³

• Lubrication Oil

W _{LO} =	20 ton (medium speed diesel)	
	10 ton (low speed diesel)	
W _{LO} diambil =	20 ton	
V _{LO} =	23.111 m ³	
V _{LO} (PS) =	11.5555556 m ³	V _{LO} (SB) = 11.555556 m ³

• Fresh Water

range =	456 kilometer	
Vs =	15.432 km/jam	(hasil dari excel optimasi muatan dari lama total waktu satu kali pelayaran)
day =	29.5489891 = 1.23121 days	lama pelayaran diambil 1.625 days
W _{FW Tot} =	0.17 ton/(person.day)	
	= 4.69625 ton	
p _{FW} =	1 ton/m ³	
V _{FW} =	4.8841 m ³	
V _{FW} (PS) =	2.44205 m ³	V _{FW} (SB) = 2.44205 m ³

Ref: Parametric design chapter 11, p11-24

• Provision and Store

W _{PR} =	0.01 ton/(person.day)
	= 0.27625 ton
W _{crew&consumable} =	35.3003 ton

Perhitungan Titik Berat Consumable dan Crew

LKM = 5 + L(panjang mesin induk) + 1 + L(panjang Genset) =	10.33 m
Panjang ceruk buritan =	6.00 m
Panjang ceruk haluan =	6.00 m
Kapal SPOB ini terdapat 1 cofferdam yaitu :	
Diantara cargo tank dan machinery room	
space slop tank = 2 jarak gading	1.2 m
Panjang pump room = 2 kali jarak gading =	1.2 m
Panjang dari AP sampai sekat kamar mesin =	16.33 m

Dimensi ruang akomodasi

$$L_{rm} = L_{pp} - (L_{cb} + L_{ch} + L_{km}) = 43.049 \text{ m}$$

• Poop

Lp = 20% * L =	14.06 m
hp =	2.4 m
L _{CH} =	6.00 m

• 2nd Deck

h II =	2.4 m
Ld II =	9.45 m

• Nav. Deck

h III =	2.4 m
Ld III =	4.73 m

Berat crew per layer

W _{C&E Poop} =	2.38 ton
W _{C&E II} =	0.51 ton
W _{C&E Nav. Deck} =	0.28 ton

Ref: Parametric design chapter 11, p11-25

Titik berat crew

• KG

$$\begin{aligned} \text{KG p} &= H + 0,5 * h * \text{poop} = 7.700 \text{ m} \\ \text{KG II} &= H + h_{\text{poop}} + 0,5h_{\text{II}} = 10.100 \text{ m} \\ \text{KG III} &= H + h_{\text{p}} + h_{\text{I}} + 0,5h_{\text{II}} = 12.500 \text{ m} \end{aligned}$$

• LCG from AP

$$\begin{aligned} \text{LCG p} &= 0,5L_{\text{p}} + L_{\text{rm}} + L_{\text{ch}} = 13.031 \text{ m} \\ \text{LCG II} &= 0,5L_{\text{d II}} + L_{\text{rm}} + L_{\text{ch}} = 10.725 \text{ m} \\ \text{LCG III} &= 0,5L_{\text{d III}} + L_{\text{rm}} + L_{\text{ch}} = 8.363 \text{ m} \end{aligned}$$

• Titik berat

$$\begin{aligned} \text{KG} &= 8.505 \text{ m} \\ \text{LCG} &= 12.252 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik berat air tawar

• Dimensi tangki

$$\begin{aligned} T_{\text{FW}} &= H - T = 2.100 \text{ m} \\ B_{\text{FW}} &= 65\%B = 7.800 \text{ m} \\ P_{\text{FW}} &= V_{\text{FW}} / (t_{\text{FW}} * l_{\text{FW}}) = 0.149 \text{ m} \end{aligned}$$

• Titik berat

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{FW}} &= T + 0,5t_{\text{FW}} = 6.188 \text{ m} \\ \text{LCG}_{\text{FW}} &= 1.367 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik berat lubrication oil

• Dimensi tangki

$$\begin{aligned} t_{\text{LO}} &= h_{\text{db}} = 1.000 \text{ m} \\ B_{\text{LO}} &= 7.800 \text{ m} \\ P_{\text{LO}} &= 1.481 \text{ m} \end{aligned}$$

• Titik berat

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{LO}} &= 0.500 \text{ m} \\ \text{LCG}_{\text{LO}} &= 13.556 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik berat diesel oil

• Dimensi tangki

$$\begin{aligned} t_{\text{DO}} &= h_{\text{db}} = 1.000 \text{ m} \\ B_{\text{DO}} &= 7.800 \text{ m} \\ P_{\text{DO}} &= 0.095 \text{ m} \end{aligned}$$

• Titik berat

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{DO}} &= 0,5 * h_{\text{db}} = 0.500 \text{ m} \\ \text{LCG}_{\text{DO}} &= 14.249 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik berat fuel oil

• Dimensi tangki

$$\begin{aligned} t_{\text{FO}} &= 0.474 \text{ m} & p_{\text{FO}} &= 1.8 \\ B_{\text{FO}} &= 7.800 \text{ m} \\ L_{\text{FO}} &= 4.800 \text{ m} \end{aligned}$$

• Titik berat

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{FO}} &= 1.057 \text{ m} \\ \text{LCG}_{\text{FO}} &= 14.597 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik berat consumable

$$\begin{aligned} \text{KG} &= 2.096 \text{ m} & \text{SFR} \\ \text{LCG dr AP} &= 12.023 \text{ m} & \text{SFR} \end{aligned}$$

J. Crew List

Deck Department

Captain	=	1
Chief Officer	=	1
Second Officer	=	1
Radio Operator	=	1
Doctor	=	1
Quarter Master	=	2
Boatswain	=	1
Seaman	=	2
Total	=	10

Engine Department

Chief Engineer	=	1
Second Engineer	=	1
Fireman	=	1
Oiler	=	2
Total	=	5

Service Department

Chief Cook	=	1
Steward	=	1
Total	=	2
Jumlah Crew	=	17

Equipment and Outfitting Calculation

[Referensi : Ship Design Efficiency and Economy , 1998]

Input Data :

L_{pp} = 67.779 m
B = 12.000 m
H = 6.500 m

Grup III (Accommodation)

The specific volumetric and unit area weights are:

For small and medium sized cargo ship : 160 – 170 kg/m²
For large cargo ships, large tanker, etc : 180 – 200 kg/m²
Therefore, for oat, it is used : 195 kg/m²

Ship Design for Efficiency and Economy page 172

• POOP

L_{poop} = 14.062 m
B_{poop} = 12.000 m
A_{poop} = 168.749 m²
W_{poop} = 32.906 ton

• FORECASTLE

L_{forecastle} = 7.031 m
B_{forecastle} = 12.000 m
A_{forecastle} = 84.37 m²
W_{forecastle} = 16.5 ton
LCG_{forecastle} = -88.46 m dari AP

• DECKHOUSE

2nd Deck

L_{DH II} = 7.03 m
B_{DH II} = 10 m
A_{DH II} = 70.31 m²
W_{DH II} = 13.71 ton

Nav. Deck

L_{DH III} = 5.27 m
B_{DH III} = 8 m
A_{DH III} = 42.19 m²
W_{DH III} = 8.23 ton

W_{Group III} = 54.84 ton

Ship Design Efficiency and Economy page 172

Grup IV (Miscellaneous)

C = (0.18 ton / m² < C < 0.26 ton / m²)
= 0.25 [ton/m²]

W_{Group IV} = (L*B*D)^{2/3} * C
= 75.869 [ton]

Equipment and Outfitting Total Weight
= 210.712 [ton]

80 ton berat crane

Outfit Weight Center Estimation

$$D + \frac{\nabla_A + \nabla_{DH}}{L_{pp} \cdot B}$$

$$\begin{aligned} D_A &= 7.537 \\ KG_{E\&O} &= 1.02-1.08D_A \\ &= 7.914 \text{ m} \end{aligned}$$

Ship Design for Efficiency and Economy page 173

Parametric design chapter 11, p11-25

1. LCG₁ (25% W_{E&O} at LCG_M)

$$\begin{aligned} 25\% W_{E\&O} &= 52.678 \text{ ton} \\ \text{Lcb dari FP} &= -32.288 \text{ m} \\ \text{Lcb dari AP} &= 35.491 \text{ m} \\ \text{LCG}_M \text{ dr FP} &= -60.323 \text{ m} \\ \text{LCG}_M \text{ dari AP} &= 7.456 \text{ m} \\ \text{Lkm} &= 10.330 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Perhitungan titik berat outfitting berdasarkan jumlah layer

2nd deck

$$\begin{aligned} L_{DH \text{ II}} &= 7.031 \text{ m} \\ W_{DH \text{ II}} &= 13.711 \text{ ton} \\ \text{LCG}_I \text{ dari AP} &= [0,5 \cdot L + (Lkm + Lcb) + 0,5 \cdot l_{deck}] \\ &= 8.416 \text{ m} \end{aligned}$$

Nav. Deck

$$\begin{aligned} L_{DH \text{ III}} &= 5.273 \text{ m} \\ W_{DH \text{ III}} &= 8.227 \text{ ton} \\ \text{LCG}_{II} \text{ dari AP} &= 9.295 \text{ m} \end{aligned}$$

LCG₂ (37,5% W_{E&O} at LCG_{DH})

$$\begin{aligned} 37,5\% W_{E\&O} &= 79.017 \text{ ton} \\ \text{LCG}_{dh} \text{ dari AP} &= 8.745 \text{ m} \end{aligned}$$

3. LCG₃ (37,5% W_{E&O} at midship)

$$\begin{aligned} 37,5\% W_{E\&O} &= 79.017 \text{ ton} \\ \text{Jarak dari AP} &= 33.889306 \text{ m} \end{aligned}$$

LCG_{E&O} dari AP

$$\begin{aligned} &= 17.85 \text{ m} \\ \text{LCG}_{E\&O} \text{ (dari FP)} &= -51.74 \text{ m} \end{aligned}$$

Total Weight and Total Centers Estimation

1. Light Weight Tonnes (LWT)

• Steel Weight

$$\begin{aligned}W_{ST} &= 679.899 \text{ ton} \\KG &= 5.063 \text{ m} \\LCG \text{ dr FP} &= -32.872 \text{ m}\end{aligned}$$

• Equipment & Outfitting Weight

$$\begin{aligned}W_{E\&O} &= 210.712 \text{ ton} \\KG_{E\&O} &= 7.914 \text{ m} \\LCG \text{ dr FP} &= -51.741 \text{ m}\end{aligned}$$

• Machinery Weight

$$\begin{aligned}W_M &= 50.947 \text{ ton} \\KG &= 2.925 \text{ m} \\LCG \text{ dr FP} &= -60.323 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Dead Weight Tonnes (DWT)

• Consumable Weight

$$\begin{aligned}W_{\text{consum}} &= 35.300 \text{ ton} \\KG &= 2.096 \text{ m} \\LCG \text{ dr FP} &= -55.756 \text{ m}\end{aligned}$$

• Payload

$$\begin{aligned}W_{\text{payload}} &= 1957 \text{ ton} \\KG &= (H-H_{db}) * 0,5 + H_{db} \\&= 3.750 \text{ m} \\LCG \text{ dr AP} &= 38.102 \text{ m} \\LCG \text{ dr FP} &= -29.68 \text{ m}\end{aligned}$$

Total Weight

$$\text{Total weight} = \text{LWT} + \text{DWT} = 2933.859 \text{ ton}$$

$$KG \text{ Total} = 4.32 \text{ m}$$

$$LCG \text{ Total (dr FP)} = -32.85 \text{ m}$$

$$\text{Total LWT} = 941.559 \text{ ton}$$

Hold Capacity Calculation

Lecture of Ship Design and Ship Theory : Herald Poeltis

Input Data :

Lpp =	67.78	m
Lwl =	69.81	m
B =	12.00	m
H =	6.50	m
T =	4.40	m
Cb =	0.81	

• Perhitungan camber

Camber (C) =	0.240	m
$C_m = 2/3 * C =$	0.160	

• Perhitungan Sheer

Sa =	0.000	m
Sf =	0.000	m
Sm =	0.000	m
$D' = D + C_m + S_m =$	6.660	m

• Perhitungan Cb Deck

Section =	U section	
c =	0.3	
Cb Deck =	$C_b + c(D/T - 1) \cdot (1 - C_b)$	
=	0.840379039	

• Perhitungan Vh

Vh = total volume kapal di bawah upper deck dan diantara perpendicular [m³]

$$V_h = C_{b_{deck}} \cdot L \cdot B \cdot D' = 4552.221 \text{ m}^3$$

• Perhitungan Vu

Vu = cargo capacity yang tersedia diatas upper deck seperti hatch coaming.

Vu = Tidak ada capacity di atas deck maka nilainya =

0

HATCH WAY

Panjang =	8.8	m	hold =	3	
Tinggi =	0.8	m			
Lebar =	6.4	m	$V_{HC} =$	134.527	m ³
kostanta deduction =	0.02				

• Perhitungan kamar mesin

Lkm esti =	Lporos antara + Lgearbox + L (panjang mesin induk) + Lgangways	
Lporos antara =	0.35	m
Lgearbox =	0.62	m
Lmesin =	2.723	m
Lgangways =	7.1	m
Lkm esti =	10.79	m
Lkm esti =	17.98	Jarak gading
Lkm diambil =	18	Jarak gading
Lkm diambil =	10.8	m
Lebar =	12.000	m
Tinggi =	6.500	m
Volume k.mesin =	842.400	m ³

• Ceruk buritan

Penentuan letak ceruk buritan

Dari bentuk stern kapal, tentukan letak ujung belakang tabung poros (stern tube) dr AP

yaitu sebesar 0.35T = 1.54 m

diambil 1.8 m atau 3 jarak gading

Jadi, ujung belakang tabung poros ada pada gading nomor 3

Dari ujung belakang tabung poros ke sekat tabung poros (stern tube bulkhead) berjarak minimum tiga

jarak gading

diambil 6 jarak gading = 3.6 m

sedangkan jarak stern tube bulkhead dari AP adalah 9 m

stern tube Bulkhead ada pada gading nomor 15.00 dari AP

L ceruk buritan diambil =	9.000	m
Lebar =	12.00	m
Tinggi =	6.50	m
Volume =	476.28	m ³

• Ceruk haluan

Lch = Min. 0.05Lc atau 10m ; diambil terkecil
Max. 0.08Lc atau 0.05Lc+3m ; diambil terbesar

Lc = Lpp
Lch min = 3.388930574 m
Lch max = 5.422 m Lch max = 6.39 m
Lch diambil (gading nomor) =
Lch perhitungan = 5.60 m Lch diambil = 5.6 m
Lebar = 12.00 m
Tinggi = 6.50 m
Volume = 331.968 m3

• Koreksi

Double bottom

Ldb = 42.379 m
Bdb = 12.000 m
Hdb = 0.820 m
Vdb = 417.006 m3

Double skin (as wing tank)

Lds = 42.379 m
Bds = 1.0 m
Hds = H-hdb = 5.7 m
Vds = 481.421 m3

Ref : BKI vol II ; page 24-2

(Untuk sisi kanan dan kiri, jadi dikali 2)

Slop Tank and Pump Room

Lcf = 1.8 m
Bcf = 10.00 m
Hcf = 5.7 m
Vcf = 102.24 m3

VR = ((Vh-Vm)*(1+0.02))+Vu 3094.131 m3
Vr' = VR-(Vdb-Vds-Vcf)= 2093.465 m3

Koreksi wing tank (1.8%) dari volum kotak

= 376.8236528 m3

VR = 1716.641 m3

Batasan Kapasitas Ruang Muat

Specific volume muatan 0.87 ton/m³ (berat dalam ton tiap meter kubik)

Input Data :

Volume ruang muat = 1716.6411 m³

Berat muatan = 1957 ton

Volume muatan = 1703 m³

Perhitungan :

Selisih Volume r.muat & Volume muatan= 14.13 m³

Selisih dalam % = 0.82%

Kondisi = accepted (Batasan kondisi=5%)

Freeboard Calculation

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

Input Data :

L = 67.78 m	l _{poop} = 14.06 m
B = 12.00 m	l _{FC} = 7.03 m
D = 6.50 m	S = l _{poop} + l _{FC}
d ₁ = 85% Moulded Depth = 5.53 m	= 21.09 m
C _B = 0.814	
Tipe kapal = Type A	

Perhitungan :

- Freeboard Standard

F_b = 786.00 mm

Regulation 28 Table 28.1

- Koreksi

- 1. Koreksi Depth (D)

Regulation 31 Correction for dep

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

$$Fb_3 = R(D-L/15) \quad [\text{mm}]$$

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

$$= 141.21 \quad \text{m}$$

F_{b3} = 279.79 mm *Jika D < L/15 tidak ada koreksi*

- 2. Koreksi Bangunan Atas (Super Structure)

Forecastle

l_{FC} = 7.03 m
h_{SFC} = 2.30 m
h_{FC} = 2.40 m
l_{SFC} = 7.03 m

Poop

l_{poop} = 14.06 m
h_{Spoop} = 2.30 m
h_{poop} = 2.40 m
l_{Spoop} = 14.06 m

Effective Length Super Structure

$$E = l_{SFC} + l_{Spoon}$$

$$= 21.09 \quad \text{m}$$

$$E[x.L] = 0.3$$

$$\%Fb = 21\%$$

Superstructure

F_{b4} = 165 mm

- 3. Koreksi Cb Kapal

Untuk kapal dengan nilai koefisien blok lebih dari 0.68

$$Fb_2 = Fb \times (0.68 + Cb) / 1.36$$

$$Fb_2 = 863 \quad \text{mm}$$

Total Freeboard

$$Fb' = Fb_3 + Fb_4 + Fb_2$$

$$= 1169.54 \quad \text{mm}$$

$$Fb' = 1.170 \quad \text{m}$$

- Minimum Bow height

CB kapal sampai upper deck = C_B kapal / L * B * d₁ = 0.814

$$Bwm = 56L \left(1 - \frac{L}{500} \right) \left(\frac{1.36}{Cb + 0.68} \right)$$

$$= 2987.38 \quad \text{mm}$$

$$= 2.99 \quad \text{m}$$

- Batasan Freeboard

Actual Freeboard

F_{ba} = H - T
= 2.10 m

Kondisi (F_{ba} - F_{b'}) = Accepted *(karena F_{ba} > F_{b'} maka Accepted)*

- Minimum Bow Height

F_{ba} + S_f + h_{FC} = 4.50 m

Kondisi Minimum Bow Height = Accepted *(jika nilai dari F_{ba} + S_f + h_{FC} > Bwm, maka Accepted)*

Perhitungan Trim

Chapter 11 Parametric Design , Michael G. Parsons

Input Data

$$\begin{aligned}L_{PP} &= 67.78 \text{ m} \\ B &= 12.00 \text{ m} \\ T &= 4.40 \text{ m} \\ C_M &= 0.99516 \\ C_B &= 0.8137 \\ C_{WP} &= 0.88509 \\ \nabla &= 2999.38 \text{ m}^3 \\ KG &= 4.32 \text{ m} \\ LCG_{\text{total FP}} &= -32.85 \text{ m} \\ LCB_{\text{dari mid}} &= 1.60132 \text{ m} \\ LCB_{\text{dari FP}} &= -32.29 \text{ m}\end{aligned}$$

Sifat Hidrostatik

1. KB

$$\begin{aligned}KB/T &= 0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 18} \\ &= 0.52008\end{aligned}$$

$$KB = 2.28835 \text{ m}$$

2. BM_T

$$\begin{aligned}C_I &= 0.1216 \cdot C_{WP} - 0.041 \\ &\text{Transverse Inertia Coefficient} \\ &\text{Parametric Ship Design hal. 11 - 19} \\ &= 0.06663\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_T &= C_I \cdot L_{PP} \cdot B^3 \\ &= 7803.38 \text{ m}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}BM_T &= I_T / \nabla \quad ; \text{ jarak B dan M secara melintang} \\ &= 2.60167 \text{ m}\end{aligned}$$

3. BM_L

$$\begin{aligned}C_{IL} &= 0.350 \cdot C_{WP}^2 - 0.405 \cdot C_{WP} + 0.146 \\ &\text{Longitudinal Inertia Coefficient}\end{aligned}$$

$$= 0.06172$$

$$\begin{aligned}I_L &= C_{IL} \cdot L_{PP}^3 \cdot B \\ &= 230622 \text{ m}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}BM_L &= I_L / \nabla \quad ; \text{ jarak B dan M secara melintang} \\ &= 76.89 \text{ m}\end{aligned}$$

4. GM_L

$$= KB + BM_L - KG$$

$$= 74.86$$

5. Trim = $((LCG - LCB) \cdot L_{PP})$; Parametric Ship Design hal 11 - 27

$$= -0.05069 \text{ m}$$

Kondisi Trim

Trim Haluan

6. Batasan Trim

$$\begin{aligned}\Delta (LCG - LCB) \\ &= -0.051\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.1\% \cdot L_{PP} \\ &= 0.06778\end{aligned}$$

Kondisi Batasan Trim

Diterima

$$0.56$$

Tonnage Measurement

Input Data :

H = 6.500 m
T = 4.400 m
 $V_{\text{poop}} = 404.997 \text{ m}^3$
 $V_{\text{forecastle}} = 202.498 \text{ m}^3$
 $V_{\text{deckhouse}} = 269.998 \text{ m}^3$
 $Z_C = 16.846$ orang
 $N_1 =$ (Asumsi penumpang dalam kabin 2 orang (tidak boleh lebih dari 8 penumpang))
 $N_2 =$ (jumlah penumpang yang lain)
 $\nabla = 2999.375 \text{ m}^3$
 $\Delta = 3074.360$ ton

Perhitungan :

Gross Tonnage

$V_U =$ Volume dibawah geladak cuaca
 $= 5323.53 \text{ m}^3$
 $V_H =$ Volume ruang tertutup diatas geladak cuaca
 $= 877.49 \text{ m}^3$
 $V = 6201.03 \text{ m}^3$
 $K_1 = 0.2 + 0.02 * \text{Log}_{10}(V)$
 $= 0.28$
GT = 1710.55

Net Tonnage

$V_C = 2093.465 \text{ m}^3$
 $K_2 = 0.2 + 0.02 * \text{Log}_{10}(V_C)$
 $= 0.266$
 $K_3 = 1.25 * [(GT + 10000) / 10000] =$
 $= 1.464$
 $a = K_2 * V_C * (4d/3D)^2$
 $= 454.343$
a \geq 0.25GT = yes 0.25 GT = 427.63715

 $NT = a + K_3 * (N_1 + N_2 / 10)$
 $= 454.343$
NT \geq 0.30GT = no 0.30 GT = 513.16458

Stability Calculation

COMPUTATION OF RIGHTING ARM FROM PRINCIPAL DIMENSIONS AND COEFFICIENTS

Input Data :

weight = long ton
 Length = feet
 1 feet = 0.3048 m
 L = 222.37 ft
 B = 39.37 ft
 Bw = 39.37 ft (maximum waterline breadth = B)
 H (sarat) = 14.44 ft
 D_M (Depth) = 21.33 ft
 S_F = 0.00 ft
 S_A = 0.00 ft
 D₀ = Δ (ton)/1.016
 = 3025.94 long ton
 L_d = length of superstructure which extend to sides of ship
 = 46.14 ft
 d = 7.87 ft
 C_B = 0.8137
 C_W = 0.885
 C_X = midship section coefficient at draft H = Cm
 = 0.9952

Perhitungan :

Perhitungan Awal

C_{PV} = vertical prismatic coff. = C_B/C_W
 = 0.919
 A₀ = area of waterline plan at designed draft = L.Bw.Cw
 = 8048.70
 A_M = area of immersed midship section= B.H.Cx
 = 565.59
 S = Mean Sheer:(Ld*d)+(0.5*L*(SF/3))+(0.5*L*(SA/3))
 = 363.28
 A₂ = area of vertical centerline plane to depth D= (0.98*L*DM)+S
 = 5010.595
 D = Mean Depth :(S/L)+DM
 = 22.96
 F = mean freeboard =D-T
 = 8.523
 A₁ = area of waterline plane at depth D maybe estimate from A₀ and nature of stations above waterline = 1.01 . A₀
 = 8129.18

Perhitungan Koefisien GZ

$$\frac{A_2}{L \cdot D} = \frac{\frac{\Delta_T}{2 - \Delta_0}}{L \cdot D} = 4995.82$$

$$\delta = \frac{A_M - (B \cdot F)}{B \cdot D} = -528.04$$

$$C_W' = \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_1 \cdot B} = 0.981$$

$$C_X' = \frac{35 \cdot \Delta_T}{A_2 \cdot B} = -0.348$$

$$C_{PV}' = C_W' - \frac{(140 \cdot d) \cdot (1 - C_{PV}'')}{B \cdot D \cdot L} = 0.937$$

$$C_{PV}'' = \Delta_0 + \left(\left(\frac{A_0 + A_1}{2} \right) \cdot \left(\frac{F}{35} \right) \right) = 0.886$$

$$C_w'' =$$

$$= 1.023$$

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

$$= 0.105$$

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

$$= 0.211$$

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

$$= 0$$

$$KG = 14.17 \quad \text{beda dengan rumus buku}$$

• factor h1

$$f (=0) = 0.475$$

$$f (=0.5) = 0.482$$

$$f (=1) = 0.487$$

$$h1 = \text{untuk } h1, h0 \text{ dan } h2$$

$$\text{jika } 0 < f1 < 0.5, \text{ maka } = (f=0) + [(f1-0)/0.5-0] \cdot ((f=0.5) - (f=0))$$

$$\text{jika tidak } = (f=0.5) + [(f1-0.5)/1-0.5] \cdot (f=1) - f=0.5$$

$$= 0.478$$

$$KG' = (D(1-h1)\Delta T - \delta) / (2\Delta 0)$$

$$= 9.98$$

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

$$= -4.19$$

• factor h0

$$f (=0) = 0.469$$

$$f (=0.5) = 0.477$$

$$f (=1) = 0.483$$

$$h0 = 0.471$$

$$KB_0 = (1-h0)H$$

$$= 7.642$$

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

$$= 2.341$$

• factor h2

$$f (=0) = 0.458$$

$$f (=0.5) = 0.468$$

$$f (=1) = 0.476$$

$$h2 = 0.458$$

$$G'B_{90} = (DT \cdot h2 \cdot B) / 4 \cdot Do - [d2 / D0 \cdot (17.5 / (A2 - (70 \cdot d / 8) \cdot (1 - CPV'')))]$$

$$= 7.111$$

$$C_1 = 0.067$$

$$BM_0 = 8.634$$

$$C_1' = 0.091$$

$$BM_{90} = (C_1' \cdot L \cdot D3) / 35 \cdot Do + [(Ld \cdot d \cdot D2) / 140 \cdot Do]$$

$$= 2.767$$

$$GM_0 = KB_0 + BM_0 - KG$$

$$= 2.106$$

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

$$= 6.293$$

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

$$= 5.034$$

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

$$= 0.244$$

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

$$= -0.792$$

$$G'M_{90} = -4.345$$

19.1.4. Perhitungan Lengan Statis (GZ [feet])

• Heel Angle (f) = 0

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 0.000 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 5

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -0.365 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.874 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.083 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -0.396 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 0.197 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 10

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -0.727 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 1.722 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.157 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -0.686 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 0.466 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 15

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -1.084 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 2.517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.211 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -0.792 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 0.853 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 20

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -1.432 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 3.236 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= 0.240 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \text{PI}())) / 180 \\ &= -0.686 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= 1.358 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 25

$$\begin{aligned} \text{GG}' \sin 1f &= \text{GG}' \sin((0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= -1.770 \\ \text{b}_1 \sin 2f &= \text{b}_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 3.856 \\ \text{b}_2 \sin 4f &= \text{b}_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.240 \\ \text{b}_3 \sin 6f &= \text{b}_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= -0.396 \\ \text{GZ} &= \text{GG}' \sin 1f + \text{b}_1 \sin 2f + \text{b}_2 \sin 4f + \text{b}_3 \sin 6f \\ &= 1.931 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 30

$$\begin{aligned} \text{GG}' \sin 1f &= \text{GG}' \sin((0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= -2.094 \\ \text{b}_1 \sin 2f &= \text{b}_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 4.360 \\ \text{b}_2 \sin 4f &= \text{b}_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.211 \\ \text{b}_3 \sin 6f &= \text{b}_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.000 \\ \text{GZ} &= \text{GG}' \sin 1f + \text{b}_1 \sin 2f + \text{b}_2 \sin 4f + \text{b}_3 \sin 6f \\ &= 2.477 \\ &= \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 35

$$\begin{aligned} \text{GG}' \sin 1f &= \text{GG}' \sin((0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= -2.402 \\ \text{b}_1 \sin 2f &= \text{b}_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 4.730 \\ \text{b}_2 \sin 4f &= \text{b}_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.157 \\ \text{b}_3 \sin 6f &= \text{b}_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.396 \\ \text{GZ} &= \text{GG}' \sin 1f + \text{b}_1 \sin 2f + \text{b}_2 \sin 4f + \text{b}_3 \sin 6f \\ &= 2.881 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 40

$$\begin{aligned} \text{GG}' \sin 1f &= \text{GG}' \sin((0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= -2.691 \\ \text{b}_1 \sin 2f &= \text{b}_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 4.958 \\ \text{b}_2 \sin 4f &= \text{b}_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.083 \\ \text{b}_3 \sin 6f &= \text{b}_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.686 \\ \text{GZ} &= \text{GG}' \sin 1f + \text{b}_1 \sin 2f + \text{b}_2 \sin 4f + \text{b}_3 \sin 6f \\ &= 3.035 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 45

$$\begin{aligned} \text{GG}' \sin 1f &= \text{GG}' \sin((0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= -2.961 \\ \text{b}_1 \sin 2f &= \text{b}_1 \sin((2 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 5.034 \\ \text{b}_2 \sin 4f &= \text{b}_1 \sin((4 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.000 \\ \text{b}_3 \sin 6f &= \text{b}_1 \sin((6 \cdot 0 \cdot \pi)) / 180 \\ &= 0.792 \\ \text{GZ} &= \text{GG}' \sin 1f + \text{b}_1 \sin 2f + \text{b}_2 \sin 4f + \text{b}_3 \sin 6f \\ &= 2.865 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 50

$$\begin{aligned} \mathbf{GG' \sin 1f} &= \mathbf{GG' \sin((0 * \pi)) / 180} \\ &= -3.208 \\ \mathbf{b_1 \sin 2f} &= \mathbf{b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 4.958 \\ \mathbf{b_2 \sin 4f} &= \mathbf{b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.083 \\ \mathbf{b_3 \sin 6f} &= \mathbf{b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 0.686 \\ \mathbf{GZ} &= \mathbf{GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f} \\ &= 2.352 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 55

$$\begin{aligned} \mathbf{GG' \sin 1f} &= \mathbf{GG' \sin((0 * \pi)) / 180} \\ &= -3.430 \\ \mathbf{b_1 \sin 2f} &= \mathbf{b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 4.730 \\ \mathbf{b_2 \sin 4f} &= \mathbf{b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.157 \\ \mathbf{b_3 \sin 6f} &= \mathbf{b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 0.396 \\ \mathbf{GZ} &= \mathbf{GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f} \\ &= 1.540 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 60

$$\begin{aligned} \mathbf{GG' \sin 1f} &= \mathbf{GG' \sin((0 * \pi)) / 180} \\ &= -3.626 \\ \mathbf{b_1 \sin 2f} &= \mathbf{b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 4.360 \\ \mathbf{b_2 \sin 4f} &= \mathbf{b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.211 \\ \mathbf{b_3 \sin 6f} &= \mathbf{b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 0.000 \\ \mathbf{GZ} &= \mathbf{GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f} \\ &= 0.523 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 65

$$\begin{aligned} \mathbf{GG' \sin 1f} &= \mathbf{GG' \sin((0 * \pi)) / 180} \\ &= -3.795 \\ \mathbf{b_1 \sin 2f} &= \mathbf{b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 3.856 \\ \mathbf{b_2 \sin 4f} &= \mathbf{b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.240 \\ \mathbf{b_3 \sin 6f} &= \mathbf{b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.396 \\ \mathbf{GZ} &= \mathbf{GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f} \\ &= -0.574 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 70

$$\begin{aligned} \mathbf{GG' \sin 1f} &= \mathbf{GG' \sin((0 * \pi)) / 180} \\ &= -3.935 \\ \mathbf{b_1 \sin 2f} &= \mathbf{b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= 3.236 \\ \mathbf{b_2 \sin 4f} &= \mathbf{b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.240 \\ \mathbf{b_3 \sin 6f} &= \mathbf{b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180} \\ &= -0.686 \\ \mathbf{GZ} &= \mathbf{GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f} \\ &= -1.624 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 75

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \pi)) / 180 \\ &= -4.044 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= 2.517 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= -0.211 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= -0.792 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= -2.530 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 80

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \pi)) / 180 \\ &= -4.124 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= 1.722 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= -0.157 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= -0.686 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= -3.244 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 85

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \pi)) / 180 \\ &= -4.171 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= 0.874 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= -0.083 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= -0.396 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= -3.776 \end{aligned}$$

• Heel Angle (f) = 90

$$\begin{aligned} GG' \sin 1f &= GG' \sin((0 * \pi)) / 180 \\ &= -4.187 \\ b_1 \sin 2f &= b_1 \sin((2 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= 0.000 \\ b_2 \sin 4f &= b_1 \sin((4 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= 0.000 \\ b_3 \sin 6f &= b_1 \sin((6 * 0 * \pi)) / 180 \\ &= 0.000 \\ GZ &= GG' \sin 1f + b_1 \sin 2f + b_2 \sin 4f + b_3 \sin 6f \\ &= -4.187 \end{aligned}$$

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)
= 0.0364

20° = 0.1523

30° = 0.3362

40° = 0.4956

L_DTotal = 1.0205

REKAPITULASI PERHITUNGAN STABILITAS

unit : metric

Lengan Statis (GZ [m])

GZ	=	
0	=	0.0000
5	=	0.0600
10	=	0.1420
15	=	0.2599
20	=	0.4140
25	=	0.5885
30	=	0.7550
35	=	0.8782
40	=	0.9251
45	=	0.8732
50	=	0.7170
55	=	0.4693
60	=	0.1593
65	=	-0.1750
70	=	-0.4951
75	=	-0.7711
80	=	-0.9887
85	=	-1.1510
90	=	-1.2763

Lengan Dinamis (L_D [m.rad])

L _D	=	
10	=	0.0111
20	=	0.0464
30	=	0.1025
40	=	0.1511

L_DTotal = 0.3111

Sudut Maksimum

Gz max = nilai maksimum GZ dari semua sudut 0-90
= 0.925

Kolom ke- (nilai terbesar tersebut pada kolom ke berapa)
= 9

Heel at Gz max (pada sudut heel berapa)
= 40

Titik

X1	=	35
X2	=	40
X3	=	45
Y1	=	0.8782
Y2	=	0.9251
Y3	=	0.8732

Hasil perkalian matriks

a	=	-2.214
b	=	0.157
c	=	-0.002

qmax [X°]
= 40

Batasan Stabilitas Menurut IMO Resolution A. 749 (18)

Input data :

e [m . rad]

$$30^\circ = 0.102$$

$$40^\circ = 0.151$$

$$30^\circ - 40^\circ = 0.049$$

$$GZ 30^\circ = 2.477$$

$$\Theta_{\max} [X^\circ] = 40$$

$$GM^0 = [\text{feet}] = 2.1059392$$

$$[\text{m}] = 0.6418903$$

Perhitungan :

• Kriteria IS CODE 2008

$$e_{0.30}^\circ \geq 0.055 = \text{Accepted}$$

$$e_{0.40}^\circ \geq 0.09 = \text{Accepted}$$

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

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

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

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

Status = OK

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

Perhitungan:

A. Biaya Pembangunan Kapal

Rekapitulasi Berat :

Input Data:

Berat Baja	Wst=	679.90	Ton
Berat Perlengkapan	Weo=	210.71	Ton
Berat Permesinan	Wm =	50.95	Ton

Perhitungan :

1) Structural Cost

Pst =	Wst x Cst	
Cst=		3,720.44 \$/Ton
Maka, Pst=		2,529,527.34 \$
	Rp.	22,740,450,775

2) Outfitting Cost

Peo =	Weo x Ceo	
Weo=		17,796 \$/Ton
Maka, Peo=		3,749,812.22 \$
	Rp.	33,710,811,827.14

3) Machinery Cost

Pm =	Wm x Cm	
Wm=		19,437 \$/Ton
Maka, Pm=		990,237.35 \$
	Rp.	8,902,233,820.94

Regresi Kurva Structural Cost, Machinery Cost dan Outfit Cost

(Adapted from : Practical Ship Design, David G. M. Watson)

chapter 18.5 hal 514

Structural Cost		Machinery Cost		Outfit Cost	
X	Y	X	Y	X	Y
446.11	4016.44	0.00	20000.00	108.51	18095.88
1000.00	3573.25	250.00	17404.86	250.00	17691.55
2000.00	3177.98	500.00	15223.74	500.00	16989.06
3000.00	2920.54	750.00	13526.95	750.00	16278.67
4000.00	2747.85	1000.00	12207.74	1000.00	15634.41
5000.00	2615.74	1250.00	11254.79	1250.00	15106.22
6000.00	2504.97	1500.00	10651.59	1500.00	14539.63
7000.00	2409.15	1750.00	10236.66	1750.00	13984.85
8000.00	2324.65	2000.00	9849.90	2000.00	13396.41
9000.00	2250.50	2250.00	9481.23	2250.00	12875.38
10000.00	2186.17	2486.79	9246.10	2500.00	12456.51
11000.00	2130.37			2750.00	12042.50
12000.00	2080.29			3000.00	11581.38
13000.00	2033.18			3106.81	11388.14
14000.00	1987.39				
15000.00	1943.50				
16000.00	1902.36				
17000.00	1864.79				
18000.00	1831.24				
19000.00	1801.64				
20000.00	1775.87				
21000.00	1753.82				
22000.00	1734.88				
23000.00	1717.95				
24000.00	1701.91				
25000.00	1685.99				
26000.00	1670.22				
27000.00	1654.70				
28000.00	1639.54				
29000.00	1624.81				
30000.00	1610.40				
31000.00	1596.18				
31275.60	1592.27				

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

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

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

Diketahui :

n	=	184.069	(number of propeller revolutions per minute)
d_p	=	2.64	(propeller diameter)
V_o	=	9	(ship's Speed in knot)
γ	=	8	(skew's angle of propeller)
Z_B	=	2.4	(height of wheelhouse deck above weather deck)
X_F	=	24.5	(distance of deckhouse front bulkhead from aft edge of stern)
D	=	3074.36	(maximum displacement of ship)
$d_{0,9}$	=	0.641118	
$d_{0,9}$ aktual kapal	=	0.721	memenuhi rules BKI

DAFTAR PUSTAKA

- Angka, P.R. (1994). *Pemecahan TSP (Travelling Salesperson Problem) dengan Jaringan Neural Hopfield*. Retrieved December 2015, from <http://www.digilib.ui.ac.id/opac/themes/libri2/detail.jsp?id=81280&lokasi=lokal>
- Cook, William J. (2006). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton University Press.
- Eddy. (2009). *Penanganan Muatan Tanker*. Retrieved Mei 2015, from <http://www.noltime.com/penanganan-muatan-tanker.html>.
- Evans, P. J. (1959). *Ship Design Spiral*. TKI Maritiem.
- H Schneekluth, V. B. (1998). *Ship Design Efficiency and Economy, Second Edition*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Handoyo, B. (2010). ITS-Undergraduate. *Perancangan Kapal SPB Sebagai Sarana Transportasi Kayu di Kalimantan*.
- Manning. (1996). *Developmental Stability And Fitness*.
- Kab. Sorong, Papua Barat (2015). *Wikipedia Enseklopedia Indonesia*. Retrieved November 2015, from https://id.wikipedia.org/wiki/Kabupaten_Sorong
- Satriawan, Fahrizal Eka (2015). ITS-Undergraduate. *Studi Desain Self-Propelled Barge Untuk Angkutan CPO (Crude Palm Oil) Rute Kalimantan – Jawa*.

Tentang Penulis



Penulis bernama Nandika Bagus Prayoga, lahir di Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali pada tanggal 7 September 1993 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis lahir dari pasangan suami istri Bapak Otong Bagus Dhana dan Ibu Ni Putu Wiryadhi. Penulis sekarang bertempat tinggal di Jl. Anggrek no. 4 Denpasar, Bali. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD 2 Saraswati Denpasar pada tahun 2005, SMP Negeri 3 Denpasar lulus pada tahun 2008, SMA Negeri 1 Denpasar pada tahun 2011, sampai dengan penulisan skripsi ini penulis masih terdaftar sebagai mahasiswa S1 Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2016.