

Desain *Dual Fuel Self-Propelled Barge* (SPB) Pengangkut *Crude Palm Oil* (CPO) untuk Ekspor Rute Dumai-Singapura

Willyam Nainggolan, Hesty Anita Kurniawati, dan Danu Utama.
Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111
e-mail: tita@na.its.ac.id

Abstrak—Pada tahun 2017 Kementerian Perdagangan mengeluarkan Permendag Nomor 82/2017 yang mewajibkan penggunaan kapal yang dikuasai oleh perusahaan pelayaran nasional untuk ekspor *crude palm oil* (CPO). Namun sayangnya kapal dalam negeri belum siap untuk melaksanakan ekspor CPO dikarenakan ekspor CPO selama ini hampir 94% menggunakan kapal asing. Selain permasalahan tersebut, pembatasan emisi gas buang pada kapal yang diatur oleh IMO melalui MARPOL 73/78 Annex VI terus diperketat secara kontinu. Salah satu regulasi terbaru yang akan diimplementasikan ialah pembatasan emisi sulfur secara global yang akan dikurangi dari 3.5% menjadi 0.5% pada tahun 2020. Maka, dalam tugas akhir ini akan dibahas sebuah moda transportasi berupa *self-propelled barge* yang menggunakan bahan bakar ganda (*dual fuel*) untuk mengangkut CPO dari Dumai ke Singapura. Dengan kapal ini diharapkan pengangkutan CPO untuk jarak dekat dengan rute Dumai-Singapura dapat dilakukan dengan lebih efektif & efisien. Analisis teknis yang dibahas yaitu penentuan ukuran utama kapal, koefisien bentuk kapal, hambatan & propulsi kapal, berat & titik berat, *trim*, *freeboard*, dan stabilitas kapal. Ukuran utama kapal yang didapatkan dengan menggunakan metode optimisasi ialah $L_{pp} = 74,27$ m, $B = 13,95$ m, $H = 5,02$ m, dan $T = 3,9$ m. Analisis ekonomis yang dilakukan yaitu perhitungan biaya pembangunan kapal, biaya operasional kapal, penentuan harga sewa kapal serta perhitungan indikator kelayakan investasi. Harga penyewaan *self-propelled barge* ini untuk tipe *voyage charter* adalah Rp 149.440.476 per *voyage*, sedangkan untuk tipe *time charter* ialah sebesar Rp 800.000.000 per bulan.

Kata Kunci—*Crude Palm Oil*, *Dual Fuel*, Dumai, *Self-Propelled Barge*, Singapura.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan produsen dan eksportir *crude palm oil* (CPO) terbesar didunia. Total ekspor CPO Indonesia pada tahun 2017 tercatat sebesar 28 juta ton [1]. Salah satu pelabuhan ekspor CPO terbesar di Indonesia adalah Pelabuhan Dumai yang berada di Provinsi Riau. Pelabuhan Dumai melayani ekspor CPO hingga 6,5 juta ton per tahun, jauh lebih besar dibandingkan Pelabuhan Belawan di Sumatera Utara yang melayani sekitar 3,5 juta ton per tahun [2]. CPO tersebut diekspor ke berbagai negara, yang salah satunya adalah Singapura.

Pada tahun 2017 Kementerian Perdagangan mengeluarkan Permendag Nomor 82/2017 yang mewajibkan penggunaan kapal yang dikuasai oleh perusahaan pelayaran nasional untuk ekspor CPO mulai bulan Mei 2018. Namun sayangnya kapal dalam negeri belum sepenuhnya siap untuk melakukan ekspor CPO [3]. Hal ini dikarenakan selama ini ekspor CPO menggunakan hampir 94% kapal asing, sedangkan kapal

yang berbendera Indonesia hanya sekitar 6.3% [4]. Akibat dari ketidaksiapan tersebut, pemerintah menunda pelaksanaan dari aturan ini selama 2 tahun hingga 2020. Selain permasalahan tersebut, pembatasan emisi gas buang pada kapal yang diatur oleh IMO melalui MARPOL 73/78 Annex VI terus diperketat secara kontinu. Salah satu regulasi terbaru yang akan diimplementasikan ialah pembatasan emisi sulfur secara global yang akan dikurangi dari 3.5% menjadi 0.5% pada tahun 2020. Untuk memenuhi regulasi pembatasan emisi tersebut dapat digunakan beberapa opsi, yaitu menggunakan *low sulphur diesel oil*, memasang *exhaust gas cleaning system*, atau menggunakan *liquefied natural gas* (LNG) sebagai bahan bakar utama [5].

Dari permasalahan-permasalahan tersebut maka pada penelitian ini diberikan solusi moda transportasi berupa *self-propelled barge* yang menggunakan bahan bakar ganda (*dual fuel*), yaitu LNG dan MDO untuk mengangkut CPO dari Dumai ke Singapura. penggunaan LNG ini dapat mengurangi kandungan SO_x & *particulate matter* (PM) hingga 100 %, emisi NO_x sekitar 85%-90%, serta CO₂ hingga 20% [5]. Dengan *dual fuel self-propelled barge* ini diharapkan ekspor CPO dari Dumai ke Singapura dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

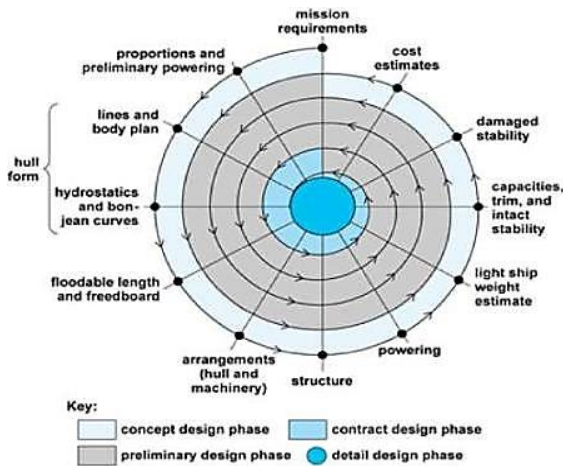
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pendekatan 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 sebagai *spiral design* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam *spiral design* seluruh proses dibagi menjadi 4 tahapan yaitu: *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* [6].

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 carrier*, SPB mempunyai biaya pembangunan yang 1/3 kali lebih rendah dari kapal *bulk carrier* [7]. Dibandingkan dengan tongkang (*barge*) konvensional, *self-propelled barge* memiliki kemampuan manuver yang lebih baik serta hambatan yang relatif lebih kecil [8].

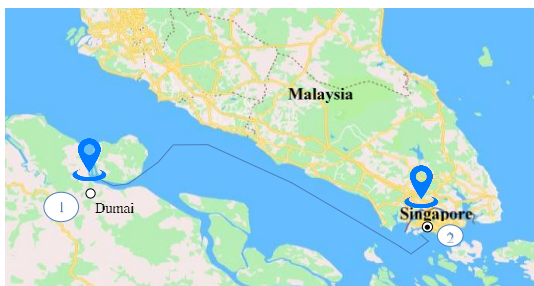


Gambar 1. Spiral Design

C. Tinjauan Wilayah dan Rute Pelayaran

Kota Dumai adalah sebuah kota di Provinsi Riau, Indonesia, terletak sekitar 188 km dari Kota Pekanbaru. Dumai adalah kota dengan wilayah administrasi terluas ketiga di Indonesia, setelah Kota Palangka Raya dan Kota Tidore Kepulauan. Pelabuhan ekspor CPO yang ada di kota Dumai adalah Pelabuhan Dumai yang dioperasikan oleh Pelabuhan Indonesia I. Pelabuhan Dumai merupakan pelabuhan ekspor komoditas CPO terbesar di Pulau Sumatera. Pelabuhan Dumai melayani ekspor *crude palm oil* (CPO) hingga enam juta ton per tahun, jauh lebih besar dibandingkan Pelabuhan Belawan di Provinsi Sumatera Utara yang melayani sekitar 3,5 juta ton per tahun. Pelabuhan Pelindo I Dumai memiliki tiga dermaga, antara lain Dermaga A sepanjang 350 meter untuk *general cargo* & pelabuhan penumpang, Dermaga B sepanjang 500 meter untuk *loading curah cair* & CPO, dan Dermaga C sepanjang 400 meter untuk kapal kontainer & komoditas curah kering [2].

Negara yang menjadi tujuan ekspor yang dibahas dalam penelitian ini ialah Singapura. Pelabuhan Singapura terdiri terminal yang terletak di Tanjong Pagar, Keppel, Brani, Pasir Panjang, Sembawang dan Jurong. Terminal-terminal ini dapat menampung semua jenis kapal, termasuk *container ships, bulk carries, ro-ro ships, cargo freighters, coasters* dan *lighters*. Terminal-terminal tersebut dikelola oleh dua operator pelabuhan komersial yaitu Terminal PSA Singapura, yang mengelola bagian terbesar penanganan kontainer di Singapura dan Jurong Port Pte Ltd, yang merupakan operator terminal kargo curah dan kargo utama Singapura [9]. Rute pelayaran pengangkutan CPO dari Dumai ke Singapura dapat dilihat pada Gambar 2. Jarak pelayaran yang ditempuh ialah 176 *Nautical miles*.

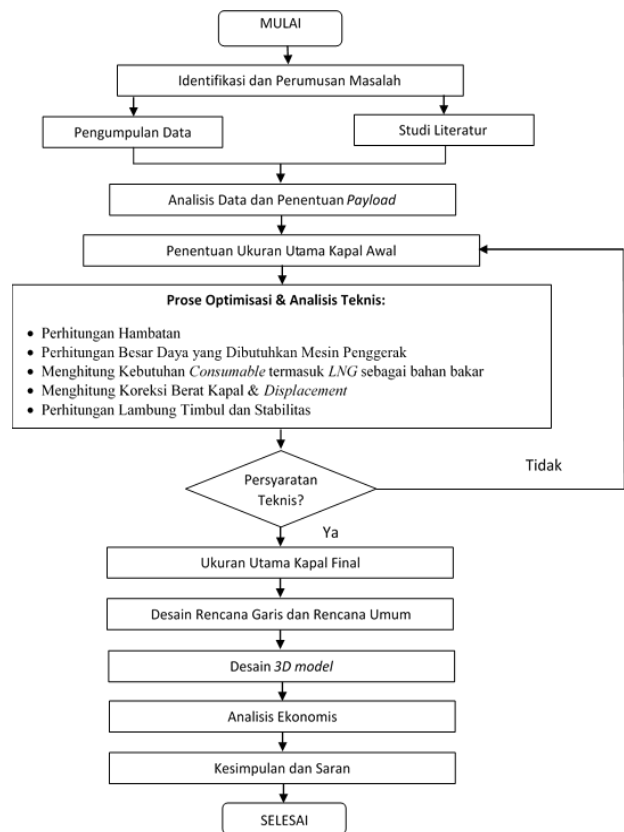


Gambar 2. Rute Pelayaran

III. METODOLOGI

A. Diagram Alir

Diagram alir dari proses pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir

IV. ANALISIS TEKNIS

A. Penentuan Payload

Penentuan kapasitas muatan CPO yang dibawa oleh *self-propelled barge* ini didasarkan pada rata-rata muatan yang dibawa oleh armada kapal yang dioperasikan oleh salah satu perusahaan pelayaran yang melayani rute Dumai-Singapura tahun 2017. Perusahaan pelayaran yang dijadikan acuan ialah Fenghai Ocean Shipping. Data armada kapal dan muatan yang dibawa untuk satu kali perjalanan dari Dumai ke Singapura ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.
Data Ekspor CPO Fenghai Ocean Shipping

No	Nama Kapal	Jumlah (Ton)
1	Feng Hai 13, MT	3000
2	Feng Hai 13, MT	1600
3	Feng Hai 13, MT	1000
4	Feng Hai 13, MT	1835
5	Feng Hai 36, MT	1000
6	Feng Hai 36, MT	1200
7	Feng Hai 36, MT	1000
8	Feng Hai 36, MT	1000
9	Feng Hai 36, MT	2000
10	Feng Hai 36, MT	7210
11	Feng Hai 36, MT	5100

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa rata-rata muatan yang diekspor dari Pelabuhan Dumai ke Singapura ialah 2358.64 ton. Sehingga dengan pembulatan dapat ditentukan bahwa *payload self-propelled barge* yang didesain ialah sebesar 2400 ton.

Dari *payload* yang ditentukan, selanjutnya dapat dihitung waktu yang dibutuhkan *self-propelled barge* in dalam 1 kali pelayaran. Dengan kecepatan 10 knot, dapat diketahui bahwa lamanya kapal dilaut ialah sebesar 35,2 jam. Rata-rata total waktu tunggu kapal di Pelabuhan Dumai untuk dermaga curah cair ialah 13.06 jam [10]. Untuk Pelabuhan Dumai diketahui bahwa besarnya kecepatan rata-rata bongkar muat muatan curah cair ialah sebesar 250 ton/jam [2]. Sehingga dengan *payload* 2400 ton dapat diketahui bahwa waktu bongkar muat di Pelabuhan Dumai ialah sebesar 9,6 jam. Total waktu kapal di Pelabuhan Singapura (waktu tunggu dan waktu bongkar muat) diasumsikan sama dengan rata-rata total waktu kapal tanker di Pelabuhan Singapura, yaitu 23,52 jam [11]. Sehingga didapatkan total waktu yang dibutuhkan untuk satu kali pelayaran ialah sebesar 81,38 jam atau kurang lebih 4 hari.

Waktu operasi efektif kapal ini dalam 1 tahun ialah 335 hari, karena diasumsikan melakukan *annual survey* atau *docking* selama 1 bulan (30 hari). Dengan membagi waktu operasi efektif dengan waktu yang dibutuhkan untuk 1 kali pelayaran, dapat diketahui bahwa jumlah pelayaran *self-propelled barge* ini ialah sebanyak 84 kali. Untuk total muatan yang dibawa selama satu tahun ialah 201.600 ton, didapatkan dengan mengalikan jumlah pelayaran dengan *payload* kapal.

B. Penentuan Ukuran Utama

Ukuran utama kapal didapatkan melalui proses optimisasi *nonlinear programming* dengan pendekatan *generalized reduced gradient* (GRG). Proses optimisasi ukuran utama kapal dilakukan dengan bantuan fitur solver pada Microsoft Excel. Pada proses optimisasi, ukuran utama kapal dijadikan sebagai *changing variable* yang merupakan nilai yang akan dicari. Batasan teknis seperti *froude number*, rasio ukuran utama, koreksi *displacement*, koreksi ruang muat, *trim*, *freeboard*, dan stabilitas dijadikan sebagai *constraints*. Sementara *objective function* dari proses optimisasi ini ialah biaya struktur kapal yang akan diminimumkan nilainya. Ukuran utama *self-propelled barge* yang didapatkan dengan metode optimisasi ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Ukuran Utama Kapal

Komponen	Nilai	Satuan
L _{pp}	66,26	m
B	16,02	m
H	5,13	m
T	3,81	m

C. Perhitungan Koefisien

Setelah didapatkan ukuran utama kapal awal, selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien-koefisien kapal, LCB, dan *displacement* kapal. Hasil perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.
Hasil Perhitungan Koefisien, LCB, dan Displacement

Nama	Nilai	Satuan
C _B	0,90	
C _M	1	
C _P	0,90	
C _{WP}	0,954	
LCB	35,755	m dari AP
Volume Displacement	3789,383	m ³
Displacement	3884,118	ton

D. Perhitungan Hambatan dan Propulsi

Perhitungan hambatan total dilakukan dengan metode Holtrop. Selain itu juga dilakukan perhitungan daya propulsi kapal untuk menentukan daya mesin yang sesuai untuk kapal ini. Hasil perhitungan hambatan total dan propulsi *self-propelled barge* ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil Perhitungan Hambatan dan Propulsi

Nama	Nilai	Satuan
Hambatan total (R _T)	81,835	kN
EHP	420,957	kW
DHP	761,851	kW
SHP	777,398	kW
BHP	797,332	kW
MCR Total	1078,743	kW

E. Pemilihan Tenaga Penggerak

Pada perhitungan daya propulsi didapatkan bahwa daya yang dibutuhkan *self-propelled barge* ini ialah sebesar 1078,743 kW. Mesin induk yang dipilih harus mampu menghasilkan daya yang sama atau lebih besar dari daya propulsi yang dibutuhkan kapal ini. Mesin yang dipilih adalah *dual fuel engine* dengan merk Wartsila tipe 6L20DF yang mempunyai daya sebesar 1110 kW. Kemudian dibutuhkan juga tenaga pendukung yaitu berupa *genset* dengan asumsi daya 25% dari daya mesin induk. Mesin tenaga pendukung yang dipilih yaitu *genset* dengan merk Wartsila Aucpax 16 tipe 455W5L16 dengan daya 455 Kw.

F. Perhitungan Berat dan Titik Berat

Perhitungan berat kapal dibagi menjadi dua yaitu *lightweight* (LWT) dan *deadweight* (DWT). *Lightweight* merupakan berat kapal kosong tanpa muatan yang berarti hanya terdiri dari berat struktur kapal, berat permesinan, serta berat dari perlengkapan kapal. *Deadweight* merupakan berat dari muatan kapal yang akan dibawa selama perjalanan berlangsung yaitu terdiri dari *payload*, bahan bakar mesin, minyak pelumas, kebutuhan awak kapal, serta air bersih. Untuk LWT kapal ini didapatkan sebesar 1034,012 ton dan DWT kapal didapatkan sebesar 2461,695 ton. Nilai total *longitudinal centre of gravity* (LCG) kapal ini ialah 35,424 m dari AP, sementara nilai *keel of gravity* (KG) nya ialah 3,425 m diatas *baseline*.

G. Perhitungan Freeboard

Perhitungan *freeboard* ini berdasarkan aturan yang terdapat pada *International Convention on Load Lines 1966 and Protocol of 1988* (ICLL 1966). Perhitungan ini disesuaikan dengan tipe kapal, dimana untuk kapal ini merupakan kapal tipe A. Dari hasil perhitungan didapatkan *freeboard* minimal dari kapal ini adalah 0,713 meter. *Freeboard* aktual kapal ini lebih besar dari yang disyaratkan, yaitu 1,32 meter, sehingga *freeboard* aktual telah memenuhi regulasi ICLL 1966 [12].

H. Penentuan Load Case

Pengoperasian kapal ini dapat dibagi menjadi enam kasus atau yang biasa dinamakan *load case*. *Load case* ini digunakan untuk perhitungan *trim* dan stabilitas. Adapun *load case* yang ditentukan untuk kapal ini ialah:

- *Load case* I adalah tangki muatan berisi 100% dan tangki *consumables* (bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar) 100%.

- *Load case II* adalah tangki muatan berisi 100% dan tangki *consumables* (bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar) 50%
- *Load case III* adalah tangki muatan berisi 100% dan tangki *consumables* (bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar) 10%.
- *Load case IV* adalah tangki muatan kosong (0%) dan tangki *consumables* (bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar) 100%.
- *Load case V* adalah tangki muatan kosong (0%) dan tangki *consumables* (bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar) 50%.
- *Load case IV* adalah tangki muatan kosong (0%) dan tangki *consumables* (bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar) 10%.

I. Perhitungan Trim

Trim dapat didefinisikan sebagai gerakan kapal yang mengakibatkan tidak terjadinya *even keel* atau secara tepatnya gerakan kapal yang mengelilingi sumbu Y. Trim ini terjadi akibat dari tidak meratanya momen statis dari penyebaran gaya berat. Trim dibedakan menjadi dua yaitu trim haluan dan trim buritan.. Aturan yang disyaratkan oleh IMO dalam *Safety of Life at Sea* (SOLAS) adalah nilai *trim* tidak melebihi dari 0,5% panjang garis air kapal [13]. Untuk hasil dari perhitungan *trim* tiap-tiap *load case* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Hasil Perhitungan Trim

Load Case	Hasil	Kriteria	Kondisi
Load Case I	0,167		OK
Load Case II	0,166		OK
Load Case III	0,199	≤ 0,331	OK
Load Case IV	0,153		OK
Load Case V	0,191		OK
Load Case VI	0,026		OK

J. Perhitungan Stabilitas

Pemeriksaan stabilitas dilakukan guna mengetahui karakteristik kapal untuk setiap kondisi pemuatan yang berbeda (*load case*). Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan *software* adalah IS Code 2008 [14]. Hasil perhitungan stabilitas tiap-tiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6.
Hasil Perhitungan Stabilitas

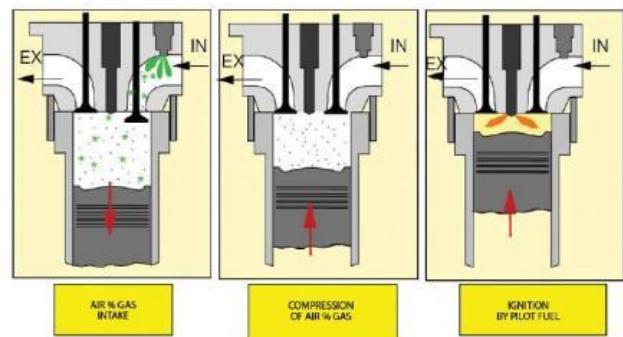
Data	ϵ_{0-30° (m.deg)	ϵ_{0-40° (m.deg)	ϵ_{30-40° (m.deg)	h_{30° (m.deg)	ϕ_{max} (deg)	GM_0 (m)
LC I	34,459	55,689	21,230	2,159	38,2	4,738
LC II	31,633	50,899	19,266	1,953	37,3	4,395
LC III	33,683	54,637	20,954	2,140	39,1	4,692
LC IV	53,185	83,565	30,38	3,053	36,4	7,017
LC V	53,111	83,396	30,285	3,043	36,4	7,010
LC VI	53,776	84,332	30,556	3,069	36,4	7,111
Kriteria	≥3.15	≥5.16	≥1.72	≥0.2	≥25	≥0.15
Kondisi	OK	OK	OK	OK	OK	OK

K. Karakteristik Dual Fuel Engine

Dual fuel engine adalah mesin yang dapat menggunakan *natural gas* dan *marine diesel oil/heavy fuel oil* sebagai bahan bakar. Tidak seperti *liquid fuel* yang bersifat *self-ignited* dibawah tekanan dalam *cylinder engine*, *methane* yang merupakan komponen utama dari *natural gas* tidak dapat mengalami proses pembakaran sendiri (*self-ignited*),

sehingga proses pembakarannya dipicu oleh *liquid fuel* [15]. Sebelum terjadinya proses pembakaran *natural gas*, proses suplai bahan bakar gas dimulai dari LNG tank yang merupakan tangki penyimpanan *natural gas* dalam fase *liquid*. LNG dari LNG storage tank ini akan dibawa ke *vaporizer* menggunakan *low pressure pump*. *Vaporizer* berfungsi untuk mengubah *natural gas* dari fase *liquid* ke fase gas dengan prinsip perpindahan panas (*heat exchange*). Setelah LNG berubah fase menjadi gas, gas akan melalui *gas valve unit* (GVU) dimana GVU akan mengatur tekanan dan temperatur dari gas. Setelah melalui *gas valve unit* (GVU), bahan bakar gas akan masuk ke *dual fuel engine* [16].

Ketika berjalan pada mode gas, *dual fuel engine* bertindak sesuai dengan prinsip *Otto Cycle*. Pada mode gas, gas dimasukkan ke *cylinder engine* bersamaan dengan pembakaran udara selama *intake stroke*. Gas ini dicampur dengan udara dalam *inlet channel* di *cylinder engine*. Campuran dari gas dan udara kemudian dikompresi dan dibakar dengan sejumlah kecil *diesel pilot fuel* pada akhir *compression stroke* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. Konsumsi *pilot fuel* ini kurang dari 1% dari konsumsi bahan bakar utama pada *full load*. Setelah itu gas menyala dan terbakar, mendorong piston ke bawah seperti pada mesin diesel konvensional di mana tenaga dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar cair. Seluruh fungsi dari engine dikontrol dengan *Wartsila Engine Control System 8000* (WECS 8000). *Wartsila engine control system 8000* (WECS 8000) akan memonitor dan mengontrol operasi keselamatan, kecepatan *engine*, kontrol bahan bakar, dan fungsi otomatis relevan lainnya. Pada mode diesel, *engine* beroperasi sesuai dengan prinsip diesel konvensional [15].

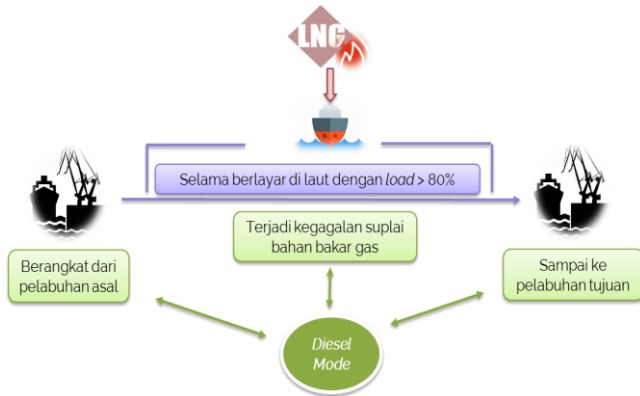


Gambar 4. Proses Pembakaran Bahan Bakar pada Mode Gas

L. Skema Penggerak Kapal

Dual fuel engine selalu mulai beroperasi pada mode diesel. Ketika proses pembakaran pada *cylinder* telah stabil, *engine* diubah ke mode gas. Pada beban diatas 80% *engine* dapat diganti dari mode MDO ke mode gas. Prosedur ini dilakukan secara otomatis tanpa adanya perubahan beban (*load*) dari *engine*. Pada saat terjadi kegagalan dari proses suplai gas, *engine* secara otomatis berganti ke mode diesel, tanpa kehilangan *power* dan kecepatan *engine*. Pada saat *engine load* menurun hingga dibawah 15% lebih dari 3 menit ketika dalam kondisi mode gas, *engine* secara otomatis akan berganti ke mode diesel [15]. Dari pertimbangan ini maka penggunaan mode diesel hanya akan digunakan ketika kapal akan mulai berangkat dari pelabuhan, saat akan sampai ke pelabuhan tujuan, dan ketika terjadi kegagalan suplai dari bahan bakar gas. Mode gas akan digunakan selama kapal

beroperasi dilaut dengan engine *load* diatas 80%. Skenario sistem penggerak kapal ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Penggerak Kapal

M. Desain Rencana Garis

Setelah didapatkan ukuran kapal yang optimum dan memenuhi persyaratan teknis, maka dilanjutkan dengan pembuatann desain rencana garis. Desain rencana garis yang dibuat harus memperhatikan kriteria teknis dari perhitungan teknis yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil rencana garis dapat dilihat pada Gambar 7.

N. Desain 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. Rencana umum ini dibuat dalam tiga pandangan yaitu tampak depan, smaping dan atas, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.

O. Desain model 3D

Pembuatan model 3 dimensi disesuaikan dengan ukuran utama kapal dan bentuk lambung pada desain rencana garis. Peralatan dan perlengkapan yang didesain juga disesuaikan dengan dengan gambar rencana umum yang telah dibuat. Desain model 3D dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. 3D Model Self-Propelled Barge

V. ANALISIS EKONOMIS

Analisis ekonomis yang dilakukan ialah perhitungan biaya pembangunan dan biaya operasional kapal. Selain itu juga dilakukan penentuan biaya penyewaan *self-propelled barge*, proyeksi arus kas, perhitungan indikator kelayakan investasi yang terdiri dari *break even point (BEP)*, *net present value*

(*NPV*), *profitability index (PI)*, *internal rate of return (IRR)*, dan *payback period (PP)* untuk tipe penyewaan *voyage charter* dan *time charter*. Kemudian dilakukan perbandingan dengan biaya sewa moda transportasi yang sudah ada.

Total biaya pembangunan *self-propelled barge* ini ialah sebesar Rp 18.515.754.470. Penentuan biaya penyewaan kapal dan perhitungan indikator kelayakan investasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Komponen Ekonomis

Komponen Ekonomis	Tipe Penyewaan	
	<i>Voyage Charter</i>	<i>Time Charter</i>
Harga Penyewaan	Rp 149.440.476 (per <i>voyage</i>)	Rp 800.000.000 (per bulan)
NPV	Rp 830.805.593	Rp 830.540.611
PI	1.04487	1.04486
IRR	11.75%	11.77%
PP	3.25 tahun	3.23 tahun
BEP rupiah	Rp 42.644.568.908	Rp 34.028.339.821
BEP	285 <i>voyage</i>	43 TC (bulanan)

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai $PV > 0$, $IRR > 9,95\%$ (suku bunga Bank Mandiri), $PI > 1$, sehingga dapat disimpulkan bahwa investasi dari pembangunan *self-propelled barge* ini layak untuk dilakukan. Dari analisis ekonomis yang dilakukan untuk kedua tipe penyewaan, dengan nilai NPV dan PI yang hampir sama, dapat dilihat bahwa laju pengembalian yang lebih besar terdapat pada tipe *time charter*.

Harga jasa penyewaan kapal *tugboat* dan *barge* yang memiliki ukuran yang mendekati *self-propelled barge* yang direncanakan yaitu sebesar Rp 715.000.000 per bulan untuk tipe *time charter* [17]. Dapat dikatakan bahwa harga penyewaan *self-propelled barge* ini lebih mahal dibandingkan penyewaan tongkang dan *tugboat* sejenis, hal ini dikarenakan biaya investasi kapal berbahan bakar LNG akan lebih tinggi daripada kapal yang hanya beroperasi dengan bahan bakar diesel. Biaya investasi ini dipengaruhi oleh biaya peralatan dan instalasi untuk *dual fuel system* pada kapal yang menggunakan *dual fuel engine* [5].

VI. KESIMPULAN

- Payload* dari *self-propelled barge* ini ialah sebesar 2400 ton. Dari analisis teknis didapatkan ukuran utama kapal sebagai berikut:
 - Length between perpendicular (LPP)* : 66,26 meter
 - Breadth (B)* : 16,02 meter
 - Height (H)* : 5,13 meter
 - Draft (T)* : 3,81 meter
- Self-propelled barge* ini memenuhi persyaratan teknis *trim*, *freeboard*, dan stabilitas.
- Total biaya pembangunan *self-propelled barge* ialah Rp 18.515.754.470. Harga penyewaan *self-propelled barge* ini untuk tipe *voyage charter* ialah sebesar Rp 149.440.476 per *voyage*, dan untuk tipe *time charter* ialah Rp 800.000.000 per bulan. Dari nilai indikator kelayakan investasi yang didapatkan, yaitu $NPV > 0$, $IRR >$ suku bunga, dan $PI > 1$, maka dapat disimpulkan bahwa investasi pembangunan *self-propelled barge* ini layak dilakukan.
- Desain Rencana Garis, Rencana Umum, dan 3D Model telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Index Mundi, "Palm oil Exports by Country in 1000 MT," *Index Mundi*, 2017. [Online]. Available: <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm-oil&graph=exports>. [Accessed: 14-Apr-2018].

[2] Pelabuhan Indonesia I, "Ekspor CPO Capai 6,5 Juta Ton Per Tahun," *Pelindo*, 2017. [Online]. Available: <https://www.pelindo1.co.id/id/publikasi/berita/Pages/Pelindo-I-Optimalisasi-Pelabuhan-CPO-Terbesar-di-Sumatera.asp>. [Accessed: 07-Apr-2018].

[3] S. J., "Kapal Dalam Negeri Belum Sepenuhnya Siap Angkut CPO," *GAPKI*, 2017. [Online]. Available: <https://gapki.id/news/4134/gapki-kapal-dalam-negeri-belum-sepenuhnya-siap-angkut-cpo>. [Accessed: 07-Apr-2018].

[4] C. Hartoto, "Ekspor CPO Wajib Gunakan Kapal Nasional," *Sawit Indonesia*, 2018. [Online]. Available: <https://sawitindonesia.com/rubrikasi-majalah/kinerja/ekspor-cpo-wajib-gunakan-kapal-nasional/>. [Accessed: 13-Apr-2018].

[5] International Maritime Organization, "Studies on The Feasibility and Use of LNG as a Fuel For Shipping," London, 2016.

[6] J. H. Evans, "Basic Design Concepts," *Nav. Eng. J.*, vol. 71, no. 4, pp. 671-678, 2009.

[7] M. S. Anam, "Desain Self-Propelled Barge Pengangkut Limbah Minyak di Kawasan Pelabuhan Indonesia III," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.

[8] R. N. Buana, H. A. Kurniawati, and A. N. Yulianto, "Desain Self-Propelled Barge Sebagai Fasilitas Pengangkut Block untuk Galangan Kapal dari Batam ke Singapura," *J. Tek.*, vol. 7, no. 2, 2018.

[9] Maritime and Port Authority of Singapore, "Terminals," Singapore, 2018.

[10] Pelabuhan Indonesia I, "Laporan Tahunan 2016 PT Pelabuhan Indonesia I," Indonesia, 2016.

[11] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTD), "Review of Maritime Transport 2017," New York & Geneva, 2017.

[12] International Maritime Organization, *International Convention on Load Line 1966*. London: IMO Publishing, 1966.

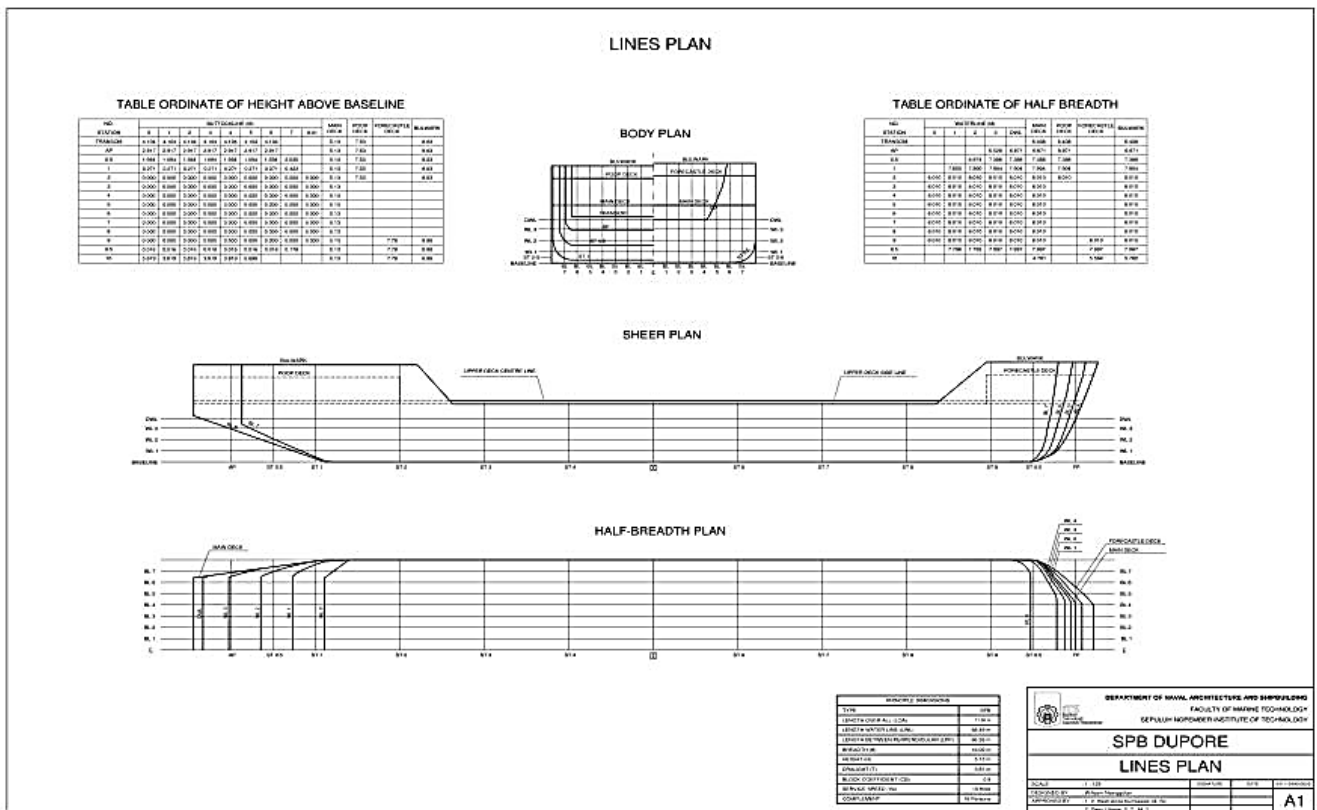
[13] International Maritime Organization, *International Convention for the Safety of Life at Sea*. London: IMO Publishing, 1974.

[14] International Maritime Organization, *Intact Stability (IS) Code*. London: IMO Publishing, 2008.

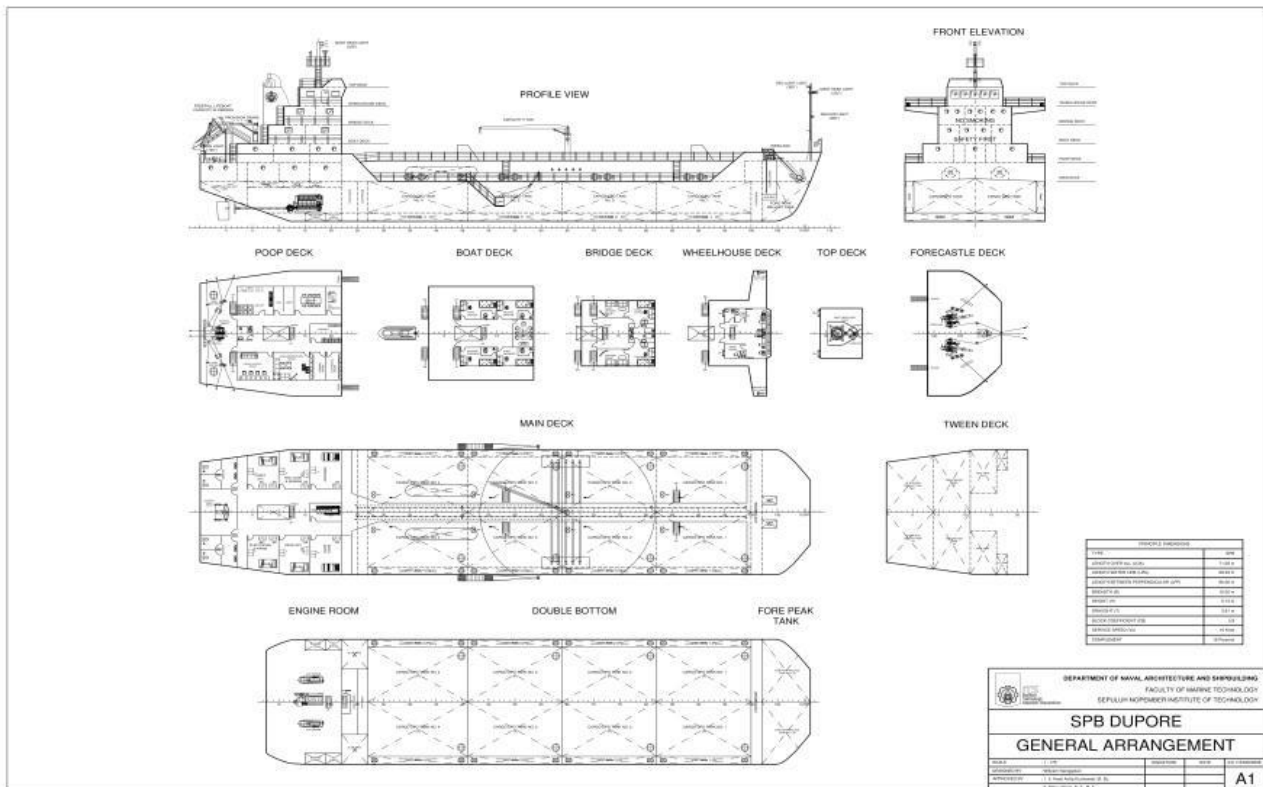
[15] J. Dvornik and S. Dvornik, "Dual-Fuel-Electric Propulsion Machinery Concept on LNG Carriers," *Transp. Marit. Sci.*, vol. 2, 2014.

[16] M. Rachow, S. Loest, and L. R. . Sitinjak, "Concept for a LNG Gas Handling System for a Dual Fuel Engine," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 1, no. 4, 2017.

[17] "Sewa Kapal Tongkang," *Sewa Kapal*, 2018. [Online]. Available: <http://www.sewakapal-jakarta.com/sewa-kapal-tongkang/>.



Gambar 7. Desain Rencana Garis



Gambar 8. Desain Rencana Umum