

Desain *Self-Propelled Barge* Pengangkut Limbah Minyak Di Kawasan Pelabuhan Indonesia III

Muhammad Sayful Anam, dan Hesty Anita Kurniawati

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: tita@na.its.ac.id

Abstrak—Konvensi MARPOL 73/78 yang dimandatkan oleh IMO (*International Maritime Organization*), mempersyaratkan kepada setiap negara yang meratifikasi konvensi ini untuk menyediakan fasilitas pengelolaan limbah minyak di pelabuhan yang bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat buangan limbah minyak dari kapal. Kondisi saat ini hampir semua pelabuhan di Indonesia termasuk pelabuhan-pelabuhan yang berada dalam kawasan Pelabuhan Indonesia III (Persero) tidak mempunyai fasilitas pengelolaan limbah minyak. Untuk mengatasi permasalahan ini diberikan solusi penanganan limbah, khususnya limbah minyak dengan konsep transportasi laut. Penanganan tersebut dengan mengangkut limbah minyak di setiap pelabuhan menggunakan kapal khusus yaitu tongkang pengangkut limbah minyak dengan sistem penggerak sendiri (*Self-Propelled Barge*). Dengan kapal ini diharapkan semua limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III dapat diangkut untuk dilakukan proses pengolahan. Proses desain *Self-Propelled Barge* diawali dengan menentukan pola operasi serta mencari ukuran utama yang optimal dari tongkang. Setelah didapatkan ukuran utama yang optimal dan memenuhi persyaratan yang diminta kemudian dilanjutkan dengan pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum. Dari proses desain ini didapatkan ukuran *Self-Propelled Barge* yang optimal yaitu Lpp = 55.3 m, B = 12,05 m, H = 3.44 m, T = 2.20 m.

Kata Kunci—MARPOL 73/78, Limbah Minyak, Pelabuhan Indonesia III, *Self-Propelled Barge*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara kepulauan yang dihubungkan dengan sarana penghubung yaitu pelabuhan. Pelabuhan merupakan tempat atau fasilitas jasa untuk melayani kapal yang datang di area dermaga, termasuk fasilitas penanganan limbah. Pengadaan fasilitas pengolahan limbah di Pelabuhan merupakan bagian dari pelaksanaan Konvensi Internasional tahun 1973 tentang pencegahan pencemaran dari kapal yang telah dimodifikasi oleh Protokol 1978 yang terkait dalam MARPOL 1973 jo 1978 (MARPOL 73/78) dan telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia pada tanggal 9

September 1986. Dan limbah minyak yang berasal dari kapal tersebut harus dikelola di Fasilitas Penanganan Limbah (*Port Reception Facilities*).

Kondisi saat ini hampir pelabuhan di Indonesia termasuk pelabuhan-pelabuhan yang berada dalam kawasan Pelabuhan Indonesia III (Persero) tidak mempunyai fasilitas pengelolaan limbah, hanya ada fasilitas untuk penampungan dan penyimpanannya saja. Hal ini disebabkan tidak adanya dukungan finansial akan pengadaan fasilitas penanganan limbah di setiap pelabuhan Indonesia. Permasalahan lain yang terjadi yaitu terdapat fasilitas penanganan limbah di pelabuhan tetapi tidak didukung dengan biaya operasional yang tepat dalam menjalankan kegiatan operasional penanganan limbah. Setelah Indonesia meratifikasi Peraturan MARPOL 73/78 Annex I, maka setiap pelabuhan Indonesia harus memiliki fasilitas penanganan limbah sesuai dengan syarat dan peraturan yang diterapkan di Peraturan MARPOL 73/78 dengan tujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah buangan kapal di pelabuhan.

Dalam studi sebelumnya, timbul solusi untuk menyelesaikan permasalahan finansial dalam pembangunan fasilitas limbah minyak di setiap pelabuhan yaitu dengan penanganan limbah minyak dari segi transportasi laut. Penanganan limbah minyak ini menggunakan moda angkut transportasi laut berupa *self-propelled barge*. Pengadaan tongkang ini dimaksudkan untuk mengangkut limbah minyak di setiap pelabuhan yang akan dilayani. Selanjutnya pengangkutan berakhir di pelabuhan penampungan akhir dan selanjutnya akan dikelola di fasilitas penanganan limbah minyak yang akan dibangun di kawasan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Minyak

Buangan yang berasal dari hasil eksplorasi produk minyak, pemeliharaan fasilitas produksi, fasilitas penyimpanan, pemrosesan, dan tangki penyimpanan minyak pada kapal laut. Limbah minyak bersifat mudah meledak, mudah terbakar, bersifat reaktif, beracun, menyebabkan infeksi, dan bersifat korosif.

Lebih spesifik tentang jenis buangan limbah minyak dari kapal (*International Convention for Prevention of Pollution from Ships*) sebagaimana dimodifikasi dengan Protokol 1978 (MARPOL 73/78); yang juga menurut PP No. 18 Tahun 1998, peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 2007 [1], yang termasuk dalam kategori limbah minyak antara lain:

- Pelumas (*lubricating oil*)
- Lumpur minyak (*sludge*)
- Air bilga berminyak (*oily bilge water*)
- Air ballast berminyak (*dirty ballast water*)
- Air cucian tangki minyak (*oily tank washings*)

Kontaminasi minyak yang bersumber dari kapal atau perahu relatif kecil dan sedikit, namun akumulasi dari jumlah armada kapal atau perahu yang cukup besar akan memberikan dampak terhadap lingkungan yang cukup signifikan. Asumsi untuk massa jenis limbah minyak adalah $1,02 \text{ m}^3/\text{ton}$ (Firman, 2009). Dan dalam perhitungan jumlah limbah minyak per hari diberikan *safety stock* 5% untuk pengangkutan limbah disetiap titik pelabuhan.

B. Self-Propelled Barge

Secara umum dapat digambarkan bahwa *Self Propelled Barge (SPB)* adalah kapal yang mempunyai bentuk seperti tongkang namun menggunakan tenaga pendorong sendiri. Apabila dibandingkan dengan biaya pembangunan kapal pada umumnya terlebih dengan kapal *bulk carier*, SPB mempunyai biaya pembangunan yang lebih rendah 1/3 kali dari kapal *bulk carier* [2], sehingga dapat disimpulkan pula bahwa biaya operasional SPB lebih rendah dibandingkan dengan kapal *bulk carier*. Adapun karakter dari tongkang yang menggunakan sistem penggerak sendiri dari segi operasional adalah sebagai berikut [3]:

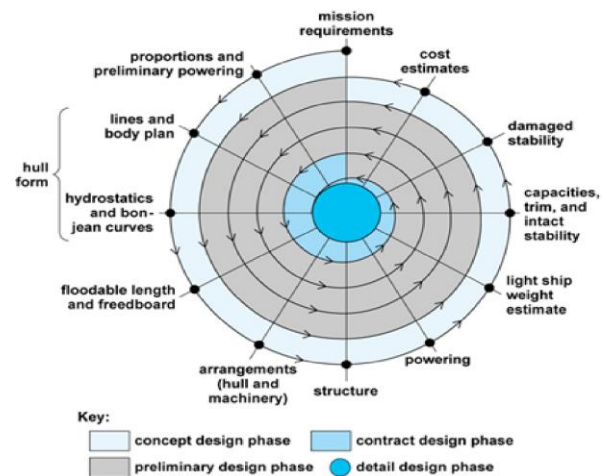
- Dapat digunakan di perairan dangkal (kedalaman 3-8 m)
- Dapat digunakan di perairan dengan arus yang kuat (5-6 knot)
- Dapat digunakan pada perairan dengan alur yang ekstrim (wilayah kepulauan)
- Mampu menghadapi *air draft restriction* (jembatan melintang)
- Mampu menghadapi *water debris* (lumpur, sampah, dll)
- Mampu menghadapi dasar sungai atau laut yang berbatuan

Dalam studi ini konsep moda transportasi yang digunakan adalah tongkang limbah minyak dengan sistem penggerak sendiri, yang sebelumnya mengadopsi tongkang yang merupakan jenis tongkang yang membawa muatan di dalam palkah. Sehingga desain tongkang pengangkut limbah minyak ini juga merupakan jenis tongkang yang membawa muatan di dalam palkah.

C. Teori Desain

Proses mendesain kapal adalah proses berulang, yaitu seluruh perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Desain ini digambarkan pada desain spiral

seperti pada Gambar 1. Dalam desain spiral membagi seluruh proses menjadi 4 tahapan yaitu: *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* (Evans, 1959).



Gambar 1. Spiral Desain (Evans, 1959)

Concept design adalah tahap pertama dalam proses desain yang menterjemahkan *owner requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan-ketentuan dasar dari kapal yang akan direncanakan.

Langkah selanjutnya dari *concept design* adalah melakukan pengecekan kembali ukuran dasar kapal yang dikaitkan dengan *performance* (Evans, 1959). Pemeriksaan ulang terhadap panjang, lebar, daya mesin, *deadweight* yang diharapkan tidak banyak berubah pada tahap ini.

Contract design merupakan tahap menghitung lebih teliti *hull form* (bentuk badan kapal) dengan memperbaiki *lines plan*, tenaga penggerak dengan menggunakan *model test*, *seakeeping* dan *maneuvering* karakteristik, pengaruh jumlah *propeller* terhadap badan kapal, detail konstruksi, estimasi berat dan titik berat yang dihitung berdasarkan posisi dan berat masing-masing item dari konstruksi. *General Arrangement detail* dibuat juga pada tahap ini.

Tahap akhir dari perencanaan kapal adalah *Detail design* yaitu pengembangan detail gambar kerja (Evans, 1959).

D. Metode Optimisasi

Optimisasi merupakan suatu proses untuk mendapatkan satu hasil yang relatif lebih baik dari beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu [4].

Dalam optimisasi selalu melibatkan hal-hal sebagai berikut:

- Variabel adalah harga-harga yang akan dicari dalam proses optimisasi.
- Parameter adalah harga-harga yang tidak berubah besarnya selama satu kali proses optimisasi karena syarat-syarat tertentu.
- Konstanta adalah harga-harga yang tidak berubah besarnya selama proses optimisasi berlangsung tuntas.
- Batasan adalah harga-harga batas yang telah ditentukan.

- Fungsi obyektif adalah hubungan antara semua atau beberapa variable serta parameter yang harganya akan dioptimalkan.

III. ANALISIS TEKNIS

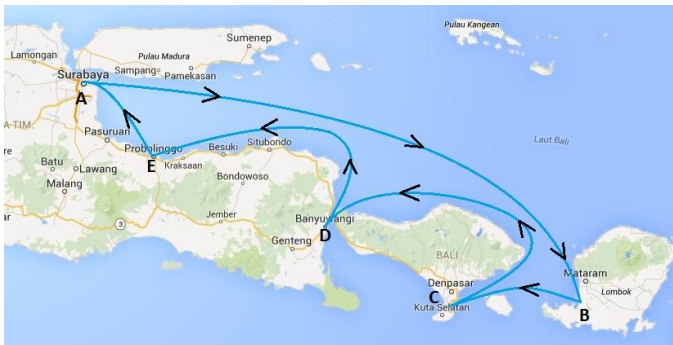
A. Penentuan Pola Operasi

Penentuan rute ini menggunakan konsep analisa sederhana, namun tetap memperhatikan persyaratan-persyaratan yang diberikan. Perencanaan pola operasi menghasilkan rute pelayaran *Self-Propelled Barge*, yaitu untuk daerah pelayaran kawasan barat adalah dari Pelabuhan Tanjung Perak (A) menuju ke Pelabuhan Tanjung Emas selanjutnya menuju ke Pelabuhan Gresik ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan berakhir di Fasilitas Apung pengolah limbah minyak.



Gambar 2. Rute pelayaran kawasan barat

Sedangkan untuk daerah pelayaran kawasan timur adalah dari Fasilitas Apung pengolah limbah minyak menuju ke Pelabuhan Lembar Lombok selanjutnya menuju ke Pelabuhan Benoa Bali ke Pelabuhan Tanjung Wangi Banyuwangi ke Pelabuhan Tanjung Tembaga Probolinggo ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan berakhir di Fasilitas Apung pengolah limbah minyak. Waktu yang dibutuhkan kapal ini untuk melakukan satu periode perjalanan adalah selama 9 hari dengan jarak tempuh 954 Nm.



Gambar 3. Rute pelayaran kawasan timur

B. Penentuan Payload

Adapun jumlah muatan yang akan diangkut berdasarkan jumlah debit limbah minyak yang dihasilkan masing-masing pelabuhan. Berdasarkan data yang diperoleh, didapatkan debit jumlah limbah minyak di tiap pelabuhan yang disajikan pada tabel 1 berikut ini [5]:

Tabel 1.
Debit Limbah Minyak

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	122,34	124,79
Tanjung Emas	32,94	33,6
Gresik	29,3	29,88
Probolinggo	0,74	0,76
Banyuwangi	7,82	7,97
Benoa	8,21	8,37
Lembar	4,91	5,84
Total	206,26	211,21

Dalam menentukan *payload* telah direncanakan dua skenario yang nantinya akan dianalisis dan hanya akan diambil satu skenario yang paling efektif.

1) Skenario Pertama

Pada skenario ini direncanakan kapal melayani pelabuhan yang berada di kawasan timur dan kawasan barat. Sehingga didapat pembagian debit limbah minyak tiap kawasan sebagai berikut:

Tabel 2.
Debit Limbah Minyak Kawasan Timur

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	122,34	124,79
Probolinggo	0,74	0,76
Banyuwangi	7,82	7,97
Benoa	8,21	8,37
Lembar	4,91	5,84
Total	144,02	147,73

Tabel 3.
Debit Limbah Minyak Kawasan Barat

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Emas	32,94	33,6
Gresik	29,3	29,88
Total	62,24	63,48

Dalam mencari *payload*, jumlah limbah minyak di setiap kawasan tersebut dikalikan dengan lama waktu penumpukan limbah. Lama waktu penumpukan diambil sama dengan lama waktu operasi kapal yaitu selama 9 hari. Sehingga dapat diketahui bahwa *payload* untuk kawasan timur sebesar 1329,57 ton, dan untuk kawasan barat sebesar 571,32 ton.

2) Skenario Kedua

Pada skenario kedua ini perencanaan *payload* direncanakan dengan membagi jumlah total limbah minyak di semua pelabuhan menjadi dua dan sama besar untuk masing-masing kawasan. Sehingga didapat pembagian debit limbah minyak kawasan sebagai berikut:

Tabel 4.
Debit Limbah Minyak Kawasan Timur

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	81,45	83,08
Probolinggo	0,74	0,75
Banyuwangi	7,82	7,98
Benoa	8,21	8,37
Lembar	4,91	5,01
Total	103,13	105,2

Tabel 5.
Debit Limbah Minyak Kawasan Barat

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	40,89	41,71
Tanjung Emas	32,94	33,60
Gresik	29,30	29,89
Total	103,13	105,2

Dalam mencari *payload*, jumlah limbah minyak di tiap kawasan tersebut dikalikan dengan lama waktu penumpukan limbah. Sehingga dapat diketahui bahwa *payload* kapal sebesar 956,73 ton.

Dari perbandingan kedua skenario tersebut dapat disimpulkan bahwa skenario kedua jauh lebih efektif dibanding skenario pertama. Jadi besarnya *payload* yang diambil sebagai *Owner's Requirement'* dalam mendesain *Self-Propelled Barge* ini sebesar 956,73 ton yang kemudian dibulatkan menjadi 1000 ton untuk masing-masing kawasan.

C. Pembuatan model optimisasi

Sebagai nilai awal (*initial value*), diambil ukuran utama awal *barge* dari ukuran *payload* yang mendekati. Sehingga diperoleh ukuran utama sebagai input awal yaitu:

- Lpp : 62,70 m
- B : 12 m
- H : 3,3 m
- T : 2,7 m

Batasan-batasan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah :

- *Freeboard*
Dalam kategori ini, *barge* masuk ke dalam kategori A. yaitu kapal dengan muatan minyak. Tinggi lambung timbul aktual tidak boleh kurang dari lambung timbul hasil perhitungan.
- *Trim*
Batasan trim maksimal adalah -0,1 s/d 0,1 % LPP.
- Koreksi displasemen
Berat total *barge* (DWT+LWT) *barge* yang akan dirancang harus masih berada dalam rentang displasemen hasil perhitungan (L x B x T x Cb) sebesar 0% s/d 0,5%.
- Stabilitas
Persyaratan stabilitas mengacu pada IMO *Resolution* untuk menghitung *intact stability*, (IS Code A.749.18, 2002) yaitu:
 - o Tinggi *Metacentre* (MG) pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0,15 m
 - o Lengan statis (GZ) pada sudut oleng > 30° tidak boleh kurang dari 0,20 m
 - o Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng lebih dari 15°
 - o Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0,06 m radian sampai dengan 30° sudut oleng
 - o Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0,09 m radian sampai dengan 40° sudut oleng.

Sedangkan yang menjadi fungsi obyektif dalam proses optimisasi ini adalah biaya pembangunan kapal. Investasi awal (biaya pembangunan kapal), terdiri dari biaya pembangunan lambung kapal, biaya perlengkapan, biaya permesinan serta biaya tambahan lainnya.

D. Ukuran utama optimum

Proses penentuan ukuran utama optimum kapal dicari melalui proses optimisasi. Hasil optimisasi melalui program *solver* yang ada di perangkat lunak *microsoft excel 2007* bisa dilihat pada tabel 6. Dari hasil tersebut didapatkan ukuran utama optimum sebagai berikut:

- Lpp : 55,30 m
- B : 12,05 m
- H : 3,44 m
- T : 2,20 m

Tabel 6.
Hasil Optimisasi

Variabel							
	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Ukuran Utama	Panjang	m	L	55,30	55,30	76,70	OK
	Lebar	m	B	12,05	12,05	17,00	OK
	Tinggi	m	H	3,20	3,44	5,80	OK
	Sarat	m	T	2,15	2,20	3,60	OK
	Kecepatan kapal	Kn	Vs	0	6		OK

Fungsi obyektif yang digunakan untuk proses optimisasi ini adalah biaya pembangunan kapal. Biaya pembangunan kapal terdiri dari:

- Biaya pembuatan lambung kapal

$$Pst = Wst \times Cst \tag{1}$$

Dimana: Pst = Harga total pelat (\$)
 Wst = Berat pelat = 263,40 (ton)
 Cst = Harga pelat = 3.871,46 (\$/ton)

Sehingga didapat harga total pembuatan lambung kapal sebesar 1.019.748,84 \$ atau setara dengan 12.848.835.355 Rupiah.

- Biaya *outfitting dan equipment*

$$Peo = Weo \times Ceo \tag{2}$$

Dimana: Peo = Harga total perlengkapan (\$)
 Weo = Berat perlengkapan = 65,57 (ton)
 Ceo = Harga perlengkapan = 18.236 (\$/ton)

Sehingga didapat harga perlengkapan sebesar 1.195.715,50 \$ atau setara dengan 15.066.015.342,25 Rupiah.

- Biaya permesinan

$$Pme = Wme \times Cme \tag{3}$$

Dimana: Pme = Harga total permesinan (\$)
 Wme = Berat permesinan = 35,75 (ton)
 Cme = Harga Me = 19.607,393 (\$/ton)

Sehingga didapat harga total perlengkapan sebesar 700.959,058 \$ atau setara dengan 8.832.084.132,30 Rupiah.

- Biaya tambahan

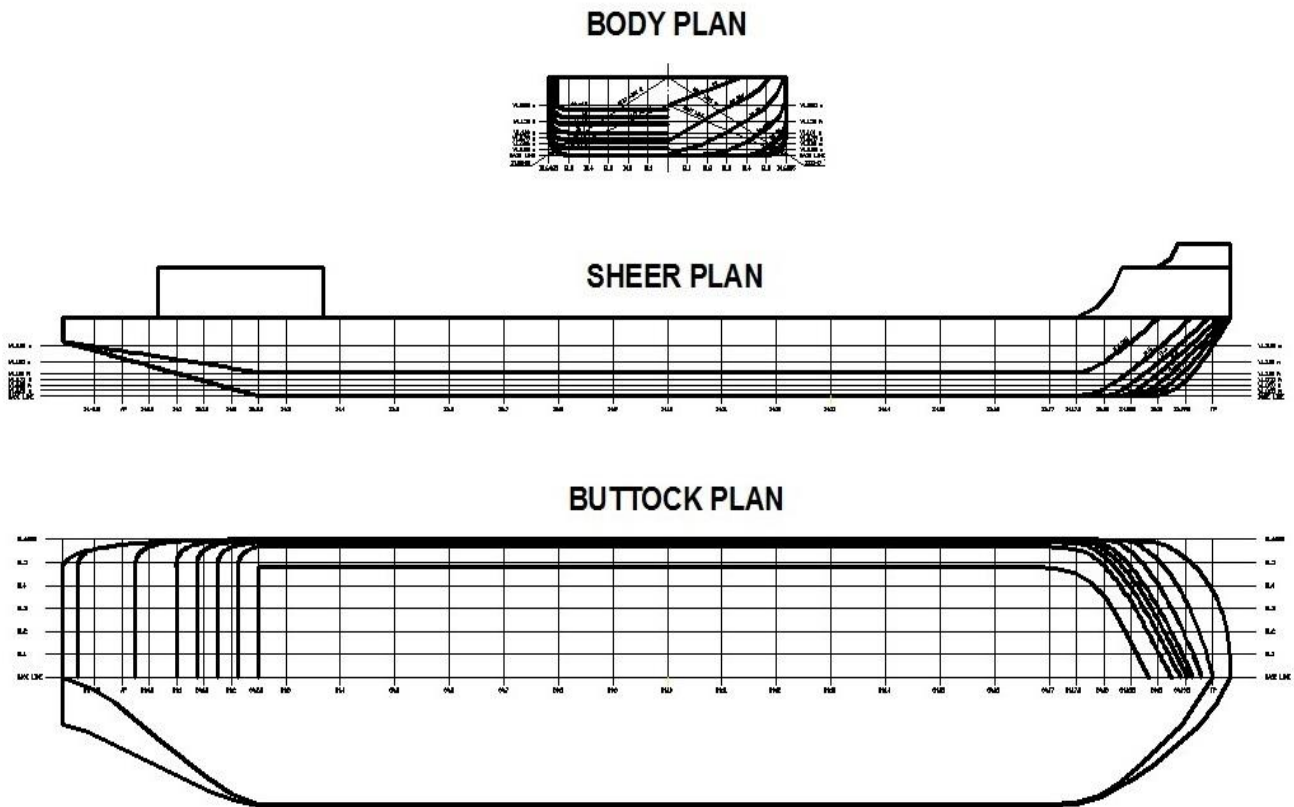
Biaya tambahan ini diambil 10% dari total biaya ketiga komponen sebelumnya. Sehingga didapat *Non-weight cost* sebesar 291.642,34 \$.

- Total biaya

Dari penjumlahan ke empat komponen tersebut didapatkan biaya pembangunan kapal, yaitu sebesar 2.916.423,399 \$ atau setara dengan 36.746.934.829,379 Rupiah.

E. Rencana Garis

Untuk merancang sebuah kapal maka yang pertama dilakukan adalah pembuatan Rencana Garis. Dalam pembuatan Rencana Garis ini digunakan dua *software* khusus. Caranya adalah dengan perpaduan antara kedua *software* tersebut. Desain Rencana Garis yang dihasilkan dari perpaduan *software* tersebut tampak terlihat seperti pada Gambar 4.

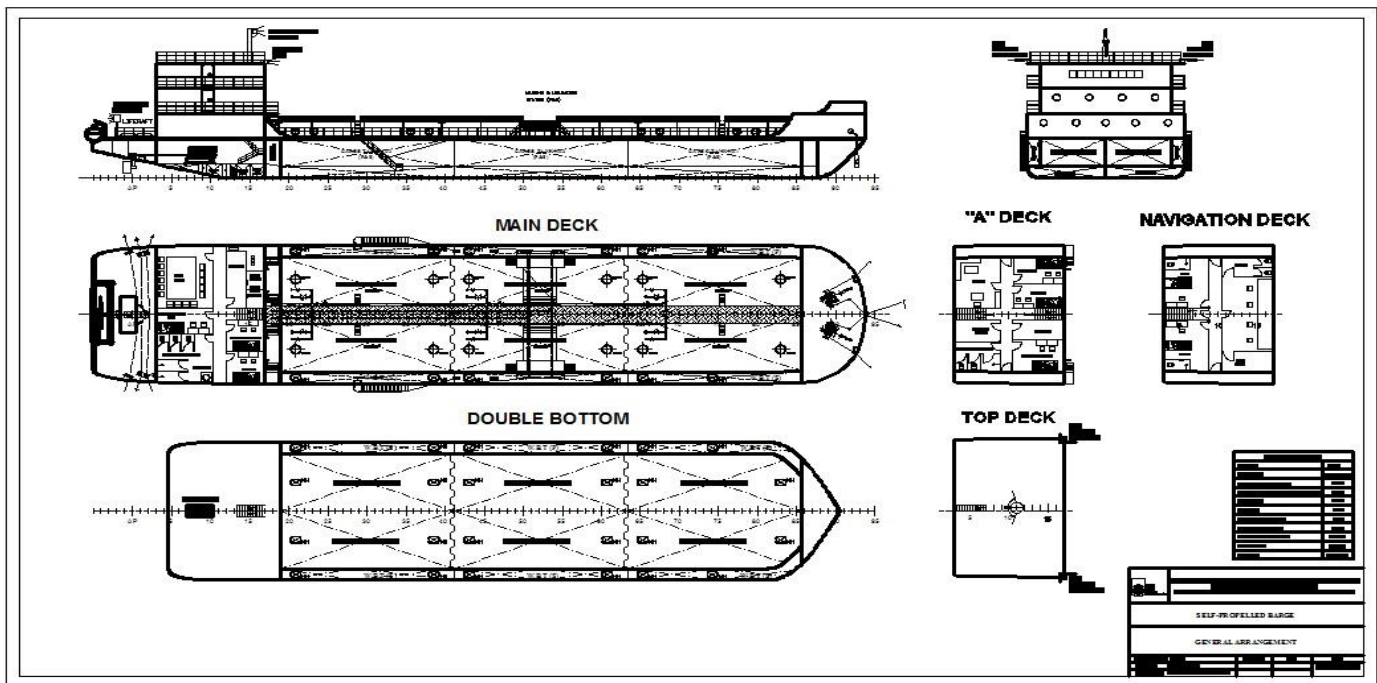


Gambar 4. Rencana Garis

F. Rencana Umum

Setelah Rencana Garis selesai dibuat, selanjutnya adalah pembuatan Rencana Umum. Rencana Umum berisi

perencanaan peletakan muatan, peletakan perlengkapan dan peralatan, pembagian sekat, dan sebagainya. Hasil desain Rencana Umum seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Rencana Umum

IV. KESIMPULAN

1. Pola operasi dan *payload*

Rute kawasan barat adalah dari Pelabuhan Tanjung Perak menuju ke Pelabuhan Tanjung Emas kemudian ke Pelabuhan Gresik, ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan membawa seluruh muatan ke Fasilitas Apung pengolah limbah minyak yang ada di Teluk Lamong.

Sedangkan untuk rute pelayaran kawasan timur adalah dari Fasilitas Apung pengolah limbah minyak langsung menuju ke Pelabuhan Lembar Lombok selanjutnya ke Pelabuhan Benoa Bali ke Pelabuhan Tanjung Wangi Banyuwangi ke Pelabuhan Tanjung Tembaga Probolinggo ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan berakhir di Fasilitas Apung pengolah limbah minyak. Untuk satu kali perjalanan yang mencakup kawasan timur dan kawasan barat *Self-Propelled Barge* tersebut berlayar selama 9 hari dengan jarak tempuh 954 Nm.

Dari hasil analisis perbandingan kedua skenario yang telah direncanakan, didapat *payload Self-Propelled Barge* sebesar 1000 ton.

2. Ukuran utama optimum

Dari hasil perhitungan dan analisa, didapat ukuran utama *self-propelled barge* untuk pengangkut limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III yaitu:

L_{pp} : 55,30 m

B : 12,05 m

H : 3,44 m

T : 2,20 m

Dengan fungsi obyektif biaya pembangunan kapal sebesar 36.746.934.829,379 Rupiah.

3. Rencana Garis dan Rencana Umum

Desain Rencana Garis dan Rencana Umum seperti terlihat pada gambar 4 dan 5.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. N. L. H. R. Indonesia, *Fasilitas Pengumpulan dan Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di Pelabuhan*. Jakarta, 2007.
- [2] H. Mulya, "Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangunan Self-Propelled Barge Batubara dari Sumatera Selatan untuk Menunjang Operasional PLTU Suralaya," 2006.
- [3] A. . Wicaksana, "Desain Konseptual Kapal Desalinasi untuk Wilayah Kepulauan," ITS, 2012.
- [4] Setijoprojudo, *Ship Design Economics*. Surabaya, 1999.
- [5] E. Eryanto, "Analisis Penanganan Limbah Minyak di Kawasan Pelabuhan: Tinjauan Dari Segi Transportasi Laut," ITS, 2012.