

Desain *Self-Propelled Crane Barge* untuk Menunjang Pembangunan Infrastruktur di Daerah Danau Toba, Sumatera Utara

Simon Peres Pakpahan dan Hesty Anita Kurniawati

Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

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

Abstrak—Danau Toba merupakan salah satu aset alam potensial yang dimiliki oleh bangsa Indonesia. Perkembangan kawasan tersebut didukung dengan adanya pengesahan Danau Toba sebagai salah satu Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) yang merupakan fokus pemerintah dalam pembangunan infrastruktur serta pengembangan pariwisata di Indonesia. Menurut kajian Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), salah satu masalah dalam melakukan pembangunan infrastruktur di Danau Toba adalah akses darat yang rusak dan sulit dilalui ke tiap daerah pinggiran Danau Toba. Maka, dalam penelitian ini akan dibahas transportasi berupa *Self-Propelled Crane Barge* (SPCB) yang mengangkut bahan bangunan serta kegiatan konstruksi melalui akses danau yang diharapkan mampu meningkatkan konektivitas, efektivitas, serta efisiensi pembangunan infrastruktur di Danau Toba. Kapal ini beroperasi ke seluruh *Key Tourism Area* (KTA) yang menjadi pusat pembangunan sesuai program KSPN Danau Toba. Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini meliputi pengumpulan data proyek pembangunan di Danau Toba melalui *website* Kementerian PUPR, menentukan *payload* kapal, menentukan daerah pelayaran, kemudian menghitung analisis teknis serta ekonomis kapal. Hasil dari desain SPCB ini adalah mendapatkan ukuran utama LOA : 68,7 m, LWL : 68,6 m, LPP : 66 m, B : 14 m, H: 4 m, T : 3 m. Kapasitas *payload* kapal adalah 1.425 ton dengan mengangkut 22 orang awak kapal serta *telescopic boom crane*. Kapal ini menggunakan dua mesin penggerak dengan daya 169 kW. Besar biaya pembangunan kapal adalah sebesar Rp 13.678.439.005,- dan investasi terhadap kapal ini layak dilakukan dengan *Net Present Value* Rp 17.098.077.350,- *Internal Rate of Return* 35 %, dan *Payback Periode* dalam 3 tahun.

Kata Kunci—Danau Toba, Konektivitas, Pembangunan Infrastruktur, *Self-Propelled Crane Barge*.

I. PENDAHULUAN

DANAU Toba merupakan danau kaldera terbesar di dunia yang terletak Provinsi Sumatera Utara. Danau Toba juga dikenal sebagai salah satu lokasi wisata danau di Indonesia yang memiliki keindahan dan kekayaan alam yang melimpah, adat masyarakat yang kental serta keunikan danau yang dikelilingi oleh pegunungan hijau. Pada tahun 2019 Danau Toba sendiri dinobatkan sebagai United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO) *Global Geopark* setelah dinilai dan diputuskan oleh UNESCO *Global Geopark Council*. Tiga potensi utama yang dapat dinilai dan dapat dikembangkan di Danau Toba ialah *geodiversity*, *biodiversity*, dan *culture diversity*. Penobatan tersebut memberikan kesempatan serta tanggung jawab bagi Indonesia untuk mendorong pengembangan perekonomian dan pembangunan berkelanjutan di kawasan sekitar Danau Toba.

Sebelum menjadi UNESCO *Global Geopark*, pada tahun 2016 kawasan Danau Toba ditetapkan sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) yang disandingkan dengan empat KSPN prioritas lainnya. Setelah menjadi KSPN, Danau Toba mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan tersebut dibantu dengan adanya alokasi dana yang dianggarkan oleh Kementerian PUPR sebesar 2,4 Triliun yang ditujukan untuk mendukung Danau Toba sebagai KSPN kelas internasional.

Namun, berdasarkan data dari Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah (BPIW), terdapat beberapa temuan permasalahan yang terjadi saat membentuk rancangan pengembangan Danau Toba, seperti kawasan Bakkara dengan kondisi desa yang kumuh dan tidak terawat serta pembangunan pemerintah di tanah ulayat tidak terawat dan tidak terencana atau akses ke beberapa kawasan di Danau Toba khususnya di daerah pesisir yang cukup sulit untuk dijangkau melalui jalur darat sehingga tidak terjadi pemerataan pembangunan [1].

Namun terdapat beberapa pembangunan infrastruktur yang direncanakan untuk dibangun di kawasan Danau Toba, seperti peningkatan/pembangunan atau pengelolaan prasarana persampahan yang berlokasi dekat dari badan perairan, sumber air serta pembangunan dan revitalisasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di berbagai kecamatan sekitaran Danau Toba serta pembangunan pedestrian di jalan-jalan utama dan revitalisasi bangunan di berbagai *Key Tourism Area* (KTA) Danau Toba [2]. Dalam menunjang pembangunan infrastruktur dan konektivitas tiap daerah tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan desain *Self-Propelled Crane Barge* yang dapat mengangkut bahan bangunan dan barang lain yang dapat membantu distribusi secara merata serta membantu kegiatan pembangunan konstruksi bangunan di pesisir melalui akses danau untuk pembangunan tiap daerah di sekitar Danau Toba.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Danau Toba

Danau Toba adalah danau kaldera terbesar di dunia yang terletak di Provinsi Sumatera Utara dengan panjang 87 km dan lebar 27 km di ketinggian 905 mdpl. Danau Toba terkenal sebagai danau yang mengelilingi Pulau Samosir dan dikelilingi oleh pegunungan tinggi dimana memiliki iklim yang cukup dingin (Gambar 1). Keuntungan secara geografis tersebut menyebabkan Danau Toba memiliki penatapan pegunungan yang menawan dan jenis flora yang beraneka ragam serta itu terdapat keberagaman budaya. Berdasarkan hal tersebut, Danau Toba dinobatkan sebagai UNESCO



Gambar 1. Kawasan Danau Toba.

Global Geopark (UGG) pada tahun 2020. Selain itu, Danau Toba juga dinobatkan sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) sehingga perkembangan sehingga perkembangan daerah tersebut meningkat secara pesat.

B. Barge

Barge atau yang umum disebut tongkang atau *pontoon* merupakan salah satu jenis kapal yang memiliki desain lambung datar. *Barge* umumnya digunakan untuk mengangkut muatan dan ditarik dengan menggunakan kapal tunda. *Barge* umumnya tidak memiliki sistem pendorong (propulsi) seperti kapal pada umumnya. Pembuatan kapal tongkang juga berbeda karena hanya pembuatan konstruksi saja tanpa sistem operasional seperti kapal pada umumnya. *Barge* sendiri umum digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar seperti kayu, batubara, pasir dan lain-lain. Berdasarkan fungsinya, *barge* dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. *Accommodation Barge*
2. *Self-Propelled Barge*
3. *Crane Barge*

C. Cargo Handling

Cargo Handling adalah kegiatan pelayanan terhadap muatan/barang (keluar dan masuk) melalui kapal, meliputi *loading/unloading*, pemindahan dari kapal ketempat penyimpanan (gudang *cargo*), menyusun dan menyimpan barang tersebut. Terdapat beberapa jenis *cargo handling* yang dipakai pada bidang perkapalan, yaitu:

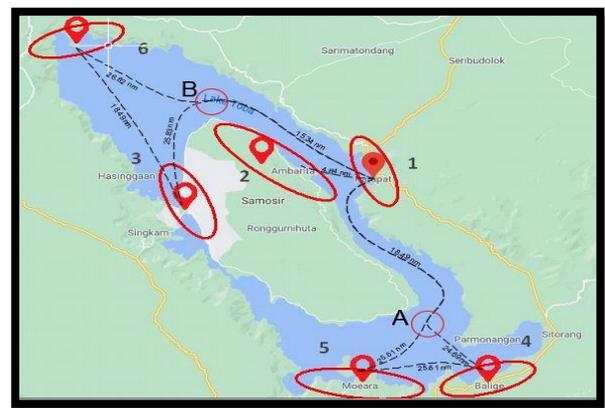
1. *Derricks*
2. *Crane*

D. Bahan Bangunan

Bahan bangunan merupakan setiap bahan yang digunakan untuk tujuan konstruksi. Selain dari bahan alami, banyak produk buatan yang digunakan dan beberapa lagi kurang sintetik. Industri pembuatan bahan bangunan didirikan di banyak negara dan penggunaan bahan-bahan tersebut biasanya dibagi ke dalam perdagangan khusus tertentu, seperti pertukangan, pipa, atap dan pekerjaan isolasi. Beberapa jenis bahan bangunan yang sering digunakan dalam melakukan pembangunan sipil yaitu: batu bata, lumpur, batu kali, paving, tanah liat, jerami, kayu, semen, baja, kaca dan pipa.

E. Analisis Ekonomis

Analisis ekonomis suatu kapal dilakukan dengan meninjau adanya skema *revenue* atau pendapatan dengan skema *cost* atau biaya pengeluaran. Dalam melakukan perhitungan analisis ekonomis suatu kapal, terdapat tiga poin utama yang



Gambar 2. Operational scheme.



Gambar 3. Skema penentuan *payload*.

harus dihitung dalam melakukan analisis tersebut, yaitu biaya pembangunan kapal, biaya operasional kapal, serta skema penyewaan kapal. Pembangunan suatu kapal dikatakan layak apabila dapat memenuhi kriteria kelayakan investasi yaitu *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Payback Periode* pada saat *Break Even Point (BEP)* [3].

III. METODOLOGI

A. Identifikasi Masalah

Tahap pertama dalam pembuatan penelitian adalah menemukan masalah yang ingin diselesaikan berdasarkan informasi yang terdapat pada jurnal maupun berita mengenai masalah kurangnya konektivitas khususnya akses jalan di Danau Toba yang menghambat percepatan dan pemerataan pembangunan Danau Toba sebagai salah satu KSPN.

B. Studi Literatur

Tahap berikutnya adalah studi literatur dan pengumpulan data mengenai informasi yang berkaitan dengan pembuatan desain *crane barge* sesuai dengan *payload* dan *operational scheme*. Data lain selain teori desain kapal yang diambil adalah data jenis muatan yang dibutuhkan untuk pembangunan daerah Danau Toba dan jenis *ship crane* yang dipilih untuk diinstalasikan pada *crane barge*.

C. Penentuan Operational Scheme

Pada tahap ini ditentukan lokasi dan *operational scheme* dari *Self-Propelled Crane Barge* yang disesuaikan terhadap pelabuhan-pelabuhan serta *Key Tourism Area (KTA)* yang ada di Danau Toba.

D. Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan dari data-data diperoleh, yaitu:

1. Penentuan *payload* dan *owner requirement*
2. Penentuan ukuran utama kapal

Tabel 1.
Jarak dan estimasi waktu operasional SPCB

Pelabuhan Awal	Pelabuhan Tujuan	Jarak (Nm)	Jarak (Km)	Waktu (Jam)
	Simanindo (Tomok)	4,65	8,61	0,58
	Pangururan	25,83	47,84	3,23
	Balige	24,7	45,74	3,09
Parapat	A	18,5	34,26	2,31
	Muara (Bakti Raja)	25,62	47,44	3,2
	B	15,34	28,41	1,92
	Merek	26,83	49,68	3,35
Balige	Muara (Bakti Raja)	9,53	17,65	1,19
Pangururan	Merek	17,68	32,75	2,21

3. Perhitungan aspek teknis desain kapal, seperti:

- Rasio-rasio dari ukuran utama
- Koefisien utama kapal
- Perhitungan hambatan
- Perhitungan mesin kapal
- Perhitungan perlengkapan kapal
- Penentuan jenis *cargo handling* yang akan dipakai
- Perhitungan komponen-komponen DWT dan LWT beserta titik beratnya
- Pemeriksaan *freeboard*
- Pemeriksaian stabilitas
- Pemeriksaan *trim*

E. Tahapan Perancangan

Pada tahap ini dilakukan desain *outline* bentuk badan kapal atau *Lines Plan*. Setelah mendapatkan *Lines Plan*, *outline*-nya digunakan untuk mengerjakan desain *General Arrangement* dengan menggunakan serta membuat desain model 3D *Self-Propelled Crane Barge*.

F. Tahapan Perhitungan Analisis Ekonomis Kapal

Pada tahap ini dilakukan analisis ekonomis dari *Self-Propelled Crane Barge* berupa biaya *ship building cost*, estimasi kelayakan investasi *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan estimasi *Break Even Point (BEP)*.

G. Tahapan Kesimpulan dan Saran

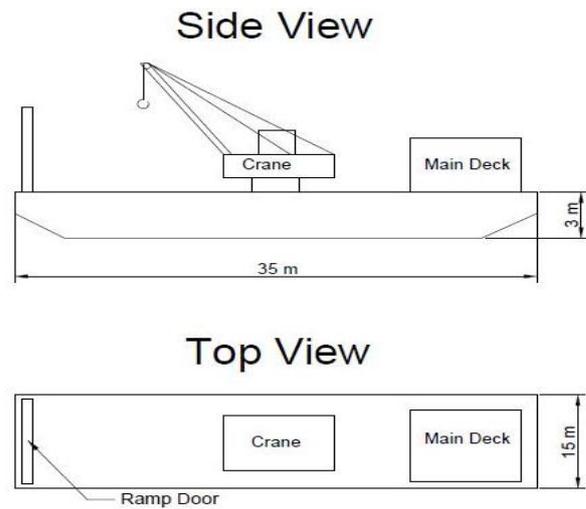
Pada tahap ini dirangkum hasil analisis dan evaluasi yang didapat serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut. Setelah setiap tahapan pengerjaan analisis dan perhitungan dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran. Kesimpulan berupa koreksi standar dan ukuran utama kapal. Saran digunakan untuk memperbaiki beberapa hal yang belum dan sudah tercakup dalam proses desain.

IV. ANALISIS TEKNIS

A. Operational Scheme

Berdasarkan data dari PUPR, pengembangan daerah Danau Toba saat ini diputuskan pada daerah yang disebut sebagai *Key Tourism Area (KTA)* yang dibagi menjadi empat KTA khusus dan dua KTA tambahan yaitu KTA Parapat, Simanindo, Pangururan, dan Balige sebagai KTA khusus serta Muara dan Merek sebagai KTA tambahan.

Gambar adalah lokasi pelayaran *Self-Propelled Crane Barge (SPCB)*. *Home base* berlokasi di Kelurahan Parapat, Kecamatan Girsang Sipangan Bolon. SPCB berlayar ke tiap pelabuhan untuk mendistribusikan bahan-bahan bangunan serta alat berat untuk pembangunan setiap daerah di Danau Toba khususnya ke KTA. Selain itu, terdapat rencana



Gambar 4. Layout awal SPCB.

pembangunan pelabuhan-pelabuhan baru yang ada di Danau Toba yang memungkinkan daerah pelayaran bisa makin tersebar. SPCB direncanakan beroperasi dengan kecepatan delapan knot. Jarak serta estimasi waktu operasional kapal pada saat berlayar dapat dilihat pada Tabel .

B. Penentuan Payload

Penentuan *payload* pada SPCB ini didapat berdasarkan data proyek pembangunan yang akan di bangun di kawasan Danau Toba dan kalkulasi perhitungan berat bahan bangunan untuk menunjang proyek-proyek tersebut serta berat *crane* yang akan diangkut oleh SPCB. Data pembangunan tersebut bersumber dari Kementerian PUPR.

Namun data pembangunan yang didapatkan hanya menyajikan jenis, luas proyek serta biaya pembangunannya saja sehingga diperlukan adanya perhitungan data bahan bangunan dengan dilakukan asumsi penyamaan jenis bahan bangunan proyek yang sudah memiliki Rancangan Anggaran Belanja (RAB) sendiri dengan proyek yang akan dibangun di Danau Toba. Selanjutnya data tersebut diolah kembali untuk mendapatkan *payload*. Skema penentuan *payload* dapat dilihat pada Gambar .

Dengan minimnya data pembangunan yang disediakan oleh Kementerian PUPR, maka diperlukan data RAB yang sejenis dengan proyek yang akan dibangun di Danau Toba. Salah satu contoh RAB sejenis adalah pekerjaan pedestrian yang pada pembangunan kawasan hijau taman sehat Hamalau yang dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

Berdasarkan data, luas pedestrian yang dibangun adalah 265 m². Kemudian dengan data berat dan luas pembangunan tersebut, maka dihitung suatu koefisien yang menunjukkan berat bahan bangunan pekerjaan/meter² dengan nilai sebesar 0,65 ton/m². Koefisien tersebut kemudian dikalikan dengan volume pembangunan proyek sejenis yang ada di tiap KTA di Danau Toba sehingga didapatkan berat bahan bangunan tiap proyek tersebut. Contoh RAB proyek lain kemudian diolah dan dikalikan dengan tiap proyek sejenis yang ada di tiap KTA sehingga didapatkan berat bahan bangunan di proyek-proyek di tiap KTA tersebut.

Berdasarkan pengolahan data proyek tersebut, maka ditentukan *payload* yang akan diangkut oleh SPCB dengan asumsi pada suatu proyek dilakukan empat kali pengiriman seluruh bahan bangunan. Rekapitulasi berat bahan bangunan

Tabel 2.
RAB pedestrian kawasan hijau taman sehat Hamalau

Bahan bangunan	Luas (m ²)	Tebal (m ²)	Volume (m ³)	Massa (m ³)	Berat	
					Kg	ton
Keramik 40 x 40	224	0,01	2,24	6000	13440	13,4
Ampyangan	370	0,02	7,4	1450	10730	10,7
Paving Kanstin	529	0,018	9,52	4263	40592,29	40,5
Paving bata abu-abu	765,7	0,05	38,2	1700	65088,75	65,1
Paving bata merah	265,1	0,05	13,2	2200	29155,5	29,1
<i>Paving guiding block</i>	201	0,03	6,03	1851,9	11166,96	11,1
Batu refleksi	42	0,01	0,42	1500	630	0,63
Batu Sumbawa hitam	54	0,01	0,54	1500	810	0,81
				Total	171613,6	171

tiap KTA dapat dilihat pada Tabel .

Pemilihan *payload* dilakukan dengan membuat adanya dua skenario pengiriman.

1. Skenario pertama adalah pengiriman bahan bangunan secara keseluruhan langsung ke satu KTA dengan berat sekali pengiriman sebesar 5.619 ton.
2. Skenario dua adalah pengiriman bahan bangunan ke setiap proyek di tiap KTA satu persatu dengan berat sekali pengiriman sebesar 1.424 ton.

Maka dengan mempertimbangkan utilitas pemakaian kapal, skenario yang dipilih adalah skenario dua dengan berat sekali pengiriman adalah 1.424 ton karena kapal dapat digunakan berkali-kali dan tidak terlalu lama berlabuh atau tidak beroperasi dengan tingkat utilitas sebesar 4-5 kali pengiriman/minggu.

C. Ukuran Utama Awal

Dalam proses pembuatan layout awal, pertimbangan yang dilakukan adalah mengetahui ukuran utama kapal-kapal yang ada di Danau Toba untuk menjadi acuan. Salah satunya adalah kapal ihan batak dengan panjang 39 meter, lebar 11 meter, dan kecepatan 10 knot. Ukuran utama awal dari kapal SPCB adalah: Lpp = 35 m, B = 15 m, dan H = 3 m.

Layout awal SPCB dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

D. Penentuan Ukuran Utama

Metode *Parent Ship Design Geosims Approach* digunakan dalam menentukan ukuran utama kapal dan didapatkan melalui data perhitungan *payload*. *Payload* yang telah ditentukan kemudian dibandingkan dengan kapal sejenis yang sudah ada. Berdasarkan hal tersebut, maka didapatkan nilai untuk ukuran utama kapal yaitu: Lpp = 66 m, B = 14 m, H = 4 m, T = 3 m, dan Vs = 8 knot. Ukuran utama yang telah didapatkan kemudian dilakukan pemeriksaan rasio berdasarkan perbandingan-perbandingan pada ukuran kapal seperti yang dapat dilihat pada Tabel .

E. Perhitungan Hambatan Kapal

Penentuan hambatan kapal digunakan sebagai acuan dalam menentukan pemilihan mesin merupakan aspek penting dalam pemilihan mesin penggerak utama kapal. Dalam menghitung hambatan kapal, hal pertama yang harus diketahui adalah kecepatan dinas kapal, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan besar hambatan kapal. Perhitungan hambatan dilakukan dengan menggunakan metode Holtrop [4] dengan hasil hambatan total ditambah dengan *sea margin-nya* adalah 40,89 kilo Newton (kN).

F. Kebutuhan Daya Mesin Penggerak Kapal

Data hambatan yang telah didapat kemudian diolah untuk mendapatkan daya mesin utama. Daya yang didapatkan berdasarkan perhitungan adalah sebesar 312 kilo Watt (kW), namun karena kapal SPCB menggunakan sistem propulsi *twin screw*, maka daya yang diwajibkan bagi masing-masing mesin adalah 158 kW. Mesin induk yang dipilih harus mempunyai atau melebihi daya dorong yang lebih dari daya minimum tersebut. Maka mesin induk yang dipilih adalah mesin dengan merk Yanmar 6CH-WDTE berdaya 169 kW dan berat 0,9 ton serta *auxiliary engine* dengan asumsi daya 24% dari daya mesin induk dengan pemilihan merk Yanmar 6CHE 3 (M) dengan daya 84 kW dan berat 1,38 ton.

G. Penentuan Crane

Crane yang digunakan pada kapal SPCB adalah *crane* khusus untuk kegiatan di atas air atau yang disebut sebagai *marine crane*. Terdapat beberapa jenis *marine crane* yang biasanya dipakai untuk kapal pengangkut barang diantaranya adalah *knuckle boom crane* dan *telescopic boom crane*. Pemilihan jenis *marine crane* dilakukan dengan pertimbangan yang dapat dilihat pada Tabel .

Maka dengan mempertimbangkan adanya sistem ideal dalam mengangkut material dibawa *ground level* dan jangkauannya maka jenis *crane* yang digunakan adalah *telescopic boom crane*. Setelah melakukan perhitungan teknis seperti, SWL minimal untuk mengangkut tiang pancang sebagai bahan kegiatan konstruksi dengan berat 1 ton/10 meter serta dengan mempertimbangkan adanya jarak pusat *crane* terhadap sisi terluar kapal (setengah lebar kapal SPCB dengan lebar kapal 14 meter) yaitu 7 meter ditambah asumsi kegiatan konstruksi revitalisasi adalah minimal 7 meter, maka jarak *outrreach* minimal *crane* adalah 14 m.

Maka *crane* yang digunakan adalah *crane* MORDEC Deck Mach. Tipe HPC 10-26 dengan SWL 10 ton dan *outrreach* 26 meter sehingga dapat menjangkau kegiatan revitalisasi Pelabuhan Ajibata dan Tigaraja. Selain untuk kegiatan konstruksi, *crane* juga digunakan untuk kegiatan bongkar muat yang dibantu dengan tambahan *crane* dengan Tipe HPC-15-12 dengan SWL 15 ton dan *outrreach* 12 m.

H. Perhitungan Berat Kapal

Perhitungan-perhitungan batasan teknis seperti *trim*, stabilitas, perhitungan kekuatan memanjang, dan yang lainnya dipengaruhi oleh perencanaan berat dan titik berat kapal. Perhitungan berat pada kapal dapat dibagi menjadi dua

Tabel 3.

Rekapitulasi data berat bahan bangunan tiap KTA

Key Tourism Area (KTA)	Total berat (ton)	Berat maksimal (Ton)	Berat rata-rata (Ton)
KTA Parapat	5585,60	971,40	465,47
KTA Simanindo	4986,51	1424,72	997,30
KTA Pangururan	5619,56	1295,20	561,96
KTA Balige	3576,36	971,40	596,06
Berat Maksimal	5619,56	1424,72	

Tabel 4.

Pemeriksaan rasio ukuran utama kapal

Length to Breadth					
L_{pp} / B	3.5 <	4,71	< 10	Accepted	
Length to Draught					PNA Vol. I, pg. 19, by SNAME and editor Edward V. Lewis
L_{pp} / T	10 <	22,0	< 30	Accepted	
Breadth to Draught					
B / T	1.8 <	4,67	< 5	Accepted	
Draught to Depth					
T / H	0.7 <	0,75	< 0.8	Accepted	

Tabel 5.

Perbandingan jenis marine crane

Crane	Kelebihan	Kekurangan
Knuckle Crane	Ukuran lebih kecil	Jangkauan kurang luas
	Berat crane lebih ringan Daya angkut lebih besar Dipakai di mobil Dapat dilipat	
	Berat crane lebih besar Dapat memanjang	Ukuran Besar Tidak dapat dilipat
Telescopic Crane	Jangkauan lebih luas Daya angkut besar (tergantung katalog) Sistemnya ideal untuk untuk mengangkut material di bawah ground level	

komponen besar yaitu *lightweight tonnage* (LWT) dan *deadweight tonnage* (DWT). Pada kapal SPCB, komponen LWT adalah berat lambung kapal, *deckhouse*, berat perlengkapan kapal, *crane* dan instalasi permesinan. Sedangkan DWT kapal adalah *payload*, bahan bakar meishn, kebutuhan kru, dan air bersih. Rekapitulasi berat dan titik berat kapal dapat dilihat pada Tabel .

Lalu setelah perhitungan berat selesai maka akan dilakukan proses pengecekan selisih antara *displacement* dengan $LWT+DWT$, *margin* yang diperbolehkan berkisar antara 0-7,5% [5]. Nilai *displacement* pada SPCB yaitu sebesar 2409 ton dan total berat $LWT+DWT$ yaitu sebesar 2373,23 ton. Jadi, selisih antara *displacement* dan $LWT+DWT$ sebesar 36 ton atau 1,49%, dimana hasil tersebut berada di dalam batasan *margin* yang diizinkan.

I. Perhitungan Freeboard

Freeboard merupakan lambung timbul yang berfungsi sebagai daya apung cadangan pada saat kapal beroperasi. Perhitungan *freeboard* mengacu pada *Load Lines 1966 and Protocol of 1988 Reg.III-(28-32)* [6]. Hasil dari perhitungan *freeboard* adalah tipe kapal merupakan tipe B dengan nilai minimum *freeboard* sebesar 646,58 mm dan *actual freeboard*

Tabel 6.

Rekapitulasi perhitungan berat dan titik berat.

No.	Item	W (ton)	LCG (m)	VCG (m)
Komponen LWT				
1	Lambung (Hull) kapal	567,95	29,739	2,143
2	Equipment & Outfitting	277,2	17,887	5,25
3	Permesinan kapal	17	7,85	0,968
4	Crane	32,22	35,82	6,381
Komponen DWT				
1	Consumables	45,82	5,976	2,27
2	Payload	1433	33,844	1,57
Total		2373,23	30,3	2,21

Tabel 7.

Load cases pada SPCB

Load Case	Payload	Consumables
I		100%
II	100%	50%
III		10%
IV		100%
V	50%	50%
VI		10%
VII		100%
VIII	10%	50%
IX		10%

sebesar 1000 mm. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *actual freeboard* lebih besar daripada *freeboard standard* ditambah koreksi, sehingga *freeboard* memenuhi.

J. Perhitungan Stabilitas dan Trim

Stabilitas merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Stabilitas terdiri dari beberapa komponen, yaitu GZ, KG dan GM. Hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu faktor internal seperti perbedaan kondisi peletakan barang (*loadcase*) dan bentuk kapal serta eksternal seperti ombak maupun angin.

Kapal SPCB memiliki sembilan variasi *loadcase* yang dapat dilihat pada Tabel . Analisis stabilitas kapal ini dilakukan dengan mengacu pada *Intact Stability (IS) Code Reg. III/1 (IMO, 1974)* dan analisis *trim* yang mengacu pada *SOLAS Reg. II/7*. Kemudian, analisis stabilitas dan *trim* terhadap sembilan *loadcase* dengan menggunakan *software* penghitung stabilitas dan didapatkan hasil seperti pada Tabel dan

Tabel .

K. Ukuran Utama Akhir

Setelah dilakukan analisa perhitungan teknis dan sesuai dengan standar yang diizinkan, maka didapatkan ukuran utama akhir dengan masing-masingnya sebesar:

- Loa = 68,7 m
- Lwl = 68,6 m
- Lpp = 66 m
- Vs = 8 knot
- B = 14 m
- H = 4 m
- T = 3 m

L. Pembuatan Lines Plan

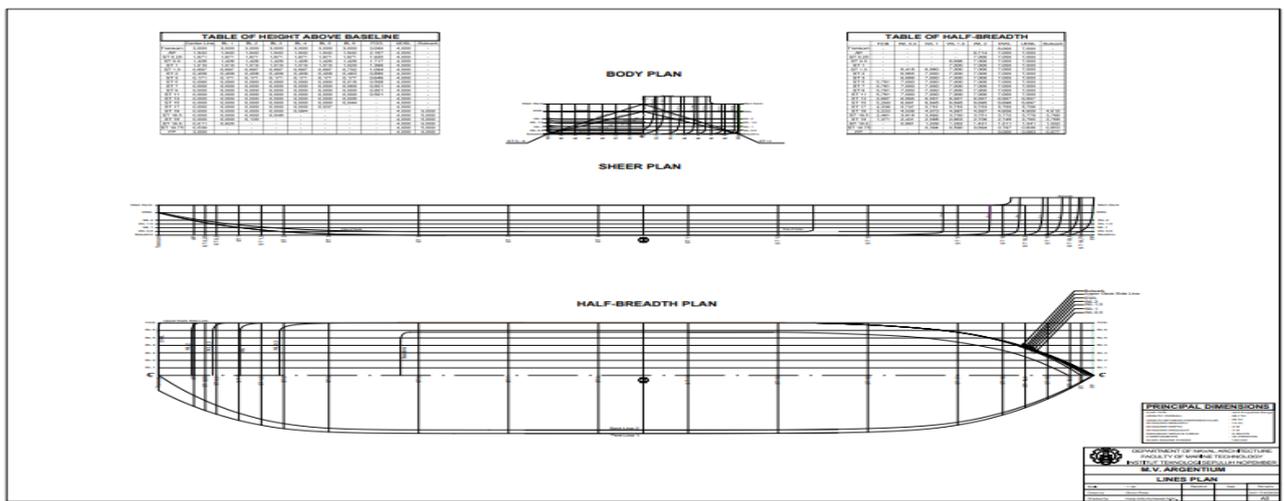
Lines Plan adalah gambar proyeksi badan kapal yang dipotong secara melintang, vetikal memanjang dan secara

Tabel 8.
Rekapitulasi stabilitas loadcase I - V

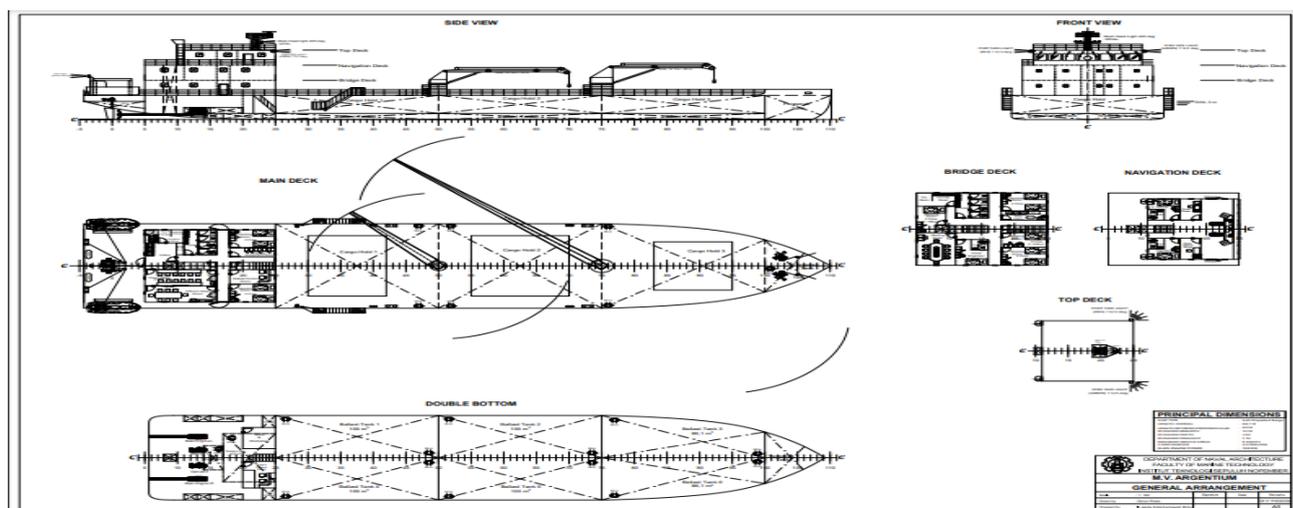
Kriteria	Nilai Kriteria	Load Cases					Satuan	Status
		I	II	III	IV	V		
Area 0° to 30°	≥ 3.15	30,3	30,5	30,6	47,46	47,59	m.deg	Pass
Area 0° to 40°	≥ 5.15	44,2	44,4	44,6	70,08	70,28	m.deg	Pass
Area 30° to 40°	≥ 1.71	13,8	13,9	14,0	22,62	22,68	m.deg	Pass
Max GZ at 30° or greater	≥ 0.2	1,43	1,43	1,44	2,36	2,37	m	Pass
Angle of max GZ	≥ 25	28,2	28,2	28,2	26,4	26,4	deg	Pass
Initial GMt	≥ 0.15	5,17	5,18	5,18	6,94	6,96	m	Pass
Trim	< 0,33	30,3	30,5	30,6	47,46	47,59	m	Pass

Tabel 9.
Rekapitulasi stabilitas loadcase VI - IX

Kriteria	Nilai Kriteria	Load Cases				Satuan	Status
		VI	VII	VIII	IX		
Area 0° to 30°	≥ 3.15	47,69	62,32	62,46	62,57	m.deg	Pass
Area 0° to 40°	≥ 5.15	70,43	89,8	89,99	90,13	m.deg	Pass
Area 30° to 40°	≥ 1.71	22,73	27,48	27,53	27,56	m.deg	Pass
Max GZ at 30° or greater	≥ 0.2	2,376	2,89	2,9	2,9	m	Pass
Angle of max GZ	≥ 25	26,4	25,5	25,5	25,5	deg	Pass
Initial GMt	≥ 0.15	6,96	10,5	10,54	10,53	m	Pass
Trim	< 0,33	47,69	62,32	62,46	62,57	m	Pass



Gambar 5. General arrangement SPCB.

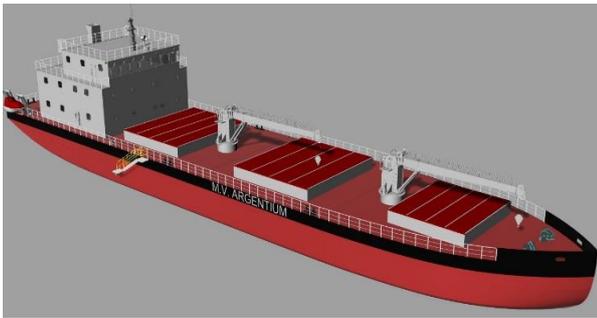


Gambar 6. Lines plan SPCB.

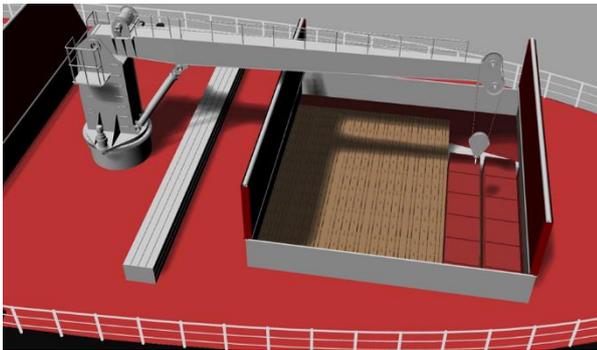
memanjang. Software pembuatan model kapal digunakan untuk pembuatan Lines Plan. Pembuatan model dilakukan dari pembentukan badan kapal sesuai dengan ukuran utama yang telah dihitung. Hasil penggambaran Lines Plan dapat dilihat pada Gambar .

M. Pembuatan General Arrangement

General Arrangement dibuat berdasarkan pertimbangan letak kebutuhan tangki yang telah dihitung, kapasitas payload yang telah dihitung, lokasi kru kapal serta ukuran utama yang



Gambar 7. Tampak samping model 3D SPCB.



Gambar 8. Tampak ruang muat model 3D SPCB.



Gambar 9. Tampak atas model 3D SPCB.

telah didapat. Hasil rencana umum dapat dilihat pada Gambar .

N. Pembuatan Model 3D

Setelah dilakukan pemodelan dari *General Arrangement*, desain model 3D dari kapal berdasarkan hasil *General Arrangement* tersebut. Model 3D dapat dilihat pada Gambar - Gambar .

O. Analisis Ekonomis

Analisis ekonomis pada SPCB dilakukan dalam jangka waktu dua puluh tahun dimana menjadi masa sebuah kapal untuk di *scrap*. Analisis ekonomis terdiri dari *building cost* sebesar Rp 13.678.439.005,- *operating cost* sebesar Rp 7.954.950.196,-/tahun, tarif sekali penyewaan kapal sebesar Rp 50.000.000,- dan estimasi jumlah penyewaan 360 pengiriman/tahun. Uji kelayakan investasi kapal dibagi menjadi *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp 17.098.077.350,-, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 16

%, *discount rate* sebesar 35%, dan *payback periode* dalam jangka waktu tiga tahun. Karena NPV lebih besar dari nol, dan IRR lebih besar dibandingkan dengan *discount rate* maka dapat ditarik kesimpulan bahwa bisnis kapal ini layak untuk diinvestasikan.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini diantaranya; (1) *Payload* dari *Self-Propelled Crane Barge* adalah bahan-bahan bangunan yang digunakan untuk membangun proyek-proyek pembangunan yang ada di Danau Toba khususnya di *Key Tourism Area* dengan kapasitas sebesar 1.424 ton serta *crane* yang digunakan untuk melakukan kegiatan konstruksi pada bagian pesisir danau dengan pelabuhan utama tempat kapal berlabuh yaitu Pelabuhan Ajibata, Parapat. (2) Jenis *crane* yang dipakai oleh kapal SPCB adalah *telescopic boom crane* yang dipakai sebagai *cargo handling* dan pembangunan konstruksi adalah MORDEC Deck Mach. Tipe HPC 15-12 dengan SWL 15 ton dan *outrreach* 12 meter dan HPC 10-26 dengan SWL 10 ton dan *outrreach* 26 meter sehingga dapat menjangkau kegiatan revitalisasi Pelabuhan Ajibata dan Tigaraja. (3) Ukuran utama akhir yang diperoleh untuk *Self-Propelled Crane Barge* yaitu *length overall* (68,7 m), *length between perpendicular* (66 m), *breadth* (14 m), *height* (4 m), *draught* (3 m), *speed* (8 knot). (4) Berdasarkan hasil analisis teknis kapal, dapat diketahui bahwa *freeboard* dari kapal adalah 1 m, dimana nilai tersebut lebih besar dari syarat *freeboard* yaitu 0,646 m sehingga kondisi *freeboard* dapat diterima. *Trim* yang dialami oleh kapal ialah 0,154 m, dimana nilai tersebut lebih kecil dari syarat *trim* yaitu 0,33 m sehingga kondisi *trim* dapat diterima. Kondisi stabilitas telah memenuhi kriteria *Intact Stability* (IS) Code Reg. III/3.1. (5) Desain dari Rencana Garis (*Lines Plan*), Rencana Umum (*General Arrangement*), dan model 3D. (6) Berdasarkan perhitungan analisis ekonomis, pembangunan *Self-Propelled Crane Barge* untuk menunjang pembangunan infrastruktur di Danau Toba layak dibangun dengan NPV sebesar Rp. 17.098.077.350,-, IRR sebesar 35% dan *Payback periode* dalam waktu 3 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BKLM, *Final Report: Integrated Tourism Master Plan (Lake Toba)*, 1st ed. Jakarta: Sekretariat Redaksi Biro Komunikasi dan Layanan Masyarakat, 2020.
- [2] BPIW, *Rencana Induk Destinasi Pariwisata Prioritas Danau Toba*, 1st ed. Jakarta: Badan Infrastruktur Pengembangan Wilayah, 2020.
- [3] G. Arnold, *The Handbook of Corporate Finance*, 1st ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2005.
- [4] E. V Lewis and others, "Principles of naval architecture volume II resistance, propulsion and vibration," *Soc. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 327, 1988.
- [5] S. Skoupas, G. Zaraphonitis, and A. Papanikolaou, "Parametric design and optimisation of high-speed ro-ro passenger ships," *Ocean Eng.*, vol. 189, p. 106346, 2019.
- [6] IMO, *International Convention in Load Lines 1966 and Protocol of 1988*, 1st ed. London: Lloyd's Register, 1999.