



TUGAS AKHIR - MN 091382

DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) DI KEPULAUAN KABUPATEN SUMENEP

Esa Ahmad A.K.A.
NRP. 4107 100 084

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

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014



FINAL PROJECT - MN 091382

**DESIGN SELF-PROPELLED OIL BARGE (SPOB) FOR FUEL OIL
DISTRIBUTION (BBM) ISLANDS IN THE DISTRICT SUMENEP**

Esa Ahmad A.K.A.
NRP. 4107 100 084

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

Department of Naval Architecture & Shipbuilding Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2014

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI
BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) DI KEPULAUAN KABUPATEN
SUMENEP**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ESA AHMAD A.K.A.

NRP. 4107 100 084

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



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

NIP. 19601202 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2014

LEMBAR REVISI

DESAIN *SELF-PROPELLED OIL BARGE* (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) DI KEPULAUAN KABUPATEN SUMENEP

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Pada Tanggal 10 Juli 2014

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

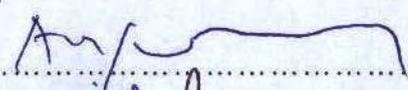
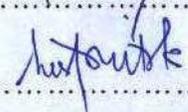
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ESA AHMAD A.K.A.

NRP. 4107 100 084

Disetujui oleh tim penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. : 
2. Ir Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. : 
3. Ir Mahardjo Wartono : 

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

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



SURABAYA, JULI 2014

DESAIN SELF-PROPELLED OIL BARGE (SPOB) UNTUK DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) DI KEPULAUAN KABUPATEN SUMENEP

Nama Mahasiswa : Esa Ahmad A.K.A.

NRP : 4107 10084

Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan

Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Sumenep merupakan sebuah kabupaten di provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kabupaten Sumenep selain terdiri wilayah daratan juga terdiri dari berbagai pulau di Laut Jawa. Pasokan BBM bagi Kepulauan Kabupaten Sumenep selama ini diangkut dengan menggunakan Kapal Layar Motor (KLM) berbahan kayu, Namun alat transportasi jenis ini dinilai tidak layak digunakan mengangkut BBM karena faktor keselamatan yang sering terabaikan, serta tidak bisa berlayar pada waktu-waktu tertentu. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif transportasi pengangkut BBM yang dinilai aman dan dapat memenuhi kebutuhan BBM di kepulauan sumenep sebagai pengganti KLM. Tugas akhir ini bertujuan untuk mendesain alat transportasi pengangkut BBM yaitu *Self-Propelled Oil Barge (SPOB)* untuk mendistribusikan BBM ke pulau-pulau di kabupaten Sumenep. Desain SPOB ini diawali dengan pengumpulan data yang kemudian diolah menjadi *owner requirement*. Dari *owner requirement* kemudian dilakukan perhitungan dan optimasi. Proses optimasi menggunakan *Solver* pada *Microsoft Excel* dengan *objective function* adalah biaya pembangunan kapal (*building cost*) yang paling minimum. Hasil optimasi adalah SPOB dengan panjang (L_{pp}) = 42,24 m, lebar (B) = 8,22 m, tinggi (H) = 3,20 m, sarat (T) = 2,18 m dan kecepatan dinas (V_s) = 8,14 knots dengan biaya pembangunan harga kapal sebesar Rp. 19.477.723.188,-. Dari data-data tersebut kemudian dibuat rencana garis dan rencana umum.

Kata kunci: bahan bakar minyak, desain kapal, Optimasi, *Self-Propelled Oil Barge*

DESIGN SELF-PROPELLED OIL BARGE (SPOB) FOR FUEL OIL DISTRIBUTION (BBM) ISLANDS IN THE DISTRICT SUMENEP

Name : Esa Ahmad A.K.A.
NRP : 4107 10084
Departement / Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Sumenep is one of East Java province regency, Indonesia. Sumenep other than the mainland it is also consists of various islands in the Java Sea. Supply of fuel to the Islands Sumenep been transported by Kapal layar Motor (KLM) made of wood, however this type of transport is unfeasible used transport fuel because safety factors often ignored, and could not sail at certain times. Hence needed alternative transportation for transporting bbm who are considered safe and fulfill the needs of BBM in kepulauan sumenep as a substitute for KLM. This Final project aims to design a transportation fuel carrier namely self-propelled Oil Barge (SPOB) to distribute fuel to the Islands in Sumenep. SPOB design begins with the collection of data that is then processed into owner's requirement. From owner requirement then do calculations and optimization. The optimization process using Solver in Microsoft Excel with the objective function is the cost of construction of the ship (building cost) the most minimum. The optimization of the results obtained with the length of SPOB (L_{pp}) = 42,24m, breadth (B) = 8.22m, height (H) = 3,20m, draft (T) = 2,18m and Speed (V_s) = 18,14knots with the building cost of the ship is Rp.19.477.723.188,-. From this data are then made Lines Plan and General Arrangement.

Keyword: *fuel oil, ship design, optimization, self-propeller oil barge*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “**Desain Self-Propelled Oil Barge (SPOB) Untuk Distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM) di Kepulauan Kabupaten Sumenep**”. Tugas ini dapat diselesaikan dengan baik berkat dukungan serta bantuan baik langsung maupun tidak langsung dari semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, ilmu dan arahan selama masa perkuliahan dan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua beserta seluruh keluarga penulis yang senantiasa memberikan semangat, do'a dan dukungan tiada henti kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan segala dukungan.
4. Seluruh Staf dan Dosen Jurusan Teknik Perkapalan yang telah memberikan ilmu bagi penulis selama masa perkuliahan.
5. Teman-teman TORTUGA P47, untuk persaudaraan, pertemanan dan dukungannya selama ini.
6. Semua pihak yang telah membantu penulis selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Sangat tidak bisa dipungkiri banyak sekali terdapat kekurangan pada penulisan Tugas Akhir ini karena terbatasnya kemampuan & waktu pengerjaan. Karena itu sangat tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini bila disempurnakan oleh penulis lain yang berminat pada topik serupa.

Akhir kata, Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya. Serta tidak lupa penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila terdapat kesalahan dalam laporan ini.

Surabaya, Juli 2014

Esa Ahmad A.K.A.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
HALAMAN PERUNTUKAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Bahan Bakar Minyak.....	7
2.1.1 Pengertian Bahan Bakar Minyak (BBM).....	7
2.1.2 Jenis-Jenis Bahan Bakar Minyak.....	7
2.2 Distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM).....	9

2.2.1	Alat Pengangkutan BBM.....	10
2.2.2	Fasilitas Penyimpanan BBM.....	13
2.3	Tongkang (<i>barge</i>).....	14
2.4	Desain.....	15
2.4.1	Concept Design.....	16
2.4.2	<i>Preliminary Design</i>	17
2.4.3	<i>Contract Design</i>	17
2.4.4	<i>Detail Design</i>	18
2.5	Perancangan Kapal Dengan Metode Optimisasi.....	18
2.5.1	Pengertian Optimisasi.....	18
2.5.2	Program Linear.....	21
2.5.3	Program Non-Linear.....	22
2.5.4	Klasifikasi Permasalahan Optimisasi.....	24
2.6	Model Optimasi Perencanaan Kapal.....	26
2.6.1	Konstanta Optimasi Perencanaan Kapal.....	26
2.6.2	Batasan Optimasi Perencanaan Kapal.....	28
2.6.3	Variabel Peubah Optimasi Perencanaan Kapal.....	29
2.6.4	Fungsi Tujuan Optimasi Perencanaan Kapal.....	30
BAB 3.	TINJAUAN DAERAH.....	31
3.1	Objek Penelitian.....	31
3.1.1	Luas Kabupaten Sumenep.....	31
3.1.2	Geografi.....	32
3.1.3	Wilayah Kepulauan Kabupaten Sumenep.....	32
3.2	Kependudukan.....	35
3.3	Kondisi Transpotasi Laut.....	36
3.3.1	Transportasi Laut Pulau Sapudi.....	37

3.3.2	Transportasi Laut Kepulauan Kangean.....	37
3.3.3	Transportasi Laut Kepulauan Sapeken.....	39
3.3.4	Transportasi Laut Kepulauan Masalembu.....	39
3.4	Rencana Rute Pelayaran.....	40
BAB 4.	METODOLOGI PENELITIAN.....	43
4.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	43
4.2	Tahap Pengumpulan Data.....	44
4.2.1	Owner Requirement.....	44
4.2.2	Kapal-kapal pembanding.....	44
4.3	Perhitungan Teknis.....	44
4.3.1	Penentuan ukuran utama kapal.....	45
4.3.2	Perhitungan Hambatan Total.....	45
4.3.3	Perhitungan Power Mesin.....	48
4.3.4	Perhitungan berat kapal.....	50
4.3.5	Perhitungan Titik Berat Kapal.....	54
4.3.6	Perhitungan Trim dan Stabilitas.....	56
4.3.7	Perhitungan <i>Freeboard</i>	61
4.3.8	Biaya Pembangunan Kapal/ <i>Capital Cost</i>	62
4.4	Optimasi.....	64
4.5	Ukuran Utama Optimum.....	65
4.6	Tahap Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum.....	66
4.7	Kesimpulan dan Saran.....	66
BAB 5.	ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	67
5.1	Owner Requirement.....	67
5.2	Data Kapal Pembanding.....	67

5.3	Hambatan	68
5.3.1	Hambatan Gesek	68
5.3.2	Hambatan Gelombang	68
5.3.3	Hambatan Total	69
5.4	Perhitungan Power Mesin	69
5.5	Berat dan Displacement Kapal	70
5.6	Perhitungan Titik berat	74
5.7	Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal	76
5.8	Optimasi	77
5.8.1	Model Optimasi	77
5.8.2	Langkah Optimasi	78
5.8.3	Hasil Optimasi	81
5.9	Rencana Garis	83
5.10	Rencana Umum	87
BAB 6.	KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1	Kesimpulan	91
6.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		93
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2-1 Pipa penyaluran BBM (http://www.forbes.com, 2014)</i>	10
<i>Gambar 2-2 Mobil Tangki BBM (http://www.tribunnews.com, 2014)</i>	11
<i>Gambar 2-3 Kereta api pengangkut BBM (http://semboyan35.com,2014)</i>	12
<i>Gambar 2-4 Kapal tanker (http://www.theage.com.au, 2014)</i>	12
<i>Gambar 2-5 Tangki timbun BBM (http://www.waspada.co.id, 2014)</i>	13
<i>Gambar 2-6 Floating Storage (www.mhi.co.jp, 2014)</i>	13
<i>Gambar 2-7 Self Propelled Oil Barge “Ratu Zulaikah”</i>	15
<i>Gambar 2-8 Diagram spiral design, Evans (1959)</i>	16
<i>Gambar 3-1 Peta wilayah Kecamatan Nonggunong, Gayam dan Raas (Sumenep, P.K. 2012)</i>	33
<i>Gambar 3-2 Peta kepulauan Kangean (Sumenep, P.K. 2012)</i>	34
<i>Gambar 3-3 Peta Masalembu (Sumenep, P.K. 2012)</i>	34
<i>Gambar 3-4 Pembagian wilayah kepulauan Kabupaten Sumenep</i>	35
<i>Gambar 3-5 rute pelayaran SPOB</i>	41
<i>Gambar 4-1 Diagram alir metodologi penelitian</i>	43
<i>Gambar 4-2 Grafik perkiraan biaya berat baja per ton</i>	63
<i>Gambar 4-3 Grafik perkiraan biaya outfit per ton</i>	63
<i>Gambar 4-4 Grafik perkiraan biaya permesianan per ton</i>	64
<i>Gambar 5-1 Tampilan Menu Microsoft Excel 2007 dengan Solver Add-In terinstall</i>	78
<i>Gambar 5-2 Tampilan Penentuan Constraint Pada Solver</i>	79
<i>Gambar 5-3 Tampilan Penentuan By Changing Cells Pada Solver</i>	79
<i>Gambar 5-4 Tampilan Penentuan Target Cell Pada Solve</i>	80
<i>Gambar 5-5 Tampilan dialog box solver ketika mendapatkan solusi</i>	80
<i>Gambar 5-6 Tampilan dialog box solver ketika tidak mendapatkan solusi</i>	81
<i>Gambar 5-7 Grafik rekapitulasi optimasi</i>	82

<i>Gambar 5-8 menu zero point (titik acuan) pada maxsurf</i>	83
<i>Gambar 5-9 menu Frame of Reference</i>	84
<i>Gambar 5-10 Tampilan parametic Transformation</i>	84
<i>Gambar 5-11 Table hydrostatic</i>	85
<i>Gambar 5-12 grid spacing</i>	86
<i>Gambar 5-13 tampilan 4 sudut pandang model pada maxsurf</i>	86
<i>Gambar 5-14 tampilan Rencana Garis Pada AutoCad</i>	87
<i>Gambar 5-15 layout ruangan crew pada Rencana Umum</i>	88
<i>Gambar 5-16 tampak samping Rencana Umum</i>	89

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2-1 konstanta optimasi desain</i>	27
<i>Tabel 2-2 Persyaratan Stabilitas kapal</i>	28
<i>Tabel 2-3 Variabel peubah dalam optimasi</i>	29
<i>Tabel 3-1 Jumlah penduduk wilayah kepulauan Kabupaten Sumenep (BPS,2012)</i>	36
<i>Tabel 3-2 pembagian titik ditribusi</i>	40
<i>Tabel 4-1 Jumlah muatan kapal tanker optimum</i>	44
<i>Tabel 4-2 Koefisien titik berat berbagai tipe kapal</i>	55
<i>Tabel 5-1 Data Kapal Pembanding</i>	67
<i>Tabel 5-2 Ukuran Utama Awal</i>	68
<i>Tabel 5-3Tampilan Model Optimasi</i>	78
<i>Tabel 5-4 Tampilan model Solver</i>	81
<i>Tabel 5-5 rekapitulasi hasil optimasi</i>	82
<i>Tabel 5-6 sarat maksimum yang diizinkan masuk dermaga/pelabuhan</i>	83

<i>Gambar 5-8 menu zero point (titik acuan) pada maxsurf</i>	83
<i>Gambar 5-9 menu Frame of Reference</i>	84
<i>Gambar 5-10 Tampilan parametic Transformation</i>	84
<i>Gambar 5-11 Table hydrostatic</i>	85
<i>Gambar 5-12 grid spacing</i>	86
<i>Gambar 5-13 tampilan 4 sudut pandang model pada maxsurf</i>	86
<i>Gambar 5-14 tampilan Rencana Garis Pada AutoCad</i>	87
<i>Gambar 5-15 layout ruangan crew pada Rencana Umum</i>	88
<i>Gambar 5-16 tampak samping Rencana Umum</i>	89

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2-1 konstanta optimasi desain</i>	27
<i>Tabel 2-2 Persyaratan Stabilitas kapal</i>	28
<i>Tabel 2-3 Variabel peubah dalam optimasi</i>	29
<i>Tabel 3-1 Jumlah penduduk wilayah kepulauan Kabupaten Sumenep (BPS,2012)</i>	36
<i>Tabel 3-2 pembagian titik ditribusi</i>	40
<i>Tabel 4-1 Jumlah muatan kapal tanker optimum</i>	44
<i>Tabel 4-2 Koefisien titik berat berbagai tipe kapal</i>	55
<i>Tabel 5-1 Data Kapal Pembanding</i>	67
<i>Tabel 5-2 Ukuran Utama Awal</i>	68
<i>Tabel 5-3Tampilan Model Optimasi</i>	78
<i>Tabel 5-4 Tampilan model Solver</i>	81
<i>Tabel 5-5 rekapitulasi hasil optimasi</i>	82
<i>Tabel 5-6 sarat maksimum yang diizinkan masuk dermaga/pelabuhan</i>	83

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat, selama ini Bahan Bakar Minyak, terutama untuk jenis Premium dan Solar masih merupakan sumber energi utama yang digunakan oleh masyarakat untuk mendukung berbagai aktifitas sehari-hari. Dalam hal ini proses distribusi mempunyai peran penting dalam rangka memenuhi kebutuhan akan Bahan Bakar Minyak. Bisa dikatakan BBM merupakan penggerak roda ekonomi masyarakat, gangguan terhadap ketersediaan BBM dapat mengganggu roda perekonomian masyarakat mengingat pentingnya fungsi dari BBM bagi masyarakat.

Secara geografis wilayah kepulauan merupakan wilayah yang jauh dari pusat distribusi BBM, hal ini menimbulkan banyak kendala terutama bertambahnya rantai distribusi yakni distribusi menggunakan moda transportasi laut. Masalah lainnya adalah belum adanya model pengangkutan BBM yang sesuai dengan karakteristik wilayah kepulauan yang secara geografis jauh dari pusat distribusi BBM, sehingga perlu adanya solusi terhadap masalah terkait pendistribusian BBM sehingga kegiatan penyaluran BBM untuk wilayah kepulauan dapat berjalan lancar, dan kelangkaan yang diakibatkan oleh tersendatnya distribusi BBM pada waktu-waktu tertentu belum bisa dihindari. Wilayah kepulauan yang akan menjadi pokok bahasan dalam Tugas Akhir ini adalah wilayah kepulauan di Kabupaten Sumenep dimana selama ini di wilayah tersebut sering terjadi kelangkaan BBM.

Sumenep merupakan sebuah kabupaten di provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kabupaten ini memiliki luas wilayah 2.093,45 km² dan populasi ±1 juta jiwa. Kabupaten ini terletak di ujung timur Pulau Madura. Kabupaten Sumenep selain terdiri wilayah daratan juga terdiri dari berbagai pulau di Laut Jawa, yang keseluruhannya berjumlah 126 pulau. Jumlah pulau berpenghuni di Kabupaten Sumenep hanya 48 pulau atau 38%, sedangkan pulau yang tidak berpenghuni sebanyak 78 pulau atau 62%. Wilayah kabupaten kepulauan Sumenep sebenarnya memiliki potensi sumber daya alam yang tinggi, seperti adanya sumur-sumur minyak dan barang tambang lainnya. Untuk kepulauan Kangean sendiri sudah diwacanakan untuk menjadi kabupaten terlepas dari kabupaten Sumenep. Namun, hal tersebut tidak didukung dengan

adanya sarana dan prasarana distribusi logistik yang baik sehingga sering terjadi kelangkaan bahan pangan dan BBM.

Pasokan BBM bagi Kepulauan Kabupaten Sumenep selama ini diangkut dengan menggunakan Kapal Layar Motor (KLM) berbahan kayu, Namun alat transportasi jenis ini dinilai tidak layak digunakan mengangkut BBM karena faktor keselamatan yang sering terabaikan, serta tidak bisa berlayar pada waktu-waktu tertentu. Kebutuhan masyarakat akan distribusi BBM tidak dapat ditunda namun demikian aspek keselamatan juga tidak boleh diabaikan, sehingga perlu adanya suatu langkah nyata untuk memecahkan masalah tersebut. Pada tugas akhir sebelumnya yang berjudul “Model Konseptual Perencanaan Transportasi Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk Wilayah Kepulauan (studi kasus: Kepulauan Kabupaten Sumenep) telah dibahas perencanaan transportasi BBM untuk kepulauan sumenep dan alat transportasi yang direncanakan adalah tanker (ghulam, 2013). Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengembangan tentang desain *self-propeller oil barge* (SPOB) untuk distribusi BBM di kepulauan kabupaten Sumenep.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

- Bagaimana mengetahui ukuran utama SPOB yang sesuai dalam memenuhi BBM kepulauan Kabupaten Sumenep?
- Bagaimana memperoleh desain SPOB yang sesuai dengan ukuran utama yang telah didapat?

1.3 Tujuan

Tujuan utama yang ingin dicapai dari penulisan tugas akhir ini adalah memperoleh desain *self-propeller oil barge* (SPOB) untuk distribusi bahan bakar minyak (BBM) di Kepulauan Kabupaten Sumenep.

Untuk mencapai hal tersebut di butuhkan tujuan-tujuan khusus antara lain:

- Menentukan ukuran utama optimum SPOB yang dapat mengangkut kebutuhan BBM masyarakat kepulauan Sumenep.
- Membuat rencana garis SPOB
- Membuat rencana umum SPOB

1.4 Manfaat

- Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan pendidikan di Indonesia.
- Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan SPOB (*Self-Propelled Oil Barge*) untuk distribusi BBM (Bahan Bakar Minyak) wilayah kepulauan khususnya Kepulauan Sumenep.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

- Objek Penelitian hanya dilakukan di kawasan kepulauan di Kabupaten Sumenep, Jawa Timur
- Distribusi tidak mencakup semua pulau secara spesifik, hanya terbatas pada pulau tertentu yang dianggap mewakili.
- Jenis bahan bakar minyak (BBM) yang didistribusikan adalah Premium, dan Solar.
- Hanya membahas tentang desain kapal (SPOB) dan sampai menghasilkan *Lines Plan* dan *General Arrangement* saja.
- Fasilitas pelabuhan tujuan diasumsikan dapat melakukan bongkar muatan dari SPOB

1.6 Hipotesis

Dugaan awal saya dari Tugas Akhir ini adalah :

Dengan melakukan perhitungan optimasi menggunakan solver, maka akan didapatkan ukuran utama SPOB yang sesuai dengan kebutuhan BBM kepulauan Kabupaten Sumenep sehingga dapat membantu kelancaran dalam proses distribusi BBM dengan aman serta memenuhi dari segi keselamatan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan yang disusun untuk pengerjaan tugas akhir Desain SPOB ini adalah, sebagai berikut :

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

ABSTRACT

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab Pendahuluan ini menjelaskan tentang konsep dasar dari tugas akhir ini. ysitu berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan dari tugas akhir, manfaat tugas akhir bagi penulis maupun pembaca, hipotesis awal tugas akhir, batasan masalah yang ditentukan oleh penulis, serta sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang teori yang berhubungan dengan desain SPOB dengan muatan BBM (bensin dan solar), dasar perhitungan perancangan kapal serta optimasi ukuran utama.

BAB 3 TINJAUAN DAERAH

Dalam bab ini akan dibahas mengenai penjelasan umum tentang kondisi geografis dan karakteristik perairan di wilayah Kepulauan kabupaten Sumenep.

BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai metode-metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini serta urutan kerja dan langkah pengerjaan yang dibuat dalam bentuk flow chart atau diagram alir untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB 5 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai analisis teknis desain SPOB yang dimulai dari penentuan desain awal, ukuran utama awal kapal, perhitungan hambatan dan daya mesin, LWT, DWT, perhitungan batasan sampai kepada ukuran utama optimum, rencana garis (lines plan) dan rencana umum (general arrangement) dengan biaya pembangunan yang minimum. Pembuatan lines plan dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf, sedangkan pembuatan *general arrangement* menggunakan *software* AutoCAD dengan acuan *lines plan* yang didapat sebelumnya.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini akan diberikan kesimpulan-kesimpulan yang didapat, dimana kesimpulan-kesimpulan tersebut menjawab permasalahan yang ada dalam tugas akhir ini, antara lain desain awal SPOB, ukuran utama yang optimum, hasil lines plan dan rencana umum, serta harga pembangunan kapal yang minimum. Bab ini juga berisi saran-saran penulis sebagai tindak lanjut dari permasalahan yang dibahas serta untuk pengembangan materi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar Minyak

2.1.1 Pengertian Bahan Bakar Minyak (BBM)

Bahan bakar minyak atau BBM adalah salah satu jenis bahan bakar yang diperoleh dari hasil penyulingan Minyak Bumi. Minyak Bumi merupakan hasil proses alami berupa hidrokarbon yang dalam kondisi tekanan dan temperatur atmosfer berupa fasa cair atau padat, termasuk aspal, lilin mineral atau ozokerit, dan bitumen yang diperoleh dari proses penambangan.

2.1.2 Jenis-Jenis Bahan Bakar Minyak

Ada beberapa jenis BBM yang dikenal di Indonesia, di antaranya adalah:

(<http://www.bphmigas.go.id>, 2013)

1) *Avgas (Aviation Gasoline)*

Bahan Bakar Minyak ini merupakan BBM jenis khusus yang dihasilkan dari fraksi minyak bumi. Avgas didisain untuk bahan bakar pesawat udara dengan tipe mesin sistem pembakaran dalam (internal combustion), mesin piston dengan sistem pengapian. Performa BBM ini ditentukan dengan nilai octane number antara nilai dibawah 100 dan juga diatas nilai 100. Nilai *octane* jenis Avgas yang beredar di Indonesia memiliki nilai 100/130.

2) *Avtur (Aviation Turbine)*

Bahan Bakar Minyak ini merupakan BBM jenis khusus yang dihasilkan dari fraksi minyak bumi. Avtur didisain untuk bahan bakar pesawat udara dengan tipe mesin turbin (external combustion). performa atau nilai mutu jenis bahan bakar avtur ditentukan oleh karakteristik kemurnian bahan bakar, model pembakaran turbin dan daya tahan struktur pada suhu yang rendah.

3) Bensin

Jenis Bahan Bakar Minyak Bensin merupakan nama umum untuk beberapa jenis BBM yang diperuntukkan untuk mesin dengan pembakaran dengan pengapian. Di Indonesia terdapat beberapa jenis bahan bakar jenis bensin yang memiliki nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ini dihitung berdasarkan nilai RON (Randon Otcane Number). Berdasarkan RON tersebut maka BBM bensin dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

a) Premium (RON 88) :

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (dye). Penggunaan premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti : mobil, sepeda motor, motor tempel dan lain-lain. Bahan bakar ini sering juga disebut motor *gasoline* atau *petrol*.

b) Pertamax (RON 92) :

Ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (unleaded). Pertamax juga direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi diatas tahun 1990 terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *electronic fuel injection* dan *catalytic converters*.

c) Pertamax Plus (RON 95)

Jenis BBM ini telah memenuhi *standar performance International World Wide Fuel Charter (WWFC)*. Ditujukan untuk kendaraan yang berteknologi mutakhir yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan. Pertamax Plus sangat direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi ratio > 10,5 dan juga yang menggunakan teknologi *Electronic Fuel Injection (EFI)*, *Variable Valve Timing Intelligent (VVTI)*, *(VTI)*, *Turbochargers* dan *catalytic converters*.

4) Minyak Tanah (Kerosene)

Minyak tanah atau *kerosene* merupakan bagian dari minyak mentah yang memiliki titik didih antara 150 °C dan 300 °C dan tidak berwarna. Digunakan selama bertahun-tahun sebagai alat bantu penerangan, memasak, water heating, dan lain-lain. Umumnya merupakan pemakaian domestik (rumahan), usaha kecil.

5) Minyak Solar (HSD)

High Speed Diesel (HSD) merupakan BBM jenis solar yang memiliki angka performa *cetane number* 45, jenis BBM ini umumnya digunakan untuk mesin transportasi mesin diesel yang umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*) dan *electronic injection*, jenis BBM ini diperuntukkan untuk jenis kendaraan bermotor transportasi dan mesin industri.

6) Minyak Diesel (MDF)

Minyak Diesel adalah hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam yang *berbentuk* cair pada temperatur rendah. Biasanya memiliki kandungan sulfur yang rendah

dan dapat diterima oleh Medium Speed Diesel Engine di sektor industri. Oleh karena itulah, diesel oil disebut juga *Industrial Diesel Oil* (IDO) atau *Marine Diesel Fuel* (MDF).

7) Minyak Bakar (MFO)

Minyak Bakar bukan merupakan produk hasil destilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel. Pemakaian BBM jenis ini umumnya untuk pembakaran langsung pada industri besar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk steam power station dan beberapa penggunaan yang dari segi ekonomi lebih murah dengan penggunaan minyak bakar. Minyak Bakar tidak jauh berbeda dengan *Marine Fuel Oil* (MFO)

8) Biodiesel

Jenis Bahan Bakar ini merupakan alternatif bagi bahan bakar diesel berdasar-petroleum dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak nabati atau hewan. Secara kimia, ia merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran *monoalkyl ester* dari rantai panjang asam lemak. Jenis Produk yang dipasarkan saat ini merupakan produk biodiesel dengan campuran 95 % *diesel petroleum* dan mengandung 5 persen CPO yang telah dibentuk menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME)

9) Pertamina Dex

Adalah bahan bakar mesin diesel modern yang telah memenuhi dan mencapai standar emisi gas buang EURO 2, memiliki angka performa tinggi dengan *cetane number* 53 keatas, memiliki kualitas tinggi dengan kandungan sulfur di bawah 300 ppm, jenis BBM ini direkomendasikan untuk mesin diesel teknologi injeksi terbaru (*Diesel Common Rail System*), sehingga pemakaian bahan bakarnya lebih irit dan ekonomis serta menghasilkan tenaga yang lebih besar.

Dari berbagai jenis BBM di atas, yang paling banyak digunakan oleh masyarakat luas dalam keseharian khususnya di Indonesia adalah Premium, Solar (Transportasi).

2.2 Distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM)

Distribusi bahan bakar minyak (BBM) dari produsen ke konsumen dapat melalui jalur distribusi yang panjang atau pendek, tergantung jarak lokasi antara produsen dan konsumennya. Jarak lokasi antara produsen BBM dengan konsumen akhir juga menjadikan model dan media pendistribusiannya berbeda-beda.

Bahan bakar minyak (BBM) yang dihasilkan oleh perusahaan penambang dan pengolah minyak mula-mula ditampung dalam tangki-tangki penampungan yang terdapat di kilang-kilang milik perusahaan penambangan tersebut. Selanjutnya, minyak disalurkan ke wilayah penyaluran antara (intermediate) berupa depot-depot BBM diteruskan ke stasiun akhir yang biasa disebut Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) atau Agen Premium Minyak dan Solar (APMS). Untuk penyaluran dari pusat penampungan ke depot dan dari depot ke stasiun akhir, umumnya digunakan alat transportasi (berupa kapal laut, kereta api, atau truk tangki) atau disalurkan secara langsung melalui pipa saluran dengan pemompaan (Jenkins, 1992).

2.2.1 Alat Pengangkutan BBM

Jenis alat pengangkut BBM yang antara lain :

1) Pipa Penyaluran

Penyaluran BBM dengan menggunakan pipa belum banyak terdapat di Indonesia, namun di luar negeri penyaluran minyak dengan menggunakan pipa banyak sekali dijumpai terutama di negara-negara timur tengah dan Eropa.



Gambar 2-1 Pipa penyaluran BBM (<http://www.forbes.com>, 2014)

2) Mobil Tanki

Mobil tangki minyak ini digunakan untuk distribusi jalur darat dari depo menuju ke Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) atau Agen Premium Minyak dan Solar (APMS), untuk distribusi menuju SPBU biasanya digunakan truk dengan kapasitas 8000

liter, sedangkan untuk APMS menggunakan truk yang lebih kecil. Selain itu juga digunakan untuk pengiriman kepada konsumen industri.

Mobil tangki juga digunakan untuk transportasi BBM dari Depo menuju stasiun kereta api untuk kemudian diangkut dengan menggunakan kereta api khusus pengangkut BBM. Juga dari stasiun tujuan pengiriman menuju ke konsumen.



Gambar 2-2 Mobil Tangki BBM (<http://www.tribunnews.com>, 2014)

3) Kereta api

Angkutan BBM dengan menggunakan kereta api di Indonesia terutama dilakukan di Pulau Sumatera dan di Pulau Jawa, BBM yang diangkut. Selain jenis premium dan solar, masih ada juga muatan kerosin (minyak tanah) dan avtur (bahan bakar untuk pesawat).

Untuk pengangkutan BBM dengan kereta api ini terdapat kerjasama angkutan BBM antara PT Pertamina Tbk dengan PT Kereta Api Indonesia (Persero), sebagian besar operasional KA BBM di Pulau Jawa berada di wilayah Daop V Purwokerto, Daop VI Yogyakarta dan Daop VIII Surabaya.



Gambar 2-3 Kereta api pengangkut BBM (<http://semboyan35.com>,2014)

4) Moda Transportasi Laut

Pada pengiriman skala besar, BBM diangkut dengan menggunakan kapal Tanker terutama untuk pengangkutan antar pulau, selain itu juga digunakan tongkang dan mini tanker untuk skala yang lebih kecil, Untuk skala konsumsi masyarakat kepulauan biasanya BBM diangkut dengan kapal-kapal Pelayaran Rakyat (Pelra), BBM yang akan dikirim terlebih dahulu dimasukkan kedalam drum-drum sebelum dimuat ke atas kapal untuk dikirim ke wilayah tujuan.



Gambar 2-4 Kapal tanker (<http://www.theage.com.au>, 2014)

2.2.2 Fasilitas Penyimpanan BBM

Fasilitas Penyimpanan BBM antara lain:

1) Tangki Timbun/Depo;

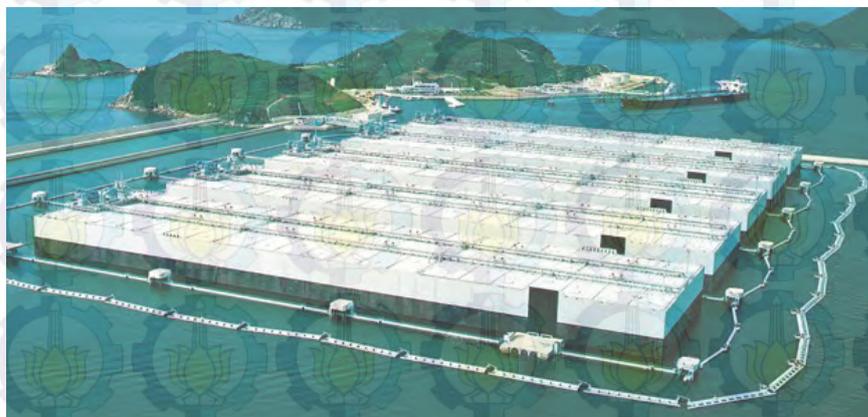
Tangki timbun adalah tangki besar tempat menimbun minyak sebelum minyak itu disalurkan atau dipindahkan ke tempat lain.



Gambar 2-5 Tangki timbun BBM (<http://www.waspada.co.id>, 2014)

2) Tangki Penyimpanan Terapung (*Floating Storage*)

Floating Storage adalah fasilitas penampungan BBM yang terapung dilaut.



Gambar 2-6 Floating Storage (www.mhi.co.jp, 2014)

2.3 Tongkang (*barge*)

Tongkang atau Barge 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.

Ponton digunakan juga untuk mengangkut mobil menyeberangi sungai, didaerah yang belum memiliki jembatan. Sangat banyak digunakan pada tahun 1960an hingga 1980an di jalur lintas Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua. Sekarang sebagian besar sudah digantikan dengan jembatan.

Untuk keperluan wisata, ponton juga masih digunakan. Untuk meningkatkan kestabilan kapal biasanya digunakan dua ponton yang digabungkan secara paralel. 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. Di Indonesia tongkang banyak diproduksi di daerah Batam (Kepulauan Riau) yang merupakan salah satu basis produksi perkapalan di Indonesia. [www.wikipedia.com].

Jenis tongkang ada 2 yaitu tongkang yang tidak memiliki sistem pendorong (propulsi) dan tongkang dengan sistem pendorong sendiri. Untuk tongkang yang tidak memiliki pendorong ini biasa digerakan dengan ditarik atau didorong kapal tunda (tugboat). Sedangkan tongkang ber-propulsi (*Self-Propelled Barge*) memiliki mesin sendiri yang menstransmisikan daya ke propeller sehingga menghasilkan daya dorong, seperti kapal pada umumnya, tongkang jenis ini mempunyai bentuk haluan dan buritan seperti kapal pada umumnya akan tetapi pada bagian lambung cenderung lebih gemuk dan mempunyai kapasitas ruang muat lebih lega. Dari segi biaya pembangunan, SPB mempunyai biaya pembangunan yang lebih rendah 1/3 kali dari kapal bulk carier [Harryadi Mulya, 2006].

Self Propelled Oil Barge (SPOB) adalah jenis kapal dengan lambung datar (*barge*) yang digunakan untuk mengangkut minyak dan mempunyai pendorong sendiri tanpa perlu di tarik atau di dorong tugboat.



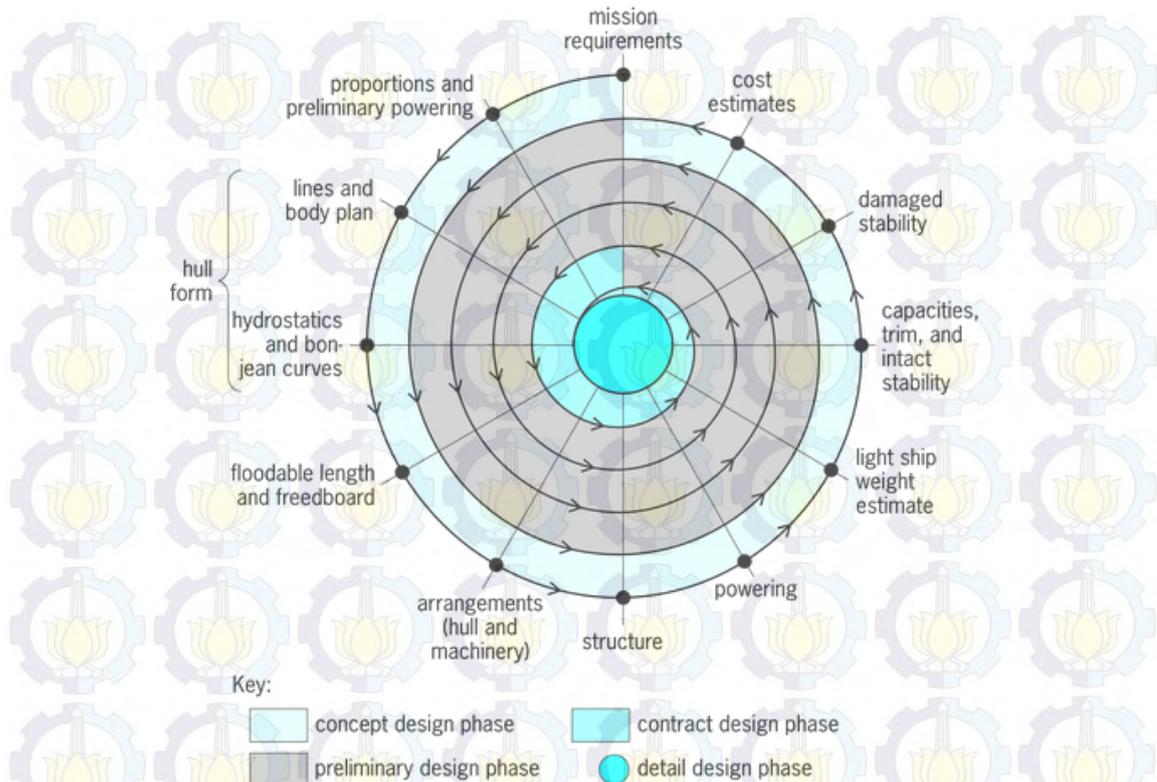
Gambar 2-7 Self Propelled Oil Barge “Ratu Zulaikah”

(<http://www.armadasamudraglobal.com>, 2014)

2.4 Desain

Menurut Evans (1959), Proses desain kapal adalah proses yang panjang dan berulang atau biasa disebut spiral desain. Ketika pengembangan desain, berbagai analisis dilakukan secara berulang untuk mendapatkan detail yang maksimal. Evans membagi proses desain menjadi 4 bagian yaitu

1. *Concept Desain*
2. *Preliminary Design*
3. *Contract Design*
4. *Detail Design*



Gambar 2-8 Diagram spiral design, Evans (1959)

2.4.1 Concept Design

Concept design adalah tahap pertama dalam proses desain yang menterjemahkan *mission requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan-ketentuan dasar dari kapal yang akan direncanakan (Evans, 1959). Dibutuhkan TFS (*Technical Feasibility Study*) sehingga menghasilkan ukuran utama seperti panjang, lebar, tinggi, sarat, *finnes* dan *fullness power*, karakter lainnya dengan tujuan untuk memenuhi kecepatan, *range (endurance)*, kapasitas, *deadweight*. Termasuk juga memperkirakan *preliminary lightship weight*, yang pada umumnya diambil dari rumus pendekatan kurva maupun pengalaman-pengalaman. Hasil-hasil pada *concept design* digunakan untuk mendapatkan perkiraan biaya konstruksi.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam melakukan *concept design* adalah :

- a. Stabilitas utuh (*intact stability*) dan *damage stability* kapal
- b. Kemampuan kapal dalam mengatasi kebocoran dan pengendaliannya
- c. Sarana dan perencanaan evakuasi/simulasi evakuasi
- d. Alternatif desain dan perencanaan ruang/studi keselamatan
- e. Kenyamanan penumpang

f. *Maneuverability*

g. Hambatan kapal dan propulsi kapal

h. Penghematan energi

Langkah langkah pada *concept design* adalah sebagai berikut:

- a) Membandingkan beberapa kapal sejenis yang telah ada guna klasifikasi biaya untuk kapal baru.
- b) Mengidentifikasi semua perbandingan desain utama.
- c) Memilih proses iterasi yang akan menghasilkan desain yang memungkinkan.
- d) Membuat ukuran yang sesuai (analisis ataupun subyektif) untuk desain.
- e) Mengoptimasi ukuran utama kapal dan detail kapal

2.4.2 Preliminary Design

Setelah langkah *concept design* selesai menurut Evans,(1959) adalah mengecek kembali ukuran dasar kapal yang dikaitkan dengan *performance* pemeriksaan ulang terhadap panjang, lebar, daya mesin, *deadweight* yang diharapkan tidak banyak merubah pada tahap ini. Hasil diatas merupakan dasar dalam pengembangan rencana kontrak dan spesifikasi. Tahap preliminary *design* ditandai dengan beberapa langkah-langkah sebagai berikut:

1. Melengkapi bentuk lambung kapal
2. Pengecekan terhadap analisis detail struktur kapal
3. Penyelesaian bagian interior kapal
4. Perhitungan stabilitas dan hidrostatis kapal
5. Mengevaluasi kembali perhitungan tahanan, *powering* maupun *performance* kapal
6. Perhitungan berat kapal secara detail dalam hubungannya dengan penentuan sarat dan trim kapal
7. Perhitungan biaya secara menyeluruh dan detail

2.4.3 Contract Design

menurut Evans (1959), Langkah-langkah *contract design*, meliputi satu, dua atau lebih putaran dari desain spiral, oleh karena itu mungkin terjadi perbaikan hasil-hasil *preliminary design*. Tahap merencanakan/menghitung lebih teliti *hull form* (bentuk badan kapal) dengan memperbaiki *lines plan*, tenaga penggerak dengan menggunakan *model test*, *seakeeping* dan karakteristik *maneuvering*, pengaruh jumlah *propeller* terhadap badan kapal, detail konstruksi,

pemakaian jenis baja, jarak dan tipe gading. Pada tahap ini dibuat juga estimasi berat dan titik berat yang dihitung berdasarkan posisi dan berat masing-masing item dari konstruksi. *General Arrangement detail* dibuat juga pada tahap ini. Kepastian kapasitas permesinan, bahan bakar, air tawar dan ruang-ruang akomodasi. Kemudian dibuat spesifikasi rencana standart kualitas dari bagian badan kapal serta peralatan. Juga uraian mengenai metode pengetesan dan percobaan sehingga akan didapatkan kepastian kondisi kapal yang sebaiknya.

2.4.4 Detail Design

Evans, (1959) menyatakan tahap akhir perencanaan kapal adalah pengembangan detail gambar kerja. Hasilnya dari langkah ini adalah berisi petunjuk/instruksi mengenai instalasi dan detail konstruksi kepada tukang pasang (*fitter*), tukang las (*welder*), tukang perlengkapan (*outfitter*), tukang pelat, penjual mesin, tukang pipa dan lain-lainnya. Langkah ini perubahan dari *engineer* (ahli teknik) untuk tukang, oleh karena itu tidak bisa diinterpelasikan (dirubah). Pada proses perencanaan, pengaturan dan pendeskripsian proses desain kapal, suatu perbedaan antara *Level I (Total Ship)* desain dan *Level II (Ship System)* desain. *Level I* desain berhubungan dengan sintesa dan analisis dari atribut total kapal seperti bentuk lambung dan rencana umum (*General Arrangement*) dan perkiraan dari atribut total kapal seperti berat dan titik berat kapal. *Level II* desain berhubungan dengan sintesa dan analisis elemen utama kapal secara khusus seperti struktur, system propulsi, pembangkit dan distribusi listrik, *ship control*, navigasi dan sistem komunikasi dan juga sistem mekanik termasuk pipa dan HVAC (*heating, ventilation, air condition*) serta *outfitting*. Beberapa hasil pada level II desain merupakan input dari level I desain seperti hasil dari data berat, ketahanan, kebutuhan awak kapal, biaya dan resiko.

2.5 Perancangan Kapal Dengan Metode Optimisasi

2.5.1 Pengertian Optimisasi

Optimisasi adalah suatu proses untuk mendapatkan satu hasil yang relatif lebih baik dari beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu (Setijoprajudo, 1999). Pada dasarnya optimisasi adalah mencari titik maksimum atau minimum dari suatu fungsi. Caranya dengan mencari titik stasioner baik untuk fungsi 1 variabel maupun untuk fungsi dengan n variabel. Misalnya:

- fungsi tujuan dengan satu variabel $= f(X_1)$

- fungsi tujuan dengan n variabel $= f(X_1, X_2, \dots, X_n)$

Dalam proses optimisasi selalu melibatkan hal-hal dibawah ini (Setijoprajudo, 1999),

yaitu :

- a) Variabel adalah harga yang akan dicari dalam proses optimisasi.

Contoh : L, B, H, T, Diameter propeller, Ae/Ao dll

Jenis – jenis variabel adalah :

- Variabel tak bebas (*dependent variables*), yaitu variabel yang tidak dapat berdiri sendiri, melainkan berhubungan satu dengan yang lainnya.
- Variabel bebas, yaitu variabel yang dapat berdiri sendiri
- Variabel tunggal (uni-variable)
- Variabel ganda (multi-variables)
- Variabel kontinyu (continuous-variabel) yaitu variabel yang dapat mempunyai harga pada daerah yang sudah ditentukan
- Variabel tertentu (discrete variables) yaitu variabel yang dihitung untuk kondisi – kondisi tertentu

- b) Parameter adalah harga-harga yang tidak berubah besarnya selama satu kali proses optimisasi karena syarat-syarat tertentu (misal dari peraturan suatu ketetapan-ketetapan rule internasional lainnya) atau dapat juga suatu variable yang diberi harga tertentu. Harga tersebut dapat diubah setelah satu kali proses optimisasi untuk menyelidiki kemungkinan terdapatnya hasil yang lebih baik.

- c) Konstanta adalah harga yang tidak berubah besarnya selama proses optimisasi berlangsung tuntas.

Contoh : Berat jenis air, gravitasi bumi

- d) Batasan adalah harga-harga batas yang telah ditentukan baik perencana, pemesan, biro klasifikasi, peraturan keselamatan pelayaran, kondisi perairan, maupun oleh persyaratan-persyaratan lainnya.

Batasan yang merupakan persamaan biasanya ditulis :

$$h(x) = 0$$

Bentuk umum :

$$G_{\min}(x) < g(x) < g_{\max}(x)$$

Bentuk standar :

$$\text{Untuk } g_{\min} > 0, \text{ maka } G(x) = \frac{g(x)}{g_{\min}(x)} - 1 > 0$$

Contoh : $2,2 < H < 3,5$ m merupakan batasan yang diberikan oleh pemesan yang merupakan batas minimum dan batas maksimum tinggi kapal yang dapat bersandar pada dermaga pemesan.

e) Fungsi Obyektif adalah hubungan antara semua atau beberapa variable serta parameter yang harganya akan dioptimalkan. Fungsi tersebut dapat berupa linear atau kompleks serta bias juga gabungan dari beberapa fungsi obyektif yang lain.

Contoh : akan dibangun kapal dengan biaya paling murah. Maka biaya disini berfungsi sebagai fungsi obyektif yang diminimumkan.

1) Urutan Proses Optimisasi

Urutan dalam pelaksanaan proses optimisasi dapat diringkas sebagai berikut :

1. Mencari bentuk matematis.
 - a. Menentukan variabel dan parameter
 - b. Mencari hubungan antar variabel dan parameter
 - c. Mencari batasan untuk variabel
 - d. Memilih fungsi obyektif yang diinginkan

2) Metode Search

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana. Spesifikasi metode ini adalah:

1. Hanya berlaku untuk satu variabel
2. Fungsi tidak perlu harus diturunkan
3. Fungsi harus mempunyai harga nyata

Beberapa contoh penggunaan metode ini beserta keunggulan dan kekurangannya adalah:

1. *Exhaustive search*

a. Keunggulan

Dapat digunakan secara luas untuk bermacam – macam bentuk fungsi, baik unimodal maupun multimodal. Dapat memperkirakan titik maksimum maupun minimum secara bersamaan.

b. Kelemahan

Proses berjalan lambat, karena titik penyelidikan harus banyak untuk mendapatkan hasil yang akurat. Untuk fungsi dengan multimodal, hasil yang didapat relatif kurang akurat.

2. *Bisection search*

a. Keunggulan

Merupakan suatu proses iterasi. Fungsi tidak harus kontinyu. Sangat efektif untuk unimodal.

b. Kelemahan

Hanya untuk fungsi *unimodal*.

3. *Two point equal interval search*

a. Keunggulan

Lebih efektif daripada *exhaustive search*

b. Kelemahan

Lebih jelek dibandingkan *bisection search*

4. *Golden section search*

a. Keunggulan

Metode *search* terbaik

b. Kelemahan

Hanya untuk unimodal

2.5.2 Program Linear

Dalam perumusan program linear dilakukan beberapa asumsi yaitu :

1) Asumsi proporsional

Asumsi yang menyatakan bahwa apabila a_{ij} merupakan satuan bahan dasar i yang diperlukan dalam kegiatan j untuk memperoleh satu satuan hasil campuran, maka jika kita ingin mendapatkan x_j satuan hasil campuran ($x_j > 0$) dalam kegiatan j memerlukan $a_{ij}x_j$ satuan bahan dasar.

Contoh :

1 ton Hi-phosphate membutuhkan 2 ton bahan dasar I

2) Asumsi penjumlahan

Asumsi yang menyatakan bahwa jumlah seluruh bahan yang diperlukan sama dengan jumlah seluruh kebutuhan bahan dasar untuk semua kegiatan.

Contoh :

kegiatan 1 : 1 ton Hi-phosphate membutuhkan 2 ton bahan dasar I

kegiatan 2 : 1 ton Lo-phosphate dan X_2 ton Lo-phosphate dibutuhkan $(2X_1+2X_2)$ ton bahan dasar I, dimana $X_1 > 0$, $X_2 > 0$

3) Asumsi fungsi kontinyu

Asumsi yang menyatakan bahwa tiap variabel mempunyai harga nyata dalam fungsi yang kontinyu pada daerah yang dibatasi.

2.5.3 Program Non-Linear

Dalam mempelajari persoalan-persoalan *non linear*, ada tiga metode yang sering dipakai dan mudah dalam pemakainya serta hasilnya relatif lebih akurat. Prinsip kerja dari ketiga teori tersebut adalah memakai prinsip *searching* dengan menggunakan cara *trial and error*. Ketiga teori tersebut adalah :

1) Metode Hooke dan Jevs

Metode ini mempunyai dua pilihan cara penyelidikan yang memungkinkan untuk mempercepat penyelidikan atau pencarian harga optimum pada daerah suatu fungsi. Dua cara tersebut adalah :

a) *Local Pattern Search*

Pencarian harga optimum secara lokal biasanya ke arah empat penjuru pada daerah penyelidikan

b) *Global Pattern Search Moves*

Gerakan penyelidikan secara global setelah menemukan 2 titik dasar lokal *search* dengan langkah 2 yang telah ditetapkan terlebih dahulu

2) Metode Nelder dan Mead

Metode ini merupakan metode pertama yang memperkenalkan penggunaan (n+1) *cornered shape* (bentuk sudut) untuk n variabel pada persoalan-persoalan optimisasi dalam menyelidiki daerah penyelidikan. Sebagai contoh misalnya bila kita memiliki 2 variabel maka harus digunakan bentuk bidang segitiga, jika kita memiliki 4 variabel, maka harus dipakai bentuk segilima.

Bentuk sudut tersebut dinamakan bentuk simplek yang akan digerakkan dalam daerah penyelidikan menuju ke titik optimum dengan cara mengganti harga koordinat titik sudut bentuk tersebut dengan harga koordinat yang baru dari titik sudut bentuk tersebut juga.

Proses pelaksanaan metode ini melibatkan 3 operasi vektor, yaitu :

1. Reflection

Melaksanakan penyelidikan dengan mencerminkan bentuk simplek sebelumnya sepanjang arah yang berhasil atau memenuhi batasan untuk mempercepat proses.

2. Expansion

Melakukan penyelidikan dengan mengembangkan bentuk simplek sebelumnya menjadi p kali sepanjang arah yang berhasil atau memenuhi batasan untuk mempercepat proses. Pada operasi vektor ini terdapat koefisien *expansion* :

$$p = \frac{\text{jarak antara } X_c \text{ ke } X_o}{\text{jarak antar } X_h \text{ ke } X_o} > 1$$

- *Contraction* Melakukan penyelidikan dengan terbesar atau mengurangi bentuk simplek sebelumnya sepanjang arah yang berhasil atau memenuhi batasan untuk mempercepat proses. Pada operasi vektor ini terdapat koefisien *contraction* (c)

$$0 \leq c = \frac{\text{jarak antara } X_c \text{ ke } X_o}{\text{jarak antar } X_h \text{ ke } X_o} \leq 1$$

3) Metode *External Penalty Function*

Untuk mendapatkan harga optimum dari $F(x)$ dengan sebuah batasan, maka dapat digunakan cara yaitu dengan menganalisis harga $F(x)$ tersebut apakah keluar dari batasan atau tidak. Ada 2 macam *external penalty technique* yang dikembangkan oleh Zangwill yang menggunakan sebuah *artificial objective function* dengan menambahkan suatu *penalty term* pada fungsi aslinya yaitu :

$$P(x, r_k) = F(x) - r_k \sum_{j=1}^m \min(g_j(x), 0)$$

$$P(x, r_k) = F(x) + r_k \sum_{j=1}^m \min(g_j(x), 0)^2$$

a) Program *Separable*

Adalah suatu metode untuk memecahkan atau membagi suatu persoalan *non linear*, dimana fungsi obyektifnya atau batasannya atau keduanya *non linear* menjadi suatu persoalan yang *linear* seluruhnya dengan memakai metode perkiraan *linear* putus bersambung yaitu membagi fungsi *non linear* tersebut ke dalam beberapa segmen fungsi *linear*. Sebagai contoh adalah biaya produksi yang menurun dan pendapatan bersih yang meningkat.

Spesifikasi program separable adalah

- Fungsi objektif atau batasan atau kedua – duanya *non linear*
- Fungsi harus kontinu dengan perubahan gradien yang kecil
- Hanya digunakan untuk menganalisis persoalan nyata
- Fungsi objektif atau batasan merupakan gabungan dari fungsi – fungsi

2.5.4 Klasifikasi Permasalahan Optimisasi

Terdapat lebih dari 4000 solusi algoritma dalam berbagai masalah optimisasi (Arsham, 2001). Solusi algoritma yang telah dikenal dalam bentuk program matematis dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- *Linear Program*

Linear Programming berhubungan dengan masalah optimisasi dimana baik fungsi tujuan yang ingin dioptimalkan dan semua fungsi pembatasnya adalah *linear* terhadap *variable* keputusan.

- *Quadratic Program*

Quadratic Program merupakan kelas permasalahan optimisasi dengan fungsi obyektif berbentuk kuadrat.

- *Convex Program*

Merupakan kelas permasalahan optimisasi dengan fungsi obyektif berbentuk konveks.

- *Separable Program*

Merupakan kasus khusus dari *convex program* dimana fungsi obyektif dan fungsi pembatasnya merupakan fungsi yang terpisah.

- *Fractional Program*

Dalam klasifikasi ini fungsi obyektif dalam bentuk rasio dari dua fungsi

- *Global Optimization*

Tujuan dari optimisasi global adalah untuk menemukan solusi terbaik dari model keputusan bila terdapat multi solusi lokal

- *Non Convex Program*

Meliputi semua *non linear program* yang tidak memenuhi asumsi konveksitas.

Optimisasi dapat dijelaskan sebagai proses mencari kondisi yang memberikan nilai maksimum dari sebuah fungsi (Rao, 1996). Optimisasi adalah tindakan untuk mendapatkan hasil terbaik atas suatu keadaan tertentu yang diberikan. Sebuah optimisasi atau juga disebut pemrograman masalah matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Find } = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ sehingga meminimalkan nilai } f(x)$$

$$G_j(x) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$ij(x) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dimana :

x = *design vector*

x_1, x_2, \dots, x_n = *design variable*

$f(x)$ = *objective function*

$g_j(x)$ dan $ij(x)$ = *constraint* pertidaksamaan dan persamaan

Masalah diatas disebut *constrained optimization problem*.

Program optimisasi dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik ukuran utama kapal. Fungsi objektif yang dipakai disini adalah meminimalkan biaya pembangunan kapal, biaya investasi dan maksimal profit. Program optimisasi ini dijalankan dengan bantuan *software* Microsoft Excel.

2.6 Model Optimasi Perencanaan Kapal

Model optimasi perencanaan kapal bertujuan untuk menemukan karakter kapal dari segi ukuran utama, kecepatan kapal dan *payload*. Dimana nilai-nilai tersebut menghasilkan nilai optimum pada unit biaya terkecil (*minimum cost*). Dalam proses optimasi terdapat 5 (lima) bagian utama yaitu parameter, konstanta, batasan, variabel peubah, dan fungsi tujuan. Proses optimasi ini menggunakan metode GRG-Nonlinear (Dharma, 2009).

2.6.1 Konstanta Optimasi Perencanaan Kapal

Dalam proses optimasi ukuran utama kapal terdapat beberapa konstanta yang digunakan dalam proses optimasi. Konstanta ini digunakan untuk pengerjakan teknis. Penjelasan dari konstanta optimasi perencanaan kapal adalah sebagai berikut (Dharma, 2009):

1) Massa Jenis Air Laut

Konstanta massa jenis air laut diketahui sebesar $1,025 \text{ ton/m}^3$. Nilai ini digunakan dalam proses konversi antara volume dengan *Displacement* kapal.

2) Massa jenis air tawar

Konstanta massa jenis air tawar diketahui sebesar 1 ton/m^3 . Nilai ini digunakan

untuk proses konversi antara kemampuan angkut kapal pembanding yang mengangkut minyak dengan kebutuhan daya angkut air.

3) Berat jenis bahan bakar dan minyak lumas

Konstanta berat jenis bahan bakar digunakan untuk konversi berat bahan bakar terhadap kebutuhan ruang bahan bakar diatas kapal. Besarnya konstanta tersebut untuk MDO adalah $0,85 \text{ ton/m}^3$, untuk MFO adalah $0,85 \text{ ton/m}^3$ dan minyak lumas sebesar $0,92 \text{ ton/m}^3$.

4) Gaya Gravitasi

Konstanta gaya gravitasi bumi diketahui sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$. Nilai ini digunakan untuk menghitung *froude number* dan konversi satuan hambatan dalam analisa teknis desain kapal.

5) Massa Jenis Baja

Konstanta massa jenis baja digunakan untuk mengitung berat kapal beserta perlengkapannya.

Tabel 2-1 konstanta optimasi desain

Konstanta			
Item	Unit	Symbol	Value
Massa Jenis Air Laut	ton/m^3	ρ air laut	1,025
Massa Jenis Air Tawar	ton/m^3	ρ air tawar	1
Massa Jenis Bahan Bakar (MFO)	ton/m^3	ρ mfo	0,85
Massa Jenis Bahan Bakar (MDO)	ton/m^3	ρ mdo	0,85
Massa Jenis Minyak Pelumas	ton/m^3	ρ lub	0,92
Gaya Gravitasi	m/s^2	g	9,81
Massa Jenis Baja	kg/m^3	ρ baja	7.850

2.6.2 Batasan Optimasi Perencanaan Kapal

Batasan yang digunakan dalam optimisasi desain merupakan batasan teknis terkait dengan desain kapal. Hal ini dikarenakan dalam proses perancangan sebuah kapal harus memperhatikan beberapa aspek kunci sehingga didapat ukuran utama kapal yang efisien dan memberikan standar keamanan dalam proses operasinya. Penjelasan dari batasan optimisasi desain adalah sebagai berikut :

1) Stabilitas

Persyaratan stabilitas ini sudah dibahas pada sub bab 2.8.6.

Tabel 2-2 Persyaratan Stabilitas kapal

Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0°	m	MG_0	0,15
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^{\circ}$	m	LS_{30}	0,2
	Sudut kemiringan pada LS maksimum	deg	LS_{maks}	25
	Lengan dinamis pada 30°	m.rad	Ld_{30}	0,055
	Lengan dinamis pada 40°	m.rad	Ld_{40}	0,09
	Luas Kurva GZ antara $30^{\circ} - 40^{\circ}$	m.rad		0,03

2) *Freeboard*

Batasan *freeboard* mengacu pada regulasi International Load Line Convention tahun 1966

3) Gaya Apung

Batasan daya apung dapat diartikan sebagai kesesuaian antara *Displacement* sebagai akibat dari bentuk dan ukurannya dengan berat kapal itu sendiri. Berdasarkan daya apung ini muncul batasan pemuatan benda-benda diatas kapal hingga dapat dipastikan kapal tetap dapat mengapung dalam kondisi aman. Batasan selisih daya apung diberikan toleransi antara -0,5% sampai 0,5%. Rumusan matematis untuk batasan ini adalah :

$$99,5\%w \leq \Delta \leq 100,5\%w \quad (2.1)$$

Dimana w = Berat kapal kondisi muatan penuh (ton)

Δ = *Displacement* kapal (ton)

4) Trim

Kondisi trim diartikan sebagai selisih antara sarat depan kapal dengan sarat

belakang saat kondisi muatan kapal penuh. Batasan kondisi trim adalah maksimal sebesar 0,5% dari sarat kapal.

$$0\%T \leq Ta - Tf \leq 0.5\%T \quad (2.2)$$

Dimana : T = Sarat kapal kondisi muatan penuh (m)
 Ta = Sarat buritan(m)
 Tf = Sarat haluan (m)

5) Kapasitas Kapal

Batasan kapasitas kapal diberikan dengan pertimbangan bahwa perencanaan ruang muat tidak bisa dilakukan setepat mungkin terkait dengan kerumitan konstruksi kapal. Oleh karena itu besarnya selisih *payload* kapal diberi toleransi sebesar maksimal 110% dari kebutuhan.

$$100\%P \leq Hc \leq 110\%P \quad (2.3)$$

Dimana : P = *Payload*
 Hc = *Hold capacity* (kapasitas muat kapal)

2.6.3 Variabel Peubah Optimasi Perencanaan Kapal

Variabel peubah optimisasi perencanaan kapal diberikan dalam bentuk ukuran utama kapal, kecepatan kapal, dan *payload*. Dalam variabel peubah ini diberikan batasan nilai maksimal dan minimal untuk setiap variabel berdasarkan ukuran utama kapal pembanding.

Tabel 2-3 Variabel peubah dalam optimasi

Variabel Peubah						
	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max
Ukuran Utama	Panjang	m	L	34,00	...	48,00
	Lebar	m	B	7,00	...	10,00
	Tinggi	m	H	2,40	...	4,00
	Sarat	m	T	1,20	...	3,50
	Kecepatan	knots	Vs	8	...	10

2.6.4 Fungsi Tujuan Optimisasi Perencanaan Kapal

Fungsi tujuan optimisasi perencanaan kapal adalah meminimalkan biaya pengangkutan kapal BBM menuju kepulauan Kabupaten Sumenep pada tahun pertama. Hal ini dapat dilakukan dengan meminimalkan biaya investasi, biaya berlayar dan operasional kapal pengangkut BBM pada tahun pertama sesuai dengan batasan yang ada. Fungsi tersebut tergambar pada model matematis berikut:

Fungsi tujuan dari optimisasi desain ialah meminimalkan unit biaya distribusi BBM pada tahun pertama. Hal ini dapat dilakukan dengan meminimalkan biaya investasi dan operasional kapal pada tahun pertama sesuai dengan batasan yang ada. Fungsi tersebut tergambar pada model matematis berikut :

$$\min u = \sum_{f=0}^{f=2} \frac{Cc + Vc + Oc + CHc}{Q} \quad (2.4)$$

Dimana : u = Unit biaya produksi
 Cc = Capital cost
 Vc = Voyage cost
 Oc = Operational cost
 CH = Cargo Handling Cost
 Q = Jumlah Muatan yang diangkut.

BAB 3. TINJAUAN DAERAH

3.1 Objek Penelitian

Pada tugas akhir ini objek penelitian yang dipakai adalah Kabupaten Sumenep khususnya wilayah kepulauan. Kabupaten Sumenep yang berada diujung timur Pulau Madura merupakan wilayah yang unik karena terdiri wilayah daratan dengan pulau yang tersebar berjumlah 126 pulau (berdasarkan hasil sinkronisasi Luas Wilayah Kabupaten Sumenep) yang terletak di antara $113^{\circ}32'54''$ - $116^{\circ}16'48''$ Bujur Timur dan di antara $4^{\circ}55'$ - $7^{\circ}24'$ Lintang Selatan.

Kabupaten Sumenep dibatasi oleh Kabupaten Pamekasan untuk batas sebelah barat, Laut Jawa/Laut Flores untuk batas sebelah Timur, Selat Madura untuk batas sebelah selatan serta Laut Jawa untuk batas wilayah sebelah utara. Wilayah ini merupakan wilayah yang memiliki jumlah pulau terbesar diantara kabupaten yang ada di Madura yaitu 126 pulau dimana 48 diantaranya berpenghuni (Peraturan Bupati Sumenep Nomor 11 Tahun 2006).

3.1.1 Luas Kabupaten Sumenep

Berdasarkan kondisi geografis wilayahnya, Kabupaten Sumenep dapat dikelompokkan menjadi dua wilayah besar yaitu wilayah daratan dan wilayah kepulauan. Bagian daratan dengan luas 1.146,927065 Km² (54,79%) terbagi atas 17 Kecamatan, terdiri dari Kecamatan: Ambunten; Batang-batang; Batu Putih; Bluto; Dasuk; Dungkek; Ganding; Gapura; Guluk-guluk; Kalianget; Lenteng; Manding; Pasongsongan; Pragaan; Rubaru; Saronggi dan Sumenep. Bagian kepulauan dengan luas 946,530508 Km² (45,21%) terbagi atas 8 Kecamatan, terdiri dari Kecamatan : Arjasa; Gayam; Giligenteng; Masalembu; Nonggunong; Raas; Sapeken dan Talango.

Wilayah daratan Kabupaten Sumenep merupakan wilayah administratif yang terletak di Pulau Madura (Sumenep Daratan) sedangkan wilayah kepulauan merupakan wilayah administratif Kabupaten Sumenep yang terdiri dari pulau-pulau kecil yang tersebar di sebelah timur Pulau Madura. Pulau paling utara adalah Pulau Karamian yang terletak 115 mil laut dari Pelabuhan Kalianget sedangkan pulau paling timur adalah Pulau Sikala yang terletak 165 mil laut dari Pelabuhan Kalianget.

Berdasarkan Keputusan Bupati Sumenep Nomor 02 Tahun 2004 tentang Luas Wilayah Administrasi Pemerintahan Kabupaten Sumenep adalah 2.093,457573 Km² terdiri dari :

• Luas pemukiman	: 179,32	Km ²
• Luas persawahan	: 222,82	Km ²
• Luas hutan	: 423,96	Km ²
• Luas perkebunan/ladang	: 1.130,19	Km ²
• Luas pertambakan	: 59,07	Km ²
• Luas tanah kosong	: 14,68	Km ²
• Lain-lain	: 63,41	Km ² +
• Luas Total	: 2.093,46	Km²

3.1.2 Geografi

Wilayah daratan Kabupaten Sumenep terdiri dari 18 kecamatan yang membentang seluas 1.146,927065 km² atau 54,79% dari wilayah total. Sedangkan wilayah kepulauannya terdiri dari sembilan kecamatan yang memiliki luas wilayah 946,530508 km² atau 45,21% dari wilayah total Kabupaten Sumenep. Wilayah daratan meliputi Kecamatan Pragaan, Bluto, Saronggi, Sumenep, Batuan, Lenteng, Ganding, Guluk-Guluk, Pasongsongan, Ambunten, Rubaru, Dasuk, Manding, Batuputih, Gapura, Batang-Batang, Dungkek dan Kalianget.

3.1.3 Wilayah Kepulauan Kabupaten Sumenep

Sedangkan wilayah kepulauannya meliputi Kecamatan Giligenting, Talango, Nonggunong, Gayam, Raas, Arjasa, Kangayan, Sapeken dan Masalembu.

Berdasarkan jarak tempuh dari pusat pemerintahan Kabupaten Sumenep, wilayah kepulauan Sumenep dikelompokkan menjadi empat bagian yaitu :

1) Nonggunong, Gayam dan Raas.

Kecamatan Nonggunong, Gayam dan Raas merupakan daerah kepulauan yang cukup dekat dengan pusat pemerintahan daerah. Pelayaran menuju kecamatan Nonggunong/Gayam dapat ditempuh selama 2 jam sedangkan pelayaran menuju kecamatan Raas selama 4 jam. Sarana transportasi ke wilayah ini dilayani setiap hari

dengan kapal motor penumpang atau perahu layar motor yang *stand by* di dermaga Dungkak dan Pelabuhan Kalianget.

Untuk angkutan BBM ke pulau Sapudi (Kecamatan Nonggunong dan Kecamatan Gayam) dilayani oleh KLM Wahyu akbar, dan KLM Putra Muda. Sedangkan untuk angkutan BBM ke kecamatan Ra'as dilayani oleh KLM Famili Mandiri dan Sumber Usaha.



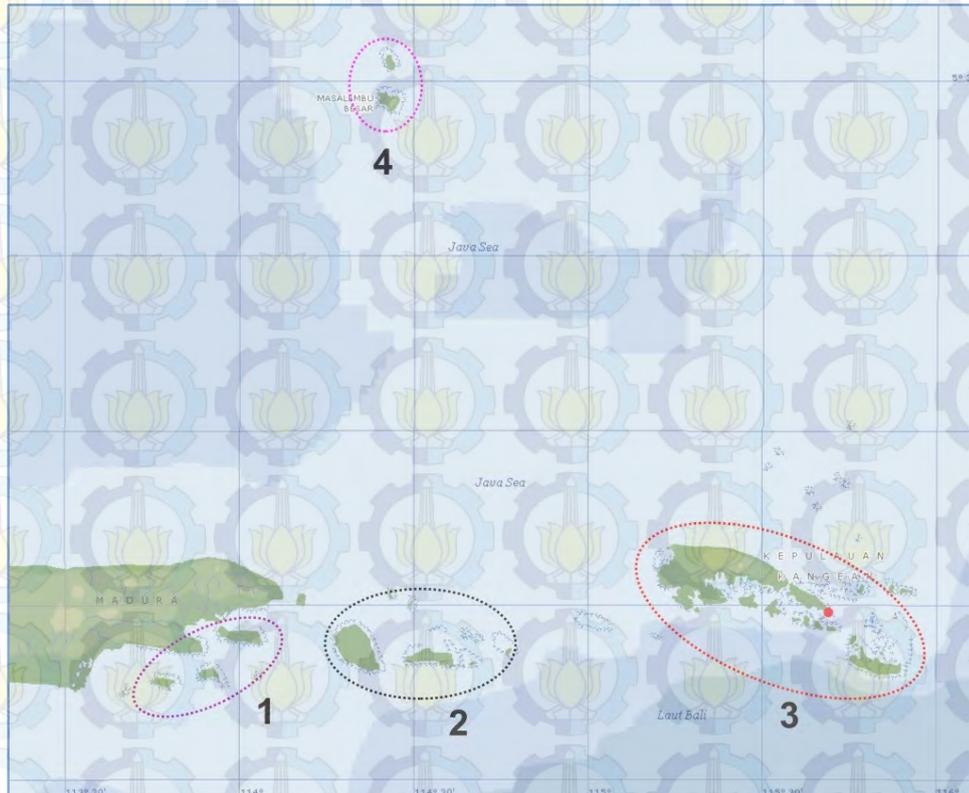
Gambar 3-1 Peta wilayah Kecamatan Nonggunong, Gayam dan Raas (Sumenep, P.K. 2012)

2) Kecamatan Arjasa, Kangayan dan Sapeken

Kecamatan Arjasa, Kangayan dan Sapeken masuk dalam wilayah Kepulauan kangean. Wilayah ini merupakan wilayah yang jauh dari pusat pemerintahan daerah. Waktu tempuh pelayarannya dari Pelabuhan Kalianget menuju Pelabuhan Batu Guluk Kecamatan Arjasa sekitar 10-12 jam dan menuju Pelabuhan Sapeken sekitar 14-16 jam. Frekuensi transportasi laut yang melayani wilayah ini bersifat regular setiap waktu.

Untuk angkutan BBM ke Kecamatan Sapeken dilayani oleh KLM Sahabat sejati, dan KLM Aven Selon. Sedangkan untuk angkutan BBM ke kecamatan Arjasa dan Kecamatan kangayan dilayani oleh KLM Linggar Jati V, KLM Karunia Jaya, KLM Raden Rahmat, KLM Familia Mandiri, KLM Cahaya Baru, KLM Kota Makmur, dan KLM Putra Putri.

Letak geografis masing-masing wilayah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini dimana nomor 1 sampai 4, secara berturut-turut menunjukkan wilayah Kecamatan Giligenting dan Talango; Kecamatan Nonggunong, Gayam dan Raas; Kecamatan Arjasa, Kangayan dan Sapeken; serta Kecamatan Masalembu. (Sumenep, P.K. 2012)



Gambar 3-4 Pembagian wilayah kepulauan Kabupaten Sumenep

3.2 Kependudukan

Data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sumenep menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kabupaten Sumenep pada tahun 2009 sebanyak 1.079.322 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk sebanyak 515,5691 jiwa/km². Data kependudukan ini menunjukkan bahwa laju pertumbuhan penduduk di kabupaten Sumenep relatif rendah. Rendahnya pertumbuhan penduduk ini salah satunya disebabkan oleh ketidakmerataan distribusi penduduk Kabupaten Sumenep.

Distribusi penduduk Kabupaten Sumenep menunjukkan ketimpangan yang cukup signifikan antara wilayah daratan dan kepulauan. Konsentrasi kepadatan penduduk lebih

terpusat pada Sumenep Daratan daripada wilayah kepulauan. Pada tahun 2008, tingkat kepadatan penduduk Kota Sumenep sebesar 2.535 jiwa/km² (naik 0,2%) dan Kecamatan Kalianget sebesar 1.357 jiwa/km² (naik 0,18%). Sedangkan untuk wilayah kepulauan, Kecamatan Kangayan sebesar 107 jiwa/km² dan Kecamatan Sapeken sebesar 198 jiwa/km². Rendahnya tingkat kepadatan penduduk ini pada dasarnya disebabkan karena karakteristik wilayah kepulauan sebagai wilayah banyak pulau, dengan terbatasnya sarana transportasi laut yang menghubungkan antar pulau tersebut, dan sebagaian pulaunya tidak berpenghuni serta faktor geografisnya yang jauh dari pusat kegiatan ekonomi.

Tabel 3-1 Jumlah penduduk wilayah kepulauan Kabupaten Sumenep (BPS,2012)

No	Kecamatan	Jumlah penduduk				
		2008	2009	2010	2011	2012
1	Gayam	35.425	35.483	35.148	28.330	33.597
2	Nonggunong	14.589	14.614	14.488	13.391	14.271
3	Ra'as	35.636	35.693	35.729	37.110	36.042
4	Arjasa	61.063	61.161	61.447	59.378	60.762
5	Kangayan	21.864	21.898	21.930	20.487	21.545
6	Sapeken	39.937	40.602	40.206	40.378	40.281
7	Masalembu	23.173	23.209	23.229	21.713	22.831
	Total	231.687	232.660	232.177	220.787	229.328

3.3 Kondisi Transportasi Laut

Sebagai wilayah kepulauan, alat transportasi laut sangat berpengaruh signifikan pada mobilitas orang dan barang. Keberadaan dan kondisi kapal sebagai armada transportasi laut yang menghubungkan antar pulau di wilayah ini sangat menentukan distribusi barang kebutuhan masyarakat. Hal ini juga sangat mempengaruhi kegiatan ekonomi masyarakat kepulauan Kabupaten Sumenep.

Transportasi laut wilayah Kepulauan Sumenep mengandalkan Kapal Perintis Amukti Palapa dan Kumala Abadi dari Kalianget menuju Kecamatan Arjasa, Sapeken dan Masalembu. Namun kondisi kapal-kapal ini relatif sederhana, sehingga penumpang harus beralaskan besi,

beratapkan langit dan berselimutkan angin. Pelayaran kapal cepat masih dalam tahap percobaan. Adanya pelayaran kapal cepat ini diharapkan akan dapat meningkatkan pelayanan transportasi laut bagi masyarakat kepulauan.

Sedangkan untuk transportasi antar pulau yang berdekatan digunakan perahu motor sebagai alat transportasinya. Penggunaan perahu motor ini telah didukung dengan keberadaan dermaga pada hampir di setiap desa, walaupun dermaga tersebut tidak berfungsi saat air laut surut dikarenakan panjang dermaganya yang cukup pendek.

Pada dasarnya wilayah Kepulauan Sumenep sebagai gugusan pulau-pulau kecil sangat membutuhkan sarana dan prasarana transportasi laut yang memadai untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan bagi masyarakat kepulauan. Dermaga merupakan terminal orang kepulauan untuk berlabuh dan bongkar muat barang, sedangkan kapal laut dan perahu motor sebagai sarana transportasi untuk meningkatkan mobilitas orang dan barang serta mendukung perkembangan kegiatan ekonomi masyarakat kepulauan.

3.3.1 Transportasi Laut Pulau Sapudi

Transportasi laut pulau Sapudi terdiri atas Dermaga Tarebung milik Dishub Provinsi Jawa Timur dengan panjang dermaga 50 m, lebar 8,3 m, kedalaman 5 meter. Selain itu ada Dermaga Laut Sapudi dengan panjang 50 m, lebar 2,25 m dan kedalaman 4,5 m. Sarat kapal yang diizinkan masuk dermaga adalah maksimal 3,5 meter.

Untuk menuju Pulau Sapudi, ada 2 pilihan transportasi, yaitu Kapal Laut dan Perahu Motor. Tempat pemberangkatan bisa melalui Pelabuhan kaliangget (Sumenep), Pelabuhan Kalbut dan Pelabuhan Jangkar (Situbondo). Untuk transportasi Kapal Laut jumlah penyebrangannya tidak sebanyak perahu motor, karena hanya beroperasi pada hari tertentu saja, yaitu sekitar dua kali dalam seminggu. Tapi, ada tidaknya transportasi menuju Sapudi, tergantung cuaca. Kalau cuacanya kurang bagus, seperti angin kencang dan ombak besar, Kapal Laut maupun perahu motor tidak akan ada yang berangkat, hingga cuaca kembali normal.

3.3.2 Transportasi Laut Kepulauan Kangean

1) Transportasi Laut Kecamatan Arjasa

Transportasi laut Kecamatan Arjasa terpusat di Pelabuhan Batu Guluk yang berada di Desa Bilis-Bilis Kecamatan Arjasa. Pelabuhan ini terletak pada posisi geografis

60°51'08"LS – 115°13'08"BT. Jalur pelayarannya meliputi Pelabuhan Batu Guluk-Kalianget dan Pelabuhan

Batu Guluk-Sapeken. Jarak tempuh Pelabuhan Batu Guluk-Kalianget sepanjang 96 mil laut dan Pelabuhan Batu Guluk-Sapeken sepanjang 40 mil laut. Pelabuhan ini memiliki panjang dermaga 53 meter, lebar 6,1 meter, kedalaman 8,5 meter, trestle 185 meter dan lebarnya 3 meter. Kondisi perairannya merupakan perairan lautan lepas dengan tinggi gelombang rata-rata 0,5-1 meter, kecepatan angin maksimum 1-2 km/jam dengan arah angin yang berubah berlawanan arah sesuai dengan musim serta kecepatan maksimum arus air laut 1-2 mil/jam. Sarat kapal yang diizinkan masuk dermaga adalah maksimal 5 meter.

Kapal-kapal yang melayani pelayaran ke daerah ini adalah Kapal Perintis Amukti Palapa dan Kumala Abadi, KMP Dharma Bahari Sumekar I dan Dharma Bahari Sumekar II serta Kapal Bahari Express. Kapal-kapal tersebut berlabuh di Pelabuhan Batu Guluk, Arjasa. Keberadaan Kapal Bahari Express ini mempercepat waktu tempuh Arjasa-Kalianget menjadi 3,5 jam. Namun, tarif kapal ini lebih mahal dari kapal-kapal lainnya yaitu Rp. 175.000,- untuk pelayaran Arjasa-Kalianget. Sedangkan untuk rute pelayaran yang sama, tarif kapal perintis sebesar Rp. 30.000,- dan KMP Dharma Bahari Sumekar sebesar Rp. 70.000,-. Kapal Bahari Express berangkat dari Pelabuhan Kalianget menuju Pelabuhan Batu Guluk Arjasa setiap Senin dan Kamis, serta Selasa dan Jum'at untuk rute sebaliknya.

2) Transportasi Laut Kecamatan Kanganan

Kecamatan Kanganan berada di ujung timur Pulau Kangean. Mobilitas transportasi laut di daerah ini cukup tinggi untuk jurusan Dermaga Kajuaro-Arjasa-Pelabuhan Batu Guluk terutama saat kapal jurusan Kalianget-Kangean akan datang dan pergi. Sarana transportasi laut yang digunakan sebagai alat angkut orang dan barang berupa perahu mesin untuk jurusan Kajuaro-Sapeken dan pulau-pulau di sekitarnya. Dermaga Kajuaro sebagai pusat konsentrasi pengguna jasa transportasi laut untuk jurusan Sapeken belum dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya karena kondisinya yang rusak dan letaknya yang jauh dari terminal angkutan barang (Terminal Pick-up).

Idealnya panjang dermaga adalah 500 meter sehingga kapal dapat leluasa merapat ke dermaga baik saat air laut pasang maupun surut. Selama ini penumpang harus naik dan turun montek atau perahu tambangan karena perahu motor tidak dapat merapat ke dermaga.

Kondisi ini sangat berbahaya ketika musim ombak karena perahu tambangan mudah oleng dan penumpang saling berebutan untuk naik dan turun dengan cepat.

3.3.3 Transportasi Laut Kepulauan Sapeken

Jarak Kecamatan Sapeken dari Pelabuhan Kalianget sepanjang 121 mil laut. Letak pusat pemerintahan Kecamatan Sapeken berada di Pulau Sapeken Desa Sapeken dan dengan desa-desa yang lainnya memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Jarak masing-masing desa dengan pusat pemerintahannya adalah Desa Paliat 2 km, Sasiil 3 km, Sabunter 6 km, Pagerukan Kecil 6 km, Pagerukan Besar 7 km, Sepanjang 8 km, Tanjung Kiaok 21 km dan Sakala 245 km. Desa-desa tersebut tersebar di pulau-pulau kecil dalam administratif Kecamatan Sapeken. Desa Sakala berada di Pulau Sakala yang berjarak 131 mil laut dari Pelabuhan Kalianget. Sarat kapal yang diizinkan masuk dermaga adalah maksimal 3,5 meter.

Dengan kondisi geografis tersebut, sarana dan prasarana transportasi laut merupakan komponen utama untuk meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas orang dan barang antar pulau di wilayah Kecamatan Sapeken. Kapal yang melayani pelayaran ke wilayah ini adalah Kapal Perintis Amukti Palapa dan Kumala Abadi untuk rute pelayaran Pelabuhan Kalianget Sumenep, Pelabuhan Batu Guluk Arjasa dan Pelabuhan Tanjung Wangi Banyuwangi. Alur pelayarannya adalah perairan bebas dengan tinggi gelombang 0,5-1 meter dan kecepatan arus sebesar 1-2 Mil/jam. Panjang dermaga Pelabuhan Sapeken adalah 50 meter, lebar 2 meter, kedalaman 5 meter dan luas 125 m².

Sarana transportasi trayek antar pulau se-Kecamatan Sapeken dilayani oleh Kapal Layar Motor yang tarifnya sesuai dengan jaraknya dan frekuensi pelayarannya sebanyak satu kali sehari untuk masing-masing trayek. Dermaga dan tempat tambat perahu telah dibangun untuk prasarana transportasi antar pulau untuk meningkatkan keamanan dan kelancaran transportasi antar pulau di wilayah Kecamatan Sapeken.

3.3.4 Transportasi Laut Kepulauan Masalembu

Pusat transportasi laut Kepulauan Masalembu berada di Pelabuhan Masalembu yang terletak sejauh 122 mil laut dari Pelabuhan Kalianget. Lokasi Pelabuhan Masalembu sebagai pusat bongkar muat penumpang dan barang berada di Desa Masalima yang terletak pada posisi 5°34'50"LS – 114°25'00"BT. Kondisi perairannya adalah perairan laut lepas dengan tinggi gelombang 1-2 meter dan kecepatan angin mencapai 2-3 mil/jam yang arah arusnya sesuai

dengan musim. Pelabuhan ini memiliki panjang dermaga 70 meter, lebar 8 meter dan kedalaman kurang lebih 8 meter. Sarat kapal yang diizinkan masuk dermaga adalah maksimal 5 meter.

Sarana transportasi laut yang melayani wilayah ini adalah Kapal Perintis Amukti Palapa dan Kumala Abadi. Kapal tersebut melayani rute pelayaran Kalianget-Masalembu dan Masalembu-Surabaya. Disamping itu kapal-kapal lainnya juga bersandar di Pelabuhan Masalembu untuk bongkar muat barang-barang seperti bahan bangunan, peralatan rumah tangga, hasil bumi dan kebutuhan pokok lainnya. Mereka berasal dari Sungai Saroka Kecamatan Saronggi dan Bintaro Kecamatan Gapura serta kapal-kapal dari Sulawesi, Kalimantan, Bali dan Banyuwangi.

Sebagai wilayah yang paling jauh dari pusat pemerintahan daerah yang terpisahkan oleh laut lepas, sarana dan prasarana transportasi laut sangat penting bagi kehidupan masyarakat Masalembu. Kuantitas dan kualitas sarana dan prasarana transportasi laut sangat berpengaruh pada distribusi dan stabilisasi kehidupan sosial dan ekonomi masyarakatnya. Pada musim angin dan cuaca buruk, sering menyebabkan vacuum transportasi laut menuju Masalembu. Sehingga terjadi krisis Bahan Bakar Minyak (BBM) dan kebutuhan bahan pokok serta rendahnya mobilitas penduduk.

Selain Pelabuhan Masalembu, pelabuhan lain yang digunakan sebagai alternatif ketika musim angin barat adalah Pelabuhan El Nusa milik Pertamina. Namun, kondisi dermaganya cukup buruk dan terbengkalai selama puluhan tahun tanpa adanya pengembangan yang lebih lanjut.

3.4 Rencana Rute Pelayaran

Tabel 3-2 pembagian titik distribusi

Titik	Keterangan	Cakupan
X	Depo Pertamina	Surabaya
A	P. Sapudi	Kec. Nonggunong & Kec. Gayam
B	P. Ra'as	Kec. Ra'as

C	P. Kangean	Kec. Arjasa & Kec. Kangayan
D	P. Sapeken	Kec Sapeken
E	P. Masalembu	Kec.Masalembu

Berdasarkan tabel diatas SPOB akan berangkat mulai dari depo Pertamina Surabaya kemudian mengunjungi pulau pertama yaitu pulau Sapudi, pulau ini terdiri dari dua kecamatan yaitu kec. Nonggung dan Gayam, setelah dilakukan bongkar muatan sesuai dengan kebutuhan masyarakat pulau Sapudi, SPOB kemudian menuju Pulau selanjutnya yaitu pulau Ra'as. Pulau ini hanya ada sebuah kecamatan yaitu kecamatan Ra'as, kemudian SPOB ke Pulau kangean yang terdiri dari kecamatan Arjasa dan Kangayan lalu ke pulau Sapeken, untuk kecamatan sapeken dan yang terakhir dikunjungi adalah pulau masalembu kemudian SPOB kembali ke depo di Surabaya. Peta di bawah ini adalah rute pelayaran SPOB.

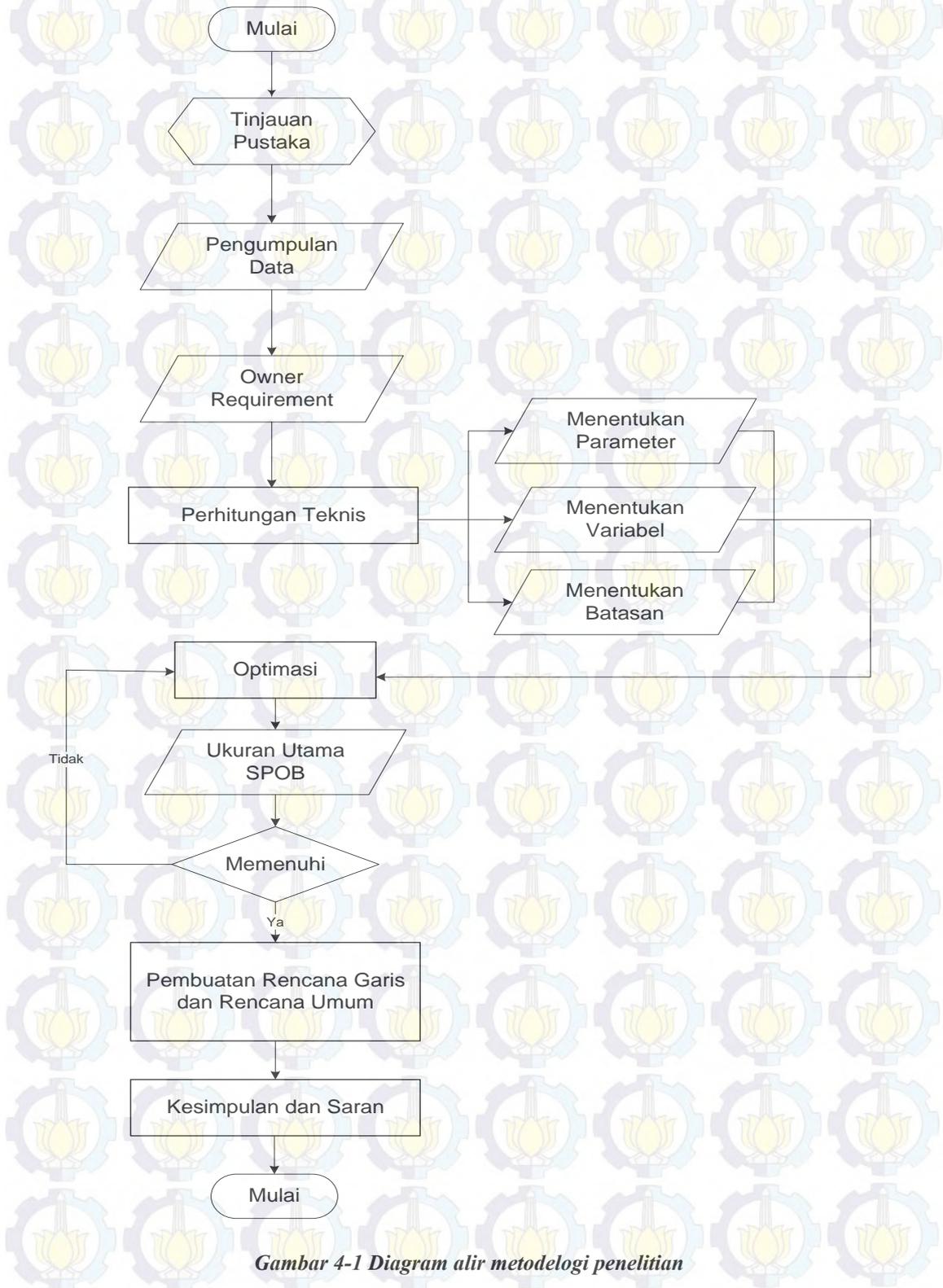


Gambar 3-5 rute pelayaran SPOB

Radius pelayaran yang di tempuh kurang lebih 500 *nautical miles*, dengan kecepatan dinas 8 knot satu kali *trip* dibutuhkan waktu sekitar 3 hari. Dermaga tiap-tiap pulau yang dikunjungi diasumsikan dapat melakukan bongkar muatan SPOB.

BAB 4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 4-1 Diagram alir metodologi penelitian

4.2 Tahap Pengumpulan Data

Data yang di ambil untuk Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang di ambil dari Tugas Akhir sebelumnya, media elektronik dan dari buku – buku yang ada. Adapun data yang diperlukan adalah Kebutuhan BBM untuk kepulauan kabupaten Sumenep, letak geografis pulau-pulau di kepulauan kabupaten sumenep untuk perencanaan rute dan data-data tersebut diperoleh dari Tugas Akhir sebelumnya yang berjudul “Model Konseptual Perencanaan Transportasi Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk Wilayah Kepulauan (studi kasus: Kepulauan Kabupaten Sumenep)” yang mana dalam Tugas Akhir tersebut telah dijelaskan tentang kebutuhan dan pendistribusian BBM di kepulauan sumenep dengan kapal tanker.

Tabel 4-1 Jumlah muatan kapal tanker optimum

Item	Unit	Value	Solar	bensin
Payload	Ton	503,67	288,10	215,57
(ton)	m ³	614,79	331,15	283,64

(Ghulam, 2013)

Data diatas merupakan jumlah muatan yang telah di optimasi pada Tugas Akhir sebelumnya, dan akan menjadi parameter dalam mendesain SPOB dalam Tugas Akhir ini sebagai *payload* dengan di bulatkan menjadi 505 ton.

4.2.1 Owner Requirement

Setelah semua data diperoleh langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut sehingga menghasilkan desain yang memenuhi syarat dari permintaan pemillik kapal. Dari data yang telah diolah sebelumnya, dapat ditarik beberapa kriteria yang dirangkum menjadi *owner requirement*.

4.2.2 Kapal-kapal pembanding

Ukuran utama awal diperoleh dari hasil regresi kapal-kapal pembanding yang ada, pemilihan kapal pembanding berdasarkan tipe kapal (SPOB) dengan DWT yang hampir sama dengan range : $80\%DWT \leq DWT \leq 130\%DWT$

4.3 Perhitungan Teknis

Perhitungan teknis dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus pendekatan yang ada. Ukuran utama yang digunakan pada perhitungan ini diambil dari hasil regresi kapal pembanding yang ada. Dari ukuran utama awal tersebut kemudian dihitung harga hambatan, mesin induk, berat dan titik berat, *trim*, stabilitas, *freeboard*, *tonase*, hukum *archimedes*, biaya investasi dan perhitungan lainnya.

4.3.1 Penentuan ukuran utama kapal

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

- L_{pp} (*Length between perpendicular*)
Panjang yang diukur antara dua garis tegak, yaitu jarak horizontal antara garis tegak buritan (AP) dengan garis tegak haluan (FP).
- Loa (*Length overall*)
Panjang seluruhnya, jarak horizontal yang diukur dari titik terluar depan samapai titik terluar belakang kapal.
- B_m (*Breadth moulded*)
Lebar terbesar diukur pada bagian tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal. Khusus untuk kapal-kapal yang terbuat dari kayu, diukur pada sisi terluar kulit kapal.
- H (*Height*)
Jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal , dari atas lunas sampai sis atas balok geladak di sisi kapal.
- T (*Draught*)
Jarak tegak yang diukur dari sisi atas lunas sampai permukaan air.

4.3.2 Perhitungan Hambatan Total

Hambatan total adalah hambatan yang dialami oleh kapal pada saat kapal bergerak dengan kecepatan tertentu. Dalam hal ini kecepatan kapal yang dimaksud adalah kecepatan dinas kapal, Perhitungan hambatan total kapal dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan daya mesin yang dibutuhkan kapal. Dengan demikian kapal dapat berlayar dengan kecepatan yang sesuai.

Untuk menghitung hambatan kapal, digunakan *metode Holtrop dan Mennen*. Di dalam metode ini, Holtrop membagi hambatan total menjadi tiga komponen hambatan. Komponen tersebut yaitu :

1. Viscous resistance (hambatan kekentalan),
2. Appendages resistance (hambatan karena bentuk kapal), dan
3. Wave making resistance (hambatan gelombang).

Dalam melakukan perhitungan hambatan utama kapal, ada ukuran utama yang terlebih dahulu harus diubah, yaitu L_{pp} menjadi L_{wl} dengan rumus sebagai berikut :

$$L_{wl} = 1.04 L_{pp}$$

Adapun untuk rumus hambatan total adalah sebagai berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S_{tot} * (C_F(1+k) + C_A) + \frac{R_w}{W} W \quad (4.1)$$

1) Viscous Resistance

Viscous resistance (Hambatan kekentalan) adalah komponen hambatan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh *viscous* (kekentalan.)

Rumus Viscous Resistance dalam "Principle of Naval Architecture Vol.IP" diberikan sebagai berikut :

$$R_v = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_{FO} (1+k_1) S \quad (4.2)$$

Dimana :

ρ = Mass density salt water (1025 kg/m³)

V = Service speed [m/s]

C_{FO} = Friction Coefficient (ITTC 1957)

$$= 0,075 / (\log Rn - 2)^2$$

Rn = $V_s \cdot L_{wl} / \nu$, (Angka reynold)

2) Appendages Resistance

Dalam menghitung hambatan kapal yang diakibatkan oleh bentuk badan kapal yang tercelup dalam air, dibutuhkan luas permukaan basah kapal (S_{tot}) yang terdiri dari luas badan kapal WSA (S) dan luas tonjolan-tonjolan seperti kemudi, dan Bilge Keel (S_{app}). Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung Appendages Resistance yaitu :

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \quad (4.3)$$

Sehingga Appendages Resistance :

$$R_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{tot} (1 + k) \quad (4.4)$$

Dimana :

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \quad [PNA vol II hal 92]$$

Di mana:

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

A_{BT} = Luas Potongan Penampang *Bulbous Bow* di FP

= 10% Amidship

= 10% x B x T x Cm ; for bulb B – Serries

k_2 = *effective form factor of appendages*,

S_{app} = *total wetted surface of appendages*

= $S_{rudder} + S_{bilge\ keel}$

S_{tot} = $S + S_{app}$

$S_{rudder} = c_1 * c_2 * c_3 * c_4 * 1,75 * l_{pp} * T / 100$ [*BKI vol II hal 14-1*]

C_1 = factor type kapal

C_2 = factor type kemudi

C_3 = factor type profil kemudi

C_4 = factor letak baling-baling

$S_{bilge\ keel}$ = panjang keel x tinggi keel [*Watson 1998, hal 254*]

Panjang keel = $0.6 \cdot C_b \cdot L$

Tinggi keel = $0.18 / (C_b - 0.2)$

Jika k_2 lebih dari 1, maka dihitung menggunakan rumus ini :

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

3) Wave Making Resistance

Untuk menghitung hambatan akibat gelombang, dibutuhkan masukan data seperti berat *Displacement*, sudut masuk, luasan *Bulbous Bow* dan *Transom*. Adapun rumus diberikan sebagai berikut :

$$\frac{R_w}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(F_n^{-2})\}} \quad (4.5)$$

Dimana :

Untuk angka Froude yang rendah [$F_n \leq 0.4$]; harga F_n kami bekisar antara 0,21877 – 0,22429.

W = Berat *Displacement*

= $\rho \cdot g \cdot \nabla$ [Newton]

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

Dimana :

$$C_4 = 0.2296 \cdot ((B/Lwl)^{0.3333}) \quad \text{untuk } B/Lwl < 0.11$$

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

$$C_4 = 0.5 - 0.0625 \cdot (Lwl/B) \quad \text{untuk } B/Lwl > 0.25$$

Kemudian langkah selanjutnya menghitung hambatan total (R_T) dengan rumus diatas.

4.3.3 Perhitungan Power Mesin

Metode perhitungan daya mesin ini berdasarkan buku **Practical Ship Design** yang ditulis oleh Watson, 1998. Penentuan besarnya daya mesin induk diawali dengan perhitungan Effective Horse Power (*EHP*) yang dirumuskan dengan persamaan,

$$EHP (P_E) = R_T \cdot V_s$$

Besarnya *EHP* digunakan untuk menentukan besarnya *Trust Horse Power (THP)* yaitu,

$$THP (P_T) = EHP / \eta_H$$

dimana,

$$\eta_H = \text{Hull effisiensi}$$

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

t = *thrust deduction*

$$= 0.1 \text{ (untuk single screw with open stern) -PNA vol II Hal 163-}$$

w = *Wake Fraction* :

$$= 0.3 \times C_b + 10 \times C_v \times C_b - 0.1 \quad \text{-PNA Vol.II Hal 163-}$$

$$C_v = (1+k) \times C_{F0} + C_A$$

Adapun besarnya *Delivery Horse Power (DHP)* yaitu,

$$DHP (P_D) = EHP / \eta_D$$

dimana,

$$\eta_D = \text{Quasi-propulsive coefficient}$$

$$= \eta_H \times \eta_R \times \eta_0 \quad \text{-PNA Vol.II Hal 153-}$$

$$\eta_R = \text{Relative rotative efisiensi}$$

$$= 0.9922 - 0.05908 (AE/A_0) + 0.07424 (C_p - 0.0225 LCB)$$

Untuk single screw propeller,

$$\eta_R = 0.98 \quad \text{-PNA Vol.II Hal 163-}$$

$$\eta_0 = \text{Open water propeller efisiensi}$$

$$= (J/2\pi) \times (K_t/K_q) \quad \text{-PNA Vol.II Hal 145-}$$

Open water propeller efisiensi untuk propeller yang terpasang di buritan kapal adalah,

$$\eta_0 = 0.55$$

Sedangkan besarnya *Shaft Horse Power (SHP)* dapat ditentukan dengan persamaan,

$$SHP (P_s) = DHP / \eta_s \eta_B \text{ dimana,}$$

$$\eta_s \eta_B = \text{Stertube bearing efisiensi and shaft efisiensi}$$

$$= 0.98 \text{ for machinery aft}$$

= 0.97 for machinery amidship

-Parametric Design hal 11-31-

Adapun besarnya *Break Horse Power (BHP)* dapat ditentukan dengan persamaan,

$$BHP (P_B) = SHP / \eta_g$$

$\eta_g = \text{Reduction gear efficiency} = 0.975-0.98$

= 0.975 for medium speed diesel

= 0.98 for low speed diesel

-Parametric Design 11-33-

Setelah mendapat harga P_B , kemudian dilakukan koreksi kerugian akibat letak kamar mesin dan rute pelayaran yang besarnya adalah sebagai berikut,

Koreksi letak kamar mesin,

= 3% untuk kamar mesin dibelakang

= 5% untuk kamar mesin ditengah

Koreksi daerah pelayaran,

= 10-15 % untuk perairan Indonesia

= 20-30 % untuk Samudera Pasifik

= 25-35 % untuk Samudera Atlantik

= 30-40 % untuk Atlantik Utara

Besarnya kebutuhan daya mesin induk merupakan penjumlahan dari besarnya BHP kapal dengan adanya koreksi akibat letak kamar mesin dan rute pelayaran.

$$BHP (P_B)_{Tot} = BHP (P_B) + \text{koreksi}$$

4.3.4 Perhitungan berat kapal

Perhitungan berat kapal dilakukan berdasarkan formula yang diberikan *Watson (1998)*. Perhitungan berat kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk LWT dan DWT. Adapun rumus dasar perhitungan ini adalah sebagai berikut :

1) Menghitung LWT Kapal

a) Perhitungan berat baja kapal.

$$W_{si}(\text{Ton}) = K \times E^{1,36} \quad (4.6)$$

$$E = L(B + T) + 0,85L(D - T) + 0,85 \{(l_1 \cdot h_1) + 0,75(l_2 h_2)\} \quad (4.7)$$

Dimana : K = Koefisien faktor; Untuk tankers = $0,029 \pm 0,035$

l_1, h_1 = panjang dan tinggi bangunan atas

l_2, h_2 = panjang dan tinggi rumah geladak

b) Perhitungan berat perlengkapan (W_{eo}).

Perhitungan berat perlengkapan (EO) dilakukan dengan mengadopsi metode dalam buku *ship design for efficiency and economy* (H Schneekluth, 1998).

$$W_{eo}(\text{Ton}) = [(A_{sp} + A_{dh}) \times C_{alv}] + [A_{md} \times C_{eo}] \quad (4.8)$$

Dimana : A_{sp} = Luas bangunan atas

A_{dh} = Luas rumah geladak

A_{md} = Luas geladak cuaca

C_{alv} = 165 kg/m^2

C_{eo} = 180 kg/m^2

c) Perhitungan berat permesinan kapal dilakukan dengan mengadopsi rumusan yang diberikan oleh (Watson, 1998)

d) Perhitungan berat cadangan

$$W_{res}(\text{Ton}) = (5 - 10)\% \times LWT \quad (4.9)$$

2) Menghitung DWT Kapal

Dalam perencanaan ini tidak ada perhitungan untuk menentukan besarnya *payload* karena hal tersebut sudah ditentukan sebelumnya dan menjadi parameter dalam proses optimasi. Maka dalam perhitungan DWT kapal hanya akan dilakukan perhitungan untuk *consumable*. Dalam perhitungan ini hanya akan dipengaruhi oleh besarnya BHP mesin serta jumlah *crew* yang bekerja diatas kapal.

a) Perhitungan Jumlah dan Berat Crew

$$Z_c = C_{st} \cdot C_{dk} \cdot (L \cdot B \cdot H \cdot 35 / 10^5)^{1/6} + C_{eng} \cdot (BHP / 10^5)^{1/3} + \text{cadet}$$

Z_c = Jumlah crew

C_{dk} = Koeffisien deck departement

= 11,5 ~ 14,5

C_{st} = Coeffisien steward departement

= 1,2 ~ 1,33

C_{eng} = Coeffisien engine departemen

= 8.5 ~ 11,0 Untuk mesin diesel

cadet = Jumlah cadet

Berat crew (Parson, 2001)

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

$W_{C\&E}$ = 0,17 . Z_c

Penggunaan jumlah crew dihitung sesuai rumus Z_c diatas, serta dipertimbangkan pula mengenai peraturan jam kerja yang sesuai dengan peraturan yang dikeluarkan oleh *International Labour Organization* (ILO) yang menegaskan mengenai maksimal kerja tiap crew selama 8 jam dengan memberikan jeda waktu istirahat tiap empat jam sekali untuk efektivitas kerja serta keamanan dan keselamatan kerja.

b) Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

kebutuhan bahan bakar dipengaruhi oleh konsumsi rata-rata bahan bakar dari mesin utama misal diesel engines memberikan harga SFR (specific fuel rate) sebesar 0,000175 t/kWhr dan untuk gensets yang menggunakan diesel memberikan SFR sebesar 0,000252 t/kWhr. Namun pada katalog mesin, konsumsi bahan bakar diberikan sebanyak 199 gr/kW.hr. Diberikan besarnya SFR bersama 25% penggunaan lainnya. Sehingga SFR yang akan dihitung sebesar 0.000250. (Parson, 2001)

Selain itu kebutuhan bahan bakar dipengaruhi oleh MCR atau PB dan lama berlayar. Adapun langkah perhitungannya :

$$W_{FO} = \text{SFR} \cdot \text{MCR} \cdot \text{range} / \text{Vs} \cdot \text{margin.} \quad [\text{ton}]$$

(Parson, 2001)

SFR = Specific Fuel Rate
= 0,000250 ton/kW hr, untuk diesel engine.

MCR = P_B [kW]

Range = jarak pelayaran (S) [mil laut]

Margin = [1 + (5% - 10%)] W_{FO} [ton]

$$V_{FO} = \frac{W_{FO}}{\rho_{FO}} + \text{koreksi} \quad [\text{m}^3]$$

V_{fo} = volume fuel oil

ρ_{fo} = berat jenis fuel oil

$$= 0,95 \text{ ton} / \text{m}^3$$

Koreksi

tambahan konstruksi = + 2%

expansi panas = + 2%

c) Kebutuhan minyak diesel

$$W_{DO} = C_{DO} \cdot W_{FO} \quad [\text{ton}] \quad C_{DO}$$

$$C_{DO} = 0,1 \sim 0,2$$

$$V_{DO} = \frac{W_{DO}}{\rho_{DO}} + \text{koreksi} \quad [\text{m}^3]$$

V_{DO} = Volume fuel oil

ρ_{DO} = Berat jenis fuel oil = 0,85 ton / m^3

Koreksi

tambahan konstruksi = + 2%

expansi panas = + 2%

d) Kebutuhan Minyak Lumas

$W_{LO} = 20 \text{ ton}$; Untuk medium speed diesel.

[Parson , Chapter 11, hal. 11-24]

$$V_{LO} = \frac{W_{LO}}{\rho_{LO}} + \text{koreksi} \quad [\text{m}^3]$$

V_{LO} = Volume fuel oil

ρ_{LO} = Berat jenis fuel oil = 0,9 ton / m^3

Koreksi

tambahan konstruksi = + 2%

expansi panas = + 2%

e) Kebutuhan Air Tawar

- Berat air tawar untuk crew : $W_{FW1} = 0,17 \text{ ton/ person.day}$;

[Parson , Chapter 11, hal. 11-24]

$$= 0,17 Zc. (S / Vs) .(1/24) \quad [\text{ton}]$$

- Berat air tawar untuk mesin pendingin :

$$W_{FW2} = (2 \sim 5) . \text{BHP} . 10^{-3}$$

- Berat air tawar untuk boiler :

$$W_{FW3} = C_{ifw4} . P_B . S / Vs . 10^{-3}$$

$$V_{LO} = \frac{W_{LO}}{\rho_{LO}} + \text{koreksi} \quad [\text{m}^3]$$

V_{FW} = volume total air tawar

ρ_{FW} = berat jenis air tawar= 1 ton / m³

Koreksi

tambahan konstruksi = + 2%

expansi panas = + 2%

f) Berat Provision and Store

$$WPR = 0,01 \text{ t / person*day} \quad [\text{ton}]$$

Untuk berat provision, store dan barang bawaan (luggage).

(Parson, 2001)

4.3.5 Perhitungan Titik Berat Kapal

Perhitungan titik berat kapal bertujuan untuk mengetahui letak titik berat kapal dari segi horizontal dan vertikal terhadap badan kapal. Perhitungan ini berkaitan dengan analisa stabilitas kapal. Untuk mengetahui titik berat kapal keseluruhan perlu dilakukan perhitungan terhadap titik berat baja kapal, permesinan, peralatan dan perlengkapan, *payload*, dan *consumable*.

1) Perhitungan Titik Berat Baja Kapal

Titik berat baja kapal ditentukan dengan metode pendekatan berdasarkan *Harvald and Jensen Method* yang dikembangkan pada tahun 1992. Perumusannya adalah sebagai berikut :

$$KG \text{ (m)} = C_{KG} \cdot D_a \quad (4.10)$$

Dimana :

C_{KG} = Koefisien titik berat

Tabel 4-2 Koefisien titik berat berbagai tipe kapal

Type kapal	C_{KG}
Passanger ship	0.67 – 0.72
Large cargo ship	0.58 – 0.64
Small cargo ship	0.60 – 0.80
Bulk carrier	0.55 – 0.58
Tankers	0.52 – 0.54

$C_{KG} = 0,52$

D_A = Tinggi kapal setelah koreksi *Superstructure* dan *Deck House*

$$D_A \text{ (m)} = D + \frac{V_a + V_{dh}}{L \times B} \quad (4.11)$$

Dimana :

V_a = Volume Bangunan Atas [m³]

V_{dh} = Volume *Deck Houses* [m³]

2) Perhitungan Titik berat Permesinan

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

$$KG_m \text{ (m)} = H_{DB} + 0,35(D - H_{DB}) \quad (4.12)$$

Dimana :

H_{DB} = Tinggi *double bottom* [m]

D = Tinggi kapal [m]

3) Perhitungan Titik berat Peralatan dan Perlengkapan

Titik berat baja peralatan dan perlengkapan ditentukan dengan metode pendekatan sebagai berikut (H Schneekluth, 1998):

$$KG_{eo}(m) = (1,02 \sim 1,08) \times D_A \quad (4.13)$$

Diambil = 1,02

4) Perhitungan Titik berat *payload* dan *consumable*

Titik berat *payload* dan *consumable* dapat dihitung berdasarkan letak tangki-tangki *payload* dan *consumable* yang direncanakan.

4.3.6 Perhitungan Trim dan Stabilitas

Perhitungan trim dan stabilitas, selain menjadi bagian dari perhitungan teknis juga menjadi batasan (*constrain*) dalam proses optimasi sehingga dalam setiap iterasi yang terjadi harus selalu menyertakan perhitungan kedua batasan ini. Formula yang digunakan untuk menghitung trim dan stabilitas adalah sebagai berikut :

1) Perhitungan *Trim*

Batasan *trim* yang digunakan ditentukan sebesar $\pm 0,1\%$ dari panjang kapal (L_{pp}). Rumusan yang digunakan ialah sebagai berikut (Parsons, 2001):

$$\text{Trim (m)} = T_A - T_F = \frac{(LCG - LCB)L}{GM_L} \quad (4.14)$$

Dimana :

T_A = Sarat di AP [m]

T_F = Sarat di FP [m]

LCG = *Longitudinal Center Gravity* [m]

LCB = *Longitudinal Center Bouyancy* [m]

GM_L = Jarak antara titik berat ke titik metacenter [m]

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

2) Perhitungan Stabilitas

Selain trim, persyaratan lain yang harus dipenuhi sebagai *constrain* ialah stabilitas. Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali pada kedudukan setimbang dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan oleh gaya tertentu. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM. Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ). Kemudian setelah harga GZ didapat, maka dilakukan pengecekan dengan "*Intact Stability Code, IMO*". Untuk perhitungannya stabilitas digunakan rumusan yang diberikan oleh *George Manning* dalam bukunya *The Theory and Technique of Ship Design hal. 251*. Penjelasan perhitungan ini dibagi menjadi dua bagian yaitu definisi masukan data dan langkah perhitungan.

Definisi Masukan Data:

L = L_{wl}

B = lebar maksimum

B_w = lebar maksimum waterline

H = tinggi waterline

T = (sarat muatan penuh)

D_M = *minimum depth*

S_F = *sheer* depan

S_A = *sheer* belakang

∇_0 = *Displacement* pada waterline [long.ton]

L_d = panjang bangunan atas jika dilihat dari sisi kapal

d = tinggi bangunan atas jika dilihat dari sisi kapal

C_B = koefisien blok

C_W = koefisien waterline pada sarat H

C_X = koefisien midship pada sarat H

= C_m

C_{PV} = koefisien prismatik vertikal pada sarat H

= $\frac{C_B}{C_W}$

A_0 = luas *waterline* pada sarat

= $L \cdot B_w \cdot C_W$

A_M = luas *midship* yang tercelup air

= $B \cdot H \cdot C_X$

A_2 = luas *vertical centerline plane* pada *depth* D

= $(0.98 \cdot L \cdot D_M) + S$

S = sheer

= luas *centerline plane* di atas minimum *depth* dibagi dengan panjang

= $(L_d \cdot d) + \left[\frac{1}{2} \cdot L \cdot \left(\frac{S_F}{3} \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot L \cdot \left(\frac{S_A}{3} \right) \right]$

D = *depth*

= $\left(\frac{S}{L} \right) + D_M$

F = *freeboard*

= $D - H$

A_1 = luas *waterline* pada *depth* D yang diestimasi dari A_0 dan tation dasar dibawah *waterline*

= $1.01 \cdot A_0$

Langkah Perhitungan :

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

$$\delta = \left(\frac{\Delta_T}{2} \right) - \Delta_0$$

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

$$C_W'' = C_W' - \frac{140\delta}{B.D.L} (1 - C_{PV}')$$

$$C_X' = \frac{A_M - B.F}{B.D}$$

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

$$C_{PV}'' = \frac{35\Delta_T}{A_2 B}$$

$$GG' = KG' - KG$$

$$KG = C_{KG} \cdot D_M$$

$$KG' = \frac{D(1 - h_1)\Delta_T - \delta}{2\Delta_0}$$

$$h_1 = -0.4918 \cdot (C_{PV}')^2 + 1.0632 C_{PV}' - 0.0735$$

[Hasil regresi hal 254 fig. A - 14, *The Theory and Technique of Ship Design*, harga h_1 didapat dari perpotongan antara C_{PV}' dengan grafik f_1]

$$f_1 = \frac{D \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \right)}{2F(1 - C_{PV}')}$$

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

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

$$h_0 = 0.335 C_{PV} + 0.1665$$

[Hasil regresi hal 254 fig. A - 14, *The Theory and Technique of Ship Design*, Harga h_0 didapat dari perpotongan antara C_{PV} dengan grafik f_0]

$$f_0 = \frac{H \left(\left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right)}{2F(1 - C_{PV})}$$

$$G'B_{90} = \left(\frac{\Delta_T h_2 B}{4\Delta_0} \right) - \left(\frac{17.5\delta^2}{\Delta_0 \left(A_2 - 70 \left(\frac{\delta}{B} \right) (1 - C_{PV}'') \right)} \right)$$

$$h_2 = -0.4918 \cdot (C_{PV}'')^2 + 1.0632 \cdot C_{PV}'' - 0.0735$$

[Hasil regresi hal 254 fig. A – 14 , The Theory and Technique of Ship Design, harga h2 didapat dari perpotongan antara CPV'' dengan grafik f2]

$$f_2 = \begin{cases} 9.1(C_x' - 0.89) & \Rightarrow C_x' \geq 0.89 \\ 0 & \Rightarrow C_x' < 0.89 \end{cases}$$

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

$$BM_0 = \frac{C_1 \cdot L B w^3}{35\Delta_0}$$

$$C_1 = 0.072 C_{WP}^2 + 0.0116 C_{WP} - 0.0004$$

[Hasil regresi hal 255 fig. A – 15, The Theory and Technique of Ship Design, harga C1 didapat dari perpotongan antara line 1 dengan Cw]

$$G'M_{90} = BM_{90} - G'B_{90}$$

$$BM_{90} = \left(\frac{C_1' LD^3}{35\Delta_0} \right) + \left(\frac{L_d d D^2}{140\Delta_0} \right)$$

$$C_1' = 0.1272 C_w'' - 0.0437$$

[Hasil regresi hal 255 fig. A – 15 line 2 , The Theory and Technique of Ship Design. Harga C1' didapat dari perpotongan antara line 2 dengan Cw'']

$$GM_0 = KB_0 + BM_0 - KG$$

$$GZ = G'Z' + GG' \sin \phi$$

$$\phi = 0 \sim 90^\circ$$

$$G'Z' = b_1 \cdot \sin 2\phi + b_2 \cdot \sin 4\phi + b_3 \cdot \sin 6\phi$$

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

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

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

Sebagai batasan stabilitas dalam tugas akhir ini, digunakan regulasi dan persyaratan stabilitas yang ditetapkan oleh IMO. Beberapa ketentuan tersebut antara lain (IMO, 2002)

:

- $E_{0 \sim 30^\circ} \geq 0,055 \text{ m.rad}$

luas dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut 30° lebih dari 0,055 meter.radian

- $E_{0 \sim 40^\circ} \geq 0,09 \text{ m.rad}$

Luas dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut 40° lebih dari 0,09 meter.radian

- $E_{30^\circ \sim 40^\circ} \geq 0,03 \text{ m.rad}$

luas dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ$ lebih dari 0,03 meter.radian

- $h_{30^\circ} \geq 0,2 \text{ m}$

lengan penegak GZ paling sedikit 0,2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.

- $GM_0 \geq 0,15 \text{ m}$

Tinggi metacenter awal tidak boleh kurang dari 0,15 meter

4.3.7 Perhitungan *Freeboard*

Lambung timbul (*freeboard*) merupakan salah satu jaminan keselamatan kapal selama melakukan perjalanan baik itu mengangkut muatan barang maupun penumpang. Secara sederhana pengertian lambung timbul adalah jarak tepi sisi geladak terhadap air yang diukur pada tengah kapal. Terdapat beberapa peraturan mengenai lambung timbul ini antara lain untuk kapal yang berlayar hanya diperairan Indonesia dapat mengacu rumusan PGMI (Peraturan Garis Muat Indonesia) tahun 1985. Selain itu, terdapat peraturan Internasional untuk lambung

timbul yang dihasilkan dari konferensi Internasional yaitu ILLC (International Load Line Convention) tahun 1966 di kota London. Hasil dari konferensi ini ialah aturan lambung timbul minimum (Freeboard standard) sesuai dengan panjang dan jenis kapal. Peraturan ini juga dilengkapi dengan koreksi-koreksi penentuan freeboard dari nilai awal seperti koreksi panjang kapal, koefisien blok, tinggi kapal, bangunan atas, koreksi sheer, dan koreksi minimum bow height. Peraturan ini harus dipenuhi pada saat perencanaan kapal agar kapal mendapat pengakuan dari lembaga berwenang sekaligus mendapatkan ijin untuk beroperasi.

4.3.8 Biaya Pembangunan Kapal/*Capital Cost*

Biaya Investasi dapat diartikan sebagai biaya pembangunan kapal yang terdiri dari biaya material untuk struktur bangunan kapal, biaya peralatan, biaya permesinan dan biaya pekerja, model cost, trials cost, asuransi dan lain-lain.

Perhitungan biaya investasi diperoleh berdasarkan regresi berat baja dengan harga baja per ton sesuai grafik yang diberikan oleh Watson (1998). Adapun langkah-langkah perhitungan :

Input data :

W_{ST} : Berat baja kapal [ton]

$W_{E\&O}$: Berat peralatan kapal [ton]

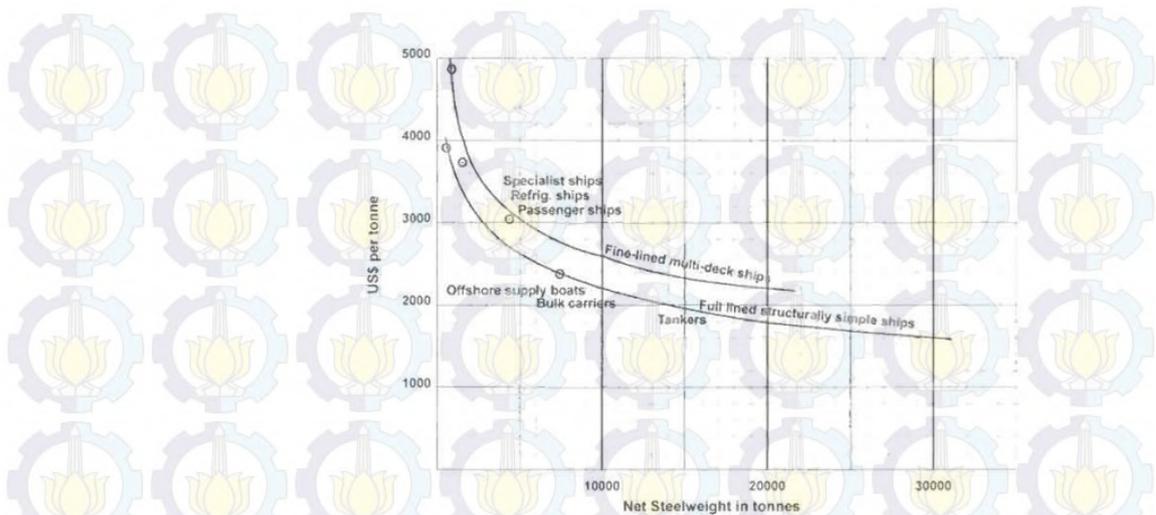
W_{ME} : Berat permesinan kapal [ton]

1. Structural cost (biaya berat baja)

$$P_{ST} = W_{ST} \cdot C_{ST}$$

C_{ST} = Pendekatan biaya berat baja per ton (berdasarkan kurva, Watson 1998)

C_{ST} berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan overhead.



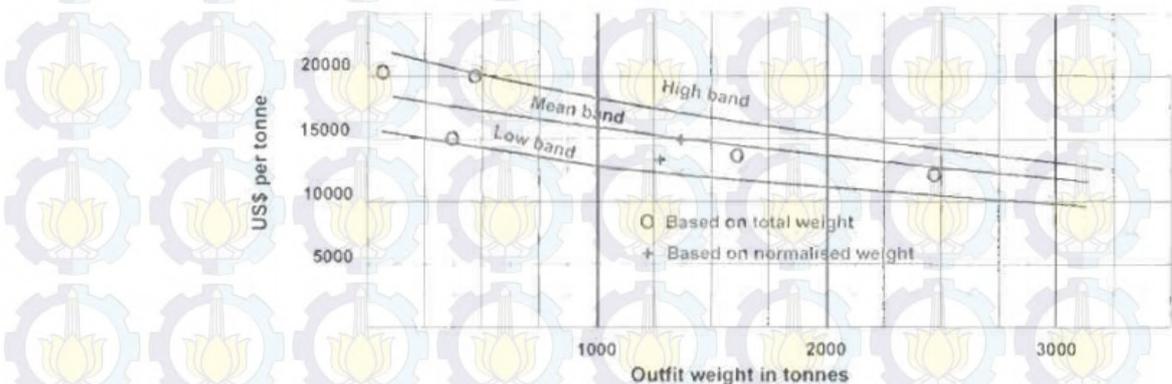
Gambar 4-2 Grafik perkiraan biaya berat baja per ton
(Watson, 1998)

2. Outfit cost (biaya berat peralatan dan perengkapan)

$$P_{E\&O} = W_{E\&O} \cdot C_{E\&O}$$

$C_{E\&O}$ = Pendekatan biaya berat baja per ton (berdasarkan kurva, Watson 1998)

$C_{E\&O}$ berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan overhead



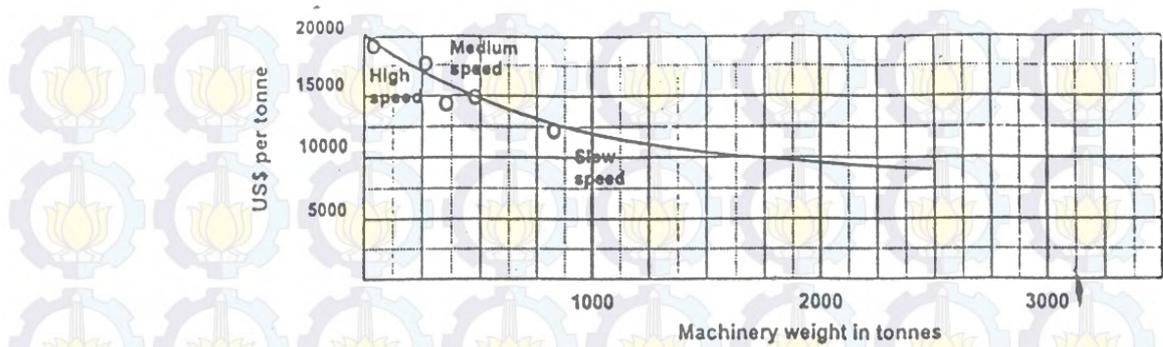
Gambar 4-3 Grafik perkiraan biaya outfit per ton
(Watson, 1998)

3. Machinery cost (biaya berat permesinan)

$$P_{ME} = W_{ME} \cdot C_{ME}$$

C_{ME} = pendekatan biaya berat baja per ton

C_{ME} berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan overhead.



Gambar 4-4 Grafik perkiraan biaya permesianan per ton
(Watson, 1998)

4. Non-Weight cost

Biaya ini merupakan biaya – biaya uang tidak dapat dikelompokkan dengan ketiga grup biaya sebelumnya. Contohnya :

- Biaya untuk drawing office labour and overhead.
- Biaya untuk biro klasifikasi dan Departemen Perhubungan.
- Biaya consultansi.
- Biaya tank test.
- Models cost
- Launch expenses
- Biaya lain – lain.

$$P_{NW} = C_{NW} \cdot (P_{ST} + P_{E\&O} + P_{ME})$$

$C_{NW} = 7,5\% - 12\%$, untuk galangan kecil, 10% untuk galangan besar

kapal yang dirancang digunakan $C_{NW} = 10\%$ untuk kapal atau galangan besar

4.4 Optimasi

Setelah dilakukan perhitungan awal, kemudian hasil perhitungan awal tersebut dibagi menjadi beberapa kelompok, Yaitu :

5. Variable

variable adalah sesuatu harga yang nantinya akan di olah dan divariasikan oleh Solver untuk mendapatkan suatu harga yang optimum. Dalam tugas akhir ini yang menjadi *variable* adalah :

- Panjang (L)

- b. Lebar (B)
- c. Sarat (T)
- d. Tinggi (H)
- e. Kecepatan Dinas (VS)

6. *Parameter*

Parameter merupakan sebuah harga yang sudah ditentukan sebelumnya. *Parameter* tidak akan berubah harganya selama proses optimasi. *Parameter* dalam Tugas Akhir ini adalah jumlah muatan (*payload*).

7. Batasan

Batasan adalah sesuatu yang membatasi proses optimasi. Untuk tidak melebihi harga – harga tertentu. Batasan dalam Tugas Akhir ini adalah peraturan – peraturan yang berlaku dan ketentuan – ketentuan yang telah ditetapkan sebelumnya yaitu :

- a. Hukum Archimedes
- b. Kapasitas ruang muat
- c. Trim
- d. Stabilitas
- e. Freeboard

8. *Objective Function*

Yang dimaksud dengan *Objective Function* dalam tugas akhir ini adalah sebuah perhitungan yang dijadikan sebagai acuan, di tugas akhir ini yang menjadi *Objective function* adalah biaya pembangunan kapal yang semimumimum mungkin namun masih memenuhi batasan – batasan yang ditentukan.

4.5 Ukuran Utama Optimum

Setelah dilakukan optimasi, maka akan didapatkan ukuran utama yang optimum. Namun bukan tidak mungkin hasil dari optimasi tersebut tidak memenuhi batasan - batasan yang telah ditentukan sebelumnya, dikarenakan keterbatasan iterasi yang dapat dilakukan oleh program Solver tersebut. Oleh karena itu, jika setelah dilakukan optimasi masih terdapat harga yang tidak memenuhi, perlu dilakukan optimasi kembali hingga didapatkan harga yang

memenuhi persyaratan – persyaratan yang telah ditentukan. Ukuran utama dikatakan optimum jika memenuhi semua parameter dan batasan serta mendapatkan harga kapal yang minimum.

4.6 Tahap Pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum

Setelah didapatkan ukuran utama yang optimum, maka langkah selanjutnya adalah membuat rencana garis dari kapal tersebut. Pembuatan rencana garis pada tugas akhir ini dilakukan dengan bantuan program *Maxsurf* dan *AutoCAD*

Selanjutnya sebagai perencanaan awal, perlu dibuat rencana umum yang mewakili perencanaan kapal secara keseluruhan. Rencana umum ini dibuat berdasarkan layout yang telah dibuat dari rencana garis. Perencanaan ruang akomodasi, tangki – tangki dan yang lainnya dilakukan berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya serta mengacu pada peraturan– peraturan yang berlaku. Rencana umum dibuat dengan menggunakan program *Autocad*.

4.7 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dirangkum hasil analisis yang didapat dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 5. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Owner Requirement

Dari data yang telah diperoleh dan diolah sebelumnya dapat ditarik beberapa kriteria yang dapat dirangkum menjadi *Owner Requirement*. Data-data tersebut adalah sebagai berikut :

Jenis kapal	: SPOB (Self-Propelled Oil Barge)
Muatan	: BBM (Premium dan Solar)
Jumlah muatan	: 505 ton
Kecepatan dinas	: 8 - 10 Knot
Rute Pelayaran	: Depo Pertamina Surabaya – Kepulauan Sumenep (Depo Pertamina Surabaya → P. Sapudi → P. Ra'as → P. Kangean → P. Sapeken → P. Masalembu → kembali Ke Depo Pertamina Surabaya)
Radius Pelayaran	: ± 500 Naautical Mile
Klasifikasi	: Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

5.2 Data Kapal Pembanding

Ukuran utama awal diperoleh dari hasil regresi kapal-kapal pembanding yang ada, pemilihan kapal pembanding berdasarkan tipe kapal (SPOB) dengan DWT yang hampir sama atau bahkan sama dengan range : $80\%DWT \leq DWT \leq 130\%DWT$. DWT yang di cari adalah 556 ton jadi range untuk kapal pembanding adalah 444 sampai 772 ton.

Tabel 5-1 Data Kapal Pembanding

No	Nama Kapal	DWT	Lpp	B	H	T
1	AVIRRA I	700	47.2	8.3	3.63	3
2	SPOB 48m	770	48	9	4	3.5
3	BENUA RAYA	500	41.6	7.4	3	2.2
4	ASPIAN JAYA IV	495	36	8	2.6	2.2
5	ANUGERAH II	750	42	8.7	3	2.2
6	K&N 2011	495	36.97	8	2.4	1.2
7	PETRO OCEAN III	490	42.62	7	3	1.92

8	SPOB 500 KL	550	43	8	3.3	2
	MIN	490	36	7	2.4	1.2
	MAX	770	48	9	4	3.5

Dari data kapal pembanding diatas diperoleh ukuran utama awal sebagai berikut :

Tabel 5-2 Ukuran Utama Awal

Ukuran Utama Awal		
L	41.24	m
B	8.13	m
H	3.00	m
T	2.12	m

5.3 Hambatan

Perhitungan hambatan kapal pada Tugas Akhir ini menggunakan metode Holtrop & Mennen, dengan pembagian komponen hambatan total menjadi beberapa komponen, yaitu hambatan gesek, hambatan bentuk (*Appendage Resistance*) dan hambatan gelombang (*wave making resistance*).

5.3.1 Hambatan Gesek

a) Viscous Resistance

Koefisien hambatan kekentalan dari hasil perhitungan adalah :

- $C_{fo} = 0,00196$
- $(1 + K_1) = 1,08$

b) Appendage Resistance

Koefisien hambatan akibat tonjolan badan kapal adalah :

- $(1+k_2) = 1,42$

c) Hambatan Gesek

Koefisien hambatan gesek secara keseluruhan adalah :

- $(1 + k) = 1,09$

5.3.2 Hambatan Gelombang

Hambatan gelombang terjadi karena adanya gesekan antara badan kapal dengan gelombang yang terjadi karena bergeraknya kapal. Koefisien hambatan gelombang yang didapat dari perhitungan adalah sebagai berikut :

- $R_w / W = 0.00143$

5.3.3 Hambatan Total

Hambatan total didapat dengan menjumlahkan beberapa harga dari masing-masing komponen yang dijelaskan di atas. Berdasarkan perhitungan hambatan total dengan menggunakan rumus:

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

didapatkan nilai hambatan total sebagai berikut:

$$R_T = 21888,25 \text{ N}$$

$$R_T + 15\% = 25,17 \text{ kN}$$

5.4 Perhitungan Power Mesin

Berdasarkan nilai hambatan total tersebut, maka perhitungan daya mesin dapat dilakukan menggunakan rumusan pada subbab 4.3.3 sebelumnya. Hasilnya adalah sebagai berikut :

1) P_e (*Effective Horsepower*)

$$P_e = R_T \times V_s$$

$$P_e = 105,44 \text{ kw}$$

$$= 141,39 \text{ hp}$$

2) P_d (*Delivered at Propeller*)

$$P_d = \frac{P_e}{\eta_d}$$

$$\eta_d = 0,790$$

$$P_d = 133,25 \text{ Kw}$$

$$= 178,69 \text{ Hp}$$

3) P_b (*Brake Horse Power*)

$$P_B = \frac{P_d}{(\eta_s \cdot \eta_{rg})}$$

$$\eta_s = \text{Shaft efficiency}$$

$$= 0,98 - 0,985$$

$$\eta_{rg} = \text{Reduction gear efficiency}$$

$$= 0,98$$

$$P_B = 128,36 \text{ kw} = 95,72 \text{ Hp}$$

Koreksi :

$$\text{Kamar mesin di belakang} = 3\% \quad P_B = 4,162 \text{ kw}$$

$$20,812$$

$$\text{Daerah pelayaran} = 15\% - 40\%P_B = \text{kw}$$

$$\text{Diambil } 15\% \quad P_B$$

$$P_{B \text{ total}} = 163,72 \text{ KW} \quad 1 \text{ HP} = 0,7457 \text{ kw}$$

$$= 219,56 \text{ HP}$$

Nilai kebutuhan tenaga (P_b) menjadi kebutuhan tenaga mesin kapal, yaitu setara dengan 219,56 HP. Kapal direncanakan memiliki dua unit mesin utama dan daya terpasang untuk mesin sesuai dengan daya yang tersedia di katalog yaitu masing-masing sebesar 128,20 HP.

5.5 Berat dan Displacement Kapal

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

1) Menghitung LWT Kapal

a) Perhitungan berat baja kapal.

$$W_{si}(\text{Ton}) = K \times E^{1,36}$$

Dimana:

$$E = L(B + T) + 0,85L(D - T) + 0,85 \{(l_1 \cdot h_1) + 0,75(l_2 \cdot h_2)\}$$

$$E = 497,47$$

$$K = 0,029$$

$$W_{si} = 134,90 \text{ ton}$$

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

$$W_{si}' = W_{si} - (\% \text{Scrap} \cdot W_{si}) ; \% \text{Scrap} = 9,19\% \text{ (grafik watson)}$$

$$W_{si}' = 122,49 \text{ Ton}$$

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

$$W_{st} = W_{si}' (1 + 0,05 (C_{b'} - C_b)) \quad ; C_{b'} = 0,882$$

$$W_{st} = 122,54 \text{ ton}$$

b) Perhitungan berat perlengkapan (*EO*) dilakukan dengan mengadopsi metode dalam buku *ship design for efficiency and economy* (H Schneekluth, 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,

$$\text{Calv} = 165 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Luas houses} = 199,73 \text{ m}^2$$

$$\text{Weo Living Quarters} = 32,96 \text{ ton}$$

- *Weo Miscellaneous*

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

Dimana, $C_{eo} = 0,18 \text{ Ton/m}^2$

$$\text{Weo selain houses} = 19,30 \text{ Ton}$$

- *Weo total*

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

$$\text{Weo total} = 52,25 \text{ Ton}$$

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

- *Berat Mesin Utama*

$$\text{Berat mesin} = 0,57 \text{ Ton}$$

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

$$\text{Total Wme} = 1,14 \text{ Ton}$$

- *Berat Mesin Bantu*

$$\text{Wae tiap mesin} = 0,52 \text{ Ton}$$

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

$$\text{Total Wae} = 1,04 \text{ Ton}$$

- *Berat Remainder*

$$W_r = K \cdot MCR^{0.7}$$

Dimana;

$$K = 0,72 \text{ untuk Tanker}$$

$$MCR = 163,72 \text{ Kw}$$

$$W_r = 12,77 \text{ Ton}$$

Maka berat permesinan total adalah 14,95 Ton.

d) Perhitungan berat cadangan dan LWT Total

$$W_{res} = (3 - 10)\% \times LWT$$

Dimana :

LWT = Jumlah total dari poin a sampai c.

$$= 189,74 \text{ Ton}$$

$$\text{Koefisien cadangan} = 3\%$$

Maka berat cadangan (W_{res}) adalah sebesar 5,69 Ton. Nilai ini ditambahkan ke nilai LWT awal sehingga berat LWT kapal adalah 195,43 Ton.

2) Perhitungan DWT Kapal

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

a) *Payload* = 505,5 Ton

b) *Consumble* (Bahan bakar)

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

- Kebutuhan MDO = SDOC x Seatime

Dimana,

$$SDOC = 0,014 \text{ ton/jam}$$

$$Sea \ time = 67,37 \text{ jam}$$

$$\text{Kebutuhan MDO/trip} = 2,23 \text{ Ton}$$

- Kebutuhan MFO = SDOC x *Turn Round Time*

Dimana,

$$SDOC = 0.006 \text{ Ton/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{RTD} &= 122 \text{ jam} \\ \text{Kebutuhan MFO/trip} &= 0,809 \text{ Ton} \end{aligned}$$

- Kebutuhan *Lub Oil* = SLOC x TRT

Dari buku *Practical Ship Design* (Watson, 1998) memberikan bahwa SLOC adalah 35 liter/hari/Kw. Nilai ini dirubah kedalam satuan ton dan besarnya disesuaikan dengan daya mesin terpasang. Maka didapat SLOC untuk *main engine* sebesar 0.0002 ton/jam dan *auxilliary engine* sebesar 0.00009 ton/jam.

Kebutuhan totalnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Lub}_{me} &= \text{SLOC}_{me} \times \text{Seatime} \\ &= 0.015 \text{ ton/trip} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Lub}_{ae} &= \text{SLOC}_{ae} \times \text{TRT} \\ &= 0,0013 \text{ ton/trip} \end{aligned}$$

- Kebutuhan air tawar = Wfw x jumlah crew x RTD

Dalam *Parametric design* (Parsons, 2001) diberikan asumsi penggunaan air bersih (Wfw) sebesar 0,17 ton/orang/hari untuk kapal-kapal pelayaran jauh. Besarnya koefisien konsumsi air bersih dikoreksi menjadi 0,1 ton/orang/hari karena perbedaan karakter *crew* Indonesia. Jumlah crew kapal ditentukan sebanyak 13 orang sehingga total kebutuhan air tawar menjadi :

$$\text{Kebutuhan air tawar} = 6,56 \text{ ton/trip}$$

- Kebutuhan air tawar untuk pendingin mesin = Wpm x Daya x *Seatime*

Koefisien kebutuhan air tawar pendingin mesin diasumsikan sebesar 2 kg/HP, Air Tawar pendingin mesin = 0,58 ton/trip

c) Complement (Provision and Store)

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

- Perbekalan = Koefisien perbekalan x jumlah crew x TRT

Koefisien perbekalan dari *Parametric design* (Parsons, 2001) ialah 10 kg/orang/hari. Maka hasil perhitungannya adalah = 0,60 ton/trip

- *Crew* dan bawaan = Koefisien *crew* dan bawaan x Jumlah *crew*

Koefisien crew dan bawaan ($C_{c\&e}$) adalah 0,17 ton/orang (Parsons, 2001). Nilai ini dikoreksi menyesuaikan dengan karakter *crew* di Indonesia (ukuran tubuh yang

lebih kecil) menjadi 0,1 ton/orang. Dengan jumlah crew 13 orang, maka berat total crew dan bawanya menjadi 1,3 ton.

d) 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 517 Ton.

3) Perhitungan Berat dan *Displacement* kapal

Berat kapal dapat dihitung dengan menjumlahkan berat bagian komponen kapal yang bersifat tetap (LWT) dengan bagian komponen kapal yang bisa dipindahkan (DWT). Berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui bahwa nilai LWT adalah 195,43 Ton dan DWT adalah 517 Ton. Maka nilai berat total kapal adalah 726,82 ton.

Sedangkan *Displacement* kapal adalah berat total air yang dipindahkan akibat badan tercelup kapal. Perhitungannya sebagai berikut :

$$Displacement = L \times B \times T \times C_b \times \rho \text{ air laut} = 708,51 \text{ Ton}$$

5.6 Perhitungan Titik berat

1) Perhitungan Titik berat Baja Kapal

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

$$KG (m) = C_{KG} - D_a$$

$$C_{KG} = \text{asumsi diambil } 0.52$$

koefisien titik berat KG untuk tankers Antara 0.52 – 0.54

$$D_a = 4,35 \text{ m}$$

$$\text{jadi } KG = 2,26 \text{ m}$$

$$LCG \text{ baja kapal} = -19,69 \text{ dari FP}$$

2) Perhitungan titik berat permesinan

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

$$KG_m (m) = H_{DB} + 0,35(D - H_{DB})$$

$$H_{DB} = 1,02 \text{ m}$$

$$D = 3,19 \text{ m}$$

$$\text{Jadi KG} = 1,78 \text{ m}$$

$$\text{LCG permesinan} = - 34,44 \text{ dari FP}$$

3) Perhitungan Titik Berat peralatan dan perlengkapan

Titik berat baja peralatan dan perlengkapan ditentukan dengan metode pendekatan sebagai berikut (H Schneekluth, 1998):

$$KG_{eo}(m) = (1,02 \sim 1,08) \times D_A$$

Diambil, 1,02

$$\text{Jadi KG} = 4,69 \text{ m}$$

$$\text{LCG peralatan kapan dan perlengkapan} = -9,68 \text{ m dari FP}$$

4) Titik berat consumable

- Titik berat Air Tawar

$$\text{KG} = 1,59 \text{ m}$$

$$\text{LCG} = -41,52 \text{ m dari FP}$$

- Titik berat Bahan Bakar

$$\text{KG} = 1,59 \text{ m}$$

$$\text{LCG} = -37,6 \text{ m dari FP}$$

- Titik berat minyak lumas

$$\text{KG} = 1,59 \text{ m}$$

$$\text{LCG} = -37,6 \text{ m dari FP}$$

- Titik berat crew dan bawannya

$$\text{KG} = 4,29 \text{ m}$$

$$\text{LCG} = 34 \text{ m dari FP}$$

5) Titik berat payload

$$\text{KG} = 1,099 \text{ m}$$

$$\text{LCG} = -19,3 \text{ dari FP}$$

6) Total Titik Berat keseluruhan

$$\text{KG} = 1,85 \text{ m}$$

$$\text{LCG} = -39,68 \text{ dari FP}$$

5.7 Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal

Perhitungan biaya pembangunan kapal (SPOB) menggunakan rumus pendekatan Watson(1998), yaitu terdiri dari biaya material struktur bangunan kapal (*struktural cost*), biaya perlengkapan (*outfitting cost*), dan biaya permesinan (*machinery cost*). Serta ditambah biaya lain-lain (*Non-Weight Cost*), dengan asumsi 10% dari tiga biaya sebelumnya.

Perhitungan:

Biaya Pembangunan Kapal

Rekapitulasi Berat :

Input Data:

Berat Baja

Wst = 122,54 Ton

Berat Perlengkapan

Weo = 52,25 Ton

Berat Permesinan

Wme = 14,95 Ton

Asumsi kurs mata uang

1USD = 10000 Rupiah

Perhitungan :

1) *Structural Cost*

$$Pst = Wst \times Cst$$

$$Cst = 3.924,78 \text{ USD/Ton}$$

$$\text{Maka, } Pst = 480.935,43 \text{ USD}$$

$$\text{Rp. } 4.809.354.316$$

2) *Outfitting Cost*

$$Peo = Weo \times Ceo$$

$$Ceo = 19.422 \text{ USD/Ton}$$

$$\text{Maka, } Peo = 1.014.862,16 \text{ USD}$$

$$\text{Rp. } 10.148.621.646,24$$

3) *Machinery Cost*

$$Pme = Wme \times Cme$$

$$Cme = 18.393,577 \text{ USD/Ton}$$

$$\text{Maka, } Cme = 274.904,512 \text{ USD}$$

$$\text{Rp. } 2.749.045.117,650$$

4) *Non-Weight Cost*

$$P_{nw} = W_{nw} \times C_{nw}$$

$$C_{nw} = 10\% \text{ ;asumsi}$$

$$\text{Maka, } P_{nw} = 177.070,211 \text{ USD}$$

$$\text{Rp. } 1.770.702.108,005$$

Total biaya pembangunan

SPOB

Rp. 19.477.723.188,052

5.8 Optimasi

Setelah melakukan perhitungan, kemudian dilakukan optimasi untuk mendapatkan ukuran utama yang optimum, memenuhi parameter dan semua batasan yang ditentukan serta harga yang seminimum mungkin. Dalam Tugas Akhir ini optimasi menggunakan *tool Solver* yang ada di microsoft excel 2007.

5.8.1 Model Optimasi

Dalam melakukan optimasi, terlebih dahulu harus dibuat model optimasi dengan menentukan *parameter*, *variable*, *constraint* dan *objective function*.

- *Parameter*, dalam Tugas Akhir ini adalah jumlah muatan (*payload*)
- *Variabel* yang digunakan adalah panjang(Lpp), Lebar(B), Tinggi(H), Sarat(T) dan Kecepatan (Vs)
- *Constraint*, untuk melakukan optimasi diperlukan batasan-batasan agar perhitungan lebih focus dan tidak melebar terlalu jauh dari tujuan, batasan tersebut Antara lain:
Hukum *Archimides*, kapasitas ruang muat, *freeboard*, *trim* dan stabilitas
- *Objective Function*, adalah biaya pembangunan kapal yang paling minimum.

Tabel 5-3 Tampilan Model Optimasi

Batasan							
Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$Fn = V/(g \cdot Lpp)^{0.5}$				0.20	0.24	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0°	m	MG_0	0.15	2.07		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^{\circ}$	m	LS_{30}		2.65		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada LS maksimum	deg	LS_{maks}	25	43.41		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30°	m.rad	Ld_{30}	0.055	0.35		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40°	m.rad	Ld_{40}	0.09	0.55		ACCEPTED
	Luas Kurva GZ antara $30^{\circ} - 40^{\circ}$	m.rad		0.03	0.20		ACCEPTED
Freeboard	Fb	mm	F	472.09	877		ACCEPTED
Displacement	Koreksi displacement	%			2.581%	5.00%	ACCEPTED
Trim	Selisih Trim	%		0%	0.0980%	0.10%	ACCEPTED
	Kondisi Trim				trim buritan		ACCEPTED
Kapasitas	payload	%		100%	102.0%	106%	ACCEPTED
Rasio	Panjang kapal terhadap lebar kapal		L/B	3.000	4.90	6.90	ACCEPTED
	Lebar kapal terhadap Sarat kapal		B/T	2.570	4.4904	6.67	ACCEPTED
DWT	Deadweight	Ton	DWT	444.40	516.87	722.15	ACCEPTED

Batasan							
Parameter	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Parameter	payload	ton			505.50		
	Panjang	m	L	34.00	43.99	48.00	ACCEPTED
Variabel	Lebar	m	B	7.00	8.98	10.00	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	2.40	2.88	4.00	ACCEPTED
	Sarat	m	T	1.20	2.00	3.50	ACCEPTED
	Kecepatan kapal	Kn	Vs	8.00	8.00	11.00	ACCEPTED
Objective function	Hull	Rupiah	Rp		5,338,180,366		
	Machinery (ME,AE)	Rupiah	Rp		2,624,810,292		
	Hull Outfitting	Rupiah	Rp		10,354,386,407		
	Non weight cost	Rupiah	Rp		1,831,737,706		
	Investment Cost	Rupiah	Rp		20,149,114,771		

5.8.2 Langkah Optimasi

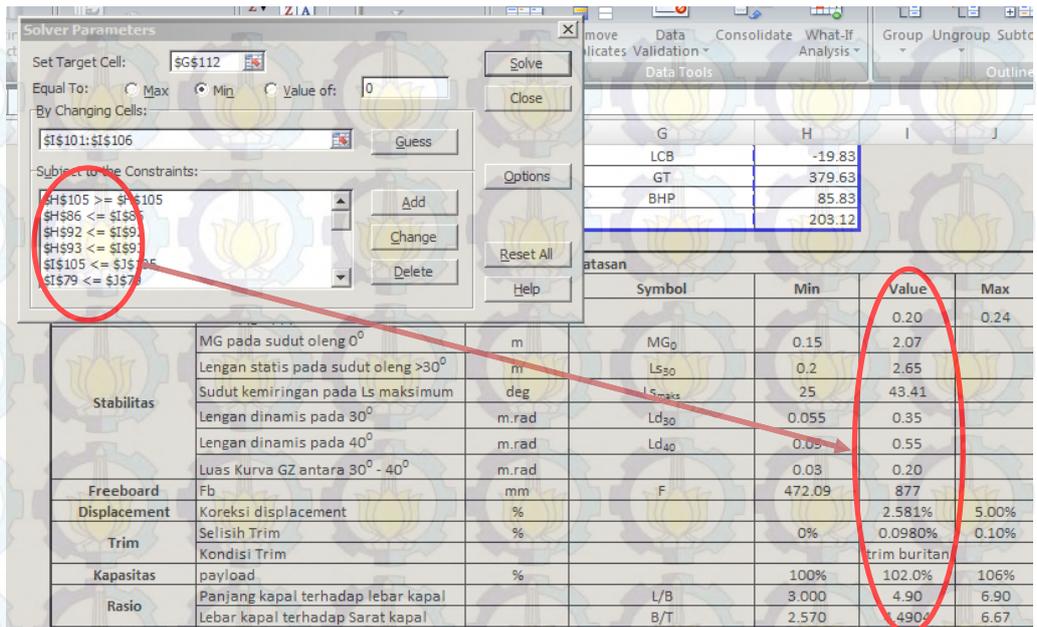
Setelah model optimasi selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah menjalankan model optimasi tersebut dengan *software* Solver pada Microsoft Excel. Langkah-langkah untuk menjalankan model optimasi pada Solver adalah sebagai berikut:

1. Pilih (klik) **Solver** pada pojok paling kanan dari menu bar **Data** di Microsoft Excel 2007. Jika Solver belum terinstall maka perlu dilakukan proses *install* Solver.



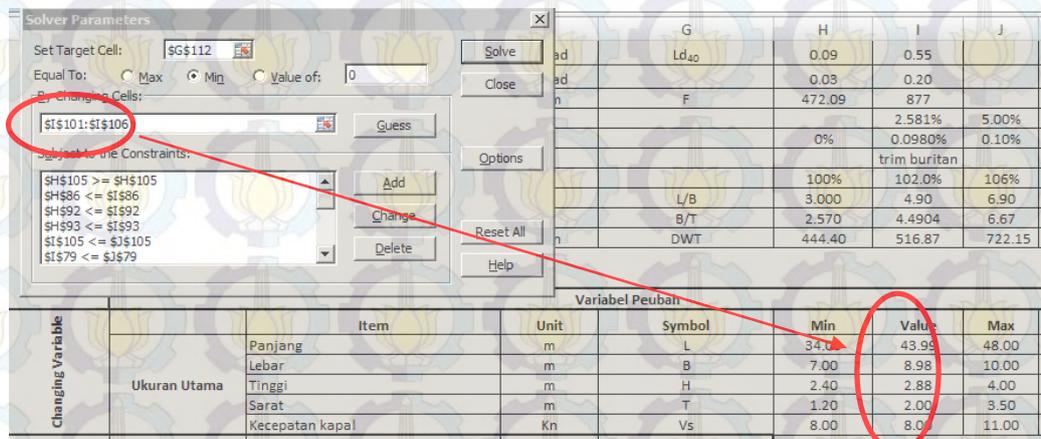
Gambar 5-1 Tampilan Menu Microsoft Excel 2007 dengan Solver Add-In terinstall

2. Menentukan Constraint pada model optimasi dan menentukan nilai minimum atau maksimumnya yang menjadi batasan peraturan.



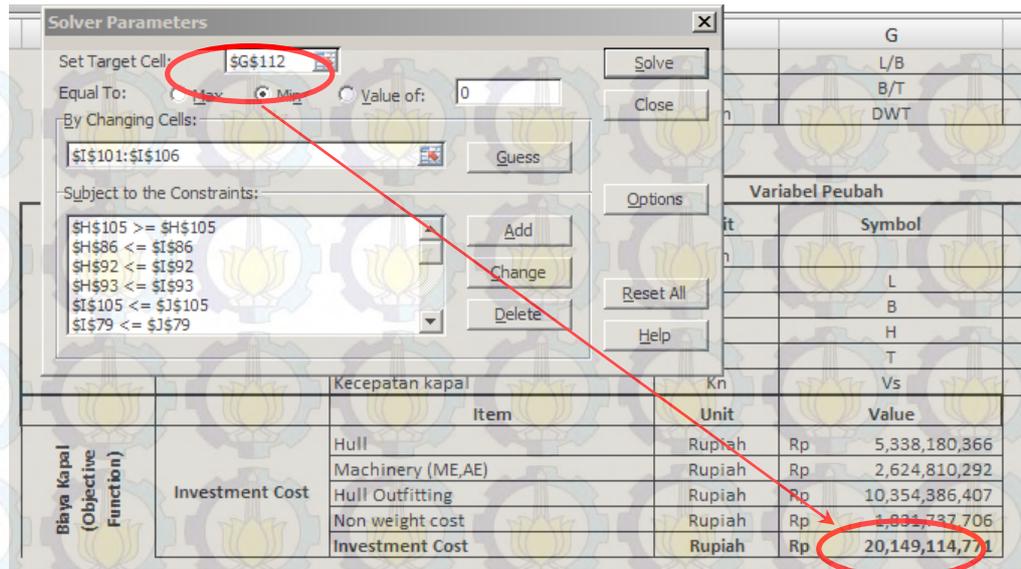
Gambar 5-2 Tampilan Penentuan Constraint Pada Solver

3. Menentukan Changing Cells pada model optimasi. Changing Cells yang dimaksud adalah variable yang akan dicari nilainya dengan proses optimasi. Maka Changing Cells terdiri letak cell ukuran utama kapal awal atau initial value.



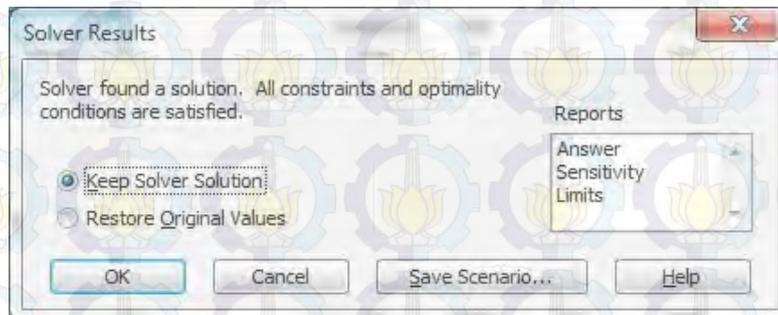
Gambar 5-3 Tampilan Penentuan By Changing Cells Pada Solver

4. Menentukan target cell (objective function) pada kolom biaya pembangunan kapal yang nilainya dibuat semimumimum mungkin.



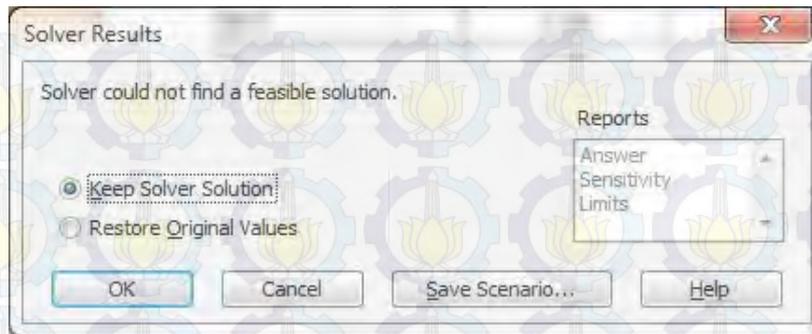
Gambar 5-4 Tampilan Penentuan Target Cell Pada Solve

5. langkah selanjutnya adalah running Solver. Untuk running Solver klik tombol Solve pada tampilan awal Solver. Tunggu sampai proses iterasi selesai dan nilai variable didapat. Jika semua constraint memenuhi maka akan keluar dialog box seperti pada gambar di bawah ini. Untuk menampilkan hasil optimasi, pilih “Keep Solver Solution”.



Gambar 5-5 Tampilan dialog box solver ketika mendapatkan solusi

6. Jika Solver tidak dapat menemukan kombinasi variable yang optimal langkah yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah nilai-nilai variable pada model Solver.



Gambar 5-6 Tampilan dialog box solver ketika tidak mendapatkan solusi

5.8.3 Hasil Optimasi

Dari proses optimasi seperti yang telah dijelaskan di atas, tidak selalu Solver dapat menemukan solusi yang sesuai dengan batasan-batasan yang ditentukan. Hal tersebut disebabkan karena keterbatasan iterasi pada program Solver ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi ulang untuk mendapatkan hasil yang memenuhi dengan *objective function* yang seminimum mungkin.

Tabel 5-4 Tampilan model Solver

Batasan							
Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$F_n = V / (g \cdot L_{pp})^{0.5}$				0.21	0.24	ACCEPTED
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0°	m	MG ₀	0.15	2.32		ACCEPTED
	Lengan statis pada sudut oleng >30°	m	LS ₃₀	0.2	2.64		ACCEPTED
	Sudut kemiringan pada Ls maksimum	deg	LS _{maks}	25	43.39		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 30°	m.rad	Ld ₃₀	0.055	0.35		ACCEPTED
	Lengan dinamis pada 40°	m.rad	Ld ₄₀	0.09	0.54		ACCEPTED
	Luas Kurva GZ antara 30° - 40°	m.rad		0.03	0.19		ACCEPTED
Freeboard	Fb	mm	F	457.82	868		ACCEPTED
Displacement	Koreksi displacement	%			1.296%	5.00%	ACCEPTED
Trim	Selisih Trim	%		0%	0.0395%	0.10%	ACCEPTED
	Kondisi Trim				trim buritan		ACCEPTED
Kapasitas	payload	%		100%	102.0%	106%	ACCEPTED
Rasio	Panjang kapal terhadap lebar kapal		L/B	3.000	4.00	6.90	ACCEPTED
	Lebar kapal terhadap Sarat kapal		B/T	2.570	4.9709	6.67	ACCEPTED
DWT	Deadweight	Ton	DWT	444.40	519.18	722.15	ACCEPTED
Stok	Konsumsi BBM masyarakat	m3/trip		262.79	617.03		ACCEPTED

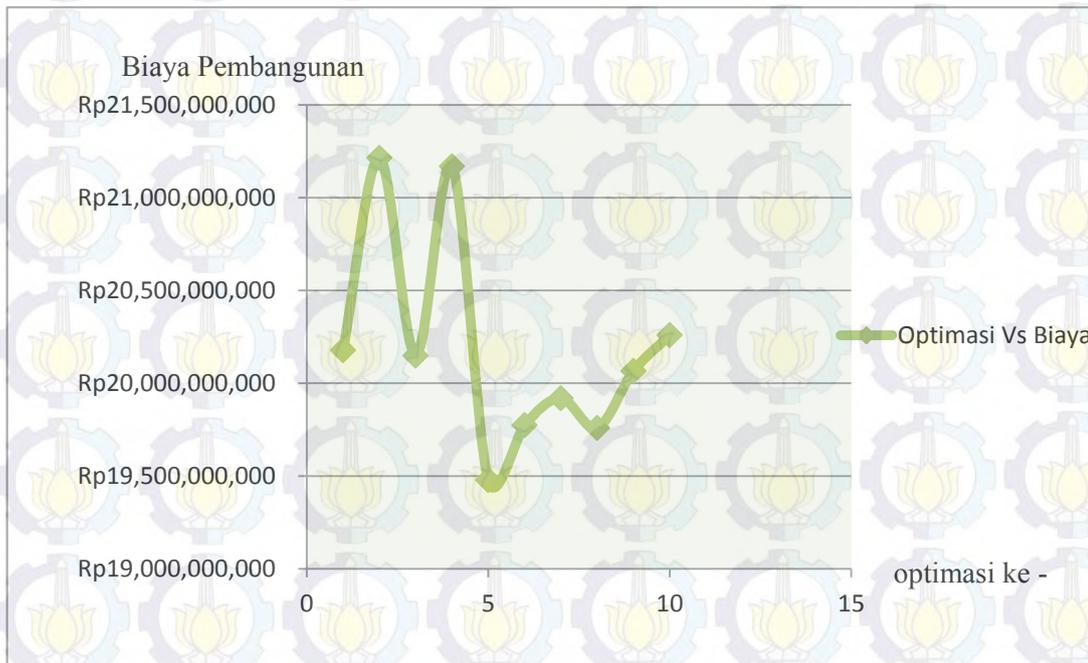
Batasan							
Parameter	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Variable	payload	ton			505.50		
	Panjang	m	L	34.00	40.00	48.00	ACCEPTED
	Lebar	m	B	7.00	10.00	10.00	ACCEPTED
	Tinggi	m	H	2.40	2.88	4.00	ACCEPTED
	Sarat	m	T	1.20	2.01	3.50	ACCEPTED
	Kecepatan kapal	Kn	Vs	8.00	8.07	11.00	ACCEPTED
Objective function		Unit	Value				
	Hull	Rupiah	Rp	5,248,790,115			
	Machinery (ME,AE)	Rupiah	Rp	3,262,965,868			
	Hull Outfitting	Rupiah	Rp	10,774,248,738			
	Non weight cost	Rupiah	Rp	1,928,600,472			
	Investment Cost	Rupiah	Rp	21,214,605,193			

Setelah dilakukan optimasi secara berulang kali diperoleh hasil optimasi yang memenuhi semua batasan dan harga yang paling minimum. Rekapitulasi optimasi dapat dilihat pada table 5-5.

Tabel 5-5 rekapitulasi hasil optimasi

Optimasi	L	B	H	T	Vs	Biaya
1	42.01	9.04	2.96	2.09	8.26	Rp 20,178,371,366
2	40.00	10.00	2.88	2.01	8.07	Rp 21,214,605,193
3	43.99	8.98	2.88	2.00	8.00	Rp 20,149,114,771
4	40.99	9.95	2.81	1.99	8.00	Rp 21,169,584,461
5	42.24	8.22	3.20	2.18	8.14	Rp 19,477,723,188
6	41.15	8.42	3.34	2.19	8.25	Rp 19,774,701,905
7	41.95	9.14	2.93	2.00	8.04	Rp 19,919,171,794
8	41.04	8.88	3.09	2.26	8.09	Rp 19,759,089,482
9	42.93	8.97	2.92	1.99	8.12	Rp 20,066,006,848
10	40.00	9.02	3.14	2.22	8.37	Rp 20,259,553,732

Tabel 5-5, menunjukkan rekapitulasi optimasi yang telah memenuhi semua batasan yang diberikan, dan dapat dilihat pada optimasi ke-5 biaya yang diperoleh adalah paling minimum. Begitu juga dapat dilihat dari grafik 5-7, setelah optimasi ke 5, grafik cenderung naik, sehingga dapat disimpulkan bahwa optimasi ke-5 adalah yang paling optimum dengan biaya paling minimum.



Gambar 5-7 Grafik rekapitulasi optimasi

Sehingga ukuran utama yang di pakai untuk proses selanjutnya adalah nilai-nilai variable pada optimasi ke-5 yaitu dengan L= 42,24 m, B = 8,22 m, H = 3,20 m, T = 2,18 m, dan dengan Vs = 8,14 knots.

Sarat SPOB yang di peroleh dari hasil optimasi adalah 2,13 m. sarat tersebut memenuhi sarat maksimum yang diizinkan untuk masuk dermaga sesuai tabel 5-6.

Tabel 5-6 sarat maksimum yang diizinkan masuk dermaga/pelabuhan

Pulau	Sarat Maksimal yang diizinkan (m)
Sapudi	3
Ra'as	3,5
kangean	5
Sapeken	3,5
Masalembu	5

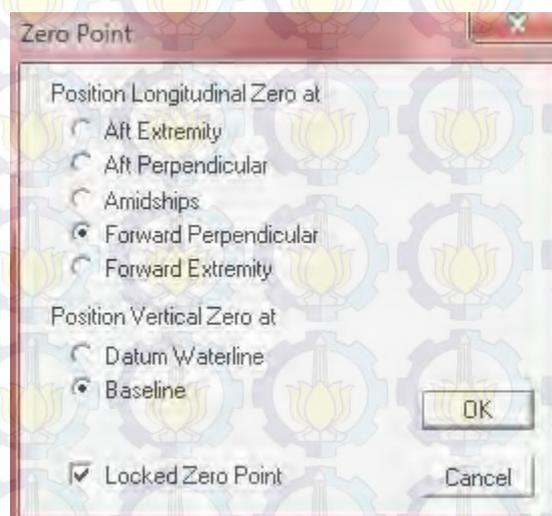
5.9 Rencana Garis

Acuan ukuran untuk pembuatan rencana garis adalah dari hasil optimasi. Rencana garis untuk barge ini dibuat dengan memodelkan desain awalnya dengan membuat surface model box. Kemudian membuat model menjadi desain yang diinginkan dengan tidak mengurangi dasar-dasar gambar barge. Sehingga diperoleh gambaran karakteristik awal model.. Kemudian merubah karakteristik kapal seperti Panjang, Lebar, Sarat, Tinggi, Cb, Lcb sesuai dengan kapal yang akan didesain.

Langkah-langkah pembuatan model dengan software maxsurf

1. Menentukan *Zero Point*

Setelah menentukan *sample design* dan ukuran utama kapal, kemudian yang harus dilakukan adalah menentukan *zero point*, pada tugas akhir ini *zero point* di ambil pada FP.



Gambar 5-8 menu zero point (titik acuan) pada maxsurf

2. Menentukan LPP

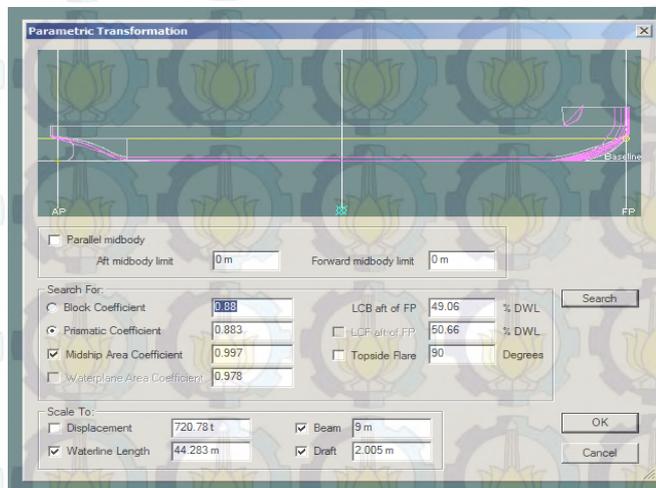
Setelah ukuran utama ditentukan maka langkah selanjutnya adalah menentukan Lpp. Lpp adalah jarak dari AP ke FP. FP adalah garis tegak lurus yang memotong linggi haluan kapal dan sarat dan AP adalah garis tegak lurus pada buritan kapal sebagai sumbu kemudi kapal. Oleh karena itu dalam penentuan Lpp data yang diperlukan adalah tinggi sarat dan jarak Lpp.



Gambar 5-9 menu Frame of Reference

3. Penentuan Lines Plan Kapal (Transform Dialog)

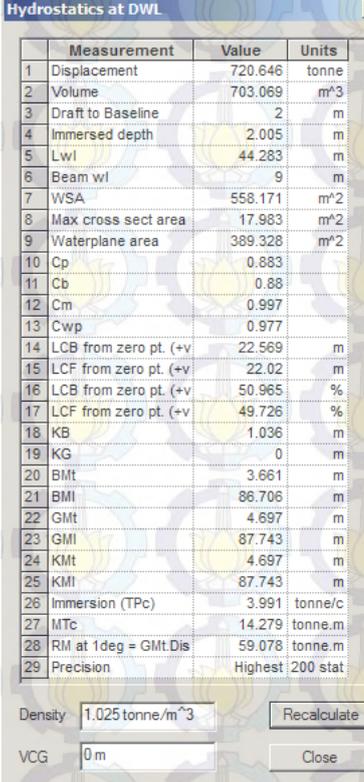
Pada bagian transform dialog proses pembuatan Lines dengan memasukkan Cb, LCB, Displacement, LWL, B, T. Setelah dimasukan data input tersebut dengan menekan tombol search maka Lines akan langsung terbentuk. Kemudian dilakukan cek displacement dengan cara mencocokkan displacement pada *maxsurf* dan dari hasil perhitungan, apabila belum memenuhi maka kita dapat merubah desain dengan menggerakkan kontrol poin sampai displacement yang diinginkan dapat sesuai.



Gambar 5-10 Tampilan parametic Transformation

4. Pemeriksaan Displacement

Pada *table hydrostatic* berisi semua data-data model kapal yang telah dibuat mulai dari displacement sampai titik apung kapal, berikut adalah tampilan dari *table hydrostatic* :



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	720.646	tonne
2	Volume	703.069	m ³
3	Draft to Baseline	2	m
4	Immersed depth	2.005	m
5	Lwl	44.283	m
6	Beam wl	9	m
7	WSA	558.171	m ²
8	Max cross sect area	17.983	m ²
9	Waterplane area	389.328	m ²
10	Cp	0.883	
11	Cb	0.88	
12	Cm	0.997	
13	Cwp	0.977	
14	LCB from zero pt. (+v)	22.569	m
15	LCF from zero pt. (+v)	22.02	m
16	LCB from zero pt. (+v)	50.965	%
17	LCF from zero pt. (+v)	49.726	%
18	KB	1.036	m
19	KG	0	m
20	BMt	3.661	m
21	BMI	86.706	m
22	GMt	4.697	m
23	GMI	87.743	m
24	KMt	4.697	m
25	KMI	87.743	m
26	Immersion (TPc)	3.991	tonne/c
27	MTc	14.279	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt Dis	59.078	tonne.m
29	Precision	Highest 200 stat	

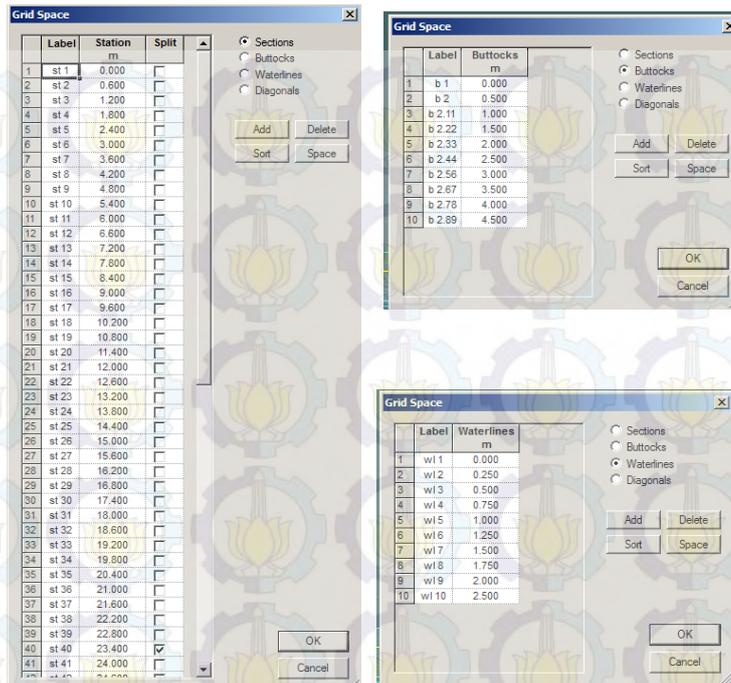
Density: 1.025 tonne/m³ Recalculate
VCG: 0 m Close

Gambar 5-11 Table hydrostatic

Tabel hydrostatic ini digunakan untuk koreksi ukuran-ukuran yang telah didapat pada perhitungan dengan model kapal yang di buat pada *software maxsurf*, agar menghasilkan rencana garis yang sesuai perhitungan.

5. Menentukan Pembagian Station, Buttock dan Water line

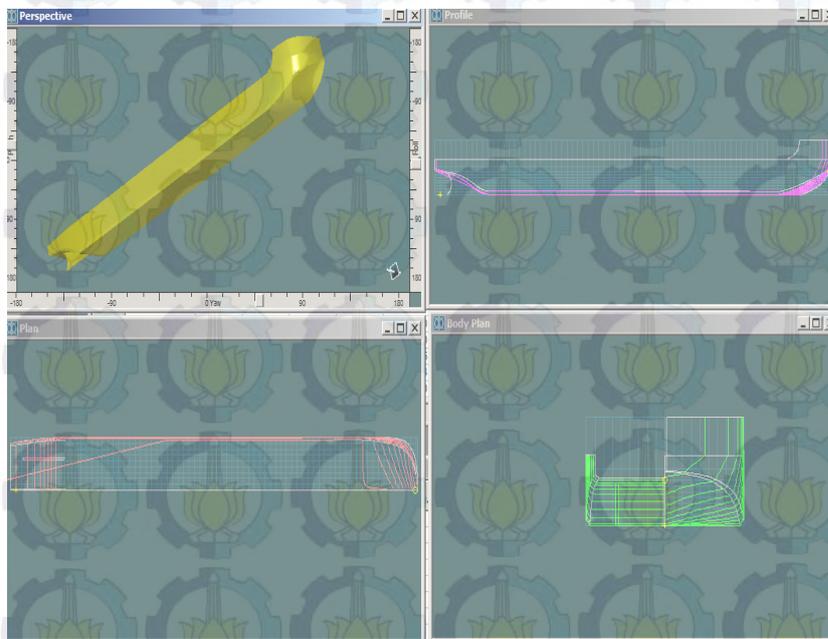
Setelah Lines terbentuk dan semua ukuran telah memenuhi maka langkah berikutnya adalah menentukan pembagian station, buttock dan water line. Pembagian station, buttock dan water line tersebut dibagi sesuai dengan perencanaan. Untuk station kapal ini dibagi menjadi 74 station dari AP sampai FP dengan jarak 600 mm sesuai jarak gading. Untuk waterline di rencanakan berjarak 0.25 m dan buttock direncanakan berjarak 0.5 m.



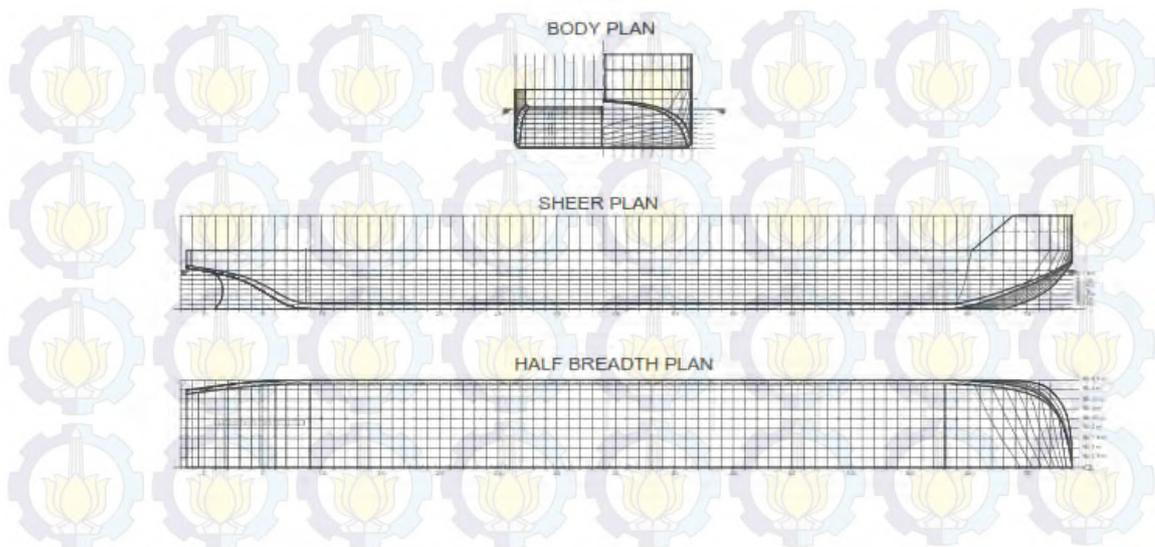
Gambar 5-12 grid spacing

6. Finishing Rencana Garis

Setelah model sesuai dengan hasil perhitungan serta telah di lakukan pembagian station, waterline dan buttock line maka selanjutnya dilakukan export ke Autocad untuk finishing Rencana Garis.



Gambar 5-13 tampilan 4 sudut pandang model pada maxsurf



Gambar 5-14 tampilan Rencana Garis Pada AutoCad

Hasil gambar Rencana garis dapat dilihat secara lengkap pada lampiran.

5.10 Rencana Umum

Rencana Umum / General Arrangement pada Tugas Akhir ini dibuat dengan menggunakan software Autocad. Pembuatan Rencana Umum dibuat berdasarkan Rencana Garis yang telah dibuat sebelumnya. Dari Rencana Garis tersebut di ambil layout waterline plan pada geladak utama, *bottom*, *forecastle* dan semua yang dibutuhkan. Untuk tampak samping diambil layout dari *sheerplan* pada *center line*. Dan pada tampak depan di ambil layout dari body plan pada daerah paralel *middle body*. Kemudian struktur bangunan atas dibuat dengan menggunakan data dari perhitungan. Rencana Umum diartikan sebagai perencanaan ruangan yang ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya. Ruangan-ruangan tersebut misalnya : Ruang muat, ruang akomodasi, ruang mesin, dll. Disamping itu, juga meliputi perencanaan penempatan lokasi ruangan beserta aksesnya. Menurut "Ship Design and Construction", karakteristik rencana umum dibagi menjadi 4 bagian antara lain :

- a. Penentuan lokasi ruang utama
- b. Penentuan batas-batas ruangan
- c. Penentuan dan pemilihan perlengkapan yang tepat
- d. Penentuan akses (jalan atau lintasan) yang cukup

Langkah pertama dalam menyelesaikan permasalahan rencana umum adalah menempatkan ruangan-ruangan utama beserta batas-batasnya terhadap lambung kapal dan bangunan atas. Adapun ruangan utama dimaksud adalah :

- a. Ruang Muat
- b. Kamar mesin
- c. Ruangan untuk crew dan penumpang
- d. Tangki-tangki (bahan bakar, ballast, air tawar, dll)
- e. Ruangan-ruangan lainnya

Pada saat yang bersamaan juga ditentukan kebutuhan lain yang harus diutamakan seperti:

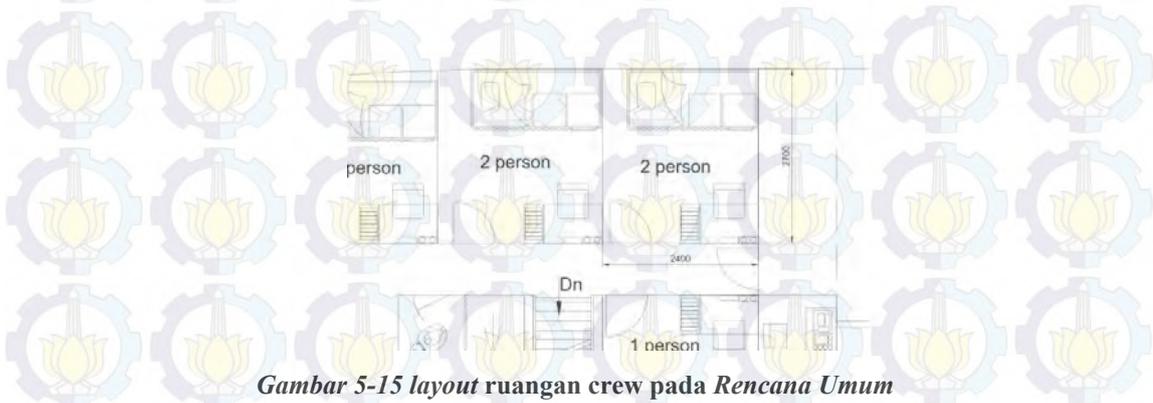
- a. Sekat kedap masing-masing ruangan
- b. Stabilitas yang cukup
- c. Struktur / konstruksi
- d. Penyediaan akses yang cukup

Beberapa peraturan – peraturan yang harus diperhatikan dalam perencanaan Rencana umum antara lain :

1. *ILO 92 : Convention concerning Crew Accommodation on Board 1949*, peraturan tentang akomodasi crew diatas kapal
2. *Annex I of MARPOL 73/78 Regulations for the Prevention of Pollution by Oil*, peraturan untuk mencegah terjadinya pencemaran Laut
3. *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972”, Consolidated Edition 2002, IMO, London, 2002 (COLREG)*, peraturan tentang navigasi untuk meminimalisir terjadinya tabrakan Antara kapal di laut
4. *Dll.*

Berikut ini adalah beberapa hal pada Rencana umum SPOB yang telah memenuhi peraturan di atas :

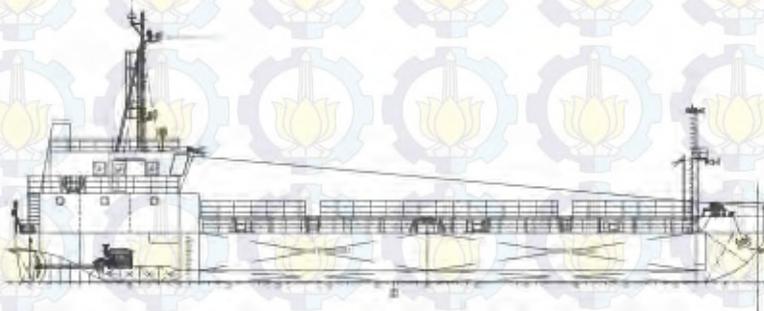
1. Menurut ILO 92, untuk kapal kurang dari 800 DWT, luas kamar tidur per orang adalah 1.85m². Di RU telah memenuhi luas kamar untuk 2 orang adalah 6.48m².



Gambar 5-15 layout ruangan crew pada Rencana Umum

2. Menurut MARPOL 73/78, kapal tanker lebih dari 600 DWT, harus menggunakan double hull dan double bottom

SPOB yang didesain memiliki DWT kurang dari 600 yaitu 556 DWT, jadi tidak wajib menggunakan double hull. Akan tetapi SPOB direncanakan memakai double bottom yang akan difungsikan sebagai tangki ballast.



Gambar 5-16 tampak samping Rencana Umum

3. SPOB juga telah dilengkapi lampu-lampu navigasi yang sesuai dengan COLREG

Hasil rencana umum dapat dilihat secara lengkap pada lampiran.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

a) Setelah dilakukan Optimasi didapatkan ukuran utama yang optimum sebagai berikut :

Panjang (L) : 42,24 m

Lebar (B) : 8,22 m

Sarat air (T) : 2,18 m

Tinggi (H) : 3,20 m

Kecepatan dinas (Vs) : 8,14 Knot

Dengan biaya pembangunan SPOB minimum yang dapat dicapai adalah Rp.19.477.723.188,-

b) Rencana garis telah memenuhi koreksi displacement, antara hitungan dengan model pada *software maxsurf*.

c) Rencana Umum telah memenuhi beberapa peraturan Antara lain :

- ILO 92 : *Convention concerning Crew Accommodation on Board 1949*
- *Annex I of MARPOL 73/78 Regulations for the Prevention of Pollution by Oil*
- *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG), 1972”, Consolidated Edition 2002, IMO, London, 2002*

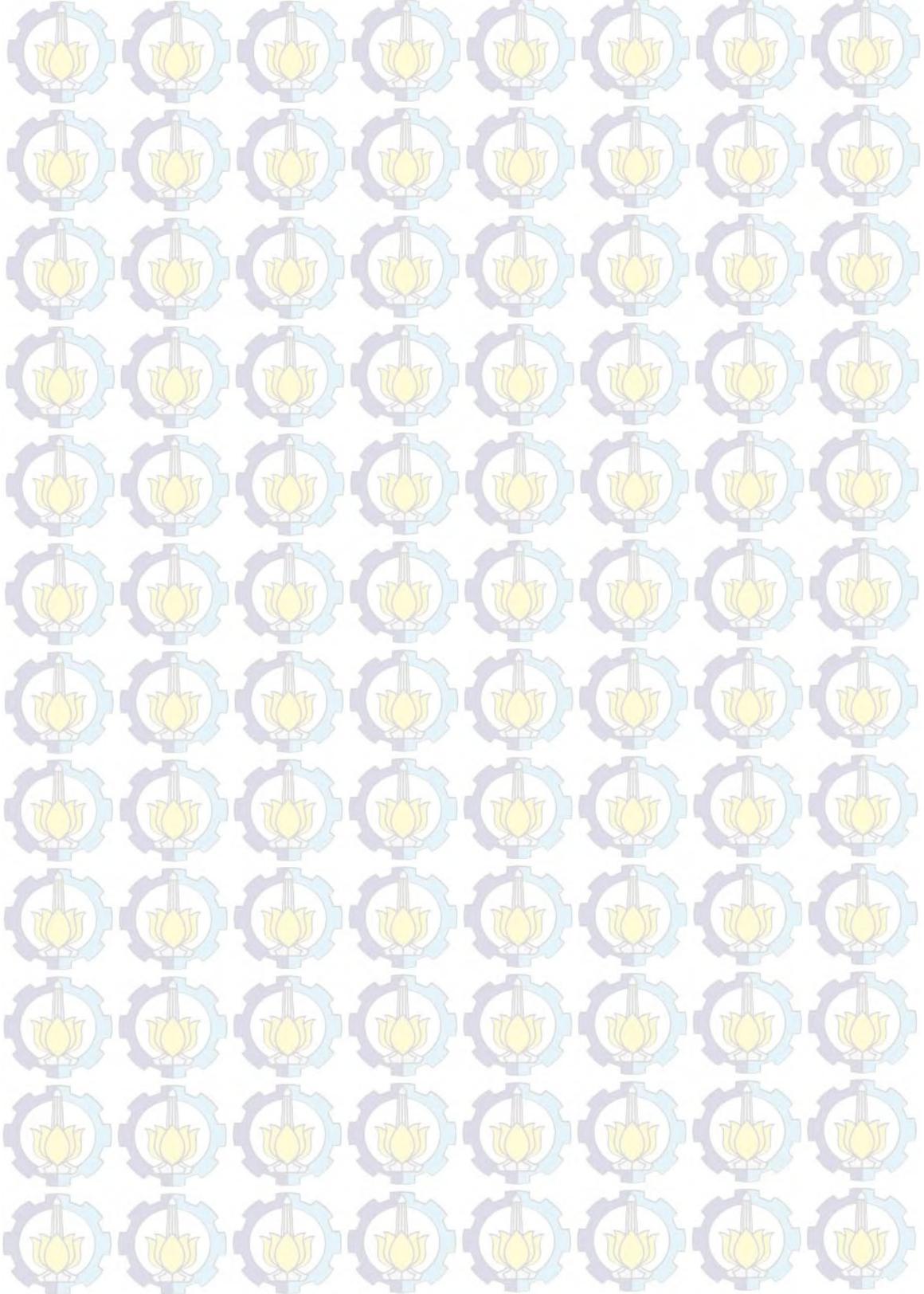
6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) Dalam tugas akhir ini perancangan kapal yang dilakukan hanya sampai *Concept design* saja. disarankan agar peneliti selanjutnya dapat melanjutkan hingga ke tahap berikutnya. Serta butuh penelitian lebih lanjut tentang kebutuhan sarana dan prasarana pendukung guna distribusi BBM untuk wilayah kepulauan.

b) Mengingat masih banyaknya perhitungan yang dilakukan dengan *formula estimasi*/pendekatan, maka diharap untuk penelitian selanjutnya dilakukan dengan perhitungan yang lebih akurat dan mendekati keadaan yang sebenarnya.

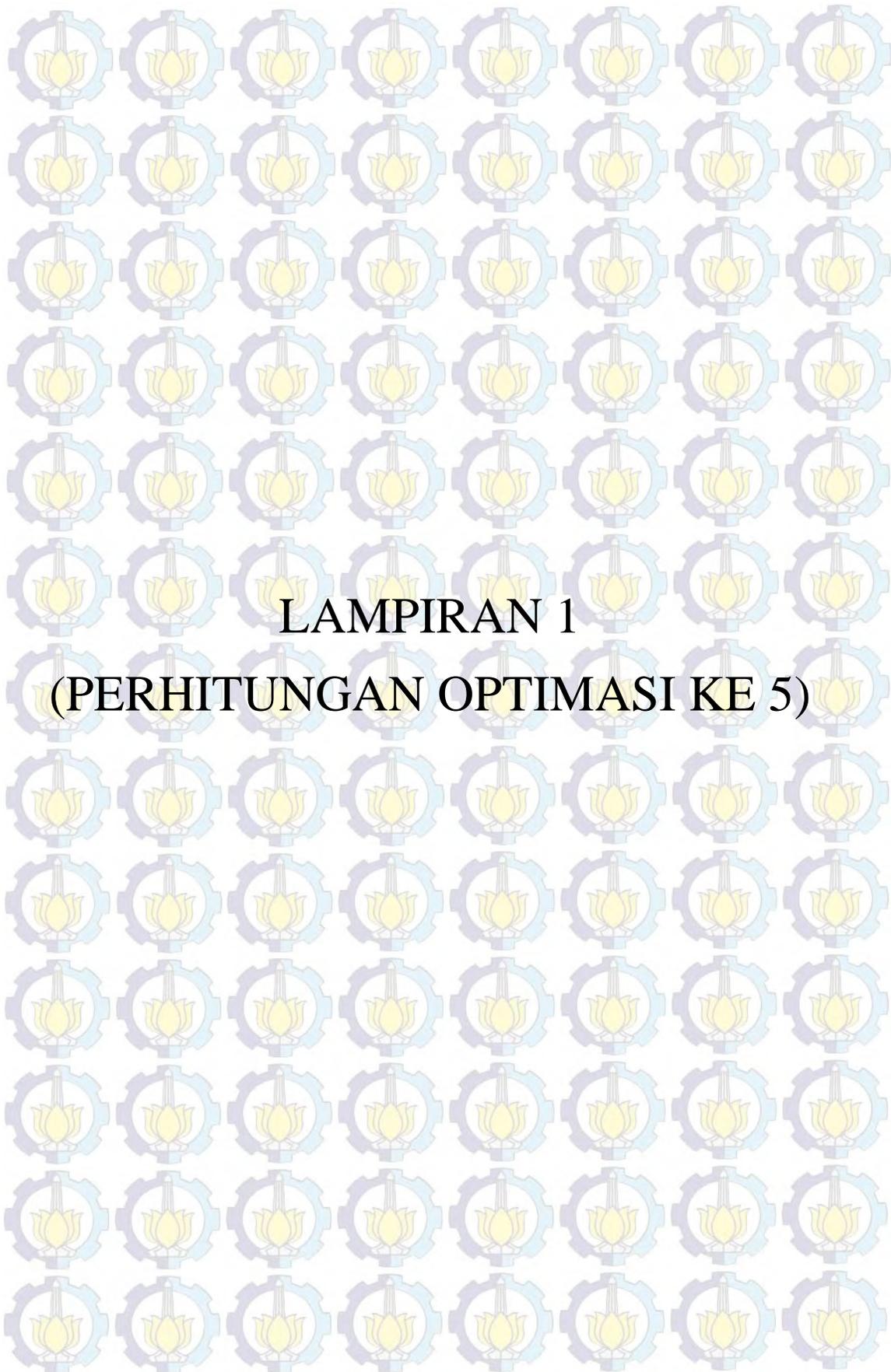
- c) Untuk mengurangi biaya pembangunan SPOB, disarankan tangki *ballast* pada *doubel bottom* dapat ditiadakan dan sebagai gantinya tangki muatan dapat digunakan tangki *ballast* apabila SPOB dalam keadaan muatan kosong.



DAFTAR PUSTAKA

- A.Z, Ghulam. (2013). Tugas Akhir: Model Konseptual Perencanaan Transportasi Bahan Bakar Minyak (BBM) Untuk Wilayah Kepulauan (Studi Kasus: Kepulauan Kabupaten Sumenep), Surabaya: ITS.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2006). Volume II, Rules For The Classification and Construction of Seagoing Steel Ship. Jakarta: Biro Klasifikasi Inonesia.
- bphmigas.go.id., (2014). Komoditas BBM. Retrieved July 1, 2014, from <http://www.bphmigas.go.id.>
- Badan Pusat Statistik (2012). jumlah penduduk. kabupaten Sumenep
- Dharma, B. (2009). Tugas Akhir : Perencanaan Self Popelled Coal Barge 5000 DWT Untuk Wilayah Sungai Kalimantan. Surabaya: ITS.
- Evans, J.L. (1959). Basic Design Concepts. Naval Engineer Journal.
- H Schneekluth, V. B. (1998). *Ship Design Efficiency and Economy, Second Edition*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- ILO. (1949). Convention concerning Crew Accommodation on Board Ship .International Labour Organization.
- IMO. (2005). Load Lines. London: IMO.
- IMO. (2002). MARPOL 73/78,. London: IMO.
- IMO. (2004). SOLAS. London: IMO.
- IMO. (2002). *Code of Stability for All Type of Ship*. IMO.
- Lewis, E. V. (1980). Principles of Naval Architecture Second Revision. Dalam Resistance, Propulsion and Vibration. Jersey City: The Society of Naval Architects & Marine Engineers
- Manning, G. C. (1956). The Theory and Technique of Ship Design. London: Chapman & Hall.
- Panunggal, P. E. (2006). Diktat Tugas Merancang Kapal 1. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Parson, M. G. (2001). Parametric Design. University of Michigan: Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Poehl, H. (1982). Lecture on Ship Design and Ship Theory. Hancouer: University of Hancouer.
- Rawson K.J, T. E. (2001). *Basic Ship Theory, Volume I*. Oxford: Longman.
- Setijoprajudo. (1999). Diktat Metode Optimisasi. Surabaya: ITS Surabaya.
- Stopford, M. (1997). Maritime Economics (2nd ed.). London: Routledge.
- Sumenep, P.K. (2013). Sumenep Dalam Angka. Sumenep
- Taggart, Robert. (1980). *Ship Design and Construction, Chapter 5, Section 3*. SNAME.
- Watson, D. (1998). Practical Ship Design (Vol. 1). Oxford, UK: Elsevier.



LAMPIRAN 1
(PERHITUNGAN OPTIMASI KE 5)

Resistance calculation
[Holtrop & Mennen Method]

Lpp = 42.24 m
 Lwl = 43.93 m
 B = 8.22 m
 T = 2.18 m
 H = 3.20 m
 f = 0.17 m
 s = 486.15 m²
 V = 8 knot
 = 4.19 m/s

Untuk bahan baja
 Rumus Holtrop

Secara umum rumus hambatan total adalah;

$$RT = 1/2 \times \rho \times V_s^3 \times Stot \times [Cfo \times (1+k) + CA] + (RW/W) \times W$$

dimana;

W = 6656355.22 (N) ; gaya berat = $\rho \times g \times 1000$
 $\rho = 1025$ kg/m³
 $V_s = 4$ m/s
 $Cfo = 0.075 / (\log Rn - 2)^{1.6}$; Koef. Tahanan gesek (ITTC 1957)
 $Rn = V_s \times Lwl / (1.88831 \times 10^{-6})$; angka Reynold
 $= 1.55E+08$

Stot = S + Sapp
 = 493.91
 S = wetted surface area
 $= Lwl \times (2T+B) \times C_M^{0.5} \times (0.453 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467B/T + 0.3696C_{WP}) + 2.38A_{BT}/C_B$
 $= 486.15$
 $A_{BT} = 8.222485$ cross sectional area of bulb in FP
 $= 0$; tanpa bulb
 $S_{app} = S_{rudder} + S_{bilge\ keel}$; total wetted surface of appendages
 $= 7.76$
 $S_{rudder} = C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times 1.75 \times Lpp \times T / 100$; [BKI vol II hal 14-1]
 $= 1.61$
 $S_{bilge\ keel} = 0.6 \times Cb \times Lwl \times 0.18 / (Cb - 0.2)$; Practical Ship Design hal 254
 $= 6.15$

(1+k) = $(1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \times [S_{app} / S_{tot}]$
 $= 1.09$
 $(1+k_1) = 0.93 + 0.4871 \times C \times (B/L)^{1.0681} \times (T/L)^{0.4611} \times (L/L_R)^{0.1216} \times (L^3/\bar{N})^{0.3649} \times (1-C_p)^{-0.6042}$; form factor of bare hull
 $= 1.08$
 $C = 1 + C_{stern}$
 $= 1$

Choice No.	C _{stern}	Used For
1	-25	Pram with Gondola
2	-10	V - Shaped sections
3	0	Normal section shape
4	10	U - shaped section with Hogner stern

$L_R/L = (1 - C_p + 0.06 \cdot C_p \cdot LCB) / (4 C_p - 1)$; L_R adl Lpp saat berjalan
 $= 0.123$; LCB nilai prosentase thd L
 LCB (%) = 3.526
 $L^3/\bar{N} = 128.08$
 $(1+k_2) = (S_{rudder} + S_{bilge\ keel}) \times (1+k_2) / S_{rud} + S_{bilge\ keel}$; harga 1+k₂ = 1.3 s/d 1.5 untuk Rudder
 $= 1.42$; harga 1+k₂ = 1.4 untuk bilge keel
 $C_A = 0.006 \times (LWL+100)^{-0.16} \times 0.00205$; for T_F/LWL > 0.04
 $= 0.006 \times (LWL+100)^{-0.16} \times 0.00205 + 0.003 \times (LWL/7.5)^{0.5} \times C_B^4 \times C_2 \times (0.04 - T_F/LWL)$; for T_F/LWL < 0.04
 $= 0.00065923$

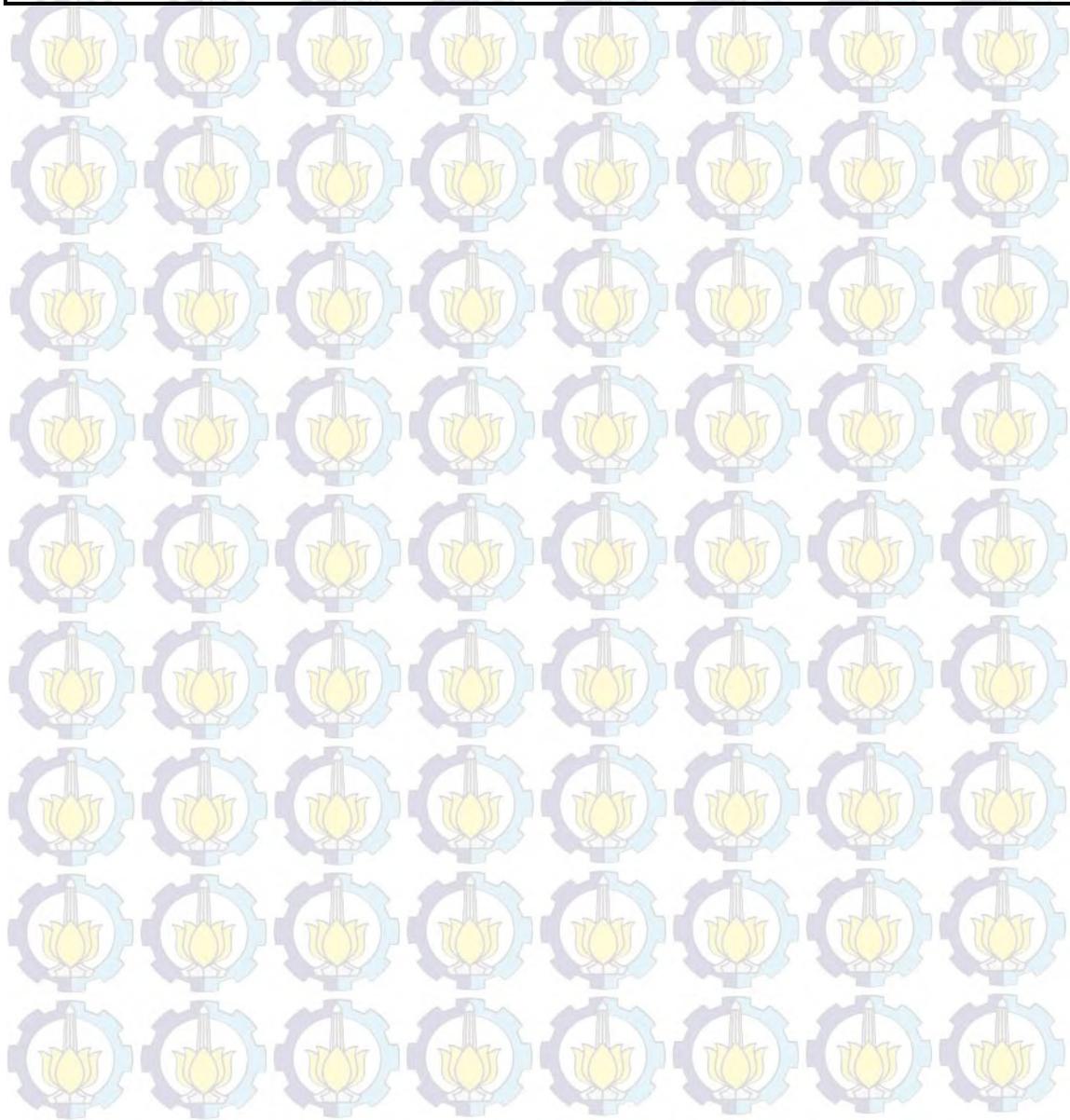
dimana;

C₂ = 1 ; kapal tanpa bulb
 T_F = 2.18 ; moulded draft at FP = T
 $R_W/W = C1 \times C2 \times C3 \times e^{(m1 \times Fn^d) + m2 \times \cos(\theta \times Fn^2)}$; PNA VOL 2 hal 92
 $= 0.00142922$

dimana;	d	=	-0,9				
	C1	=	$2223105 \cdot C4^{3,7861} (T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$				
		=	7.72856449	dengan;			
				C4	=	$0,2296 (B/L)^{0,3333}$; untuk B/L <= 0.11
					=	B/L	; 0,11 < B/L 0,25
					=	$0,5 - 0,0625 L/B$; B/L > 0,25
				C4	=	0.18716592	
				i _E	=	$125,67 \cdot B/L - 162,25 C_p^2 + 234,32 C_p^3 + 0,1151 \cdot [LCB + \{6,8(Ta - Tf)/T\}^3]$	
					=	57.4616259	
				T _a	=	2.18	; moulded draft at AP = T
				LCB (m)	=	1.48954022	; LCB (%) / 100 x L _{pp} , Diukur dari midship
	C2	=	1 ; tanpa bulb				
	C3	=	$1 - (0,8 \cdot A_T / (B \cdot T \cdot C_M))$				
		=	1	dengan;			
				A _T	=	0	; tidak memakai transom
	m1	=	$0,01404 L/T - 1,7525 (N^{1/3} / L) - 4,7932 (B/L) - C5$				
		=	-2.0714876	dengan;			
				C5	=	$8,0798 C_p - 13,8673 C_p^2 + 6,9844 C_p^3$; untuk C _p 0,8
					=	$1,7301 - 0,7067 C_p$; untuk C _p > 0,8
				C5	=	1.10987171	
				N ^{1/3} / L	=	0.1983832	
	m2	=	$C6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 F_n - 3,29}$				
		=	-0.0014136	dengan;			
				C6	=	-169,385	; untuk L ³ / N̄ 512
					=	$-1,69385 + (L \cdot N̄^{1/3} - 8,0) / 2,36$; untuk 512 < L ³ / N̄ 1727
					=	0,0	; untuk L ³ / N̄ > 1727
				C6	=	-1.69385	
					=	$1,446 C_p - 0,03 L/B$	untuk L/B 12
					=	$1,446 C_p - 0,36$	untuk L/B 12
					=	1.10878205	
	Tahanan Total						
	RT	=	21888.2526 (N)				
	RT + 15%	=	25.17 (kN)				

Perhitungan Daya mesin			
Pe = EHP = Effective horse power			
	Pe	=	RT x Vs
	Pe	=	105.44 kw 141.39467 hp
Pd = DHP = Delivered horse power			
	Pd	=	$\frac{Pe}{d}$
			d = 0.7912547
	Pd	=	133.25419 kw 178.69679 hp
P_B = BHP = Brake Horse Power			
	P _B	=	$\frac{Pd}{s \cdot r_g}$
	s	=	Shaft efficiency
		=	0.98 - 0.985
	r _g	=	Reduction gear efficiency
		=	0.98
	P _B	=	138.74864 kw 103.46486 hp
Koreksi :			
			Kamar mesin di belakang = 3% P _B = 4.162459196 kw
			Daerah pelayaran = 15% - 40% P _B = 20.81229598 kw
			15% P _B
	Total P _B	=	163.72 KW 1 HP = 0.7457 kw
		=	219.56 HP

Main Engine							
Jumlah Main Engine	=	2 Unit					
Daya tiap mesin	=	109.78 HP	81.86 KW				
Daya Terpasang tiap mesin	=	128.20 HP					
Panjang	=	1.496 m					
Lebar	=	0.69 m					
Tinggi	=	1.018 m					
Berat	=	0.57 Ton					
Koefisien Konsumsi	=	0.015 Ton/Hour					
Auxiliary Engine							
Kebutuhan AE	=	43.91 HP	:Pendekatan 20% ME ditambah kebutuhan RO				
Jumlah AE	=	2 Unit					
Daya tiap mesin	=	43.91 HP	32.744679 kw				
Daya Terpasang Tiap Mesin	=	53.64 HP					
Panjang	=	1.532 m					
Lebar	=	0.947 m					
Tinggi	=	1.173 m					
Berat	=	0.52 Ton					
Koefisien Konsumsi	=	0.006 Ton/hour					



Perhitungan Berat dan Displacement

Reference : David G.M. Watson, Practical Ship Design

Berat Machinery	
Daya Tiap Mesin	= 81.86 Kw
Berat mesin	= 0.568 Ton
Jumlah Mesin	= 2 Unit
Berat ME	= 1.136 Ton
Berat Auxiliary Engine	
Daya Tiap Mesin	= 40.00 Kw
Berat tiap mesin	= 0.52 Ton
Jumlah Mesin	= 2.00 Unit
Berat AE	= 1.04 Ton
Berat Remainder	
$W_r = K \cdot MCR^{0.7}$	
K	= 0.72 Untuk tankers
MCR	= 163.72 kw
$W_r =$	= 12.77 Ton
Total (W_{ma})	= 14.95 Ton

PERHITUNGAN LWT

1. Perhitungan berat baja kapal (David G.M Watson, Practical Ship Design, 1998)

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

Perhitungan Wsi

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

Perhitungan faktor E

$E = L \cdot (B+T) + 0.85 \cdot L(D-T) + 0.85(I1 \cdot h1) + 0.75(I2 \cdot h2)$

Dimana,

I1 (Panjang bangunan atas)	=	4.22 m
h1(tinggi I1)	=	2.00 m
I2(Panjang houses)	=	9.60 m
h2(tinggi I2)	=	2.00 m

$E =$ 497.47

Perhitungan tabel K (Tabel 4.1 hal. 85)

Faktor K untuk tankers	Min	Max	Daimbil
	0.029	0.035	0.029

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

$W_{si} =$ 134.90 Ton

Net Steel Weight

$W_{si}' = W_{si} - (\%Scrap \cdot W_{si})$. Persen scrap menunjukkan sejumlah bagian baja yang hilang karena proses kerja. Nilai persen scrap merupakan fungsi dari Cb serta jenis dan ukuran kapal. Pendekatan grafik dilakukan untuk menentukan persen scrap. Berdasarkan (David G.M Watson, Practical Ship Design, 1998)

PERHITUNGAN DWT

I. Payload

= 505.5 Ton

II. Consumable per trip :

1. Kebutuhan bahan bakar

MDO

Main Engine

Daya Main Engine = 81.86 kw

Jumlah Mesin = 2.00

Seatime = 67.37 Jam

Koefisien konsumsi = 0.015 Ton/hour

Kebutuhan BB Main Engine = 2.03 Ton

Koreksi 10% = 0.20 Ton

Total BB Main Engine + 10% = 2.23 Ton

MFO

Auxilliary Engine

Daya Auxilliary Engine = 40 kw

Jumlah Mesin = 2.00

Turn Around Time = 122.00 Jam

Koefisien konsumsi = 0.006 Ton/hour

Kebutuhan BB Auxilliary Engine = 0.735 Ton

Koreksi 10% = 0.074 Ton

Total BB Auxilliary Engine + 10% = 0.809 Ton

2. Kebutuhan minyak pelumas

Dari Watson = 35 Liter/day / 1000 kw
0.035 Liter/day / 1 kw

LO Main Engine = 0.0002 Ton/hour 0.2

LO Auxilliary Engine = 0.00011 Ton/hour 0.1

Wlo = 0.028 Ton/Trip

0.015

0.013

0.027893377

3. Kebutuhan air tawar per trip

#kebutuhan air tawar untuk mandi, minum, dan masak

Kebutuhan air tawar untuk crew = 100 kg/person/days

Jumlah crew = 13 orang

Waktu pelayaran = 4.57 hari

Berat air tawar per trip = 5.94 Ton

#kebutuhan air tawar untuk pendingin mesin

Konsumsi air tawar = 2 ~ 5 kg/HP

Diambil = 2 kg/HP

Daya mesin utama = 109.78 HP

Jumlah mesin utama = 2.00 Unit

Berat air tawar = 0.2196 Ton

Waktu pelayaran = 2.81 Hari

Berat air tawar per trip = 0.62 Ton/trip

Total berat air tawar

= 6.56 Ton

4. Berat makanan (Provisions)

Konsumsi provisions = 10 kg/person/days

Jumlah crew = 13 orang

Turn Around Time = 4.57 Hari

Berat provisions = 594.3 kg

= 0.59 ton

5. Berat orang dan bawaan

Konstanta berat orang dan bawaan = 100 kg/persons

Jumlah crew = 13 orang

Berat crew dan bawaan = 1300 kg

= 1.3 Ton

Total DWT

= 517.0 Ton

Displacement 1 (LWT + DWT)

= 712.45 Ton

Displacement 2 (L x B x T x Cb x rho)

= 678.53 Ton

Selisih = -33.93 Ton

= 4.999985%

PERHITUNGAN TITIK BERAT KAPAL

Input:

L = 42.242 m
 B = 8.2225 m
 H = 3.1959 m
 T = 2.1782 m

Perhitungan :

1. Titik berat baja kapal

Reference : Harvald & Jensen Method (1992)

KG = CKG x DA

Dimana :

DA = Tinggi kapal setelah dikoreksi dengan superstructure dan deck house

$$DA = D + \frac{(Va + Vdh)}{L \cdot B}$$

Va = Volume bangunan atas (Forecastle)
 = 69.47 m³

Vdh = Volume Deck House
 1. Deck House at main deck = 153.6 m³
 2. Second Deck House = 97.2 m³
 3. Wheel House = 79.2 m³
 Total = 330 m³

DA = 4.35 m
 CKG = Koefisien titik berat KG
 = 0.52

maka,
 KG = CKG x DA
 = 2.2599 m

LCG = -0,15 + LC% Midship
 LCB = 3.53 %
 LCG = 3.38 %
 LCG = 1.426 Dari Midship
 LCG = -19.69 Dari FP

Wst = 0.8822 Ton
 W x KG = 1.9938
 W x LCG = -17.38

Type kapal	CKG
Passanger ship	0.67 – 0.72
Large cargo ship	0.58 – 0.64
Small cargo ship	0.60 – 0.80
Bulk carrier	0.55 – 0.58
Tankers	0.52 – 0.54

2. Titik berat Permesinan

Reference : Ship Design for Efficiency and Economy , 1998. Page : 173

KGm = Hdb + 0,35 (D-Hdb)
 Hdb = Tinggi double bottom
 = 300 + 45B mm
 = 1.02 m

KGm = 1.782 m

LCGm = -0,5L + Lcb + Lkm/2
 LCGm = -13.32 m ; dari midship
 LCGm = -34.44 m ; dari FP

Wme = 14.95 Ton
 W x KG = 26.627
 W x LCG = -917.1

3. Titik berat Equipment Outfitting

Reference : Ship Design for Efficiency and Economy , 1998. Page : 166

Kgeo = 1,02 - 1,08*DA ; Diambil 1,02

Kgeo = 4.694 m

LCGeo

A) LCGeo permesinan

Weo = 3.736 Ton ; Pendekat ### Weo Total

LCG1 = -13.32 Dari Midst ; Ditengah Lkm, L-Lcb-0,5Lkm

-34.44 Dari FP

Momen = -128.7

B) LCGeo Forecastle

Weo = 5.73 Ton

LCG2 = 19.009 Dari Midst ; Ditengah Forecastle deck

-2 Dari FP

Momen = -12.1

C) LCGeo Deck House at Main Deck

Weo = 12.67 Ton

LCG2 = -13.32 Dari Midst ; Ditengah Deck House at main deck

-34.44 Dari FP

Momen = -436.4

E) LCGeo Wheelhouse

Weo = 6.53 Ton

LCG2 = -11.82 Dari Midst ; Ditengah wheel house

-32.94 Dari FP

Momen = -215.2

F) LCGeo wheather Deck

Weo = 15.561 Ton

LCG2 = 14.643 Dari FP

35.764 Dari Midship

Momen = 556.53

Momen Total= -506.1

LCGeo = -9.686 Dari FP

LCGeo = -30.81

Weo = 52.25 Ton

W x KG = 245.26

W x LCG = -506.1

4. Titik berat Consumable

A) Titik berat air tawar

Wair = 6.56 Ton
KG = 1.5979 m ; Tinggi Fresh Water Tank dibagi 2
LCG = 0.72 Dari AP ; Panjang Fresh Water Tank dibagi 2
-41.52 Dari FP
Momen LCG = -272.4
Momen KG = 10.482

B) Titik berat Bahan Bakar

Wbb = 3.04 Ton
KG = 1.5979 m ; Tinggi FO Tank dibagi 2
LCG = 2.4 Dari AP ; Panjang FO Tank dibagi 2
-37.6 Dari FP
Momen LCG = -114.4
Momen KG = 4.8618

C) Titik berat Minyak Lumas

Wlo = 0.0279 Ton
KG = 1.5979 m ; Tinggi LO Tank dibagi 2
LCG = 2.4 Dari AP ; Panjang LO Tank dibagi 2
-37.6 Dari FP
Momen LCG = -1.049
Momen KG = 0.0446

D) Titik berat Crew dan Bawaan di deck house at main deck

Wcr = 0.4 Ton
KG = 3.9 m
LCG = 4.8 Dari AP
-34.6 Dari FP
Momen LCG = -13.84
Momen KG = 1.56

F) Titik berat Crew dan Bawaan di Wheelhouses

Wcr = 0.2 Ton
KG = 1.5979 m ; Tinggi LO Tank dibagi 2
LCG = 6.3 Dari AP ; Panjang LO Tank dibagi 2
-33.1 Dari FP
Momen LCG = -6.62
Momen KG = 0.3196

KG Consumable 1.85
LCG Consumable -39.6815 Dari FP
Wcons = 10.63017
W x KG = 19.71
W x LCG = -421.821

5. Titik berat Payload

Payload = 505.50 Ton
KG = 0.67 m
LCG = 23.619 Dari AP
-18.62 Dari FP
W x KG = 338.69
W x LCG = -9414 Dari FP

Titik Berat Total

KG = 1.0988
LCG = -19.3 Dari FP

Pendekatan Perencanaan Ruang dan Tonnage

Input:						
L =	42.24 m	C =	0.02 m	Vh =	995	
B =	8.22 m	Cm =	0.013333 m	Vm =	243	
H =	3.20 m	H' =	3.21 m	Vr =	767	
T =	2.18 m	Cb =	0.875	Vr' =	627	
		Cb deck =	0.892522			

Jarak Gading					
Asumsi Jarak gading	=	2,5L + 410 mm			
Diambil	=	515.60 mm			
Jumlah gading Total	=	600.00 mm			; Referensi BKI 2006
	=	71.00			
1. Kamar Mesin					
Lkm	=	Lme + Lae + Koreksi			
Koreksi kamar mesin	=	5.00 m		Gading Belakang=	3 No
Lkm	=	8.03 m		Gading Depan=	19 No
Lebar (B)	=	8.22 m			
Tinggi (H)	=	3.20 m			
Volume	=	210.96 m ³			
Lkm sesuai gading	=	9.60 m			
2. Ceruk buritan					
Jarak dari AP	=	3.00 m			;5 gading
Gading akhir	=	3.00 No.			
Lebar (B)	=	4.11 m			
Tinggi (H)	=	1.60 m			
Volume Ceruk Buritan (Vcb)	=	9.85 m ³			9.854327407 m ³
3. Ceruk haluan					
Berdasarkan BKI Vol II, untuk kapal L < 200 m adalah (0,05 - 0,08)L dari FP.					
Jarak dari FP	=	3.38 m			;diambil 0,08L
Panjang Sekat	=	4.00 m			; Yang diijinkan 4,135 -6,616 m
Lebar (B)	=	4.11 m			
Tinggi (H)	=	3.20 m			
Volume ceruk haluan (Vch)	=	22.20 m ³			
4. Perencanaan ruang muat					
Volume ruang yang dibutuhkan	=	617.03 m ³			
Vh	=	m			
Vm	=	m			
Vr	=	m			
Vr'	=	m			
Ruang muat total tersedia	=	627.16 m ³			
Persentase Terhadap kebutuhan	=	102%			
Perencanaan sekat ruang muat					
Panjang Ruang muat tersedia	=	19.64 m			;L-(Lcb+Lkm+Lfc+Lfe+Lfo+Lcof)
letak sekat	=	9.82			
letak dari FP	=	14.40			
Perencanaan Tanki Air Bersih					
Kebutuhan Air Bersih	=	6.56 Ton			
Volume kebutuhan Air Bersih	=	6.56 m ³			
Tinggi	=	1.60 m			
Lebar	=	3.42 m			
Panjang	=	1.20 m			

a) Perencanaan Dimensi Tangki BB

Kebutuhan Bahan Bakar (MFO)	=	2.234 Ton	
Volume Kebutuhan BB	=	2.628 m ³	
Koreksi ekspansi	=	0.105 m ³	Koreksi Ekspansi :
Volume Total Bahan Bakar	=	2.733 m ³	Panas= 2%
Tinggi	=	1.598 m	Konstruksi= 2%
Lebar (Starboardside)	=	0.713 m	
Lebar (Portside)	=	0.713 m	
Panjang	=	1.200 m	;3 jarak gading

b) Perencanaan Dimensi Tangki Diesel Oil

Kebutuhan BB (Diesel Oil)	=	0.81 Ton	
Volume Diesel Oil	=	0.95 m ³	
Koreksi Ekspansi	=	0.04 m ³	Koreksi Ekspansi :
Volume Total Diesel Oil	=	0.99 m ³	Panas= 2%
Tinggi	=	1.38 m	Konstruksi= 2%
Lebar (Starboardside)	=	0.60 m	
Panjang	=	1.20 m	;1 jarak gading

c) Perencanaan Dimensi Tangki Lub Oil

Kebutuhan Lub Oil	=	0.03 Ton	
Volume Lub Oil	=	0.03 m ³	
Koreksi ekspansi	=	0.00 m ³	Koreksi Ekspansi :
Volume Total Lub Oil	=	0.03 m ³	Panas= 2%
Tinggi	=	1.38 m	Konstruksi= 2%
Lebar (Portside)	=	0.02 m	
Panjang	=	1.20 m	

d) Perencanaan Cofferdam

Panjang	=	1.20 m	;2 jarak gading
Lebar	=	8.22 m	
Tinggi	=	3.20 m	
Volume	=	31.53 m ³	

5. Perencanaan Tangki Bahan Bakar & Pelumas

Kebutuhan Volume			
a) Kebutuhan bahan bakar (MFO)	=	2.23 Ton	
Volume bahan bakar	=	2.63 m ³	
Koreksi Ekspansi panas dan konstruksi	=	0.11 m ³	;2% panas, 2% konstruksi
Volume Total bahan bakar	=	2.73 m ³	
b) Kebutuhan Bahan Bakar (MDO)	=	0.81 Ton	
Volume minyak diesel	=	0.95 m ³	
Koreksi Ekspansi panas dan konstruksi	=	0.04 m ³	;2% panas, 2% konstruksi
Volume Total minyak diesel	=	0.99 m ³	
c) Kebutuhan minyak lumas W ₁₀	=	0.03 Ton	
Volume minyak lumas	=	0.03 m ³	
Koreksi Ekspansi panas dan konstruksi	=	0.00 m ³	;2% panas, 2% konstruksi
Volume Total minyak lumas	=	0.03 m ³	
c) Perencanaan Ruang			
Tinggi Double Bottom (Hdb)	=	300 + 45B mm	
Lebar (B)	=	0.67 m	Persentase Lebar
Tinggi (H)	=	8.22 m	MFO 73%
Kebutuhan Volume Ruang	=	2.53 m	MDO 27%
Panjang Tangki	=	3.75 m	
Jumlah gading	=	1.20 m	
Sekat Belakang	=	2.00	Endurance 6 Voyage
Sekat Depan	=	19.00	
Panjang sesuai gading	=	21.00	
Panjang sesuai gading	=	1.20 m	

A) Perencanaan Dimensi Tangki BB

Tinggi	=	2.53 m	
Lebar (Starboardside)	=	1.21 m	
Lebar (Portside)	=	1.70 m	
Panjang	=	1.20 m	

B) Perencanaan Dimensi Tangki Diesel Oil

Tinggi	=	2.53 m	
--------	---	--------	--

Lebar (Starboardside)	=	0.61 m	
Lebar (Portside)	=	0.61 m	
Panjang	=	1.20 m	
C) Perencanaan Dimensi Tangki Lub Oil			
Tinggi	=	2.53 m	
Lebar	=	1.20 m	
Panjang	=	1.20 m	
D) Perencanaan Cofferdam			
Panjang	=	1.20 m	;pendekatan dua jarak gading
Lebar	=	8.22 m	
Tinggi	=	3.20 m	
Gading Sekat depan	=	23.00	
Gading sekat belakang	=	21.00	
Volume	=	31.53	

7. Perencanaan Akomodasi

1) Forecastle

Panjang	=	4.22 m	;Pendekatan 10% Panjang Kapal
Lebar	=	8.22 m	; Pendekatan sama dengan B
Tinggi	=	2.00 m	;asumsi dari H
Luas Transversal	=	16.44 m ²	
Volume	=	69.47 m ³	

2) Deck House at Main Deck

Panjang (Ldh)	=	9.60 m	; pendekatan Panjang Kamar Mesin
Lebar (Bdh)	=	8.00 m	; Pendekatan, B - 2
Tinggi (Asumsi)	=	2.00 m	;asumsi
Luas Transversal	=	16.00 m ²	
Volume	=	153.60 m ³	

4) Wheel House

Panjang (Lwh)	=	6.60 m	; Pendekatan, Lsd - 1,5
Lebar (Bwh)	=	6.00 m	; Pendekatan, seukuran dengan Bsd
Tinggi	=	2.00 m	;asumsi
Luas Transversal	=	12.00 m ²	
Volume	=	79.20 m ³	

9. Double Bottom

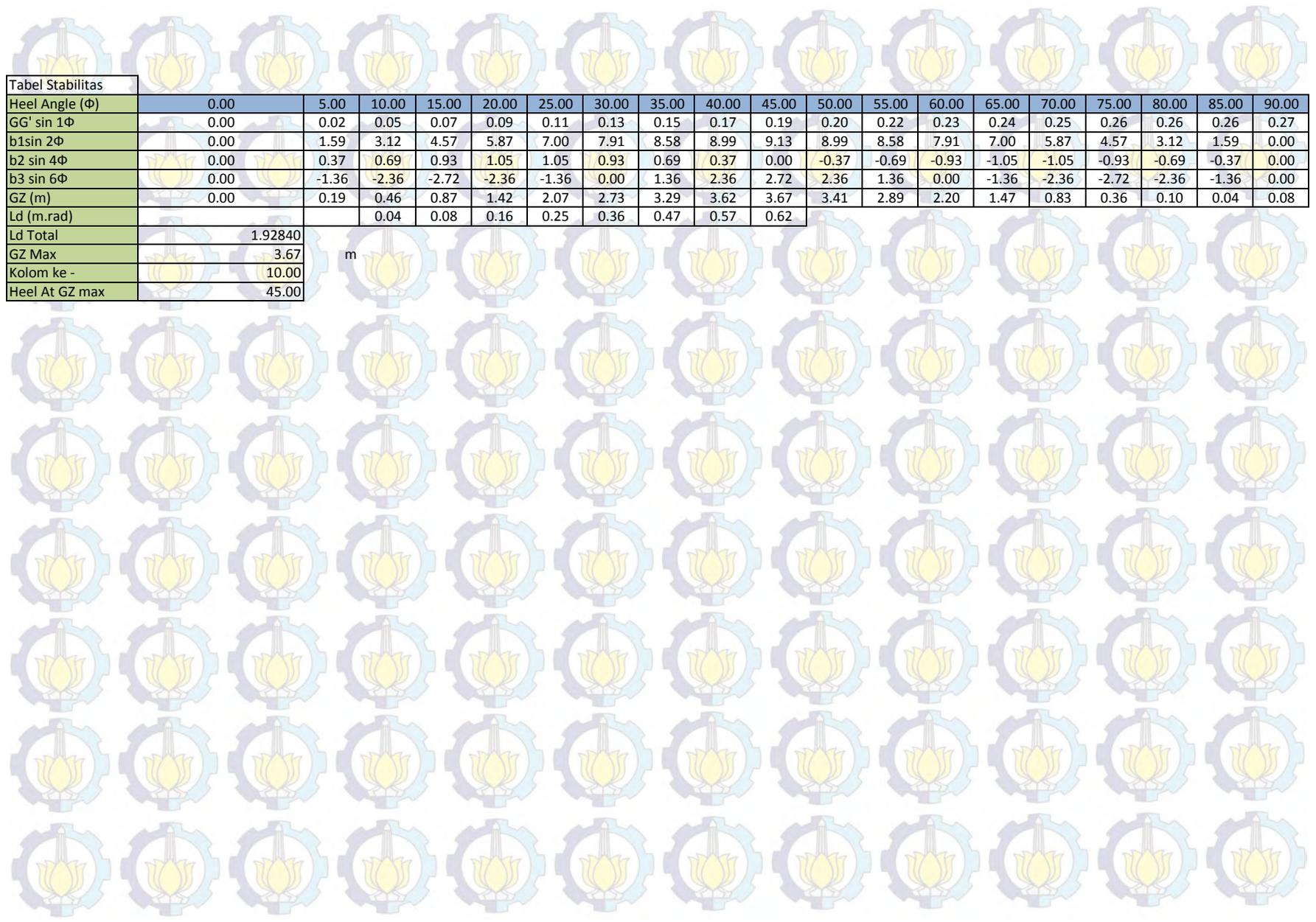
Tinggi double bottom (Hdb)	=	300+45B mm	
	=	670.01 mm	
	=	0.67 m	
Panjang double bottom	=	19.64 m	; Gading sekat haluan - Sekat Buritan
Lebar (Bdb)	=	8.22 m	
Volume	=	108.19 m ³	

10.GROSS TONNAGE

Total Enclosed Space	=	1409.37 m ³
K1	=	0.26
Gross Tonnage	=	370.64

Tabel Stabilitas

Heel Angle (Φ)	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	
GG' sin 1Φ	0.00	0.02	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.26	0.27	
b1 sin 2Φ	0.00	1.59	3.12	4.57	5.87	7.00	7.91	8.58	8.99	9.13	8.99	8.58	7.91	7.00	5.87	4.57	3.12	1.59	0.00	
b2 sin 4Φ	0.00	0.37	0.69	0.93	1.05	1.05	0.93	0.69	0.37	0.00	-0.37	-0.69	-0.93	-1.05	-1.05	-0.93	-0.69	-0.37	0.00	
b3 sin 6Φ	0.00	-1.36	-2.36	-2.72	-2.36	-1.36	0.00	1.36	2.36	2.72	2.36	1.36	0.00	-1.36	-2.36	-2.72	-2.36	-1.36	0.00	
GZ (m)	0.00	0.19	0.46	0.87	1.42	2.07	2.73	3.29	3.62	3.67	3.41	2.89	2.20	1.47	0.83	0.36	0.10	0.04	0.08	
Ld (m.rad)			0.04	0.08	0.16	0.25	0.36	0.47	0.57	0.62										
Ld Total	1.92840																			
GZ Max	3.67		m																	
Kolom ke -	10.00																			
Heel At GZ max	45.00																			



PERHITUNGAN TRIM

Perhitungan trim dilakukan berdasarkan formula yang diberikan Parsons (2001).

Batasan yang digunakan adalah 0,1 % L.

Formula untuk menghitung trim adalah sebagai berikut :

L =	42.24 m		Cb =	0.875
B =	8.22 m		Cwp =	0.918
T =	2.178 m		V =	661.98 m ³
Cm =	0.997		KG =	1.10 m
LCB (%) =	3.53 %	Midship	Cp =	0.87764
LCB (FP) =	-19.042		LCG (FP) =	-19.3015

	KB/T =	0.9-0.3Cm-0.1Cb	
	=	0.51	23.199
	KB =	KB/T x T	
	=	1.12	
	C ₁ =	0.1216Cw - 0.041	
	=	0.07	
	I _T =	C ₁ x Lpp x B ³	
	=	1658.66	
	BM _T =	I _T /v	
	=	2.51	
	C _{IL} =	0.35Cw ² - 0.405Cw + 0.146	
	=	0.07	
	I _L =	C _{IL} x B x Lpp ³	
	=	42870.38	
	BM _L =	I _L / V	
	=	64.76	
	GM _L =	BM _L + KB - KG	
	=	64.78	
	Trim =	Ta - Tf	
	=	(LCG - LCB) x L / GM _L	
	=	0.0422	0.00100
	Kondisi =	trim buritan	
	Persentase =	0.100%	

Perhitungan dan Koreksi Freeboard

(Reference : International Convention on Load Lines 1966 and protocol of 1988)

Input:

Lpp =	42.24 m
Lwl =	43.93 m
B =	8.22 m
H =	3.20 m
T =	2.18 m
Cb =	0.88
v =	661.98 m ³

Input data

L = Length

→ 96% Lwl pada 0,85D

→ Lpp pada 0,85D

Diambil yang terbesar

Pendekatan :

0,96 Lwl pada 0,85D = 42.1743 m

Lpp pada 0,85D = 42.2419 m

L = 42.242 m

Cb = v

L.B. D₁

D₁ = 85%D = 2.717 m

Cb = 0.702

s = Panjang superstructure

= Lfc = Panjang Forecastle = 4.22 m

Perhitungan :

1. Tipe Kapal :

Tipe A : Kapal dengan persyaratan salah satu dari :

- 1) Kapal yang didesain memuat muatan cair dalam bulk
- 2) Kapal yang mempunyai integritas tinggi pada geladak terbuka dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, ditutup sekat penutup baja yang kedap atau material yang equivalent
- 3) Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh

Kapal tipe A : Tanker, LNG Carrier

Tipe B : Kapal yang tidak memenuhi persyaratan pada kapal tipe A.

Kapal tipe B : Grain carrier, Ore carrier, general cargo, passenger ship, Ro-ro

2. Freeboard standard (Fb)

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

Fb = 364 mm

3. Koreksi-Koreksi

Correction for ship under 100 m in length

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

$$Fb_1 = 7.5 (100-L)(0.35 - E/L)$$

E = Total panjang efektif superstructure

$$= 4.22 \text{ m}$$

$$35\%L = 14.785 \text{ m}$$

= $E < 35\% L$, tidak ada koreksi

$$\text{Koreksi} = 108.2965211 \text{ mm}$$

$$Fb_1 = 0 \text{ mm}$$

2) Block Coefficient Correction

Jika $C_b > 0,68$:

$$Fb_2 = Fb \cdot [(C_b + 0,68)/1,36]$$

Koreksi

$$= 110.016 \text{ mm}$$

$$125$$

$$Fb_2 = 110.016 \text{ mm}$$

3) Depth Correction

Koreksi dilakukan apabila $D > L/15$

$$Fb_3 = R (D - L/15)$$

$$R = L/0,48$$

Untuk $L < 120$ m

$$R = 250$$

Untuk $L > 120$ m

$$L/15 = 2.816123695 \text{ m}$$

$$D = 3.20 \text{ m}$$

Maka, koreksi

$$Fb_3 = 33.42142595$$

Jika $D < L/15$, tidak ada pengurangan kecuali jika mempunyai superstructure tertutup sebesar

$0,6 L$ Amidship

$$\text{Superstructure tertutup} = 4.22 \text{ m}$$

$$= 0.200 L$$

Maka,

$$Fb_3 = 33.42142595 \text{ mm}$$

4) Koreksi Bangunan atas

Bila $h < h_s$, maka $l_s = (h/h_s) \cdot l$

Bila $h > h_s$, maka $l_s = 4.2242 l$

$$h = \text{Tinggi bangunan atas} = 2.2 \text{ m}$$

$$h_s = \text{Tinggi standar bangunan atas} = 1.8 \text{ m}$$

$$l = \text{Panjang bangunan atas} = 4.22 \text{ m}$$

$$l_s = \text{Panjang superstructure efektif} = 4.22 \text{ m}$$

$$E = 4.22 \text{ m}$$

$$x.L = 0.1 L$$

Jika $E < 1.0 L$ maka harga pengurangan freeboard diperoleh dari presentase dibawah ini :

	Total Panjang Efektif Superstructure									
x . L	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Prosentase Pengura	0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7

Bila E berada diantaranya maka harga E diperoleh dengan interpolasi linier

$$\%Fb_4 = 7\%$$

$$Fb_4 = -25.48 \text{ mm}$$

5) Koreksi Sheer

Bila kapal menggunakan sheer standart, maka tidak ada koreksi sheer.

Kapal SPOB tidak menggunakan sheer, maka :

Koreksi Lengkung memanjang kapal (LMK)

$$\text{Tinggi Sheer di FP} = 0 \text{ m (sf)}$$

$$\text{Tinggi sheer di AP} = 0 \text{ m (Sa)}$$

$$A = \frac{1}{6} [2.5 (L+30) - 100(Sf-Sa)] \times [0.75 - (S / 2L)]$$

$$A = 21.0705 \text{ mm}$$

$$B = 0.125 * L = 5.28023 \text{ mm}$$

$$S = \sum l_s = 4.22 \text{ mm}$$

Bila :

$$A > 0 \quad \text{Koreksi LMK} = A$$

$$A < 0 \text{ dan } ABS(A) > B \quad \text{Koreksi LMK} = B$$

$$A < 0 \text{ dan } ABS(A) < B \quad \text{Koreksi LMK} = A$$

$$\text{Koreksi LMK} = 21.071 \text{ mm}$$

6) Correction of minimum bow height

$$Fb_6 = 1894.11 \text{ mm}$$

$$Fb_6 = 1.894 \text{ m}$$

Kondisi Koreksi yang digunakan

$$LMK_A > C \quad LMK_A$$

$$LMK_A < C \quad LMK_B$$

Rekapitulasi

1) Correction for ship under 100 m in length 0 mm

2) Block Coefficient Correction 110.016 mm

3) Depth Correction 33.421426 mm

4) Koreksi Bangunan atas -25.48 mm

5) Koreksi Sheer 21.070541 mm

6) Correction of minimum bow height 1894.11 mm

Total Freeboard 503.03 mm

Actual Freeboard (H-T) 1017.74 mm

Kondisi Freeboard OK

Perhitungan biaya pembangunan SPOB
(Reference : Practical Ship Design, D.G.M. Watson)

Perhitungan:

A. Biaya Pembangunan Kapal

Rekapitulasi Berat :

Input Data:

Berat Baja Wst= 122.54 Ton
 Berat Perlengkapan Weo= 52.25 Ton
 Berat Permesinan Wme= 14.95 Ton
 Konversi Mata Uang 1USD = 10000 rupiah

Perhitungan :

1) Structural Cost

Pst =
 Cst= 3,924.78 \$/Ton
 Maka, Pst= 480,935.43 \$
 Rp. 4,809,354,316

2) Outfitting Cost

Peo =
 Weo= 19,422 \$/Ton
 Maka, Peo= 1,014,862.16 \$
 Rp. 10,148,621,646.24

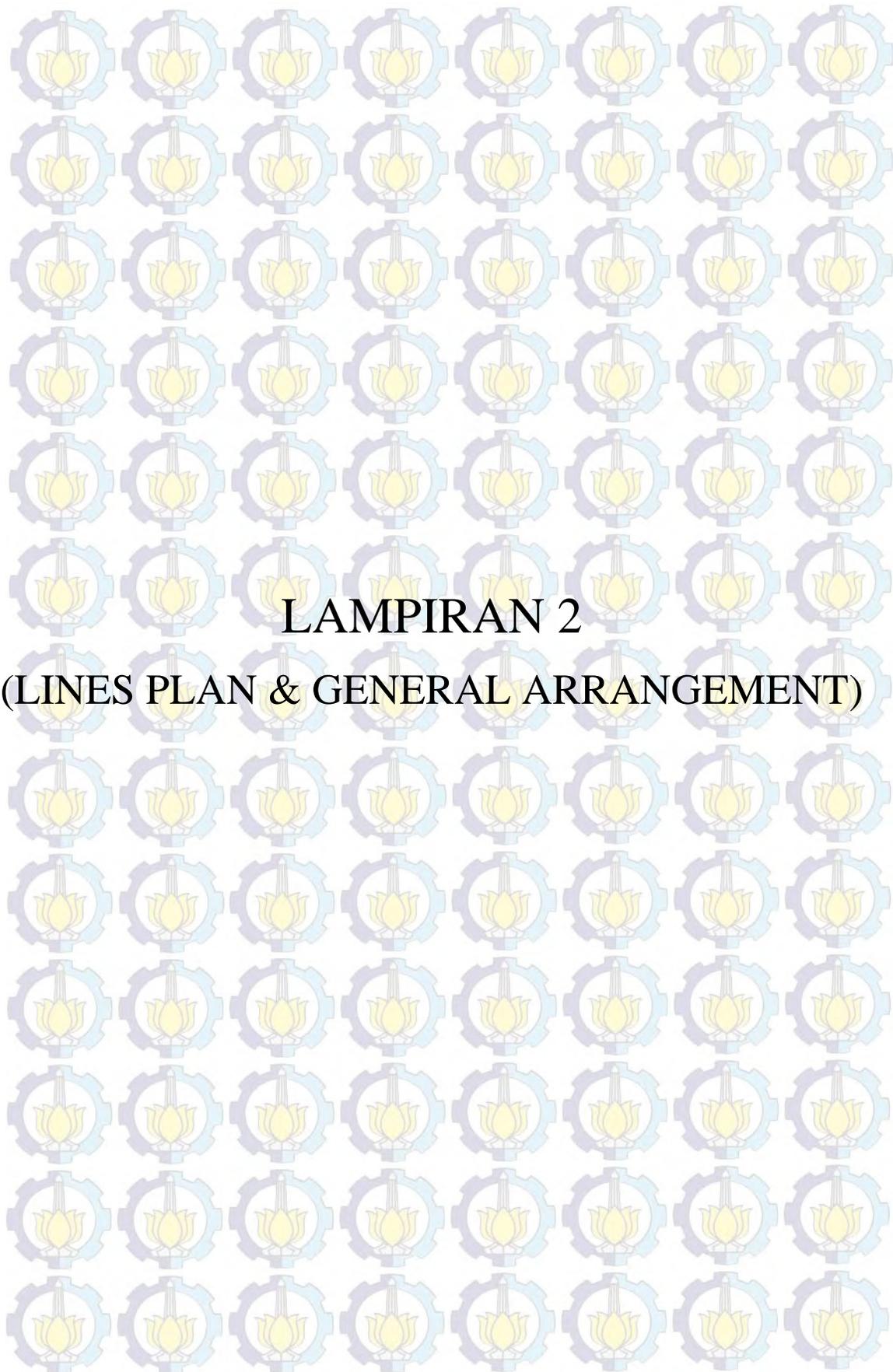
3) Machinery Cost

Pme =
 Wme= 18,393.577 \$/Ton
 Maka, Pme= 274,904.512 \$
 Rp. 2,749,045,117.650

4) Non-Weight Cost

Pnw =
 Cnw= 10% ;asumsi
 Maka, Pnw= 177,070.211 \$
 Rp. 1,770,702,108.005

Total Cost = 19,477,723,188.052 Rupiah



LAMPIRAN 2

(LINES PLAN & GENERAL ARRANGEMENT)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jombang pada hari Jumat tanggal 12 Mei 1989 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Putra pasangan Bapak Abdul Mutholib dan Ibu Mamlu'atul Maghfiroh ini menempuh pendidikan mulai dari TK Damar Wulan Desa Sudimoro 1993-1995, Sekolah Dasar Negeri 1 Sudimoro 1995-2001, SMP Negeri 2 Megaluh 2001-2004, dan SMA Negeri 3 Jombang 2004-2007. Setelah menyelesaikan studi di jenjang SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SPMB. Penulis mengambil program studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal di Jurusan Teknik Perkapalan. Selama masa studi penulis melakukan kerja praktek di PT Dumas Shipyard Surabaya dan Galangan PT PELNI SURYA Surabaya. Penulis juga aktif di kegiatan serta organisasi mahasiswa, menjadi staff departemen Dalam Negeri HIMATEKPAL periode 2009/2010 dan ikut serta menjadi panitia pada kegiatan SAMPAN (Semarak Mahasiswa Teknik Perkapalan) ITS.

Penulis mengambil Tugas Akhir dalam bidang Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal dengan judul “Desain *Self-Propelled Oil Barge* (SPOB) Untuk Distribusi Bahan Bakar Minyak (BBM) di Kepulauan Kabupaten Sumenep”

Email : esaahmadaka@gmail.com

kahfi@na.its.ac.id