

# Evaluasi Stabilitas Kapal Tradisional di Danau Toba

## *Traditional Ship Stability Evaluation in Toba Lake*

Abdy Kurniawan<sup>1,\*</sup>, Wilmar Jonris Siahaan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Puslitbang Transportasi Laut SDP, Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan

Jl. Medan Merdeka Timur No. 5 Jakarta Pusat 10110

\*E-mail : [birulaut09@hotmail.com](mailto:birulaut09@hotmail.com)

### Abstrak

Danau Toba adalah salah satu *icon* destinasi wisata nasional, kondisi geografisnya yang berupa wilayah perairan menjadikan kapal tradisional sebagai salah satu alternatif moda transportasi pilihan untuk menunjang mobilitas penduduk dan wisatawan. Beberapa kecelakaan kapal yang terjadi di Danau Toba selalu melibatkan kapal tradisional dan menimbulkan korban jiwa dan materi yang tidak sedikit. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan stabilitas kapal sesuai kondisi wilayah perairan lokal. Hasil penelitian menunjukkan kapal tradisional yang telah dimodifikasi menjadi *double deck* memiliki stabilitas yang kurang baik terutama pada kondisi cuaca buruk. Untuk menjaga keselamatan pelayaran direkomendasikan untuk rekondisi kapal menjadi *single deck*, menghindari *overload* dan cuaca buruk.

**Kata kunci** : Stabilitas kapal, Danau Toba.

### Abstract

*Toba Lake is one of the icons of a national tourist destination, with geographical area which covered vast area of water make traditional ships as an alternative mode of transportation of choice to support the mobility of residents and tourists. Some ship accidents that occur in Toba Lake always involve traditional vessels and cause significant casualties and material. This study aims to evaluate the stability of the ship according to the conditions of local waters. The results showed that traditional vessels that had been modified into double decks had poor stability, especially in bad weather conditions. To maintain shipping safety it is recommended to recondition the ship to a single deck, avoiding overload and bad weather.*

**Keywords**: Ship stability. Toba Lake.

## Pendahuluan

Danau Toba adalah danau kaldera terbesar di dunia yang terletak di Provinsi Sumatera Utara, berjarak 176 km ke arah Barat Kota Medan sebagai ibu kota provinsi. Danau Toba ( $2,88^{\circ}$  N –  $98,5^{\circ}$  E dan  $2,35^{\circ}$  N –  $99,1^{\circ}$  E) adalah danau terluas di Indonesia ( $90 \times 30 \text{ km}^2$ ) dan juga merupakan sebuah kaldera volkano-tektonik (kawah gunungapi raksasa) Kuartar terbesar di dunia. Sebagai danau volcano-tektonik terbesar di dunia, Danau Toba mempunyai ukuran panjang 87 km ke arah Barat laut-Tenggara dengan lebar 27 km dengan ketinggian 904 meter dpl dan kedalaman danau yang terdalam 505 meter. Danau Toba dianggap sebagai simpul pemersatu areal tanah yang didiami individu-individu maupun kelompok etnis Batak Toba ini, yang keadaannya berada pada ketinggian 900 m di atas permukaan air laut. Danau ini terbentuk dari vulkanik gunung merapi yang hasil letusannya membentuk sebuah bentuk danau, yang letusannya berdampak menyemburkan kawah yang kemudian dipenuhi oleh debit air yang sangat besar [1]. Danau Toba ini adalah salah satu kebanggaan masyarakat Batak Toba sebagai danau yang sangat bermanfaat untuk sumber kehidupan dari hasil yang ada di dalam danau ini, seperti sumber air bersih, ikan-ikan dan sebagai aset pariwisata karena pemandangannya yang menawan di sekitar danau ini. Beberapa potensi ini jika dioptimalkan maka akan menjadikan Danau Toba sebagai salah satu penunjang ekonomi baik di tingkat lokal maupun nasional sehingga melalui program pemerintah di sektor pariwisata, Danau Toba ditetapkan sebagai salah satu dari “10 Destinasi Pariwisata Prioritas” [2].

Kondisi geografis Danau Toba berupa wilayah perairan dengan beberapa *centre of tourism attractions* yang berada di Pulau Samosir secara mutlak membutuhkan dukungan aksesibilitas baik berupa sarana dan prasarana transportasi, khususnya konektifitas antar moda angkutan di *entry point* terdekat seperti bandara atau kota besar terdekat hingga kebutuhan angkutan lanjutan seperti angkutan penyeberangan dan angkutan darat [3]. Selain ketersediaan sarana dan prasarana pokok transportasi juga dibutuhkan informasi penunjang aksesibilitas seperti angkutan alternatif, brosur, pamflet, dan informasi kondisi jalan darat [4]. Dengan pemenuhan dukungan transportasi yang baik secara kuantitas dan kualitas terhadap sebuah objek wisata maka secara berkesinambungan akan meningkatkan mobilitas wisatawan dan atraksi wisata yang secara langsung juga akan meningkatkan pendapatan masyarakat dari sektor pariwisata [5][6].

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 dan jarak jika dibandingkan dengan moda angkutan darat jika dibandingkan terhadap salah satu *entry point* seperti Bandara Silangit maupun kota Medan dan Siantar, dimana pada moda angkutan darat harus melalui jalur memutar sementara dengan angkutan penyeberangan hanya perlu melalui pelabuhan atau dermaga yang menghubungkan titik terdekat lokasi yang dituju. Angkutan penyeberangan di Danau Toba ditunjang oleh berbagai jenis sarana transportasi antara lain kapal ferry, kapal cepat, dan kapal penumpang-barang tradisional yang menjadi salah satu *icon* sarana angkutan air di Danau Toba. Eksistensi kapal penumpang-barang tradisional tidak dapat dipisahkan dari sejarah transportasi di Danau Toba karena merupakan angkutan

yang merintis rute penyeberangan *existing* [7]. Kapal penumpang-barang tradisional merupakan sarana angkutan yang dibuat di galangan-galangan kapal tradisional yang tersebar pada beberapa desa dan kecamatan dan selanjutnya sedikit demi sedikit mengalami modernisasi dengan penggunaan mesin sebagai tenaga penggerak.

Kapal penumpang-barang tradisional masih memiliki peranan yang besar hingga saat ini karena merupakan angkutan alternatif dari kapal ferry yang jumlahnya terbatas dan hanya melayani beberapa pelabuhan penyeberangan. Di sisi lain, tingginya *demand* masyarakat untuk angkutan penyeberangan dengan rute *point to point* pada periode tertentu sementara jumlah dan kapasitas kapal penumpang-barang yang tersedia pada suatu lokasi terbatas menjadikan *overload* kapal sebagai sebuah pemandangan yang sudah dianggap biasa oleh masyarakat setempat maupun operator kapal. Kondisi wilayah perairan Danau Toba yang luas dan terbuka menjadikan kondisi cuaca sebagai salah satu faktor yang rentan mengakibatkan kecelakaan kapal, yang jika dikombinasikan dengan *human error* dan faktor teknis kapal merupakan penyebab utama terjadinya kecelakaan kapal [8][9]. 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-barang tradisional [10]. Beberapa asumsi awal terhadap kecelakaan kapal KM. Sinar Bangun yang terjadi pada tanggal 18 Juni 2018 menyatakan bahwa kombinasi faktor cuaca, *human error* (pemuatan *overload*) dan kondisi teknis kapal (stabilitas yang kurang baik) secara bersamaan dalam satu momen menjadikan kecelakaan tersebut tidak bisa dihindari [11]. Faktor kelebihan muatan dari aspek teknis merupakan salah satu penyebab seringnya terjadi kecelakaan kapal karena beban yang diberikan lebih besar daripada kapasitas angkut maksimal kapal, hal ini akan mempengaruhi kondisi stabilitas kapal termasuk kapal penumpang-barang tradisional. Penelitian yang dilaksanakan bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas kapal penumpang-barang tradisional yang beroperasi di Danau Toba.

## Metodologi

### A. Tinjauan teoritis

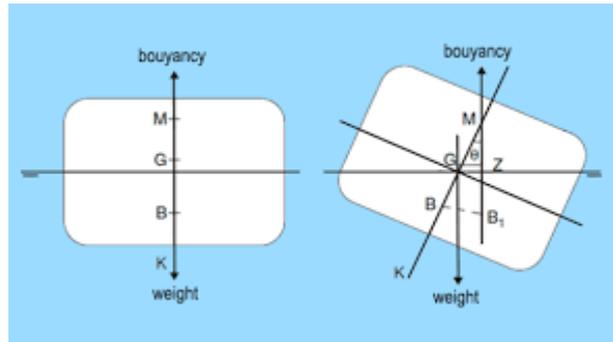
Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mendapatkan pengaruh gaya dari berbagai posisi. Faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam 2 kelompok besar yaitu:

1. Faktor internal

Faktor internal yaitu faktor yang disebabkan oleh gaya bagian dalam kapal, seperti muatan kapal. Bentuk ukuran kapal, dan kebocoran akibat kandas / tubrukan.

2. Faktor eksternal

Faktor eksternal yaitu faktor yang disebabkan oleh gaya luar seperti gelombang laut, angin, arus dan badai.



Sumber : IMO, 2002

**Gambar 1.** Grafik stabilitas kapal

Diagram stabilitas kapal pada gambar di atas menunjukkan letak titik-titik yang berpengaruh pada stabilitas kapal, dimana pusat gravitasi (G), pusat daya apung (B), dan *Metacenter* (M) pada posisi kapal tegak dan miring. Sebagai catatan G pada posisi tetap sementara B dan M berpindah pada saat kapal miring. Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu Stabilitas Positif (*stable equilibrium*), stabilitas Netral (*Neutral equilibrium*) dan stabilitas Negatif (*Unstable equilibrium*).

1. Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)  
Suatu keadaan dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu mengalami kemiringan dan memiliki kemampuan untuk tegak kembali.
2. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)  
Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu mengalami kemiringan. Dengan kata lain bila kapal miring maka tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut kemiringan yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berhimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.
3. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)  
Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu mengalami kemiringan maka tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut kemiringannya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan momen penerus (*heeling moment*) sehingga kapal akan bertambah miring. [12][13]

Untuk memperkaya literatur dalam penelitian ini juga menggunakan acuan primer berupa hasil penelitian yang memiliki relevansi yang akan dilaksanakan baik kesesuaian tema maupun metode analisis. Hasil penelitian terkait menyatakan bahwa untuk kapal tradisional yang beroperasi di Danau Toba belum teridentifikasi secara presisi *hull form* nya sehingga dibutuhkan pengukuran langsung sebagai acuan penggambaran *lines plan* kapal yang menjadi objek penelitian [14]. Penelitian lain

menunjukkan bahwa tinjauan awal karakteristik stabilitas kapal dapat dilihat dari rasio perbandingan antar ukuran utama kapal [15].

## **B. Lokasi dan Waktu penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada periode Juni - September 2018 di Pelabuhan Nainggolan, Kecamatan Nainggolan, Kabupaten Samosir. Metode sampling menggunakan metode *purposive sampling* dengan objek penelitian untuk data primer yaitu **KM. Petrus Sianturi**. Untuk melengkapi data digunakan data sekunder berupa referensi dari teori maupun hasil penelitian yang terkait.

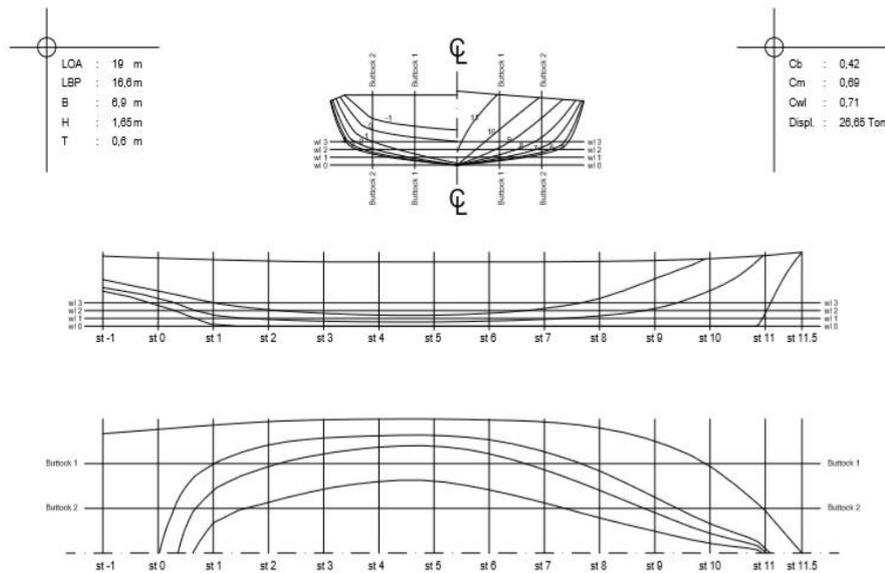
## **C. Metode Analisis**

Analisis stabilitas kapal merupakan sebuah rangkaian analisis kuantitatif dengan input berupa ukuran utama kapal yang dikalkulasikan menurut persamaan yang ditetapkan secara internasional oleh International Maritime Organization (IMO) yang selanjutnya akan menghasilkan evaluasi kriteria stabilitas kapal pada berbagai kondisi pelayaran [16].

# **Analisis dan Pembahasan**

## **A. Dimensi Kapal**

Tahapan pra analisis dimulai dengan penentuan ukuran utama kapal dengan spesifikasi ukuran yang mengacu kepada standar internasional. Berdasarkan data sekunder berupa **Surat Pendaftaran dan Kebangsaan Kapal** ditemukenali fakta bahwa data ukuran yang tercantum belum menunjukkan spesifikasi khusus ukuran utama yang dibutuhkan untuk analisis dimana dalam surat tersebut hanya menunjukkan *Length Overall* (LOA), *Breadth* atau lebar kapal (B), dan *Height* atau tinggi dek utama (H), sementara dalam proses analisis dibutuhkan data *Length Between Perpendicular* (LBP) dan *Draft* atau sarat kapal (t). Untuk itu dilakukan pengambilan data primer berupa pengukuran kapal secara manual sesuai kaidah pengukuran kapal dengan memposisikan kapal secara statis dan stabil yang kemudian dilanjutkan dengan pengukuran dimensi kapal yang meliputi lambung dan seluruh geladak [17]. Hasil pengukuran kapal selanjutnya digambarkan dalam rencana garis yang menggambarkan bentuk khayal kapal pada setiap garis air dari ordinat yang ditunjukkan melalui 3 buah gambar, yaitu: gambar irisan perahu tampak samping (*profil plan*), gambar irisan perahu tampak atas (*half breadth plan*), dan gambar irisan perahu tampak depan (*body plan*). Bentuk lambung kapal dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber : Penulis, 2018

**Gambar 2.** Lines plan KM. Petrus Sianturi

Bentuk dasar lambung kapal dan geladak penumpang selanjutnya dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak dengan skenario kondisi kapal *original single deck* (OSD) dan kondisi kapal modifikasi *double deck* (MDD) serta termasuk kondisi pemuatan terdaftar dan aktual. Kondisi pemuatan aktual menunjukkan bahwa terjadi pemuatan dengan kapasitas hampir tiga kali lipat kapasitas awal karena selain jumlah penumpang dan estimasi barang bawannya yang bertambah juga terdapat pemuatan kendaraan berupa sepeda motor sekitar  $\pm 24$  unit per trip.

**Tabel 1.** Kondisi Pemuatan Kapal

Ruang Muat	OSD	MDD
<i>Main deck</i>	- 50 penumpang - Bagasi	- 50 penumpang - Bagasi - Sepeda motor $\pm 24$ unit
<i>Top deck</i>	-	- 50 penumpang - Bagasi
Estimasi total berat muatan	4 Ton	11,5 Ton (termasuk penambahan berat konstruksi bangunan atas)

Sumber : Survey, 2018

## B. Analisis Stabilitas Kapal

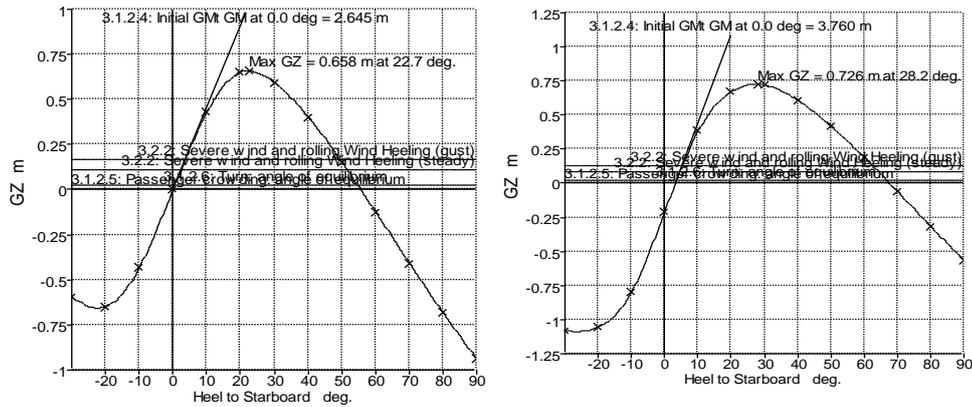
Analisis yang dilakukan terhadap stabilitas kapal pada kapal *sampling* akan dibandingkan pada kriteria stabilitas dari IMO dalam berbagai kondisi operasional dan *hull form*. Batasan analisis kondisi *hull form* adalah kondisi awal dengan geladak tunggal berdasarkan **Surat Pendaftaran dan Kebangsaan Kapal**, serta dengan tambahan geladak penumpang yang bertingkat setelah dilakukan modifikasi. Kondisi operasional yang dianalisis adalah *lightship* (C1), *full load departure* (C2), *on navigation with crowded passenger*(C3), dan *arrival with crowded passenger* (C4). Untuk memudahkan pembacaan, kedua kondisi kapal dinyatakan dalam notasi OSD dan MDD, hasil analisis dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.** *Intact Stability* Kapal berdasarkan IMO Criteria

IMO Criteria (Appendix 749 (18) Chapter 3)	C1		C2		C3		C4	
	OSD	MDD	OSD	MDD	OSD	MDD	OSD	MDD
3.1.2.1: Area 0 to 30	√	√	√	√	√	√	√	√
3.1.2.1: Area 0 to 40	√	√	√	√	√	√	√	√
3.1.2.1: Area 30 to 40	√	√	√	√	√	√	√	√
3.1.2.2: Max GZ at 25 or greater	√	√	√	√	√	√	√	√
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	√	√	√	<b>X</b>	√	<b>X</b>	√	<b>X</b>
3.1.2.4: Initial GMt	√	√	√	√	√	√	√	√
3.2.2: Severe wind and rolling	√	√	√	<b>X</b>	√	<b>X</b>	√	<b>X</b>

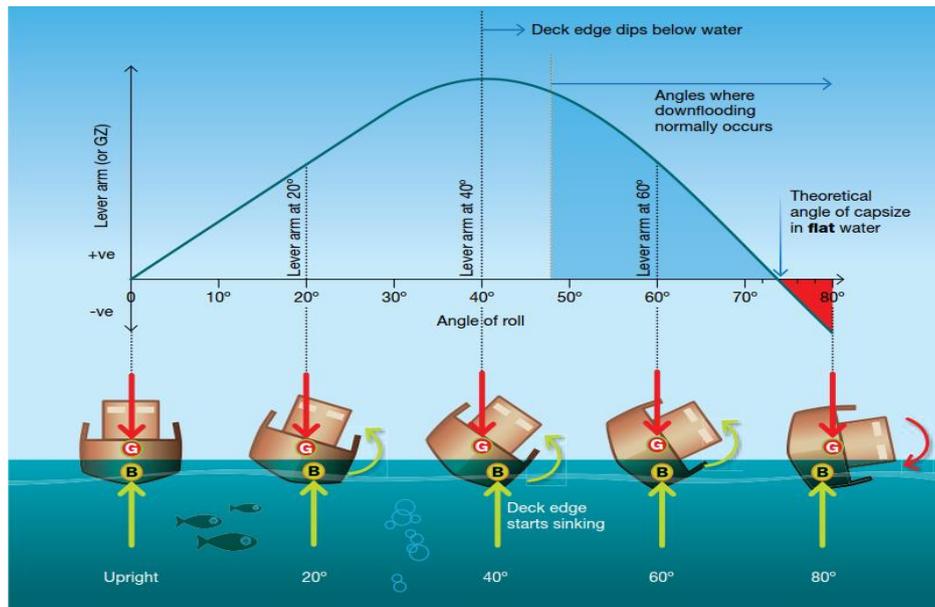
Sumber : Analisis, 2018

Berdasarkan *resume* hasil analisis di atas, terlihat bahwa kapal MDD gagal memenuhi kriteria stabilitas IMO pada berbagai kondisi pelayaran di kategori Max GZ dimana pada *Intact Stability* disyaratkan pada Max GZ kapal harus memiliki momen pengembali pada saat mengalami kemiringan di atas  $25^0$  namun pada hasil analisis didapatkan hasil bahwa kapal MDD hanya mampu mengalami kemiringan kritis maksimal  $22,7^0$ , sebaliknya kapal OSD mampu memenuhi semua kriteria stabilitas yang disyaratkan pada berbagai kondisi pelayaran, terutama C3 dimana pada kondisi C3 kapal OSD mampu mengalami kemiringan kritis sebesar  $28^0$  dimana nilai ini berada di atas nilai standar sebesar  $25^0$ . Grafik stabilitas kapal kedua kondisi kapal pada kategori C3 dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 3.** Grafik stabilitas kapal MDD dan OSD pada kondisi C3



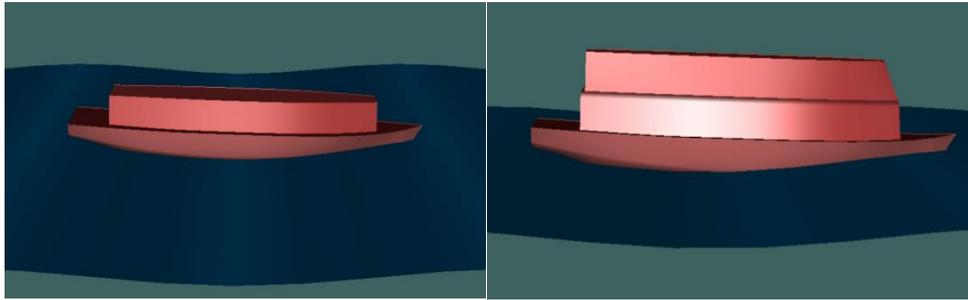
Sumber : Naval Architect and Marine Engineers (online), 2018

**Gambar 4.** Grafik tahap kemiringan kapal terhadap kurva stabilitas

Berdasarkan analisis stabilitas kapal pada berbagai kondisi pelayaran yang ditampilkan pada Tabel 2 dan divisualisasikan pada Gambar 3 kondisi C3 dan Gambar 4, kapal MDD tidak memenuhi kriteria stabilitas IMO terutama pada kondisi kemiringan GZ adalah pada saat kapal *on navigation with crowded passenger (C3)*. Jika dibandingkan dengan data hidroceanografi Danau Toba maka kondisi kritis ini memungkinkan untuk terjadi pada ketinggian gelombang 0,6 meter ke atas dan mirip dengan situasi tenggelamnya kapal KM Sinar Bangun dimana pengaruh gelombang yang menerpa kapal dan mengakibatkan terbalik hingga akhirnya tenggelam juga terjadi pada saat banyak pergerakan *crowded* penumpang yang naik turun ke *top deck* di saat kapal sementara berlayar dan mendapat hantaman gelombang tinggi.

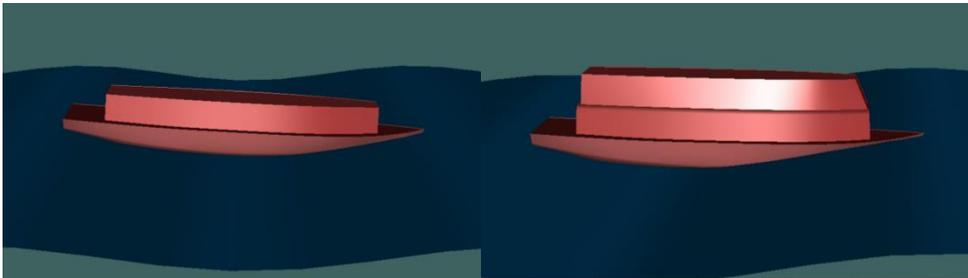
Untuk visualisasi kemampuan kapal dalam berlayar di perairan lokal dapat dilakukan proses simulasi dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf dengan memposisikan kapal terhadap berbagai arah dan ketinggian gelombang. Pada

penelitian ini dilakukan simulasi terhadap kondisi kapal pada kondisi asli *single deck* (gambar sebelah kiri) dan setelah mengalami modifikasi penambahan dek penumpang di tingkat atas (gambar sebelah kanan) dengan menggunakan kecepatan rata-rata kapal yaitu 6 knot, serta ketinggian gelombang normal 0,3 meter dan kritis 0,6 meter.



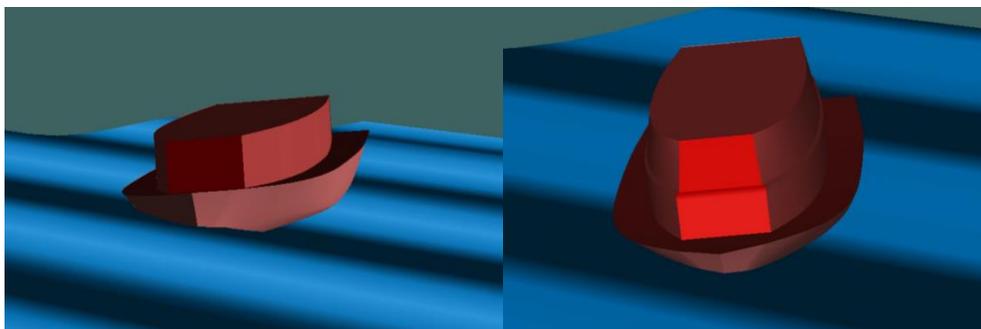
Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 5.** Simulasi stabilitas kapal pada gelombang normal tegak lurus



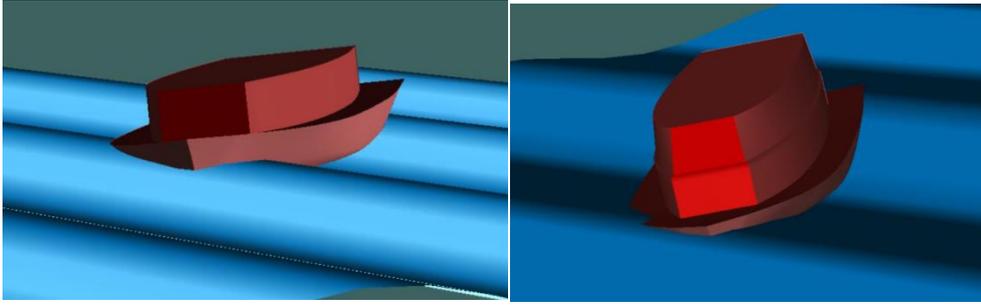
Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 6.** Simulasi stabilitas kapal pada gelombang kritis tegak lurus



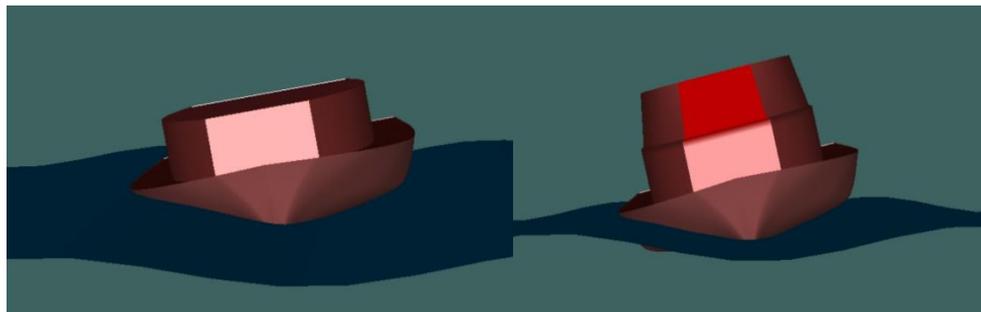
Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 7.** Simulasi stabilitas kapal pada gelombang normal diagonal



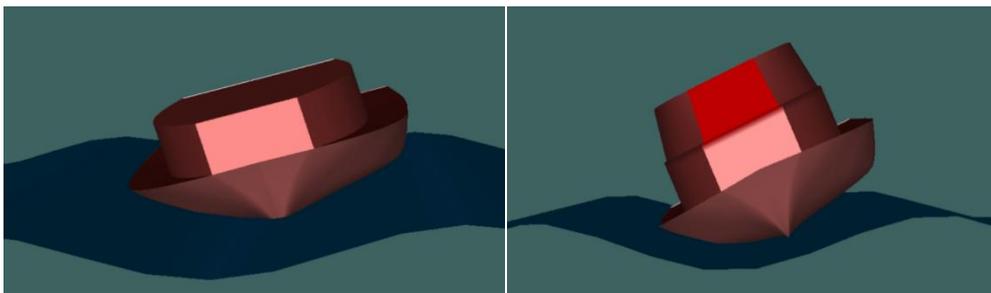
Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 8.** Simulasi stabilitas kapal pada gelombang kritis diagonal



Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 9.** Simulasi stabilitas kapal pada gelombang normal horizontal



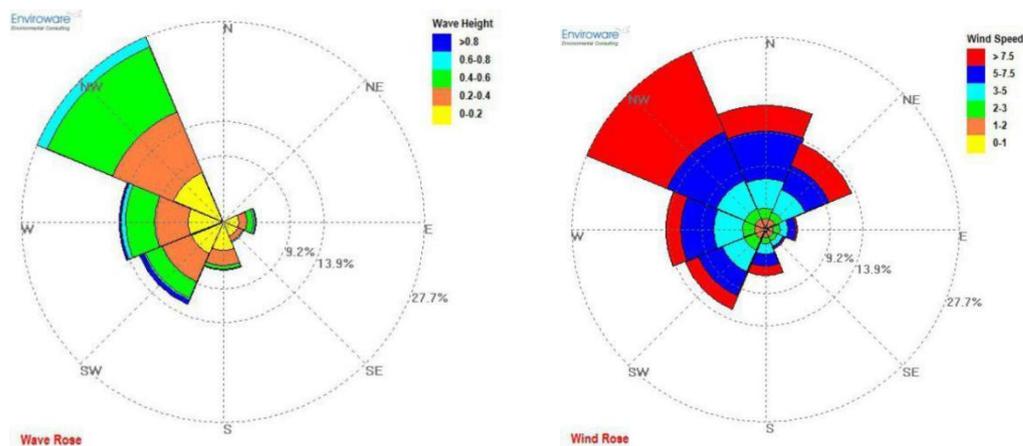
Sumber : Analisis, 2018

**Gambar 10.** Simulasi stabilitas kapal pada gelombang kritis horizontal

Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa pada kondisi kritis kapal masih punya stabilitas yang baik pada saat menghadapi gelombang dari arah haluan, sementara kondisi yang rawan dapat terjadi pada saat kapal mendapatkan pengaruh gelombang dari arah samping baik pada arah diagonal dan tegak lurus sisi kapal.

### C. Stabilitas Kapal berdasarkan Kondisi Hidro Oceanografi Lokal

*Windrose* adalah diagram yang digunakan oleh *stakeholder* untuk mengetahui persentase hembusan angin dari setiap arah mata angin selama periode observasi pada lokasi tertentu. Sering kali *windrose* menunjukkan besarnya kecepatan angin dan persentase angin *calm*. *Windrose* biasanya memiliki delapan arah garis sesuai pola mata angin umumnya. Berdasarkan kesamaan fungsi infografisnya, informasi mengenai arah dan tinggi rata-rata gelombang juga dapat ditampilkan dalam bentuk yang sama dan selanjutnya dapat dibahasakan sebagai *waverose*. Penggambaran *windrose* dan *waverose* secara spesifik dapat memberikan informasi mengenai kondisi angin dan gelombang representatif di suatu kawasan perairan maupun pelabuhan. Gambaran kondisi angin dan gelombang representatif sekitar sisi selatan wilayah perairan Danau Toba yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber : Sinaga, 2017

**Gambar 11.** Waverose dan windrose Pelabuhan Sipinggian

Berdasarkan data kondisi hidro oceanografi pada Pelabuhan Sipinggian, Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara sebagai pelabuhan terdekat dari lokasi pengambilan data ditemukan fakta bahwa gelombang dan angin representatif yang dominan yaitu mengarah ke barat laut (NW) serta barat (W) dan barat daya (SW). Ketinggian gelombang representatif yang mengarah ke tiga arah tersebut secara dominan berada pada rentang 0,2 - 0,6 meter. Meskipun persentasenya kecil namun terdapat peluang terjadinya gelombang dengan ketinggian antara 0,6 meter hingga diatas 0,8 meter. Secara umum periode gelombang adalah 3 detik. Kondisi angin representatif yang paling dominan adalah ke arah barat laut (NW) pada rentang 5-7,5 knot dan diatas 7,5 knot. Selain itu angin juga tersebar secara merata pada persentase yang lebih rendah pada arah utara (N), barat (W), timur laut (NE) dan barat daya (NW) [18].

Hasil analisis kriteria stabilitas kapal yang ideal menurut kriteria IMO pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dalam kondisi kapal dengan *single deck* menunjukkan bahwa pada kondisi *full load* di berbagai kondisi operasional kedua kapal tersebut menunjukkan performa stabilitas yang sangat baik terutama pada kriteria 3.1.2.3: *Angle of maximum GZ* yang mensyaratkan derajat kemiringan maksimal agar kapal

masih memiliki momen pengembali ke posisi tegak. Pada kriteria tersebut disyaratkan kemiringan minimal  $25^\circ$  sementara dari hasil analisis/simulasi didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa kapal masih dapat kembali ke posisi awal setelah mengalami kemiringan hingga  $28,2^\circ$ .

Hasil analisis pada kondisi kapal MDD ditambah kondisi pemuatan yang menambahkan pemuatan kendaraan roda dua dalam jumlah banyak dan ditempatkan pada *gangway* kapal dan buritan menunjukkan bahwa dalam kondisi *full load* di berbagai kondisi operasional menunjukkan performa stabilitas kapal tersebut tidak memenuhi standar minimum terutama pada kondisi 3.1.2.3: *Angle of maximum GZ* yang mensyaratkan derajat kemiringan maksimal agar kapal masih memiliki momen pengembali ke posisi tegak. Pada kriteria tersebut disyaratkan kemiringan minimal  $25^\circ$  sementara dari hasil analisis/simulasi didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa kapal mulai kehilangan momen pengembali pada kemiringan rata-rata  $23^\circ$ . Begitu juga dengan kriteria 3.2.2: *Severe wind and rolling* dimana penambahan level dek penumpang menjadikan kapal memiliki bidang tangkapan angin yang besar, penambahan beban pada bagian atas kapal sehingga kombinasi bidang tangkapan angin dan kemiringan kapal akibat gelombang mengakibatkan kapal akan kesulitan mendapatkan momen pengembali terutama pada gerak *rolling* yang mengakibatkan kapal miring lebih dari  $23^\circ$  dimana setelah kemiringan tersebut selisih derajat kemiringan antara *steady heel* dan *deck edge* kurang dari 100% atau dari hasil analisis hanya rata-rata berkisar 27,5%.

Kondisi lain yang sangat mengganggu stabilitas adalah adanya *crowded passenger* atau pergerakan penumpang pada saat kapal berlayar. Kondisi yang bisa menyebabkan kapal secara tiba-tiba berada dalam kemiringan kritis adalah pada saat banyak penumpang yang bergerak ke salah satu sisi kapal sementara di sisi yang berlawanan kapal mendapatkan hantaman gelombang serta hembusan angin yang cukup kuat. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapal bisa mengalami kemiringan kritis jika mendapatkan hantaman gelombang dari sisi kapal dengan ketinggian 0,6 meter keatas. Berdasarkan pembagian kondisi angin dan gelombang yang dinyatakan dalam skala Beaufort kondisi rawan pada wilayah perairan sesuai kemampuan teknis kapal adalah ketika angin berhembus secara konstan pada kecepatan 6 knot keatas yang mampu menghasilkan gelombang dengan ketinggian rata-rata 0,6 meter keatas atau dalam skala Beaufort 2/12 hingga 3/12.

Rasio ukuran utama kapal juga menunjukkan bahwa kapal ini memiliki stabilitas yang kurang baik dan cadangan daya apung yang kurang. Hasil perbandingan antara sarat (T) dan lebar kapal (B) berada pada rentang nilai 0,1 dan 0,12 dimana nilai tersebut berada dibawah kriteria ideal yang mensyaratkan nilai antara 0,35~0,45. Semakin besar rasio lebar dan sarat kapal, lengan stabilitas akan semakin besar. Dengan demikian, luas di bawah kurva sampai sudut kemiringan tertentu juga akan semakin besar. Perubahan lengan stabilitas cenderung semakin kecil dengan bertambahnya rasio lebar dan sarat kapal. Makin kecil sarat kapal, lambung timbul kapal semakin besar sehingga sudut kemiringan sampai tepi geladak terbenam ke dalam air juga akan semakin besar. Lebar garis air kapal akan semakin besar dengan bertambahnya sudut kemiringan sampai sudut kemiringan dimana tepi geladak terbenam dalam air. Akibat dari fenomena tersebut, jari-jari metasentra (MB) semakin

besar sehingga lengan stabilitas juga menjadi semakin besar dengan bertambahnya rasio lebar dan sarat kapal. Sudut kemiringan dengan lengan stabilitas maksimum juga cenderung untuk bertambah besar dengan bertambahnya rasio lebar dan sarat kapal. Besar pertambahan sudut kemiringan dengan lengan stabilitas maksimum semakin kecil ketika rasio lebar dan sarat kapal semakin besar. Pada rasio lebar dan sarat yang kecil atau sarat kapal yang relatif besar, sudut dimana lengan stabilitas maksimum terjadi sangat dipengaruhi oleh lambung timbul. Ketika sarat kapal diperkecil atau rasio lebar dan sarat menjadi besar, sudut kemiringan dimana dasar kapal muncul di atas permukaan air juga berpengaruh terhadap sudut kemiringan dimana lengan stabilitas maksimum terjadi. Sudut kemiringan dengan lengan stabilitas nol (*angle of vanishing stability*) semakin besar dengan bertambahnya rasio lebar dan sarat kapal.

Rasio ukuran utama lain yang berpengaruh terhadap stabilitas adalah T/H atau perbandingan antara sarat kapal dengan tinggi kapal. Berdasarkan hasil analisis terlihat bahwa nilai akhir rasio hanya 0,42 dimana nilai tersebut berada dibawah kriteria ideal 0,56 ~ 0,72 artinya dengan nilai rasio yang rendah tersebut kapal akan berkurang cadangan daya apungnya karena *freeboard* juga semakin rendah. Pengaruh modifikasi kapal berupa dek penumpang yang bertingkat dilakukan dengan maksud menambah muatan kapal namun secara langsung hal tersebut mengurangi sarat kapal dimana pada kondisi asli kapal memiliki sarat rata-rata 0,6 meter sementara setelah dimodifikasi berubah menjadi sekitar 0,7 meter. Penambahan sarat secara langsung mengurangi tinggi *freeboard* yang merupakan salah satu indikator awal untuk cadangan daya apung kapal karena semakin rendah *freeboard* maka semakin mudah air mencapai permukaan *main deck* pada saat miring. Jika pada *main deck* terdapat bukaan atau lubang yang tidak kedap air maka semakin sering terjadi oleng maka peluang air masuk ke lambung kapal dan membanjiri ruang muat akan semakin besar.

Penilaian akhir terkait stabilitas kapal dilakukan secara kumulatif berdasarkan hasil analisis yang dilakukan sebelumnya. Untuk melihat kemampuan kapal dalam berlayar di perairan lokal dapat dilakukan proses simulasi dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf dengan memosisikan kapal terhadap berbagai arah gelombang. Pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap tiga arah yaitu tegak lurus haluan, diagonal haluan, dan tegak lurus sisi kapal. Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa kapal dalam kondisi *single deck* maupun setelah modifikasi mampu berlayar dengan stabil pada berbagai kondisi pada ketinggian gelombang rata-rata 0,3 meter.

Kondisi kapal berlayar pada perairan dengan ketinggian gelombang rata-rata 0,5 meter atau lebih merupakan kondisi menuju titik kritis kemiringan maksimal kapal dengan kondisi dek bertingkat dapat dengan mudah terjadi dimana pada saat menghadapi gelombang longitudinal dari arah lurus haluan kapal maka pada saat haluan kapal mengenai puncak gelombang maka ketinggian air sama dengan *main deck* sehingga *main deck* rawan kemasukan air, namun pada kondisi gelombang ini kapal masih memiliki momen pengembali ketika pengaruh gelombang tidak membuat kapal miring hingga diatas 24° seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Simulasi selanjutnya pada Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan pada saat berada pada gelombang diagonal kapal dengan dek bertingkat meskipun masih memiliki momen pengembali pada kemiringan hingga 24° namun kondisi rawan yang terjadi adalah ketinggian gelombang menjadi sama dengan *main deck* sehingga air bisa masuk ke kabin penumpang dari sisi haluan mulai dari *midship* ke haluan. Di sisi lain

kapal *single deck* pada saat menghadapi gelombang kritis diagonal, ketinggian air juga mudah mencapai *main deck* namun air tidak sampai membanjiri atau masuk ke kabin penumpang.

Kondisi yang paling rawan adalah pada saat kapal mendapatkan hantaman gelombang tegak lurus ke arah salah satu sisi kapal terutama untuk kapal dengan dek bertingkat yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Pada kondisi ini begitu kapal berada pada puncak gelombang maka seketika kapal akan mengalami kemiringan dan menempatkan seluruh sisi kapal di dasar gelombang sehingga posisi puncak gelombang berikutnya sudah berada di atas *main deck*. Terdapat dua kondisi yang mungkin terjadi pada situasi kritis ini, kondisi yang pertama adalah kapal tidak mengalami kemiringan di atas  $23^\circ$  sehingga kapal masih memiliki momen pengembali pada periode olengnya meskipun pada saat kapal bergerak kembali ke posisi tegak air sudah membanjiri *main deck* namun jika tidak ada bukaan yang membuat air masuk membanjiri kabin penumpang di *main deck* maka kondisinya masih dapat dikatakan aman. Kondisi kedua adalah kapal mengalami kemiringan kritis di dasar gelombang dan tidak lagi memiliki momen pengembali akibat perpindahan beban muatan sekaligus ke satu sisi kapal yang mengalami kemiringan, kondisi kedua rawan terjadi karena pada umumnya kapal di Danau Toba juga memuat kendaraan roda dua dalam jumlah banyak dan ditempatkan di *gangway* kedua sisi kapal sehingga beban awal di kedua sisi kapal kurang lebih sebesar 2,5 ton dimana beban tersebut ketika diakumulasikan dengan berat bangunan atas dan muatannya seketika akan menjadi tambahan gaya tekan ke bawah ketika kapal mengalami kemiringan yang mempercepat kapal mencapai kemiringan kritis dan bisa mengakibatkan kapal terbalik dalam waktu singkat. Sebaliknya untuk kapal *single deck* meskipun air dengan mudah mencapai *main deck* namun kapal masih mempunyai momen pengembali karena mampu mencapai kemiringan kritis hingga  $28^\circ$  dimana nilai ini berada di atas standar kriteria sebesar  $25^\circ$ .

## Simpulan

Berdasarkan latar belakang penelitian dan tahapan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi aktual kapal penumpang-barang tradisional yang beroperasi di Danau Toba telah mengalami modifikasi penambahan bangunan atas menjadi *double deck* sementara dalam Surat Pendaftaran dan Kebangsaan Kapal didaftarkan dalam kategori *single deck*. Modifikasi juga mengakibatkan penambahan muatan hampir tiga kali lipat kapasitas awal, kondisi tersebut mengakibatkan bobot kapal bertambah, cadangan daya apung berkurang, dan rendahnya sudut kritis pada saat oleng. Hal ini sesuai dengan hasil analisis yang menunjukkan kondisi stabilitas kapal kurang baik karena tidak memenuhi kriteria sudut kemiringan yang disyaratkan oleh IMO serta stabilitasnya mudah dipengaruhi angin kencang. Sebaliknya berdasarkan simulasi stabilitas terhadap kapal dengan kondisi awal *single deck* menunjukkan kapal ini memiliki stabilitas yang baik karena memenuhi seluruh kriteria stabilitas ideal IMO pada berbagai kondisi pelayaran.

Untuk meningkatkan keselamatan pelayaran dapat direkomendasikan kepada Dinas Perhubungan Propinsi Sumatera Utara dan Kabupaten Samosir untuk melakukan pengukuran ulang terhadap seluruh kapal penumpang-barang tradisional sebagai syarat perpanjangan Surat Pendaftaran dan Kebangsaan Kapal dan untuk mengidentifikasi ukuran utama kapal yang menjadi panduan perhitungan stabilitas

berkoordinasi dengan Syahbandar Pelabuhan Utama Belawan. Setiap kapal yang telah diukur ulang wajib menampilkan marka garis muat di lambungnya untuk fungsi kontrol pemuatan. Fungsi kontrol petugas pos pelabuhan dan nakhoda sebelum pemberian izin berlayar perlu berpatokan kepada informasi cuaca yang akurat dan aktual. Untuk mengembalikan kondisi kapal ke stabilitas ideal dapat dilakukan dengan penambahan **cadik** di kedua sisi kapal, alternatif yang lain adalah menghilangkan *top deck*. Pemberlakuan kebijakan rekondisi kapal dari *double deck* menjadi *single deck* perlu dukungan dan *policy brief* karena tidak bisa terlepas dari pertimbangan faktor lain seperti legal dan ekonomi/finansial. Untuk penelitian selanjutnya dengan topik yang sejenis perlu dilakukan dengan variasi *sample* dari berbagai ukuran kapal.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Kepala Puslitbang Transportasi laut, Sungai, Danau dan Penyeberangan beserta jajaran struktural, peneliti dan staf, Dinas Perhubungan Kabupaten Samosir, narasumber pemilik kapal, beserta seluruh pihak yang memberikan dukungan dan bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap pelaksanaan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] [http://bpiw.pu.go.id/product/download\\_attachments?file=Dokumen%20Profil%20Pengembangan%20Kawasan%20Strategis%20-%20Resume%20Kawasan%20Danau%20Toba.pdf](http://bpiw.pu.go.id/product/download_attachments?file=Dokumen%20Profil%20Pengembangan%20Kawasan%20Strategis%20-%20Resume%20Kawasan%20Danau%20Toba.pdf). Diakses tanggal 28 Juni 2018 pukul 14.30 WIB;
- [2] <http://presidenri.go.id/wp-content/uploads/2017/10/KEMENPAR-Laporan-3-Th-Jkw-JK.pdf>. Diakses tanggal 28 Juni 2018 pukul 15.00 WIB;
- [3] Budi Sitorus, Peran Transportasi dalam Mendukung Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Danau Toba, Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik - Vol. 04 No. 01, Maret 2017;
- [4] Rizky Arimazona Siregar, Pengembangan Kawasan Pariwisata Danau Toba, Kabupaten Samosir, TATALOKA - Volume 20 Nomor 2 - Mei 2018, Biro Penerbit Planologi Undip;
- [5] Ugy Soebiyantoro, Pengaruh Ketersediaan Sarana Prasarana, Sarana Transportasi terhadap Kepuasan Wisatawan, Jurnal Manajemen Pemasaran, Volume 4 Nomor 1, April 2009;
- [6] Nani Tambunan, Posisi Transportasi dalam Pariwisata, Majalah ilmiah Panorama edisi VI, Januari-Juni 2009;
- [7] Rosita Sinaga, Kajian Pelayanan Kapal Ferry Penyeberangan untuk Mendukung Pariwisata di Kawasan Danau Toba, Puslitbang Transportasi Laut SDP, 2016;
- [8] KNKT, Laporan Analisis Trend Kecelakaan Laut 2003-2008;

- [9] Harnoli Rahman, 2017, Penentuan Faktor Dominan Penyebab Kecelakaan Kapal di Kesyahbandaran Utama Tanjung Priok, ALBACORE, Volume I Nomor 3, Oktober 2017;
- [10] <http://aceh.tribunnews.com/2018/06/21/selain-km-sinar-bangun-ini-deretan-kecelakaan-kapal-yang-pernah-terjadi-di-danau-toba?page=2>. Diakses 7 Juli 2018 pukul 08.00 WIB;
- [11] <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20180621142055-20-307795/jk-sebut-tiga-kemungkinan-penyebab-kecelakaan-km-sinar-bangun>. Diakses 24 Juni 2018, pukul 09.30 WIB;
- [12] Hind, Anthony. 1982. Hind, Anthony. 1982. *“Stability And Trim Of Fishing Vessel And Other Small Ships”*. Fishing News Book Ltd. England;
- [13] Barras, Bryan. Ship Stability for Master and Mates, 7<sup>th</sup> edition, Butterworth-Heinemann. 2012;
- [14] Parlindungan, Manik. 2008. *Studi Hull Form Kapal Barang-Penumpang Tradisional Di Danau Toba Sumatera Utara*. Jurnal KAPAL, Vol. 5, No.3, Oktober 2008;
- [15] Paroka, Daeng. 2018. *Karakteristik Geometri Dan Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Kapal Ferry Ro-Ro Di Indonesia*. Jurnal KAPAL, Vol. 15, No.1 Februari 2018. Universitas Diponegoro Semarang;
- [16] International Maritime Organization (IMO), *“Stability Criteria for All Types of Ships,”* International Maritime Organization, London, 2002;
- [17] Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 8 Tahun 2013 Tentang Pengukuran Kapal;
- [18] Rosita Sinaga, *Studi Penyusunan Rencana Induk Pelabuhan Sipinggan Kabupaten Samosir, Puslitbang Transportasi Laut, Sungai, Danau dan Penyeberangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan, 2017.*