



2580-2798 (e)
2588-6225 (p)

Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis (Bengkalis State Polytechnic Technology Innovation Journal)

journal homepage: <https://jurnal.polbeng.ac.id/index.php/IP/index>

ANALISA STABILITAS KAPAL PENGANGKUT AMONIA

Ragil Satriawan¹⁾, Luh Putri Adnyani¹⁾, Anggoronadhi Dianiswara¹⁾

¹⁾Teknik Kelautan, Institut Teknologi Kalimantan, Kampus ITK Karang Joang, Balikpapan Utara, Kalimantan Timur, 76127

Corresponding Author: luhputria@lecturer.itk.ac.id

Article Info

Abstract

Keywords:

Lines plan, General Arrangement, stabilitas kapal, ammonia.

Article history:

Received: 24/01/2025
Last revised: 21/05/2025
Accepted: 10/10/2025
Available online: 13/11/2025
Published: 28/11/2025

DOI: <https://10.35314/k4xfgg20>

Abstrak

Konversi kapal *Landing Craft Tank* (LCT) menjadi kapal pengangkut amonia merupakan upaya inovatif untuk mendukung industri maritim berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan teknis konversi LCT menjadi kapal pengangkut amonia dengan pendekatan *parent design*. Kajian difokuskan pada tiga aspek utama: *lines plan*, *general arrangement*, dan analisis stabilitas (*intact stability*) menggunakan Maxsurf Stability Student Version 2024. Simulasi dilakukan untuk tiga kondisi pemuatan (100%, 50%, dan 10%) dengan memperhitungkan perubahan parameter hidrostatik (KB, KG, BM, GM). Hasil menunjukkan seluruh kondisi memenuhi kriteria IMO Intact Stability Code 2008 (MSC.267(85)), dengan nilai GMt terkoreksi berkisar antara 2.36 – 2.81 m dan maksimum GZ pada 0.49 – 0.83 m. Kesimpulan pada penelitian ini adalah stabilitas untuk ketiga kondisi pembebanan yang ditunjukkan dengan nilai area 0 sampai 30 deg, area 0 sampai 40 deg, area 30 sampai 40 deg, dan nilai maximum GZ sudah memenuhi kriteria IMO dimana kriteria aman nya adalah ≥ 3.151 m.deg, ≥ 5.1566 m.deg, ≥ 1.718 m.deg dan ≥ 0.200 m untuk masing-masing kriteria. Pada area 0 sampai 30 deg, loadcase 100% memiliki nilai 10.992 m.deg, loadcase 50% sebesar 14.487 m.deg, loadcase 10% sebesar 17.136 m.deg. Pada area 0 sampai 40 deg, loadcase 100% memiliki nilai 15.566 m.deg, loadcase 50% memiliki nilai 20.878 m.deg, loadcase 10% memiliki nilai 25.019 m.deg. Pada luasan area 30 sampai 40 deg, loadcase 100% memiliki nilai 4.573 m.deg, loadcase 50% memiliki nilai 6.391 m.deg, pada loadcase 10% memiliki nilai 7.883 m.deg. Pada nilai maximum GZ, loadcase 100% memiliki nilai 0.492 m, loadcase 50% mendapatkan nilai sebesar 0.677 m, pada loadcase 10% mendapatkan nilai 0.829 m. Dari 4 parameter yang dibandingkan, stabilitas kapal 2-3 kali dari batas aman IMO. Muatan amonia yang dimasukkan kedalam tabung dengan kerangka pengaman di setiap tabung, jumlah total tabung yang diangkut adalah 176 buah dengan total berat muatan 32 ton. Perbedaan kecenderungan stabilitas disebabkan oleh variasi distribusi berat dimana tangki ammonia dan tangka ballast diletakkan di atas deck. Penelitian ini dibatasi pada kondisi *intact stability*, tanpa mempertimbangkan *damage stability* dan pengaruh gelombang. Studi lanjutan disarankan untuk mengoptimalkan tata letak tabung amonia dan mengevaluasi stabilitas akibat gelombang.

Abstract

The conversion of a *Landing Craft Tank* (LCT) into an ammonia carrier represents an innovative effort to support the development of a sustainable maritime industry. This study aims to evaluate the technical feasibility of converting an LCT into an ammonia transport vessel through the *parent design* approach. The assessment focuses on three principal aspects—*lines plan*, *general arrangement*, and *intact stability analysis*—using Maxsurf Stability Student Version 2024. Simulations were conducted for three loading conditions (100%, 50%, and 10%), taking into account the variations in hydrostatic parameters (KB, KG, BM, and GM). The results indicate that all loading conditions satisfy the criteria of the IMO Intact Stability Code 2008 (MSC.267(85)), with corrected GMt values ranging from 2.36 to 2.81 m and maximum GZ values between 0.49 and 0.83 m. The analysis of the righting arm area further confirms compliance with IMO standards. For the area under the GZ curve from 0° to 30°, the obtained values are 10.992 m-deg (100%), 14.487 m-deg (50%), and 17.136 m-deg (10%). For the range 0°–40°, the results are 15.566 m-deg (100%), 20.878 m-deg (50%), and 25.019 m-deg (10%), while for the range 30°–40°, the values are 4.573 m-deg, 6.391 m-deg, and 7.883 m-deg, respectively. The maximum righting arm (GZmax) was found to be 0.492 m for the 100% load case, 0.677 m for 50%, and 0.829 m for 10%. The ammonia cargo is stored in cylindrical tanks equipped with individual safety frames, totaling 176 cylinders with a combined cargo weight of 32 tons. The differences in stability tendencies among the load cases are primarily attributed to variations in weight distribution, as the ammonia and ballast tanks are positioned on the upper deck. This study is limited to the evaluation of *intact stability*, without considering *damage stability* or wave-induced effects. Future research is recommended to optimize the spatial arrangement of ammonia cylinders and to assess the vessel's stability under wave-induced conditions.

1. PENDAHULUAN

Dalam era keberlanjutan dan transisi energi saat ini, penggunaan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan semakin berkembang. Saat ini, terdapat tiga jenis bahan bakar yang digunakan di kapal yaitu: Marine Fuel Oil, Marine Diesel Oil, High Speed Oil. Sedangkan penelitian untuk bahan bakar kapal pengganti fossil fuel masih terbatas, dan lebih sedikit lagi penelitian yang membahas tentang kapal berbahan bakar amonia. Penelitian terkait bahan bakar kapal menggunakan Amonia dilakukan oleh [1] yang menjelaskan pengaplikasian, potensi dan tantangan dari penggunaan amonia di industry maritim. Sedangkan penelitian tentang amonia sebagai bahan bakar pada eksplorasi di bidang kemaritiman dilakukan oleh Liu, et al. [2] termasuk produksi dan penyimpanannya, dan penyimpanan energi musiman untuk eksplorasi Arctic karena amonia cair memiliki densitas energi yang lebih tinggi baik dari sisi gravitasi dan volume. Tantangan tentang amonia sebagai bahan bakar di bidang maritim juga telah dilakukan oleh Machaj, et al. [3] yang membahas tentang keselamatan umum, isu bahan beracun yang dihubungkan dengan amonia dan juga kualitas buker amonia.

Amonia menjadi alternatif yang dimanfaatkan industri untuk mengurangi jejak karbon sehingga bahan ini dipilih sebagai opsi bahan bakar hijau untuk kapal mulai 2026. Keunggulan amonia sendiri terletak karena bebas karbon dan akan menjadi bahan bakar tanpa emisi jika dibuat dari hidrogen yang diproduksi dengan listrik terbarukan, seperti yang dilansir oleh media Kompas. Di Indonesia secara umum dan khususnya di Kalimantan Timur, amonia juga merupakan hasil sampingan produksi pupuk, salah satunya yang diproduksi oleh PT Pupuk Kalimantan Timur. Amonia dapat dimanfaatkan sebagai bahan mentah dalam industri kimia, bahan bakar penggerak mesin dan sebagai bahan bakar untuk industri perkapalan. Oleh karena itu, kajian mengenai kapal pengangkut amonia untuk bahan bakar kapal menjadi penting untuk diinvestigasi lebih lanjut.

Kajian yang pertama terkait dengan stabilitas kapal. Banyak penelitian terdahulu membahas tentang stabilitas kapal, diantaranya: perhitungan stabilitas kapal perikanan melalui pendekatan ukuran utama dan koefisien bentuk kapal [4]; desain perancangan Bulk Carrier [5] [6]; desain perancangan kapal General Cargo 3292 DWT [7]; stabilitas kapal perintis 500 DWT dengan penambahan variasi posisi sudut dan lebar bilga keel telah dilakukan dengan [8], perancangan konstruksi profile kapal general cargo [9], pembuatan desain *unmanned surface vehicle* (USV) [10], analisa stabilitas pada kapal LCT [11] dan studi perancangan kapal ferry ro-ro model katamaran di perairan danau Toba [12]. Selain desain dan stabilitas, analisa hidrodinamika kapal juga menjadi topik penelitian terdahulu, seperti analisa hidrodinamika kapal kargo pada sarat rendah [13]. Penelitian terkait bunker juga sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, diantaranya: bunkering LNG di Pelabuhan dan menerapkan analisis SWOT [14]. Penelitian tentang desain barge yang digunakan untuk LNG *Floating Barge Power Plant* juga diteliti oleh Ariana, et al. [15]. Arditiya, et al. [16] membahas tentang prosedur bunkering dengan teknik *ship to ship*, sedangkan LNG bunkering dengan menggunakan ponton diteliti oleh Fan, et al. [17] dan kajian teknis dan ekonominya dibahas oleh [18]. Bunker kapal harus dapat digunakan secara aman, baik untuk mesin induk atau mesin-mesin lainnya sebagai penggerak kapal tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan pada mesin tersebut dibahas oleh Sari and Utami [19].

Dari beberapa penelitian yang sudah ada, masih sedikit penelitian yang membahas tentang kapal untuk mengangkut amonia apakah dengan mendesain baru ataukah dengan mengkonversi dari kapal yang ada. Dengan konversi LCT ini memungkinkan kapal LCT yang mungkin sudah tidak sesuai lagi untuk fungsi aslinya, seperti karena regulasi baru, untuk mendapatkan fungsi baru yang menguntungkan secara komersial, dengan tetap memanfaatkan lambung kapal yang sudah ada, dalam hal ini untuk mengangkut amonia. LCT dipilih karena kemampuannya masuk ke area Pelabuhan

dengan kedalaman dangkal atau ketidakterediaan jetty di Pelabuhan yang banyak terdapat di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa stabilitas kapal pengangkut amonia yang dikonversi dari LCT dengan menggunakan *parent design method* dan diharapkan dapat menghasilkan *Lines Plan, general arrangement*, dan laporan stabilitas dari kapal pengangkut ammonia hasil konversi LCT tersebut.

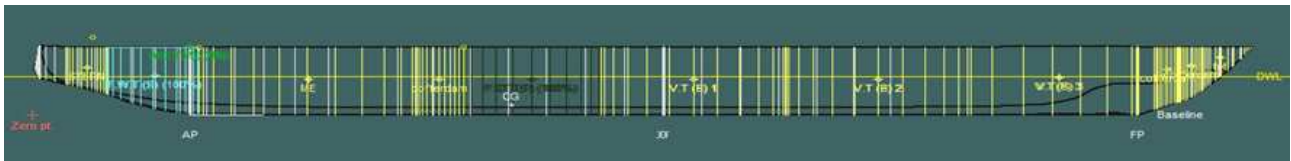
2. METODE

Metode desain kapal pengangkut ammonia menggunakan *parent design* LCT yang bagian deck nya akan ditambahkan *framing* untuk rangka ammonia. Informasi mengenai ukuran LCT dapat dilihat pada Tabel 1. Ukuran LCT ini akan dimodelkan menggunakan bantuan perangkat lunak *Maxsurf Modeller Student Version* tahun 2024.

Tabel 1. Dimensi utama LCT

Parameter	Nilai	Satuan
L	39,5	m
B	8	m
H	2,7	m

Setelah lambung kapal selesai dimodelkan, tahap selanjutnya adalah pembuatan tangki-tangki yang ada pada kapal sesuai dengan desain *general arrangement*. Pemodelan tangki dibuat dengan bantuan *software Maxsurf Stability Student Version* tahun 24. Adapun tangki tangki yang terdapat pada kapal adalah *fuel oil tank, cargo tank, fresh water tank, ballast tank, fore peak tank*. Hasil dari input *definition room* dapat dilihat pada Gambar 1. Perbedaan isi dari setiap tangki pada kasus pembebanan akan berpengaruh pada titik berat kapal yang berpengaruh pada stabilitas kapal.



Gambar 1. Tampak samping pada maxsurf stability

Terdapat beberapa variasi loadcase atau kasus pemuatan pada penelitian ini antara lain: kasus 1: *full loaded 100%*, kasus 2: *half loaded 50%*, dan kasus 3: *ballast 10% load*. Pada kondisi loadcase 100%, semua tangki diisi dengan volume 100% selain tangki ballast, kemudian dilakukan analisis menggunakan aplikasi maxsurf stability. Adapun kondisi tangki disetiap *load case* dapat dilihat di Table 2.

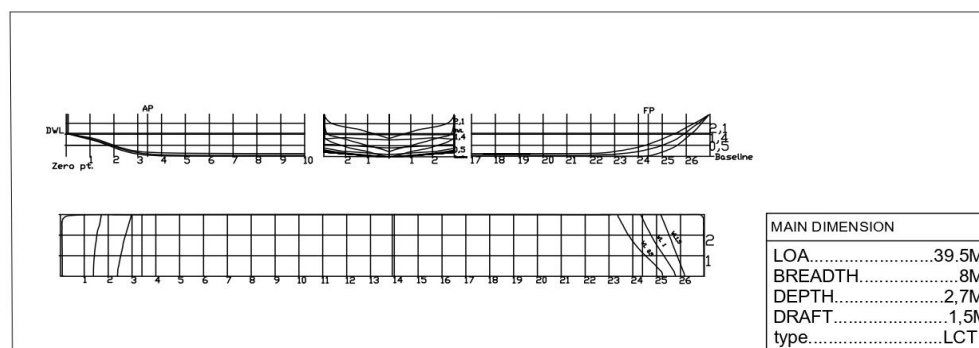
Tabel 2. Intact Stability loadcase 100%, 50% dan 10%

Kondisi pemuatan		loadcase 100%		loadcase 50%		loadcase 10%	
No	Item	Jumlah	Total berat (t)	Jumlah	Total berat (t)	Jumlah	Total berat (t)
1	Lightship	1	441	1	441	1	441

Kondisi pemuatan			loadcase 100%		loadcase 50%		loadcase 10%	
2	F.W.T (S)	100%	16.075	50%	8.038	10%	1.608	
3	F.W.T (P)	100%	16.075	50%	8.038	10%	1.608	
4	F.O.T (S)	100%	12.168	50%	6.084	10%	1.217	
5	F.O.T (P)	100%	12.372	50%	6.186	10%	1.237	
6	Tank	176	32.032	176	16.016	176	0	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

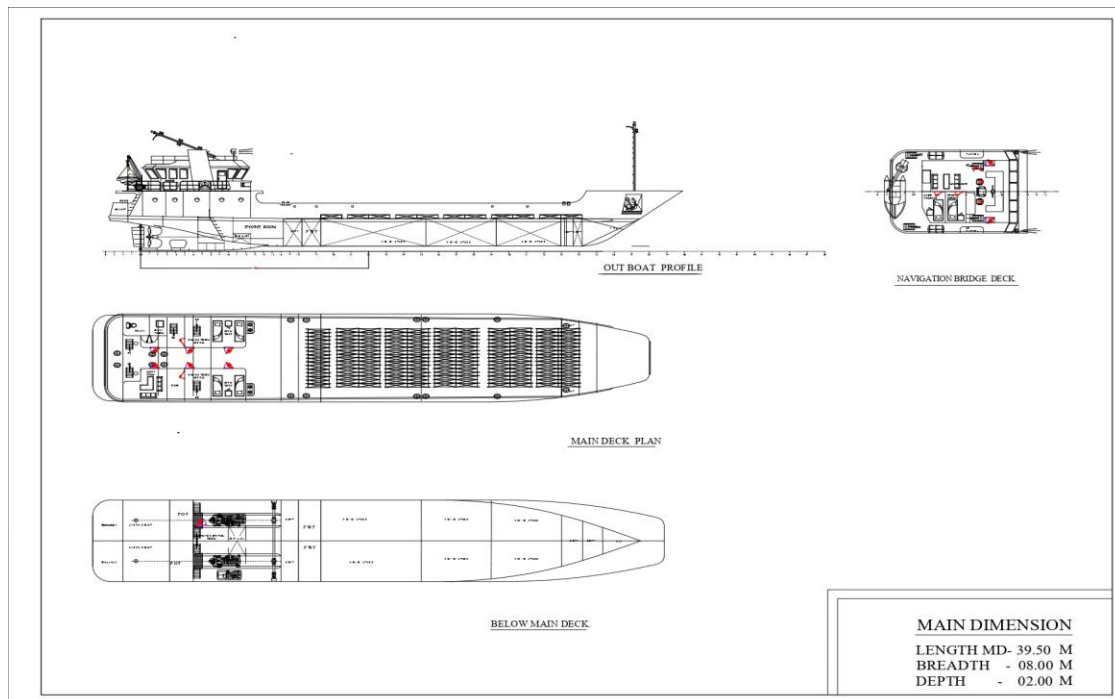
Penelitian yang bertujuan untuk menganalisa stabilitas kapal pengangkut amonia yang dikonversi dari LCT sudah dilakukan. Rencana garis atau *Lines Plan* ini dibuat berdasarkan data ukuran kapal dengan memodelkan menggunakan aplikasi *Maxsurf* atau dengan menggunakan *parent design method*. *Parent design method* adalah pendekatan desain yang membandingkan desain baru dengan kapal acuan (*parent design*) yang sudah ada. Metode ini sangat berguna untuk mempercepat proses desain karena desainer dapat mengadaptasi desain yang sudah terbukti berhasil daripada memulai dari awal. LCT hasil pemodelan ini memiliki displacement sebesar 450 ton, mengacu pada *DNV RU-SHIP Part 6 Table 3* dimana perbandingan model dan data kurang dari 2%. Pada penelitian ini perbandingan displacement nya adalah 1.381%. Hasil dari lines plan nya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Lines Plan*

Tujuan berikutnya adalah pembuatan rencana umum atau *general arrangement* (GA) yang dibuat dengan menata ulang GA LCT yang awalnya diisi oleh truk dan kendaraan roda empat lainnya, diubah menjadi kumpulan tangka amonia. *General arrangement* didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapan kapal. *General Arrangement* dibuat menyesuaikan dengan *lines plan* yang telah dibuat, kapasitas yang dibutuhkan, serta rencana gladak, dimana luasan dan volumenya telah disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku. Pembuatan *General Arrangement* berfungsi sebagai dasar untuk membuat *detail drawing*. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan *General Arrangement* adalah penataan geladak utama yang baik agar memberikan ruang optimal untuk kru dan muatan. Kemudian hal yang harus dipertimbangkan juga

adalah desain kapal keseluruhan yang berfungsi sebagai kenyamanan kru kapal, akses jalan dan juga keamanan. Hasil GA dapat dilihat pada Gambar 3.



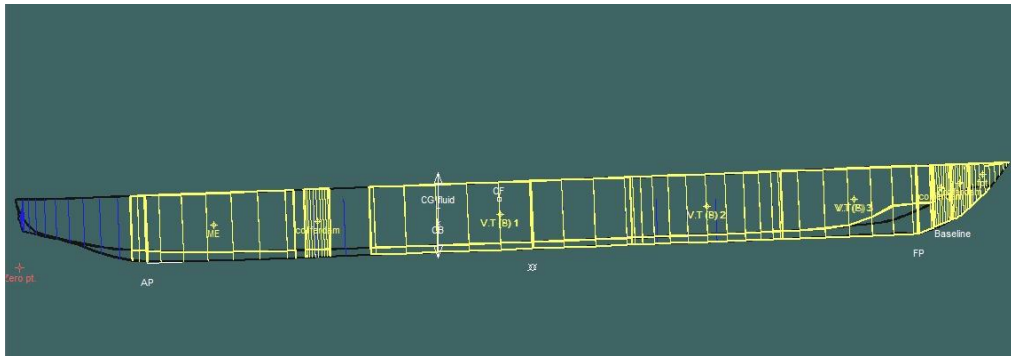
Gambar 3. General Arrangement

Tangki amonia yang ditata diatas LCT untuk pembuatan GA dipilih dengan beberapa pertimbangan. Salah satu penyimpanan ammonia yang berwujud gas dapat mengadopsi tangki CNG yang memiliki tekanan antara 200-250 bar (2900-3600 psi). Tabung penyimpanan terbuat dari baja atau aluminium yang mampu menahan tekanan hingga lebih dari 50 bar. Tabung ini secara keseluruhan terbuat dari baja dengan ukuran panjang 1775.97 mm, diameter 355.99 mm, kapasitas 45.5 m³, dengan total berat 182 kg. Tabung seperti pada Gambar 4 ini dimasukan kedalam *frame*, dengan ukuran *frame* 1.8m x 0.356 m x 0.356 m.

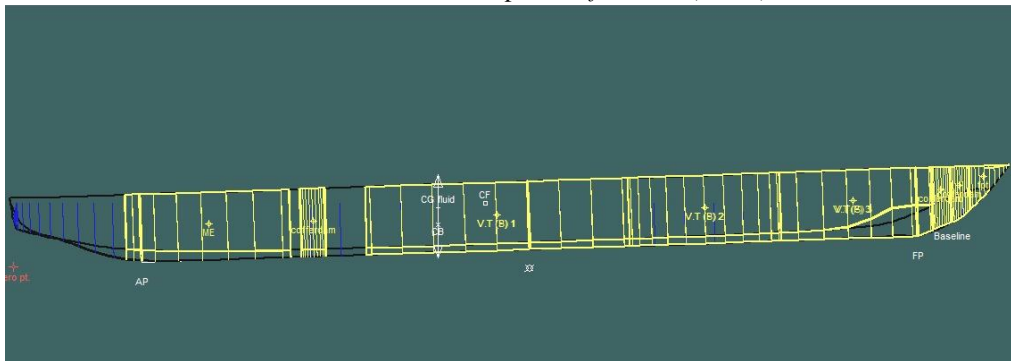


Gambar 4. Tangki CNG Tipe 1

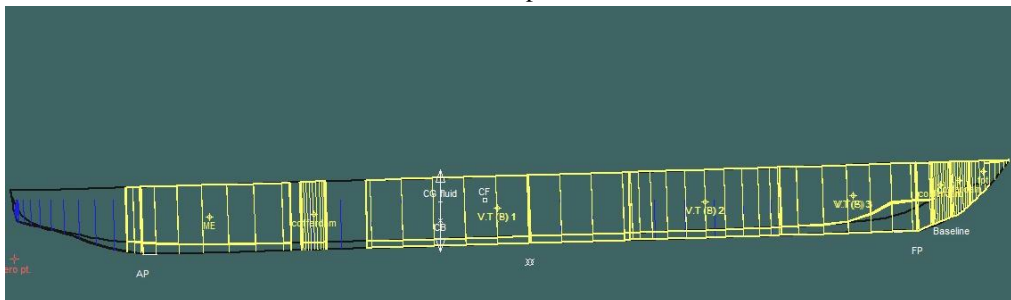
Analisis stabilitas kapal dibuat dengan variasi tiga kondisi pembebanan (*load case*). Pada *load case* 100% diasumsikan sebagai awal keberangkatan kapal, stabilitas kasus 50% ketika kapal setengah perjalanan dan 10% ketika kapal sampai di tujuan. Analisa stabilitas menunjukkan kapal kondisi *full load* memiliki kondisi *trim by stern*. Gambaran ketigasi kondisi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 5-7.



Gambar 5. Kondisi kapal saat *full load* (100%)



Gambar 6. Kondisi kapal saat 50% muatan



Gambar 7. Kondisi kapal saat *ballast* (10%)

Stabilitas kapal juga dapat dilihat dari tabel hidrostatik nya. Tabel 3 menunjukkan parameter hidrostatik kapal dalam tiga kondisi pemuatan berbeda: 100% (*full load*), 50% *load*, dan 10% *load*. KM (*Metacenter Height*) adalah tinggi titik metacenter dari pusat apung. KM meningkat dari 4.103 m pada 100% load menjadi 4.554 m pada 10% load, yang menunjukkan bahwa dengan berkurangnya muatan, tinggi *metacenter* menjadi lebih besar, yang dapat meningkatkan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan. GM (*Metacentric Height*) adalah selisih antara KM dan KG (tinggi pusat gravitasi). GM pada load case 100% adalah 2.365 m, sedangkan pada 10% load GM mencapai 2.807 m, yang berarti stabilitas kapal lebih baik pada 10% muatan karena KG yang lebih rendah dan FSE yang lebih kecil. BM (*Metacentric Radius*) menunjukkan

ukuran momen inersia kapal terhadap sumbu vertikal. BM meningkat dari 2.948 m pada 100% *load* menjadi 3.551 m pada 10% *load*. Hal ini sejalan dengan peningkatan GM yang mengindikasikan kapal lebih kaku dan lebih stabil pada kondisi ringan.

Tabel 3. Tabel hidrostatik untuk setiap kondisi load case

Parameter	Satuan	Load case 100%	Load case 50%	Load case 10%
<i>Draft Amidships</i>	m	1.951	1.812	1.689
<i>Displacement</i>	Ton	530.3	486.0	447.3
<i>Heel</i>	Deg	0.1	0.1	0.0
<i>Draft at FP</i>	m	1.365	1.296	1.216
<i>Draft at AP</i>	m	2.536	2.329	2.163
<i>Draft at LCF</i>	m	1.999	1.869	1.743
<i>Trim (+ve by stern)</i>	m	1.171	1.033	0.948
<i>WL Length</i>	m	38.297	38.198	38.082
<i>Beam max extents on WL</i>	m	7.99	7.99	7.99
<i>Wetted Area</i>	m ²	421.784	402.982	392.720
<i>Waterpl. Area</i>	m ²	290.576	296.261	295.440
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>		0.727	0.731	0.731
<i>Block coeff. (Cb)</i>		0.682	0.683	0.680
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>		0.939	0.938	0.934
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>		0.949	0.970	0.970
<i>LCB from zero pt. (+ve fwd)</i>	m	16.714	16.846	16.900
<i>LCF from zero pt. (+ve fwd)</i>	m	19.176	18.740	18.687
<i>KB</i>	m	1.158	1.075	1.004
<i>KG fluid</i>	m	1.740	1.749	1.748
<i>BMt</i>	m	2.948	3.278	3.551
<i>BML</i>	m	62.059	71.706	77.265
<i>GMt corrected</i>	m	2.365	2.603	2.807
<i>GML</i>	m	61.476	71.031	76.521
<i>KMt</i>	m	4.103	4.351	4.554
<i>KML</i>	m	63.171	72.740	78.232
<i>Immersion (TPc)</i>	Tonne/cm	2.978	3.037	3.028
<i>MTc tonne.</i>	m	10.617	11.241	11.145
<i>RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)</i>	Tonne.m	21.888	22.075	21.915
<i>Max deck inclination</i>	Deg	2.1855	1.9282	1.7673
<i>Trim angle (+ve by stern)</i>	Deg	2.1838	1.9268	1.7673

RM at 1° (*righting moment* pada sudut 1°) menunjukkan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan. Nilai RM tetap relatif konstan di sekitar 21.888–22.075 tonne.m, meskipun sedikit berkurang pada load case 100%. Ini menunjukkan bahwa kapal dapat kembali ke posisi tegak dengan baik pada ketiga kondisi pemuatan. *Max deck inclination* (kemiringan dek *maksimum*) menurun dari 2.185° pada 100% load menjadi 1.767° pada 10% load. Kemiringan ini menunjukkan kapasitas kapal untuk menahan kemiringan, dengan nilai yang lebih kecil pada 10% load karena GM yang lebih tinggi.

Stabilitas transversal kapal pada 100% load lebih rendah dibandingkan dengan 10% load karena tingginya KG dan pengaruh *free-surface effect* (FSE) pada kondisi muatan penuh. Hal ini tercermin dari penurunan GM yang lebih kecil pada 100% load dan penurunan nilai *GZ maksimum*. Kenaikan GM pada 10% load disebabkan oleh ballast penuh di dasar kapal, yang menurunkan KG dan meningkatkan stabilitas kapal secara keseluruhan. Penurunan FSE pada 10% load juga berperan

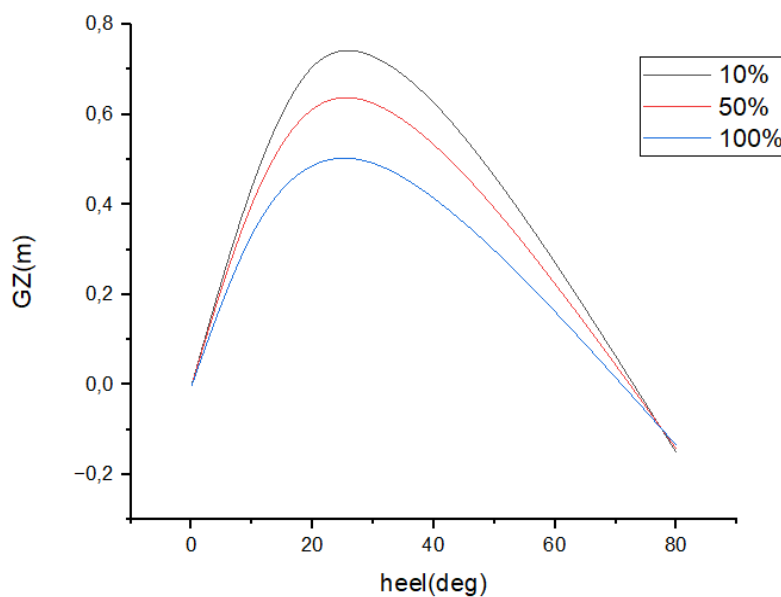
penting dalam meningkatkan stabilitas kapal. Meskipun area GZ pada 10% load lebih besar, yang menunjukkan bahwa kapal memiliki kemampuan yang lebih baik untuk kembali ke posisi tegak, perlu diperhatikan bahwa stabilitas kapal pada 100% load masih dalam batas IMO, sehingga kapal tetap aman untuk beroperasi.

Hasil analisa stabilitas untuk *load case* 100%. 50% dan 10% dibandingkan dengan IMO dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Intact Stability loadcase 100%. 50% dan 10%

No	criteria	value	units	Actual 100%	Actual 50%	Actual 10%	Status
1	Area 0 to 30	≥ 3.151	m.deg	10.992	14.487	17.136	Pass
2	Area 0 to 40	≥ 5.1566	m.deg	15.566	20.878	25.019	Pass
3	Area 30 to 40	≥ 1.718	m.deg	4.573	6.391	7.883	Pass
4	Max GZ at 30 or greater	≥ 0.200	m	0.492	0.677	0.829	Pass
5	Angle of maximum GZ	≥ 25	deg	25.5	26.4	27.3	Pass
6	Initial GMt	≥ 0.150	m	2.346	2.603	2.784	Pass

Pada kasus 100%, nilai GZ maksimum sebesar 0.503 m pada sudut 25.5°, dengan *draft amidships* sebesar 1.951 m. Pada kasus 50%, nilai GZ maksimum sebesar 0.666 m pada sudut 26.4°, dengan *draft amidships* sebesar 1.812 m. Dan pada kasus 10%, nilai GZ maksimum sebesar 0.837 m pada sudut 27.3°, dengan *draft amidships* sebesar 1.701 m. Hasil perbandingan nilai GZ pada setiap *load case* dapat dilihat pada Gambar 8.

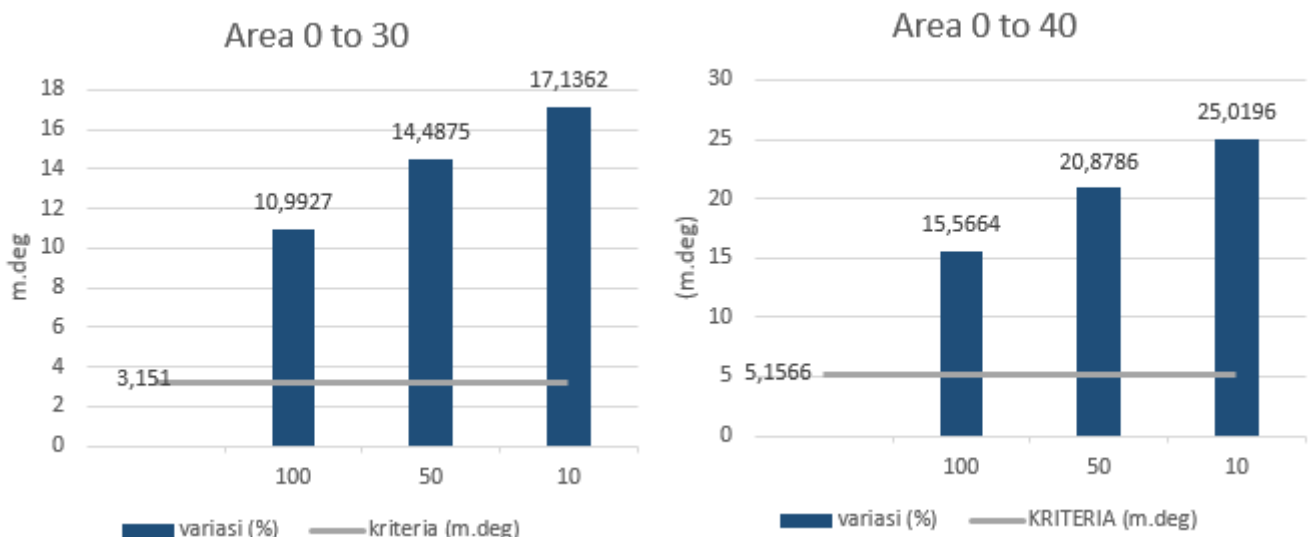


Gambar 8. Hasil komparasi grafik GZ pada setiap loadcase

Gambar 9 (kiri) menunjukkan grafik luas daerah bagian bawah kurva GZ pada sudut 30 deg dengan batas kriteria IMO nilai 3.151 dan gambar 9 (kanan) dibawah menunjukkan grafik luas daerah bagian bawah kurva GZ pada sudut 40 deg dengan batas kriteria IMO nilai 5.1566. Pada sudut 30 deg, grafik menunjukkan bahwa loadcase 100% memiliki nilai 10.9927 *m.deg*. pada loadcase 50% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 14.4875 *m.deg*, pada loadcase 10% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 17.136 *m.deg*. Pada sudut 40. grafik menunjukkan bahwa loadcase 100% memiliki nilai 15.5664 *m.deg*, pada loadcase 50% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 20.8786 *m.deg*, pada loadcase 10% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 25.0196 *m.deg*.

Dari ketiga variasi loadcase tersebut yang memiliki bagian bawah kurva GZ yang paling besar adalah variasi loadcase 10%. Hal ini dikarenakan variasi tersebut memiliki muatan yang paling sedikit diantara ketiga variasi loadcase dikarenakan loadcase tersebut memiliki muatan yang paling sedikit diantara variasi loadcase lainnya sehingga stabilitasnya lebih besar. Sedangkan variasi loadcase yang memiliki nilai dibawah kurva GZ paling kecil adalah variasi loadcase 100%. Hal ini dikarenakan variasi tersebut memiliki muatan yang paling banyak, sehingga stabilitas yang dihasilkan lebih kecil, yang berarti kemampuan kapal untuk dapat kembali ke posisi tegak awal semakin kecil setelah mengalami *heel*.

Semakin besar luasan dibawah kurva GZ maka stabilitas kapal dapat dikatakan lebih baik. dimana righting moment yang dihasilkan oleh kapal untuk dapat kembali ke posisi semula setelah mengalami heel lebih besar. Sedangkan semakin kecil nilai luasan dibawah kurva GZ maka kondisi stabilitas kapal yang dihasilkan relatif tidak stabil.



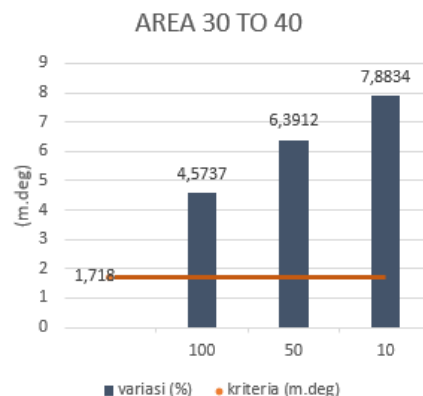
Gambar 9. Grafik luas daerah dibawah kurva GZ sudut 30 (kiri) dan Grafik luas daerah dibawah kurva GZ sudut 40 (kanan)

Gambar 10 menunjukkan grafik luas daerah bagian bawah kurva GZ pada sudut 30 sampai 40 deg dengan batas kriteria IMO nilai 1.718. Grafik menunjukkan bahwa loadcase 100% memiliki nilai

4.5737 *m.deg*. pada loadcase 50% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 6.3912 *m.deg*. pada loadcase 10% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 7.8834 *m.deg*.

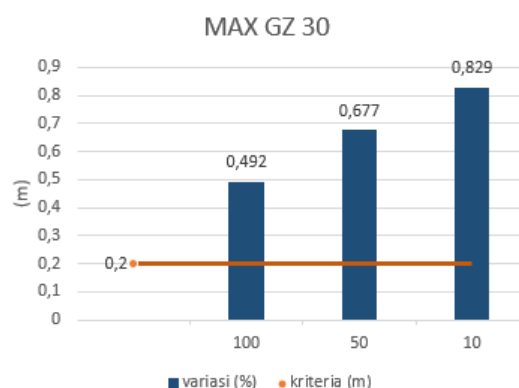
Dari ketiga variasi loadcase tersebut yang memiliki bagian bawah kurva GZ pada sudut 30 sampai 40 deg yang paling besar adalah variasi loadcase 10%. Hal ini dikarenakan variasi tersebut memiliki muatan yang paling sedikit diantara ketiga variasi loadcase. sehingga kemampuan untuk dapat kembali ke posisi tegak setelah mengalami *heel* lebih besar. Sedangkan variasi loadcase yang memiliki nilai dibawah kurva GZ paling kecil adalah variasi loadcase 100%. Hal ini dikarenakan variasi tersebut memiliki muatan yang paling banyak. yang berarti kemampuan kapal untuk dapat kembali ke posisi tegak awal semakin kecil setelah mengalami *heel*.

Semakin besar luasan dibawah kurva GZ maka stabilitas kapal dapat dikatakan lebih baik. dimana righting moment yang dihasilkan oleh kapal untuk dapat kembali ke posisi semula setelah mengalami heel lebih besar. sedangkan semakin kecil nilai luasan dibawah kurva GZ maka kondisi stabilitas kapal yang dihasilkan relatif tidak stabil.



Gambar 10. Grafik luas daerah dibawah kurva GZ sudut 30 hingga 40

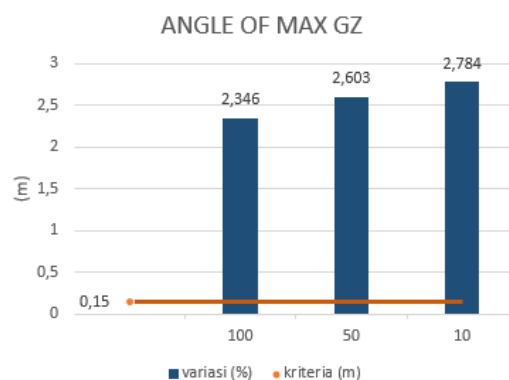
Gambar 11 menunjukan nilai GZ pada sudut 30 deg dengan batas kriteria IMO nilai 0.200. Grafik menunjukan bahwa loadcase 100% memiliki nilai 0.492 *m*. pada loadcase 50% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 0.677 *m*. pada loadcase 10% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 0.829 *m*. Semakin besar *maksimum* GZ maka stabilitas kapal dapat dikatakan lebih baik. karena nilai GZ *maksimum* akan menghasilkan *maksimum* momen *heeling* dimana righting moment yang dihasilkan oleh kapal untuk dapat kembali ke posisi semula setelah mengalami heel lebih besar. sedangkan semakin kecil nilai luasan dibawah kurva GZ maka kondisi stabilitas kapal yang dihasilkan relatif tidak stabil.



Gambar 11. Grafik *maksimum* GZ sudut 30 deg

Gambar 12 menunjukkan grafik initial GM dengan batas kriteria IMO nilai 0.15. Grafik menunjukkan bahwa loadcase 100% memiliki nilai 2.346 m. pada loadcase 50% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 2.603 m. pada loadcase 10% memiliki nilai bagian bawah kurva GZ sebesar 2.784 m.

Dari ketiga variasi loadcase tersebut yang memiliki nilai initial GM yang paling besar adalah variasi loadcase 10%. hal ini dikarenakan variasi tersebut memiliki muatan yang paling sedikit diantara ketiga variasi loadcase. yang berarti memiliki kondisi stabilitas yang baik. Sedangkan variasi loadcase yang memiliki nilai initial GM paling kecil adalah variasi loadcase 100%. hal ini dikarenakan variasi tersebut memiliki muatan yang paling banyak. yang berarti kondisi stabilitas yang relatif kurang stabil.



Gambar 12. Grafik initial GMt

4. KESIMPULAN

Sebuah kapal pengangkut ammonia yang dikonversi dari LCT sudah berhasil didesain dan dianalisa pada penelitian ini. Desain menggunakan metode *parent design approach* dengan batasan hanya membahas *lines plan* antara LCT dan kapal pengangkut amonia. Dimensi LCT sesuai dengan ukuran kapal asli dengan ukuran panjang 39.5 m. lebar 8 m. tinggi 2.7 m dan sarat air 1.5 m. Penyesuaian diatas kapal dengan menambahkan kumpulan tangki amonia yang diadopsi dari CNG dan diamankan dengan *frame* dapat dilihat pada *general arrangement*. Jenis tangki amonia adalah tangki CNG dengan ukuran diameter 355.09 mm, panjang 1775.57 mm, bertekanan 248 bar dengan berbahan baja. Analisa stabilitas kapal dilakukan dengan membandingkan model dan kriteria IMO. Stabilitas dianalisa menggunakan Maxsurf Stability Student Version 2024 untuk tiga kondisi pemuatan (100%, 50%, dan 10%) dengan parameter nilai area 0 sampai 30 deg, area 0 sampai 40 deg, area 30 sampai 40 deg, dan nilai maximum GZ yang dibandingkan dengan kriteria IMO dimana kriteria aman nya adalah ≥ 3.151 m.deg, ≥ 5.1566 m.deg, ≥ 1.718 m.deg dan ≥ 0.200 m untuk masing-masing kriteria. Pada area 0 sampai 30 deg, loadcase 100% memiliki nilai 10.992 m.deg, loadcase 50% sebesar 14.487 m.deg, loadcase 10% sebesar 17.136 m.deg. Pada area 0 sampai 40 deg, loadcase 100% memiliki nilai 15.566 m.deg, loadcase 50% memiliki nilai 20.878 m.deg, loadcase 10% memiliki nilai 25.019 m.deg. Pada luasan area 30 sampai 40 deg, loadcase 100% memiliki nilai 4.573 m.deg, loadcase 50% memiliki nilai 6.391 m.deg, pada loadcase 10% memiliki nilai 7.883 m.deg.

Pada nilai maximum GZ, loadcase 100% memiliki nilai 0.492 m, loadcase 50% mendapatkan nilai sebesar 0.677 m, pada loadcase 10% mendapatkan nilai 0.829 m. Dari 4 parameter yang dibandingkan, stabilitas kapal 2-3 kali dari batas aman IMO yang berarti kapal dalam keadaan stabil. Adapun saran dari penulis yaitu pengecekan *damage stability* dan stabilitas dengan mempertimbangkan kriteria cuaca serta evaluasi desain agar mendapatkan daya muat yang lebih besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh tim Teknik Kelautan, Institut Teknologi Kalimantan, atas kerja sama dan dukungan luar biasa yang telah diberikan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Cheliotis *et al.*, "Review on the safe use of ammonia fuel cells in the maritime industry," *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3023, 2021.
- [2] J. Liu *et al.*, "Renewable ammonia as an energy fuel for ocean exploration and transportation," *Marine Technology Society Journal*, vol. 54, no. 6, pp. 126-136, 2020.
- [3] K. Machaj *et al.*, "Ammonia as a potential marine fuel: A review," *Energy Strategy Reviews*, vol. 44, p. 100926, 2022.
- [4] R. M. Hutauruk, "Perhitungan stabilitas kapal perikanan melalui pendekatan ukuran utama dan koefisien bentuk kapal," *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, vol. 18, no. 01, pp. 48-61, 2013.
- [5] P. B. Pamungkas, S. Samuel, and I. P. Mulyatno, "PERANCANGAN KAPAL BULK CARRIER 6200 DWT UNTUK RUTE PELAYARAN JAKARTA-PALANGKARAYA," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 2, no. 2, 2014.
- [6] A. Sanjaya, "Studi Perancangan Kapal Bulk Carrier 28.000 DWT Sebagai Pengangkut Nikel PT Vale Indonesia Rute Morowali-Jakarta," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 11, no. 3, 2023.
- [7] H. Triyanto, B. A. Adietya, and S. Samuel, "PERANCANGAN KAPAL GENERAL CARGO 3292 DWT RUTE PELAYARAN "JAKARTA-HONGKONG"," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 3, no. 2, 2015.
- [8] M. L. Yulianti, I. P. Mulyatno, and A. W. B. Santosa, "Analisa Stabilitas Kapal Perintis 500 DWT Setelah Penambahan Variasi Posisi Sudut dan Lebar Bilga Keel," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 4, 2017.
- [9] R. Japri, "Perancangan Konstruksi Profil Pada Kapal General Cargo Dengan Menggunakan Metode Ship Comparative," *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, pp. 65-73, 2021.
- [10] F. Ramadhan and W. D. Aryawan, "Pembuatan detail Desain unmanned surface vehicle (USV) untuk monitoring wilayah perairan indonesia," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. G302-G307, 2017.
- [11] A. F. Adi, W. Amiruddin, and P. Manik, "Analisis Stabilitas (Intact, Damage Stability) Kapal Landing Craft Tank (LCT) dikonversi menjadi Livestock Carrier (Kapal Ternak)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [12] S. Samuel and B. R. Pardosi, "Studi Perancangan Kapal Ferry Ro-Ro Model Katamaran di Perairan Danau Toba," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 503-512, 2022.
- [13] B. Ali, N. Firdaus, and N. Nurhadi, "Analisa Hidrodinamika Kapal Container Sarat Rendah," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 14, no. 3, pp. 65-70, 2017.

- [14] G. Satta, F. Parola, F. Vitellaro, and G. Morchio, "LNG Bunkering Technologies in Ports: An Empirical Application of the SWOT Analysis," *KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries*, vol. 13, no. 1, pp. 1-21, 2021.
- [15] I. M. Ariana, H. Prastowo, and A. Paruna, "Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 1, no. 3, 2017.
- [16] A. Arditiya, R. Junanton, D. H. Siahaan, and M. Syahril, "PROSEDUR BUNKERING DENGAN TEKNIK SHIP TO SHIP SPOB ALVINA 06 DENGAN TB. IRIS DALAM PENCEGAHAN PENCEMARAN LAUT," *Jurnal Maritim*, vol. 12, no. 1, pp. 29-33, 2022.
- [17] H. Fan, J. Xu, S. Wu, G. Shi, and W. Guan, "LNG bunkering pontoons on inland waters in China," *Natural Gas Industry B*, vol. 5, no. 2, pp. 148-155, 2018.
- [18] A. M. Nizar and K. B. Artana, "Kajian Teknis dan Ekonomis Bunkering LNG untuk Pemenuhan Bahan Bakar Gas Kapal Pelni," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [19] R. D. A. K. Sari and I. R. Utami, "MONITORING AKTIVITAS BUNKER OLEH KEAGENAN PT ARPENI PRATAMA OCEAN LINE TBK CABANG JEPARA DI ANCHORAGE AREA TANJUNG JATI B," *MUARA: Jurnal Manajemen Pelayaran Nasional*, vol. 4, no. 1, 2021.