

Implementasi *Discrete Event Simulation* untuk Analisis Evakuasi Penumpang Kapal Ro-Ro Pada Kondisi *List* dan Normal

Angga Praditya, Trika Pitana dan Dwi Priyanta

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: trika@its.ac.id; priyanta@its.ac.id

Abstrak—Menurut data dari Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), dari tahun 2009 hingga tahun 2011 terjadi peningkatan terjadinya kecelakaan transportasi laut, baik karena kapal tenggelam, tubrukan maupun karena kapal terbakar. Selama rentang tahun tersebut, sebanyak 658 orang meninggal dunia dan 568 orang mengalami luka. Penyebab kecelakaan tersebut dikarenakan masalah teknis sebesar 51% dan 49% karena *human error*. Oleh karena itu perlu diberikan rekomendasi kepada para pihak terkait untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan transportasi laut. Selama ini analisis evakuasi yang digunakan untuk mengevaluasi evakuasi penumpang dan kru kapal menggunakan data kecepatan berlari yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) di dalam IMO MSC.1/Circ.1238. Para peneliti yang lain mayoritas menggunakan objek penelitian dari amerika maupun eropa sesuai dengan negara mereka berasal, yang mana karakteristik penduduk dan kondisi sarana transportasinya berbeda jauh dengan Indonesia dan negara-negara di kawasan Asia Tenggara. Di penelitian ini akan dilakukan eksperimen kecepatan berjalan penumpang Indonesia saat di kapal. Kemudian hasil eksperimen tersebut digunakan sebagai bahan analisis evakuasi penumpang di kapal untuk mengetahui apakah waktu evakuasi total masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh IMO pada IMO MSC.1/Circ.1238. Evakuasi siang hari pada kondisi *list* tidak sesuai dengan aturan IMO MSC.1/Circ.1238 sehingga perlu diberikan rekomendasi rute evakuasi dan skenario distribusi penumpang. Rekomendasi prosedur keselamatan diberikan sebagai saran dan masukan bagi para awak kapal dalam melakukan proses evakuasi dengan harapan bisa meminimalisir terjadinya korban jiwa.

Kata Kunci—Evakuasi, *Discrete Event Simulation*, Kecepatan Berjalan, Penumpang Kapal Indonesia.

I. LATAR BELAKANG

KAPAL merupakan kapal yang dapat mengangkut penumpang lebih dari 12 orang (*sumber: www.imo.org*). Pada saat ini, penggunaan kapal sebagai sarana transportasi baik untuk angkutan manusia maupun barang semakin berkembang pesat, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia. Pada umumnya, kapal penumpang yang beroperasi harus memenuhi aturan baik regulasi *Statutory* maupun *Mandatory*. Hal ini berkaitan dengan keselamatan jiwa penumpang kapal. Kecelakaan yang sering terjadi membuat peraturan terhadap kapal penumpang semakin ketat, diantaranya aturan mengenai *fire protection systems*, rute evakuasi, serta peralatan keselamatan beserta rancangan peletakannya. Semua itu bertujuan agar saat terjadi kondisi bahaya pada kapal, peralatan keselamatan maupun rute evakuasi pada kapal

Tabel 1.
Data kecelakaan kapal laut yang diinvestigasi KNKT
(sumber: *Database KNKT* sampai dengan 27 Desember 2011)

No	Tahun	Jumlah Kecelakaan	Jenis Kecelakaan			Korban Jiwa	
			Kapal Tenggelam	Kapal Terbakar / Meledak	Kapal Tubrukan	Meninggal / Hilang	Korban Luka
1.	2007	7	4	3	0	100	104
2.	2008	5	2	3	0	10	51
3.	2009	4	2	1	1	447	0
4.	2010	5	1	1	3	15	85
5.	2011	6	1	3	2	86	346
Total		27	10	11	6	658	586

dapat digunakan secara efektif dan optimal sehingga dapat meminimalisasi adanya korban jiwa.

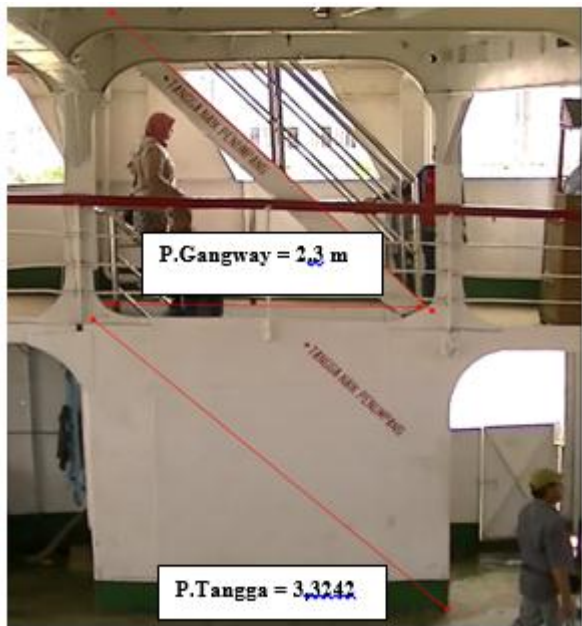
Menurut data dari Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), dari tahun 2009 hingga tahun 2011 terjadi peningkatan terjadinya kecelakaan transportasi laut yang dapat dilihat pada tabel 1.1 di bawah ini. Data tersebut hanya mencakup kecelakaan yang termasuk dalam kategori kecelakaan serius dan diinvestigasi oleh pihak KNKT, belum termasuk kecelakaan kapal laut yang tidak diinvestigasi oleh KNKT.

Menurut database KNKT tahun 2011, kecelakaan kapal laut yang terjadi di Indonesia paling banyak terjadi karena masalah teknis dan *human error*. Kecelakaan karena masalah teknis sebesar 51% dan 49% karena *human error*. Oleh karena itu perlu diberikan rekomendasi kepada para pihak terkait untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan transportasi laut.

Selama ini analisis evakuasi yang digunakan untuk mengevaluasi evakuasi penumpang dan kru kapal menggunakan data kecepatan berlari yang dikeluarkan oleh IMO (*International Maritime Organization*) di dalam IMO MSC.1/Circ.1238. Meskipun IMO merupakan organisasi kemaritiman dunia yang membuat standardan aturan mengenai maritim untuk skala internasional, alangkah baiknya apabila terdapat suatu analisis evakuasi dengan menjadikan para penumpang kapal di Indonesia sebagai subjek penelitian, dengan tujuan analisis tersebut lebih sesuai apabila diterapkan di Indonesia dan negara atau daerah lain yang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan para penumpang kapal di Indonesia. Sedangkan para peneliti yang lain mayoritas menggunakan objek penelitian dari amerika maupun eropa sesuai dengan negara mereka berasal, yang mana karakteristik penduduk dan kondisi

Tabel 2.
Review penelitian sebelumnya

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Asal Negara
1.	I. Nichols, et al.	<i>The Safeguard Heel Scenario Evacuation Benchmark and Re-commendation to IMO to Update MSC.1/Circ.1238</i>	United Kingdom
2.	W. Bles, S. Nooy, L. C. Boer.	<i>Influence of Ship Listing and Ship Motion on Walking Speed</i>	Belanda
3.	Dirk Helbing, et al.	<i>Simulation of Pedestrian Crowds and Evacuation Situations</i>	Jerman



Gambar 1. Koridor dan tangga sebagai tempat pengambilan data kecepatan berjalan penumpang

sarana transportasinya berbeda jauh dengan Indonesia dan negara-negara di kawasan Asia Tenggara.

Di penelitian ini akan dilakukan eksperimen mengenai penumpang kapal di Indonesia, terutama pada kecepatan berjalan penumpang saat di kapal. Kemudian hasil eksperimen tersebut digunakan sebagai bahan analisis evakuasi penumpang di kapal untuk mengetahui apakah waktu evakuasi total masih sesuai atau memenuhi standar yang ditetapkan oleh IMO pada IMO MSC.1/Circ.1238.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pembuatan simulasi evakuasi diperlukan data-data yang dibutuhkan sebagai input dari simulasi dan membantu dalam pembuatan skenario evakuasi. Data-data yang akan diperlukan sebagai bahan analisis antara lain sebagai berikut:

- *General Arrangement Plan*
General arrangement atau rencana umum merupakan gambaran secara menyeluruh atau dapat dikatakan secara umum. Pada penelitian ini *general arrangement* yang dianalisis adalah KM. KIRANA 2 ,yang dimiliki dan dipoperasikan oleh perusahaan pelayaran PT. Dharma Lautan Utama.

- *Safety Plan*
Safety plan digunakan dalam pembuatan simulasi evakuasi. Pembuatan simulasi evakuasi menitik beratkan pada rute evakuasi dan kecepatan berjalan penumpang dan kru kapal, yang akan disimulasikan menggunakan software DES (*Discrete Event Simulation*).
- *Data Pendukung*
Data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini berupa data jumlah penumpang dan awak kapal. Data ini didasarkan pada data muatan terbanyak pada saat berlayar dalam kurun waktu sepanjang tahun 2011, yaitu 48 kru kapal dan 672 orang penumpang. Selain itu juga digunakan standar IMO MSC.1/Circ.1238 untuk membantu dalam pembuatan skenario evakuasi, contohnya skenario distribusi penumpang dan standar *criteria acceptance*.

Pembuatan simulasi berdasarkan *safety plan* dan *general arrangement* kapal KM. KIRANA 2. Pada pembuatan simulasi terdapat 4 skenario simulasi, yaitu simulasi skenario siang hari kondisi normal, skenario malam hari kondisi normal, skenario siang hari kondisi *list to starboard side 20°*, dan skenario malam hari kondisi *list to starboard side 20°*.perbedaan antara kondisi normal dan list adalah pada variasi kecepatan berjalan penumpang di kapal pada saat berjalan di gangway, pada saat naik tangga dan pada saat turun tangga. Untuk mendapatkan data kecepatan berjalan penumpang kapal, khususnya penumpang yang merupakan warga Negara Indonesia, dilakukan penelitian di kapal secara langsung. Yang menjadi objek eksperimen atau penelitian adalah para penumpang kapal Ro-Ro di perairan Indonesia.Penulis mengambil data dari kapal Ro-Ro di perairan Selat Madura. Tempat pengambilan data dilakukan di koridor dan tangga kapal seperti ditunjukkan pada gambar 1.

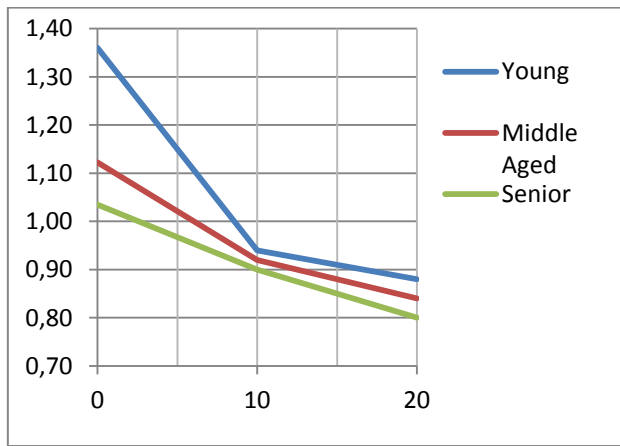
Data yang didapatkan dari eksperimen di kapal akan dibagi sesuai dengan kategori usia penumpang. Terdapat tiga kategori usia, yaitu:

- Kategori *Young*, yaitu untuk penumpang yang berusia 5 tahun sampai dengan kurang dari 30 tahun,
- Kategori *Middle-Aged*, yaitu kategori usia dengan rentang usia antara 30 tahun sampai dengan 50 tahun, dan
- Kategori *Senior* untuk penumpang dengan usia lebih dari 50 tahun.

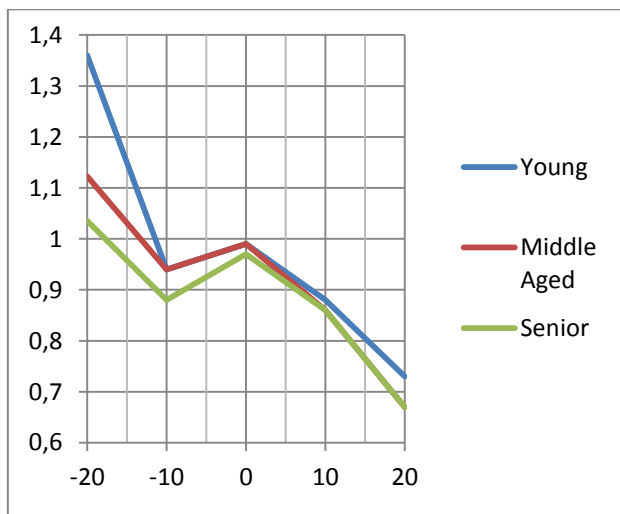
III. ANALISA DATA

A. Pengolahan Data Eksperimen

Data yang didapatkan dari eksperimen adalah data kecepatan penumpang berjalan di koridor, data kecepatan penumpang naik tangga, dan data kecepatan penumpang turun tangga untuk kondisi normal dan ada halangan pada kondisi *even keel*. Untuk menentukan *trendline* penurunan kecepatan penumpang antara kondisi *flat* dibandingkan dengan kondisi *list*, dan kondisi *even keel* dibandingkan dengan kondisi *trim*, maka dibandingkan data kecepatan penumpang di IMO MSC.1/Circ.1238 dengan "*Safeguard for Heel Scenario*" dan didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada grafik 1 dan 2 berikut.



Grafik 1. Perbandingan kecepatan orang berjalan pada kondisi *even keel* dan *list*



Grafik 2. Perbandingan kecepatan orang berjalan pada kondisi *even keel* dan *trim*

Tabel 7. Data kecepatan orang menaiki tangga pada kondisi normal

Category	Flat	heel 10°	heel 20°
Young (<30)	0.524	0.362	0.339
Middle Aged (30-50)	0.489	0.401	0.366
Senior (>50)	0.420	0.365	0.325

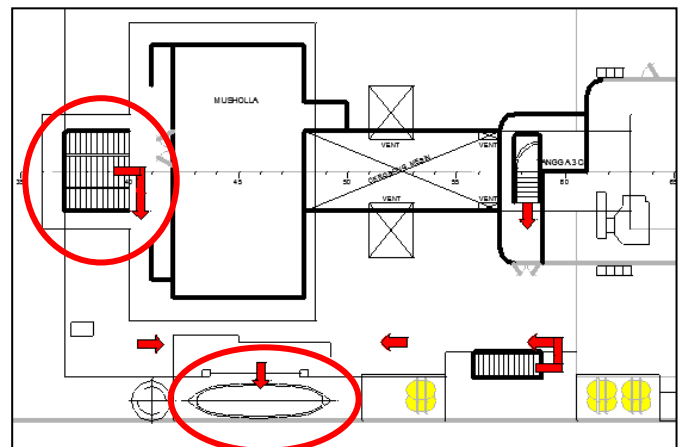
Tabel 8. Data kecepatan orang menaiki tangga pada kondisi ada penghalang

Category	Flat	heel 10°	heel 20°
Young (<30)	0.381	0.263	0.247
Middle Aged (30-50)	0.359	0.294	0.269
Senior (>50)	0.297	0.258	0.230

Tabel 9. Data kecepatan orang berjalan di gangway pada kondisi normal

Category	Even Keel	Trim -20°	Trim -10°
Young (<30)	0.667	0.461	0.486
Middle Aged (30-50)	0.605	0.507	0.534
Senior (>50)	0.578	0.491	0.542

Category	Even Keel	Trim +10°	Trim +20°
Young (<30)	0.667	0.432	0.358
Middle Aged (30-50)	0.605	0.464	0.361
Senior (>50)	0.578	0.480	0.374



Gambar 2. Area tangga dan pada saat akan memasuki sekoci adalah daerah yang rawan terjadinya antrian. Pada gambar di atas, area tersebut ditandai dengan lingkaran merah.

Tabel 3.

Data kecepatan orang berjalan di koridor pada kondisi normal

Category	Flat	heel 10°	heel 20°
Young (<30)	0.667	0.461	0.432
Middle Aged (30-50)	0.605	0.496	0.453
Senior (>50)	0.578	0.503	0.447

Tabel 4.

Data kecepatan orang berjalan di koridor pada kondisi ada penghalang

Category	Flat	heel 10°	heel 20°
Young (<30)	0.360	0.249	0.233
Middle Aged (30-50)	0.300	0.246	0.224
Senior (>50)	0.300	0.261	0.232

Tabel 5.

Data kecepatan orang menuruni tangga pada kondisi normal

Category	Flat	heel 10°	heel 20°
Young (<30)	0.476	0.329	0.308
Middle Aged (30-50)	0.424	0.348	0.317
Senior (>50)	0.342	0.297	0.264

Tabel 6.

Data kecepatan orang menuruni tangga pada kondisi ada penghalang

Category	Flat	heel 10°	heel 20°
Young (<30)	0.261	0.180	0.169
Middle Aged (30-50)	0.254	0.208	0.190
Senior (>50)	0.171	0.149	0.132

Dari data di atas maka dapat ditentukan perbandingan antara kecepatan orang berjalan pada kondisi datar dan *list* maupun dalam kondisi *trim* sehingga didapatkan data rata-rata kecepatan berjalan penumpang untuk kondisi normal, *list*, dan *trim* seperti tabel di bawah ini.

Pada beberapa tabel di atas, terdapat dua jenis kondisi untuk tiap masing-masing area, yaitu kondisi normal dan ada penghalang. Maksudnya kondisi normal adalah kondisi penumpang berjalan dalam keadaan bebas, tanpa ada penghalang. Sedangkan kondisi ada penghalang adalah kondisi pada saat kapal sedang dalam keadaan ramai (*crowd*) sehingga penumpang mendapatkan suatu halangan dari penumpang lain dan membentuk suatu antrian.

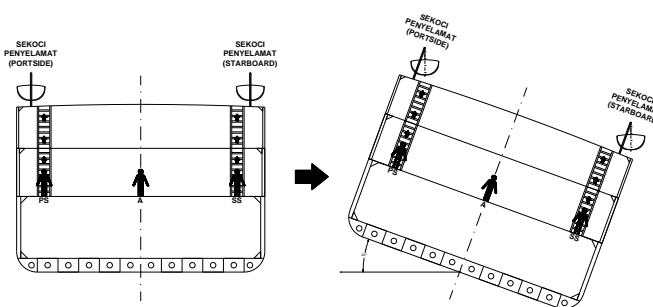
B. Simulasi

Data yang diperlukan untuk proses simulasi, diantaranya adalah data jarak antar ruangan atau panjang lintasan rute evakuasi, dan data variasi kecepatan berlari penumpang. Pada simulasi evakuasi, sebaran penumpang di setiap

Tabel 10.

Tabel distribusi penumpang pada setiap ruangan di setiap geladak untuk skenario siang hari dan malam hari.

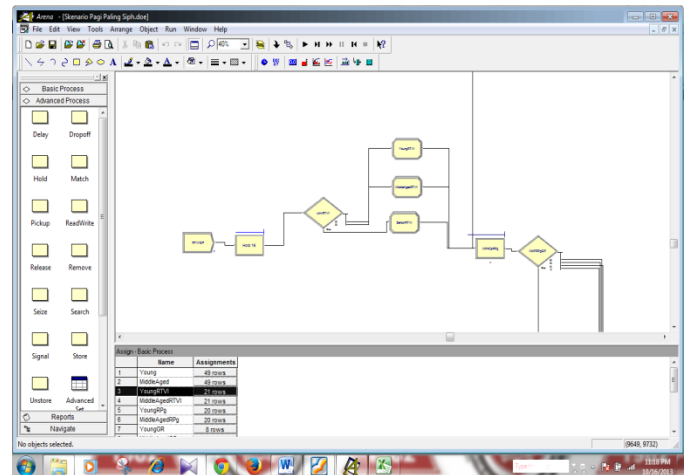
No	Skenario	Nama Geladak	Nama Ruangan	Jumlah Penumpang			
1.	Pagi	Geladak penumpang	Ruang panggung	290			
			Ruang TV I	148			
			Ruang TV II	167			
			Ruang TV I	40			
			Ruang TV II	60			
			Ruang kemudi	15			
4.	Malam	Geladak penumpang	Ruang panggung	100			
			Ruang TV I	75			
			Ruang TV II	106			
			Ruang penumpang 1A	20			
			Ruang penumpang 1B	10			
			Ruang penumpang 1C	22			
			Ruang penumpang 2A	16			
			Ruang penumpang 2B	28			
			Ruang penumpang 2C	16			
			Ruang TV I	26			
			Ruang TV II	50			
			5.	Malam	Geladak restoran	Ruang penumpang 1A	32
Ruang penumpang 1B	30						
Ruang penumpang 1C	18						
Ruang penumpang 1D	16						
Ruang penumpang 1E	30						
Ruang penumpang 2A	30						
Ruang penumpang 2B	10						
Ruang penumpang 2C	30						
Musholla	20						
Ruang kemudi	10						
6.	Malam	Geladak navigasi				Ruang crew A	6
						Ruang crew B	6
			Ruang crew C	7			
			Ruang crew D	6			



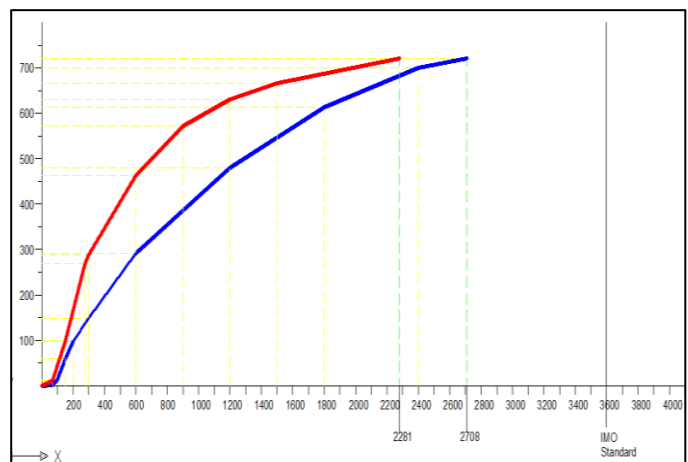
Gambar 3. Perbedaan antara kondisi kapal pada saat *even keel* (kiri) dan pada saat kondisi *list* (kanan).

geladak dan ruangan akan disesuaikan dengan rekomendasi yang diberikan oleh IMO MSC.1/Circ 1238. Distribusi penumpang di ruangan pada tiap geladak dapat dilihat pada tabel 10. Agar skenario dalam simulasi lebih sesuai dengan persepsi dan pergerakan penumpang pada saat evakuasi sebenarnya, untuk skenario pergerakan penumpang pada kondisi *list*, dilakukan survey kepada 30 orang dengan dimisalkan kapal dalam kondisi *list* ke arah *starboard side* 20° seperti ditunjukkan gambar 3 di bawah ini.

Setelah itu, langkah yang harus dilakukan yaitu pembuatan denah / pemetaan rute evakuasi pada *software Discrete event Simulation (DES)* berdasarkan *safety plan* dan *general arrangement* seperti contoh pada gambar 4. Setelah itu dilakukan input data kecepatan berjalan penumpang sesuai dengan kategori usia dan rute evakuasi yang dilalui. Proses terakhir adalah *running* model simulasi evakuasi tersebut.



Gambar 4. Pembuatan model rute evakuasi kapal menggunakan *software DES*



Grafik 3. Hasil simulasi evakuasi menggunakan *software DES*. Output dari simulasi adalah waktu total evakuasi.

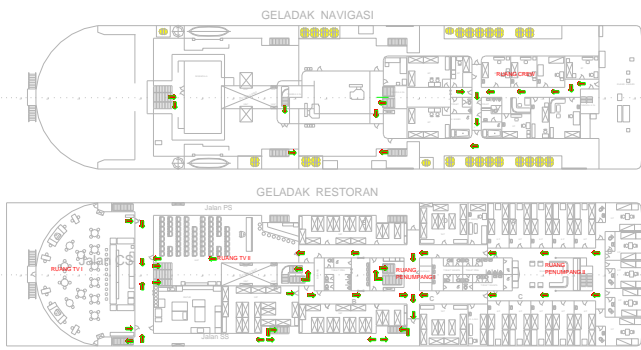
Keterangan:

- Skenario siang hari kondisi normal
- Skenario malam hari kondisi normal
- X – axis : waktu (dalam satuan detik)
- Y – axis : jumlah penumpang yang selamat

C. Hasil Simulasi

Setelah melakukan proses simulasi evakuasi pada *software DES* dengan menggunakan rekomendasi skenario dari IMO MSC.1/Circ 1238 dan data kecepatan berjalan penumpang yang didapatkan dari pengambilan data di kapal, didapatkan beberapa hasil yang ditunjukkan oleh grafik berikut ini.

Dari grafik di atas, dapat dilihat perbedaan yang *significant*, terutama mengenai jumlah penumpang yang selamat tiap waktu tertentu. Hal ini disebabkan oleh distribusi penumpang yang berbeda antara skenario siang dan malam hari. Untuk skenario siang hari, penumpang mayoritas terdistribusi di geladak penumpang, yaitu sebanyak 605 penumpang berada di *public space* di geladak penumpang, sedangkan hanya 100 orang yang berada di geladak restoran dan 15 orang berada pada geladak navigasi. Sedangkan untuk skenario malam hari, distribusi penumpang di geladak penumpang dan geladak restoran relatif berimbang, yaitu sebanyak 393 orang berada di geladak penumpang, 272 orang berada di geladak



Gambar 5. Rekomendasi rute evakuasi untuk kondisi kapal *list*.

Tabel 11.

Tabel distribusi penumpang pada setiap ruangan di setiap geladak untuk skenario siang hari kondisi *list*.

No.	Skenario	Nama Geladak	Nama Ruangan	Jumlah Penumpang
1.	Pagi	Geladak penumpang	Ruang panggung	290
			Ruang TV I	120
			Ruang TV II	160
		Geladak restoran	Ruang TV I	55
			Ruang TV II	80
			Geladak navigasi	Ruang kemudi

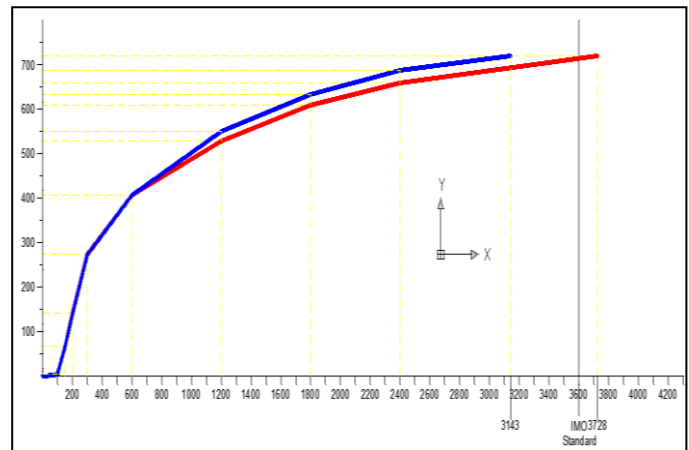
restoran, dan 55 orang berada di geladak navigasi. Hal tersebut yang menyebabkan total waktu evakuasi skenario siang hari menjadi lebih lama daripada waktu evakuasi pada malam hari. Penyebab utamanya adalah letak geladak penumpang yang lebih jauh dari geladak navigasi, tempat dimana *lifeboat* dan *liferaft* berada. Hal yang sama juga terjadi pada simulasi evakuasi pada kondisi *list*. Simulasi evakuasi pada malam hari memiliki waktu total yang lebih cepat daripada simulasi evakuasi pada siang hari. Simulasi evakuasi pada siang hari kondisi *list* tidak memenuhi standar IMO MSC.1/Circ.1238 sehingga harus dilakukan tindakan mitigasi.

D. Mitigasi

Tindakan mitigasi yang diberikan berupa rekomendasi jalur evakuasi dan rekomendasi distribusi penumpang. Pemberian rekomendasi berupa *Prosedur Keselamatan* ditujukan sebagai masukan kepada kru kapal terutama dalam menangani proses evakuasi, dengan tujuan dapat meminimalkan terjadinya korban jiwa.

Rekomendasi rute evakuasi diberikan dengan acuan data kecepatan berjalan penumpang yang didapatkan dari eksperimen di kapal dengan perbandingan antara *Safeguard Heel Scenario* dan IMO MSC.1/Circ.1238. Dari analisa data pada tabel 3 dan tabel 9, diketahui apabila kecepatan berjalan pada kondisi *trim -20°* lebih cepat dibandingkan dengan berjalan pada kondisi *trim +20°*. Jadi diketahui apabila kecepatan berjalan menurun pada suatu bidang lebih cepat dibandingkan berjalan naik. Oleh karena itu, rute evakuasi yang disarankan dapat dilihat pada *General Arrangement Plan* di bawah ini:

Dari hasil simulasi menggunakan rekomendasi dan rute evakuasi dan skenario distribusi yang ditunjukkan pada tabel 11, didapatkan total waktu evakuasi menjadi 52 menit 23 detik. Hasil ini sudah memenuhi persyaratan dari IMO MSC.1/Circ.1238, sehingga rekomendasi ini bisa diterapkan di K.M Kirana II sebagai tindakan mitigasi untuk meminimalisir terjadinya korban jiwa pada saat proses



Grafik 3. Hasil simulasi menggunakan rekomendasi rute evakuasi saja (garis merah) dan hasil simulasi menggunakan rekomendasi rute evakuasi dan rekomendasi distribusi penumpang (garis biru).

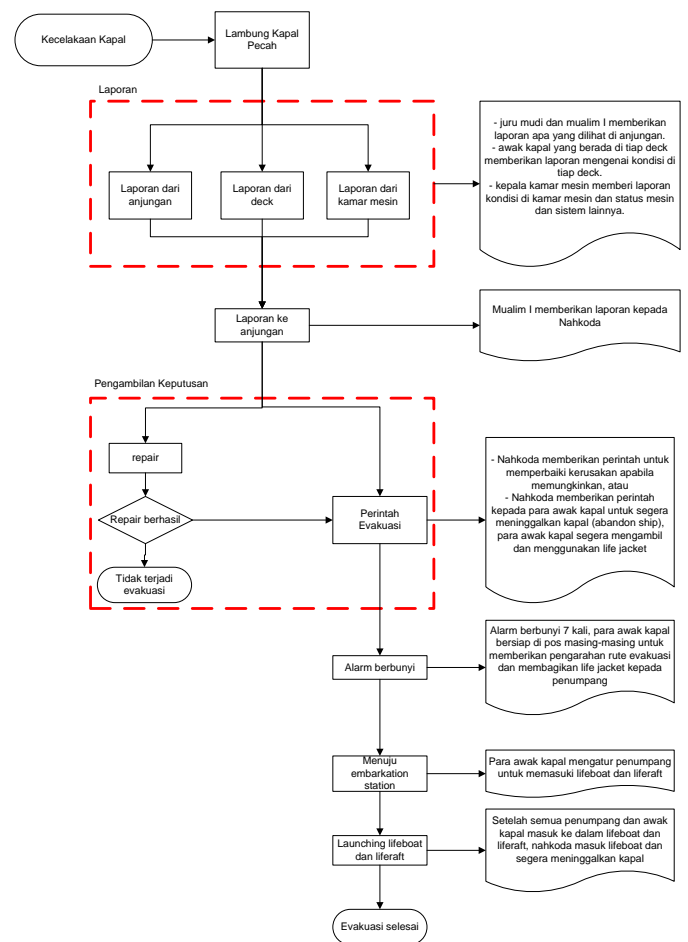


Diagram 1. *Flow Chart* rekomendasi prosedur keselamatan.

evakuasi berlangsung. Grafik hasil simulasi mitigasi ditunjukkan pada grafik 4 di bawah ini. Rekomendasi prosedur keselamatan ditujukan sebagai panduan bagi kru kapal dalam hal yang berhubungan dengan proses evakuasi dan keselamatan bagi penumpang di kapal. Meliputi tugas dan tanggung jawab awak kapal dalam mengawal dan membantu proses evakuasi penumpang kapal. Flow chart rekomendasi prosedur keselamatan ditunjukkan pada diagram di bawah ini.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis simulasi evakuasi yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Evakuasi pada siang hari dalam kondisi normal membutuhkan waktu total evakuasi selama 45 menit 8 detik dan dinyatakan sesuai dengan standar IMO MSC.1/Circ. 1238 mengenai lama evakuasi untuk kapal Ro-Ro dan kapal dengan tidak lebih dari 3 *Main Vertical Zone*.
2. Evakuasi pada malam hari dalam kondisi normal membutuhkan waktu total evakuasi selama 38 menit 1 detik dan dinyatakan sesuai dengan standar IMO MSC.1/Circ. 1238 mengenai lama evakuasi untuk kapal Ro-Ro dan kapal dengan tidak lebih dari 3 *Main Vertical Zone*.
3. Evakuasi pada siang hari dalam kondisi *list to starboard side 20°* membutuhkan waktu total evakuasi selama 1 jam 10 menit 37 detik dan dinyatakan tidak memenuhi standar IMO MSC.1/Circ. 1238 mengenai lama evakuasi untuk kapal Ro-Ro dan kapal dengan tidak lebih dari 3 *Main Vertical Zone* sehingga diperlukan rekomendasi.
4. Evakuasi pada malam hari dalam kondisi *list to starboard side 20°* membutuhkan waktu total evakuasi selama 46 menit 40 detik dan dinyatakan memenuhi standar IMO MSC.1/Circ. 1238 mengenai lama evakuasi untuk kapal Ro-Ro dan kapal dengan tidak lebih dari 3 *Main Vertical Zone*.
5. Perbedaan waktu evakuasi dan perbedaan variasi jumlah penumpang yang selamat terhadap waktu disebabkan perbedaan distribusi penumpang di tiap geladak kapal antara skenario siang hari dan malam hari. Jumlah penumpang yang terlalu banyak di geladak penumpang pada skenario siang hari menyebabkan waktu evakuasi menjadi lebih lama karena terjadi antrian penumpang dan jarak geladak penumpang yang jauh dari *embarkation station*.
6. Evakuasi pada pagi hari dan kondisi *list to starboard side 20°* membutuhkan perubahan rute evakuasi dan perubahan distribusi penumpang di ruangan di setiap geladak agar dapat memenuhi standar dari IMO MSC.1/Circ.1238.
7. *Prosedur Keselamatan* dibutuhkan sebagai rekomendasi untuk kru kapal dalam proses evakuasi penumpang pada saat terjadi kondisi bahaya di kapal.

- [7] Priyanta, Dwi. (2000). *Modul Ajar Keandalan dan Perawatan*. Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK – ITS.
- [8] KNKT (Director). (2009-2011). *Database KNKT*.
- [9] Pitana, T. (2008). *Passengers Evacuation Simulation In A Cruise Ship Due To Tsunami Attack as Port Safety Management Consideration*. *Journal of Japan Society* , 55-64.
- [10] Law, Averil M. et al. (1991). *Simulation Modeling & Analysis (Second Edition)*. Singapore : McGraw-Hill.
- [11] Firdausi, Ahmad Nurul. (2013). *Analisa Evakuasi Penumpang Pada Kapal Ro-Ro Menggunakan Discrete event Simulation dan Social Force Model*. Surabaya : FTK-ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marine Safety Commite. (2007). *MSC. 1/ Circ 1238 Guidelines for New and Existing Passanger Ship*. London : International Maritime Organization.
- [2] Nicholls, Ian et al. (2012). *The Safeguard Heel Scenario Evacuation Benchmark and Recommendations to IMO to Update MSC.1/Circ.1238*. London, UK : Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich.
- [3] Maritime and Coastguard Agency. (March 2004). *The Effect of Ship Motion On The Evacuation Process*. Glasgow : University of Glasgow and Strathclyde.
- [4] Schadschneider, Andreas et al. (2008). *Evacuation Dynamics : Empirical Results, Modeling and Applications*. Berlin.
- [5] Runger, Montgomery. *Applied Statistics and Probability for Engineer*. New Jersey : John Wiley & Sons Inc.
- [6] Kelton, David et al. *Simulation With Arena (Second Edition)*. New York : Mc Graw Hill.