

## STUDI PERANCANGAN KAPAL FERRY RO-RO MODEL KATAMARAN DI PERAIRAN DANAU TOBA

**Samuel**

Dosen  
Universitas Diponegoro  
Departemen Teknik Perkapalan  
[samuel@ft.undip.ac.id](mailto:samuel@ft.undip.ac.id)

**Binart Reynaldo Pardosi**

Mahasiswa  
Universitas Diponegoro  
Departemen Teknik Perkapalan  
[samuel@ft.undip.ac.id](mailto:samuel@ft.undip.ac.id)

*Samosir is an island in North Sumatra which is used as a tourist destination because of the beauty of its lake. Crossing to the island of Samosir requires a ship as sea transportation. Based on data from the Ministry of Transportation, Ajibata Port, the process of crossing vehicles on holidays has been delayed due to a surge in passengers during the high season. The purpose of this research is to design/plan a ship to overcome the accumulation of the number of vehicles in the high season. The method used is the comparison ship method. The number of comparison ships is ten ships of the same type and has met the design criteria as a reference in determining the main size of the new ship. Determination of resistance on this catamaran ferry using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The way CFD works is using the Navier-Stokes equation to describe the turbulence model with  $k-\epsilon$  using multiphase water and air flows. The stability analysis was based on the conditions of the four different compartments following the IMO requirements. The motion analysis was based on the wave height on Lake Toba following the 1987 NORDFORSK rules. The results of the ro-ro ferry design resulted in the main dimensions of the LPP being 49.26 m long, 14.32 m wide, 2.4 m laden, and 4 m high. 9 m,  $C_b$  demihull 0.54 and a speed of 11 knots. The resistance value generated using CFD simulation is 68.8 KN. Based on the resistance value, two main engines of 253.3 HP are used.*

**Keywords:** Lake Toba, Design, CFD, Ferry

### 1. PENDAHULUAN

Kapal fery di Danau Toba masih terbilang kurang. Hal ini menyebabkan lonjakan antrian kendaraan yang masuk atau keluar daerah Samosir pada akhir tahun terbilang banyak yang menyebabkan kemacetan di sepanjang jalan. Jumlah kendaraan yang diangkut oleh kapal KMP. Ihan Batak pada bulan Desember 2020 (Tabel 1) mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu 4964[1]. Jumlah kendaraan meningkat menjelang hari libur. Hal ini berdampak pada antrian panjang di area pelabuhan maupun di luar area pelabuhan yang menyebabkan terganggunya pengguna jalan karena penggunaan area jalan sebagai lahan antrian parkir.

Berdasarkan data Kemenhub, jumlah rata-rata kendaraan yang melakukan penyeberangan mulai tanggal 24 sampai 31 Januari 2020 adalah 280 [1]. Kapasitas muatan kapal ferry Ihan Batak mampu menyeberangkan kendaraan sebanyak 128 dalam sehari. Jumlah sisa kendaraan yang mengantri di pelabuhan Ajibata pada hari normal didapatkan dari selisih antara hasil dari rata-rata peningkatan jumlah kendaraan yang signifikan dengan kapasitas total kapal ferry Ihan Batak yaitu 152 kendaraan. Kapal yang akan didesain pada hari normal beroperasi sebanyak empat kali dalam sehari. Berdasarkan hasil analisa, jumlah kapal dan kapasitas kendaraan yang direncanakan adalah satu kapal dengan kapasitas 38 kendaraan.

Kapal yang direncanakan memiliki luas geladak yang lebih luas sehingga dapat memuat kapasitas kendaraan yang direncanakan. Kapal yang akan didesain bertipe lambung katamaran. Kapal ferry ro-ro dengan tipe monohull memiliki kekurangan bila dibandingkan dengan tipe katamaran sehingga dalam operasionalnya akan kurang fungsional, efektif, dan efisien. Kekurangan tersebut yaitu pada saat *peak season* (lebaran, natal & tahun baru) jumlah penumpang dan kendaraan membludak dan sebagian penumpang tidak dapat terangkut.

**Tabel 1:** Data penyeberangan kapal ferry KMP Ihan Batak Samosir /Bulan[1]

BULAN	KENDARAAN RODA DUA	KENDARAAN RODA EMPAT	TOTAL KENDARAAN
Januari	445	3616	4060
Februari	339	2384	2723
Maret	178	1921	2099
April	53	266	319
Mei	17	134	151
Juni	2	239	241
Juli	16	352	368
Agustus	203	2223	2426
September	99	1975	2074
Oktober	275	3766	4041
November	302	3052	3354
Desember	314	4650	4964

Kapal dengan lambung katamaran memiliki nilai hambatan yang lebih kecil dibandingkan lambung *monohull*, sehingga dapat meminimalisir hambatan pada lambung kapal[2]. Perhitungan hambatan pada kapal ferry ini menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dinamic*). Simulasi CFD disesuaikan berdasarkan kondisi di perairan Danau Toba. Penentuan hambatan dengan menggunakan metode CFD yaitu karena lambung katamaran memiliki bentuk lambung yang lebih kompleks dibandingkan dengan lambung *monohull*. Hasil simulasi CFD dapat diterima dengan rumus empiris menghasilkan *error* di bawah 5%[3]. Dengan nilai *error* yang relatif kecil, kesalahan dalam pemilihan mesin dapat diminimalisir. Pada penelitian abu bakar menunjukkan bahwa CFD dapat memprediksi hambatan kapal cepat dengan baik. Penelitian tersebut memberikan informasi tentang *meshing* strategi untuk mengurangi *eror* pada CFD[4]. Hambatan total pada lambung kapal juga dipengaruhi oleh jarak antar kedua lambung kapal. Semakin dekat jarak antar lambung katamaran maka nilai hambatan kapal juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena aliran yang dihasilkan oleh kedua lambung kapal saling bertabrakan sehingga menghasilkan pola aliran kurang baik[5].

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini yaitu ukuran utama kapal yang sesuai dengan karakteristik di Danau Toba, bentuk rencana garis kapal yang sesuai dengan daerah pelayaran, rencana umum, karakteristik kapal dari sisi stabilitas, dan olah gerak kapal.

## 2. METODE PERANCANGAN KAPAL

Perancangan kapal ferry ini menggunakan metode kapal pembanding dalam menentukan ukuran utama kapal baru. Metode yang digunakan dalam menentukan ukuran utama adalah kapal pembanding. Metode kapal pembanding merupakan metode yang menggunakan beberapa data kapal yang dijadikan sebagai acuan dalam menentukan ukuran utama kapal. Jenis lambung yang digunakan adalah katamaran. Alasan pemilihan jenis lambung katamaran dikarenakan lambung dengan tipe katamaran memiliki luas deck yang lebih luas dibandingkan kapal dengan tipe *monohull*. Penelitian ini mempertimbangkan jarak lambung ( $S/L$ ) menggunakan persamaan 1.

$$(1 + \beta_k) = 3.03 (L/V^{1/3})^{-0.40} + 0.016 (S/L)^{-0.65} \quad (1)$$

Nilai  $\tau$  merupakan faktor interferensi gelombang yang disebabkan oleh aliran fluida di sekitar katamaran pada jarak antar lambung ( $S$ ) dan panjang kapal ( $L$ ). Komponen hambatan kapal katamaran memiliki fenomena yang lebih kompleks daripada kapal *monohull*, yang disebabkan oleh pengaruh interaksi lambung dua kapal dengan gelombang interferensi yang memberikan pengaruh pada pembentukan lapisan batas dan vortisitas longitudinal. Sedangkan interferensi gelombang disebabkan oleh interaksi gelombang yang dihasilkan oleh masing-masing lambung kapal katamaran [6].

Penelitian ini menggunakan data sekunder dalam menentukan ukuran utama kapal. Data sekunder tersebut berupa data kapal pembanding dengan mempertimbangkan kapasitas muatan yang dapat mengangkut

38 mobil. Parameter dalam menentukan ukuran utama kapal ini ditunjukkan pada tabel 2 dan disesuaikan dengan kondisi perairan Danau Toba. Kecepatan dinas yang digunakan pada saat beroperasi adalah 11 knot.

**Tabel 2:** Ukuran utama kapal

NO	SYARAT UKURAN UTAMA	DIMENSI
1	LPP minimal	48 m
2	B minimal	11 m
3	Sarat maksimal	6 m

Tabel 2 menjelaskan ukuran utama minimal yang harus dipenuhi agar kapal dapat mengangkut kapasitas muatan yang telah direncanakan. Panjang LPP minimal dan lebar minimal kapal merupakan dimensi kapal ketika kendaraan telah memasuki kapal dengan kapasitas 38 kendaraan. Sedangkan sarat maksimum kedalaman perairan yang boleh masuk ke pelabuhan Ajibata adalah 6 meter.

## 2.1 Rencana Umum

Rencana umum merupakan penyusunan ruangan yang ada di kapal. Ruangan yang dimaksud pada kapal ini adalah ruang muat, kamar mesin dan akomodasi. Di samping itu juga, penempatan peralatan-peralatan dan beberapa sistem dan perlengkapan lainnya direncanakan sedemikian rupa sehingga kapal memiliki safety yang baik. Proses perencanaan atau penyusunan disesuaikan dengan kebutuhan yang ada di kapal.

## 2.2 Analisa Hambatan

Hambatan total merupakan gabungan dari komponen-komponen tahanan yang ada pada kapal. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin kecil jarak antar lambung maka pengaruh gangguan (interference) gelombang dari kedua lambung semakin besar. Namun pada angka froude yang kecil efek gangguan gelombang terhadap tahanan kapal juga semakin kecil [7]. Hambatan kapal dibagi menjadi empat bagian yaitu *frictional resistance*, *wave making resistance*, *Eddy resistance* dan *air resistance*. Hambatan yang ditimbulkan akibat adanya gesekan antara badan kapal dengan fluida ketika kapal bergerak disebut *frictional resistance*. Hambatan yang disebabkan oleh gelombang yang ada ketika kapal bergerak disebut *wave making resistance*. Hambatan yang disebabkan oleh arus akibat adanya badan kapal dan bagian lainnya yang ada pada kapal disebut *eddy resistance*. Hambatan yang disebabkan oleh adanya udara ketika kapal bergerak, namun nilai daripada hambatan udara ini biasanya sangat kecil dikarenakan massa jenis udara yang relatif kecil dibandingkan dengan *air resistance*. Komponen hambatan wave-making resistance dan Eddy resistance biasanya disebut sebagai *residuary resistance* [8].

$$CT = (1 + \beta k) + rC \quad (2)$$

Nilai  $\tau$  merupakan faktor interferensi gelombang yang disebabkan oleh aliran fluida di sekitar katamaran pada jarak antar lambung (S) dan panjang kapal (L). Komponen hambatan kapal katamaran memiliki fenomena yang lebih kompleks daripada kapal *monohull*, yang disebabkan oleh pengaruh interaksi lambung dua kapal dengan gelombang interferensi yang memberikan pengaruh pada pembentukan lapisan batas dan vortisitas longitudinal. Sedangkan interferensi gelombang disebabkan oleh interaksi gelombang yang dihasilkan oleh masing-masing lambung kapal katamaran [6].

Penelitian ini menggunakan data sekunder dalam menentukan ukuran utama kapal. Data sekunder tersebut berupa data kapal pembanding dengan mempertimbangkan kapasitas muatan yang dapat mengangkut 38 mobil. Parameter dalam menentukan ukuran utama kapal ini ditunjukkan pada tabel 2 dan disesuaikan dengan kondisi perairan Danau Toba. Kecepatan dinas yang digunakan pada saat beroperasi adalah 11 knot.

Tabel 2 juga menjelaskan ukuran utama minimal yang harus dipenuhi agar kapal dapat mengangkut kapasitas muatan yang telah direncanakan. Panjang LPP minimal dan lebar minimal kapal merupakan dimensi kapal ketika kendaraan telah memasuki kapal dengan kapasitas 38 kendaraan. Sedangkan sarat maksimum kedalaman perairan yang boleh masuk ke pelabuhan Ajibata adalah 6 meter.

## 2.3 Analisa Stabilitas

Stabilitas merupakan kecenderungan kapal untuk kembali ke posisi semula yang disebabkan oleh gaya dari luar seperti angin, gelombang dan lain-lain.

**Tabel 3:** Kriteria stabilitas *IS Code*[10]

KRITERIA	VALUE	DIMENSI
Area 0 to 30; (>)	3.15	m.deg
Area 0 to 40; (>)	5.15	m.deg
Area 30 to 40; (>)	1.71	m.deg
Maximum GZ at 30 or greater; (>)	0.20	m
Angle of maximum GZ; (>)	25	deg
Initial GM0; (>=)	0.15	m

Penelitian ini menggunakan kriteria *International Maritime Organization (IMO) Intact Stability Code (IS Code) 2008*. Fungsi dari kriteria ini yaitu menentukan stabilitas kapal apakah baik atau buruk. Nilai kriteria stabilitas *IS Code* ditunjukkan pada tabel 3 di mana nilai pada tabel 3 tidak boleh melebihi hasil nilai stabilitas kapal. Untuk area 0-30, nilai maksimum tidak boleh melebihi 3.15 m.deg. Untuk area, 0-40, nilai maksimum tidak boleh melebihi 5.15 m.deg. Untuk area 30-40, nilai maksimum tidak boleh melebihi 1.71 m.deg. Untuk nilai maksimum GZ, nilai maksimum tidak boleh melebihi 0.2 meter. Untuk sudut maksimum, nilai maksimumnya adalah 25 deg. Untuk nilai Initial GM0, nilainya tidak boleh lewat dari 0.15 meter.

## 2.4 Analisa Olah Gerak

Olah gerak kapal merupakan kemampuan sebuah kapal untuk merubah kedudukannya dari suatu tempat ke tempat lain yang dikehendaki.

**Tabel 4:** Kriteria olah gerak kapal[11]

DESKRIPSI	NORDFORSK 1987 (NAVAL VESSELS)
Vertical acceleration at forward Perpendicular	0.27 g
Pitch	-
Roll	6.0 deg for light manual work
MSI	-
MII	-
Deskripsi	Nordforsk 1987 (Naval Vessels)

Penelitian ini menggunakan kriteria NORDFORSK 1987 dalam menentukan kondisi stabilitas kapal. Kriteria NORDFORSK 1987 ditunjukkan pada tabel 3 di mana nilai maksimum dari *Vertical acceleration at forward perpendicular* tidak boleh melebihi 0.27 g dan nilai *roll* tidak boleh melebihi 6.0 deg.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa kapal yang diperoleh pada penelitian ini adalah ukuran utama kapal, rencana garis, rencana umum, hambatan kapal, stabilitas kapal, dan olah gerak kapal.

### 3.1 Penentuan Ukuran Utama

Hasil ukuran utama kapal baru sesuai dengan nilai rasio dimensi kapal didapatkan sebagai berikut.

**Tabel 5:** . Ukuran utama kapal ferry ro-ro

PRICIPAL DIMENSION	DIMENSION	UNIT
LOA	53.25	m
LPP	49.26	m
H (Height)	4.92	m
T (Draught)	2.40	m
BOA	14.32	m
B <sub>1</sub>	4.30	m
V <sub>s</sub>	11	knot
CB Demihull	0.51	-

Hasil penentuan ukuran utama kapal berdasarkan parameter Insel & Molland[12] ditunjukkan pada tabel 5. Ukuran utama baru pada tabel 5 telah sesuai dengan kondisi sarat di pelabuhan dan juga ukuran utama baru telah memenuhi kapasitas muatan sesuai dengan perencanaan di awal.

Penentuan ukuran utama kapal ferry ro-ro menggunakan metode kapal perbandingan. Data kapal perbandingan didapatkan dari *Marine Traffic*. Pemilihan kapal perbandingan didasarkan pada kondisi perairan di pelabuhan Ajibata dan juga kapasitas muatan yang direncanakan untuk menangani lonjakan antrian pada masa liburan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode regresi. Metode regresi merupakan metode yang mangacu pada kapal perbandingan dengan ukuran utama yang mendekati desain yang telah ditentukan di awal. Setelah didapatkan data ukuran utama kapal perbandingan yang mendekati kriteria yang telah ditentukan, ukuran utama kapal perbandingan tersebut diregresikan. Nilai regresi LOA menghasilkan 0,8. Nilai regresi B (lebar total kapal) menghasilkan 0,74. Nilai regresi B<sub>1</sub> (lebar satu lambung) menghasilkan 0,76. Nilai regresi T (sarat kapal) menghasilkan 0,82. Nilai regresi LPP menghasilkan 0,88. Nilai regresi H (tinggi kapal) menghasilkan 0,72. Dari hasil regresi yang didapatkan, panjang (LPP) dan juga lebar kapal telah mampu memuat kendaraan sebanyak 38 di bagian *deck car*. Untuk sarat kapal, kapal dapat memasuki pelabuhan Ajibata di mana sarat maksimal yang dapat masuk ke pelabuhan Ajibata yaitu 6 m. Hasil dari regresi kapal perbandingan mendapatkan nilai regresi minimum 0,7. Nilai regresi minimum kapal yaitu 0,7 telah sesuai dengan parameter di awal dan kondisi pelabuhan di Ajibata di mana kapal dapat membawa kapasitas kendaraan yang direncanakan dan juga dapat memasuki pelabuhan Ajibata.

**Tabel 6:** Rasio dimensi kapal baru[12]

ITEM	RESULTS	PARAMETER	STATUS
S/L	0.2	$0.19 < S/L < 0.51$	pass
CB Demihull	0,5	$0.4 < CB < 0.6$	pass
L/B <sub>1</sub>	11.52	$6 < L/B_1 < 12$	pass
B <sub>1</sub> /T	1.79	$1 < B_1/T < 3$	pass
$L/\nabla^{1/3}$	6.15	$6 < L/\nabla^{1/3} < 9$	pass

Nilai parameter ditunjukkan pada tabel 6, di mana S/L merupakan rasio perbandingan antara jarak antara lambung dengan panjang LWL kapal. Perencanaan S/L yang digunakan adalah 0.2. CB merupakan perbandingan antara isi karene dengan *volume* balok dengan panjang Lwl, lebar dan tinggi. Nilai CB yang disyarkan Insel & Molland yaitu  $0.4 < Cb < 0.6$  di mana nilai Cb yang digunakan adalah 0,5. L/B<sub>1</sub> merupakan rasio perbandingan antara panjang LWL dengan lebar lambung kapal. Nilai rasio L/ B<sub>1</sub> yang disyarkan Insel & Molland yaitu  $1 < B_1/T < 3$  di mana nilai L/B<sub>1</sub> yang digunakan adalah 1.79.  $L/\nabla^{1/3}$  merupakan rasio perbandingan antara panjang LWL dengan *volume displacement*. Nilai rasio  $L/\nabla^{1/3}$  yang disyarkan Insel & Molland yaitu  $6 < L/\nabla^{1/3} < 9$  di mana nilai  $L/\nabla^{1/3}$  yang digunakan adalah 6.15.

Nilai parameter ini digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal baru sesuai dengan kapasitas muatan kapal. Setelah rasio dimensi ukuran utama telah sesuai dengan parameter Insel & Molland, dilanjutkan dengan pembuatan rencana garis.

### 3.2 Hambatan Kapal

Penelitian ini menggunakan CFD dalam menentukan hambatan kapal. Alasan penentuan hambatan kapal dengan menggunakan metode CFD yaitu karena CFD lebih sensitif terhadap bentuk lambung yang lebih kompleks. Pada kecepatan 11 knot, total hambatan kapal adalah 68.8 KN. Cara kerja CFD yaitu memecahkan persamaan Navier-Stokes untuk menggambarkan model turbulensi dengan  $k-\epsilon$ , dengan menggunakan aliran *multiphase Euler* yang diasumsikan air dan udara.

Proses *running* pada CFD dimulai dengan tahap *pre-processing*. Tahap *pre-processing* merupakan proses yang dilakukan sebelum tahap simulasi. Proses ini dimulai dengan pembuatan model, penentuan domain dan pembuatan *mesh* (*meshing*). Penentuan dimensi simulasi numerik berdasarkan pada ITTC[13]. ITTC adalah konferensi tingkat internasional yang memberikan rekomendasi penggunaan simulasi numerik.

Langkah selanjutnya adalah penentuan *solution solver*. Tahap *solution solver* mencakup penentuan jenis aliran, penentuan kondisi batas dan *set-up* simulasi. Jenis aliran yang digunakan yaitu aliran laminar dan turbulen. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran reguler di mana alirannya konstan terhadap waktu. Sedangkan aliran turbulen merupakan aliran yang tidak regular, tidak konstan terhadap waktu/*unsteady* dan 3 dimensi[14]. Penelitian ini menggunakan turbulen RANS. Jenis model turbulen RANS yang digunakan adalah *Shear Stress Transport* (SST). Model SST merupakan penggabungan model *k-ε standar* dan model *k-ω* dengan fungsi pencampuran[15]. Setelah penentuan setup pada simulasi, dilanjutkan ke proses *running* simulasi. Tahap terakhir yaitu proses *running* simulasi.

**Tabel 7:** Validasi nilai hambatan kapal

KECEPATAN (KNOT)	CFD (KN)	RUMUS EMPIRIS (KN)	PERSENTASE SELISIH HAMBATAN
3	8.64	5.46	3.18%
5	19.75	14.76	4.99%
7	32.72	28.43	4.29%
9	49.10	46.42	2.68%
11	68.80	68.70	0.10%

Tabel 7 menunjukkan perbedaan nilai hambatan menggunakan pendekatan metode CFD dan empiris. Prosentase perbedaan antara kedua pendekatan tersebut menunjukkan kurang dari 5%. Besar nilai hambatan kapal ferry ro-ro yang dihasilkan adalah 68.8 KN pada kecepatan 11 knot. Penentuan mesin utama kapal didasarkan pada nilai hambatan total pada kecepatan penuh.

Nilai BHP dibutuhkan untuk pemilihan mesin utama pada kapal. Nilai BHP (*brake horse power*) didapatkan dari perhitungan EHP, SHP dan SHP terlebih dahulu[13]. Berdasarkan perhitungan BHP, nilai BHP sebesar 1200 HP (*horse power*). Nilai BHP sudah termasuk estimasi koreksi dan juga pembulatan. Jenis propulsi yang digunakan pada kapal ini yaitu *twin screw propeller*, sehingga BHP kapal dibagi menjadi dua untuk daya satu mesin induk. Tiap mesin terdiri dari 600 HP. Nilai daya kapal yang dibutuhkan satu mesin dalam satuan kw didapatkan dari konversi Hp ke Kw. 1 Hp adalah 0.73 Kw maka nilai daya kapal yaitu 441,3 kw. Jenis mesin yang digunakan ditunjukkan pada table 7.

**Tabel 8:** Mesin utama kapal

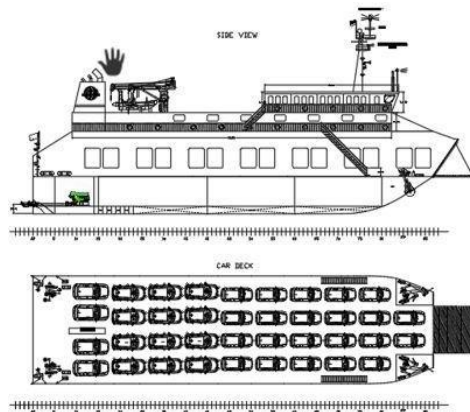
ITEM	SIZE/COMPONENT	UNIT
Merk Mesin	Wärtsilä	-
Model Mesin	12AYM-WET	-
Daya Mesin	450	kw
Kecepatan	1850	rpm
Berat Mesin	4.95	ton
Panjang	2759	mm
Lebar	1644	mm
Tinggi	1707	mm

Tabel 8 menunjukkan spesifikasi mesin induk yang digunakan. Kapal ferry ro-ro ini menggunakan tipe mesin *Wartsila*. Pemilihan mesin ini telah disesuaikan berdasarkan kecepatan maksimum kapal sebesar 11 knot. Mesin ini berjumlah dua dengan daya masing-masing mesin 250 kw.

### 3.3 Rencana Umum

Hasil susunan *deck* pada kapal terdiri dari *car deck*, *passenger deck*, dan *navigation deck*. Pada bagian *car deck*, jarak antara sisi kiri maupun sisi kanan mobil adalah 1 meter sedangkan jarak depan dan belakang mobil adalah 0.5 m. Kapasitas 38 kendaraan sekali penyeberangan pada kapal ferry ro-ro ini telah terpenuhi. Penempatan ruangan-ruangan lain pada kapal ferry ro-ro ini juga disesuaikan berdasarkan kebutuhan di kapal, seperti jumlah penumpang, jumlah *crew*, permesinan dll.

Penelitian ini menggunakan CFD dalam menentukan hambatan kapal. Alasan penentuan hambatan kapal dengan menggunakan metode CFD yaitu karena CFD lebih sensitif terhadap bentuk lambung yang lebih kompleks. Pada kecepatan 11 knot, total hambatan kapal adalah 68.8 KN. Sistem kerja CFD yaitu memecahkan persamaan *Navier-Stokes* untuk menggambarkan model turbulensi dengan  $k-\epsilon$ . Aliran yang digunakan yaitu aliran multiphase Euler yang diasumsikan udara dan juga air



Gambar 1: Rencana umum ferry ro-ro

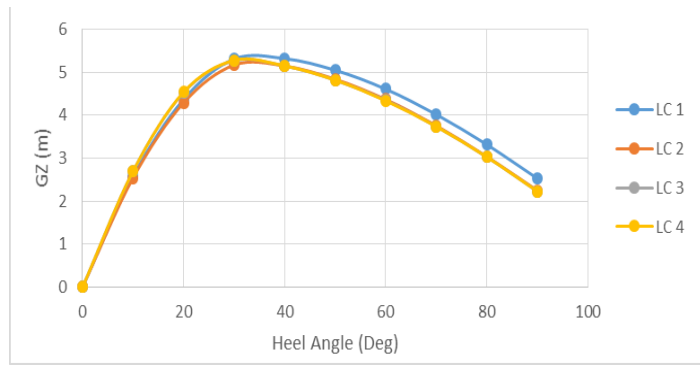
Gambar 1 menjelaskan tentang susunan kendaraan pada *deck car*. Jenis mobil yang diangkut kapal ferry ro-ro ini didapatkan dari data Kemenhub di mana terdapat tiga jenis mobil yang paling sering melakukan penyeberangan yaitu Avanza, Terios dan Fortuner. Pada saat kapal berlayar, penumpang kapal berada pada *passanger deck* yang terletak di atas *car deck*.

Desain rencana umum kapal ferry ro-ro ini telah mengacu pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Jarak pelayaran dari pelabuhan Ambarita ke Ajibata yaitu 4.5 *nautical miles* (nm). Kapal beroperasi 4 kali dalam sehari sesuai dengan jadwal penyeberangan hari normal di pelabuhan Ajibata.

### 3.4 Stabilitas Kapal

Analisa stabilitas kapal ferry ro-ro ini mengacu pada perhitungan LWT 378.69 ton dan perhitungan DWT 102.34 ton. Selanjutnya, analisa stabilitas yang direncanakan mengalami berbagai kondisi muatan yang dibawa mulai dari berangkat hingga sampai ke tujuan. Kondisi stabilitas kapal yang berubah dipengaruhi oleh persediaan bahan bakar, volume tangki, air tawar, dan muatan kapal. Perencanaan kondisi muatan disimulasikan dengan 4 kondisi berbeda mulai kapal bongkar muat hingga sampai ke tujuan.

Berdasarkan 4 kondisi kompartmen dan kriteria pada NORDFOSK, hasil analisa stabilitas ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 2:** Nilai GZ kapal ferry katamaran

Gambar 2 menjelaskan empat kondisi stabilitas mulai dari kapal muatan penuh hingga muatan kosong. Kondisi satu (LC 1) menunjukkan kondisi stabilitas di mana muatan kapal 100%. Kondisi dua (LC 2) menunjukkan kondisi stabilitas di mana muatan kapal 75%. Kondisi tiga (LC 3) menunjukkan kondisi stabilitas di mana muatan kapal 50%. Kondisi empat (LC 4) menunjukkan kondisi stabilitas di mana muatan kapal kosong. Stabilitas kapal pada empat kondisi berbeda memiliki stabilitas kapal yang telah memenuhi kriteria stabilitas IMO. Nilai stabilitas yang paling baik ditunjukkan pada kondisi 1. Kondisi 1 memiliki nilai GZ lebih besar sehingga memiliki kondisi stabilitas yang lebih baik. Nilai GZ terburuk terjadi pada kondisi 4 karena memiliki nilai GZ yang lebih kecil.

### 3.5 Olah Gerak Kapal

Hasil analisa perhitungan olah gerak kapal ferry ro-ro menunjukkan bahwa gerakan *rolling* terbesar berada pada tinggi dan sudut gelombang sebesar 0.8 m dan 90° yaitu sebesar 2.34° dengan batas maksimal yang ditentukan kriteria sebesar 6°. Selanjutnya, nilai *Vertical Acceleration at FP* terbesar berada pada tinggi dan sudut gelombang sebesar 0.8 m dan 90°, yaitu sebesar 0.88 m/s<sup>2</sup> dengan batas maksimal yang ditentukan kriteria sebesar 0.27 g atau 2.6 m/s<sup>2</sup>.

Penentuan karakteristik gelombang ditentukan berdasarkan kondisi di perairan Danau Toba. Karakteristik gelombang ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 9:** Karakteristik gelombang di Danau Toba[16]

NO	WAVE HEIGHT (M)	DIPILIH	WAVE PERIOD	DESCRIPTION
1	Min	0,2	3	Slight
2	Rata-Rata	0,6	3	Moderate
3	Max	0,8	3	Rough

Ketinggian dan periode gelombang didapatkan berdasarkan kondisi di perairan danau Toba. Tabel 9 menunjukkan sampel ketinggian di perairan danau Toba, sehingga hasil analisa olah gerak yang dihasilkan sesuai dengan kondisi perairan danau Toba.

**Tabel 10:** Hasil perhitungan analisa olah gerak

ITEM	WAVE HEADING (DEG)	RMS				MAX VALUE
		0.2	0.6	0.8	UNIT	
Heaving	0	0.007	0.021	0.028	m	-
	45	0.005	0.015	0.020	m	
	90	0.065	0.194	0.258	m	
	135	0.003	0.010	0.014	m	
	180	0.001	0.003	0.003	m	



Rolling	0	0	0	0	deg	max 6 deg
	45	0.041	0.120	0.160	deg	
	90	0.590	1.760	2.340	deg	
	135	0.016	0.049	0.065	deg	
	180	0	0	0	deg	
Pitching	0	0.03	0.091	0.120	deg	-
	45	0.045	0.140	0.180	deg	
	90	0.110	0.320	0.430	deg	
	135	0.028	0.083	0.110	deg	
	180	0.007	0.022	0.029	deg	
Vertical Acceleration at FP	0	0.104	0.073	0.098	m/s <sup>2</sup>	2,6 m/s <sup>2</sup>
	45	0.066	0.042	0.055	m/s <sup>2</sup>	
	90	0.151	0.660	0.881	m/s <sup>2</sup>	
	135	0.224	0.215	0.286	m/s <sup>2</sup>	
	180	0.241	0.074	0.286	m/s <sup>2</sup>	

Hasil perhitungan pada table 10 menunjukkan nilai *Habitability Acceleration* (RMS). RMS merupakan tingkat kenyamanan di dalam kapal. Berdasarkan kriteria NORDFORSK 1987, nilai maksimum untuk *rolling* adalah 6 deg. Untuk gerakan *Rolling* pada sudut 0, 45, 90, 135, 180, nilai terbesar berada pada sudut 90<sup>0</sup> dengan nilai 2.34. Nilai maksimum pada gerakan *rolling* telah memenuhi kriteria maksimum NORDFORSK 1987, sehingga gerakan *rolling* pada kapal tergolong baik. Untuk *Vertical Acceleration at FP*, nilai maksimum yang disyaratkan NORDFORSK 1987 adalah 2,6 m/s<sup>2</sup>. Untuk *Vertical Acceleration at FP* pada sudut 0, 45, 90, 135 dan 180, nilai terbesar berada pada sudut 90<sup>0</sup> dengan nilai 0.8. Nilai maksimum pada *Vertical Acceleration at FP* telah memenuhi kriteria maksimum NORDFORSK 1987, sehingga *Vertical Acceleration at FP* pada kapal tergolong baik. Untuk gerakan *heaving* pada sudut 0, 45, 90, 135 dan 180, nilai terbesar berada pada sudut 90<sup>0</sup> dengan nilai 0.25. NORDFORSK 1987 tidak mensyaratkan besar nilai maksimum pada gerakan *heaving* sehingga gerakan *heaving* telah masuk dalam kriteria. Untuk gerakan *pitching* pada sudut 0, 45, 90, 135, 180, nilai terbesar berada pada sudut 90<sup>0</sup> dengan nilai 0.43. NORDFORSK tidak mensyaratkan besar nilai maksimum pada gerakan *pitching* sehingga gerakan *pitching* telah masuk dalam kriteria.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan ukuran utama dengan panjang kapal LPP 49.25 m, Tinggi (H) 4.9 m, Sarat (T) 2.4 m, Lebar (BOA) 14.32 m dan kecepatan kapal (Vs) 11 knots. Ukuran utama kapal tersebut mampu menampung kapasitas kendaraan sebanyak 38 sesuai perencanaan di awal. Hasil perhitungan hambatan kapal juga didapatkan dengan menggunakan pendekatan numerik sebesar 68,8 KN. Dari hasil perhitungan hambatan kapal, didapatkan nilai BHP sebesar 1200 HP. Jenis propulsi yang digunakan adalah *twin screw propeller*, sehingga terdapat dua mesin yang digunakan pada kapal. Tiap mesin terdiri dari 600 HP. Nilai daya kapal yang dibutuhkan satu mesin dalam satuan kw didapatkan dari konversi Hp ke Kw. 1 Hp adalah 0.73 Kw, maka nilai daya kapal yaitu 441,3 kw.

Nilai stabilitas didapatkan berdasarkan 4 kondisi stabilitas. Keempat kondisi stabilitas telah memenuhi minimal kriteria stabilitas *IS Code*. Kondisi stabilitas paling baik ditunjukkan dari nilai GZ paling besar. Nilai GZ paling besar berada pada kondisi 1 dengan kondisi muatan 100%. Nilai stabilitas paling buruk ditunjukkan pada kondisi 4 karena memiliki nilai GZ paling kecil. Nilai GZ paling kecil ditunjukkan pada kondisi 4 dengan kondisi muatan kosong.

Hasil perhitungan olah gerak juga didapatkan hasil perhitungan yang sesuai dengan standar NORDFORSK (*Naval Vessels*). Perhitungan olah gerak didasarkan pada kondisi ketinggian gelombang dan periode gelombang di Danau Toba. Berdasarkan kriteria NORDFORSK, nilai gerakan *rolling* maksimum

yaitu 6 deg. Hasil perhitungan analisa gerakan *rolling* telah memenuhi di mana nilai terbesar dari gerakan *rolling* yaitu 2,34 deg. Untuk *Vertical Acceleration at FP*, nilai gerakan maksimum yang disyaratkan NORDFORSK yaitu 2,6 m/s<sup>2</sup>. Nilai maksimum hasil simulasi pada *Vertical Acceleration at FP* yaitu 0,88 m/s<sup>2</sup>. Hasil perhitungan analisa gerakan *Vertical Acceleration at FP* telah memenuhi di mana nilai terbesar dari gerakan *rolling* yaitu 0,88 m/s<sup>2</sup>. Untuk gerakan *heaving* dan *pitching*, NORDFORSK tidak mensyaratkan besar nilai maksimum, sehingga gerakan *heaving* dan *pitching* telah sesuai kriteria NORDFORSK. Berdasarkan hasil olah gerak kapal yang telah sesuai dengan kriteria NORDFORSK, kapal fery ini telah memiliki nilai olah gerak yang baik.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Z. FACHRY RAMADHAN, and BERLIAN ARSWENDO ADIETYA, “Studi Pra Perancangan Kapal Monohull Katamaran Trimaran Di Perairan Bali,” vol. 10, no. 1, pp. 39–47, 2013, doi: 10.14710/kpl.v10i1.4739.
- [2] SAMUEL, M. IQBAL, and I. K. A. P. UTAMA, “An investigation into the resistance components of converting a traditional monohull fishing vessel into catamaran form,” *Int. J. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 432–441, 2015, doi: 10.14716/ijtech.v6i3.940.
- [3] FATHUDDIIN, A., and SAMUEL, S, “Meshing Strategi untuk Memprediksi Hambatan Total pada Kapal Planing Hull,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 381–390, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.02.15.
- [4] BROGLIA, R., BOUSCASSE, B., JACOB, B., OLIVIERI, A., ZAGHI, S., and STERN, F., “Calm water and seakeeping investigation for a fast catamaran,” *11th Int. Conf. Fast Sea Transp. FAST 2011 - Proc.*, no. September, pp. 336–344, 2011.
- [5] SAMUEL, D. J. KIM, M. IQBAL, A. BAHATMAKA, and A. RIO PRABOWO, “Bulbous bow applications on a catamaran fishing vessel for improving performance,” *MATEC Web Conf.*, vol. 159, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201815902057.
- [6] S. ZAGHI, R. BROGLIA, and A. DI MASCIO, “Experimental and numerical investigations on fast catamarans interference effects,” *J. Hydrodyn.*, vol. 22, 2010.
- [7] E. EDWAD V. LEWIS, “Principles Of Naval Architecture, Secound Revision, Vol.II - Stability and Strength, the Society of Naval Architects and Marine Engineers.” 1988.
- [8] S. A. HARVALD, “Resistance and Propulsion of Ships - Harvald.” 1992.
- [9] IMO, “Adoption of The International Code on Intact Stability,” 2008.
- [10] M. H. GHAEMI and H. OLSZEWSKI, “Total Ship Operability-Review, Concept and Criteria,” *Polish Marit. Res.*, vol. 24, pp. 74–81, 2017.
- [11] M. INSEL and A. F. MOLLAND, “An Investigation Into Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans,” *RINA*, vol. 134, no. January 1992, pp. 1–20, 1992.
- [12] ITTC, “Practical Guidelines for Ship CFD Applications,” 2011.
- [13] J. MATHIEU, “Turbulent flows,” 2000.
- [14] Z. T. SETIABUDI and I. K. UTAMA, “Analisa CFD Hambatan Kapal Katamaran Dengan Stepped Hull Melintang,” vol. 9, no. 2, pp. 1–8, 2020.
- [15] S. ROSITA, “Studi Penyusunan Rencana Induk Pelabuhan Sippinggan Kabupaten Samosir, Puslitbang Transportasi Laut, Sungai, Danau dan Penyeberangan,” 2017.