



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISA EVAKUASI PENUMPANG DENGAN METODE PENDEKATAN SIMULASI BERDASARKAN ATURAN IMO MSC.1/CIRC.1533 PADA KAPAL PENYEBRANGAN PENUMPANG 5000 GT

Joshua Farrand¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Berlian Arswendo Adietya¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Sistem dan Permesinan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : joshuafarrand@students.undip.ac.id, imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id,
berlian@undip.ac.id

Abstrak

Menurut data KNKT jumlah kecelakaan kapal penumpang sejak tahun 2019 sampai 2021 berjumlah 55 kasus kecelakaan. Kasus kecelakaan tersebut mengakibatkan 199 orang meninggal dunia dan 70 orang mengalami luka luka. Maka diperlukan evaluasi penanganan evakuasi penumpang dan awak kapal. Penelitian kali ini membahas waktu evakuasi pada kondisi kebakaran di geladak kendaraan serta dampak yang ditimbulkan. Penelitian ini dilakukan pada kapal KM. Dharma Kencana I dengan menggunakan metode simulasi kebakaran. Dari hasil simulasi memberikan dampak dari kebakaran yaitu menimbulkan gas beracun, jarak pandang yang minim, dan nilai laju pelepasan panas pada kisaran 1000 kW. Penelitian ini menghasilkan waktu evakuasi kasus 1; 22,90 menit, untuk kasus 2; 22,68 menit, kasus 3; 23,97 menit dan kasus 4; 23,43 menit dengan eror pada setiap kasusnya kurang dari 5%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini menghasilkan waktu evakuasi di setiap kasusnya kurang dari 60 menit sesuai dengan standard performance IMO MSC. 1/Circ. 1533.

Kata Kunci : Evakuasi Kebakaran, Simulasi Kebakaran, Standar IMO MSC.1/Circ.1533, Kapal Penumpang

1. Pendahuluan

Keselamatan penumpang menjadi prioritas utama kami dan diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 61 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Angkutan Sungai dan Laut. Namun dalam praktiknya, penerapan ini tidak selalu aman. Risiko selalu ada bagi awak kapal (ABK) dan penumpang. Dewan Keselamatan Transportasi Nasional (KNKT) merupakan lembaga independen dan akuntabel publik di Kementerian Perhubungan yang bertugas menyelidiki penyebab kecelakaan.

Berdasarkan data KNKT, terjadi 55 kecelakaan kapal penumpang sepanjang tahun 2019 hingga 2021. Kecelakaan ini menewaskan 199 orang dan melukai 70 orang [1].

Berdasarkan fakta dari berbagai kecelakaan yang terjadi selama ini, jelas bahwa salah satu penyebab banyaknya korban jiwa dalam kecelakaan kapal adalah buruknya jalur evakuasi di atas kapal. Menurut SOLAS chapter II, setidaknya harus disediakan dua jalur evakuasi di kapal. Salah satunya merupakan jalur evakuasi untuk mengevakuasi penumpang, dan satu lagi merupakan jalur khusus bagi awak kapal untuk mencapai lokasi kecelakaan dan melakukan operasi penyelamatan di sana [2].

Penjelasan di atas telah menunjukkan adanya kelemahan dalam manajemen keselamatan yang ditetapkan oleh pemerintah dan International Maritime Organization (IMO). IMO merupakan organisasi internasional untuk keselamatan dan keamanan pelayaran maritim dan mengendalikan pencegahan pencemaran di laut oleh kapal.

IMO MSC.1/Circ.1533 telah memberikan standar yang diperlukan untuk mengevaluasi proses evakuasi. Penggunaan standar tersebut dapat digunakan untuk kapal-kapal yang berlayar di Indonesia, hal ini dibuktikan dengan penelitian Trika Pitana dkk. Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa kecepatan penumpang dapat menunjukkan kondisi kapal yang berlayar di Indonesia [3].

Menurut penelitian dari Kusnindar P. dan Budy R. Y., dalam penelitiannya mengenai waktu perpindahan penumpang kapal Perintis 1200 GT menggunakan *advanced method* yang ditentukan oleh IMO. Penelitian ini dapat menghasilkan waktu tempuh untuk evakuasi sebesar 348,03 detik dan 2010,03 detik atau total 33,5 menit [4].

Selain itu, ada penelitian lain yang berjudul Analisis Waktu Penerbangan Berdasarkan Tanggap Darurat, Perhitungan SFPE dan Stimulasi Stakeholder. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan waktu perlambatan dari sampel penumpang dan awak kapal pada saat keadaan darurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan simulasi ini dihasilkan waktu evakuasi sebesar 7,91 menit, sedangkan untuk perhitungan sistematis didapatkan waktu evakuasi sebesar 8,01 menit dan berdasarkan software pathfinder menghasilkan waktu evakuasi sebesar 8,13 menit [5].

Berdasarkan penelitian dari Rudianto, yang bertujuan untuk melakukan evaluasi serta pemberian rekomendasi pada proses evakuasi kapal, menghasilkan bahwa waktu evakuasi pada siang hari pada kisaran 32-48 menit, sedangkan untuk malam hari berada pada durasi 35-48 menit [6].

Menurut Abadi DS, dalam penelitiannya menunjukkan bahwa kasus kecelakaan di laut yang paling sering terjadi adalah kasus kecelakaan kebakaran, lokasi kecelakaan paling sering terjadi berada di wilayah laut Jawa, dan waktu terjadinya kecelakaan antara pukul 12.00 hingga 17.59 [7].

Simulasi menggunakan metode *Fire Dynamic Simulator* (FDS) membuat realitas dapat dilakukan secara akurat seperti yang diungkapkan dalam penelitian Rinnie dkk. FDS Menyatakan bahwa simulasi konsentrasi asap CO, CO₂, dan O₂ dapat dimodelkan dengan baik dalam beberapa kasus [8].

Simulasi Pemulihan Kebakaran Kapal seperti yang dilakukan oleh Bondan dkk. menunjukkan bahwa kebakaran pada kapal KM Saliva dapat diciptakan kembali dengan menggunakan *Fire Dynamic Simulator* (FDS) [9].

Menurut penelitian yang dilaksanakan oleh Muhammad dkk. Menghasilkan hasil simulasi dengan waktu evakuasi 689 detik pada siang hari dan 1595 detik pada malam hari. Perhitungan numerik memakan waktu 584 detik pada siang hari dan 1374 detik pada malam hari [10].

Kecepatan berjalan penumpang mengalami perlambatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi asap yang dihasilkan selama terjadinya kebakaran. Seperti berjalan dengan pola zig-zag atau berjalan perlahan di dekat tembok [11].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, pada umumnya memiliki kesamaan. Artinya, penelitian ini berfokus pada analisa evakuasi dengan menggunakan perangkat lunak untuk simulasi evakuasi dan simulasi kebakaran. Oleh karena itu penulis mencoba menyelesaikan sejumlah kasus simulasi dengan menambahkan sebuah kejadian kebakaran pada proses evakuasi sekaligus memberikan validasi perhitungan waktu evakuasi pada kapal penyebrangan penumpang 5000 GT.

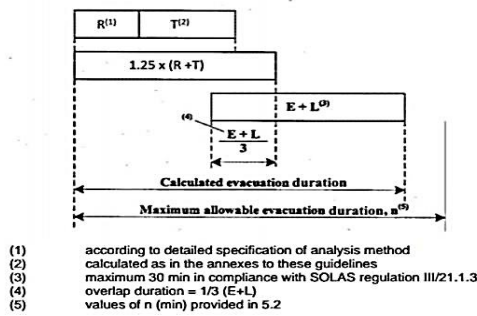
2. Metode

2.1 *Advanced Evacuation Analysis*

Metode Analisa ini merupakan metode perhitungan waktu evakuasi menggunakan bantuan *software*..

2.2 Aturan IMO

International Maritime Organization (IMO) merupakan organisasi yang mengatur kemaritiman dunia telah mengeluarkan standar aturan dalam dunia maritim untuk skala internasional. Seperti dalam menganalisis suatu proses evakuasi pada kapal. IMO telah mengeluarkan sejumlah data kecepatan berjalan dan persentase jumlah penumpang pada IMO MSC.1/Circ.1533. Selain itu IMO juga merumuskan waktu untuk melakukan evakuasi pada kapal penumpang yaitu n=60. Berikut standar performa yang terdapat pada IMO.



Gambar 1. Standar Performa

dimana :

A = *awarness time* (skenario 5 menit pada siang hari dan 10 menit untuk malam hari),

T = *travel time*,

E = *embarkation time*,

L = *launching time*.

Dengan catatan :

- (1) Pada kasus 1 dan 3 memiliki waktu respon 10 menit, kasus 2 dan 4 memiliki waktu respon 5 menit,
- (2) Perhitungan pada Appendix 1
- (3) Pada kasus ini memiliki waktu maksimal 30 menit,
- (4) Overlap time yaitu 1/3 (E+L),
- (5) Waktu yang diperbolehkan untuk evakuasi.

Kapal yang digunakan sebagai studi kasus pada penelitian ini yaitu kapal penyebrangan penumpang 5000 GT



Gambar 2. Kapal Passenger

Berdasarkan gambar 2 kapal memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- LOA : 55,90 m.
- LPP : 50,00 m.
- B : 13,60 m.
- T : 2,60 m.
- H : 3,80 m.
- Vs : 20 knot.

- ABK : 24 Orang.
- Penumpang Ekonomi : 60 Orang.
- Penumpang Ekonomi Terbuka : 40 Orang.
- Kendaraan *Truck* 10 Ton : 10 Unit.
- Kendaraan Sedan/MPV/SUV : 15 Unit.

Kapal tersebut memiliki beberapa perlengkapan keselamatan sebagai berikut:

- *Lifeboat* 1 unit.
- *Liferaft* 8 unit.
- Pelampung Dewasa 163 buah..

2.3 Kondisi Berjalan Penumpang

Simulasi ini mempunyai beberapa kondisi penumpang yang telah diatur berdasarkan dengan pedoman dari IMO MSC.1/Circ.1533. Dimana terdapat empat kondisi dalam kebakaran, dengan perincian kondisi normal siang dan malam serta kondisi salah satu tangga evakuasi di matikan pada keadaan siang dan malam.

Tabel 1. Jumlah Penumpang dan ABK

POPULATION GROUPS PASSENGERS	PASSENGERS
FEMALES YOUNGER THAN 30 YEARS	9
FEMALES 30-50 YEARS OLD	7
FEMALES OLDER THAN 50 YEARS	20
FEMALES OLDER THAN 50, MOBILITY IMPAIRED (1)	12
FEMALES OLDER THAN 50, MOBILITY IMPAIRED (2)	12
MALES YOUNGER THAN 30 YEARS	9
MALES 30-50 YEARS OLD	7
MALES OLDER THAN 50 YEARS	21
MALES OLDER THAN 50, MOBILITY IMPAIRED (1)	11
MALES OLDER THAN 50, MOBILITY IMPAIRED (2)	12
CREW FEMALES	4
CREW MALES	4

Selain itu pada IMO MSC.1/Circ. 1533 untuk persentase jumlah penumpang di bagi menjadi beberapa kelompok rentang umur dengan perincian pada tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan Berjalan Penumpang

Population groups - passengers	Walking speed on flat terrain (e.g., corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Female youngsters than 30 years	0.93	1.55
Female 30-5 years old	0.71	1.19
Females older than 50 years	0.56	0.94
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.43	0.71
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.37	0.61
Males younger than 30 years	1.11	1.85
Males 30-50 years old	0.97	1.62
Males older than 50 years	0.84	1.4
Males older Than 50, mobility impaired (1)	0.64	1.06
Males older Than 50, impaired (2)	0.55	0.91
Population groups – crew	Walking speed on flat terrain (e.g., corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Crew females	0.93	1.55
Crew males	1.11	1.85

2.4 Skenario Kecelakaan

Skenario yang akan dilakukan pada penelitian ini merupakan kondisi kecelakaan kebakaran. Kecelakaan terjadi pada dek kendaraan dimana terdapat sebuah mobil yang terbakar. Hal ini dilakukan karena sebagian besar kebakaran kapal dimulai pada dek kendaraan.[15].

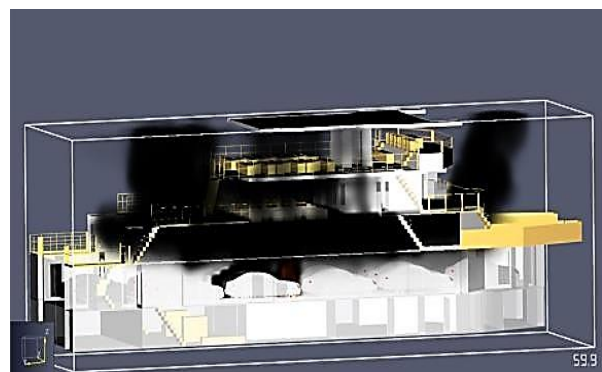
Penumpang yang berada di dalam kapal akan dievakuasi menuju *liferaft* yang terletak pada geladak terbuka kapal. Kejadian tersebut digambarkan pada kondisi kapal *even keel*. Kebakaran terjadi pada waktu siang hari dan malam hari, yang masing-masing waktu diberikan tambahan kasus tangga rusak, sehingga terdapat empat kasus simulasi [16].

2.5 Simulasi Kebakaran

Pemodelan simulasi kebakaran ini digunakan sebagai gambaran saat terjadinya kebakaran pada kapal. Pembuatan model ini sesuai dengan rencana umum kapal KM. Dharma Kencana I. Pemodelan ini juga melakukan pemilihan material pada bagian - bagian kapal yang dimodelkan seperti pada alas, dinding, dan perabotan kapal.

Pemodelan api pada penelitian ini menggunakan asumsi kebakaran terjadi pada salah satu kendaraan sedan. Sehingga dimasukan *Heat Release Per Unit Area* (HRPUA) sebesar 270 kW/m² [17]. Kebakaran ini menggunakan reaksi *polyurethane*, dimana reaksi tersebut banyak terkandung dalam bahan material pada kendaraan seperti pada bagian *dashboard* mobil, dan bagian peredam suara pada mobil [18].

Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan waktu kebakaran 230 detik.



Gambar 3. Simulasi Kebakaran

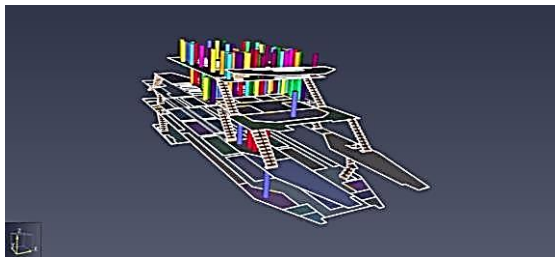
Berdasarkan gambar 3 memperlihatkan dinding kapal dengan *opacity* yang rendah agar dapat memperlihatkan kondisi asap yang berada pada dalam ruangan kapal.

2.6 Simulasi Evakuasi

Perhitungan waktu evakuasi menjadi salah satu tolak ukur proses evakuasi yang baik. Melalui simulasi ini diharapkan dapat menghitung *traveling time* dengan mewakili keadaan sebenarnya untuk diolah menjadi *evacuation time*. Pembuatan model ini mengacu pada rencana umum dari kapal KM. Dharma Kencana I.

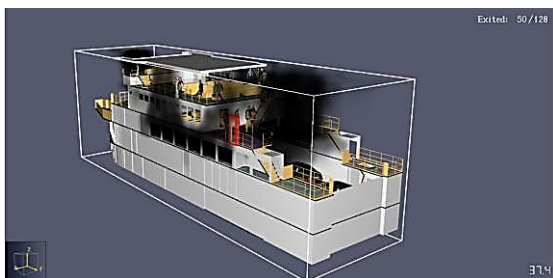
Simulasi penelitian ini menggunakan parameter dari SFPE. Parameter yang dimaksud yaitu perilaku dari setiap *agent* sesuai dengan kasus kebakaran. Sistem SFPE

Sistem perilaku yang dijelaskan pada SFPE *Handbook of Fire Protection Engineering* [19]. Pada system ini parameter mengontrol aliran dan antrian pada pintu.



Gambar 4. Penggambaran Final Model

Berdasarkan gambar 4 terlihat final model gambar yang nantinya akan diintegrasikan dengan simulasi kebakaran yang dihasilkan pada aplikasi untuk simulasi kebakaran.



Gambar 5. Simulasi Evakuasi Kebakaran

Berdasarkan gambar 5 memperlihatkan cuplikan simulasi evakuasi kebakaran dimana para *agent* menuju *exit point* yang terletak pada geladak terbuka.

2.7 Validasi

Validasi dilakukan untuk membuktikan apakah *traveling time* yang dihasilkan oleh simulasi pada perangkat lunak simulasi kebakaran memiliki hasil sesuai dengan perhitungan pada IMO. Validasi dilakukan menggunakan metode *simplified* yang dikeluarkan oleh IMO sesuai dengan FSS Code untuk empat kasus yang disimulasikan.

Tabel 3 Nilai *Specific Flow* Dan *Speed* Sebagai Fungsi Dari *Density*

Type	Initial Density	Initial Specific Flow	Initial Speed of persons
	D (P/m ²)	Fs (p/(ms))	S (m/s)
Corridor	0	0	1,2
	0,5	0,65	1,2
	1,9	1,3	0,67
	3,2	0,65	0,2
	≥ 3,5	0,32	0,1

Tabel 4 . Nilai Maksimum *Specific Flow* Dan *Speed* Pada Masing-Masing Tipe Tempat

Type	Initial Specific Flow	Initial Speed of Persons
	Fs (p/(ms))	S (m/s)
Stairs (down)	0	1
	0,54	1
	1,1	0,55
Stairs (up)	0	0,8
	0,43	0,8
	0,88	0,44
Corridor	0	1,2
	0,65	1,2
	1,3	0,67

Tabel 5 Nilai maksimum specific flow pada masing-masing tipe tempat

Type	Initial Specific Flow
	Fs (p/(ms))
Stairs (down)	1,1
Stairs (up)	0,88
Corridor	1,3
Doorways	1,3

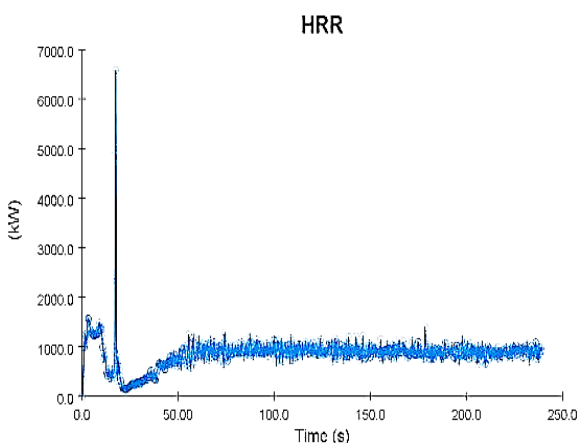
Menghitung jumlah *travel time* dilakukan perhitungan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- Mengukur lebar dan panjang akses jalur evakuasi seperti koridor dan tangga.
- Menghitung jumlah densitas pada setiap akses evakuasi.
- Menentukan *specific flow* berdasarkan densitas di setiap akses evakuasi menggunakan tabel
- Menghitung *calculated flow* di setiap akses evakuasi.
- Menentukan *initial speed* berdasarkan nilai *specific flow*.
- Menghitung *flow time* pada setiap dek.
- Menentukan *overall time*.
- Pilih *overall time* dari setiap geladak dengan nilai terbesar.

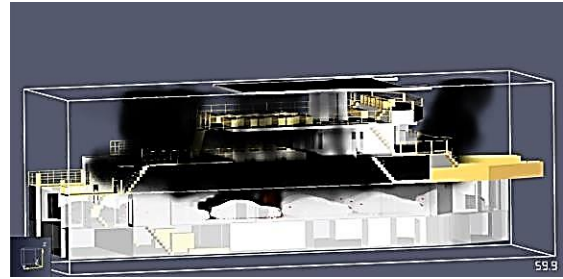
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Simulasi Kebakaran

Hasil yang didapatkan melalui proses simulasi kebakaran ini berupa animasi grafis dari simulasi dengan luaran berbentuk grafik. Dari animasi grafis ini diperoleh beberapa data berupa sebaran asap maupun laju pelepasan panas. Efek yang ditimbulkan dari kebakaran pada dek kendaraan yaitu api yang tidak cukup besar. Namun pada gambar 6 dapat dilihat bahwa rata-rata besaran cepat rambat panas berada pada rata-rata kisaran 1000 kW hingga waktu 240 detik.

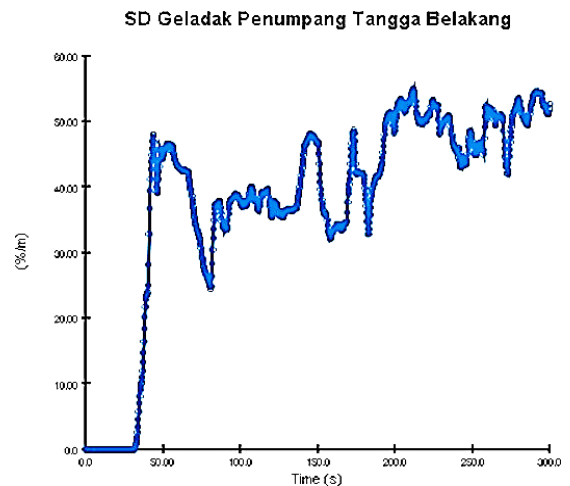


Gambar 6. Grafik Heat Release Rate



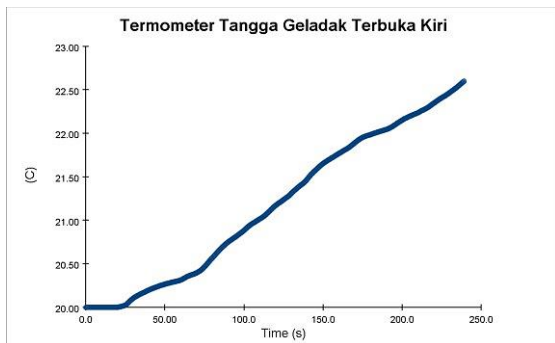
Gambar 7. Penampakan Asap

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat dari hasil simulasi kebakaran, asap yang dihasilkan pada simulasi ini cukup pekat dapat terlihat melalui warnanya. Asap tersebut sebagian besar langsung keluar dari badan kapal dikarenakan dek kendaraan pada kapal tersebut sebagian atapnya terbuka serta adanya lubang-lubang jendela. Sehingga tidak terjadi penumpukan asap yang signifikan pada geladak kendaraan. Namun asap masuk ke geladak penumpang dan menutupi tangga evakuasi.



Gambar 8. Konsentrasi Asap Tangga Depan Kanan Geladak Penumpang

Berdasarkan gambar 8 menunjukkan bahwa asap memiliki konsentrasi yang sangat pekat pada jalur yang dilalui penumpang dan ABK dalam melakukan evakuasi mengingat *assembly point* pada kapal ini berada pada geladak terbuka yang terletak di atas geladak penumpang.



Gambar 9. Suhu Pada Tangga Kiri Geladak Terbuka

Berdasarkan gambar 9 terlihat suhu naik tiga derajat celsius hingga waktu simulasi 240 detik. Hal ini memperlihatkan bahwa adanya kenaikan suhu pada jalur akses evakuasi namun kenaikan suhu tersebut tidak meningkat terlalu signifikan. Begitu juga suhu pada *device* lain tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan. Hal ini di akibatkan oleh terjadinya kebakaran pada geladak kendaraan yang sebagian atapnya terbuka.

3.2 Simulasi Evakuasi

Hasil simulasi untuk empat kasus didapatkan data *traveling time* sebagai berikut:

- Kasus 1 : 2,28 menit.
- Kasus 2 : 2,17 menit.
- Kasus 3 : 3,24 menit.
- Kasus 4 : 2,79 menit

Setelah mendapatkan nilai dari masing-masing *traveling time* pada setiap kasus dilakukan perhitungan untuk mengetahui *evacuation time* menggunakan standar performa yang sudah dikeluarkan oleh IMO.

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

$$(E+L) \leq 30 \text{ min} \dots\dots\dots(2)$$

Sebagai contoh dilakukan perhitungan pada kasus satu. Simulasi pada kasus ini menghasilkan *traveling time* sebesar 2,28 menit. Perhitungan waktu evakuasi sebagai berikut.

$$\text{Waktu evakuasi} = 1,25 \times T + 2/3 \times (E+L) \text{ Waktu evakuasi} = 1,25 \times 2,28 + 2/3 \times 30$$

$$\text{Waktu evakuasi} = 35,36 \text{ menit}$$

Hasil dari waktu evakuasi pada kasus satu hingga empat akan ditampilkan pada tabel berikut.

IMO telah membatasi agar waktu untuk melakukan evakuasi tidak melebihi dari 60 menit. Sehingga empat kasus tersebut memenuhi standar karena tidak melebihi 60 menit.

Tabel 6. Waktu Evakuasi

Kasus	Waktu Evakuasi (Menit)
Kasus 1 (Utama, Malam)	35,36
Kasus 2 (Utama, Siang)	28,98
Kasus 3 (Sekunder, Malam)	36,53
Kasus 4 (Sekunder, Siang)	29,75

3.3 Validasi

Mengikuti langkah-langkah pada aturan IMO MSC.1/Circ. 1533, dan membandingkan dengan *output traveling time* pada simulasi pada setiap kasus dengan perhitungan menggunakan metode *simplified* dihasilkan *error* kurang dari lima persen sebagai berikut

Tabel 7. Total Travel Time Pada Kasus 1

Deck	t _{dek} (s)	t _f (s)	t _{stair} (s)	t _{assem} (s)	t _i (s)	T (s)
Kompartemen Alas	0	108,77	3,5	5,84	118,11	271,65
Dek Kenderaan	0,99	108,77	3,51	5,84	119,11	273,95
Dek Antardaun	3,09	108,77	9,35	5,84	127,04	292,20
Dek Penumpang	9,80	108,77	6,82	5,84	131,23	301,82
Dek Terbuka	0,00	108,77	0	5,84	114,61	263,60
Perhitungan		131,2				
Aplikasi		137,5				
Error	4,56	%				

Tabel 8. Total Travel Time Pada Kasus 2

Deck	tdeck (s)	tf (s)	tst air (s)	tassembly (s)	tj (s)	T (s)
Kompartemen Alas	0	106,06	3,5	5,84	115,40	265,43
Dek Kenderaan	0,99	106,06	2,33	5,84	115,22	265,00
Dek Antara	3,09	106,06	9,03	5,84	124,02	285,26
Dek Penumpang	5,82	106,06	12,61	5,84	130,33	299,77
Dek Terbuka	0,00	106,06	2,60	5,84	114,50	263,36
Perhitungan		130,33				
Aplikasi		130,8				
Eror	0,36	%				

Tabel 9. Total Travel Time Pada Kasus 3

Deck	tdeck (s)	tf (s)	tst air (s)	tassembly (s)	tj (s)	T (s)
Kompartemen Alas	0	126,89	3,50	6,35	136,75	314,52
Dek Kenderaan	1,94	126,89	3,51	6,35	138,70	319,01
Dek Antara	3,09	126,89	9,35	6,35	145,68	335,07
Dek Penumpang	45,20	126,89	5,80	6,35	184,24	423,76
Dek Terbuka	0,00	126,89	0	6,35	133,25	306,47
Aplikasi		193,3				
Perhitungan		184,24				
Eror	4,69	%				

Tabel 10. Total Travel Time Pada Kasus 4

Deck	tdeck (s)	tf (s)	tst air (s)	tassembly (s)	tj (s)	T (s)
Kompartemen Alas	0	140,15	3,50	6,35	150,01	345,01
Dek Kenderaan	1,94	140,15	2,33	6,35	150,77	346,78
Dek Antara	3,09	140,15	19,3	6,35	168,88	388,43
Dek Penumpang	17,8	140,15	5,80	6,35	170,10	391,23
Dek Terbuka	0,00	140,15	2,6	6,35	149,11	342,95
Aplikasi		167,80				
Perhitungan		170,10				
Eror	-1,37	%				

3.4 Analisis Evakuasi Kebakaran

Pemodelan simulasi kebakaran yang diintegrasikan langsung pada pemodelan evakuasi akan lebih mudah menganalisis dampak yang ditimbulkan dari evakuasi kebakaran. Selain itu pada saat dilakukannya simulasi memungkinkan adanya gas beracun pada hasil pembakaran yaitu karbon monoksida (CO) yang dapat memberikan efek kesadaran pada penumpang hingga menyebabkan pingsan para penumpang dan ABK. Selain itu karena kepekatan asap yang ditimbulkan menyebabkan berkurangnya visibilitas penumpang dan ABK dalam melakukan evakuasi menjadi terganggu.

4 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil analisis dari beberapa simulasi yang telah dilakukan sesuai dengan IMO, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Cara menyimulasikan proses evakuasi saat kondisi kebakaran dapat menggunakan software yang memiliki metode *Agent Based Model Simulation (ABSM)* sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi saat di lapangan. Dengan dibuktikan eror pada setiap kasus dalam perhitungan *traveling time* kurang dari 5 %.

2. Laju rata-rata pelepasan panas pada kondisi kebakaran pada simulasi ini merupakan kebakaran yang bersumber dari mesin kendaraan mobil pada deck kendaraan, menunjukkan rata-rata besaran *heat release rate* di kisaran 1000 kW
3. Dari hasil perhitungan waktu total simulasi proses evakuasi pada kondisi kebakaran didapatkan perbandingan antara kondisi malam dan siang hari, pada kondisi malam hari antara kasus satu dan tiga waktu total evakuasi naik sebesar 3,18% dan untuk kondisi siang antara kasus dua dan empat, waktu total evakuasi naik sebesar 2,59%.

5 Saran

Setelah melakukan penelitian pada setiap kasus, maka saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya yakni:

1. Saat melakukan simulasi kebakaran dapat menambahkan variasi letak sumber api yang lebih banyak seperti pada besaran dan karakteristik api.
2. Saat melakukan simulasi kebakaran dapat menambahkan beberapa kasus tambahan, semisal: Kaca yang tidak dapat terbuka pada kapal,dll.

Daftar Pustaka

- [1] Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, "*Laporan Final-Pelayaran*," Jakarta, 2021.
- [2] Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republik Indonesia, "*Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran Terbakarnya KM. Fungsi Permata V*," Komite Nasional Keselamatan (KNKT), Jakarta, 2018.
- [3] T. Pitana, B. K. Artana, D. Prasetyawati and N. Siswantor, "*Observation Study the Walking Speed and Distribution of Ship's Passenger as Basis for Passenger Evacuation Simulation*," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 862, pp. 232-237, 2017.
- [4] K. Priohutomo and B. R. Yuwana, "*Analisa Waktu Evakuasi Dengan Metode Advance*," *KAPAL*, vol. 14, no. Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan, pp. 48-52, 2017.
- [5] T. A. Pradita, M. L. Ashari and L. Handoko, "*Analisis Waktu Evakuasi berdasarkan Simulasi Tanggap Darurat, Perhitungan SFPE, dan Simulasi Software Pathfinder*," *Seminar K3*, vol. V, 2021.
- [6] Rudianto, "*Pemodelan Evakuasi Penumpang saat keadaan darurat pada Studi Kasus Kapal Penyeberngan Indonesia*," *Seminar Sains dan Teknologi Kelautan*, pp. 86-92, 2019.
- [7] A. D. Saputra, "*Studi Kecelakaan Kapal di Indonesia dari Tahun 2003-2019 berdasarkan Data Investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi*," *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 2, pp. 87-94, 2021.
- [8] R. Tuomo, J. Hietaniemi and S. Hstikka, "*Experimental Validation of the FDS Simulations of Smoke and Toxic Gas Concentrations*," *VTT Working Paper*, vol. 66, pp. 3-35, 2007.
- [9] B. H. Adiwibowo, M. A. Santoso, F. A. Nugroho and Y. S. Nugroho, "*Simulasi Numerik Rekonstruksi Kebakaran di Kapal*," *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, 7-8 Oktober 2015.
- [10] M. B. Zaman, "Evacuation Analysis of 1200 GT Passenger Ship in Case of Fire using Agent-Based Modeling Approach," *Int. J. of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 1, pp. 9-11, 2016
- [11] T. Yamada and Y. Akizuki, "*Visibility and Human Behavior in Fire Smoke*," in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Greenbelt, Springer Science, 2016, pp. 2196-2197.
- [12] J. Bata, "*Simulasi Agent Based Modelling (ABM) Menggunakan NetLogo*," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi 2012 (SENTIKA 2012)*, Kupang, 2012.
- [13] Thunderhead Engineering, "*Introduction*," in *Pyrosim User Manual*, Thunderhead Engineering, 2019, p. 1.
- [14] International Maritime Organization (IMO), "*Guidelines For Evacuation Analysis For New Existing Passenger Ships*," London, 2007.

- [15] DNV-GL, "*Fires On Ro-ro Decks*," pp. 1-14, 2016.
- [16] International Maritime Organization (IMO), "*Arrangement of Means of Escape*," in *FSS Code International for Fire Safety Systems Resolution MSC.98(73)*, London, International Maritime Organization, 2007, pp. 30-32.
- [17] C. Hopkin, M. Spearpoint and D. Hopkin, "*A Review of Design Values Adopted for Heat Release Rate Per Unit Area*," *Fire Technology*, vol. 55, pp. 1599-1618, 2019.
- [18] A. Witkowski, A. A. Stec and T. R. Hull, "*Thermal Decomposition of Polymeric Materials*," in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fifth Edition*, Greenbelt, Springer Science, 2002, p. 224.
- [19] M. J. Hurley, *SFPE Handbook of Fire Engineering*, Greenbelt: Springer Science, 2016.
- [20] A. H. Rasyid, R. Rianti and M. L. Ashari, "*Perancangan Emergency Respon Plan dan Simulasi dengan Piranti Lunak Pathfinder pada KMP Ro-ro*," in *Safety Engineering and Its Application*, Surabaya