

# ANALISA LIFEBOAT PLACEMENT EFFECTIVENESS TERHADAP PROSES EVAKUASI KAPAL PENUMPANG MENGGUNAKAN METODE AGENT BASED MODELLING SIMULATION

Imam Pujo Mulyatno <sup>1)</sup>, Parlindungan Manik <sup>1)</sup> ✉, Shalwa An-nisa Addawiyah <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Departemen Teknik Perkapalan  
Universitas Diponegoro  
pujomulyatno2@gmail.com  
parlindungan\_manik@live.undip.ac.id  
shalwa.annisa2000@gmail.com

## Abstract

*The study of “Lifeboat placement effectiveness” which was applied to the evacuation process of passenger ships should be based on the regulation of IMO MSC.1/Circ.1533. The analysis of the evacuation duration was important considering the high number of fatalities in shipping accidents based on KNKT data, as many as 686 people died in the last 7 years. This study analyzed the duration of evacuation using a simulation method based on “Agent Based Modelling Simulation” with the purpose to obtain a modeling framework to simulate the evacuation process to the lifeboat in 3 dimensions. Simulations were applied to 4 cases with 2 different lifeboat positions. The results of the analysis showed that the total value of the evacuation duration for lifeboats placement on the navigation deck which was placed close to the main stair of the exit route was leading than the placement in the existing position, which as case 1 lead by 1 minute, case 2 lead by 1 minute 2 seconds, case 3 lead by 23 seconds, and case 4 a lead by 17 seconds. The calculation also showed that the total evacuation duration in each case was valued at 60 minutes, which met the IMO MSC.1/Circ.1533 standard.*

**Keywords:** Agent Based Modelling Simulation, Lifeboat Placement Effectiveness, Regulation of IMO MSC.1/Circ.1533.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem transportasi merupakan salah satu kebutuhan yang penting untuk dipenuhi dalam mempermudah kehidupan pada zaman modern ini. Di sisi lain, meningkatnya kebutuhan akan hal tersebut juga akan ikut meningkatkan produksi kendaraan yang secara tidak langsung turut meningkatkan jumlah kecelakaan <sup>[1]</sup>. Data investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republik Indonesia (KNKT) pertanggal 4 Oktober 2021, mencatat sebanyak 128 kasus kecelakaan pelayaran dalam kurun waktu 5 tahun terakhir.

Tabel 1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan kecelakaan memakan total sebanyak 550 korban meninggal/hilang dan 99 korban luka-luka. Hal tersebut menunjukkan pentingnya penerapan standar keselamatan kapal, khususnya pada kapal penumpang yang mengangkut lebih banyak nyawa. Analisis durasi evakuasi merupakan salah satu solusi yang disarankan IMO untuk mengurangi jumlah korban jiwa dari kecelakaan pelayaran.

Corresponding Author:

✉ Parlindungan Manik

Received on: 2022-04-13

Revised on: 2023-04-06

Accepted on: 2023-04-10

**Tabel 1.** Data Investigasi Kecelakaan Pelayaran <sup>[2]</sup>

No	Tahun	Jumlah Kecelakaan	Jumlah Korban Jiwa	
			Meninggal/Hilang	Luka-luka
1.	2017	34	52	3
2.	2018	39	299	26
3.	2019	25	92	10
4.	2020	12	11	33
5.	2021	18	96	27
Total		128	550	99

Konferensi SOLAS pada tahun 1995 telah memutuskan bahwa seluruh proses evakuasi pada kapal penumpang ro-ro dilengkapi maksimum dalam waktu 60 menit. Hal tersebut diperkuat dalam ketentuan IMO MSC.1/Circ.1533 yang menyebutkan bahwa total durasi evakuasi untuk kapal penumpang ro-ro harus  $\leq 60$  menit. Melalui peraturan tersebut, IMO juga telah merekomendasikan secara eksplisit untuk melakukan analisis evakuasi pada tahapan awal proses desain kapal penumpang ro-ro baru.

Penelitian mengenai analisis waktu evakuasi, sebelumnya telah dilakukan oleh Zulkifli menggunakan *Software Pathfinder* menghasilkan waktu evakuasi penumpang tercepat pada skenario satu atau semua pintu terbuka dengan waktu 29 menit pada siang hari dan 36 menit pada malam hari <sup>[3]</sup>. Penelitian lain dilakukan oleh Zaman menggunakan *Agent Based Modelling Simulation* yang dijalankan berdasarkan IMO MSC.1/Circ.1533 menggunakan 4 kasus siang dan malam. Dalam kasus malam normal dibutuhkan 38,24 menit untuk mengevakuasi semua penumpang, dan dalam kasus malam evakuasi membutuhkan 36,45 menit. Pada kasus siang normal membutuhkan waktu 29,49 menit dan pada kasus siang hari evakuasi membutuhkan waktu 28,12 menit <sup>[4]</sup>. Kajian lain diterapkan pada Kapal Ferry Ro-ro KM Athaya menggunakan metode pendekatan simulasi. Kajian tersebut menghasilkan perhitungan total durasi evakuasi untuk 798 penumpang yaitu 44 menit 10 detik dan ini memenuhi peraturan IMO yang menyatakan total waktu evakuasi penumpang pada kapal tidak lebih dari 60 menit <sup>[5]</sup>. Sedangkan kajian yang berjudul *Implementasi Discrete Event Simulation* untuk Analisis Evakuasi Penumpang Kapal Ro-Ro pada Kondisi *List* dan Normal menghasilkan bahwa salah satu kasus yang dianalisa, yaitu evakuasi siang hari pada kondisi *list* tidak sesuai dengan aturan IMO sehingga perlu diberikan rekomendasi rute evakuasi dan skenario distribusi penumpang. Rekomendasi diberikan sebagai saran bagi awak kapal dalam melakukan proses evakuasi dengan harapan dapat meminimalisir terjadinya korban jiwa <sup>[6]</sup>.

Terdapat dua metode yang disajikan IMO MSC.1/Circ.1533 untuk melakukan analisis durasi evakuasi, yaitu metode *simplified* dan *advanced*. Kajian dilakukan pada kapal Perintis 1200 GT dengan metode *simplified* menghasilkan waktu evakuasi untuk seluruh penumpang pada kapal perintis masih dibawah standar dari IMO yaitu sekitar 56 menit 22 detik [7]. Sedangkan menggunakan metode *advanced* menghasilkan total waktu evakuasi penumpang adalah 2010.03 detik atau sekitar 33.5 menit <sup>[8]</sup>. Penelitian lain berjudul *Simplified and Advanced Approaches for Evacuation Analysis of Passenger Ships in The Early Stage of Design* telah melakukan perhitungan waktu evakuasi menggunakan metode *simplified* dan *advanced*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai total durasi evakuasi dari metode *simplified* jauh lebih kecil dari metode *advanced*, yaitu 3235 detik dari 4505 detik. Meskipun kedua metode tersebut telah memenuhi standar IMO, penyelidikan lebih dalam harus dilakukan agar hasil metode *simplified* dapat diandalkan <sup>[9]</sup>. Penelitian lain juga melakukan studi analisis mengenai waktu evakuasi menggunakan kedua metode tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan *simplified analysis* didapatkan waktu evakuasi

sebesar 34 menit 19 detik, sedang dengan *advance analysis* didapatkan waktu 29 menit 48 detik, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan jalur evakuasi, baik *secara simplified* dan *advance analysis*, memenuhi standar IMO MSC/Circ.1238 (dibawah batas maksimum yang diijinkan sebesar 60 menit) <sup>[10]</sup>.

Proses evakuasi kapal terhitung dimulai ketika penumpang ataupun Anak Buah Kapal (ABK) menerima sinyal bahaya pada posisi awal dimana mereka berada, kemudian menyelamatkan diri menuju posisi dimana mereka ditempatkan sedekat mungkin dengan *lifeboat*. *Lifeboat* merupakan kapal penyelamat utama pada kapal. Oleh sebab itu, *lifeboat* harus ditempatkan pada posisi yang paling efektif guna memperkecil waktu yang dibutuhkan untuk proses evakuasi. Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Muhammad Budiansyah terkait analisa efektivitas penempatan *lifeboat* menggunakan *software Rockwell Arena 5.0*, dimana dilakukan simulasi dengan 3 macam posisi *lifeboat* yang berbeda, yaitu pada geladak navigasi menghasilkan waktu evakuasi sebesar 40 menit 15 detik, pada geladak 3; 31 menit 35 detik, dan geladak 2; 59 menit 28 detik. Sehingga didapati bahwa peletakan *lifeboat* di geladak 3 menghasilkan waktu evakuasi paling efektif dibandingkan dengan posisi lainnya <sup>[11]</sup>.

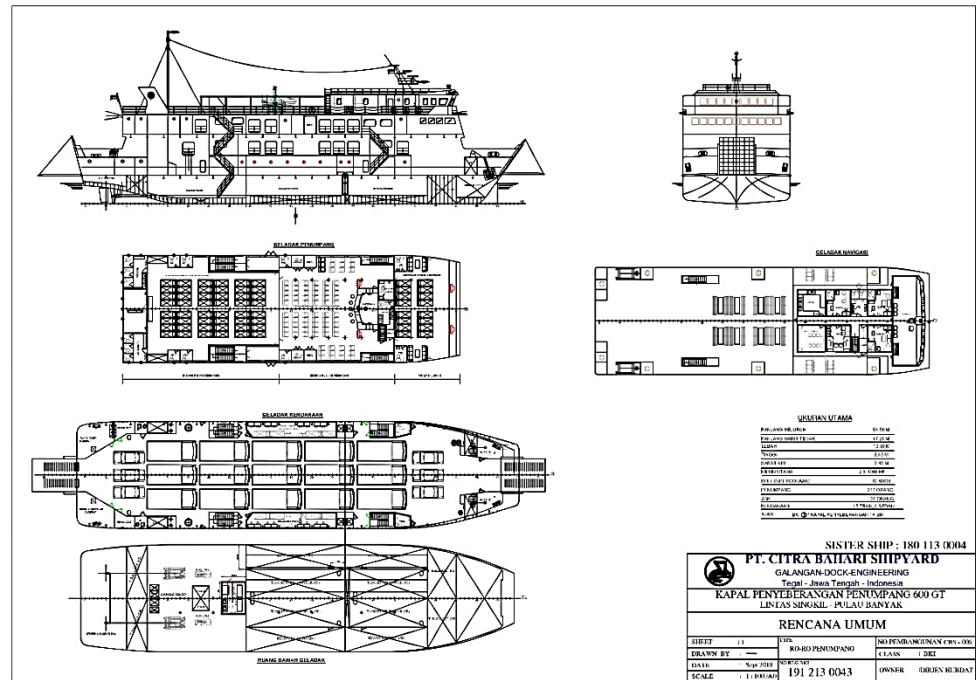
Meninjau hal-hal yang telah dijelaskan diatas, penulis akan melakukan kajian dengan mengimplementasikan metode simulasi berbasis *Agent Based Modelling Simulation* menggunakan *software pathfinder* untuk menganalisis efektivitas penempatan *lifeboat* (*lifeboat placement effectiveness*) terhadap proses evakuasi kapal penumpang, serta kesesuaiannya terhadap total durasi evakuasi maksimum berdasarkan IMO MSC.1/Circ.1533. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui posisi *lifeboat* yang paling efektif guna meminimalisir waktu pada proses evakuasi kapal dengan harapan semakin sedikit waktu evakuasi, maka akan memperkecil kemungkinan terjadinya korban.

## 2. METODE

Kajian ini akan menganalisis efektivitas penempatan *lifeboat* terhadap durasi evakuasi penumpang dan Anak Buah Kapal (ABK) menggunakan metode simulasi melalui bantuan *software Pathfinder* berbasis *Agent Based Modelling Simulation*. Simulasi Evakuasi dalam kajian ini berlandaskan pedoman MSC.1/Circ.1533.

### 2.1. Objek Penelitian

Kajian menggunakan data kapal penyebrangan penumpang 600 GT dengan rute pelayaran Singkil – Pulau Banyak yang didesain rencana umum seperti pada Gambar 1. Rencana umum merupakan penyusunan ruangan yang ada di kapal. Ruangan yang dimaksud pada kapal ini adalah ruang muat, kamar mesin dan akomodasi <sup>[12]</sup>. Kapal ini merupakan salah satu kapal penumpang jenis ro-ro yang dibangun pada tahun 2019 oleh PT Citra Bahari *Shipyards*. Kapal tersebut dilengkapi dengan 2 *lifeboat* yang masing-masing berada pada sisi *portside* dan *starboard*. *Lifeboat* berfungsi sebagai kapal penyelamat utama yang digunakan untuk mengangkut penumpang ke tempat yang aman pada saat kapal mengalami kondisi bahaya/darurat. *Lifeboat* dapat menampung sebanyak 30% dari total keseluruhan penumpang dan ABK (Anak Buah Kapal), sedangkan sisanya ditampung oleh kapal penyelamat lainnya.



Gambar 1. General Arrangement Kapal

Kapal penyebrangan penumpang ini dapat menampung sebanyak 212 penumpang dan 24 ABK dengan ukuran utama kapal seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Ukuran Utama Kapal Penyebrangan Penumpang 600 GT

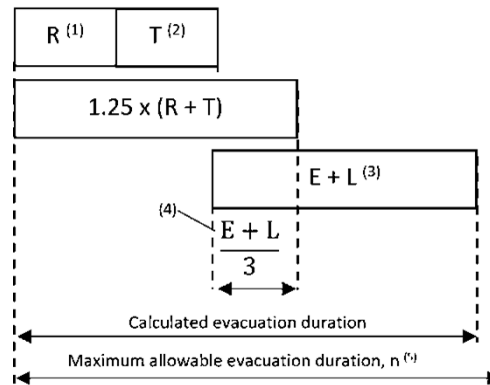
No	Nama	Ukuran
1.	Panjang Seluruh	54,50 m
2.	Panjang Garis Tegak	47,25 m
3.	Lebar	13,00 m
4.	Tinggi	3,45 m
5.	Sarat	2,45 m
6.	Kecepatan (Percobaan)	12 Knots
7.	Penumpang	212 Orang
8.	ABK	24 Orang
9.	Kendaraan	15 Truk, 6 Sedan

## 2.2. Pengolahan Data dan Analisis Data

Sidang komite keselamatan maritim (MSC) pada tanggal 11-20 Mei 2016 telah menyetujui IMO MSC.1/Circ.1533 sebagai regulasi analisis evakuasi terbaru untuk kapal penumpang. Regulasi ini merupakan pelengkap regulasi evakuasi sebelumnya dan menjadi dasar dalam menganalisis perhitungan waktu evakuasi kapal penumpang. Perlu dicatat bahwa regulasi tersebut merupakan pedoman berdasarkan analisis risiko kebakaran. Salah satu metode yang

diandalkan dalam pedoman ini adalah metode *advanced* yang melakukan perhitungan evakuasi menggunakan bantuan *software* berbasis *Agent Based Modelling Simulation*.

*Agent Based Modelling and Simulation* (ABMS) adalah kerangka pemodelan dan komputasi untuk mensimulasikan proses dinamis yang melibatkan agen otonom [13]. Agen adalah entitas otonom yang dapat merasakan lingkungannya, termasuk agen lain, dan menggunakan informasi ini dalam membuat keputusan [14]. Agen dalam kajian ini menggambarkan penumpang dan ABK. Tujuan ABMS adalah untuk mensimulasikan evakuasi dalam jumlah besar. Terdapat beberapa keunggulan dalam menggunakan *Agent Based Modelling Simulation* (ABMS) diantaranya adalah sifatnya yang fleksibel, mampu menggambarkan kondisi nyata, dan memberikan jalan agar proses evakuasi dapat dilaksanakan secepat mungkin tanpa ada korban. Luaran dari simulasi yang dilakukan menggunakan metode ini ialah nilai total *travel duration* (T). Selanjutnya, nilai tersebut akan diolah kedalam Persamaan 1 untuk mendapatkan nilai total durasi evakuasi maksimum berdasarkan standar kinerja IMO MSC.1/Circ.1533 seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Performance Standard Total Durasi Evakuasi [15]

Perhitungan pada Gambar 2 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 1.

$$1,25 (R+T) + 2/3 (E+L) \leq n \tag{1}$$

Dimana:

- (1)  $R$  = durasi respon, 5 menit untuk kasus siang dan 10 menit untuk kasus malam
- (2)  $T$  = total *travel duration*/durasi perjalanan
- (3)  $E+L$  = durasi keberangkatan dan peluncuran, diasumsikan 30 menit berdasarkan IMO MSC.1/Circ.1533
- (4)  $n$  = 60 menit untuk kapal penumpang ro-ro

Penelitian ini mensimulasikan proses evakuasi menggunakan *software* berbasis *Agent Based Modelling Simulation* dengan kapasitas penumpang dan ABK yang disesuaikan dengan daya tampung *lifeboat*, yaitu sebanyak 30% dari kapasitas penuh atau setara dengan 64 penumpang dan 8 ABK. IMO MSC.1/Circ.1533 mendefinisikan kondisi penumpang dan ABK menjadi 2, yaitu kategori populasi dan karakteristik kecepatan berjalan. Populasi penumpang dan ABK pada penelitian ini terdiri dari kombinasi pada Tabel 3. Kombinasi tersebut disesuaikan dengan kategori populasi yang disarankan IMO MSC.1/Circ.1533.

Kategori selanjutnya yaitu kecepatan berjalan penumpang dan ABK. IMO MSC.1/Circ.1533 menyajikan 2 karakteristik kecepatan berjalan, yaitu kecepatan berjalan pada medan datar dan kecepatan berjalan pada tangga. Kecepatan berjalan harus dimodelkan sebagai distribusi statistik yang memiliki nilai minimum dan maksimum sesuai dengan Tabel 4. Penggunaan kategori tersebut dapat digunakan untuk rute pelayaran di Indonesia,

dibuktikan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Trika yang menyebutkan bahwa kecepatan berjalan yang disediakan IMO dapat diterapkan pada kasus evakuasi di Indonesia [16].

**Tabel 3.** Asumsi Populasi Penumpang dan ABK pada Kapal Penyebrangan Penumpang 600 GT

Kelompok Populasi	Presentase Orang (%)	Jumlah Populasi (Orang)
<b>Penumpang</b>		
Wanita < 30 tahun	7	5
Wanita 30-50 tahun	7	5
Wanita > 50 tahun	16	10
Wanita > 50 tahun, MI(1)	10	6
Wanita > 50 tahun, MI (2)	10	6
Pria < 30 tahun	7	5
Pria 30-50 tahun	7	5
Pria > 50 tahun	16	10
Pria > 50 tahun, MI(1)	10	6
Pria > 50 tahun, MI(2)	10	6
<b>Kru</b>		
Wanita Kru	50	4
Pria Kru	50	4

**Tabel 4.** Kecepatan Berjalan Penumpang dan ABK

Kelompok Populasi	Kecepatan di Medan Datar		Kecepatan di Tangga	
	Min (m/s)	Max (m/s)	Min (m/s)	Max (m/s)
<b>Penumpang</b>				
Wanita < 30 tahun	0,93	1,55	0,47	0,79
Wanita 30-50 tahun	0,71	1,19	0,44	0,74
Wanita > 50 tahun	0,56	0,94	0,37	0,61
Wanita > 50 tahun, MI(1)	0,43	0,71	0,28	0,46
Wanita > 50 tahun, MI (2)	0,37	0,61	0,23	0,39
Pria < 30 tahun	1,11	1,85	0,50	0,84
Pria 30-50 tahun	0,97	1,62	0,47	0,79
Pria > 50 tahun	0,84	1,4	0,38	0,64
Pria > 50 tahun, MI(1)	0,64	1,06	0,29	0,49
Pria > 50 tahun, MI(2)	0,55	0,91	0,25	0,41
<b>Kru</b>				
Wanita Kru	0,93	1,55	0,47	0,79
Pria Kru	1,11	1,85	0,50	0,84

Kajian ini menerapkan 4 skenario kasus yang harus dipertimbangkan berdasarkan pedoman IMO MSC.1/Circ.1533 dengan skenario kondisi bahaya berupa kebakaran pada ruang mesin. Keempat kasus tersebut memiliki perbedaan dalam hal persebaran penumpang dan ABK. Berikut merupakan persebaran untuk masing-masing kasus:

1. Kasus 1 (Evakuasi Primer, Malam Hari)

Persebaran pada kasus 1, yaitu seluruh penumpang yang disimulasikan atau sebanyak 64 penumpang dan 2/3 ABK (5 ABK) diasumsikan berada pada kabin atau tempat istirahat masing-masing. Sedangkan 1/3 ABK lainnya akan didistribusikan sebagai berikut:

- 1 ABK berada pada lokasi kerja.
- 2 ABK lainnya tersebar pada setiap dek.

2. Kasus 2 (Evakuasi Primer, Siang Hari)

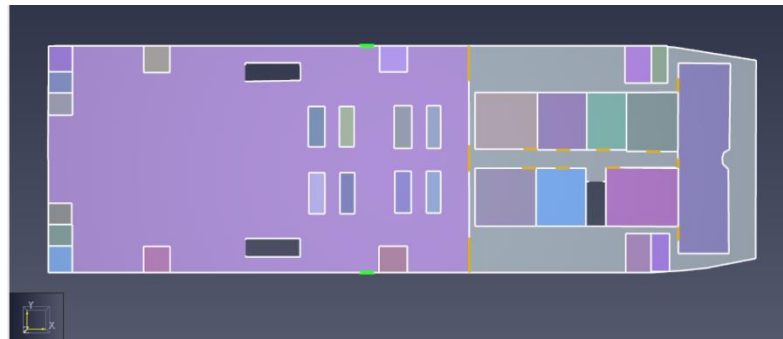
Persebaran untuk kasus 2 yaitu sebanyak 75% penumpang atau 48 penumpang berada pada *public space* atau tempat umum. Sedangkan untuk ABK akan didistribusikan sebagai berikut:

- 1/3 atau sebanyak 2 ABK berada pada kabin.
- 1/3 atau sebanyak 2 ABK lainnya berada pada tempat umum.
- 1/3 lainnya berada pada lokasi kerja masing-masing.

3. Kasus 3 (Evakuasi Sekunder, Malam Hari) dan Kasus 4 (Evakuasi Sekunder, Siang Hari)

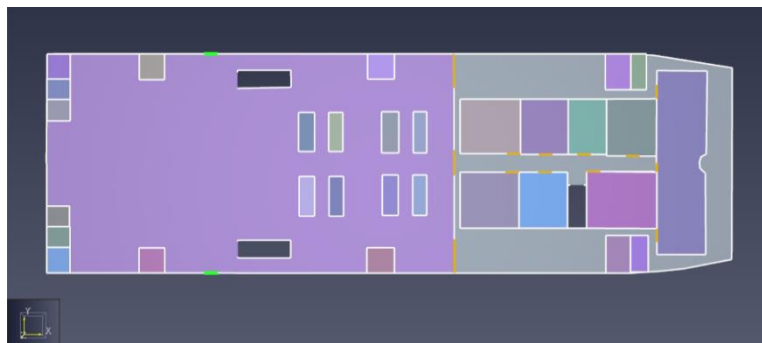
Kasus-kasus ini menggunakan demografi populasi yang sama dengan kasus evakuasi primer atau kasus 1 dan 2. Namun, dalam kasus ini salah satu tangga penghubung antar geladak yang memiliki kapasitas terbesar dari simulasi pada kasus 1 dan 2, dianggap tidak dapat digunakan dalam proses simulasi kasus 3 dan 4.

Simulasi dilakukan pada keempat kasus tersebut dengan 2 posisi penempatan *lifeboat* yang berbeda, yaitu penempatan *lifeboat* pada posisi *existing* (posisi A) dan penempatan pada posisi yang disarankan (posisi B). Posisi *existing* atau posisi A merupakan posisi penempatan *lifeboat* mula-mula sesuai dengan perencanaan pada *safety plan* seperti Gambar 3.



**Gambar 3.** *Lifeboat* Posisi A (*Existing*)

Posisi B atau posisi *lifeboat* yang disarankan berada dekat dengan area keluar tangga utama pada geladak navigasi. Sehingga dalam keadaan darurat, penumpang diharapkan dapat lebih cepat mencapai kapal penyelamat atau *lifeboat* seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** *Lifeboat* Posisi B (Pemindahan)

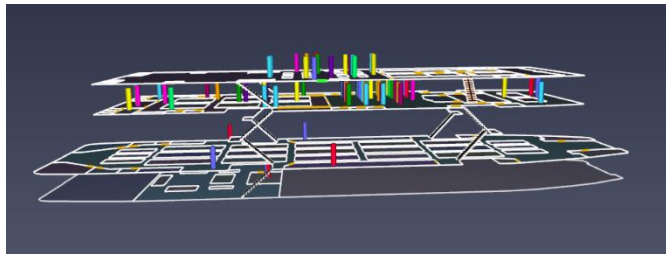
Kedua posisi tersebut telah memenuhi syarat penempatan *lifeboat* sesuai regulasi 11 dan 21 pada *SOLAS Chapter III*, yaitu harus ditempatkan dekat dengan ruang akomodasi dan diletakkan pada setiap sisi kapal sehingga dapat menampung jumlah total orang di atas kapal [17].

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Simulasi evakuasi menuju lifeboat akan dilakukan menggunakan *software pathfinder* berbasis *Agent Based Modelling Simulation* yang disesuaikan dengan regulasi IMO MSC.1/Circ.1533. Proses simulasi tersebut akan menghasilkan luaran berupa nilai total *travel duration* (T). Selain itu, proses simulasi juga melibatkan *software pyrosim* untuk memodelkan asap dalam kondisi kebakaran.

#### 3.1. Pemodelan Evakuasi pada *Pathfinder*

Pemodelan merupakan hal mendasar yang perlu diperhatikan sebelum melakukan proses simulasi evakuasi. *Pathfinder* merupakan simulator evakuasi berbasis ABMS dengan kontrol yang fleksibel atas populasi dan perilaku model. Pemodelan dibuat sedemikian rupa menyesuaikan tata letak ruangan, tangga, serta pintu-pintu sesuai dengan general arrangement kapal pada Gambar 1. Model yang telah dibuat nantinya akan ditambahkan agen yang mewakili penumpang dan ABK dengan populasi sesuai pada Tabel 3, serta kecepatan berjalan sesuai dengan Tabel 4.

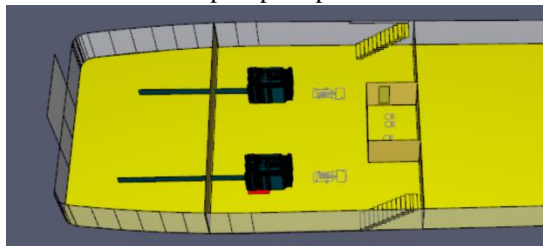


Gambar 5. Pemodelan Final pada *Pathfinder*.

Gambar 5 merupakan gambaran pemodelan final pada *pathfinder*. Terdapat 8 model yang dibuat sesuai dengan demografi populasi pada masing-masing kasus, serta penempatan titik akhir evakuasi yang disesuaikan dengan posisi *lifeboat* yang akan dianalisa.

#### 3.2. Pemodelan Kebakaran pada *Pyrosim*

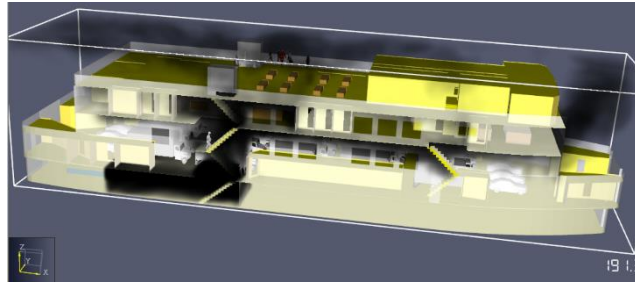
*Software Pyrosim* merupakan *software* yang berfungsi untuk memodelkan kebakaran. Pembuatan model pada *pyrosim* bertujuan untuk menimbulkan efek asap sesuai dengan kondisi kebakaran yang diskenariokan. Skenario kebakaran dalam penelitian ini mengacu pada penelitian yang dikoordinasikan oleh IMO, dimana penelitian tersebut menunjukkan bahwa sekitar 30% - 50% dari seluruh bahaya kebakaran kapal berada pada ruang mesin dan sekitar 60% dari kebakaran tersebut disebabkan oleh self-ignition atau penyalaan sendiri cairan yang mudah terbakar dalam sistem bahan bakar minyak dan diesel<sup>[18]</sup>. Sehingga dalam penelitian ini, penyebab kebakaran diskenariokan sesuai dengan penelitian tersebut dengan nilai pelepasan panas atau *Heat Release Rate Per Area* (HRRPUA) sebesar 50 kW/m<sup>2</sup>. Nilai HRRPUA tersebut merupakan paparan panas yang paling umum digunakan sebagai paparan api yang khas<sup>[19]</sup>. Asumsi luas bidang yang terbakar pada penelitian ini adalah sebesar 2,4 m<sup>2</sup>. Letak sumber api seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Sumber Api



Proses simulasi kebakaran memerlukan waktu sekitar 20 jam. Hasil simulasi kebakaran dapat terlihat seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Simulasi Kebakaran

Hasil simulasi kebakaran selanjutnya akan diintegrasikan kedalam *software pathfinder* untuk dilakukan proses simulasi evakuasi.

### 3.3. Simulasi Evakuasi

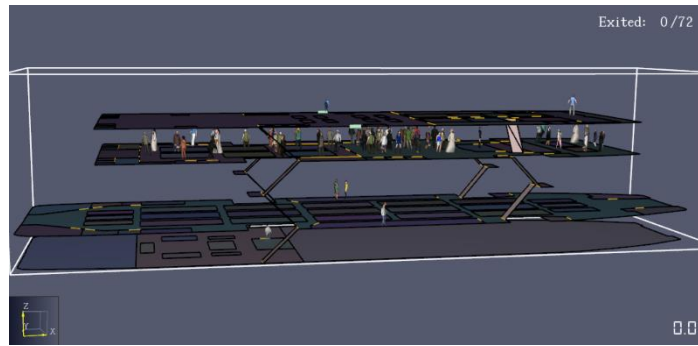
Simulasi dilakukan dengan mengintegrasikan hasil simulasi kebakaran kedalam simulasi evakuasi. Integrasi yang dilakukan bertujuan untuk menimbulkan efek asap atau kebakaran pada simulasi evakuasi.



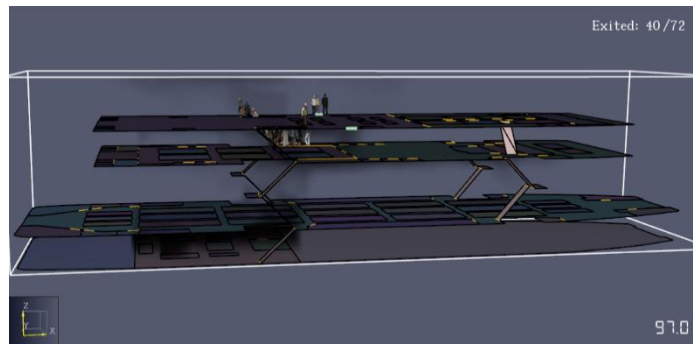
**Gambar 8.** Model Kapal yang Telah Terintegrasi

Gambar 8 merupakan model kapal yang telah terintegrasi atau menjadi satu kesatuan antara model yang dibuat pada *pathfinder* dan *pyrosim*. *Running* simulasi evakuasi dilakukan menggunakan sistem *steering mode*. Pada sistem ini, agen bergerak tanpa dibatasi oleh antrian atau kepadatan ruang<sup>[20]</sup>. Agen akan bergerak menuju tujuan akhir dengan menghindari dinding dan agen lainnya. Sistem ini akan menghasilkan simulasi yang paling realistis secara visual. Simulasi akan menghasilkan luaran berupa proses evakuasi dalam bentuk video 3 dimensi dan grafik nilai total travel duration (T).

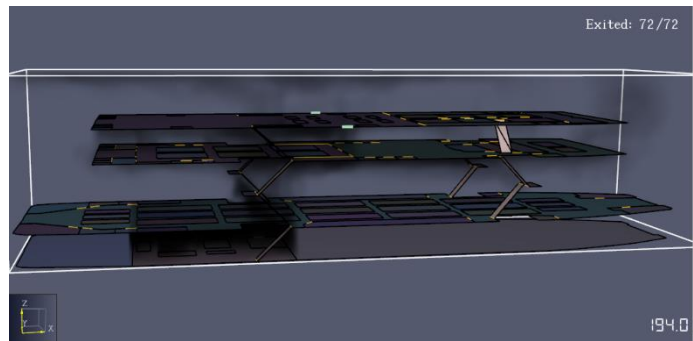
Cuplikan video pada Gambar 9-11 menampilkan gambaran proses simulasi evakuasi agen pada kasus primer di malam hari atau kasus 1 menuju posisi *lifeboat* yang telah ditentukan. Dalam video tersebut ditampilkan pula informasi terkait jumlah agen yang telah mencapai *lifeboat* dalam satuan detik. Gambar 9 menunjukkan cuplikan awal evakuasi dimana penumpang dan ABK menerima sinyal bahaya. Gambar 10 menunjukkan cuplikan proses evakuasi pada detik tengah yaitu dalam waktu 97 detik dengan jumlah penumpang dan ABK yang telah mencapai *lifeboat* sebanyak 40 orang, sedangkan pada Gambar 11 menunjukkan berakhirnya proses simulasi evakuasi dalam waktu 194 detik.



**Gambar 9.** Simulasi Evakuasi pada Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi A (*Existing*) Detik 0

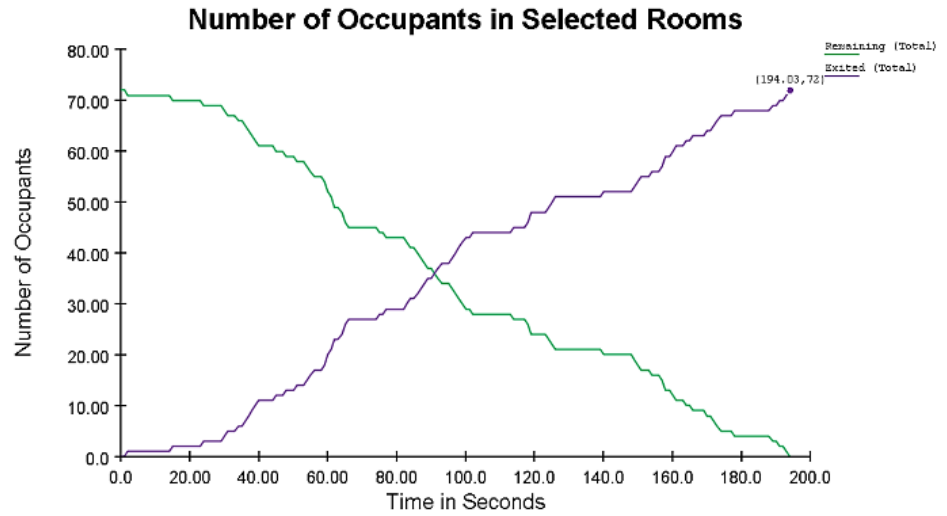


**Gambar 10.** Simulasi Evakuasi pada Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi A (*Existing*) Detik 97

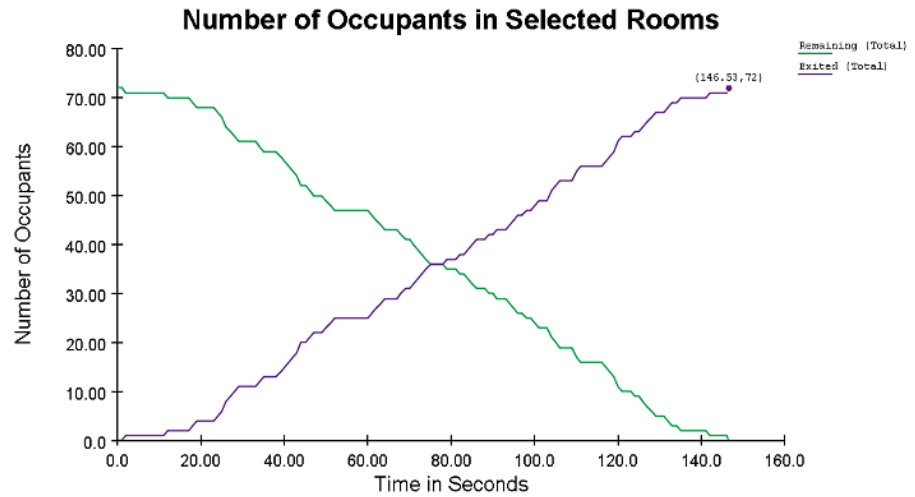


**Gambar 11:** Simulasi Evakuasi pada Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi A (*Existing*) Detik 194

Pada masing-masing kasus juga tersedia luaran berupa grafik yang menunjukkan perbandingan antara jumlah orang dan waktu yang diperlukan untuk menuju *lifeboat* dimana waktu tersebut merupakan nilai total *travel duration* (T).



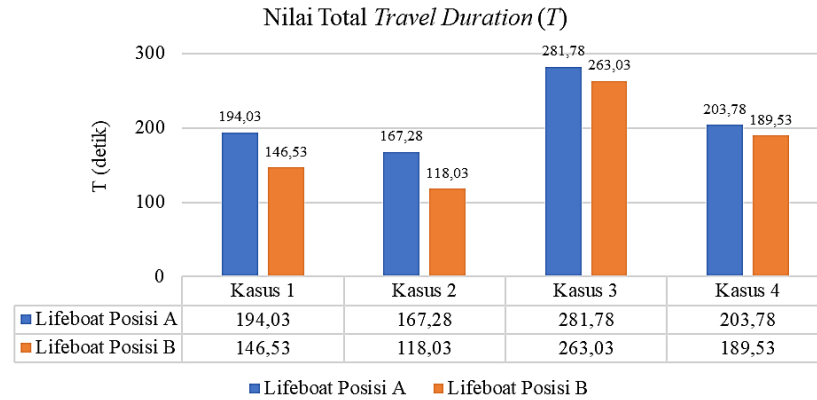
**Gambar 12.** Grafik Simulasi Evakuasi Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi A (*Existing*)



**Gambar 13.** Grafik Simulasi Evakuasi Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi B (Pemindahan)

Gambar 12 merupakan grafik evakuasi pada kasus 1 yaitu kasus primer di malam hari dengan penempatan *lifeboat* posisi A (*existing*). Dari grafik tersebut dapat dianalisa bahwa keseluruhan agen (penumpang dan ABK) dapat menuju *lifeboat* dalam waktu (T) 194,03 detik. Sedangkan pada Gambar 13 dengan penempatan *lifeboat* posisi B, menunjukkan bahwa keseluruhan agen dapat menuju *lifeboat* dalam waktu (T) 146,53 detik.

Nilai total *travel duration* yang tertera pada grafik hasil simulasi, secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Nilai Total *Travel Duration* (T)

Gambar 14 menunjukkan bahwa berdasarkan nilai total *travel duration* (T) penempatan lifeboat pada posisi B menghasilkan durasi yang lebih efisien dibandingkan dengan penempatannya pada posisi A.

### 3.4. Perhitungan Total Durasi Evakuasi

Nilai total *travel duration* yang telah didapatkan dari hasil simulasi evakuasi, selanjutnya akan dimasukkan kedalam Persamaan 1 sesuai dengan standar kinerja IMO MSC.1/Circ.1533. Perhitungan dilakukan pada kasus 1 dengan penempatan *lifeboat* pada posisi A (*existing*). Simulasi evakuasi menghasilkan nilai T sebesar 194,03 detik atau setara dengan 3,2338 menit. Maka perhitungan total durasi evakuasi menjadi seperti Persamaan 2.

$$1,25 (10+3,2338) + 2/3 (30) \text{ menit} \leq 60 \text{ menit} \tag{2}$$

$$36,542 \text{ menit} \leq 60 \text{ menit} \tag{3}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa total durasi evakuasi pada kasus 1 bernilai 36,542 menit. Pada kasus lainnya akan diterapkan perhitungan yang sama sehingga menghasilkan total durasi evakuasi seperti pada Tabel 5.

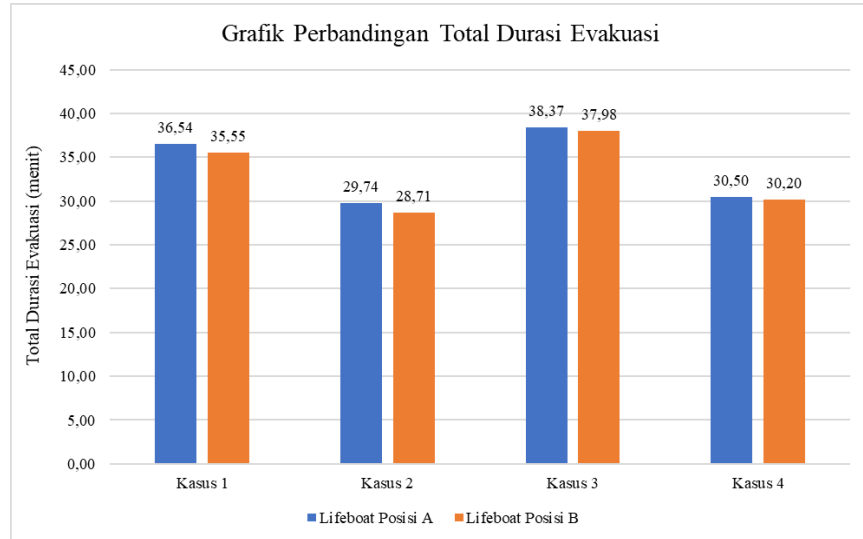
**Tabel 5.** Total Durasi Evakuasi

Penempatan <i>Lifeboat</i>	Kasus 1 (menit)	Kasus 2 (menit)	Kasus 3 (menit)	Kasus 4 (menit)
Posisi A	36,54	29,74	38,37	30,50
Posisi B	35,55	28,71	37,98	30,20

Tabel 5 menunjukkan bahwa total durasi evakuasi pada masing-masing kasus telah memenuhi standar kinerja yang ditetapkan oleh IMO MSC.1/Circ.1533 yaitu total durasi evakuasi untuk kapal penumpang ro-ro harus  $\leq 60$  menit.

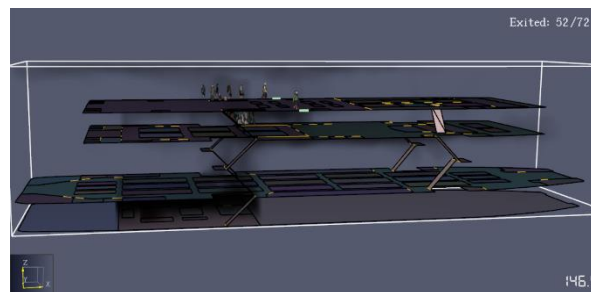
### 3.5. Pemilihan Penempatan *Lifeboat* berdasarkan Efektivitas Waktu Evakuasi

Hasil simulasi evakuasi yang telah melalui tahapan perhitungan, akan menghasilkan nilai total durasi evakuasi pada masing-masing kasus seperti pada tabel 5.

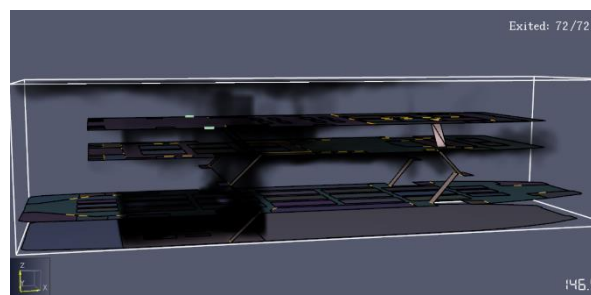


**Gambar 15.** Grafik Perbandingan Durasi Evakuasi

Gambar 15 menunjukkan bahwa penempatan *lifeboat* pada posisi B atau posisi *lifeboat* pada geladak navigasi yang diletakkan dekat dengan jalur keluar tangga utama lebih efektif dibandingkan dengan penempatan *lifeboat* pada posisi A atau posisi mula-mula. Nilai total durasi evakuasi pada kasus 1 dengan penempatan *lifeboat* posisi B, lebih unggul 1 menit dibandingkan dengan penempatannya pada posisi A. Begitupula pada kasus lainnya, masing-masing lebih unggul 1 menit 2 detik pada kasus 2, 23 detik pada kasus 3, dan 17 detik pada kasus 4. Dengan demikian penempatan kapal penyelamat yang menjadi tujuan akhir dari proses evakuasi sangat mempengaruhi durasi evakuasi.



**Gambar 16.** Proses Simulasi Evakuasi Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi A (*Existing*)



**Gambar 17.** Proses Simulasi Evakuasi Kasus 1 dengan Penempatan *Lifeboat* Posisi B (Pemindahan)

Cepat lambatnya durasi evakuasi merupakan hal yang sangat penting dalam kondisi darurat. Satu detik kian berharga untuk menyelamatkan nyawa para penumpang dan ABK. Semakin cepat durasi evakuasi yang dihasilkan, maka semakin banyak nyawa yang dapat diselamatkan. Gambar 17 merupakan cuplikan proses simulasi evakuasi dalam kondisi kebakaran pada kasus 1 dengan penempatan *lifeboat* posisi B. Pada penempatan tersebut, seluruh agen/72 orang dapat mencapai *lifeboat* dalam waktu 146,5 detik. Sedangkan pada gambar 16 dengan penempatan *lifeboat* posisi A, dalam waktu yang sama yaitu 146,5 detik, baru terdapat 52 dari 72 orang yang dapat mencapai *lifeboat*. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa sekiranya terdapat selisih sebanyak 20 orang yang dapat diselamatkan apabila memilih posisi *lifeboat* yang lebih efektif. Sedangkan pada kasus 2, memiliki selisih sebanyak 11 orang, dan masing-masing 1 orang pada kasus 3 & 4. Sehingga pada setiap kasusnya, posisi B lebih unggul dalam hal waktu evakuasi. Keunggulan tersebut disebabkan posisi yang strategis sehingga dapat mengevakuasi penumpang dan ABK lebih cepat. Efektif dalam hal ini merupakan penempatan *lifeboat* yang menghasilkan durasi evakuasi tercepat sehingga dapat menyelamatkan lebih banyak nyawa. Dan perlu diingat kembali bahwa keselamatan penumpang dan ABK merupakan tanggung jawab dari perusahaan pemilik kapal.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi dan perhitungan total durasi evakuasi menunjukkan bahwa, untuk kasus 1 dengan penempatan *lifeboat* pada posisi B (posisi pemindahan), lebih unggul 1 menit dibandingkan dengan penempatannya pada posisi A (*existing*). Begitupula pada kasus 2 lebih unggul 1 menit 2 detik, pada kasus 3 unggul 23 detik, dan pada kasus 4 unggul 17 detik. Ketika dalam keadaan darurat, posisi penempatan *lifeboat* yang strategis dapat menyelamatkan lebih banyak nyawa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kasus 1 dengan penempatan *lifeboat* posisi B dapat menyelamatkan sekiranya 20 orang lebih cepat dari posisi A, sedangkan kasus 3 dan kasus 4 hanya memiliki perbedaan 1 orang lebih cepat. Hal tersebut menunjukkan bahwa *lifeboat* dengan penempatan pada posisi B atau pada geladak navigasi yang diletakkan dekat dengan jalur keluar tangga utama, dinilai lebih efektif berdasarkan kecepatan durasi evakuasi yang dihasilkan dan jumlah orang yang dapat dievakuasi berdasarkan simulasi. Efektivitas tersebut sangatlah penting, karena semakin cepat proses evakuasi yang dilakukan, maka semakin tinggi angka penumpang dan ABK yang dapat diselamatkan. Selain itu, hasil total durasi evakuasi yang dianalisa pada masing-masing kasus memiliki nilai kurang dari 60 menit, dimana telah memenuhi standar IMO MSC.1/Circ.1533. Sebagai saran, Analisa pengaruh penempatan *lifeboat* terhadap kecepatan durasi evakuasi sebaiknya dilakukan pada tahap awal pendesainan kapal penumpang, serta menggunakan metode simulasi. Dengan demikian dapat meminimalisir biaya dan memaksimalkan keselamatan penumpang.

#### PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro atas fasilitas yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian sampai penulisan kajian ini selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Choiron, D. B. Darmadi, and B. Rahmaddian Anwari, "Analisis Penyerapan Energi Dan Pola Deformasi *Crash Box* Dengan Variasi Sudut Tirus Dinding *Crash Box* Pada Uji Simulasi Tabrakan Arah Frontal," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 1, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.01.11.

- [2] Komite Nasional Keselamatan Transportasi, “Status Laporan Investigasi Kecelakaan Transportasi dan Monitoring Rekomendasi Keselamatan Transportasi,” 2021.
- [3] U. Zulkifli, “Analisa Evakuasi Penumpang KMP. Takabonerate,” 2021.
- [4] M. B. Zaman, N. Siswantoro, and M. Zulfikar, “*Evacuation Analysis of Ship Passenger Using Agent Based Modelling Simulation*,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 698, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/698/1/012017.
- [5] N. Saputra and M. Basuki, “Analisa Jalur Evakuasi Penumpang Kapal Ferry Roro KM Athaya dengan Metode Pendekatan Simulasi,” *SEMITAN III*, vol. 3, no. ISSN 2686-0651, pp. 155–161, 2021.
- [6] A. A. Praditya, T. T. Pitana, and D. D. Priyanta, “*Implementasi Discrete Event Simulation* untuk Analisis Evakuasi Penumpang Kapal Ro-Ro Pada Kondisi List dan Normal,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 3, no. 1, 2014.
- [7] K. Priohutomo and B. Rolly, “Kajian Waktu Evakuasi Dengan Metode *Simplified* Pada Kapal Perintis,” *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, vol. 11, no. 2, 2017, doi: 10.29122/jurnalwave.v11i2.2522.
- [8] K. Priohutomo and B. R. Yuwana, “Analisa Waktu Evakuasi Dengan Metode *Advance* Pada Kapal Perintis 1200 GT,” *Kapal*, vol. 14, no. 2, pp. 47–52, 2017, doi: 10.14710/kpl.v14i2.14626.
- [9] C. Nasso, S. Bertagna, F. Mauro, A. Marinò, and V. Bucci, “*Simplified and advanced approaches for evacuation analysis of passenger ships in the early stage of design*,” *Brodogradnja*, vol. 70, no. 3, pp. 43–59, 2019, doi: 10.21278/brod70303.
- [10] N. Hadi, “Studi Analisis Waktu Evakuasi Pada Kapal Penumpang Ferry Ro-ro 5000 GT Jalur Pelayaran Merak – Bakauheni,” *Jurnal Penelitian Engineering*, vol. 21, no. 1, May 2017, doi: 10.25042/jpe.052017.01.
- [11] M. Budiansyah, “Analisa Efektivitas Penempatan Lifeboat dan *Lifejacket* terhadap Proses Evakuasi Kapal Penumpang,” 2006.
- [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, 2022, doi: <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i2.1085>.
- [13] C. Macal and M. North, “*Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation*,” in *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2015.
- [14] A. M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, vol. FIFTH EDITION. 2015. 694-695.
- [15] International Maritime Organization (IMO), “MSC.1-Circ.1533 - *Revised Guidelines On Evacuation Analysis For New And Existing Passenger Ships (Secretariat)*,” 2016.
- [16] T. Pitana, K. B. Artana, D. Prasetyawati, and N. Siswantoro, “*Observation Study the Walking Speed and Distribution of Ship’s Passengers as Basis for Passenger Evacuation Simulation*,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 862, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.862.232.
- [17] SOLAS, *International Convention for the Safety of Life at Sea. Lloyd’s Register Rulefinder*, 2009. 385-417.
- [18] A. Charchalis and S. Czyz, “*Analysis of fire hazard and safety requirements of a sea vessel engine room.*,” *Journal of KONES powertrain and transport*, vol. 18, no. 2, pp. 49–56, 2011.
- [19] J. Hietaniemi and E. Mikkola, “Design Fires for Fire Safety Engineering,” 2010.

- [20] *Thunderhead Engineering*, “*Pathfinder Technical Reference Manual*,” 2022. Accessed: Jul. 24, 2022. [Online]. Available: [https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2022-1/technical-reference-manual/#\\_free\\_pass](https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2022-1/technical-reference-manual/#_free_pass)