

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keselamatan jiwa di laut merupakan aspek yang sangat krusial dalam operasional kapal, baik kapal penumpang maupun kapal barang. Salah satu elemen penting dalam sistem keselamatan tersebut adalah perencanaan jalur evakuasi yang efektif dan sesuai standar internasional. Konvensi Internasional untuk Keselamatan Jiwa di Laut atau SOLAS (*Safety of Life at Sea*) yang diadopsi oleh *International Maritime Organization* (IMO), menetapkan ketentuan-ketentuan wajib untuk menjamin bahwa evakuasi dapat dilakukan dengan cepat, aman, dan terorganisir pada saat terjadi keadaan darurat di atas kapal.

Kapal Ro-Ro memiliki tantangan tersendiri dalam aspek keselamatan, terutama terkait kecepatan dan aksesibilitas jalur evakuasi saat terjadi keadaan darurat. Struktur kapal yang terdiri dari dek kendaraan dan dek penumpang dapat menjadi kendala dalam proses evakuasi, terutama jika kebakaran atau kapal mengalami kemiringan akibat air yang masuk ke dalam lambung. Peristiwa tenggelamnya KM Lestari Maju pada 3 juli 2018 di Perairan Selayar, yang menewaskan 36 orang, menjadi contoh nyata bagaimana jalur evakuasi yang tidak optimal dapat meningkatkan jumlah korban jiwa (Kemhub, 2018)

International Maritime Organization (IMO) telah menerbitkan pedoman MISC.1/1533 yang menetapkan standar serta prinsip-prinsip untuk merancang jalur evakuasi di kapal. Pedoman ini menyoroti pentingnya melakukan analisis risiko serta merancang jalur evakuasi yang mempertimbangkan aspek-aspek seperti kemudahan akses, kecepatan evakuasi, dan kepatuhan terhadap aturan keselamatan. Meskipun panduan ini telah tersedia, masih terdapat sejumlah kapal yang belum sepenuhnya menerapkannya, sehingga dapat menimbulkan potensi bahaya keselamatan. Berdasarkan ketentuan dalam SOLAS Bab II-2/28-3, setiap kapal penumpang wajib memiliki minimal dua jenis jalur evakuasi, yaitu jalur pelarian untuk penumpang saat proses evakuasi (*escape route*) dan jalur akses yang digunakan oleh awak kapal untuk menuju lokasi kejadian, seperti titik awal api dalam situasi kebakaran (*access route*). (SOLAS, 1997)

Penelitian ini memfokuskan pada perencanaan jalur evakuasi pada kapal Ro-Ro Ferry yang memiliki kapasitas angkut hingga 500 penumpang. Oleh karena itu, jalur evakuasi pada kapal ini dianalisis dengan mengacu pada ketentuan IMO MISC.1/Circ.1533. Dalam pedoman tersebut digunakan pendekatan simulasi hal ini memungkinkan dilakukannya analisis dinamis terhadap perencanaan jalur evakuasi melalui simulasi komputer. Metode



menentukan waktu evakuasi optimal pada jalur yang direncanakan
ar yang ditetapkan oleh IMO.

1.2. Teori

1.2.1. Kapal Ro-Ro (Roll-On/Roll-Off)

Kapal Ro-Ro (Roll-on/Roll-off) adalah jenis kapal yang dirancang untuk mengangkut kendaraan bermotor seperti mobil, truk, dan bus, di mana kendaraan dapat langsung naik dan turun dari kapal melalui ramp atau pintu khusus tanpa bantuan alat berat. Kapal ini memiliki dek-dek datar untuk tempat parkir kendaraan dan dilengkapi sistem pengikatan agar kendaraan tetap aman selama pelayaran. Terdapat berbagai jenis kapal Ro-Ro, seperti *Pure Car Carrier* (PCC), *Pure Car and Truck Carrier* (PCTC), dan Ro-Pax yang juga mengangkut penumpang. Keunggulan utama kapal Ro-Ro terletak pada efisiensi dan kecepatan proses bongkar muatnya, namun kapal ini juga memiliki kelemahan seperti risiko stabilitas yang tinggi serta kebutuhan akan pelabuhan dengan infrastruktur khusus yang sesuai.



Gambar 1 Kapal Ro-Ro
Sumber : Google

1.2.2. Penumpang

Berdasarkan SOLAS, penumpang didefinisikan sebagai individu yang bepergian dengan kapal tanpa berperan dalam pengoperasian kapal. Aturan ini menekankan pentingnya keselamatan serta perlindungan bagi penumpang selama berada di laut, dan menyediakan kerangka kerja untuk menjamin terpenuhinya hak-hak mereka selama pelayaran. Sementara itu, menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2002, penumpang adalah orang yang berada di atas kapal selain awak kapal, termasuk bayi berusia di bawah satu tahun. Dalam konteks penelitian ini, penumpang yang dimaksud adalah pekerja lepas pantai yang akan mengikuti proses evakuasi, 25 hingga 50 tahun, sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan 5 Tahun 2015.



1.2.3. Pengertian Evakuasi

Evakuasi adalah proses pemindahan individu dari lokasi yang berbahaya ke tempat yang lebih aman dalam situasi darurat, seperti kebakaran, kebocoran, atau bencana alam, dengan tujuan untuk menjaga keselamatan penumpang dan awak kapal (ABK). Proses ini menjadi salah satu elemen penting dalam keselamatan pelayaran, terutama ketika menghadapi kondisi darurat.

Pada tahun 2007, *International Maritime Organization* (IMO) mengeluarkan pedoman dan resolusi terkait evakuasi kapal dengan tujuan untuk meningkatkan keselamatan penumpang dan awak kapal dalam situasi darurat. Salah satu dokumen utama yang diterbitkan adalah MSC.1/Circ.1238, yang menyoroti pentingnya perencanaan serta pelaksanaan evakuasi yang efisien.

Pada dasarnya, evakuasi terbagi menjadi beberapa tahap, dimulai dengan tahap Pre-evakuasi yang mencakup munculnya api, bunyi alarm, pengambilan keputusan, dan dimulainya pergerakan. Setelah tahap pre-evakuasi, langkah berikutnya adalah tahap pergerakan, yaitu proses berlangsungnya evakuasi yang diukur dengan satuan waktu (time) (IMO, 2007).

Evakuasi penumpang dilakukan dengan mengarahkan penumpang kapal menuju lokasi evakuasi (*assembly station*) dari tempat kejadian bencana, seperti kebakaran. Selain peralatan keselamatan seperti alarm dan alat pemadam, penerapan prosedur evakuasi yang tepat untuk mengarahkan penumpang menuju lokasi evakuasi sangat penting saat kapal mengalami kebakaran. Tahapan pertama dalam evakuasi adalah mengarahkan penumpang menuju lokasi evakuasi sebelum peralatan keselamatan, seperti perahu penyelamat (*life boat*) atau rakit penyelamat (*life raft*), digunakan untuk meninggalkan kapal yang terbakar. Dalam hal ini, rute evakuasi memainkan peran utama dalam menentukan keselamatan korban, dengan memperhitungkan jumlah penumpang dan awak kapal (ABK). Proses evakuasi kapal penumpang memiliki berbagai risiko yang bervariasi, tergantung pada jumlah penumpang dan tingkat kepanikan yang terjadi saat kebakaran.

1.2.4. Ketentuan SOLAS mengenai Evakuasi

Sejak tahun 1970, IMO telah aktif mengeluarkan regulasi terkait evakuasi penumpang kapal laut, sesuai dengan ketentuan SOLAS yang berhubungan dengan keselamatan kapal serta jumlah dan spesifikasi pelampung penyelamat. Pada sesi ke-83 komite IMO yang berlangsung dari 3 hingga 12 Oktober 2007, pedoman untuk analisis evakuasi kapal penumpang, baik yang baru maupun yang sudah ada, disetujui dan tercantum dalam MSC.1/Circ.1238 pada 30 Oktober 2007. Pedoman ini mencakup dua kriteria



Evacuation Analysis Menurut IMO (SEA)
Evacuation Analysis (SEA) menurut *International Maritime*
 (IMO) adalah metode yang digunakan untuk menilai dan
 an evakuasi di kapal serta instalasi maritim. Pendekatan ini

bertujuan untuk menjamin keselamatan manusia dengan menganalisis berbagai faktor yang mempengaruhi proses evakuasi dalam kondisi darurat di laut.

Dengan menggunakan metode yang disederhanakan, total durasi evakuasi dihitung dan dibandingkan dengan waktu yang diizinkan (n), yang bervariasi tergantung pada jenis kapal (seperti kapal ro-ro atau kapal penumpang lainnya) dan jumlah Zona Vertikal Utama (MVZ). Waktu ini mencerminkan durasi yang diperlukan agar semua orang di kapal (baik penumpang maupun awak) dapat mencapai stasiun perakitan yang sesuai, meninggalkan kapal, dan meluncurkan alat penyelamat. Oleh karena itu, berikut adalah komponen-komponen yang harus dihitung untuk mendukung analisis evakuasi:

- Durasi respons (R), yang memperhitungkan waktu reaksi efektif setiap individu terhadap situasi darurat. Durasi ini dimulai setelah pemberitahuan darurat awal (biasanya berupa alarm) dan berakhir ketika penumpang menyadari situasi tersebut dan mulai bergerak menuju assembly station.
- Durasi perjalanan total (T), yang mencakup waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan semua orang dari lokasi mereka setelah menerima pemberitahuan darurat menuju assembly station.
- Embarkasi dan durasi peluncuran ($E+L$), yang mengacu pada waktu yang dibutuhkan untuk mengevakuasi semua orang di kapal. Evaluasi $E+L$ harus dilakukan berdasarkan uji coba skala penuh, simulasi, atau data yang disediakan oleh produsen sistem evakuasi. Namun, waktu $E+L$ tidak boleh melebihi 30 menit.

Pada MSC.1/Circ.1533 untuk Sistem Keselamatan Kebakaran (Kode FSS), terdapat 2 skenario yaitu "skenario malam" dan "skenario siang".

- a) "Skenario Malam" – penumpang berada di kabin dengan kapasitas penuh saat kapal berlabuh; 2/3 awak kabin berada di kabin mereka, sementara 1/3 sisanya ditempatkan di bagian lain:
 - 1) 50% berlokasi di ruang layanan;
 - 2) 25% berlokasi di stasiun darurat mereka;
 - 3) 25% awalnya berlokasi di stasiun perakitan; berturut-turut mereka harus melanjutkan menuju kabin penumpang terjauh yang ditugaskan ke stasiun perakitan itu, diurus balik dengan para pengungsi. Setelah kabin penumpang ini tercapai, kru ini anggota tidak lagi dipertimbangkan dalam simulasi.
- b) "Skenario Hari" – penumpang di area publik menggunakan 3/4 dari kapasitas maksimum; 1/3 dari awak kapal berada di area akomodasi (kabin dan ruang kru harian); 1/3 awak kapal berada di area publik, dan 1/3 sisanya didistribusikan sebagai berikut:



- berlokasi di ruang layanan;
- berlokasi di lokasi tugas darurat mereka;
- awalnya berlokasi di stasiun perakitan; berturut-turut, mereka harus melanjutkan menuju kabin penumpang terjauh yang ditugaskan ke stasiun perakitan itu, diurus balik dengan para pengungsi. Setelah

kabin penumpang ini tercapai, kru ini anggota tidak lagi dipertimbangkan dalam simulasi.

1.2.4.2 Advance Evacuation Analysis Menurut IMO (AEA)

Analisis Evakuasi Awal (*Advance Evacuation Analysis*) menurut IMO adalah metode lanjutan yang digunakan untuk menilai efektivitas dan efisiensi prosedur evakuasi di kapal. Dalam metode ini, pendekatan hidrolik yang digunakan dalam metode yang disederhanakan dilampaui, karena setiap individu di kapal dianggap memiliki kemampuan dan respons spesifik dalam durasi tertentu. Selain itu, hubungan antara penumpang, awak kapal, dan desain kapal juga diperhitungkan.

Dalam metode ini, analisis evakuasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak tertentu berdasarkan realitas virtual, yang menggunakan algoritma pejalan kaki yang berbeda untuk mensimulasikan perilaku penumpang. Melalui pendekatan acak, durasi perjalanan T dihitung: untuk setiap Kasus menganalisis minimal 500 simulasi berbeda yang harus dilakukan, tetapi jumlah ini mungkin saja 14 dikurangi menjadi 50 jika kriteria konvergensi yang sesuai dipenuhi. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan 100 populasi berbeda yang dihasilkan secara acak. Untuk setiap populasi, ditetapkan serangkaian parameter yang mempengaruhi evakuasi, yang dikelompokkan dalam 4 kategori berbeda:

- a) Kategori geometris, yang mempertimbangkan tata letak rute pelarian;
- b) Kategori populasi, yang mempertimbangkan berbagai parameter mengenai orang dan demografi penduduk;
- c) Kategori lingkungan, yang mempertimbangkan kondisi statis dan dinamis dari kapal (meskipun saat ini angka dari parameter tersebut tidak dapat diandalkan karena kekurangannya dari data percobaan). Untuk itu, dalam beberapa tahun terakhir ini telah dilakukan beberapa percobaan terhadap perilaku manusia saat terjadi badai dengan menggunakan platform tertentu yang mensimulasikan gerakan kapal
- d) kategori prosedural, yang mempertimbangkan bantuan awak kapal dalam keadaan situasi darurat

Proses evakuasi kapal penumpang besar sangat kompleks, terutama karena melibatkan pengelolaan sejumlah besar orang di platform bergerak yang rumit, di mana mereka umumnya memiliki sedikit pengetahuan. Karakteristik ini membuat evakuasi kapal berbeda dengan evakuasi pesawat terbang atau bangunan. Untuk mengatasi risiko terkait dengan penumpang dan awak kapal di laut, istilah *Evacuability* (kemampuan kinerja evakuasi penumpang) telah



1 oleh Vassalos et al. (2002), yang mencakup berbagai termasuk waktu evakuasi, identifikasi potensi hambatan, penilaian peralatan penyelamat jiwa, pengenalan penumpang terhadap kapal, pelatihan awak kapal, prosedur/strategi evakuasi yang efektif, kung keputusan cerdas untuk manajemen krisis, dan desain yang

memudahkan evakuasi. Dari sudut pandang teknis, evakuasi massal ribuan orang dari lingkungan yang sangat kompleks, dengan masalah akses terbatas, diperburuk oleh bahaya seperti banjir, kebakaran, atau asap, serta ketidakpastian yang muncul dari perilaku manusia yang tidak dapat diprediksi dalam situasi krisis, merupakan masalah yang melibatkan kesulitan pemodelan yang sangat besar pada tingkat sistem, prosedural, dan perilaku (Apostolos D. Papanikolaou, 2009).

1.2.5. IMO MSC.1/Circ.1533

IMO telah memberikan standar evaluasi proses evakuasi seperti yang dijelaskan pada IMO MSC.1/Circ.1533. Standar ini digunakan untuk:

- a) Mengidentifikasi dan mengurangi, sejauh mungkin, kemacetan yang dapat terjadi selama proses evakuasi, dengan memperhatikan pergerakan normal penumpang dan awak kapal sepanjang rute evakuasi. Hal ini juga mempertimbangkan kemungkinan bahwa awak kapal (ABK) memerlukan jalur yang berlawanan arah dengan pergerakan penumpang.
- b) Menunjukkan bahwa arah untuk melarikan diri dari bahaya cukup fleksibel, dengan menyediakan kemungkinan jalur keluar tertentu, titik kumpul, serta tempat embarkasi untuk penumpang dan ABK. IMO MSC.1/Circ.1238 menetapkan bahwa standar performa untuk waktu evakuasi pada kapal Ro-Ro adalah $n = 60$, untuk kapal penumpang selain kapal Ro-Ro juga $n = 60$ jika kapal memiliki tidak lebih dari tiga zona vertikal utama, dan $n = 80$ jika kapal memiliki lebih dari tiga zona vertikal utama.

Berdasarkan Pedoman Interterm IMO untuk menganalisis evakuasi kapal penumpang, kita perlu membuat beberapa perhitungan awal agar waktu evakuasi dapat dianalisis berdasarkan kondisi nyata, dengan harapan dapat mendekati kejadian yang sebenarnya. Beberapa asumsi dalam IMO MSC/Circ.1238 mencakup hal-hal seperti:

- a) Seluruh penumpang dan awak kapal akan mulai dievakuasi secara bersamaan, dengan asumsi bahwa tidak akan ada tabrakan antar individu. Evakuasi akan dimulai setelah alarm berbunyi dan adanya Waktu Kesadaran (A).
- b) Seluruh penumpang dan awak kapal akan dievakuasi melalui jalur penyelamatan utama terowongan. Sesuai dengan regulasi SOLAS II-2/13 tentang pendirian jalur evakuasi, kapal harus memastikan bahwa penumpang dapat dengan cepat dan aman mencapai tempat berkumpul, dengan mengikuti ketentuan yang telah ditetapkan:
 - Seluruh penumpang dan awak kapal akan memulai evakuasi pada waktu yang bersamaan, tanpa saling menghalangi.
 - Penumpang dan awak kapal akan melakukan evakuasi melalui jalur keluar utama



perjalan ditentukan oleh tingkat kepadatan dan jenis fasilitas dengan asumsi bahwa arus pergerakan hanya satu arah menuju jalan tidak ada proses menyalip.

- Tidak ada penumpang atau awak kapal yang mengalami disabilitas atau kondisi medis yang secara signifikan menghambat kemampuan mereka untuk mengikuti alur evakuasi.
- Arus balik diperhitungkan dengan menggunakan faktor arus balik.
- Diasumsikan kapal dalam kondisi muatan penuh, yaitu 100% kapasitas penumpang.
- Seluruh pengaturan penyelamatan diri dianggap tersedia secara penuh.
- Masyarakat dapat bergerak tanpa hambatan
- Faktor keselamatan mempertimbangkan pengaruh gerakan kapal, usia penumpang, disabilitas, keterbatasan jarak pandang akibat asap, dan faktor-faktor lainnya.

Berdasarkan IMO, ada beberapa istilah umum yang digunakan dalam keadaan darurat, antara lain sebagai :

- a) Evakuasi, kondisi harus diambil ketika alarm berangkat kapal itu berbunyi.
- b) Mustering (gathering), merencanakan pengumpulan penumpang secara berkumpul titik, umumnya titik berkumpul di dekat tempat di mana sekoci atau fasilitas penyelamatan ditempatkan.
- c) Abandonment, dimana penumpang meninggalkan kapal dengan menggunakan orang lain fasilitas penyelamatan, seperti kapal penyelamat, rakit penyelamat

1.2.6. Simulasi

Simulasi adalah serangkaian metode dan aplikasi yang digunakan untuk meniru perilaku suatu sistem nyata, umumnya dilakukan dengan bantuan komputer menggunakan perangkat lunak tertentu. Pada dasarnya, simulasi bersifat umum dan dapat diterapkan di berbagai bidang. Banyak yang berpendapat bahwa simulasi merupakan pendekatan untuk merepresentasikan sistem nyata melalui sebuah model, yang kemudian diuji berkali-kali guna memahami perilaku sistem tersebut secara lebih mendalam. Simulasi berperan penting dalam membantu memahami dan merespons perubahan yang terjadi dalam sistem, baik yang berasal dari faktor internal maupun eksternal. Adapun tujuan penggunaan simulasi adalah:

- a) Memahami perilaku sistem.
- b) Membuat teori-teori atau hipotesis dari sistem yang diamati.
- c) Menggunakan teori-teori atau hipotesa tersebut untuk memperkirakan perilaku sistem yang akan datang yaitu hasil atau efek yang dihasilkan apabila terjadi perubahan-perubahan dalam sistem atau dalam teknik operasi system.

Dalam proses evakuasi penumpang kapal, pergerakan simultan diasumsikan terjadi ketika seluruh penumpang mulai bergerak secara serempak setelah ada aba-aba atau



kuasi" atau meninggalkan kapal. Selama proses ini, tingkat tik sepanjang jalur evakuasi akan terus berubah seiring berjalannya gerakan individu juga dipengaruhi oleh tingkat kepadatan dan lebar mereka lalu.

Kepadatan dan kecepatan pergerakan individu di sepanjang jalur evakuasi mengacu pada standar yang ditetapkan oleh IMO. Kecepatan awal orang saat memasuki suatu jalur evakuasi diasumsikan sama dengan kecepatan mereka saat melewati jalur sebelumnya. Pergerakan selama berada di jalur tertentu ditentukan oleh tingkat kepadatan serta dimensi ruang, terutama lebar jalur evakuasi. Jika kepadatan di suatu ruang melebihi kapasitas maksimum yang diperbolehkan, maka tidak ada lagi pergerakan masuk ke ruang tersebut, dan kecepatan pergerakan di ruang sebelumnya menjadi nol.

Dalam situasi di mana dua jalur evakuasi bertemu pada satu titik, jumlah orang yang memasuki titik tersebut dianggap sebagai gabungan dari kedua aliran yang datang secara bersamaan. Sementara itu, jika terjadi transisi dari satu ruang menuju dua jalur yang berbeda, aliran orang ke masing-masing jalur diasumsikan terbagi secara merata. Asumsi ini sedikit berbeda dari yang ditetapkan dalam regulasi IMO, di mana pembagian aliran orang pada tiap jalur seharusnya disesuaikan dengan dimensi masing-masing jalur evakuasi.

Titik atau lokasi kritis dalam proses evakuasi adalah area di mana jumlah penumpang cenderung meningkat seiring waktu, hingga mencapai batas tertentu atau sampai seluruh penumpang dari lokasi sebelumnya telah berpindah ke titik tersebut. Sebaliknya, lokasi yang stabil merupakan area di mana jumlah penumpang relatif tetap selama proses evakuasi berlangsung, atau tidak mengalami perubahan signifikan hingga semua penumpang di area tersebut telah bergerak ke lokasi berikutnya.

Model simulasi evakuasi penumpang menggunakan Metode Pergerakan Simultan (MPS) terdiri dari tiga komponen utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, data yang dimasukkan mencakup jumlah jalur evakuasi, jenis lokasi transisi di tiap jalur, dimensi tiap titik jalur, serta nilai aliran spesifik dan kecepatan pergerakan orang, yang ditentukan berdasarkan koefisien yang disesuaikan dengan ketentuan IMO. Bagian proses melibatkan perhitungan kecepatan gerak, jarak tempuh di tiap jalur, dan jumlah orang pada tiap titik jalur evakuasi. Sementara itu, output dari simulasi ini adalah jumlah penumpang di tiap lokasi sepanjang jalur evakuasi untuk setiap satuan waktu, serta total durasi evakuasi. Dengan menganalisis distribusi dan perubahan distribusi penumpang di sepanjang jalur, program ini mampu mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi menyebabkan penumpukan penumpang dan memperlambat proses evakuasi.

1.2.7. Software Pathfinder

Pathfinder merupakan perangkat lunak komputer yang dibuat oleh *Thunderhead Engineering* untuk mensimulasikan proses evakuasi manusia. Aplikasi ini digunakan untuk memodelkan perilaku serta pergerakan individu dalam kondisi darurat, seperti



seperti evakuasi dari bangunan dan kapal, dengan tampilan visual dalam ruang maupun tiga dimensi.

Antarmuka grafis (GUI) pada *Pathfinder* berfungsi utama untuk merancang detail simulasi evakuasi. Selain itu, *Pathfinder* juga dilengkapi dengan

program tambahan yang dikhususkan untuk visualisasi performa tinggi secara tiga dimensi. Dalam simulasi, penumpang akan diarahkan untuk berkumpul di area perlindungan sebelum melanjutkan ke lift. Fitur transparansi dalam program ini dimanfaatkan untuk memberikan pandangan yang lebih jelas terhadap dinding pelindung dari sudut pandang penumpang.

Lingkungan pergerakan dalam *Pathfinder* menggunakan mesh 3D yang dirancang untuk mencocokkan dimensi nyata dari model bangunan. Mesh pergerakan ini dapat dimasukkan baik secara manual maupun secara otomatis, dengan menggunakan data impor seperti geometri FDS.

Dinding dan area lainnya digambarkan sebagai celah dalam mesh navigasi. Objek-objek ini tidak diteruskan langsung ke simulator, melainkan diwakili secara implisit karena penumpang tidak dapat bergerak di lokasi yang tidak memiliki jalur navigasi yang telah ditentukan.

Pintu direpresentasikan sebagai tepi khusus mesh navigasi. Dalam semua simulasi, pintu menyediakan mekanisme untuk menggabungkan kamar dan jalur pencarian aliran penumpang. Bergantung pada pilihan tertentu dari simulasi, pintu juga dapat digunakan secara eksplisit untuk mengontrol aliran penumpang.

Tangga digambarkan sebagai ujung navigasi, jalur khusus, dan berbentuk segitiga. Kecepatan pergerakan penumpang diperlambat dengan faktor kecepatan perjalanan yang bergantung pada kemiringan tangga. Setiap tangga secara implisit mendefinisikan dua pintu, yang berfungsi seperti pintu lainnya dalam simulator, namun dikendalikan melalui editor tangga untuk memastikan tidak ada kesalahan geometrik yang disebabkan oleh ketidaksesuaian antara tangga dan pintu penghubung. Penumpang digambarkan sebagai silinder tegak dalam pergerakannya dan bergerak menggunakan teknik berbasis agen, dengan gerakan masing-masing penumpang bersifat independen tanpa saling bergantung.

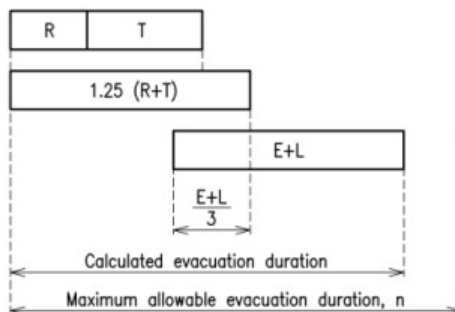
Dalam mode SFPE, penumpang tidak berusaha untuk menghindari satu sama lain dan diperbolehkan untuk saling menembus, namun pintu membatasi aliran dan kecepatan, yang dikendalikan oleh kepadatan penumpang (Pathfinder Thunderhead Engineering, 2019).

1.2.8. Performance Standar

Sebuah inovasi yang diperkenalkan oleh MSC.1/Circ.1533 adalah harmonisasi total durasi evakuasi (tTOT) untuk metode sederhana dan lanjutan pada Gambar 1 Memang benar, standar kinerja yang harus diverifikasi untuk kedua metode tersebut adalah sama:



$$+ T) + \frac{2}{3} (E + L) \leq n \quad (1)$$



Gambar 2 Performance Standar Menurut IMO

Sumber : IMO MISC.1/Circ 1533

- 1) 10' pada kasus 1 dan kasus 3, 5' pada kasus 2 dan kasus 4
- 2) Dihitung sebagaimana tercantum dalam Lampiran 1 Pedoman ini
- 3) Maksimum 30' sesuai dengan peraturan SOLAS III/21.1.4
- 4) Waktu tumpang tindih = $1/3 (E+L)$
- 5) Nilai n (min)

Perhitungan E+L harus dilakukan berdasarkan hasil uji coba skala penuh pada kapal yang serupa dan sistem evakuasi, atau menggunakan data yang disediakan oleh produsen. Namun, jika kedua metode tersebut tidak dapat diterapkan, maka E+L dianggap 30 menit, dengan metode perhitungan yang harus didokumentasikan, termasuk nilai faktor keamanan yang digunakan.

Selain menghitung waktu evakuasi, penting juga untuk mempertimbangkan keselamatan jalur evakuasi seperti fasilitas pelarian. Berdasarkan SOLAS Bab II, Bagian D, peraturan 13, melarikan diri mengacu pada kemampuan seluruh orang di kapal untuk dengan cepat dan aman menuju sekoci dek embarkasi dan sekoci penyelamat. Berikut adalah istilah-istilah yang relevan:

- a) Harus ada jalan keluar yang aman.
- b) Rute pelarian harus dijaga agar aman dan bebas dari bahaya rudal.
- c) Harus ada bantuan ekstra, yang sama pentingnya, akses, dan jelas penandatanganan, dan pemenuhan desain dalam keadaan darurat.

1.2.9. Agent Based Model Simulation

Model Berdasarkan Agen (*Agent Based Model/ABM*) adalah jenis model komputasi yang digunakan untuk mensimulasikan tindakan dan interaksi agen otonom, yang bisa berupa entitas individu atau kelompok seperti organisasi, dengan tujuan untuk menilai dampak interaksi mereka terhadap sistem secara keseluruhan.



Model Berdasarkan Agen (*Agent Based Model Simulation*) adalah pendekatan dalam permodelan sistem kompleks, di mana agen atau individu otonom (mengatur kepentingannya sendiri) (Siswanto, 2015). Model ini menunjukkan perilaku yang saling mempengaruhi satu sama lain. Dengan

permodelan agen secara individu, sifat keberagaman dan perilaku agen terhadap sistem akan berinteraksi secara otomatis antar agen. Berikut beberapa sifat keberagaman dan perilaku agen:

- a) Agen memiliki masalah mengenai representasi alam
- b) Ketika perubahan proses struktural membutuhkan hasil dari permodelan
- c) Peningkatan tingkat keacakan agen
- d) Terdapat kejadian yang tidak terduga / tidak terprediksi
- e) Terdapat komponen geospasial (obyek atau kejadian yang mencakup suatu lokasi, letak dan posisinya) yang mempengaruhi perilaku agen
- f) Saat agen-agen menjadi suatu kesatuan organisasi
- g) Agen memiliki strategi perilaku tertentu
- h) Agen memiliki hubungan yang dinamis dengan agen lainnya
- i) Agen dapat belajar, beradaptasi dan dapat merubah perilaku mereka masing-masing.

1.2.10. Analisis Evakuasi dan Penyelamatan

Analisis evakuasi IMO, yang dilakukan untuk kapal pesiar baru dan kapal penumpang yang ada secara sukarela, memungkinkan penilaian pada tahap desain keselamatan pasif (in-built) dari sistem evakuasi kapal saja. Sementara itu, keselamatan operasional (aktif), yang berkaitan dengan tindakan untuk meningkatkan kesiapsiagaan darurat dan mengelola krisis dengan lebih baik jika terjadi keadaan darurat, hanya ditangani melalui faktor keselamatan. Terkait hal ini, ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan:

- a) Skenario evakuasi IMO menangani isu terkait dengan tata letak dan ketersediaan rute evakuasi utama, serta distribusi penumpang dan waktu respons. Namun, hal ini tidak mencakup situasi darurat nyata, sehingga diperlukan persiapan lebih lanjut melalui perencanaan, pelatihan, dan peningkatan dukungan pengambilan keputusan, yang semuanya terkait dengan fungsi awak kapal. Faktor yang tak kalah penting selain pengumpulan penumpang adalah desain rute pelarian yang efektif. Berbeda dengan pendekatan tradisional dalam industri kelautan, *Registro Italiano Navale* (RINA) mengembangkan notasi yang fokus pada aspek operasional kapal dengan bantuan SSRC dan menerapkannya pada *Spirit Class of Carnival* (Dogliani et al. 2004). Notasi kelas ini bertujuan untuk menilai efektivitas fungsi awak kapal dengan membandingkan kinerja evakuasi kapal dalam berbagai skenario tertentu (selain 4 skenario IMO), yang mencakup acara sosial, kapal yang berlabuh, serta menentukan skenario yang menggambarkan keadaan darurat nyata dengan atau tanpa bantuan awak kapal. Konsep ini membawa analisis evakuasi ke arah yang lebih relevan, serta memberikan "cara" yang lebih efektif untuk meningkatkan kinerja evakuasi penumpang dan mendorong pemilik kapal penumpang untuk memperbaiki prosedur darurat. Sebagai perkembangan dari hal tersebut, analisis evakuasi dalam



ini dapat dilakukan dengan lebih bermakna melalui simulasi numerik. 'sering kali digunakan secara bergantian dengan "Pengumpulan" an," sehingga elemen penting dari proses meninggalkan kapal 1. Penekanan pada pengukuran waktu yang diperlukan untuk pal sangat penting dan tidak bisa dianggap remeh.

- c) Evakuasi pasca kecelakaan, selain memastikan ketersediaan sistem darurat, juga harus mempertimbangkan dampak dari air banjir atau kebakaran, yang perlu dianalisis menggunakan model evakuasi banjir/kebakaran berpasangan seperti yang dijelaskan dalam (Vassalos 2006).

Daftar Penumpang dan ABK Kapal Perintis yang dikelompokkan berdasarkan Kecepatan Berjalan/Berpindah sesuai kriteria IMO.

Tabel 1 Kecepatan Berjalan/Berpindah Sesuai Kriteria IMO

Population Groups Passengers	Walking Speed on Flat Terrain (e.g, Corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Female Younger Than 30 Years	0.93	1.55
Female 30-50 Years Old	0.71	1.19
Female Older Than 50 Years	0.56	0.94
Male Younger Than 30 Years	1.11	1.85
Male 30-50 Years Old	0.97	1.62
Male Older Than 50 Years	0.84	1.4
Crew	1.11	1.85

(Sumber : IMO MSC 2016)

1.2.11. Panic Attack

Panic attack dalam kondisi darurat merupakan reaksi alami tubuh terhadap ancaman atau stres yang dirasakan. Dalam konteks ini, *panic attack* dapat dijelaskan melalui berbagai teori psikologis dan biologis yang menguraikan alasan dan cara reaksi tersebut terjadi.

a. Fight or Flight

Teori ini diperkenalkan oleh Walter Cannon pada tahun 1929, yang menyatakan bahwa tubuh merespons ancaman dengan mengaktifkan sistem saraf simpatik, yang kemudian memicu pelepasan adrenalin dan kortisol. Akibatnya, terjadi peningkatan detak jantung, pernapasan yang cepat, dan persiapan fisik untuk melawan atau lari dari ancaman. Dalam situasi darurat, seperti bencana alam atau kebakaran, individu dapat menilai situasi tersebut sebagai ancaman, yang kemudian memicu fight or flight yang berlebihan, yang bisa berkembang menjadi *panic attack* (Cannon 1929).



- b. Teori *Cognitive Appraisal* (Penilaian Kognitif)
Teori ini dikembangkan oleh Richard Lazarus dan Susan Folkman pada tahun 1984. Mereka menjelaskan bahwa panic attack terjadi ketika seseorang menilai situasi sebagai ancaman yang tidak dapat dikendalikan atau diatasi. Penilaian kognitif ini memicu respons stres dan kecemasan yang intens.
- c. Teori *Biological Vulnerability* (Kerentanan Biologis)
Teori ini menekankan peran faktor genetik dan biologis dalam kecenderungan seseorang untuk mengalami *panic attack*. Ketidakseimbangan neurotransmitter seperti serotonin, norepinefrin, dan GABA dapat meningkatkan kerentanannya terhadap panic attack, terutama dalam situasi stres tinggi seperti keadaan darurat. Individu dengan riwayat gangguan kecemasan atau panic disorder mungkin lebih mudah mengalami panic attack saat menghadapi situasi darurat karena adanya kerentanan biologis mereka.
- d. Teori ini diajukan oleh Jeffrey Gray (1982), yang menyatakan bahwa sistem inhibisi perilaku (BIS) di otak mengaktifkan respons kecemasan ketika seseorang menghadapi situasi yang tidak dikenal atau mengancam. Dalam keadaan darurat, ketidakpastian dan ancaman dapat memicu BIS, yang selanjutnya menyebabkan gejala panic attack seperti gemetar, berkeringat, dan dorongan untuk melarikan diri.
- e. Teori *Hyperventilation* (Hiperventilasi)
Teori ini menjelaskan bahwa *panic attack* dapat dipicu oleh hiperventilasi (pernapasan cepat dan dangkal), yang menyebabkan penurunan kadar karbon dioksida dalam darah. Hal ini dapat menimbulkan gejala seperti pusing, sesak napas, dan detak jantung cepat. Dalam situasi darurat, stres dapat menyebabkan seseorang bernapas dengan cepat dan tidak teratur, memicu hiperventilasi dan gejala panic attack.
- f. Teori *Learned Helplessness* (Ketidakberdayaan yang Dipelajari)
Teori ini dikemukakan oleh Martin Seligman (1972). Menurut teori ini, panic attack dapat terjadi ketika seseorang merasa tidak memiliki kendali atas situasi yang mengancam, sehingga menimbulkan perasaan tidak berdaya dan kecemasan yang intens. Dalam situasi darurat, ketidakmampuan untuk mengendalikan lingkungan atau hasil situasi dapat memperburuk perasaan tidak berdaya, memicu panic attack.

Panic attack dalam keadaan darurat dapat dijelaskan melalui berbagai teori yang melibatkan faktor biologis, kognitif, dan lingkungan. Pemahaman ini dapat membantu dalam mengembangkan strategi pencegahan dan penanganan, seperti terapi kognitif-behavioral (CBT), teknik relaksasi, dan intervensi farmakologis.



ah

lakang terdapat rumusan masalah penelitian ini yaitu, bagaimana evakuasi untuk penumpang dan ABK sebelum dan setelah (*redesign*) pada kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT* dengan menghitung ai standar IMO MSC 1/Circ.1533

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan, maka penelitian dibatasi dengan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Simulasi dilakukan dengan merencanakan jalur evakuasi untuk kapal Ferry Ro-Ro untuk penumpang dan awak.
- b. Simulasi dilakukan dengan metode AEA (*Advanced Evacuation Analysis*) dimana Penumpang dan ABK dianggap bergerak secara acak sesaat setelah arahan untuk evakuasi.
- c. Gerakan kapal, heel, dan trim tidak dianggap.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan jalur evakuasi untuk penumpang dan ABK sebelum dan setelah perencanaan ulang (*redesign*) pada kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT* dengan menghitung waktu evakuasi sesuai standar IMO MSC 1/Circ.1533

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu merancang general arrangement atau rencana umum kapal dan menjadi dasar dalam proses pembuatan gambar desain kapal.
2. Memberikan gambaran kepada desainer kapal, khususnya kapal Penumpang agar mempertimbangkan akses maupun titik evakuasi agar dijangkau dalam waktu seminimal mungkin oleh para penumpang dan ABK.
3. Memberikan wawasan mengenai proses evakuasi yang merujuk pada kecepatan berjalan penumpang maupun ABK sesuai standar yang berlaku.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis sekaligus memungkinkan pembaca dapat menginterpretasikan hasil tulisan secara tepat, maka tugas akhir ini disusun menjadi beberapa bagian, yaitu:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan atau alasan yang mendasari penulis dalam melakukan penelitian mengenai Perencanaan Jalur Evakuasi Pada Kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT*. Selain itu berisi juga mengenai perumusan masalah yang dianalisis, batasan masalah penelitian yang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini karena keterbatasan alat bantu dan membatasi agar penelitian lebih spesifik juga dalam bab ini terdapat tujuan dari penelitian dan manfaat penelitian yang dapat diambil dari penelitian ini serta sistematika penulisan skripsi.



tian

Bab ini berisi jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, objek penelitian yaitu pada Kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT*, jenis dan sumber data dimana penelitian ini bersifat kuantitatif yaitu penelitian yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya dengan melakukan Simulasi untuk. Untuk mendapatkan waktu berjalan (T) pada setiap kondisi dan menghitung total waktu evakuasi berdasarkan IMO MSC.1/Circ 1533 tentang *Performance Standard* untuk Persamaan waktu Evakuasi.

BAB III Hasil Penelitian

Bab ini berisi proses dan hasil tentang Pemodelan kesesuaian karakter kapal *Ro-Ro 900 GT* pada *pathfinder* dengan *general arrangement*. mulai dari ruangan, pintu, tangga, jalur keluar, input penumpang dan ABK, serta hasil dari besarnya waktu berjalan penumpang dan ABK ke dari ruangan asal ke *muster Station*.

BAB IV Pembahasan

Bab ini berisi pembahasan tentang hasil simulasi dari waktu perjalan (T) pada *Ro-Ro Ferry 900 GT* pada *Pathfinder* beserta asumsi-asumsi dan parameter data yang dilakukan saat simulasi dilakukan. Bab ini juga berisi pembahasan tentang hasil akhir dari penelitian ini yaitu total waktu evakuasi dari kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT*.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan dari isi penelitian yang mencakup kesimpulan dari hasil pembahasan masalah yang dibahas pada bab-bab sebelumnya.



BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif yaitu penelitian yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta menampilkan hasil dari perencanaan jalur evakuasi kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT* berdasarkan Regulasi IMO MSC.1/Circ.1533 dengan model perencanaan akses yang berbeda.

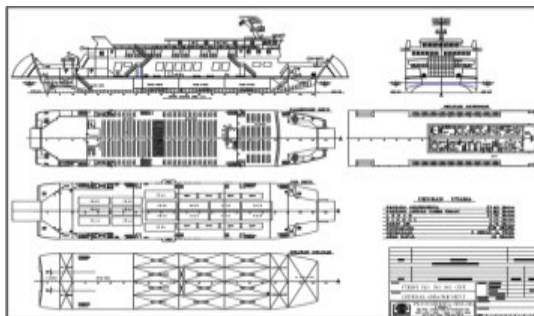
2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di *Labo. Rancang Bangun Kapal (RBK)* Departemen Teknik Perkapaln, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa dengan waktu penelitian dilaksanakan dari bulan Mei 2025 sampai dengan bulan Juni 2025.

2.3 Penyajian Data

Berikut ini Merupakan data dari kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT* :

Panjang Lambung (LOA)	: 57.5 m
Panjang Waterline (LWL)	: 50.3 m
Max Beam Moulded (B)	: 13.75 m
Design Draft (T)	: 3.75 m
Tinggi Kapal (H)	: 4 m
Pax Capacity	: 500 Pax
Crew	: 18 Orang



Gambar 3 General Arrangement Kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT*

Sumber : PT. X



diawali dengan mengimpor gambar tata letak umum ke dalam J mengidentifikasi area publik dan privat. Setelah itu, simulasi mempertimbangkan tingkat kepadatan ABK di setiap ruangan sesuai . Langkah selanjutnya adalah merancang alternatif rute evakuasi

untuk empat skenario yang direncanakan, kemudian mensimulasikannya menggunakan perangkat lunak Pathfinder. Dari hasil simulasi ini diperoleh total waktu evakuasi yang mencakup Awareness Time, Travel Time, dan Embarkation Time. Perhitungan total waktu mengacu pada standar IMO MSC/Circ.1533. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu evakuasi terbaik dicapai pada rute yang memenuhi kriteria dari IMO MSC.1/Circ.1533.

2.5 Kerangka Alur Pemikiran

Untuk menjawab rumusan masalah yang sesuai dengan tujuan penelitian, maka dilakukan proses penelitian yang sesuai dengan prosedur yang tersusun secara sistematis. Prosedur ini diawali dengan identifikasi masalah yang terkait berdasarkan studi literatur sebagai referensi dalam menjawab permasalahan, kemudian dilakukan prosedur studi kasus dimana diperoleh dari data yang telah didapatkan sehingga bisa melaksanakan pengujian serta menghasilkan kesimpulan dari penelitian ini

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menganalisis data pada penelitian ini adalah:

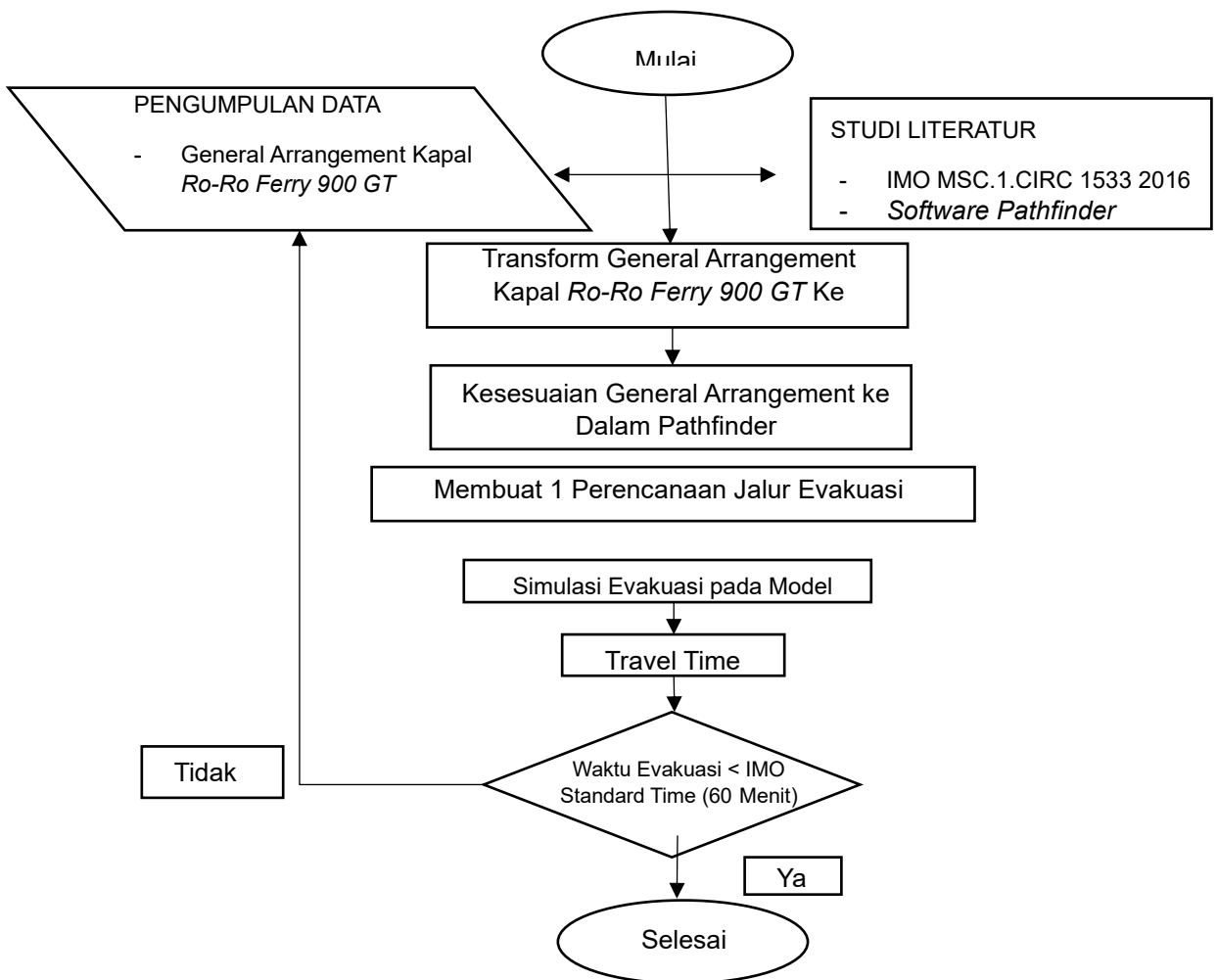
1. Tahap Pertama
Kegiatan penelitian dilakukan dengan pengambilan data dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, atau artikel-artikel ilmiah yang berhubungan dengan tema penelitian. Data diperoleh di Laboratorium ataupun dari sumber-sumber lainnya.
2. Tahapan Kedua
Setelah mengadakan studi atau pemahaman terhadap data yang dikumpulkan, dilanjutkan dengan pengolahan data berupa:
 - a. Membuat 3 perencanaan jalur evakuasi pada kapal Ro-Ro Ferry 900 GT
 - b. Transform General Arrangement Kapal Ro-Ro Ferry 900 GT ke Pathfinder
 - c. Keseuaian karakter Model pada *Pathfinder* berdasarkan General Arrangement Kapal Ro-Ro Ferry 900 GT
 - d. Menginput parameter dari perilaku dari penumpang dan ABK sesuai dengan IMO MSC.1/Circ 1533
3. Tahapan Ketiga
Menentukan pesebaran penumpang dan ABK berdasarkan hasil model *Pathfinder* dari General Arrangement Kapal Ro-Ro Ferry 900 GT
4. Hasil Penelitian
Pada hasil penelitian, waktu perjalanan (Travel Time) (T) perencanaan jalur evakuasi dan jalur evakuasi sesuai General Arrangement kapal Ro-Ro 900 GT telah didapatkan menggunakan metode AEA. Selanjutnya membandingkan total waktu menggunakan persamaan dari *performance standard* dari IMO. Waktu yang ditentukan pada hasil perhitungan tidak boleh lebih dari 60 menit waktu evakuasi



Kesimpulan mengenai perencanaan jalur evakuasi yang optimal berdasarkan aturan IMO kapal *Ro-Ro Ferry 900 GT*.

2.6 Diagram Alir

Alur penelitian atau diagram alir dalam penelitian Perencanaan Jalur Evakuasi pada kapal *Ro-Ro 900 GT* Dengan Simulasi Komputer Menggunakan *Metode Advance Evacuation Analysis (AEA)*.



Gambar 4 Diagram Alir
Sumber : Olahan Data