

## CONCEPT DESIGN KAPAL PENUMPANG GUNA MENGURANGI ANGKA KECELAKAAN KAPAL DI DANAU TOBA

Albert Gabriel Surbakti<sup>1\*</sup>, A Syahrudin Kamil<sup>2</sup>, Ir Berta Br Ginting<sup>3</sup> dan Yeddid Yonatan Eka Darma<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi  
Kabat, Banyuwangi, 68461, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi  
Kabat, Banyuwangi, 68461, Indonesia

<sup>3</sup>Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan  
Medan Baru, Medan, 20155, Indonesia

<sup>4</sup>Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi  
Kabat, Banyuwangi, 68461, Indonesia

E-mail: albertsurbakti10@gmail.com, a.syahrudinkamil1@gmail.com<sup>2</sup>, bertaginting@polmed.ac.id<sup>3</sup>,  
yeddidyonatan@poliwangi.ac.id<sup>4</sup>

### ABSTRAK

Danau Toba merupakan danau terbesar di Indonesia dan Asia Tenggara. Danau Toba juga berfungsi sebagai prasarana transportasi dan perdagangan yang menghubungkan kabupaten-kabupaten yang berada di kawasan Danau Toba. Kecelakaan kapal yang terjadi di Danau Toba merupakan rentetan musibah pelayaran yang tercatat sejak tahun 1955 hingga 2018 dan selalu menimbulkan korban jiwa dan material yang tidak sedikit serta sering melibatkan kapal penumpang. Transportasi air adalah salah satu moda transportasi yang berperan penting dalam mendukung mobilitas di kawasan Danau Toba baik untuk sektor pariwisata maupun kegiatan ekonomi lainnya seperti perdagangan. Hal ini membuat sebagian besar roda ekonomi maupun wisata sekitar Danau Toba menjadi terhambat karena banyaknya angka kecelakaan kapal karena kapal penumpang yang berlayar di danau toba rawan terjadi kecelakaan akibat dari kapal tersebut. Untuk meningkatkan keselamatan juga mengurangi angka kecelakaan kapal adalah dengan memperhatikan desain dan stabilitas dari kapal tersebut pada saat berlayar mengarungi Danau Toba. Pembuatan desain dilakukan dengan menentukan dimensi utama kapal dari kapal pembanding menggunakan regresi linear yang menghasilkan dimensi utama kapal LOA: 21m, LPP: 18.4m, B: 5,2m, H: 2,7m, dan T: 1m. Pada penelitian ini dilakukan 5 variasi model desain untuk menentukan bentuk lambung kapal yang paling bagus dari segi tahanan dan stabilitasnya. Dalam simulasi ini didapat bahwa variasi D memiliki tahanan terkecil dengan nilai tahanan 26,4 kN dan stabilitas dengan parameter nilai maksimal GZ paling besar yakni sebesar 55.9 derajat dan sesuai dengan kriteria IMO Regulation A.749(18). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapal ini memberikan keamanan dan keselamatan yang ditinjau dari stabilitas kapal yang masuk dalam kriteria.

**Kata Kunci:** Kapal Penumpang, Kecelakaan Kapal, Regresi Linear, Stabilitas Kapal, Tahanan Kapal

### ABSTRACT

Lake Toba is the largest lake in Indonesia and Southeast Asia. It also serves as a transportation and trade infrastructure connecting the districts within the Lake Toba region. Ship accidents in Lake Toba have been a recurring maritime tragedy from 1955 to 2018, resulting in numerous casualties and material losses, often involving passenger ships. Water transportation plays a vital role in facilitating mobility in the Lake Toba area, serving both the tourism sector and other economic activities such as trade. Unfortunately, the high frequency of ship accidents on Lake Toba hampers the local economy and tourism due to the vulnerability of passenger ships to accidents. To enhance safety and reduce the number of ship accidents, it is crucial to focus on the design and stability of the ships navigating Lake Toba. Ship design can be determined by establishing the main dimensions of the ship based on a linear regression model, resulting in the primary dimensions of the ship: LOA (Length Overall): 21m, LPP (Length Between Perpendiculars): 18.4m, B (Beam): 5.2m, H (Height): 2.7m, and T (Draft): 1m. This research explores five design variations to determine the most optimal hull shape in terms of resistance and stability. The simulation revealed that Variation D had the lowest resistance, with a resistance value of 26.4 kN, and the highest stability with a maximum GZ value of 55.9 degrees, complying with IMO Regulation A.749(18) criteria. Consequently, it can be concluded that this ship design provides safety and security, as evaluated in terms of ship stability that meets the criteria.

**Keyword :** Passenger Ship, Ship Accidents, Linear Regression, Ship Stability, Ship Resistance

## 1. PENDAHULUAN

Danau Toba merupakan danau terbesar di Indonesia dan Asia Tenggara. Danau Toba juga berfungsi sebagai prasarana transportasi dan perdagangan yang menghubungkan kabupaten-kabupaten yang berada di kawasan Danau Toba, yaitu untuk menghubungkan antar daerah-daerah dipinggiran Danau Toba antara lain Tigaras ke Simanindo, Tigaraja ke Tomok, dan tuk-tuk, Ajibata ke Tomok, Ambarita dan Onanrunggu, Balige ke Nainggolan, dan Muara, Muara ke Pulau Sibidang dan Sippingan.

Kecelakaan kapal yang terjadi di Danau Toba merupakan rentetan musibah pelayaran yang tercatat sejak tahun 1955 hingga 2018 dan selalu menimbulkan korban jiwa dan material yang tidak sedikit serta sering melibatkan kapal penumpang tradisional [1]. Kapal-kapal di Danau Toba juga masih banyak yang belum sesuai dengan standar keselamatan pada transportasi air untuk kapal tradisional misalnya ketersediaan pelampung yang kurang memadai bahkan ada yang tidak memiliki pelampung, ketersediaan alat pemadam kebakaran yang wajib tersedia di dalam kapal, kelengkapan alat navigasi dan radio, rambu rambu 4 peringatan di dalam kapal (seperti panduan menyelamatkan diri pada saat terjadi kecelakaan), dan tempat duduk yang tidak permanen dan tidak sesuai dengan jumlah penumpang, begitu juga dengan pengawakan kapal, dan menempatkan kendaraan disisi badan kapal yang melebihi kapasitas pengangkutan kapal.

Transportasi air adalah salah satu moda yang berperan penting dalam mendukung mobilitas di kawasan Danau Toba baik untuk sektor pariwisata maupun kegiatan ekonomi lainnya seperti perdagangan. Urgensi moda transportasi air (penyeberangan) adalah sebagai salah satu moda angkutan alternatif yang menawarkan efisiensi waktu. Eksistensi kapal penumpang tradisional tidak dapat dipisahkan dari sejarah transportasi di Danau Toba karena merupakan angkutan yang merintis rute penyeberangan eksisting. Dari segi desain kapal juga berpengaruh dalam menunjang keselamatan kapal. Desain kapal yang bagus akan meminimalisir kecelakaan kapal. Berdasarkan laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran yang dilakukan KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) tahun 2018 pada kecelakaan kapal Sinar Bangun 4 pada perairan Danau Toba, mengatakan bahwa faktor stabilitas kapal yang buruk yang membuat kapal Sinar Bangun 4 mengalami kecelakaan [2,3,4]. Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa desain dan stabilitas yang baik akan meminimalisir kecelakaan kapal di Danau Toba.

Kapal danau yang beroperasi pada suatu daerah di Indonesia harus dirancang atau dibangun sesuai dengan kondisi daerah yang ada, sehingga dari aspek teknis dan ekonomis diperoleh efisiensi dan efektifitas yang tinggi. Secara umum sarana angkutan danau yang beroperasi pada daerah-daerah

di Indonesia seperti di Pulau Danau Toba adalah kapal kayu. Kapal kayu yang dioperasikan masih banyak yang dibangun secara tradisional oleh para penduduk disekitar danau dengan keahlian diperoleh secara turun temurun. Pembuatan kapal tidak dilakukan melalui proses rancang bangun yang bersifat ilmiah mulai dari sisi disain konstruksi, proses pemilihan material dan langkah pembuatan kapal.

Dengan begitu banyaknya kebutuhan akan pelayaran di danau toba sehingga dibutuhkan desain kapal yang sesuai dengan kriteria yang sesuai dengan kondisi pelayaran di Danau Toba. Pada penelitian ini saya akan mendesain Kapal Penumpang Danau Toba untuk mengurangi angka kecelakaan kapal sesuai dengan ketentuan desain BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) dengan bantuan perangkat lunak diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan solusi alternative terhadap angka kecelakaan kapal di Danau Toba.

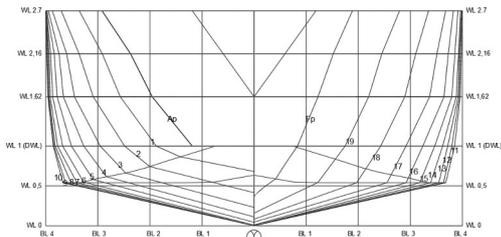
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Penentuan Ukuran Utama Kapal

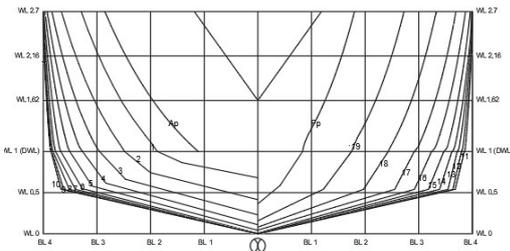
Metode penentuan ukuran utama kapal menggunakan *Relational/Empirical Method* atau *Regresi Linear*. *Relational/Empirical Method* ini penentuan dimensi utama kapal didasarkan pada data komparatif dari kapal yang akan dibangun dengan tipe dan dan ukuran yang serupa, dengan data yang berasal dari sumber terbuka yaitu informasi publik, data base komersil dan internal, dan file yang tersedia. *Relational/Empirical Method* menggunakan formulas desain empiris yang disimpulkan melalui penyesuaian regresi diagram, atau koefisien desain yang ditentukan dengan benar, dengan bantuan data yang dicari. Dari metode *Relational/Empirical Method* atau *Regresi Linear* dalam penentuan dimensi utama kapal, bertujuan untuk mendapatkan beberapa ukuran sebagai berikut:

1. LOA (*Length Overall*) adalah panjang keseluruhan kapal diukur dari ujung buritan kapal hingga ujung haluan kapal.
2. Lpp (*Length between Perpendicular*) Panjang yang diukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis tegak buritan (*After Perpendicular/AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/FP*).
3. LWL (*Length of Waterline*) adalah jarak horizontal yang dihitung antara sarat air dengan linggi haluan sampai titik perpotongan garis air dengan linggi buritan.
4. B (*Breadth*) adalah ukuran lebar kapal yang diukur pada bagian midship kapal
5. H (*Height*) adalah jarak vertikal yang diukur dari dasar kapal sampai base line kapal.
6. T (*Draft*) adalah jarak vertikal untuk merepresentasikan ukuran sarat air kapal.

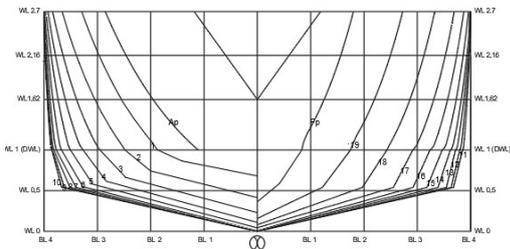
## 2.2 Bentuk Variasi Lambung



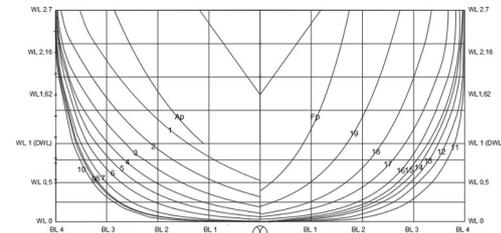
Gambar 1. Body Plan Lambung A



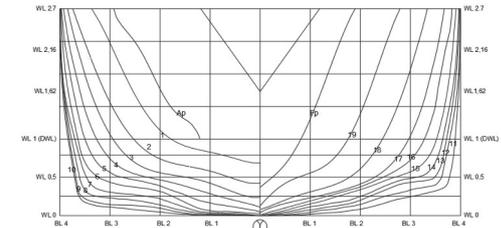
Gambar 2. Body Plan Lambung B



Gambar 3. Body Plan Lambung C



Gambar 4. Body Plan Lambung D



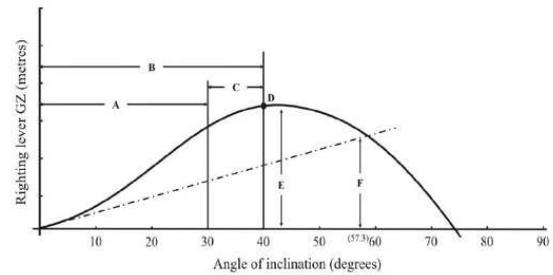
Gambar 5. Body Plan Lambung E

## 2.3 Analisis Tahapan Kapal

Analisa tahanan kapal menggunakan perbandingan metode holtrop pada perangkat lunak *Maxsurf* dan metode CFD pada perangkat lunak *NUMECA Fine Marine*.

## 2.4 Analisis Stabilitas Kapal

Beberapa kriteria utama dalam perhitungan stabilitas kapal, kriteria stabilitas tersebut antara lain IMO Regulation A.749(18) [5] sebagai berikut:



Gambar 6. Curve GZ

Keterangan:

A: Luas area di bawah kurva stabilitas statis sampai sudut oleng  $30^\circ$  tidak boleh kurang dari 0,055 meter radian;

B: Luas area di bawah kurva stabilitas statis sampai sudut oleng  $40^\circ$  tidak boleh kurang dari 0,09 meter radian;

C: Luas area antara sudut oleng  $30^\circ$  sampai  $40^\circ$  tidak boleh kurang dari 0,03 meter radian, dimana ruangan di atas dek akan tenggelam dengan sudut keolengan tersebut.

D: Nilai maksimum righting lever (GZ) sebaiknya dicapai pada sudut tidak kurang dari  $30^\circ$  serta bernilai minimum 0,20 meter;

E: Sudut maksimum stabilitas sebaiknya lebih dari  $25^\circ$ ;

F: Nilai initial GM tidak boleh kurang dari 0,35 meter.

## 3. PEMBAHASAN

### 3.1 Penentuan Ukuran Utama Kapal

Dari proses regresi linear didapatkan ukuran utama kapal yang akan dirancang, ukuran kapal dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Hasil Regresi	Ukuran Utama yang Diambil	Satuan
1	LPP 18,3976	LPP 18,4	m
2	B 5,17771	B 5,2	m
3	H 2,69276	H 2,7	m
4	T 1,009366	T 1	m
5	Cb 0,493	Cb 0,493	

### 3.2 Penentuan Ukuran Utama Kapal

Dari perbandingan nilai tahanan yang didapatkan, perbandingan antara hasil simulasi perangkat lunak *Maxsurf* dan *NUMECA Fine*

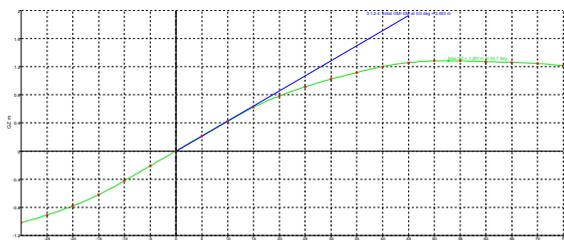
Marine, bahwa perbandingan tersebut masih dalam batas toleransi kesalahan yaitu sebesar 5%, sehingga dalam hal ini, hasil yang didapat dari bantuan perangkat lunak Maxsuft dan NUMECA Fine Marine tervalidasi dan Variasi Lambung D yang memiliki nilai resistance terkecil pada analisa resistance di perangkat lunak Maxsuft senilai 26.4 kN dan NUMECA Fine Marine 28.12 kN.

**Tabel 2.** Hambatan (kN)

Variasi	Hambatan		Batas Toleransi	Selisih	Status
	Maxsuft (Holtrop)	Numeca (CFD)			
Lambung A	37.9	33.21	5%	4,69%	Pass
Lambung B	38.0	39.75		1,75%	Pass
Lambung C	31.8	32.41		0,61%	Pass
Lambung D	26.4	28.12		1,72%	Pass
Lambung E	33.3	30.06		3,24%	Pass

### 3.3 Penentuan Ukuran Utama Kapal

#### 1. Stabilitas Variasi Lambung A

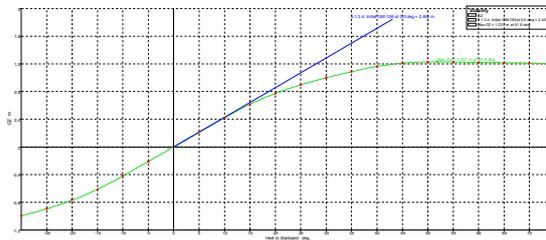


**Gambar 7.** Curve GZ Variasi Lambung A

**Tabel 3.** Stabilitas Variasi Lambung A

Data	Hasil	IMO Criteria	Status
Area 0-30 (m.rad)	0.3045	>0.0550	Pass
Area 0-40 (m.rad)	0.4995	>0.0900	Pass
Area 30-40 (m.rad)	0.1950	>0.0300	Pass
Max GZ at 30 or Greater (m)	1.287	>0.200	Pass
Angle of Max GZ (deg)	52.7	>25	Pass
Initial GMT (m)	2.453	>0,150	Pass

#### 2. Analisa Stabilitas Lambung B

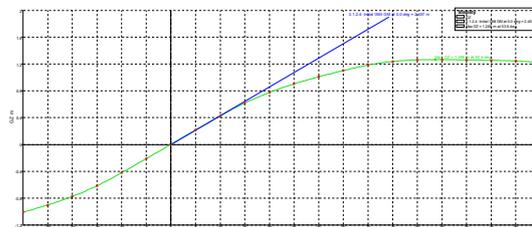


**Gambar 8.** Curve GZ Variasi Lambung B

**Tabel 4.** Stabilitas Variasi Lambung B

Data	Hasil	IMO Criteria	Status
Area 0-30 (m.rad)	0.3000	>0.0550	Pass
Area 0-40 (m.rad)	0.4896	>0.0900	Pass
Area 30-40 (m.rad)	0.1895	>0.0300	Pass
Max GZ at 30 or Greater (m)	1.231	>0.200	Pass
Angle of Max GZ (deg)	51.8	>25	Pass
Initial GMT (m)	2.455	>0,150	Pass

#### 3. Analisa Stabilitas Lambung C

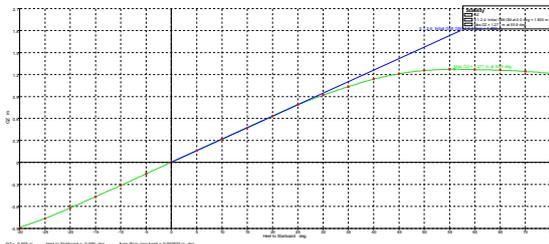


**Gambar 9.** Curve GZ Variasi Lambung C

**Tabel 5.** Stabilitas Variasi Lambung C

Data	Hasil	IMO Criteria	Status
Area 0-30 (m.rad)	0.3019	>0.0550	Pass
Area 0-40 (m.rad)	0.4943	>0.0900	Pass
Area 30-40 (m.rad)	0.1924	>0.0300	Pass
Max GZ at 30 or Greater (m)	1.268	>0.200	Pass
Angle of Max GZ (deg)	53.6	>25	Pass
Initial GMT (m)	2.457	>0,150	Pass

4. Analisa Stabilitas Lambung D

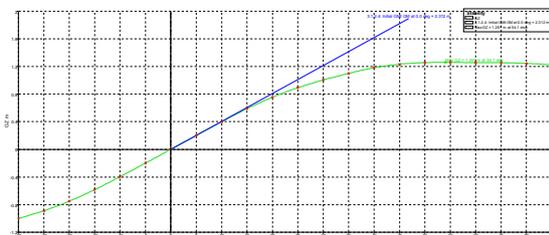


Gambar 10. Curve GZ Variasi Lambung D

Tabel 6. Stabilitas Variasi Lambung D

Data	Hasil	IMO Criteria	Status
Area 0-30 (m.rad)	0.2470	>0.0550	Pass
Area 0-40 (m.rad)	0.4272	>0.0900	Pass
Area 30-40 (m.rad)	1.271	>0.0300	Pass
Max GZ at 30 or Greater (m)	54.1	>0.200	Pass
Angle of Max GZ (deg)	55.9	>25	Pass
Initial GMT (m)	1.800	>0,150	Pass

5. Analisa Stabilitas Lambung E



Gambar 11. Curve GZ Variasi Lambung E

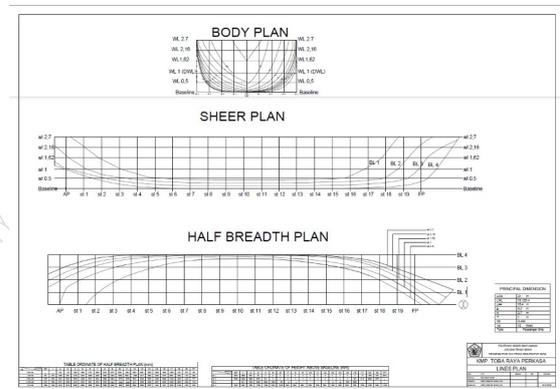
Tabel 7. Stabilitas Variasi Lambung E

Data	Hasil	IMO Criteria	Status
Area 0-30 (m.rad)	0.2924	>0.0550	Pass
Area 0-40 (m.rad)	0.4841	>0.0900	Pass
Area 30-40 (m.rad)	0.1917	>0.0300	Pass
Max GZ at 30 or Greater (m)	1.261	>0.200	Pass
Angle of Max GZ (deg)	54.1	>25	Pass
Initial GMT (m)	2.312	>0,150	Pass

Tabel 7. Rekapitulasi Analisa Stabilitas (Curve GZ)

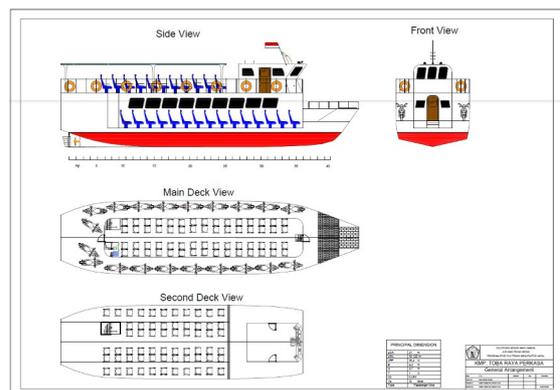
Variasi Lambung	Max GZ	Unit
Variasi Lambung A	52,7	Derajat
Variasi Lambung B	51.8	Derajat
Variasi Lambung C	53.6	Derajat
Variasi Lambung D	55.9	Derajat
Variasi Lambung F	54.1	Derajat

6. Rencana Garis Kapal Rancangan



Gambar 12. Rencana Garis Kapal

7. Rencana Umum Kapal Rancangan

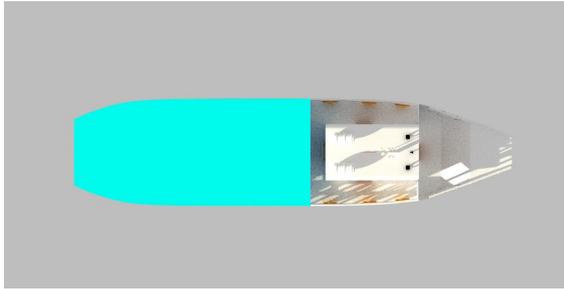


Gambar 13. Rencana Umum Kapal

8. Visualisasi 3D Kapal



**Gambar 14.** Tampak Samping



**Gambar 15.** Tampak Atas



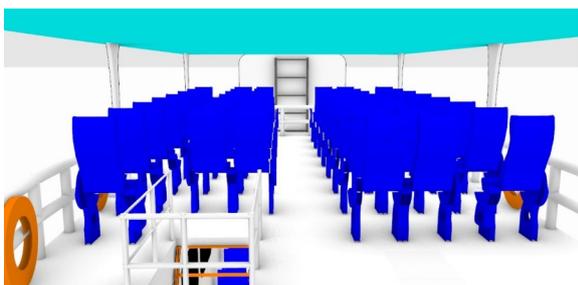
**Gambar 16.** Tampak Depan



**Gambar 17.** Perspective



**Gambar 18.** Penumpang Dek 1



**Gambar 19.** Penumpang Dek 2

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian berjudul "Concept Design Kapal Penumpang Guna Mengurangi Angka Kecelakaan Kapal Di Danau Toba" telah menyelesaikan fase desain dan analisa dengan hasil yang signifikan. Proses simulasi menggunakan CFD dan Maxsurf pada lima variasi lambung mengungkapkan bahwa optimasi lambung kapal berdasarkan body plan dengan menerapkan regresi eksponensial dan regresi polinomial menunjukkan bahwa variasi lambung D dengan penerapan regresi eksponensial secara keseluruhan memiliki tahanan terendah, yakni 26,4 kN. Dalam aspek keselamatan kapal, analisis stabilitas dengan mempertimbangkan max GZ juga memberikan hasil positif. Dari kelima variasi lambung yang dianalisis, dapat disimpulkan bahwa variasi lambung D dengan penerapan regresi eksponensial menunjukkan nilai stabilitas lebih tinggi, mencapai 55,9 derajat. Hal ini menandakan bahwa kapal ini memenuhi standar stabilitas yang ditetapkan dalam IMO Regulation A.749(18), sehingga dapat diandalkan untuk mengurangi risiko kecelakaan kapal di Danau Toba. Dalam penelitian selanjutnya, dapat dikembangkan dengan menghitung konstruksi kapal agar desain kapal ini dapat dikatakan sempurna dan dapat dibangun dikemudian hari nantinya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdy & Wilmar. 2020. Evaluasi Stabilitas Kapal Tradisional di Danau Toba. Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan. Jakarta.
- [2] KNKT. (2018). Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran Tenggelamnya SINAR BANGUN 4 Perairan Danau Toba Pelabuhan Tigras, Simalungun Sumatera Utara
- [3] Badan Klasifikasi Indonesia. (2021). Volume V Rules for Fiberglass Reinforced Plastic Ship.
- [4] BMKG. (2023). Peta Prakiraan Tinggi Gelombang [Online]. [https://maritim.bmkg.go.id/prakiraan/tinggi\\_gelombang](https://maritim.bmkg.go.id/prakiraan/tinggi_gelombang)
- [5] International Maritime Organization. 1995. Code on Intact Stability For All Type of Ships Covered by IMO Instruments Resolution A. 749 (18)