



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMODELAN SIMULASI EVAKUASI PENUMPANG  
MENGUNAKAN SALAH SATU DESAIN  
KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

**SKRIPSI**

**GRACE AMELDA SIMATUPANG  
040508013Y**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMODELAN SIMULASI EVAKUASI PENUMPANG  
MENGUNAKAN SALAH SATU DESAIN  
KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**GRACE AMELDA SIMATUPANG  
040508013Y**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Grace Amelda Simatupang

NPM : 040508013Y

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Grace Amelda Simatupang

NPM : 040508013Y

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : pemodelan simulasi evakuasi penumpang menggunakan salah  
satu desain Kapal *ferry* ro-ro 500 GT

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

Dewan Penguji:

Pembimbing I : Dr. Ir. Sunaryo, Ph.D ( )

Pembimbing II : Prof. Ir. Yulianto. S. Nugroho, M.Sc., Ph.D ( )

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ( )

Penguji : Ir. Riko Butar-butur, M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena hanya dengan anugrah dan kasih-Nya, saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari, bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin berterimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sunaryo, Ph.D selaku dosen pembimbing, atas segala tuntunan, nasehat dan sharing yang sangat berguna
2. Bapak Prof. Ir. Yulianto Sulistiyo Nugroho M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing II, atas segala sharing dan masukan yang sangat berguna serta izin pemakaian *software* buildingEXODUS sekaligus komputernya
3. Prof. E.R. Galea dari Fire Safety Engineering Group, Universitas Greenwich, Inggris, atas izin penggunaan dan lisensi *software* buildingEXODUS
4. Orang tua, kedua kakak saya serta keluarga besar Simatupang dan Siahaan
5. Dito Afandi, ST selaku tutor buildingEXODUS yang selalu sabar membimbing dan menerima konsultasi skripsi saya
6. Dedi Setiono, ST atas pengertiannya mempersilahkan saya memakai komputer lebih dulu dan lebih lama
7. Karyawan dan karyawan Departemen Teknik Mesin
8. Teman-teman seperjuangan Kapal'05 gelombang dua, yang saling menyemangati dan menguatkan
9. Teman-teman kapal'05 gelombang satu atas dukungan dan bantuannya
10. Teman-teman Proram Studi Teknik Perkapalan
11. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin
12. Dewi Tambunan dan Purnama Laurentina Tamba, sahabat yang selalu menguatkan dalam doa

13. Martha Indah, Teknik Mesin 2006 atas persahabatan yang hangat dan menyenangkan

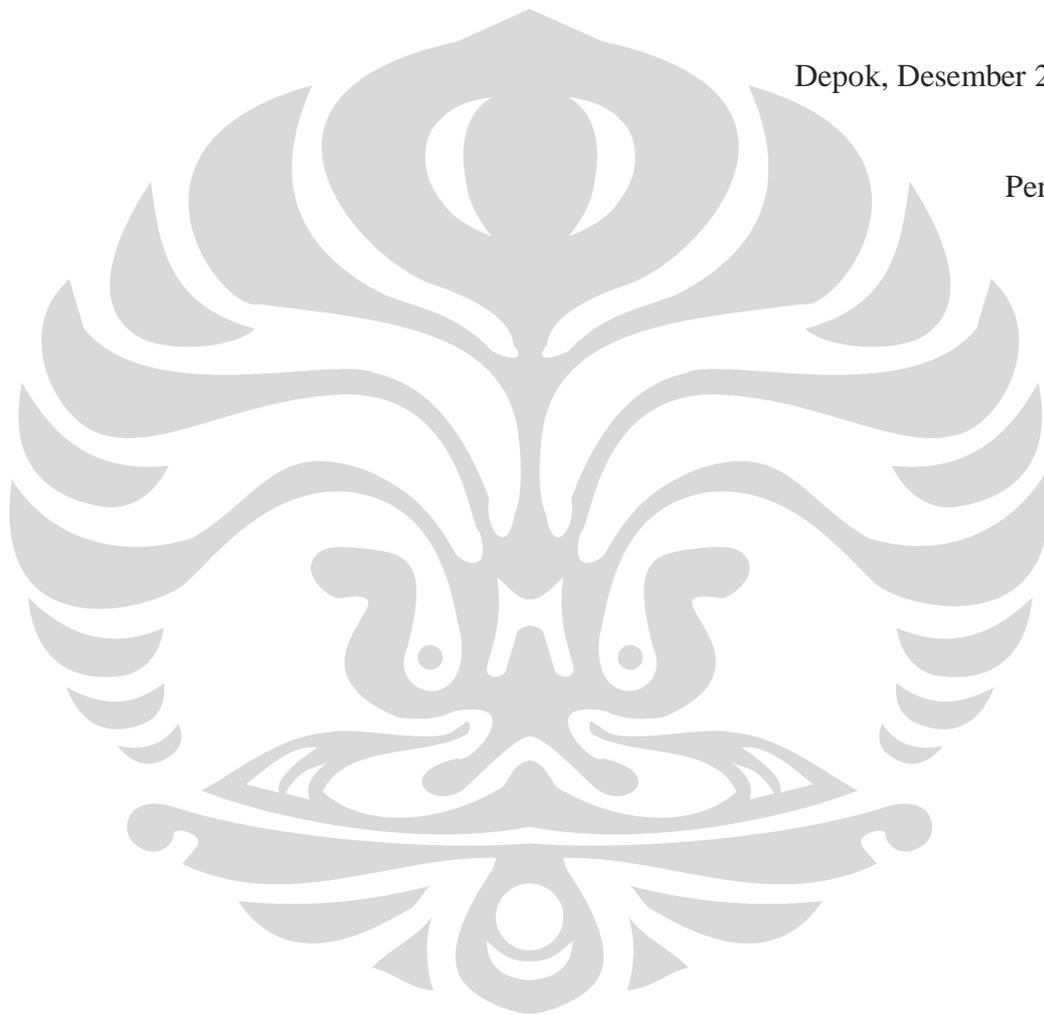
14. Oki, Teknik Mesin 2006 atas pinjaman printer secara cuma-cuma

15. Seluruh pihak yang terkait dalam pembuatan skripsi ini.

Akhirnya, saya berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Desember 2009

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Grace Amelda simatupang  
NPM : 040508013Y  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas skripsi saya yang berjudul:

“pemodelan simulasi evakuasi penumpang menggunakan salah satu desain

Kapal *ferry* ro-ro 500 GT”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia bebas menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : Desember 2009  
Yang Menyatakan

(Grace Amelda Simatupang)

## ABSTRAK

Nama : Grace Amelda Simatupang  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul : Pemodelan simulasi evakuasi penumpang menggunakan salah satu desain kapal *ferry* 500 GT

Berbagai analisa mengenai proses evakuasi penumpang di kapal telah dilakukan dalam tahun-tahun yang lalu. Terutama setelah dihasilkannya aturan SOLAS II-2/28-1.3 mengenai rancangan *escape route* yang harus dievaluasi segera pada proses desain kapal. Akan tetapi, untuk menginvestigasi proses evakuasi secara detail, tidak cukup hanya dengan melihat dari *geometry*, seperti yang digambarkan oleh sistem hidrolis atau aliran. Aspek *behavior* dan *procedural* juga harus dimasukkan dalam perhitungan, meskipun tidak ada seorangpun yang akan bisa memprediksi secara tepat apa yang akan terjadi. Ketika kondisi awal kapal, faktor penyebab keadaan darurat di kapal dan aturan *human behavior* tidak diketahui, tidak mustahil untuk menghitung kuantitas faktor-faktor tersebut. Sekarang, jawaban yang harus ditemukan adalah bagaimana mengkondisikan sedekat mungkin dengan kenyataan dengan metode yang sefleksibel mungkin, tepat dan dapat dipahami. Tentu saja ini menjadi pertanyaan penting dalam memodelkan simulasi evakuasi dari proses yang nyata. Pada skripsi ini, penulis mensimulasikan model secara mikroskopik dengan *buildingEXODUS* yang mampu menggambarkan setiap karakteristik individu penumpang secara mendetail dan di saat yang sama menggambarkan simulasi yang efisien dan cepat. Aspek *behavior* dan *procedural* evakuasi termasuk didalamnya urutan rute, *muster station* dan *embarkation station*, berbeda-beda setiap kelompok penumpang. Dengan dua skenario kondisi yang mungkin terjadi saat kapal dalam keadaan darurat seperti kebakaran, menghasilkan taksiran waktu evakuasi. Implementasi dari pemodelan ini adalah salah satu desain kapal *ferry* ro-ro 500 GT.

Kata kunci: Evakuasi, *buildingEXODUS*, kapal *ferry* ro-ro

## ABSTRACT

Name : Grace Amelda Simatupang  
Study Program : Naval Architecture Engineering  
Title : Passenger evacuation simulation model using 500 GT ferry ro-ro design

The analysis of passenger evacuation processes onboard passenger ship has attracted increasing interest over the last year, especially after SOLAS regulation II-2/28-1.3 has prescribed. It is required escape route shall be evaluated early in the design process. However, for a thorough investigation of the evacuation performance it is not efficient to look only at the geometry, like hydraulic and flow models do. Behavioral and procedural aspects have also to be taken into account, although one will never be able to predict exactly what will happen. Since knowledge of the initial conditions, influencing factors and laws of human behavior is limited, it doesn't make sense to include factors that cannot be quantified. Now, answer has to be found is how to get as close to reality as necessary and to provide a method as flexible, straightforward and comprehensible as possible. This, of course, is a crucial question in evacuation assessment and modeling of real world processes in general. Writer presents a microscopic simulation model with buildingEXODUS that is capable of representing every passenger's individual characteristic as well as all necessary details and at the same time allows for fast and efficient simulation. The behavior and procedural aspects of evacuation are included route, muster station and embarkation station define sequence of events for deferent group of passenger. With two scenario of possible condition when emergency situations, for example fire, had predicted evacuation time. The implementation of the model is one of 500 GT ferry ro-ro passenger ship' General Arrangement.

Key words: evacuation, simulation modeling, buildingEXODUS, ferry ro-ro passenger ship

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR GRAFIK .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan penulisan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi penelitian .....	4
1.6. Sistematika penulisan .....	4
<b>2. LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Pengertian umum .....	5
2.1.1. Pengertian kapal motor penyebrangan (KMP)/Ferry ro-ro .....	5
2.1.2. Pengertian penumpang .....	6
2.1.3. Pengertian evakuasi .....	6
2.2. Kondisi-kondisi di kapal .....	6
2.2.1. Kondisi tenang .....	6
2.2.2. Kondisi darurat .....	7
2.3. Dasar teori evakuasi .....	8
2.3.1. Beban occupant dan geometri jalur evakuasi .....	10
2.3.2. Travel time .....	11
2.4. Model simulasi evakuasi di kapal .....	13
2.4.1. Software buildingEXODUS .....	15
2.4.2. Software maritimEXODUS .....	19
2.5. Langkah-langkah menggunakan buildingEXODUS 4.06 .....	26
2.5.1. Geometry mode .....	27
2.5.1.1. Node .....	27

2.5.1.1. Arc.....	28
2.5.2. Population mode .....	29
2.5.2.1. Atribut fisik.....	29
2.5.2.2. Atribut psikologi .....	32
2.5.2.3. Atribut experiental .....	34
2.5.3. Scenario mode.....	34
2.5.4. Simulation mode .....	34
2.6. Peraturan SOLAS mengenai evakuasi penumpang kapal Ferry ro-ro ...	34
<b>3. PEMODELAN SIMULASI EVAKUASI PENUMPANG KAPAL FERRY RO-RO 500 GT</b>	
3.1. Pemodelan evakuasi.....	46
3.1.1. Geometry .....	46
3.1.2. Populasi .....	48
3.1.3. Skenario pertama.....	50
3.1.4. Skenario kedua.....	53
3.2. Perhitungan waktu evakuasi sederhana.....	56
3.2.1. Identifikasi <i>assembly stations</i> .....	56
3.2.2. Asumsi yang digunakan .....	56
3.2.3. Skenario pertama .....	57
3.2.4. Skenario kedua.....	63
<b>4. ANALISA HASIL PEMODELAN EVAKUASI</b>	
4.1. Waktu evakuasi hasil pemodelan.....	68
4.1.1. Skenario pertama.....	68
4.1.2. Skenario kedua.....	71
4.2. Analisa kepadatan .....	75
4.2.1. Skenario pertama.....	75
4.2.2. Skenario kedua.....	77
4.3. Waktu evakuasi hasil perhitungan maual.....	79
4.4. Waktu evakuasi terbaik .....	80
4.5. Kesesuaian dengan aturan SOLAS .....	80
<b>5. KESIMPULAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	81
5.2. Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>84</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Occupant density</i> dan <i>travel speed</i> .....	11
Tabel 2.2	Karakteristik dan keistimewaan <i>software</i> simulasi evakuasi .....	15
Tabel 2.3	Karakteristik dan keistimewaan <i>software</i> building EXODUS .....	19
Tabel 2.4	Karakteristik dan keistimewaan <i>software</i> maritim EXODUS .....	26
Tabel 2.5	Jenis-jenis <i>node</i> .....	27
Tabel 2.6	Nilai <i>travel speed</i> pada berbagai <i>mode</i> pergerakan .....	30
Tabel 2.7	<i>Travel speed</i> berbagai usia dan <i>gender</i> pada saat menaiki dan menuruni tangga .....	31
Tabel 2.8	Pengaruh keterbatasan fisik terhadap pergerakan .....	31
Tabel 2.9	Nilai arus spesifik awal dan kecepatan awal dalam fungsi berat jenis .....	38
Tabel 2.10	Nilai arus spesifik maksimum .....	39
Tabel 2.11	Nilai arus spesifik dan kecepatan .....	39
Tabel 3.1	Data fasilitas di kapal yang dilewati penumpang pada proses evakuasi ...	48
Tabel 3.2	Karakteristik dan keistimewaan <i>software</i> maritim EXODUS .....	48
Tabel 3.3	Properties penumpang dan ABK pada sebaran umur dan <i>gender</i> .....	49
Tabel 3.4	Hasil umum pemodelan skenario pertama .....	51
Tabel 3.5	Hasil pemodelan evakuasi skenario pertama tiap titik berhimpun .....	51
Tabel 3.6	Hasil umum pemodelan skenario pertama .....	54
Tabel 3.7	Hasil pemodelan evakuasi skenario pertama tiap titik berhimpun .....	54
Tabel 3.8	Ukuran area di dek 1 .....	58
Tabel 3.9	Ukuran area di dek 2 .....	58
Tabel 3.10	Ukuran area di dek 3 .....	59
Tabel 3.11	Kondisi awal MVZ 1 .....	59
Tabel 3.12	Perhitungan $t_F$ , $t_{dek}$ dan $t_{stair}$ .....	61
Tabel 3.13	Perhitungan $t_{assembly}$ .....	62
Tabel 3.14	Perhitungan T .....	62
Tabel 3.15	ukuran area di dek 1 .....	63
Tabel 3.16	ukuran area di dek 2 .....	64
Tabel 3.17	ukuran area di dek 3 .....	64
Tabel 3.18	kondisi awal MVZ 2 .....	65
Tabel 3.19	perhitungan $t_F$ , $t_{dek}$ dan $t_{stair}$ .....	66
Tabel 3.20	perhitungan $t_{assembly}$ .....	66
Tabel 3.21	perhitungan T .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prosedur jalur evakuasi .....	9
Gambar 2.2	Hubungan antara 5 sub-model buildingEXODUS .....	18
Gambar 2.3	Contoh pemodelan evakuasi 3 dimensi menggunakan vrEXODUS .....	24
Gambar 2.4	Node dengan 4 arc .....	28
Gambar 2.5	Node dengan 8 arc .....	28
Gambar 2.6	Hubungan arc, node, occupant dan geometry .....	28
Gambar 2.7	Interaksi orang dengan orang .....	33
Gambar 2.8	Perhitungan waktu evakuasi .....	41
Gambar 3.1	General arrangement kapal Ferry ro-ro 500 GT .....	44
Gambar 3.2	Rencana evakuasi penumpang kapal dari geladak kendaraan hingga geladak penumpang & ABK .....	45
Gambar 3.3	Geometry geladak kendaraan, antara penumpang & ABK .....	47
Gambar 3.4	Salah satu contoh kepadatan di tiga geladak pada menit ke 2 detik ke 55 11	
Gambar 4.1	Kepadatan penumpang pada geladak kendaraan saat 2:0,8,2:42,3:09 .....	76
Gambar 4.2	kepadatan penumpang tiap geladak pada skenario kedua .....	78



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Kecepatan evakuasi untuk perhitungan <i>egrees</i> .....	8
Grafik 3.1 Jumlah penumpang melakukan evakuasi tiap 5 detik untuk skenario pertama.....	53
Grafik 3.2 Jumlah penumpang melakukan evakuasi tiap 5 detik untuk skenario kedua.....	55
Grafik 4.1 waktu total evakuasi terhadap semua penumpang selamat pada skenario pertama.....	68
Grafik 4.2 waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap <i>assembly point</i> pada skenario pertama .....	69
Grafik 4.3 waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap <i>assembly point</i> dan total penumpang yang keluar pada skenario pertama ..	70
Grafik 4.4 waktu total evakuasi terhadap semua penumpang selamat pada skenario kedua.....	72
Grafik 4.5 waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap <i>assembly point</i> pada skenario kedua .....	73
Grafik 4.6 waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap <i>assembly point</i> dan total penumpang yang keluar pada skenario kedua.....	74
Grafik 4.7 kepadatan penumpang skenario pertama.....	77
Grafik 4.8 kepadatan penumpang skenario kedua.....	79

## LAMPIRAN

Lampiran 1 *General arrangement* kapal *ferry* ro-ro 500 GT

Lampiran 2 Summary output dari building EXODUS skenario 1

Lampiran 3 Summary output dari building EXODUS skenario 2

Lampiran 4 *Safety arrangement* kapal *ferry* ro-ro 500 GT



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Saat kapal mengalami suatu kondisi darurat (*Emergency Condition*) seperti ancaman bom, kebakaran, kebocoran, kecelakaan, badai dan lain-lain, yang memungkinkannya menjadi kondisi bahaya, evakuasi penumpang menjadi tindakan pertama yang harus dilakukan untuk mencegah timbulnya banyak korban yang tidak selamat. Evakuasi adalah aspek *Emergency Planning* yang dapat dijelaskan sebagai tindakan meninggalkan suatu zona bahaya secepat mungkin dengan tertib dan teratur. Sasaran utama dari evakuasi adalah dengan waktu yang sesingkat-singkatnya dapat mengevakuasi sejumlah besar orang dengan aman. Untuk mencapai sasaran tersebut, terdapat dua faktor yang saling berkaitan dan dapat mempengaruhi rencana evakuasi (*Evacuation Planning*) yaitu faktor dari dalam yaitu desain kapal dan faktor dari luar yaitu manusia (*Human Factor*), yaitu dalam hal ini adalah penumpang.

Saat mendengar alarm tanda bahaya, sikap dan reaksi yang ditunjukkan oleh penumpang berbeda-beda, bergantung pada latarbelakang pengalaman dan pengetahuan mereka menghadapi keadaan di bawah tekanan ketika berada dalam sekumpulan orang-orang. Selain itu, riwayat seperti *gender*, umur, kemampuan dan juga keterbatasan seseorang sangat memengaruhi seseorang dalam mengambil keputusan tindakan apa yang akan dilakukan dalam keadaan panik (*panic behavior*).

Faktor dari dalam yang tidak kalah pentingnya adalah desain kapal itu sendiri. Berdasarkan peraturan SOLAS II-2/28-3 (SOLAS, *Consolidate Edition* 1997) yang menjelaskan bahwa untuk kapal penumpang Ro-Ro yang dibangun saat atau setelah 1 Juli 1999, rute untuk jalan keluar (*escape route*) harus dievaluasi dengan analisa evakuasi di awal pendesainan kapal. Analisa tersebut akan dipakai untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi kemacetan atau penumpukan orang yang terjadi selama proses evakuasi oleh karena pergerakan penumpang dan ABK sepanjang *escape route* , termasuk kemungkinan ABK akan

perlu berjalan sepanjang rute ini tetapi dengan arah yang berlawanan dengan arah pergerakan penumpang. Dengan tambahan, analisa ini akan dipakai untuk mendemonstrasikan rencana pelarian diri (*escape arrangement*) yang cukup fleksibel untuk adanya kemungkinan sejumlah penumpang tidak dapat mencapai atau menemukan jalan keluar, *assembly station*, *embarkation station* ataupun sekoci.

Faktanya, percobaan-percobaan yang dilakukan dengan latihan evakuasi (*evacuation drill*) menghasilkan hasil akhir berupa waktu evakuasi dan jumlah penumpang selamat yang berubah-ubah, bahkan untuk peserta yang sudah terlatih sekalipun (Koss and Manor, 1996). Sebaliknya, arsitek kapal harus menyelesaikan *General Arrangement* dan membuat ketentuan evakuasi yang tepat sesuai dengan peraturan yang berlaku, yang terbukti sering tidak mencakup semua aspek keselamatan melainkan hanya peraturan yang dibuat sesuai dengan pengalaman kejadian yang lalu. Untuk itu diperlukan alat yang dapat mensimulasikan prosedur evakuasi dari desain kapal spesifik dan solusinya adalah dengan menggunakan software yang dapat memastikan waktu yang tepat sesuai dengan peraturan, yang dapat memadai untuk meninggalkan kapal dengan aman. Skripsi ini akan mensimulasikan evakuasi penumpang kapal *ferry* Ro-Ro penyebrangan 500 GT adalah dengan menggunakan software BuildingEXODUS. Ada 5 sub-model yang berhubungan dan saling mempengaruhi dalam software ini, yaitu : penumpang (*occupant*), pergerakan (*movement*), kebiasaan atau tingkah laku (*behavior*), tingkat keracunan (*toxicity*) dan bahaya (*hazard*).

## **1.2. PERUMUSAN MASALAH**

Evakuasi menjadi unsur penting dalam keselamatan penumpang kapal dan efektifitas waktu pelaksanaanya harus dicapai untuk dapat mengevakuasi penumpang dengan jumlah banyak tetapi waktu yang diperlukan sesingkat mungkin. Untuk dapat mencari waktu yang efektif diperlukan tidak hanya latihan evakuasi bagi setiap penumpang yang akan menggunakan kapal tersebut tetapi juga simulasi evakuasi menggunakan *software* yang dapat diaplikasikan pada kapal.

Simulasi evakuasi dapat menghasilkan waktu efektif yang diperlukan untuk mengevakuasi penumpang dengan kondisi darurat tertentu termasuk kebakaran dan kondisi-kondisi tertentu pada kapal dan penumpang.

Dalam SOLAS sudah ditetapkan waktu evakuasi maksimal pada penumpang kapal ferry ro-ro, yaitu 60 menit (Konferensi SOLAS 1995 dan SOLAS *chapter III/20-14*) maka setiap desain awal kapal harus disimulasikan agar dapat diperiksa apakah sudah memenuhi aturan SOLAS. Jika ternyata tidak memenuhi aturan yang berlaku maka diperlukan analisa pengaruh waktu evakuasi dari segi desain maupun penumpang kapal.

### **1.3. TUJUAN PENULISAN**

Tujuan penelitian skripsi ini antara lain adalah :

1. Mengetahui waktu evakuasi optimum dari sebuah kapal penumpang *ferry ro-ro* 500 GT yang didapatkan dari mengadakan simulasi evakuasi menggunakan *software buildingEXODUS*
2. Mengetahui apakah rencana evakuasi penumpang pada kapal tersebut sudah sesuai dengan aturan SOLAS
3. Mengetahui faktor apa sajakah yang mempengaruhi kecepatan waktu evakuasi

### **1.4. BATASAN MASALAH**

Penulis membatasi permasalahan pada skripsi ini, yaitu :

1. Simulasi evakuasi penumpang dengan *software buildingEXSODUS* menggunakan salah satu desain kapal *ferry ro-ro* 500 GT
2. Kondisi bahaya yang menjadi pemicu dilakukanya evakuasi adalah kebakaran di ruang mesin
3. Kecepatan rambatan api dan tingkat bahayanya menggunakan asumsi
4. Simulasi yang dilakukan unuk mengetahui waktu evakuasi evektif dan apakah waktu evakuasi sudah memenuhi aturan SOLAS.

## **1.5. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini memodelkan evakuasi penumpang kapal *ferry* ro-ro 500 GT menggunakan *software* buildingEXODUS yang memperhatikan aspek *input* untuk mendapat hasil yang relevan dan sesuai dengan aturan SOLAS. Oleh karena itu, metode yang digunakan antara lain:

1. Studi literatur peraturan SOLAS mengenai evakuasi penumpang untuk kapal *ferry* ro-ro dan aturan-aturan lain yang berkaitan dengan evakuasi
2. Kajian teoritis mengenai *means of escape*
3. Pemodelan evakuasi penumpang kapal dengan menggunakan *software* buildingEXODUS

## **1.6. SISTEMATIKA PENULISAN**

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar Belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi dasar-dasar teori yang akan dipakai dan berhubungan dengan penyelesaian masalah yang akan dibahas.

### **BAB III PENGOLAHAN DATA**

Bab ini berisi pengolahan data dari masalah yang dibahas.

### **BAB IV ANALISA**

Bab ini berisi analisa dari hasil pengolahan data yang telah dilaksanakan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan dan saran untuk perbaikan dan peningkatan system evakuasi yang lebih baik.

### **DAFTAR ACUAN DAN DAFTAR PUSTAKA**

Halaman ini memuat semua sumber data dan referensi yang digunakan sebagai acuan pembuatan skripsi ini.

### **LAMPIRAN**

Halaman ini berisi data pendukung yang diperlukan untuk menunjang pembuatan skripsi ini.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

Saat kapal mengalami kondisi darurat yang dapat mengancam keselamatan orang-orang yang ada di dalamnya, tindakan pertama yang harus dilakukan oleh ABK adalah mengevakuasi penumpang sesuai dengan prosedur evakuasi yang dimiliki oleh kapal tersebut dan harus sesuai dengan peraturan yang berlaku, misalnya aturan SOLAS dan hasil yang diharapkan adalah dapat mengevakuasi sebanyak mungkin penumpang dengan waktu yang sesingkat-singkatnya.

#### 2.1. PENGERTIAN UMUM

##### 2.1.1. Pengertian Kapal Motor Penyebrangan (KMP)/Ferry Ro-Ro

Pengertian kapal motor penyebrangan (KMP) adalah kapal feri (*ferry*) atau pengangkut penumpang yang memiliki satu atau lebih ruang dengan kategori khusus muatan/dek – baik tertutup seluruhnya, sebagian atau terbuka seluruhnya – untuk kendaraan bermotor selain untuk manusia. Di Indonesia sendiri yang digunakan untuk melayani rute penyebrangan antar pulau kebanyakan menggunakan kapal tipe *ferry ro-ro*.

Kapal *ferry ro-ro* sendiri didefinisikan dalam SOLAS adalah sebagai *ro-ro passenger ship*, yaitu sebuah kapal penumpang (*passenger ship*) yang memiliki ruangan yang disebut ruang *ro-ro* (*ro-ro spaces*) atau ruang dengan kategori khusus. Adapun definisi kapal penumpang sendiri adalah sebuah kapal yang mengangkut lebih dari 12 penumpang. *Ferry ro-ro* ini memiliki keunikan tersendiri yaitu adanya ruangan yang dikhususkan untuk memuat berbagai kendaraan, seperti truk, bus dan kendaraan pribadi seperti sedan, minibus dan lainnya. Disebut *ro-ro* karena berasal dari singkatan *roll on roll off*, yang dimaksudkan sebagai kegiatan *loading* dan *unloading* dari kendaraan yang dimuat, yang mana ketika proses *loading*, maka kendaraan masuk (*roll on*) dari salah satu *ramp door* kapal. Bila proses masuk (*loading*) kendaraan melalui haluan, maka ketika proses keluar (*unloading*), kendaraan

akan keluar (*roll off*) melalui *ramp door* bagian buritan kapal, begitu pula sebaliknya.

### 2.1.2. Pengertian Penumpang

Menurut peraturan Pemerintah No.51 tahun 2002 tentang perkapalan, yang dimaksud penumpang adalah pelayar yang ada di atas kapal selain awak kapal dan anak berumur kurang dari 1 (satu) tahun. Jadi penumpang adalah setiap orang di atas kapal selain petugas serta tidak memiliki *requirement* sebagai pelaut. Pada *ferry* penyeberangan penumpang ditandai dengan kepemilikan tiket penumpang sekaligus sebagai bukti pengguna jasa penyebrangan. Pada penyusunan skripsi ini yang dimaksud dengan penumpang adalah penumpang pengguna jasa penyebrangan kapal *ferry* ro-ro yang juga sebagai evakuator (orang yang melakukan evakuasi).

### 2.1.3. Pengertian Evakuasi

Evakuasi adalah aspek *Emergency Planning* yang dapat dijelaskan sebagai tindakan meninggalkan suatu zona bahaya secepat mungkin dengan tertib dan teratur. Sasaran utama dari evakuasi adalah dengan waktu yang sesingkat-singkatnya dapat mengevakuasi sejumlah besar orang dengan aman.

## 2.2. KONDISI-KONDISI DI KAPAL

Kondisi di kapal digolongkan menjadi dua, yaitu kondisi tenang dan kondisi darurat.

### 2.2.1. Kondisi Tenang

Yang dimaksud dengan kondisi tenang adalah kondisi saat kapal tidak sedang mengalami gangguan, baik itu gangguan dari luar maupun gangguan yang diakibatkan kondisi kapal itu sendiri. Yang dimaksud gangguan dari luar misalnya adalah adanya badai, perompak atau kecelakaan kapal. Sedangkan gangguan dari dalam adalah gangguan yang diakibatkan kondisi kapal, misalnya mesin alat-alat bantu yang mati.

Kondisi tenang inilah yang harus selalu diusahakan oleh nahkoda, terutama dari gangguan yang dapat dikontrol, yaitu yang berasal dari dalam kapal itu sendiri. Oleh karena itu awak kapal diharuskan melakukan perawatan rutin terhadap kapal sehingga kapal akan selalu berada dalam keadaan baik. Sedangkan gangguan dari luar tentunya tidak dapat dikontrol, namun hal ini dapat diminimalisir atau dihindari, misalnya tidak melakukan pelayaran saat cuaca buruk.

### 2.2.2. Kondisi Darurat

Yang dimaksud dengan kondisi darurat adalah kondisi saat kapal mengalami gangguan. Seperti telah disebutkan di atas, gangguan yang dialami kapal dapat disebabkan oleh faktor dari luar dan faktor dari dalam. Dari semua kondisi bahaya yang dapat dihadapi oleh kapal, berikutnya dibagi lagi berdasarkan perlu atau tidaknya melakukan evakuasi. Dari sini kondisi darurat di kapal dibagi menjadi dua, yaitu kondisi rawan dan kondisi bahaya.

#### a. Kondisi Rawan

Yang dimaksud kondisi rawan adalah saat kapal mengalami kondisi darurat namun nahkoda tidak harus melakukan evakuasi terhadap penumpang dan awak kapal. Tidak perlunya dilakukan evakuasi dapat dikarenakan beberapa alasan, antara lain :

1. Kondisi darurat yang dihadapi masih dapat diatasi oleh awak kapal.
2. Kapal masih tetap dapat melakuakan perjalanan, minimal hingga pelabuhan terdekat.
3. Tidak terlalu membahayakan penumpang, sehingga penumpang masih dapat tetap berada di kapal.
4. Jika penumpang berada di luar kapal, dilakukan evakuasi, justru akan lebih berbahaya bagi penumpang

Adapun kondisi rawan yang dapat dihadapi kapal misalnya :

1. Kebakaran ringan yang masih dapat diatasi oleh awak kapal sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada kapal dan kapal masih dapat melanjutkan pelayaran.
2. Tabrakan atau kecelakaan yang tidak menyebabkan kerusakan parah yang dapat mengakibatkan kapal tenggelam.
3. Cuaca buruk atau badai, karena akan lebih berbahaya bagi penumpang, kecuali jika dapat menyebabkan kapal tenggelam.
4. Mesin mati atau *black out*.
5. Adanya perompak atau bajak laut.

b. Kondisi Bahaya

Yang dimaksud dengan kondisi bahaya adalah kondisi darurat yang dihadapi oleh kapal dimana mengharuskan dilakukannya evakuasi terhadap seluruh penumpang. Yang menyebabkan harus dilakukan evakuasi adalah :

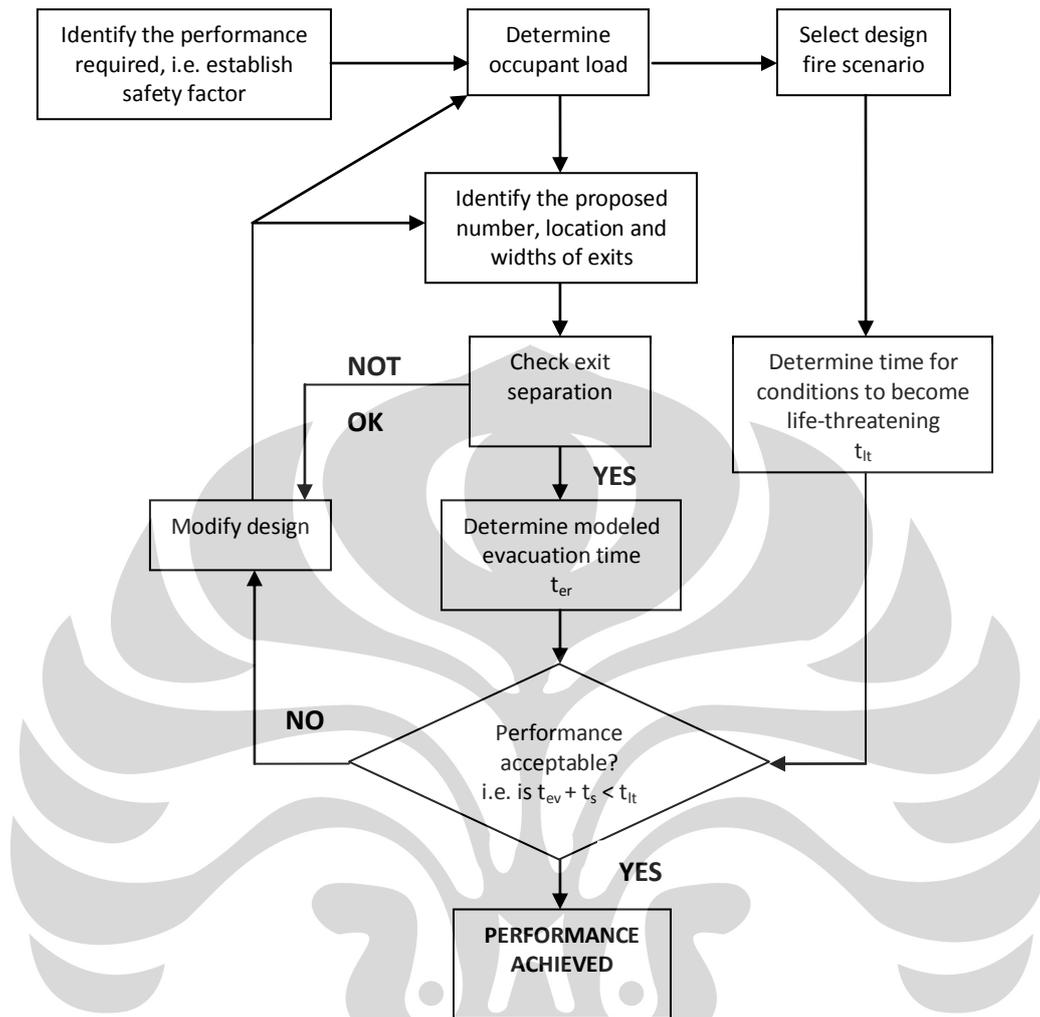
1. Kapal tidak dapat melanjutkan perjalanan.
2. Adanya resiko kapal tenggelam sehingga akan membahayakan penumpang

Adapun contoh kondisi bahaya yang dapat terjadi antara lain :

1. Kapal kandas sehingga tidak dapat melanjutkan perjalanan.
2. Kebakaran besar sehingga dapat membakar seluruh kapal dan membahayakan penumpang dan menyebabkan kapal tenggelam.
3. Tabrakan atau kecelakaan yang menyebabkan kerusakan parah sehingga dapat menyebabkan kapal tenggelam.

### 2.3. DASAR TEORI EVAKUASI

Dalam melakukan evakuasi perlu adanya dasar-dasar yang harus diketahui bagaimana evakuasi dapat berjalan dengan baik. Berikut *flow chart* yang harus diperhatikan oleh *engineer* untuk mendesain jalur evakuasi.



**Gambar 2.1** Prosedur jalur evakuasi

Untuk semua tempat pada bangunan, waktu untuk evakuasi dari suatu tempat harus kurang dari waktu untuk bertahan dalam keadaan bahaya/terancam, sampai dengan *safety margin*, jadi:

$$t_{ev} + t_s < t_{lt} \quad (2.1)$$

Dimana:

$t_{ev}$  adalah perhitungan waktu evakuasi yang diukur dari *ignition*

$t_{lt}$  adalah waktu dimana keadaan menjadi mengancam jiwa, yang diukur dari *ignition*

$t_s$  adalah *safety margin*

Waktu evakuasi  $t_{ev}$  dinyatakan sebagai berikut:

$$t_{ev} = t_d + t_a + t_o + t_i + t_t + t_q \quad (2.2)$$

Dimana:

$t_d$  adalah waktu dari *ignition* sampai dengan kebakaran terdeteksi (oleh penghuni/penumpang atau menggunakan sistem deteksi otomatis)

$t_a$  adalah waktu dari deteksi sampai alarm berbunyi

$t_o$  adalah waktu dari alarm sampai dengan waktu respon penghuni/penumpang

$t_i$  adalah waktu penghuni/penumpang untuk mengidentifikasi adanya kebakaran, melawan adanya kebakaran

$t_t$  adalah waktu perjalanan

$t_q$  adalah waktu antre di pintu atau penghalang lainnya

$t_d$  mungkin bisa ditentukan oleh computer *model fire growth*.  $t_a$  diperkirakan dari pengetahuan terhadap alarm system atau pengetahuan dari lingkungan.  $t_o$  dan  $t_i$  mungkin sulit untuk dihitung, tetapi dapat diperkirakan kurang dari 30 detik.

### 2.3.1. Beban *Occupant* dan Geometri Jalur Evakuasi

Beban *occupant* pada setiap jalur geometri evakuasi ditentukan dari tabel berikut ini.

**Tabel 2.1 Occupant density dan travel speed**

Activity	Occupant Density (users/m <sup>2</sup> )	Maximum Travel Speed (m/min)
Crowd activities		
Airport – baggage claim	0,50	73
Airport – concourses	0,10	73
Airport – waiting areas check in	0,70	68
Area without seating or aisles	1,00	62
Art galleries, museums	0,25	73
Bar sitting areas	1,00	62
Bar standing area	2,00	39
Bleachers, pews or similar bench type seating	2,2 users per linear metre	
Classrooms	0,5	73
Dance floors	1,7	46
Day care centres	0,25	73
Dining, beverage and cafeteria spaces	0,8	66
Exhibition areas, trade fairs	0,7	68
Fitness centres	0,2	73
Gymnasia	0,35	73
Indoor games areas/ bowling alleys, etc	0,1	73
Libraries – stack areas	0,1	73
Libraries – other areas	0,15	73
Lobbies and loyers	1,0	62
Mall areas used for assembly purposes	1,0	62
Mall areas used for circulation and shopping	0,3	73
Reading or writing rooms and lounges	0,5	73
Restaurants, dining rooms and lounges	0,9	64
Shop spaces and shopping arcade	0,3	73
Shop spaces for furniture, floor coverings, large appliances building supplies and manchester	0,1	73
Showrooms	0,2	73
Space with fixed seating	As number of seats	
Space with loose seating	1,3	55
Spaces with loose seating and tables	0,9	64
Grandstands	1,8	44
Stages for theatrical performance	1,3	55
Standing spaces	2,6	26
Swimming pools (water surface area)	0,2	73
Swimming pools ( surround and seating)	0,35	73
Teaching laboratories	0,2	73
Vocational training rooms in school	0,1	73
Sleeping activites	As number of beds	
Working, storage etc	<0,5	73
<b>Intermittant activites</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>73</b>
General densities	0,5	73
	1,0	62
	1,5	50
	2,0	39
	2,5	28
	3,0	17
	3,5	6

Dari tabel di atas diketahui, nilai dari *travel speed* yang dimiliki oleh *occupant* berubah-ubah menurut kondisi kepadatan disekelilingnya.

### 2.3.2. Travel Time

*Travel time* merupakan pembahasan tentang cara untuk jalur evakuasi yang berkaitan dengan jarak yang akan dilalui oleh *occupant* untuk mencapai tempat yang aman ke waktu sampai tempat yang kemungkinan besar akan mengancam kehidupan karena asap dan api. Jalan yang terbuka adalah rute yang dilalui oleh *occupant* sementara keluar sampai mereka keluar dari gedung atau tempat yang aman, seperti sebuah jalan keluar yang melindungi mereka dari pengaruh kebakaran dan asap.

Panjang dari *travel*  $L_t$  (m) merupakan hubungan dari *travel speed*  $S$  (m/min) dan *traversal time*  $t_{tr}$  (min), yaitu :

$$L_t = S \times t_{tr} \quad (2.3)$$

Kecepatan dari *travel speed* tergantung dari *occupant density*, *age* dan *mobility*. Pada *occupant density* kurang dari 0,5 orang per  $m^2$  aliran akan tidak padat (uncongested) dan kecepatan 70 m/min dapat diterima oleh *level travel* dan 51-63 m *down stairs*.

Ketika *occupant density* melebihi 3,5 orang/ $m^2$ , aliran akan sangat padat (congested) dan kecil.

Hubungan antara *travel speed*  $S$  (m/min) dan *density occupant*  $D_o$  (people/ $m^2$ ) diberikan oleh :

$$S = k_t (1 - 0,266 D_o) \quad (2.4)$$

Untuk *density*  $D_o$  lebih dari 0,5 orang/ $m^2$ , dimana  $k_t$  adalah faktor yang diberikan untuk :

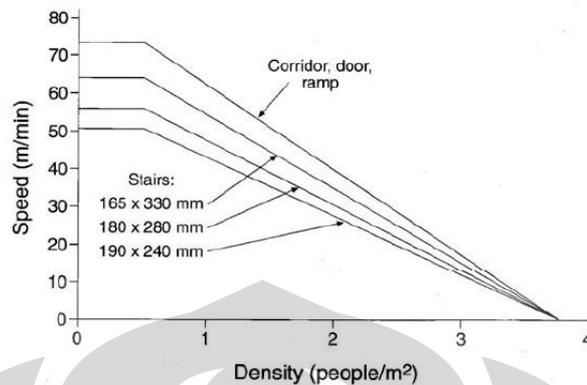
$k_t = 84,0$  untuk level koridor atau pintu dan

$k_t = 51,8 (G/R)^{0,5}$  untuk tangga

dimana  $G$  adalah panjang dari tapak tangga dan  $R$  adalah ketinggian anak tangga setiap langkah.

Untuk beberapa nilai dari *occupant density* dan nilai kecepatan dari persamaan diatas merupakan nilai unik dari aliran spesifik  $F_s$  (orang/min/m) yaitu :

$$F_s = S \times D_o \quad (2.5)$$



**Grafik 1 Kecepatan evakuasi untuk perhitungan egress (Nelson dan Maclenna,1998)**

Aliran aktual dari orang  $F_a$  (*people/min*) melewati tangga atau pintu diberikan oleh persamaan :

$$F_a = F_s \times W_c \quad (2.6)$$

Waktu  $t_{ts}$  (menit) untuk jumlah orang  $N$  yang melewati tangga atau pintu ditentukan oleh :

$$t_{ts} = N/F_a \quad (2.7)$$

Persamaan ini dapat untuk menentukan waktu antre (*queing time*) ketika evakuasi terjadi.

#### 2.4. MODEL SIMULASI EVAKUASI DI KAPAL

Pemodelan simulasi evakuasi yang menghasilkan data *valid* dapat turut menentukan pemenuhan aturan-aturan sekaligus menginvestigasi skenario evakuasi jika ditemukan ketidaksesuaian dengan syarat evakuasi pada kapal (aturan SOLAS).

Penentuan *software* apa yang akan dipakai dalam percobaan pemodelan simulasi evakuasi bergantung pada jenis ruang yang akan dipakai untuk percobaan tersebut dan aturan-aturan standar yang dipakai untuk ruang jenis itu, misalnya

kapal. *Software* untuk pemodelan simulasi evakuasi pada kapal harus dapat memenuhi aturan-aturan skenario evakuasi yang sudah dibuat sebelumnya seperti IMO Circ.1033. Terdapat 3 (tiga) kategori program simulasi yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Model evakuasi bangunan yang secara langsung tidak dapat diaplikasikan pada kapal.

Ada 13 model evakuasi bangunan yang sudah diuji dan menghasilkan kesimpulan bahwa model ini tidak dapat diaplikasikan pada kapal. Tidak ada satupun dari 13 model ini yang dapat memenuhi aturan MSC Circ.1033 dan tidak dapat menyesuaikan dengan lingkungan sekitar (laut) tanpa adanya modifikasi yang akan menghilangkan karakteristik laut, aturan-aturan, lingkungan sekitar dan tingkah laku penumpang kapal.

2. Model evakuasi bangunan yang dapat diaplikasikan pada kapal.

Ada 6 (enam) model yang mulanya diaplikasikan untuk bangunan tetapi setelah dilakukan pengujian, ternyata dapat diaplikasikan juga pada kapal. Sebagian dari model ini sudah memenuhi syarat Verifikasi Fungsi dan Kualitas (FQV) MSC Circ.1033 dan sebagian lagi dapat menentukan distribusi populasi pada skenario *benchmark*. Keenam model evakuasi tersebut adalah ASERI (Jerman), buildingEXODUS (Inggris), EVACSIM (Perancis/Norwegia), PEDGO (Jerman), HELBING MODEL (Jerman) dan SIMULEX (Inggris).

3. Model evakuasi khusus

Dalam kategori ini terdapat 9 (sembilan) model yang khusus didesain untuk diaplikasikan pada skenario evakuasi di laut termasuk kapal. Model-model ini mendemonstrasikan berbagai macam metodologi dan level kecanggihan.

Setiap *software* memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Persamaan terletak pada penggunaan suatu metodologi dan asumsi dalam pemasukan dan pengolahan data. Berikut adalah ciri-ciri model evakuasi yang dapat diaplikasikan di kapal :

**Tabel 2.2 Karakteristik dan keistimewaan software simulasi evakuasi**

	ASERI	buildingEXODUS	EVACSIM	HELBING	PEGDO	SIMULEX	AENEAS	Di Gangi	EVAC	EvacuShip	Evi	maritimeEXODUS	ODIGO	PEER	SESAMO
Tipe model	B	B	B	B	B	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Representasi tingkah laku	R	R	R	I	R	I	R	U	R	U	R	R	A	N	U
Representasi populasi	I	I	I	I	I	I	I	G	I	I	I	I	I	G	G
Ciri-ciri spesifik kapal									X		X	X		X	X
Prosedur kelautan		X			X		X		X	X	X	X	X	X	X
Populasi IMO					X	X	X				X	X			
Faktor lingkungan	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
Percobaan IMO		X		X	X	X	X				X	X			
Hukum IMO					X	X	X				X	X			

Tipe model (B = aplikasi bangunan/gedung; M = khusus kapal), representasi tingkah laku (R = sesuai aturan; A = rekayasa kecerdasan; U = tidak diketahui; N = tidak ada; I = lengkap), representasi populasi (G = keseluruhan; I = individu)

#### 2.4.1. *Software* BuildingEXODUS

*Software* buildingEXODUS dikembangkan oleh kelompok Fire Safety Engineering, Universitas Greenwich di Inggris, sejak 1989. *Software* ini merupakan model simulasi yang mensimulasikan hubungan antara manusia-manusia, manusia-kebakaran dan manusia-struktur bangunan. *Software* ini menggunakan teknik orientasi objek dan aturan dasar untuk mengontrol

simulasi. Aturan-aturan dasar itu dikategorikan dalam 5 (lima) sub-model yang saling berhubungan, yaitu:

### 1. *Occupant*

*Occupant* yaitu populasi yang terdiri dari sejumlah orang dengan kemampuan pergerakan yang berbeda-beda. Kemampuan ini direfleksikan dari umur, jenis kelamin, ketidakmampuan fisik termasuk perbedaan tingkat pengetahuan tentang peta bangunan tempat mereka berdiri, waktu respon terhadap suatu keadaan dan lain-lain. Populasi ini dapat dibuat secara manual oleh pengguna dengan menggunakan “*population panel*” atau dapat diubah-ubah selama proses *running* dengan menggunakan “*source node*”. Pada bangunan, yang menjadi *occupant* adalah pengunjung sedangkan di kapal, yang menjadi *occupant* adalah penumpang kapal.

### 2. Tingkah Laku (*Behavior*)

Behavior yaitu tingkah laku *occupant* sebagai respon terhadap kondisi tertentu sampai kepada keputusannya untuk melakukan pergerakan (sub-model *movement*). Tingkah laku individu digambarkan sesuai dengan situasi yang dihadapinya, lokasi, kepribadian dan pengalaman serta pengetahuannya terhadap *layout* bangunan yang ditempatinya tersebut. Sub-model ini difungsikan dalam 2 (dua) level, yaitu:

#### a. Tingkah laku global (*Global Behavior*)

Tingkah laku global/keseluruhan (*Global Behavior*) meliputi penggambaran sebuah strategi melarikan diri (*escape*) yang akan menuntun *occupant* untuk keluar melalui pintu keluar yang dapat digunakan paling mudah dijangkau atau yang paling sering digunakan, disertai kesadaran penumpang untuk keluar yang ditampilkan dalam bentuk skenario. Tingkah laku global yang diinginkan dibuat oleh pengguna tetapi dapat dimodifikasi dan diganti melalui pengarahannya dari *local behavior*.

#### b. Tingkah Laku Lokal (*Local Behavior*)

Tingkah Laku Lokal (*Local Behavior*) meliputi pertimbangan-pertimbangan untuk menentukan respon awal terhadap seruan melakukan evakuasi, pergerakan saat di tangga, saling mendahului dan pemilihan rute. Misalnya saat ada seruan untuk evakuasi, apakah individu segera bereaksi atau bereaksi setelah beberapa saat atau menunjukkan sikap lamban. Proses pengambilan keputusan setiap individu sesuai dengan kondisi yang mereka dapati dan informasi yang mereka ketahui, misalnya kondisi lingkungan sekitar, hubungan sosial antar populasi dan lain-lain.

### 3. Pergerakan (*Movement*)

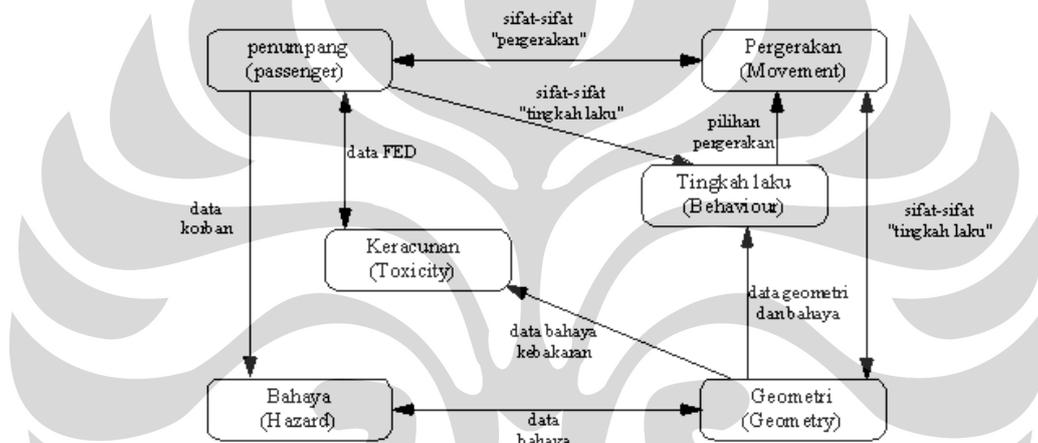
Pergerakan (*Movement*) yaitu pergerakan yang akan dilakukan oleh *occupant* setelah menerima informasi dari keadaan sekitar tentang gambaran lokasi tertentu dan menyesuaikan pergerakan mereka sesuai dengan informasi tersebut, sampai kepada pencapaian lokasi terdekat yang paling aman.

### 4. Tingkat Keracunan (*Toxicity*)

Bahaya racun yang timbul saat terjadi kebakaran mengharuskan penghuni (*occupant*) mengevakuasikan diri. Untuk menentukan efek dari bahaya kebakaran pada penumpang, EXODUS menggunakan model tingkat keracunan Fractional Effective Dose (FED). Penggunaan ini dapat diasumsikan bahwa bahaya yang ditimbulkan oleh kebakaran tertentu lebih dipengaruhi oleh dosis yang diterima daripada jumlah konsentrasinya. Model ini menghitung rasio dosis yang diterima selama waktu tertentu dan dosis efektif yang dapat menyebabkan kematian kemudian menjumlahkan rasionya selama kejadian. Saat penghuni bergerak menembus asap yang memenuhi lingkungan, kecepatan perjalanannya menjadi berkurang karena cenderung berjalan terhuyung-huyung (*sempoyongan*). Kelambatan berjalan inilah yang memberi kesempatan untuk memilih alternatif jalan keluar lain ketika menemui rintangan asap. Model ini juga memberikan gambaran bahaya gas dengan kadar berlebihan yang akan menyebabkan iritasi seperti HCL, HBr, HF, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Acrolein dan Formaldehyde. Namun dalam skripsi ini, sub-model ini tidak masuk dalam pembahasan.

## 5. Bahaya (*Hazard*)

Saat terjadi kebakaran maka lingkungan akan menjadi panas dan penuh dengan asap, yang akan membahayakan keselamatan penghuni yang sedang mengevakuasikan diri dan berada dekat dengan sumber api. Hal inilah yang dibahas oleh sub-model bahaya (*hazard*). buildingEXODUS tidak menentukan penyebaran bahayanya tetapi dapat menerima data numerik dari *software* lain seperti CFAST. Namun dalam skripsi ini, sub-model ini tidak masuk dalam pembahasan.



**Gambar 2.2 Hubungan antara 5 sub-model buildingEXODUS**

Dalam buildingEXODUS, dimensi ruang digambarkan dengan ruang berbentuk *grid* dalam 2 D, yang terbuat dari rangkaian “*node*” dimana setiap “*node*” mewakili satu bagian kecil dari sebuah ruang 0,5 m x 0,5 m. *Grid* tersebut digunakan untuk membentuk geometri rancangan bangunan seperti pintu keluar (*exit*), ruang-ruang di dalam bangunan, rintangan dan lain-lain. Untuk bangunan yang memiliki dua lantai dapat dibuat lebih dari satu *grid* yang dihubungkan dengan tangga. Rancang bangunan dibuat dalam bentuk file DXF dari program CAD yang akan dibuka dalam software buildingEXODUS. Untuk dimensi waktu, digambarkan dengan waktu simulasi (simulation clock/SC), dimana satu aksi hanya dapat terjadi dalam 12 detik.

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *running* bergantung pada ukuran geometri dan jumlah populasi yang ada. Semakin luas geometri dan makin banyak jumlah populasi maka waktu *running* akan semakin lama. Contohnya, simulasi evakuasi yang melibatkan 1000 orang dari geometri 2.500 m<sup>2</sup> hanya membutuhkan waktu 15 detik dengan menggunakan 1,5 GHz Pentium PC. Untuk simulasi 10.000 orang dari geometri 22.500 m<sup>2</sup> diperlukan waktu rata-rata 2 menit untuk *running* menggunakan 2 GHz Pentium PC dengan RAM 2 Gb.

**Tabel 2. 3 Karakteristik dan keistimewaan software buildingEXODUS**

Aplikasi asli	kapal		Bangunan/gedung	X		
Bisa diaplikasikan pada kasus di kapal	ya	X	Tidak			
Tipe model	simulasi	X	Optimasi		Taksiran resiko	
Gambaran geometri	kasar		Detail	X	campuran	
Gambaran tingkah laku	Aturan dasar					
Memasukkan cirri-ciri khusus kapal	LSA		WTD		Tangga/60 derajat	Lain-lain
Populasi	Secara individual	X	Secara global			
Populasi IMO	ada		Tidak ada	X		
Lingkungan	Kemirigan/trim		Gerakan dinamis		kebakaran	X
Aturan khusus kapal	mustering		Pencarian jalan keluar	X	Mengumpulkan lifejacket	
Percobaan kasus IMO	lengkap		Tidak lengkap	X		
Benchmark IMO	lengkap	X	Tidak lengkap			
Kemampuan menghasilkan data sesuai dengan analisis IMO	mampu	X	Tidak mampu			

#### 2.4.2. Software maritimEXODUS

Pada dasarnya *software* maritimEXODUS memiliki prinsip dasar yang sama dengan buildingEXODUS, tetapi maritimEXODUS lebih detail menggambarkan sistem mengeluarkan diri (*abandonment system*) menuju tempat yang aman termasuk menuju tempat diletakkannya perlengkapan keselamatan (Life Safety Apparatus-LSA) misalnya parasut, sekoci, dewi-dewi dan lain-lain. Hal ini membuat beberapa komponen LSA digabungkan

bersama untuk membentuk sistem evakuasi yang lebih kompleks. Dengan menambahkan sistem modular, sistem evakuasi yang kompleks dan berbeda dapat digambarkan dengan maritimEXODUS dari beberapa komponen LSA.

Model ini telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan evakuasi pada lingkungan maritim, dengan pengembangan terhadap perilaku, prosedur, lingkungan dan aspek khusus lainnya pada lingkungan maritim.

Sama halnya dengan buildingEXODUS, maritimEXODUS juga memiliki 5 submodel yang saling berhubungan, yaitu:

1. Pergerakan (*movement submodel*)

Pada prinsipnya sama dengan submodel pada buildingEXODUS. Submodel ini mengendalikan pergerakan fisik dari seorang penumpang dari posisi awal sampai posisi dimana dia berada pada sebuah komunitas.

2. Penumpang (*passenger submodel*)

Setiap penumpang dapat diumpamakan sebagai individu unik yang memiliki parameter tersendiri sebagaimana perbedaan pengetahuan dari setiap individu tersebut dalam tata ruang kapal (*ship layout*). Subpopulasi penumpang yang khusus disediakan untuk membuat pengguna mengembangkan populasi sesuai dengan yang tertera pada IMO.

3. Bahaya (*hazard submodel*)

Submodel ini mendistribusikan bahaya kebakaran yang ditetapkan sebelumnya seperti panas, radiasi, konsentrasi asap dan konsentrasi gas beracun pada udara dan mengatur ketersediaan jalan keluar (waktu pembukaan dan penutupan dari jalan keluar). Ketika lingkungan beracun dan panas ditentukan oleh submodel bahaya, sangatlah penting untuk mengingat bahwa EXODUS tidak memprediksi bahaya ini, tetapi mendistribusikannya terhadap waktu dan ruang. EXODUS akan menerima data bahaya dari perhitungan eksperimen atau data numerik dari model lain termasuk hubungan langsung software ke CFAST model zona kebakaran dan *software* simulasi kebakaran CFD bernama SMARTFIRE.

#### 4. Tingkat racun (*toxicity submodel*)

Menentukan pengaruh pada setiap individu yang terkena dampak racun yang didistribusikan oleh submodel bahaya (*hazard submodel*). Pengaruh-pengaruh ini dihubungkan dengan submodel perilaku (*behavior submodel*) yang diberikan melalui pergerakan dari setiap individu.

#### 5. Perilaku (*behavior submodel*)

Submodel perilaku menentukan reaksi penumpang pada situasi saat itu, dan melewati pilihan ini menuju submodel pergerakan (*movement submodel*). Fungsi submodel perilaku sesuai dengan perilaku global yang termasuk implementasi strategi mencari jalan keluar yang memungkinkan penumpang untuk menggunakan sistem evakuasi utama atau bergerak menuju lokasi aman (*assembly point/muster station*). Ketika diatur oleh pengguna, hal ini dapat dimodifikasi atau dikesampingkan melalui perilaku setempat, seperti pertimbangan atau menentukan respon pertama penumpang, pemecahan konflik, saling menyusul, pengaruh kemiringan kapal pada pergerakan penumpang dan penentuan jalan memutar yang memungkinkan. Hubungan sosial, perilaku kelompok dan struktur hirarki digambarkan melalui penggunaan konsep “gen”, dimana anggota kelompok diidentifikasi melalui pembagian “gen” sosial. Penumpang dapat menyesuaikan strategi evakuasi mereka sesuai dengan informasi rasional yang ada pada mereka, sebagai contoh mereka dapat memberikan informasi kepada penumpang lainnya, yang diidentifikasi sebagai anggota kelompok.

Pengetahuan evakuasi pada gambaran umum kapal dapat diatur oleh pengguna untuk memulai simulasi, hal ini menjadikan perbedaan jelas antara kru dan penumpang. Keistimewaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan pengaruh dari rasio kru/penumpang. Aspek penting lainnya dari perilaku manusia yang berhubungan dengan perubahan kondisi lingkungan adalah perilaku pada saat penumpang bereaksi terhadap orientasi kapal. Angka pergerakan di koridor tangga dan sepanjang pintu keluar masuk pada berbagai sudut kemiringan kapal digambarkan dalam model dan berdasarkan pada data yang dikembangkan dari percobaan dalam skala besar dengan

menggunakan fasilitas BMT Fleet Technology SHip Evacuation Behaviour Assessment (SHEBA), dan data skala kecil menggunakan TNO Ship Motion Simulator (SMS). Pengaruh data pada maritimeEXODUS dipengaruhi oleh beberapa faktor (bersesuaian) seperti usia, jenis kelamin, arah pergerakan, daerah lapang, sudut, dan keberadaan jaket keselamatan (*lifejacket*). Semua faktor-faktor ini dipertimbangkan pada perhitungan pengaruh kemiringan (*heel*) kapal (dan *trim* jika data tersedia) pada kecepatan yang sedang berjalan. Data tersebut digambarkan sebagai faktor penurunan angka pergerakan normal kapal pada kemiringan  $0^\circ$ .

Fasilitas SHEBA dimodifikasi untuk dapat memasukkan komponen berupa pintu kedap air, tangga vertikal, tutup palka dan tangga 60 derajat. Data dihasilkan dari percobaan pada komponen-komponen ini berdasarkan struktural dan komponen perilaku pada maritimeEXODUS untuk mendapatkan kondisi simulasi kapal yang lebih baik, yang dapat menggambarkan identifikasi komponen bersama model dan pengaruh yang berhubungan dengan kinerja penumpang (waktu yang digunakan untuk mengoperasikan dan melintasi komponen). Selain itu, data terbaru yang berasal dari percobaan SHEBA termasuk asap dan kemiringan statis telah digabungkan bersama maritimeEXODUS.

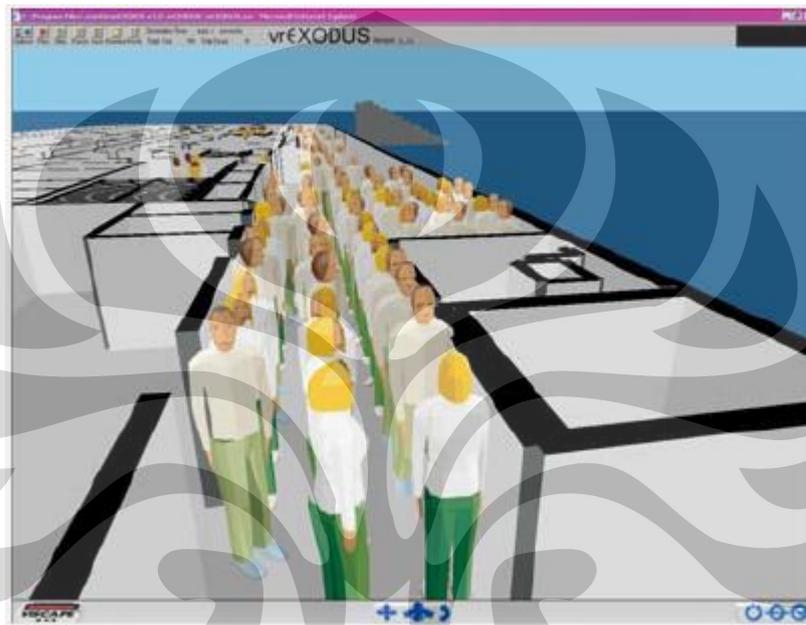
Keistimewaan yang lain dari model perilaku (*behaviour model*) adalah kemampuannya untuk memberikan daftar tugas yang harus dilaksanakan oleh penumpang dan awak kapal. Keistimewaan ini dapat digunakan pada simulasi darurat atau kondisi tidak darurat. Sebagai contoh, sebagai bagian dari skenario evakuasi darurat, ini dapat dimungkinkan untuk memberikan arahan kepada penumpang dengan urutan tugas termasuk mendatangi lokasi yang sudah ditentukan seperti kabin untuk mengambil jaket keselamatan (*lifejacket*) yang harus dilaksanakan untuk dapat melanjutkan ke tempat aman (*assembly point*). Aplikasi pada situasi bukan darurat dapat berupa pengosongan dan pengisian teater. Pada situasi ini, penumpang dapat diarahkan untuk meninggalkan teater dan bergerak menuju ruang makan, sedangkan penumpang yang berada pada ruang makan diarahkan untuk menuju ruang teater. Keistimewaan ini sangat berguna dimana pengguna

*software* ini dapat menentukan sejumlah arahan yang berbeda-beda dan rumit pada penumpang untuk dilakukan simulasi. MaritimEXODUS memiliki tiga buah jalur darurat yang dapat ditetapkan sebelumnya yang ditujukan untuk menggambarkan jenis prosedur yang biasa dihadapi dalam evakuasi yaitu pada (i) *Cruise ship*, (ii) *RORO ferries* dan (iii) *High Speed Craft (HSC)*. Tiga jenis prosedur evakuasi berbeda satu sama lain sesuai dengan jumlah dan jenis situasi tertentu yang dihadapi (termasuk berjalan kembali ke kabin, mengunjungi tempat aman, dan bergerak menuju ke tempat alat keselamatan). Anggota kru biasanya mendapatkan arahan yang lebih banyak dalam keadaan darurat seperti mengatur tingkat kerusakan yang dihadapi kapal, memadamkan kebakaran, melakukan pencarian pada ruang tertentu, mengawasi tempat evakuasi, menyediakan alat keselamatan, dll. Untuk memperoleh hal tersebut pada *maritimeEXODUS* maka setiap anggota kru dapat diberikan arahan yang sesuai dengan tujuan pengguna *software*.

MaritimEXODUS menghasilkan sejumlah hasil berupa grafik dan tulisan. Grafik interaktif berupa animasi dua dimensi dikembangkan pada saat *software* berjalan yang dapat membuat pengguna untuk mengamati proses evakuasi, menanyai penumpang dan peristiwa-peristiwa yang muncul. Grafik dapat digambarkan secara individu ataupun dalam populasi yang padat. Walaupun grafik menunjukkan secara individual, kontur warna akan menggambarkan jumlah orang per meter kuadrat. Gambaran secara individu ini memberikan titik indikasi dari suatu keterhambatan dan perlu untuk dianalisa sesuai yang tertera dalam IMO 1033.

Kegunaan lain daripada hasil grafik adalah peta kontur jejak, yang memberikan indikasi pada sejumlah penumpang untuk menggunakan rute khusus. Selain itu, data *output* yang dihasilkan berisi semua informasi relevan yang dikembangkan pada simulasi, termasuk salinan data yang masuk. Ini termasuk, waktu untuk setiap individu, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mengumpulkan dan evakuasi, jarak yang ditempuh oleh tiap individu, waktu yang terbuang pada saat mengantre oleh tiap individu, *flow rate* yang melewati pintu, waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan dek dan

kompartmen dan lain-lain serta dapat dimanipulasi sesuai dengan keinginan pengguna. Untuk membantu interpretasi dari data ini, maka alat bantu analisis askEXODUS dikembangkan sehingga arsip data keluar yang besar dari beberapa proses dapat dicari dan data khusus dapat diproses secara selektif dan efektif. Data yang keluar berupa grafik dapat dikembangkan juga untuk menggambarkan jumlah evakuasi terhadap waktu yang digunakan untuk perbandingan terhadap standar yang telah ditentukan.



**Gambar 2.3 Contoh pemodelan evakuasi 3 dimensi menggunakan vrEXODUS**

Selain itu, sebuah program untuk menggambarkan kondisi virtual lingkungan secara nyata yang dikenal dengan vrEXODUS telah dikembangkan sehingga memberikan gambaran evakuasi berupa animasi tiga dimensi (Lihat Gambar 2.3). Salah satu keistimewaannya adalah individu yang telah memakai jaket keselamatan akan digambarkan dengan perubahan warna pada bagian atas tubuhnya (menjadi kuning) – setelah jeda untuk melokasikan yang tidak memakai jaket.

Model maritimeEXODUS telah ditujukan untuk suatu produk khusus (disebut dengan “skenario siang” dan “skenario malam”), serupa dengan perlakuan yang ada pada model buildingEXODUS. Hasil yang diberikan memenuhi persyaratan dan sebanding dengan hasil yang dikeluarkan dengan menggunakan model buildingEXODUS, hal ini mengingat tidak adanya

prosedur maritim yang digunakan selama analisis dan diperkirakan tidak ada fungsionalitas khusus dari maritimEXODUS yang dibutuhkan.

Seiring dengan berjalannya proyek produk khusus ini, pengujian selanjutnya disediakan untuk menentukan apakah model ini memenuhi kriteria fungsional dan sifat kualitatif tertentu. Berdasarkan pedoman baru yang dihasilkan oleh kelompok kerja FP46 dari IMO (International Maritime Organization), maka sebuah model evakuasi “mikroskopik” dibutuhkan untuk menunjukkan bahwa model ini memenuhi kriteria tersebut. MaritimEXODUS diketahui telah memenuhi kriteria tersebut.

MaritimEXODUS, seperti pada versi kuantitatif sebelumnya yang diaplikasikan pada model buildingEXODUS, juga telah melaksanakan pengujian. Percobaan evakuasi dilakukan pada sebuah kapal Thames untuk mengumpulkan data yang akan digunakan untuk memverifikasi model kapal berbasis komputer. Percobaan tersebut diikuti oleh 111 sukarelawan yang ditempatkan diseluruh bagian kapal. Kapal tersebut memiliki dua buah dek dan dua buah jalan keluar pada setiap sisi di bagian dek bawah, haluan dan buritan.

Secara keseluruhan ketiga skenario dilakukan yaitu pada jalan keluar di bagian buritan saja, jalan keluar di bagian haluan saja, dan di jalan keluar di kedua buritan dan haluan. Setiap percobaan diulangi beberapa kali dan waktu evakuasi dikombinasikan untuk menghasilkan waktu rata-rata pada setiap skenario. Setiap skenario diulang beberapa kali pada maritimEXODUS dengan menggunakan pengaturan awal untuk semua parameter dan prediksi numerik yang dibandingkan dengan hasil percobaan. Hasil prediksi mendekati hasil yang sebenarnya, dengan perbedaan rata-rata sebesar 6.6% pada semua perbandingan, dengan persamaan kualitatif numerik antara prediksi dan hasil percobaan. Pada tahun 2001, proyek Terra Nova bertugas untuk melakukan percobaan pada skala penuh untuk menghitung waktu yang ditempuh dari semua bagian kapal FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading) sampai TSR. Jarak pada jalur tersebut dihitung seakurat mungkin untuk mendapatkan hasil perbandingan yang baik antara waktu pada simulasi dan observasi. Waktu yang ditempuh oleh orang

dan kru untuk melakukan perjalanan pada jalur tertentu dicatat. Selanjutnya FTL menggunakan data ini untuk memperagakan FPSO dengan menggunakan maritimeEXODUS. Percobaan ini meliputi orang yang melintasi jalur sempit dan tangga dan memberikan perbandingan yang berharga. Hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi awal yang akurat sehingga akan memberikan hasil simulasi yang memuaskan.

Validasi pada beberapa model adalah ketika proses sedang berlangsung yaitu berupa aktifitas yang terus berjalan. Oleh karena itu, validasi pada model maritimeEXODUS tidak diasumsikan untuk lengkap, validasi kuantitatif dan kualitatif selanjutnya akan dijalankan ketika terdapat data yang cocok.

**Tabel 2.4 Karakteristik dan keistimewaan software maritimEXODUS**

Aplikasi asli	kapal	X	Bangunan/gedung				
Bisa diaplikasikan pada kasus di kapal	ya	X	tidak				
Tipe model	simulasi	X	optimasi			Taksiran resiko	
Gambaran geometri	kasar		detail	X		campuran	
Gambaran tingkah laku	Aturan dasar						
Memasukkan ciri-ciri khusus kapal	LSA	X	WTD	X	Tangga/60 derajat	X	Lain-lain
Pupulasi	Secara individual	X	Secara global				
Populasi IMO	Ada	X	Tidak ada				
Lingkungan	Kemiringan/trim	X	Gerakan dinamis			kebakaran	X
Aturan khusus kapal	Mustering	X	Pencarian jalan keluar	X		Mengumpulkan lifejacket	X
Percobaan kasus IMO	Lengkap	X	Tidak lengkap				
Benchmark IMO	Lengkap	X	Tidak lengkap				
Kemampuan menghasilkan data sesuai dengan analisis IMO	Mampu	X	Tidak mampu				

## 2.5. LANGKAH-LANGKAH MENGGUNAKAN buildingEXODUS 4.06

Secara umum, tahapan dalam menggunakan software buildingEXODUS dibagi menjadi empat mode yaitu *geometry*, *population*, *scenario* dan *simulation*.

### 2.5.1. Geometri mode

Langkah pertama adalah menentukan bentuk geometrinya. Geometri bisa dibuat langsung dengan menggunakan *tools* EXODUS, mengimport file DXF dari CAD, atau dari *library* yang terdapat di software ini.

Geometri adalah daerah yang dilalui oleh pergerakan orang. Geometri yang ditampilkan pada exodus adalah *grid* 2 dimensi. Grid dapat dibuat manual dengan menggunakan *interactive tool* yang disediakan atau dibuat otomatis dari CAD menggunakan file DXF.

#### 2.5.1.1. Node

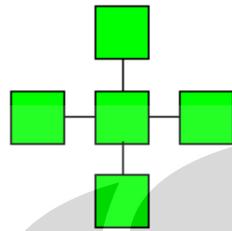
Setiap lokasi *grid* disebut *node*. Pergerakan *occupant* ditentukan oleh geometri yaitu kondisi node yang akan dilewati. *Node* berukuran 0,5 x 0,5 m. setiap *node* dimungkinkan untuk ditempati oleh satu *occupant*. Dalam buildingEXODUS terdapat *node* yang berbeda-beda yang mempengaruhi *occupant behavior* ketika melewatinya. Berikut adalah penjelasan mengenai jenis-jenis *node*.

**Tabel 2.5 Jenis-jenis node**

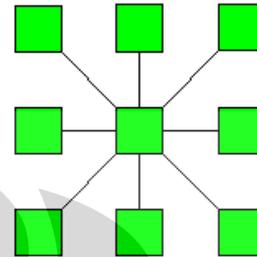
NODE	NAMA	DESKRIPSI DAN PENGARUH TERHADAP OCCUPANT
	<i>Free space</i>	Merupakan node yang menggambarkan daerah bebas <i>obstacle</i> , <i>occupant</i> melewatinya dengan “fast walk”.
	<i>landing</i>	<i>Node</i> ini menghubungkan tangga, <i>occupant</i> melewatinya dengan “walk”
	<i>Boundary</i>	Merupakan node yang biasanya terdapat dekat dengan dinding ataupun <i>obstacle</i> , jika memungkinkan biasanya <i>occupant</i> menghindarinya namun jika tidak maka <i>occupant</i> melewatinya dengan “walk”
	<i>Seat</i>	Merupakan <i>node</i> yang menggambarkan adanya kursi atau meja, ketika melewatinya <i>occupant</i> dapat menghindarinya ataupun melompatinya (leap)
	<i>Stair</i>	Merupakan <i>node</i> yang menggambarkan tangga ketika melewatinya <i>occupant</i> akan mengurangi kecepatannya sesuai dengan arah naik atau turun

### 2.5.1.2. Arcs

*Arc* didefinisikan sebagai penghubung antara tiap *node* dengan panjang 0,5 m. Umumnya tiap *node* memiliki 4 atau 8 *arc*. Pergerakan orang dari *node* ke *node* lainnya melalui *arc*.

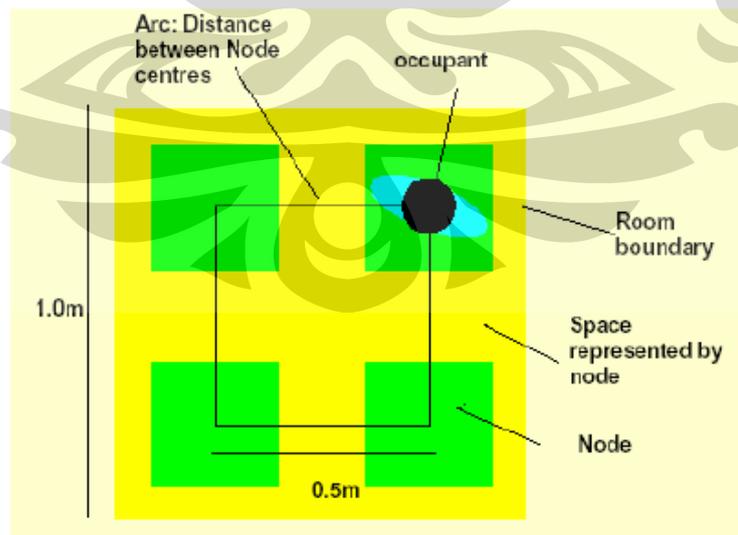


**Gambar 2.4 Node dengan 4 arc**



**Gambar 2.5 Node dengan 8 arc**

Dua gambar di atas menggambarkan jenis-jenis hubungan *arc* dengan *node* biasanya satu *node* bisa dihubungkan oleh 4 *arc* ataupun 8 *arc*. *Node* yang dihubungkan dengan 4 *arc* memiliki arti bahwa *occupant* yang ada di dalamnya hanya memiliki 4 arah tujuan yang dapat dilewati, jika terdapat 8 *arc* maka *occupant* memiliki 8 arah tujuan yang dapat dilewati.



**Gambar 2.6 Hubungan arc, node, occupant dan geometry**

### 2.5.2. Population mode

Setelah membuat geometri, tahap berikutnya adalah menentukan *occupant* atau populasi orang yang akan dilakukan pemodelan evakuasinya. Dari jumlah, deskripsi hingga perilaku seseorang dapat didefinisikan.

*Occupant* adalah orang-orang yang terdapat di dalam gedung. Dikarenakan geometrinya adalah kapal, maka yang dimaksud *occupant* di sini adalah penumpang kapal. Setiap orang merupakan gabungan dari attribute yang dibagi ke dalam 4 kategori, yaitu fisik (umur, jenis kelamin, ketangkasan), psikologi (kesabaran, rangsangan), pengalaman (jarak tempuh) dan pengaruh bahaya. Atribut ini bertujuan untuk mendefinisikan semua penghuni sebagai individu yang selanjutnya akan mempengaruhi terhadap perilakunya dalam evakuasi.

#### 2.5.2.1. Atribut fisik

Atribut fisik terdiri dari:

1. Jenis kelamin

Mempengaruhi pergerakan pada tangga

2. Tinggi

Mempengaruhi akrobat dari bahaya api

3. Pergerakan

pergerakan merupakan fungsi mengenai pergerakan fisik penghuni melalui daerah yang berbeda. Terdiri dari sejumlah peraturan. Fungsi utamanya menentukan kecepatan perjalanan yang sesuai untuk jenis daerah yang berbeda. Sebagai contoh, *leap speed* dipilih untuk penghuni yang memutuskan untuk menaiki sejumlah kursi, *fast walk speed* dipilih untuk penghuni yang menempuh perjalanan ke ruang terbuka. Sebagai tambahan movement dapat memastikan penghuni mempunyai kemampuan untuk melakukan *requested action*, sebagai contoh, dapat diperiksa jika *agility occupant* cukup untuk melintasi node lebih dengan keterangan tentang nilai rintangannya (*obstacle value*).

Atribut ini menggambarkan kemampuan orang secara penuh. Orang yang memiliki keterbatasan termasuk orang yang sakit memiliki nilai mobility < 1,0 dan orang normal memiliki mobility 1,0. Travel speed memiliki spesifikasi maksimum yang terdiri dari enam kategori, yaitu:

- *Fast walk*, berlari secepat mungkin ke daerah terbuka. Keadaan ini dapat dilakukan pada ruangan besar dengan kepadatan rendah
- *Walk*, berjalan, keadaan ini terjadi jika terkena antrian untuk keluar dari pintu exit yang kecil, dan pada pergerakan di dekat *obstacle*
- *Leap*, melompat *obstacle* yang dapat dilewati, contohnya kursi dan meja, namun tidak bisa untuk melompati lemari atau orang.
- *Crawl*, merangkak, biasanya terjadi pada kondisi ruangan diselubungi asap, jadi *occupant* diwajibkan merangkak untuk menghindari asap dan menghirup gas beracun.
- *Stairs up*, menaiki tangga, walaupun melakukannya dengan berlari namun kecepatannya cukup rendah tenaga semakin terkuras.
- *Stairs down*, menuruni tangga, sama halnya dengan menaiki tangga, harus mengurangi kecepatan agar tidak terjadi kecelakaan(jatuh) yang dapat menimbulkan kemacetan lebih besar.

Berikut ini tabel yang menunjukkan kecepatan tiap kondisi, nilai tertinggi adalah pada *fast walk* dan yang terendah adalah pada *crawl*.

**Tabel 2.6 Nilai travel speed pada berbagai mode pergerakan**

<i>Travel speed</i>	<i>Default speed (m/s)</i>
<i>Fast walk</i>	1.5
<i>Walk</i>	1.5 * 90%
<i>Leap</i>	1.5 * 80%
<i>Crawl</i>	1.5 * 20%

Kecepatan ketika menaiki tangga lebih rendah dari menuruni tangga karena memerlukan tenaga ekstra. Oleh karena itu semakin lemah orang maka kecepatan semakin rendah. Dan pada kondisi

menuruni tangga, kecepatan lebih rendah walupun kita anggap sedang berlari karena orang harus waspada ketika turun, agar tidak terjadi kecelakaan(jatuh) yang dapat menimbulkan masalah baru yaitu terjadi macet didaerah tersebut. tabel dibawah ini menunjukkan kecepatan orang ketika menaiki dan menuruni tangga.

**Tabel 2.7 Travel speed berbagai usia dan gender pada saat menaiki dan menuruni tangga**

<i>Gender</i>	<i>Age (years)</i>	<i>Down avg (m/s)</i>	<i>Up avg (m/s)</i>
<i>Male</i>	<i>&lt;30</i>	<b>1.01</b>	<b>0.67</b>
<i>Female</i>	<i>&lt;30</i>	<b>0.755</b>	<b>0.635</b>
<i>Male</i>	<i>30 – 50</i>	<b>0.86</b>	<b>0.63</b>
<i>Female</i>	<i>30 – 50</i>	<b>0.665</b>	<b>0.59</b>
<i>Male</i>	<i>&gt;50</i>	<b>0.67</b>	<b>0.51</b>
<i>Female</i>	<i>&gt;50</i>	<b>0.595</b>	<b>0.485</b>

Tabel dibawah menunjukkan pengaruh nilai atribut *mobility* dan *travel speed* dengan pergerakan orang cacat. Disini dapat kita simpulkan bahwa keterbatasan fisik orang sangat mempengaruhi pergerakannya.

**Tabel 2.8 Pengaruh keterbatasan fisik terhadap pergerakan**

<i>Movement aid</i>	<i>Number of subjects</i>	<i>Mean travel speed (m/s)</i>	<i>Mean mobility</i>
<i>Elec. W/C</i>	<b>2</b>	<b>0.89</b>	<b>0.72</b>
<i>Man. W/C</i>	<b>12</b>	<b>0.69</b>	<b>0.56</b>
<i>Crutches</i>	<b>6</b>	<b>0.94</b>	<b>0.76</b>
<i>Walking stick</i>	<b>33</b>	<b>0.81</b>	<b>0.65</b>
<i>Walking frame</i>	<b>5</b>	<b>0.51</b>	<b>0.42</b>
<i>Rollator</i>	<b>5</b>	<b>0.61</b>	<b>0.49</b>
<i>No. aid</i>	<b>52</b>	<b>0.93</b>	<b>0.75</b>
<i>No disability</i>	<b>19</b>	<b>1.24</b>	<b>1.0</b>

*Travel speed* dan *agility* juga dapat berkurang akibat adanya peningkatan gas narcotic dan asap yang mengakibatkan jarak pandang yang pendek dan terasa pusing jika menghirup gas tersebut. Oleh karena itu jika pada suatu kebakaran gedung yang sudah tertutup asap, para penghuni disarankan berjalan merangkak untuk menghindari asap kebakaran.

#### 2.5.2.2. Atribut psikologi

Atribut psikologi ditunjukkan dari tingkah laku seseorang saat evakuasi. Tingkah laku terdiri dari:

##### 1. Global

- Gerakan orang ke pintu keluar terdekat
- Lebih condong pergi ke pintu keluar yang diketahui (pada banyak pintu keluar)
- Penggunaan beberapa pintu *exit* secara bersamaan

##### 2. Local

- Waktu respon
- Pemecahan masalah
- Mengubah arah
- Memberi tahu orang lain
- Menghindari *obstacle*
- Pengaruh dari orang lain

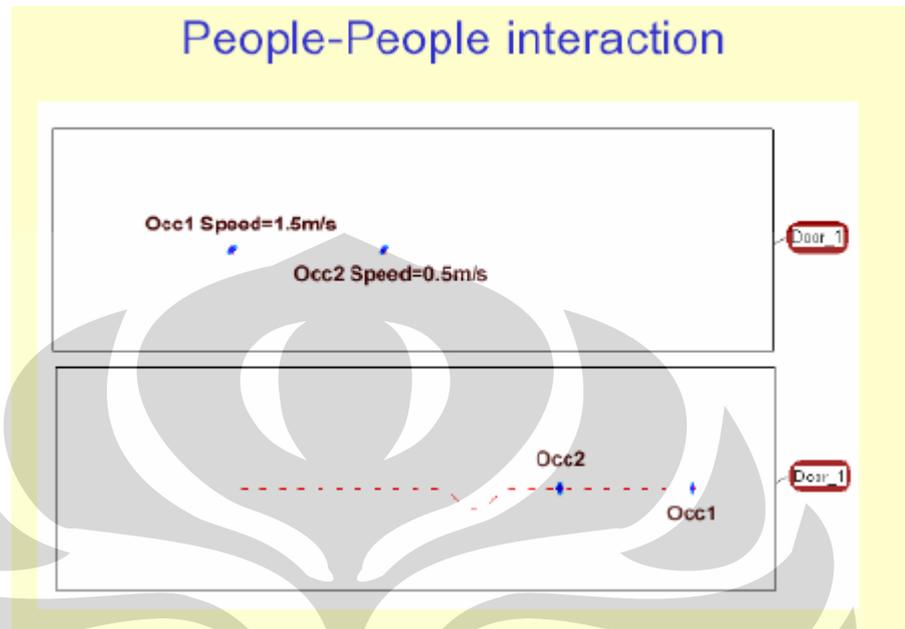
Tingkah laku global adalah modifikasi dari tingkah laku lokal. Dimungkinkan orang untuk memberikan reaksi dan mengubah tingkah laku mereka.



#### Interaksi orang dengan orang

Gambar dibawah menunjukkan adanya interaksi pada orang, orang ke2 yang sedang diam juga turut bergerak mengikuti orang ke 1 yang sedang berlari. Orang ke 1 memberitahu kepada orang ke 2

bahwa terjadi kebakaran, kemudian orang ke 2 mengikuti pergerakan orang ke 1.



**Gambar 2.7 Interaksi orang dengan orang**

■ Interaksi orang dengan ruangan

Contoh:

- ruangan kosong
- kursi
- *obstacle*
- pintu keluar
- tangga

■ Interaksi orang dengan lingkungan

contoh:

- interaksi dengan asap
- interaksi dengan racun
- interaksi terhadap suhu

### 2.5.2.3. Atribut experiental

#### 1. Personal elapsed time(PET)

Menggambarkan waktu yang dibutuhkan oleh *occupant* untuk evakuasi

#### 2. Distance (jarak)

Menggambarkan jarak yang ditempuh oleh *occupant* dari titik awalnya sampai pada *assembly point* pada saat evakuasi

#### 3. Wait

Merupakan waktu diam antar pergerakan

#### 4. Cumulative wait time(CWT)

Merupakan waktu diam kumulatif

### 2.5.3. *Scenario mode*

Scenario evakuasi dibuat berdasarkan kondisi yang ada. *Scenario* terdiri dari pintu keluar, jarak maksimum yang mungkin dicapai, bahaya kebakaran dan struktur orientasi.

### 2.5.4. *Simulation mode*

Setelah ketiga mode dapat ditentukan, maka simulasi dapat dilakukan. Sebelum melakukan simulasi, harus dipastikan dahulu data masukan yang dimasukkan sudah benar.

## 2.6 PERATURAN SOLAS MENGENAI EVAKUASI PENUMPANG KAPAL FERRY RO-RO

International Maritime Organisation (IMO) telah menetapkan peraturan-peraturan keselamatan yang berhubungan dengan evakuasi untuk kapal penumpang, lebih spesifik lagi kapal *ferry ro-ro*, yang menjadi standar internasional disebut SOLAS. Berikut adalah pasal regulasi yang berhubungan dengan *safe evacuation* pada kapal *ferry ro-ro*.

1. SOLAS II-2/28-3

Berdasarkan peraturan SOLAS II-2/28-3 (SOLAS, Consolidate Edition 1997) yang menjelaskan bahwa untuk kapal penumpang Ro-Ro yang dibangun saat atau setelah 1 Juli 1999, rute untuk jalan keluar (*escape route*) harus dievaluasi dengan analisa evakuasi di awal pendesainan kapal.

2. SOLAS *chapter* III/20-14

SOLAS *chapter* III/20-14 menyatakan bahwa waktu maksimum yang diizinkan untuk berkumpul di anjungan dan menurunkan sekoci (*survival boat*) adalah 30 menit dari waktu "saatnya meninggalkan kapal" diberikan.

3. Konferensi SOLAS 1995 menghasilkan keputusan bahwa seluruh prosedur evakuasi kapal penumpang Ro-Ro harus dilengkapi dalam 60 menit.

4. SOLAS *chapter* III/26 *section* II

SOLAS *chapter* III/26 *section* II menjelaskan aturan tambahan mengenai rencana dan peralatan keselamatan untuk kapal penumpang ro-ro. Hal-hal penting yang harus digarisbawahi adalah:

- a. *Liferaft*/rakit penyelamat salah satunya merupakan jenis rakit harus dapat berdiri sendiri secara otomatis atau jenis kanopi yang dapat dibalik dan stabil di laut sehingga mampu beroperasi dengan aman kemanapun arah mengapungnya. Sebagai alternatif kapal harus membawa salah satunya dimana kapasitasnya dapat mengakomodasi setidaknya 50% dari penumpang yang tidak terakomodasi pada *lifeboat*.
- b. *Lifejacket*/baju pelampung harus disimpan disekitar *muster station* dengan jumlah yang cukup sehingga penumpang tidak harus kembali ke kabin untuk mengambil baju pelampung.

5. SOLAS *chapter* III/27

1. Semua yang ada di dalam kapal termasuk seluruh penumpang harus didata jumlahnya terlebih dahulu sebelum keberangkatan.

2. Bagi penumpang yang membutuhkan perawatan khusus atau seorang pendamping dalam keadaan darurat harus dicatat dan dikomunikasikan ke nahkoda kapal sebelum keberangkatan.
3. Nama dan jenis kelamin dari seluruh penumpang di dalam kapal harus dicatat, membedakan antara dewasa, anak dan bayi, yang bertujuan untuk proses pencarian dan penyelamatan.

#### 6. SOLAS *chapter* III/29

Sistem manajemen *emergency* harus terdiri dari sebuah atau beberapa rencana *emergency*. Keadaan darurat yang mungkin terjadi harus dapat diidentifikasi oleh rencana *emergency* termasuk keadaan darurat berikut ini (tetapi tidak hanya terbatas pada keadaan dibawah ini):

- Kebakaran
- Kerusakan pada kapal
- Polusi
- Tindakan tidak layak yang mengancam keselamatan kapal dan keamanan penumpang serta kru kapal
- Kecelakaan kru kapal
- Kecelakaan pada muatan
- Bantuan *emergency* ke kapal lain

Aturan-aturan SOLAS dirumuskan berdasarkan hasil pengalaman kejadian yang lalu dan berbagai penelitian. IMO mempublikasikan buku petunjuk untuk menganalisis evakuasi sederhana untuk kapal penumpang Ro-Ro, yaitu MSC/circ.909 dan MSC/circ.1033 yang merupakan penyempurnaan dari MSC/circ.909.

##### a. MSC Circ.909

Point penting antara lain:

1. analisa harus terdiri dari setidaknya 2 skenario seperti yang dirinci oleh IMO's res.A757(18), yaitu skenario malam (semua penumpang berada

di kabin, beberapa ABK berada di kabin), dan skenario siang (penumpang berada di area publik, ABK tersebar di ruang-ruang kerja).

2. analisa dilakukan dengan mengasumsikan 100% kapasitas penumpang terisi penuh
3. total waktu evakuasi terdiri dari 2 bagian :
  - *mustering* = pergerakan penumpang ke *muster station* sesaat setelah sadar bahwa kapal akan segera di evakuasi
  - *embarkation* = penumpang bergerak dari *muster station* ke *embarkation station* sampai pada *life boat* diturunkan .
4. sesuai dengan prosedur evakuasi yang terdahulu, *awareness time* diasumsikan 10 menit untuk skenario malam dan 5 menit untuk skenario siang.
5. Antara fase *mustering* dan *embarkation*, diasumsikan terjadinya *overlapping* waktu sejumlah  $\frac{1}{3}$  dari total waktu fase *embarkation* dan *life boat* diturunkan.
6. Perhitungan waktu *mustering* sesuai dengan kondisi “ideal” yaitu : evakuasi penumpang dan ABK secara bersama-sama, tanpa merintanginya satu sama lain, melewati rute primer, dengan kesehatan yang baik dan 100% tersedianya *escape arrangement*. Waktu ini kemudian dikalikan dengan *safety factor* (2), dan ditambahkan 30% untuk menghitung kemungkinan adanya *counter flow*.
7. Kecepatan penumpang diambil dari US NFPA, yang akan berubah-ubah bergantung pada *density* penumpang dan kelayakan *escape facility* (seperti tangga naik, tangga turun, koridor).
8. Waktu evakuasi kemudian dihitung dari penjumlahan *mustering time* dan *embarkation time*, yang didapat sebagian dari data yang disediakan

produsen *lifeboat* atau dari *full-scale* trial. Jika tidak terdapat satu pun informasi, nilai waktu yang boleh dipakai 30 menit.

b. MSC Circ. 1033

MSC Circ. 1033 merupakan penyempurnaan dari MSC Circ.909, yang berisi :

- Metode untuk menghitung waktu perjalanan (*travel time-T*)

Parameter yang harus dipertimbangkan:

1.1 Lebar bersih/*clear width* ( $W_c$ )

Diukur dari susunan tangga koridor dan tangga dan lebar pintu sebenarnya yang dalam posisi terbuka penuh.

1.2 Berat jenis awal seseorang/*initial density of person* ( $D$ )

$D$  = jumlah orang ( $p$ ) : area rute melarikan diri (*escape route*) tempat orang-orang berkumpul ( $p/m^2$ )

1.3 Kecepatan seseorang/*speed of person* ( $S$ )

Bergantung pada arus spesifik orang ( $F_s$ ) dan tipe fasilitas melarikan diri.

1.4 Arus spesifik orang/*specific flow of person* ( $F_s$ )

Jumlah orang yang melarikan diri melewati titik rute per satuan waktu per satuan lebar bersih ( $W_c$ ) rute yang dilewati.

**Tabel 2.9 Nilai arus spesifik awal dan kecepatan awal dalam fungsi berat jenis**

Tipe fasilitas	Berat jenis awal $D(p/m^2)$	Arus spesifik awal $F_s(p/(ms))$	Kecepatan awal orang $S(m/s)$
koridor	0	0	1.2
	0.5	0.65	1.2
	1.9	1.3	0.67
	3.2	0.65	0.2
	$\geq 3.5$	0.32	0.10

**Tabel 2.10 Nilai arus spesifik maksimum**

Tipe fasilitas	Arus spesifik maksimum $F_s$ (p/(ms))
Tangga (turun)	1.1
Tangga (naik)	0.88
Koridor	1.3
Pintu keluar-masuk	1.3

**Tabel 2.11 Nilai arus spesifik dan kecepatan**

Tipe fasilitas	Arus spesifik $F_s$ (p/(ms))	Kecepatan orang $S$ (m/s)
Tangga (turun)	0	1.0
	0.54	1.0
	1.1	0.55
Tangga (naik)	0	0.8
	0.43	0.8
	0.88	0.44
Koridor	0	1.2
	0.65	1.2
	1.3	0.67

### 1.5 Perhitungan arus orang/*calculated flow of person* ( $F_c$ )

Prediksi jumlah orang yang melewati titik khusus dalam rute melarikan diri per satuan waktu.

$$F_c = F_s \cdot W_c \quad (2.8)$$

### 1.6 Waktu arus ( $t_F$ )

Total waktu yang dibutuhkan untuk  $N$  orang untuk bergerak melewati satu titik dalam system “*egress*”

$$t_F = N/F_c \quad (2.9)$$

## 1.7 Transisi

Perpindahan titik-titik dalam sistem “*egress*” karena perubahan tipe dan dimensi rute serta rute yang bergabung atau bercabang. Dalam transisi, jumlah seluruh arus keluar sama dengan jumlah arus yang masuk

$$\sum Fc(in)_i = \sum Fc(out)_j \quad (2.10)$$

Dimana :

$Fc(in)_i$  = perhitungan arus rute (i) tiba di titik transisi

$Fc(out)_j$  = perhitungan arus rute (j) meninggalkan titik transisi

## 1.8 Waktu perjalanan T (*travel time*), faktor keamanan (*safety factor*) dan faktor arus berlawanan

Waktu perjalanan T dalam detik :

$$T = (\gamma + \delta) t_I \quad (2.11)$$

Dimana :

$\gamma$  = faktor keamanan, 2 untuk kasus 1 dan 2, 1.3 untuk kasus 3 dan 4

$\delta$  = faktor arus berlawanan = 0.3

$t_I$  = waktu perjalanan tertinggi dalam detik dengan kondisi ideal hasil dari gambaran perhitungan prosedur pada paragraph 2

- Aturan perhitungan waktu perjalanan dalam kondisi ideal

### a. Simbol

Untuk mengilustrasikan prosedur, dibawah ini notasi yang digunakan :

$T_{stair}$  = waktu perjalanan (s) di tangga pada saat melarikan diri menuju *assembly station*

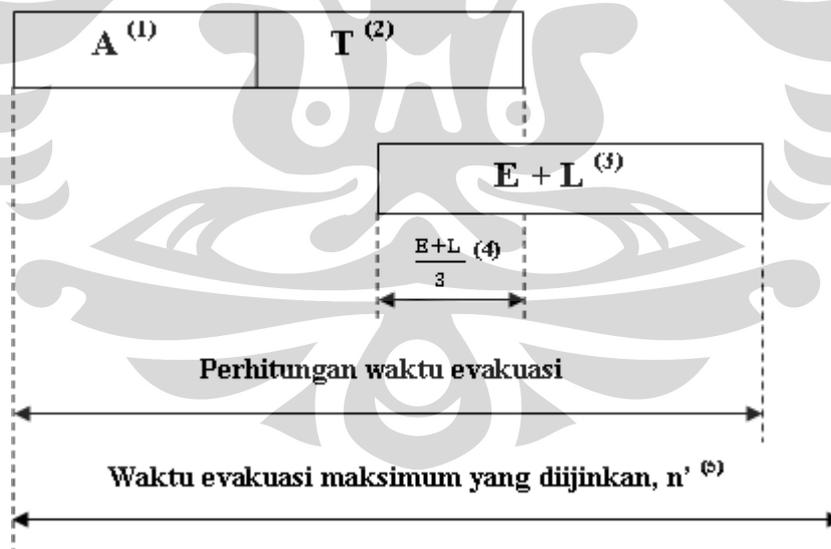
$T_{denck}$  = waktu perjalanan (s) untuk bergerak dari titik terjauh rute melarikan diri (*escape route*) di dek menuju tangga

$T_{assembly}$  = waktu perjalanan (s) untuk bergerak dari ujung tangga ke jalan masuk menuju *assembly station*

### b. Perhitungan waktu arus

Langkah dasar perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Skematisasi rute melarikan diri dengan jaringan hidrolik, pipa sebagai koridor dan tangga, katup sebagai pintu dan batas-batas secara umum, dan tangki sebagai tempat umum.
2. Perhitungan berat jenis  $D$  pada rute melarikan diri di setiap dek. Saat di deretan kabin menghadap koridor, diasumsikan bahwa orang di kabin bergerak ke koridor bersama-sama; *density* koridor adalah jumlah penumpang di kabin per satuan area koridor yang dihitung dari lebar bersih. Untuk tempat umum (*public space*), diasumsikan bahwa orang bersama-sama memulai evakuasi di pintu keluar (arus spesifik yang digunakan dalam perhitungan adalah arus spesifik maksimum dari pintu); jumlah pengevakuasi yang menggunakan setiap pintu diasumsikan proporsional dengan lebar bersih pintu.
3. Perhitungan arus spesifik awal  $F_s$  dengan menggunakan interpolasi dari table 1.1 sebagai fungsi *density*
4. Perhitungan arus  $F_c$  untuk koridor dan dek, tangga darurat ditandai dengan petunjuk arah.



**Gambar 2.8 Perhitungan waktu evakuasi**

Keterangan gambar:

- (1): *Awareness time* (A) adalah waktu yang diperlukan penumpang untuk bereaksi terhadap situasi tertentu, dimulai dari pemberitahuan awal

keadaan darurat (seperti alarm) dan berakhir saat penumpang sudah menerima situasi dan mulai bergerak ke arah *assembly station/muster station*.

A = 10 menit, untuk skenario evakuasi malam

5 menit, untuk skenario evakuasi siang

(2): *Travel time* (T) adalah waktu yang dibutuhkan untuk semua penumpang di dalam kapal bergerak dari tempat mereka menerima pemberitahuan menuju *assembly station* kemudian ke *embarkation station*.

(3): *embarkation time* (E) dan *launching time* (L) adalah total waktu saat penumpang mengantre untuk menaiki skoci sementara skoci di turunkan sampai seluruh penumpang menaiki skoci dan keluar dari kapal. Berdasarkan aturan SOLAS regulasi III/21.1.4, waktu maksimum yang diperbolehkan adalah 30 menit.

$$E + L \leq 30 \text{ menit} \quad (2.12)$$

(4): waktu *overlap* antara (2) dan (3) =  $\frac{1}{3}(E+L)$

(5): waktu evakuasi maksimum yang diperbolehkan untuk kapal penumpang ro-ro adalah 60 menit.

$$A + T + \frac{2}{3}(E + L) \leq n \quad (2.13)$$

### BAB 3

## PEMODELAN SIMULASI EVAKUASI PENUMPANG KAPAL FERRY RO-RO 500 GT

Waktu evakuasi sebuah kapal dengan desain tertentu selain didapat dari evacuation drill yang dilakukan, juga dapat diketahui dengan melakukan pemodelan simulasi. Desain kapal yang digunakan untuk dilakukan pemodelan simulasi adalah kapal *ferry* ro-ro 500 GT. Data kapal adalah sebagai berikut.

- *General Arrangement*

Ukuran utama

Panjang seluruhnya (Loa) = 40.10 m

Lpp = 33.00 m

Lebar (B) = 11.60 m

Tinggi (H) = 3.10 m

Sarat (T) = 1.85 m

Kecepatan (v) = 12 knot

Daya mesin induk = 2 x 405 HP  
1950 rpm

- Data muatan kapal

ABK = 20 orang

Penumpang:

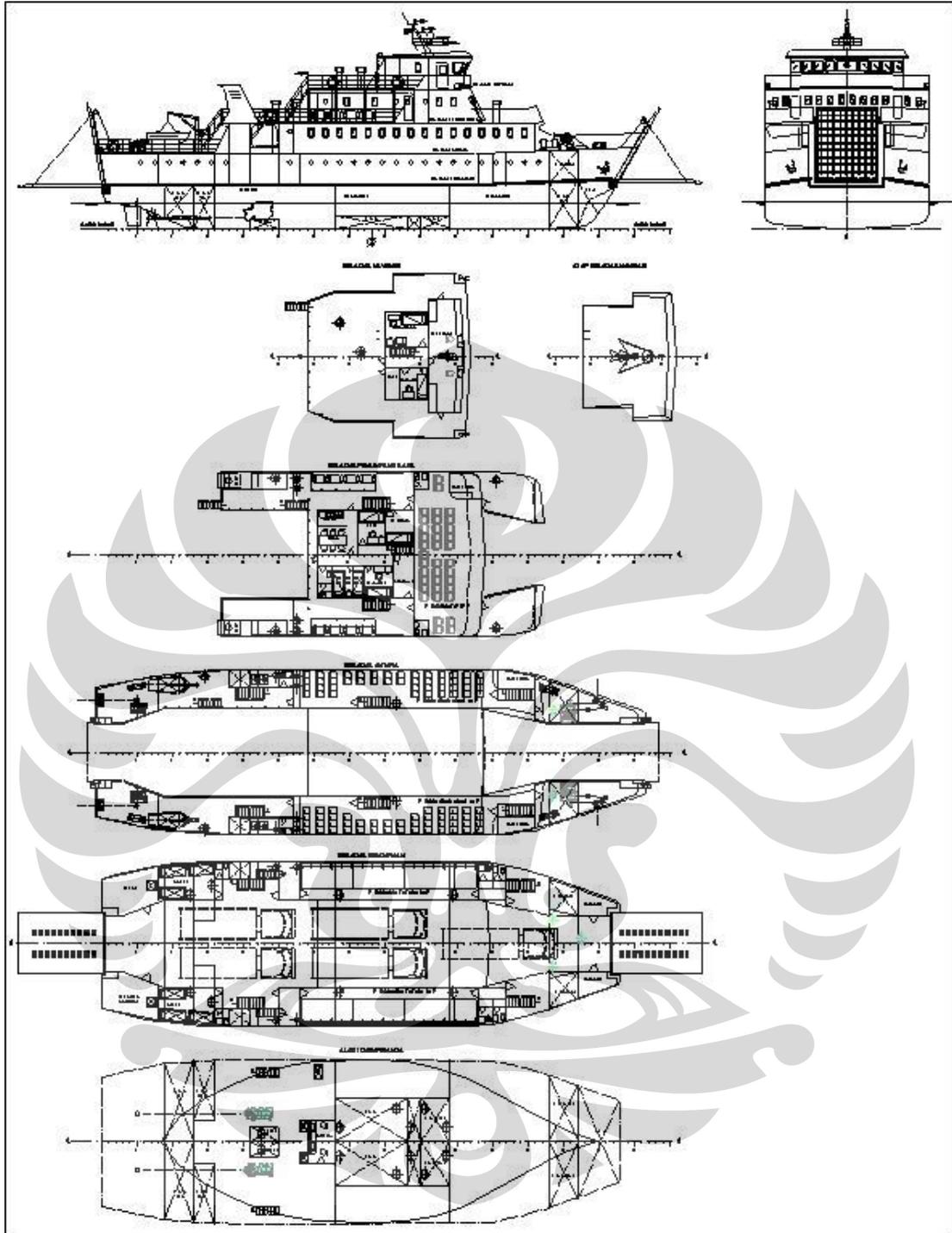
Penumpang V.I.P = 37 orang

Penumpang ekonomi = 92 orang

Penumpang tatami = 68 orang

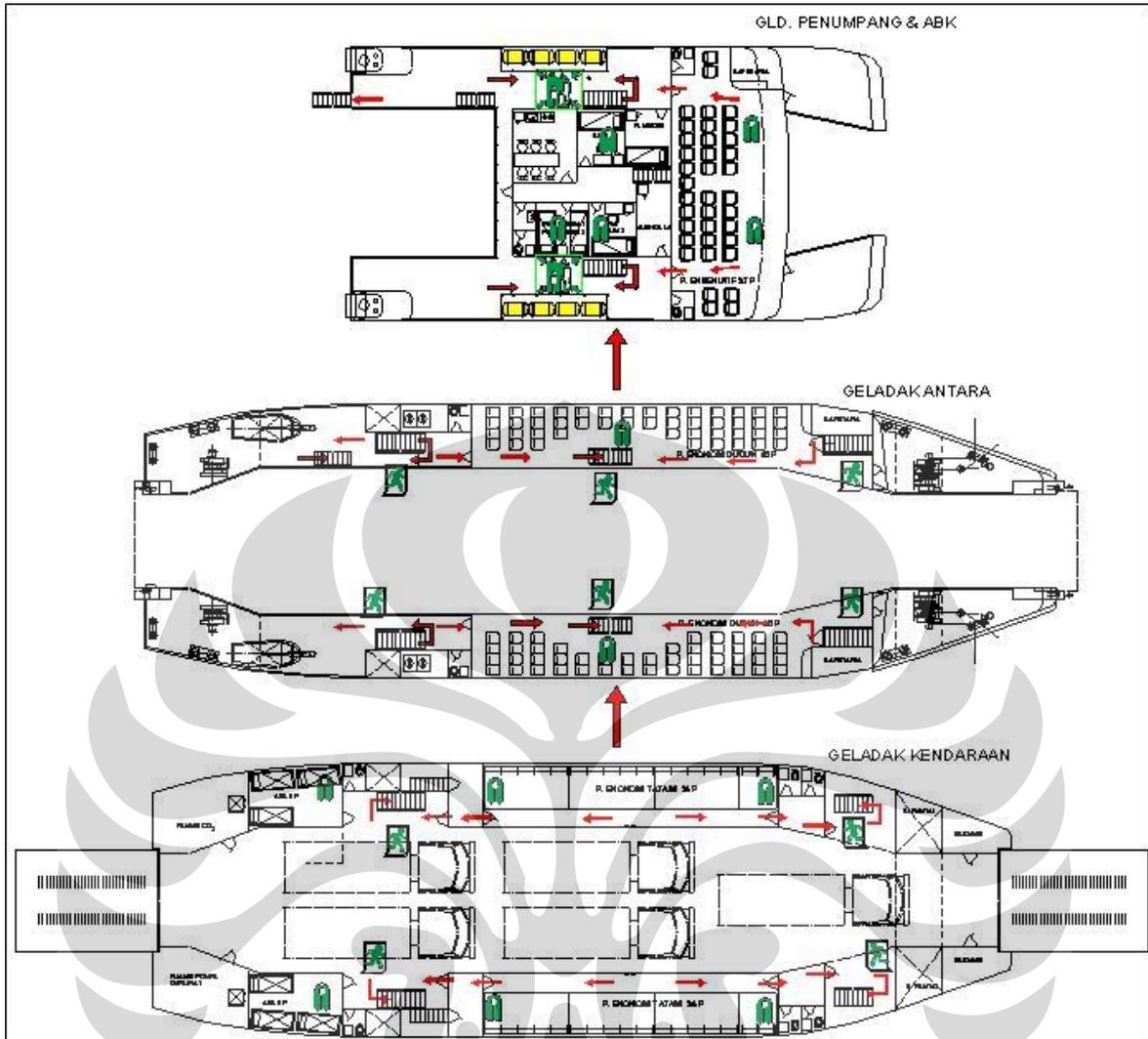
Jumlah = 217 orang

Kendaraan = 5 unit truk



**Gambar 3.9 General arrangement kapal ferry ro-ro 500 GT**

Dengan melihat *general arrangement* dari kapal tersebut, maka dibuat rencana jalur evakuasi yang memungkinkan penumpang untuk melwatinya dengan aman sampai ke *muster station* untuk selanjutnya dapat mengantre untuk menaiki sekoci dan keluar dari kapal saat keadaan darurat di kapal.



Gambar	keterangan	Gambar	keterangan
	tempat berkumpul (muster station)		Pintu darurat (emergency exit)
	Arah evakuasi		Inflatable liferaft (25 orang/unit)

**Gambar 3.10 Rencana evakuasi penumpang kapal dari geladak kendaraan hingga geladak penumpang dan ABK**

Dari *layout* kapal di atas dapat diketahui bahwa *muster station* (tempat berkumpulnya penumpang saat keadaan darurat) berada di geladak penumpang & ABK, di sisi kiri dan kanan. Selain itu, tempat alternatif lain yang mungkin bisa

menjadi tambahan *muster station* adalah di geladak antara bagian buritan dekat sekoci.

Dari layout dan rencana evakuasi tersebut dibuat pemodelan evakuasi menggunakan *software* buildingEXODUS.

### 3.1. PEMODELAN EVAKUASI

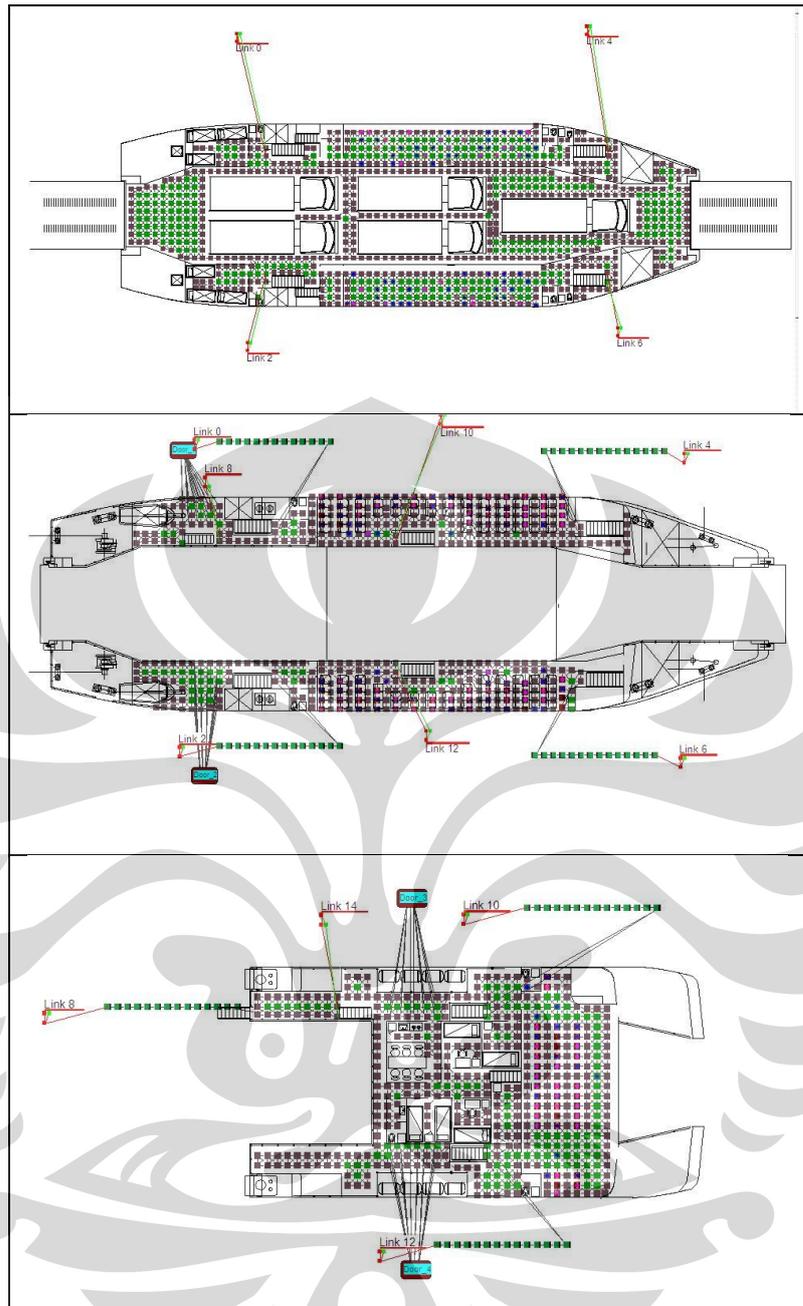
Pemodelan evakuasi kebakaran di kapal *ferry* ro-ro dilakukan untuk geladak kendaraan, geladak antara dan geladak penumpang & ABK. Jumlah penumpang yang dijadikan input data diasumsikan maksimum sesuai dengan jumlah tempat duduk yang tersedia.

Saat kapal dinyatakan dalam keadaan darurat, ABK segera menuju ruang tempat penumpang berada di tiap geladak tempat ABK berada dan membagikan lifejacket serta memberikan instruksi pada penumpang. Oleh karena itu, ABK disimulasikan terlebih dahulu dengan *assembly point* di depan tempat duduk penumpang tiap dek. 1 nahkoda, 4 ABK yang akan menurunkan sekoci dan 1 orang engineer tidak ikut di evakuasi dalam pemodelan simulasi ini.

Waktu yang dihasilkan adalah 38 detik. Waktu pembagian dan pemakaian lifejacket serta instruksi diasumsikan 2 menit, jadi penumpang bisa melakukan pergerakan setelah 2 menit 38 detik atau 158 detik (dimasukkan dalam nilai *response*).

#### 3.1.1. *Geometry*

Gambar di bawah ini menggambarkan keadaan geladak kapal tempat penumpang berada dengan buildingEXODUS *geometry*. Penumpang diasumsikan berada pada tempatnya/tempat duduknya setelah ABK disimulasikan terlebih dahulu menuju tempat penumpang di masing-masing geladak.



**Gambar 11.3** Geometry geladak kendaraan, antara dan penumpang dan ABK

*Geometry building EXODUS* dibentuk dengan mengkonstruksikan *node-node* yang tersambung dengan *arc*. *Occupant* hanya dapat melewati *node-node* yang dihubungkan dengan *arc*, jika ada *node-node* yang tidak terhubung maka akan menjadi penghalang bagi *occupant* untuk evakuasi. Contoh *node* yang tidak

terhubung adalah tempat duduk penumpang (dalam *geometry* ditunjukkan dengan warna merah). Dikarenakan asumsi evakuasi terjadi pada siang hari maka ABK sedang berada di wilayah kerjanya sehingga kamar ABK tidak dibuat *node* karena tidak ada *occupant* yang akan melewatinya.

**Tabel 3.12 Data fasilitas di kapal yang dilewati penumpang pada proses evakuasi**

Objek	Dimensi
Pintu	0.6 m
Tangga darurat	Lebar = 1.05 m <i>Handrail</i> = 0.3 m(kiri-kanan), jadi: <i>Clear width</i> = 0.75 m Tinggi = 2.2 m Arah = atas Sudut terhadap vertikal = 60° <i>Lane pad</i> = 0.21 x 0.15 m

### 3.1.2. Populasi

Tabel distribusi penumpang dan ABK di setiap geladak adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.13 Distribusi penumpang dan ABK di setiap geladak**

populasi	geladak kendaraan	geladak antara	geladak penumpang dan ABK	geladak navigasi	dasar ganda
wanita < 30 tahun	12	23	7	-	-
wanita 30-50 tahun	9	17	10	-	-
wanita > 50 tahun	1	10	7	-	-
pria < 30 tahun	27	14	6	-	-
pria 30-50 tahun	15	20	4	-	-
pria > 50 tahun	4	8	3	-	-
ABK	6	6	3	2	3
jumlah	74	98	40	2	3

Keterangan : Semua ABK pria

ABK berjumlah 20 orang, 2 orang yaitu nahkoda dan mualim 1 berada di geladak navigasi, 3 orang berada di geladak penumpang dan ABK, 6 orang berada

di geladak antara dan geladak kendaraan serta 2 *engineer* dan 1 orang ABK berada di dasar ganda.

Distribusi penumpang dibuat menyebar disetiap geladak dengan tidak meletakkan penumpang di geladak navigasi (hanya ABK), kamar KKM, mualim 2, PWA mesin 1 dan 2, ABK, dapur, ruang CO<sub>2</sub>, pompa darurat, kamar rantai dan gudang. Sedangkan distribusi ABK dibuat menyebar di wilayah kerja tetapi saat evakuasi, ada kemungkinan ABK bergerak melawan arus penumpang yang sedang mengevakuasikan diri (*counter flow*).

Dalam proses evakuasi di kapal, harus mendahulukan perempuan dan anak-anak sehingga nilai *drive* pada wanita semua umur diperbesar. Untuk nilai atau *attribute* dari masing-masing *gender*, ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.14 Properties penumpang dan ABK pada sebaran umur dan gender**

Populasi-penumpang	Pria < 30 tahun	Pria 30-50 tahun	Pria > 50 tahun	Wanita < 30 tahun	Wanita 30-50 tahun	Wanita > 50 tahun
<i>Walking speed</i> (m/s)						
: on flat terrain						
: on stair up	1.11-1.85	0.97-1.62	0.84-1.4	0.93-1.55	0.71-1.19	0.56-0.94
: on stair down	0.5-0.84	0.47-0.79	0.38-0.64	0.47-0.79	0.44-0.74	0.37-0.61
	0.76-1.26	0.64-1.07	0.5-0.84	0.56-0.94	0.49-0.81	0.45-0.75
<i>Mobility</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Patience</i> (s)	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30
<i>Response</i> (s)	158	158	158	158	158	158
<i>Drive</i>	5-15	5-15	5-15	10-20	10-20	10-20

Asumsi yang diberikan pada pemodelan ini antara lain:

- Tiap-tiap penduduk direpresentasikan dengan *special properties* tersendiri (seperti kesabaran, *waiting time*, *response time* dan lain-lain)
- Hanya satu penumpang yang dapat mengisi 1 *node*
- Interaksi dilakukan antara orang dengan orang dan orang dengan ruangan
- Evakuasi mendahulukan wanita, sehingga untuk memodelkan asumsi ini, *drive properties* untuk wanita nilainya ditambah sesuai dengan tabel di atas.

- Penumpang mulai bergerak setelah ABK datang dan memberikan *lifejacket* serta memberikan instruksi (diasumsikan 158 detik)

### 3.1.3. Skenario pertama

Untuk skenario pertama, evakuasi dimodelkan sesuai dengan kondisi *real* yang mungkin terjadi. Kebakaran terjadi di salah satu ruang di kapal yaitu ruang mesin. Ketika alarm berbunyi, Anak Buah Kapal (ABK) dan penumpang langsung memberikan responnya dan ABK bersiap untuk mengevakuasi seluruh penumpang ke tempat yang lebih aman.

Respon pertama ditunjukkan oleh ABK saat kapal dinyatakan dalam keadaan darurat yaitu ABK menuju lemari tempat *lifejacket* kemudian membagikan kepada penumpang di setiap geladak tempat mereka berada saat kapal dinyatakan dalam keadaan darurat. Setelah itu ABK mengarahkan penumpang melewati *escape route* menuju tempat skoci, rakit penolong ataupun rakit penyelamat (*inflatable life raft*).

Penumpang yang berada di geladak kendaraan diarahkan untuk naik ke geladak antara dengan akses 4 (empat) tangga yang tersedia dan dapat berfungsi. 2 tangga letaknya di sisi kiri-kanan bagian belakang geladak kendaraan dan 2 tangga lagi berada di depan. Sementara itu, penumpang yang berada di geladak antara diarahkan menuju skoci yang berada di sisi kiri-kanan bagian belakang geladak tetapi sebagian penumpang yang dekat dengan akses tangga menuju geladak penumpang dan ABK, diarahkan kesana untuk menggunakan *inflatable liferaft* untuk keluar dari kapal. Sedangkan untuk penumpang di geladak penumpang dan ABK diarahkan menuju tempat rakit penolong dan *inflatable liferaft* di sisi kiri-kanan kapal.

Dalam skenario evakuasi ini memiliki empat *assembly point* yaitu di 2 sisi tempat skoci pada geladak antara dan 2 sisi tempat *inflatable liferaft*/rakit penyelamat dan rakit penolong. *Assembly point* di geladak penumpang dan ABK yang disebut adalah *muster station* yang berada di sisi kiri-kanan geladak penumpang dan ABK.

**Tabel 3.15 Hasil umum pemodelan skenario pertama**

Jumlah penumpang yang terevakuasi (orang)	211 (termasuk 14 ABK)
Waktu total evakuasi (sekon)	269
Penumpang pertama berhasil terevakuasi (sekon)	163,93
Umur rata-rata (tahun)	41,3
<i>Drive</i> rata-rata	13,7
<i>Fastwalk</i> rata-rata (m/s)	1,16
Waktu tunggu rata-rata (sekon)	24,17
Jarak penumpang- <i>assembly point</i> rata-rata (meter)	23,77
Jarak penumpang- <i>assembly point</i> terjauh (meter)	53,08

Dari hasil pemodelan didapatkan hasil waktu total evakuasi penumpang kapal *ferry* ro-ro 500 GT (33 m) untuk 211 penumpang (termasuk 14 ABK) adalah 469 detik atau 4,48 menit dengan penjabaran penumpang yang melakukan evakuasi di tiap titik berhimpunya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.16 Hasil pemodelan evakuasi skenario pertama tiap titik berhimpun**

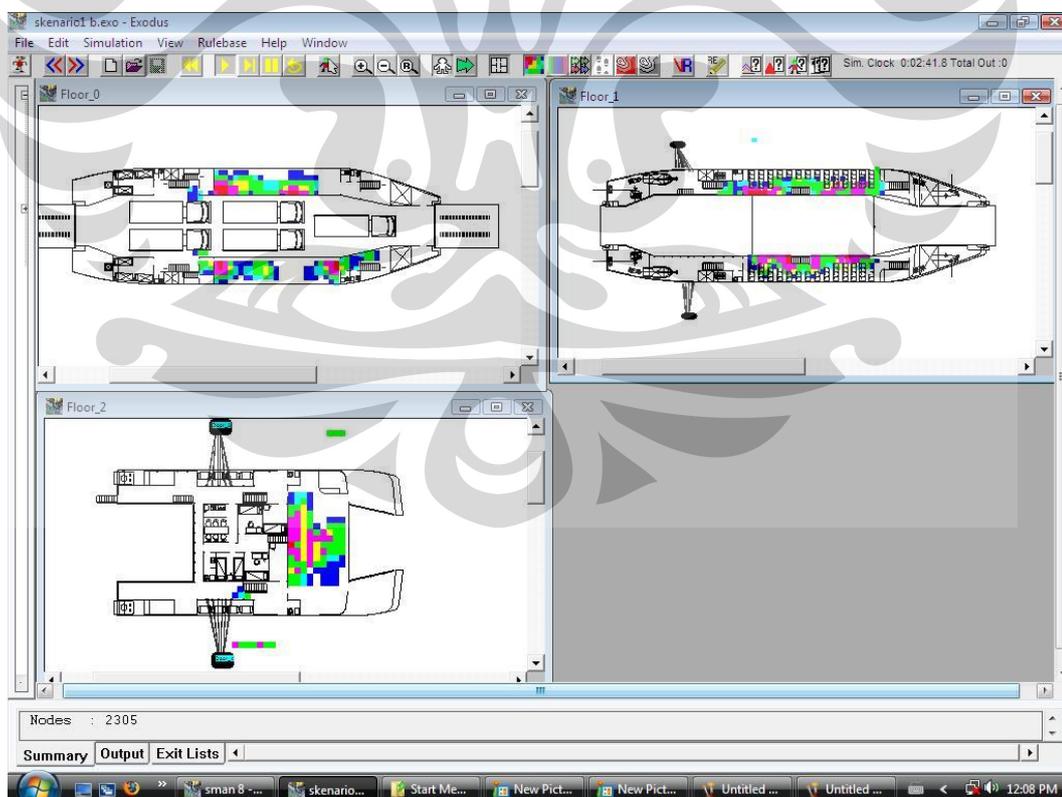
Titik berhimpun	Assembly point	Jumlah <i>occupant</i> yang melakukan evakuasi (orang)	Waktu evakuasi (sekon)
1	Geladak antara (kiri)	78	256,14
2	Geladak antara (kanan)	23	236,93
3	<i>Muster station</i> /geladak penumpang&ABK (kiri)	43	264,51
4	<i>Muster station</i> / geladak penumpang & ABK (kanan)	67	248,98

Dari tabel dapat dirinci waktu total evakuasi untuk tiap-tiap assembly point. Terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai assembly point 3 yaitu di *Muster station*/geladak penumpang&ABK (kiri) lebih lama dari *assembly point* lain, dikarenakan jumlah penumpang yang memilih mengambil *exit* itu atau

dengan kata lain jarak yang paling memungkinkan untuk penumpang dari tempatnya menuju ke sana, bila dibanding *assembly point* lain.

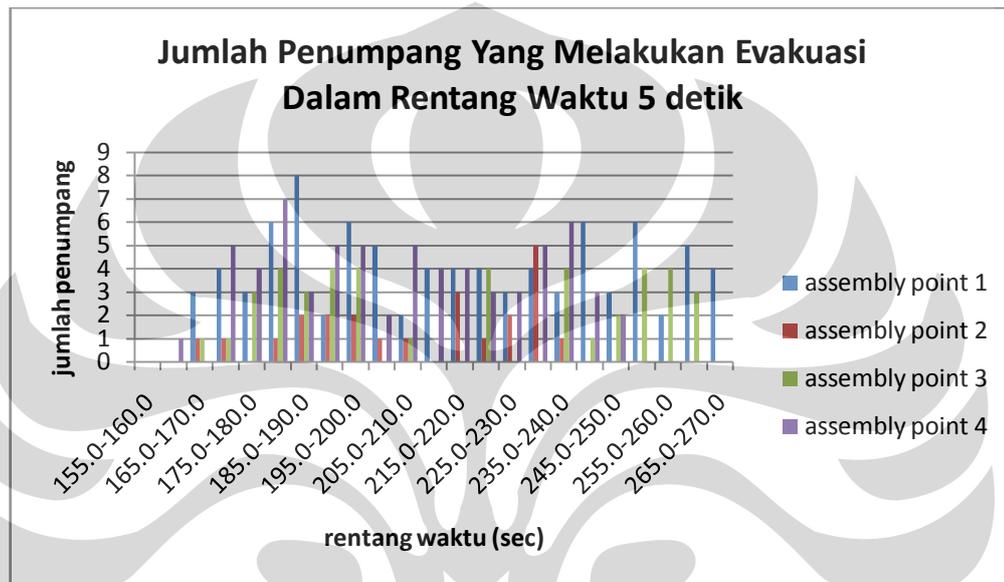
Jika dilihat dari jumlah output penumpang, *assembly point* 1 lebih banyak dipilih oleh penumpang tetapi jika dilihat waktu evakuasi yang paling lama adalah pada *assembly point* 3. Hal ini terjadi karena penumpang dari geladak di bawahnya (geladak antara) yang akan mengambil *assembly point* 3 bertemu dengan penumpang dari geladak tersebut dan terjadi penumpukan yang dapat mengakibatkan kepadatan semakin besar (*congested*) dan *travel speed* penumpang menjadi kecil. Bila dibandingkan *assembly point* 1 yang terletak di geladak antara, penumpang yang mungkin mengambil *assembly point* tersebut hanya dari geladak antara dan geladak kendaraan.

Selain itu, jumlah akses tangga menuju yang *assembly point* juga mempengaruhi output penumpang. Terlihat dari tabel di atas, *assembly* dengan 2 akses tangga (1 dan 3) lebih banyak output penumpangnya bila dibandingkan dengan *assembly point* dengan hanya 1 akses tangga (2 dan 4).



**Gambar 3.12** Salah satu contoh kepadatan di tiga geladak pada menit ke 2 detik ke 41.

Distribusi penumpang yang terevakuasi pada 4 *assembly point* dalam rentang waktu 5 detik dapat dilihat dari grafik di bawah ini. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa jumlah penumpang yang berhasil melakukan evakuasi fluktuatif, digambarkan oleh batang yang naik turun. Hal ini menggambarkan kepadatan di detik ke 185-230.



**Grafik 3.2 Jumlah penumpang melakukan evakuasi tiap 5 detik untuk skenario pertama**

#### 3.1.4. Skenario kedua

Secara umum, skenario kedua tidak jauh berbeda dengan skenario pertama, perbedaan hanya terletak pada jumlah tangga yang dipakai untuk evakuasi. Pada skenario evakuasi kedua digambarkan bahwa dua tangga naik di geladak kendaraan yang posisinya tepat di bawah ruang mesin (di buritan) tidak dapat berfungsi sehingga penumpang yang berada di geladak tersebut harus menggunakan 2 tangga naik yang berada di bagian depan geladak. Kemungkinan yang bisa terjadi adalah penumpukan penumpang di geladak antara bagian haluan.

**Tabel 3.17 Hasil umum pemodelan skenario kedua**

Jumlah penumpang yang terevakuasi (orang)	211 (termasuk 14 ABK)
Waktu total evakuasi (sekon)	327
Penumpang pertama berhasil terevakuasi (sekon)	164
Umur rata-rata (tahun)	41,3
<i>Agility</i> rata-rata	4,19
<i>Fastwalk</i> rata-rata (m/s)	1,16
Kesabaran rata-rata (sekon)	2,86
Waktu tunggu rata-rata (sekon)	28,39
Jarak penumpang- <i>assembly point</i> rata-rata (meter)	30,71
Jarak penumpang- <i>assembly point</i> terjauh (meter)	77,67

Dari hasil pemodelan didapatkan hasil waktu total evakuasi penumpang kapal Ferry ro-ro 500 GT (33 m) untuk 211 penumpang (termasuk 14 ABK) adalah 327 detik atau 5,54 menit dengan scenario 2 tangga akses dari geladak kendaraan ke geladak antara tidak berfungsi. Penjabaran penumpang yang melakukan evakuasi di tiap titik berhimpunya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

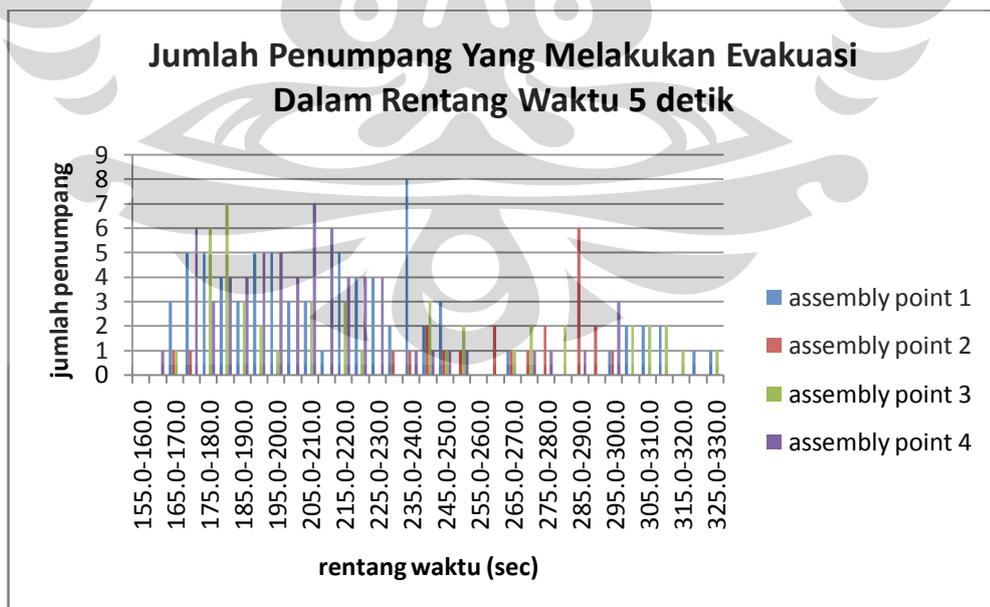
**Tabel 3.18 Hasil pemodelan evakuasi scenario kedua tiap titik berhimpun**

Titik berhimpun	<i>Assembly point</i>	Jumlah <i>occupant</i> yang melakukan evakuasi (orang)	Waktu evakuasi (sekon)
1	Geladak antara (kiri)	75	326,31
2	Geladak antara (kanan)	23	295,87
3	<i>Muster station</i> /geladak penumpang&ABK (kiri)	46	325,86
4	<i>Muster station</i> / geladak penumpang & ABK (kanan)	67	298,08

Dari tabel dapat dirinci waktu total evakuasi untuk tiap-tiap *assembly point*. Terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *assembly point* 1

yaitu di geladak antara (kiri) lebih lama dari *assembly point* lain. Berbeda dengan skenario pertama, pada skenario kedua terlihat bahwa akses tangga sangat berpengaruh pada waktu evakuasi. Akses tangga menuju geladak antara dari geladak kendaraan dikondisikan tidak berfungsi sehingga *occupant* yang di *setting* akan mengambil *assembly point* dengan jarak paling dekat, akan memilih *assembly point* di geladak antara daripada harus mengantre lagi di tangga untuk menuju *assembly point* 3 dan 4 di geladak penumpang dan ABK, yang berada di atasnya, yang jaraknya lebih jauh dan memakan waktu yang lebih lama.

Jika dilihat dari jumlah output penumpang, *assembly point* 1 lebih banyak dipilih oleh penumpang tetapi jika dilihat waktu evakuasinya hanya berbeda satu detik dari waktu evakuasi di *assembly point* 3 dengan jumlah penumpang yang berhasil melakukan evakuasi hanya 46 penumpang. Hal ini terjadi karena penumpang dari geladak di bawahnya (geladak antara) yang akan mengambil *assembly point* 3 bertemu dengan penumpang dari geladak tersebut dan terjadi penumpukan yang dapat mengakibatkan kepadatan semakin besar (*congested*) dan *travel speed* penumpang menjadi kecil. Bila dibandingkan *assembly point* 1 yang terletak di geladak antara, penumpang yang mungkin mengambil *assembly point* tersebut hanya dari geladak antara dan geladak kendaraan.



**Grafik 3.3** Jumlah penumpang melakukan evakuasi tiap 5 detik untuk skenario kedua

### 3.2. PERHITUNGAN WAKTU EVAKUASI SEDERHANA

Rumus yang digunakan adalah rumus *means of escape*.. Waktu total untuk berjalan di *escape route* untuk mencapai *assembly point* adalah:

$$t_l = t_F + t_{deck} + t_{stair} + t_{assembly}$$

Waktu evakuasi yang akan dihitung adalah waktu yang dibutuhkan penumpang dari saat mendengar alarm sampai seluruh penumpang sampai ke *assembly point* dan mengantre untuk menaiki sekoci atau *liferaft*.

Skematisasi *escape route* digambarkan sebagai *hydraulic network*, dimana koridor dan tangga sebagai pipa, pintu dan pembatas secara umum sebagai *valve* atau katup dan *public space* sebagai tangki.

Ada 2(dua) skenario yang akan dipakai. Dikarenakan kapal merupakan kapal jenis *ferry ro-ro* yang digunakan untuk penyebrangan antar pulau dan waktu perjalanan tidak terlalu lama maka tidak terlalu banyak perbedaan saat siang dan malam hari sehingga skenario yang dipakai keduanya merupakan skenario siang (*day scenario*).

#### 3.2.1. Identifikasi *assembly stations*

*Assembly station* di kapal sama dengan *muster station* (tempat berkumpulnya penumpang saat keadaan darurat). Pada kapal ini terdapat 4 *assembly station*, dua di sisi kiri-kanan geladak penumpang & ABK (*muster station*) dan dua di sisi kiri-kanan geladak antara.

#### 3.2.2. Asumsi yang digunakan

Metode perhitungan waktu evakuasi ini berdasarkan sifat alam (*nature*) yang biasanya terjadi, untuk itu asumsi umum yang dipakai dalam analisa evakuasi ini adalah:

1. Semua penumpang melakukan evakuasi pada saat yang bersamaan dan tidak saling menghalangi.
2. Penumpang dan ABK akan melakukan evakuasi via *escape route*, merujuk pada SOLAS *regulation II-2/13*

3. *Initial walking speed* bergantung pada *density* penumpang, diasumsikan bahwa *flow* hanya ke arah *escape route* jadi tidak ada *overtaking*.
4. Penumpang dapat bergerak tanpa halangan
5. Pengaruh pergerakan kapal, umur penumpang dan penurunan *mobility*, fleksibilitas rencana, koridor tidak ada, keterbatasan penglihatan karena asap, dimasukkan dalam *safety factor*.
6. *Safety margin* dimasukkan dalam perhitungan untuk mendapatkan catatan kelalaian, asumsi dan batasan serta sifat alami dari skenario yang harus dipertimbangkan, seperti:
  - a. ABK akan segera berada pada stasiun wajib evakuasi, siap membantu penumpang
  - b. Penumpang mengikuti sistem sinyal dan instruksi ABK (pemilihan rute tidak diprediksi oleh analisa ini)
  - c. *Family group behavior* diabaikan pada analisa ini
  - d. Pergerakan kapal, kemiringan dan trim diabaikan.

### 3.2.3. Skenario pertama

Pada skenario pertama, rute evakuasi (*escape route*) pada setiap deknya, yaitu:

- Geladak kendaraan (selanjutnya disebut dek 1) dan geladak antara (selanjutnya disebut dek 2) dihubungkan dengan 4 tangga, tangga A dan B di sisi kiri dek dan tangga C dan D di sisi kanan dek. Di dek 1 terdapat tatami di sebelah kiri-kanan kapal yang masing-masing dihubungkan dengan 2 pintu menuju tangga A dan B di sisi kiri dan C dan D di sisi kanan.

**Tabel 3.19 Ukuran area di dek 1**

item	Wc (m)	length (m)	area (m2)	keterangan
MVZ 1-dek 1-koridor 1	0.6	10.75	6.45	menuju pintu 1
MVZ 1-dek 1-koridor 2	0.6	10.25	6.15	menuju pintu 2
MVZ 1-dek 1-koridor 3	0.6	10.75	6.45	menuju pintu 3
MVZ 1-dek 1-koridor 4	0.6	10.25	6.15	menuju pintu 4
MVZ 1-dek 1-pintu 1	0.6	-	-	menuju tangga A
MVZ 1-dek 1-pintu 2	0.6	-	-	menuju tangga B
MVZ 1-dek 1-pintu 3	0.6	-	-	menuju tangga C
MVZ 1-dek 1-pintu 4	0.6	-	-	menuju tangga D
MVZ 1-dek 1-tangga A	0.75	2.2	1.65	menuju dek 2
MVZ 1-dek 1-tangga B	0.75	2.2	1.65	menuju dek 2
MVZ 1-dek 1-tangga C	0.75	2.2	1.65	menuju dek 2
MVZ 1-dek 1-tangga D	0.75	2.2	1.65	menuju dek 2

- Dek 2 dan 3 dihubungkan dengan 3 tangga E, F dan G. tangga E dan F masing-masing berada di sisi kiri-kanan dek dan tangga G berada di luar ruangan yang dekat dengan tempat sekoci. 2 koridor dengan 2 pintu menghubungkan kabin sebelah kiri dengan tangga E dan dua koridor dengan 2 pintu menghubungkan kabin sebelah kanan dengan tangga F.

**Tabel 3.20 Ukuran area di dek 2**

item	Wc (m)	length (m)	area (m2)	keterangan
MVZ 1-dek 2-koridor 1	0.8	20.7125	16.57	menuju pintu 1
MVZ 1-dek 2-koridor 2	0.8	20.7125	16.57	menuju pintu 2
MVZ 1-dek 2-pintu 1	0.6	-	-	menuju tangga E
MVZ 1-dek 2-pintu 2	0.6	-	-	menuju tangga F
MVZ 1-dek 2-tangga E	0.75	2.2	1.65	menuju assembly point
MVZ 1-dek 2-tangga F	0.75	2.2	1.65	menuju assembly point
MVZ 1-dek 2-path 1			761	assembly point
MVZ 1-dek 2-path 2			761	assembly point

- Penumpang dari dek 3 menempati *muster station* yang berada di sisi kiri-kanan dek (*path* 1 dan 2). Sebagian penumpang dari dek 1 dan 2, dengan menggunakan tangga (tangga E, F dan G), juga menempati *muster station* yang menjadi *assembly point* pada evakuasi ini, selain dua *assembly point* yang berada di dek 2 bagian buritan.

**Tabel 3.21 Ukuran area di dek 3**

item	Wc (m)	length (m)	area (m2)	keterangan
MVZ 1-dek 3-koridor 1	0.6	14.516667	8.71	menuju pintu 1
MVZ 1-dek 3-koridor 2	0.6	14.516667	8.71	menuju pintu 2
MVZ 1-dek 3-pintu 1	0.6	-	-	menuju muster station(assembly point)
MVZ 1-dek 3-pintu 2	0.6	-	-	menuju muster station(assembly point)
MVZ 1-dek 3-path 1	2.7	6.6111111	17.85	muster station
MVZ 1-dek 3-path 2	2.7	6.6111111	17.85	muster station

Distribusi penumpang yaitu 68 penumpang di dek 1 (34 masing-masing di tatami, sisi kiri-kanan dek), 92 penumpang di dek 2 (46 masing-masing menempati tempat duduk di sisi kiri-kanan kapal), dan 37 penumpang di dek 3. Penumpang sedang berada pada tempat duduknya masing-masing dan diasumsikan bergerak secara serentak menuju koridor. Kondisi awal dapat digambarkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.22 Kondisi awal MVZ 1**

MVZ 1-koridor	penumpang	initial density D (p/m2)	initial spesific flow Fs (p/(ms))	calculated flow Fc (p/s)	initial speed of person S (m/s)
dek 1-koridor 1	17	2.6357	0.678	0.40651	0.404
dek 1-koridor 2	17	2.7642	0.569	0.34124	0.358
dek 1-koridor 3	17	2.6357	0.678	0.40651	0.404
dek 1-koridor 4	17	2.7642	0.569	0.34124	0.358
dek 2-koridor 1	46	2.7761	0.559	0.44695	0.338
dek 2-koridor 2	46	2.7761	0.559	0.44695	0.353
dek 3-koridor 1	18	2.0666	1.159	0.69542	0.61
dek 3-koridor 2	19	2.1814	1.062	0.63714	0.568

MVZ-tangga, pintu dan koridor	penumpang(N)		<i>specific flow</i> Fs in (p/(ms))	<i>maximum specific flow</i> Fs(p/(ms))	<i>specific flow</i> Fs (p/(ms))	<i>calculated flow</i> Fc (p/s)	<i>speed of person</i> S (m/s)	antrian	keterangan
	dari rute ini	termasuk dari rute lain							
dek 1-pintu 1	17	17	1.065	1.3	1.065	0.639	-		dari koridor 1
dek 1-tangga A	17	17	0.852	0.88	0.852	0.639	0.44		dari pintu 1
dek 1-pintu 2	17	17	0.988	1.3	0.988	0.593	-		dari koridor 1
dek 1-tangga B	17	17	0.791	0.88	0.791	0.593	0.44		dari pintu 2
dek 1-pintu 3	17	17	1.065	1.3	1.065	0.639	-		dari koridor 2
dek 1-tangga C	17	17	0.852	0.88	0.852	0.639	0.44		dari pintu 3
dek 1-pintu 4	17	17	0.988	1.3	0.988	0.593	-		dari koridor 2
dek 1-tangga D	17	17	0.791	0.88	0.791	0.593	0.44		dari pintu 4
dek 2-pintu 1	46	63	1.928	1.3	1.3	0.78	-	ya	dari koridor 1, dari tangga B
dek 2-tangga E	46	63	1.04	0.88	0.88	0.66	0.44	ya	dari pintu 1
dek 2-pintu 2	46	63	3.042	1.3	1.3	0.78	-	ya	dari koridor 2, dari tangga C dan D
dek 2-tangga F	46	63	1.04	0.88	0.88	0.66	0.44	ya	dari pintu 2
dek 3-pintu 1	18	18	1.26	1.3	1.26	0.756			dari koridor 1
dek 3-pintu 2	19	19	1.24	1.3	1.24	0.744			dari koridor 2
dek 3-path 1	0	81	2.3	1.3	1.3	3.51	0.67	ya	ke <i>muster station</i>
dek 3-path 2	0	82	2.28	1.3	1.3	3.51	0.67	ya	ke <i>muster station</i>

Keterangan:

1. *Specific flow* “Fs in” adalah *specific flow* saat memasuki elemen *escape route* (koridor, pintu dan tangga); *specific flow* maksimum adalah flow maksimum yang diijikan dari tabel 2.11; *specific flow* yang dipakai untuk perhitungan yakni nilai terkecil antara “Fs in” dan “*maximum specific flow*”. Ketika “Fs in” lebih besar dari “*maximum specific flow*”, maka terjadi antrian.

2. Penumpang pada dek 1 yang menggunakan tangga A menuju dek 2 kemudian langsung menuju assembly point dekat sekoci sehingga tangga G yang menghubungkan dek 2 dengan dek 3, tidak digunakan.

**Tabel 3.23 Perhitungan  $t_F$ ,  $t_{dek}$  dan  $t_{stair}$**

item	penumpang	length L (m)	calculated flow $F_c$ (p/s)	Speed S (m/s)	Flow time $t_F$ (s)	deck or stair time, $t_{deck}$ , $t_{stair}$	Entering
	N				$t_F = N/F_c$	$T = L/S$	
dek 1-koridor 1	17	10.75	0.4065116	0.404031008	41.819222	26.60686876	pintu 1
dek 1-koridor 2	17	10.25	0.3412383	0.357548468	49.818562	28.6674421	pintu 2
dek 1-koridor 3	17	10.75	0.4065116	0.404031008	41.819222	26.60686876	pintu 3
dek 1-koridor 4	17	10.25	0.3412383	0.357548468	49.818562	28.6674421	pintu 4
dek 1-pintu 1	17	-	0.6389328	-	26.606869	-	tangga A
dek 1-pintu 2	17	-	0.5930072	-	28.667442	-	tangga B
dek 1-pintu 3	17	-	0.6389328	-	26.606869	-	tangga C
dek 1-pintu 4	17	-	0.5930072	-	28.667442	-	tangga D
dek 1-tangga A	17	2.2	0.66	0.44	25.757576	5	dek 2/assembly point
dek 1-tangga B	17	2.2	0.66	0.44	25.757576	5	dek 2
dek 1-tangga C	17	2.2	0.7986659	0.44	21.285495	5	dek 2/assembly point
dek 1-tangga D	17	2.2	0.66	0.44	25.757576	5	dek 2
dek 2-koridor 1	46	20.7125	0.4469468	0.338333046	102.92054	61.21926382	pintu 1
dek 2-koridor 2	46	20.7125	0.4469468	0.353255652	102.92054	58.63317369	pintu 2
dek 2-pintu 1	63	-	0.78	-	80.769231	-	tangga E
dek 2-pintu 2	63	-	0.78	-	80.769231	-	tangga F
dek 2-tangga E	63	2.2	0.66	0.44	95.454545	5	dek 3
dek 2-tangga F	63	2.2	0.66	0.44	95.454545	5	dek 3
dek 3-koridor 1	18	14.516667	0.6954235	0.609771262	25.883509	23.80674127	muster station
dek 3-koridor 2	19	14.516667	0.637135	0.568262828	29.820994	25.5456911	muster station

34 penumpang menuju *assembly point* di dek 2 dengan menggunakan tangga A dan C, 126 penumpang menuju *assembly point* di dek 3 dengan menggunakan tangga E dan F sedangkan 37 penumpang yang berada di dek 3 menuju *assembly point* melewati koridor.

**Tabel 3.24 Perhitungan  $t_{assembly}$**

item	penumpang	length L (m)	calculated flow $F_c$ (p/s)	speed S (m/s)	Flow time $t_F$ (s)	$t_{assembly}$	entering
	N				$t_F=N/F_c$		
dek 3-path 1	81	6.611	3.51	0.67	23.08	9.86733	muster station
dek 3-path 2	82	6.611	3.51	0.67	23.36	9.86733	muster station

Menurut lampiran Interim Guidelines, rumus travel time adalah:

$$T = t_f \max \times 2.3$$

2.3 adalah jumlah *safety factor* dan *counterflow factor*. Nilai maksimum  $t_f$  tiap-tiap escape route adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.25 Perhitungan T**

escape route pada	$T_{dek}$	$t_f$	$t_{stair}$	$t_{assembly}$	$t_I$	T
dek 3	26	30	0	10	66	151.8
dek 2	61	103	5	10	179	411.7
dek 1	29	50	10	10	94	227.7

Keterangan:

1. *Flow time*,  $t_F$ , adalah *flow time* maksimum yang dicatat seluruh *escape route* dari dek dimana penumpang memulai evakuasi ke *muster station*
2. *Travel time* di tangga ( $t_{stair}$ ) adalah total waktu yang dibutuhkan untuk berjalan sepanjang tangga dari dek tempat awal penumpang memulai evakuasi menuju dek tempat *assembly station* berada. Nilai  $t_{stair}$  dek 1 adalah 10 s (5 s ke dek 2 ditambah 5 s dari dek 2 ke dek 3)

Jadi:  $T = 411.7$  sekon = 6,8 menit

Waktu evakuasi total, menurut Interim Guidelines adalah:

$$A + T + \frac{2}{3} (E + L) = 5' + 6'48'' + 20' = 31'48''$$

Dimana:

$E+L$  diasumsikan 30'

$A = 5'$  (untuk scenario siang)

$T = 6'48''$

### 3.2.4. Skenario kedua

Pada skenario kedua, rute evakuasi (escape route) pada setiap dek nya, yaitu:

- dek 1 dan geladak antara dek 2 dihubungkan dengan 4 tangga, tangga A dan B di sisi kiri dek dan tangga C dan D di sisi kanan dek tetapi yang berfungsi hanya tangga B dan D. Di dek 1 terdapat tatami di sebelah kiri-kanan kapal yang masing-masing dihubungkan dengan 2 pintu menuju tangga A, B, C dan D, tetapi karena tangga A dan C tidak dapat berfungsi maka pintu yang digunakan hanya 2, di sisi kiri-kanan geladak bagian haluan.

**Tabel 3.26 Ukuran area di dek 1**

item	Wc (m)	length (m)	area (m2)	keterangan
MVZ 1-dek 1-koridor 1	-	-	-	menuju pintu 1
MVZ 1-dek 1-koridor 2	0.6	21	12.6	menuju pintu 2
MVZ 1-dek 1-koridor 3	-	-	-	menuju pintu 3
MVZ 1-dek 1-koridor 4	0.6	21	12.6	menuju pintu 4
MVZ 1-dek 1-pintu 1	-	-	-	menuju tangga A
MVZ 1-dek 1-pintu 2	0.6	-	-	menuju tangga B
MVZ 1-dek 1-pintu 3	-	-	-	menuju tangga C
MVZ 1-dek 1-pintu 4	0.6	-	-	menuju tangga D
MVZ 1-dek 1-tangga A	-	2.2	-	menuju dek 2
MVZ 1-dek 1-tangga B	0.75	2.2	1.65	menuju dek 2
MVZ 1-dek 1-tangga C	-	2.2	-	menuju dek 2
MVZ 1-dek 1-tangga D	0.75	2.2	1.65	menuju dek 2

- Dek 2 dan 3 dihubungkan dengan 3 tangga E, F dan G. tangga E dan F masing-masing berada di sisi kiri-kanan dek dan tangga G berada di luar ruangan yang dekat dengan tempat sekoci. 2 koridor dengan 2 pintu menghubungkan kabin sebelah kiri dengan tangga E dan dua koridor dengan 2 pintu menghubungkan kabin sebelah kanan dengan tangga F.

**Tabel 3.27 Ukuran area di dek 2**

item	Wc (m)	length (m)	area (m2)	keterangan
MVZ 1-dek 2-koridor 1	0.8	20.7125	16.57	menuju pintu 1
MVZ 1-dek 2-koridor 2	0.8	20.7125	16.57	menuju pintu 2
MVZ 1-dek 2-pintu 1	0.6	-	-	menuju tangga E
MVZ 1-dek 2-pintu 2	0.6	-	-	menuju tangga F
MVZ 1-dek 2-tangga E	0.75	2.2	1.65	menuju assembly point
MVZ 1-dek 2-tangga F	0.75	2.2	1.65	menuju assembly point
MVZ 1-dek 2-path 1			761	assembly point
MVZ 1-dek 2-path 2			761	assembly point

- Penumpang dari dek 3 menempati *muster station* yang berada di sisi kiri-kanan dek (path 1 dan 2). Sebagian penumpang dari dek 1 dan 2, dengan menggunakan tangga (tangga E, F dan G), juga menempati *muster station* yang menjadi *assembly point* pada evakuasi ini, selain dua *assembly point* yang berada di dek 2 bagian buritan.

**Tabel 3.28 Ukuran area di dek 3**

item	Wc (m)	length (m)	area (m2)	keterangan
MVZ 1-dek 3-koridor 1	0.6	14.51667	8.71	menuju pintu 1
MVZ 1-dek 3-koridor 2	0.6	14.51667	8.71	menuju pintu 2
MVZ 1-dek 3-pintu 1	0.6	-	-	menuju muster station(assembly point)
MVZ 1-dek 3-pintu 2	0.6	-	-	menuju muster station(assembly point)
MVZ 1-dek 3-path 1	2.7	6.611111	17.85	muster station
MVZ 1-dek 3-path 2	2.7	6.611111	17.85	muster station

Distribusi penumpang yaitu 68 penumpang di dek 1 (34 masing-masing di tatami, sisi kiri-kanan dek), 92 penumpang di dek 2 (46 masing-masing menempati tempat duduk di sisi kiri-kanan kapal), dan 37 penumpang di dek 3. Penumpang sedang berada pada tempat duduknya masing-masing dan diasumsikan bergerak secara serentak menuju koridor. Kondisi awal dapat digambarkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.29 Kondisi awal MVZ 2**

MVZ 1-koridor	penumpang	initial density D (p/m <sup>2</sup> )	initial spesific flow Fs (p/(ms))	calculated flow Fc (p/s)	initial speed of person S (m/s)
dek 1-koridor 1					
dek 1-koridor 2	34	2.698413	0.62442	0.374652	0.381343
dek 1-koridor 3					
dek 1-koridor 4	34	2.698413	0.62442	0.374652	0.381343
dek 2-koridor 1	46	2.776101	0.558683	0.446947	0.338333
dek 2-koridor 2	46	2.776101	0.558683	0.446947	0.353256
dek 3-koridor 1	18	2.06659	1.159039	0.695423	0.609771
dek 3-koridor 2	19	2.181401	1.061892	0.637135	0.568263

MVZ-tangga, pintu dan koridor	penumpang(N)		spesific flow Fs in (p/(ms))	maximum spesific flow Fs(p/(ms))	spesific flow Fs (p/(ms))	calculated flow Fc (p/s)	speed of person S (m/s)	antrian	keterangan
	dari rute ini	termasuk dari rute lain							
dek 1-pintu 1	0	0	0	0	0	0	0		
dek 1-tangga A	0	0	0	0	0	0	0		
dek 1-pintu 2	17	34	1.029021	1.3	1.3	0.78	-	ya	dari koridor 1 dan 2
dek 1-tangga B	17	34	1.029021	0.88	0.88	0.66	0.44	ya	dari pintu 2
dek 1-pintu 3	0	0	0	0	0	0	0		
dek 1-tangga C	0	0	0	0	0	0	0		
dek 1-pintu 4	17	34	1.029021	1.3	1.3	0.78	-	ya	dari koridor 3 dan 4
dek 1-tangga D	17	34	1.029021	0.88	0.88	0.66	0.44	ya	dari pintu 4
dek 2-pintu 1	46	80	2.327699	1.3	1.3	0.78	-	ya	dari koridor 1, dari tangga B
dek 2-tangga E	46	80	2.327699	0.88	0.88	0.66	0.44	ya	dari pintu 1
dek 2-pintu 2	46	80	0.980674	1.3	1.3	0.78	-	ya	dari koridor 2, dari tangga D
dek 2-tangga F	46	80	0.980674	0.88	0.88	0.66	0.44	ya	dari pintu 2
dek 3-pintu 1	18	18	2.06659	1.3	1.3	0.78		ya	dari koridor 1
dek 3-pintu 2	19	19	2.181401	1.3	1.3	0.78		ya	dari koridor 2
dek 3-path 1	0	98	2.197144	1.3	1.3	3.51	0.67	ya	ke muster station
dek 3-path 2	0	99	1.581037	1.3	1.3	3.51	0.67	ya	ke muster station

**Tabel 3.30 Perhitungan  $t_F$ ,  $t_{dek}$  dan  $t_{stair}$**

item	penumpang	length L (m)	calculated flow $F_c$ (p/s)	Speed S (m/s)	Flow time $t_F$ (s)	deck or stair time, $t_{deck}$ , $t_{stair}$	Entering
	N				$t_F=N/F_c$	$T=L/S$	
dek 1-koridor 1	0	-	0	0			pintu 1
dek 1-koridor 2	34	21	0.374652	0.381343101	90.7509	55.06851947	pintu 2
dek 1-koridor 3	0	-	0	0			pintu 3
dek 1-koridor 4	34	21	0.374652	0.381343101	90.7509	55.06851947	pintu 4
dek 1-pintu 1	0	-	0	-		-	tangga A
dek 1-pintu 2	34	-	0.78	-	43.5897	-	tangga B
dek 1-pintu 3	0	-	0	-		-	tangga C
dek 1-pintu 4	34	-	0.78	-	43.5897	-	tangga D
dek 1-tangga A	0	2.2	0	0			dek 2
dek 1-tangga B	34	2.2	0.66	0.44	51.5152	5	dek 2
dek 1-tangga C	0	2.2	0				dek 2
dek 1-tangga D	34	2.2	0.66	0.44	51.5152	5	dek 2
dek 2-koridor 1	46	20.7125	0.446947	0.338333046	102.921	61.21926382	pintu 1
dek 2-koridor 2	46	20.7125	0.446947	0.353255652	102.921	58.63317369	pintu 2
dek 2-pintu 1	80	-	0.78	-	102.564	-	tangga E
dek 2-pintu 2	80	-	0.78	-	102.564	-	tangga F
dek 2-tangga E	80	2.2	0.66	0.44	121.212	5	dek 3
dek 2-tangga F	80	2.2	0.66	0.44	121.212	5	dek 3
dek 3-koridor 1	18	14.51667	0.695423	0.609771262	25.8835	23.80674127	muster station
dek 3-koridor 2	19	14.51667	0.637135	0.568262828	29.821	25.5456911	muster station

34 penumpang menuju *assembly point* di dek 2 dan 197 penumpang menuju *assembly point* di dek 3 menggunakan tangga E dan F.

**Tabel 3.31 Perhitungan  $t_{assembly}$**

item	penumpang	length L (m)	calculated flow $F_c$ (p/s)	speed S (m/s)	Flow time $t_F$ (s)	$t_{assembly}$	entering
	N				$t_F=N/F_c$	$t=L/S$	
dek 3-path 1	98	6.611111	3.51	0.67	27.92023	9.867330017	muster station
dek 3-path 2	99	6.611111	3.51	0.67	28.20513	9.867330017	muster station

**Tabel 3.32 Perhitungan T**

escape route pada	T <sub>dek</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>stair</sub>	t <sub>assembly</sub>	t <sub>I</sub>	T
dek 3	26	30	0	10	66	151.8
dek 2	61	121	5	10	197	453.1
dek 1	55	91	10	10	161	381.8

Jadi: T = 453,1 sekon = 7.5 menit

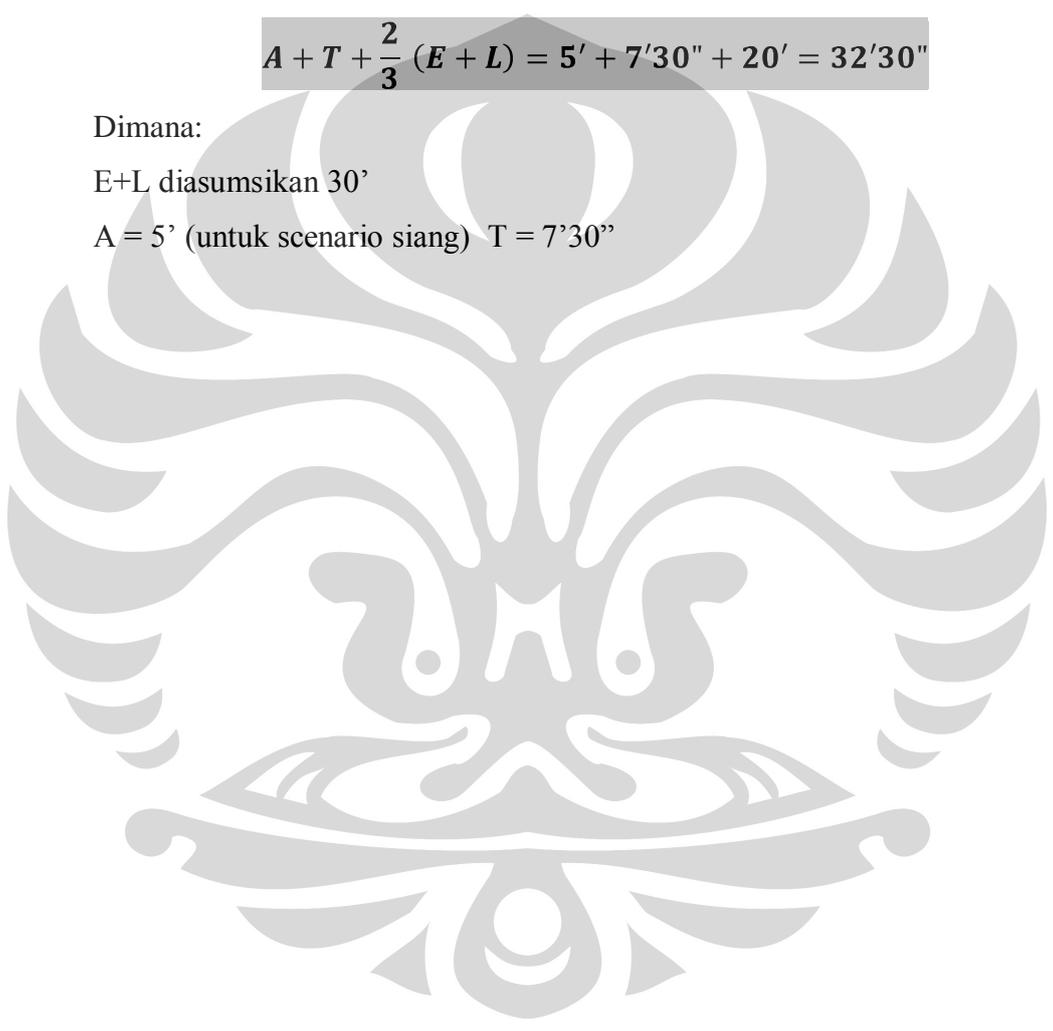
Waktu evakuasi total, menurut Interim Guidelines adalah:

$$A + T + \frac{2}{3}(E + L) = 5' + 7'30'' + 20' = 32'30''$$

Dimana:

E+L diasumsikan 30'

A = 5' (untuk scenario siang) T = 7'30''



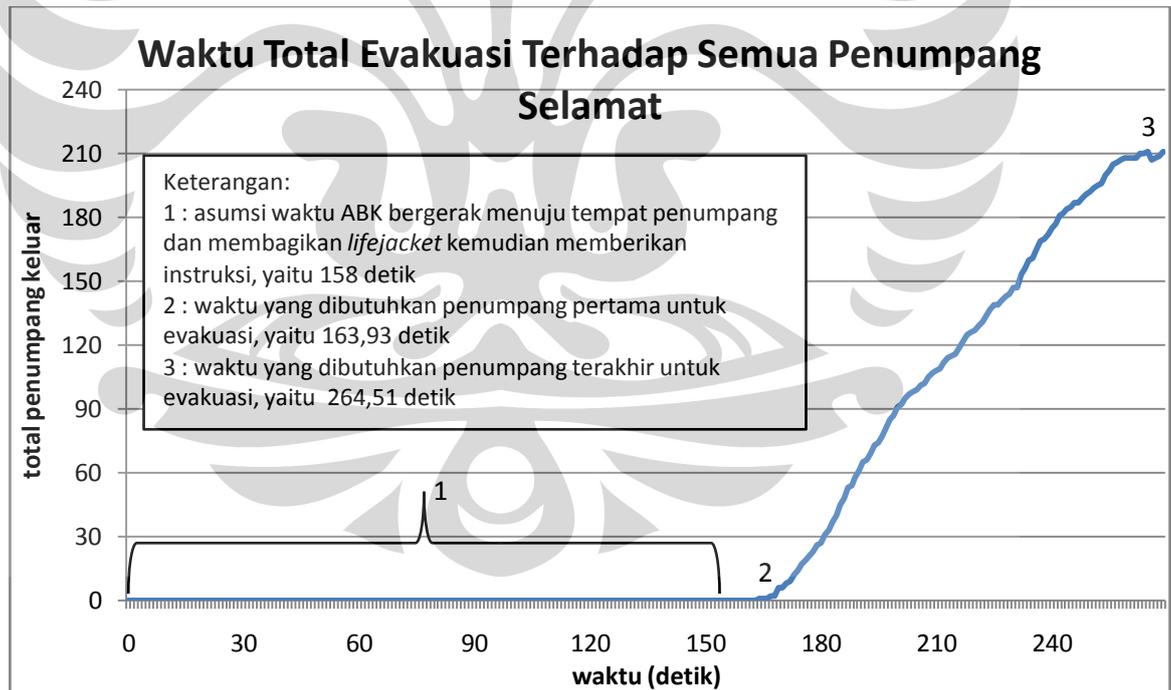
## BAB 4

### ANALISA HASIL PEMODELAN EVAKUASI

#### 4.1. WAKTU EVAKUASI HASIL PEMODELAN

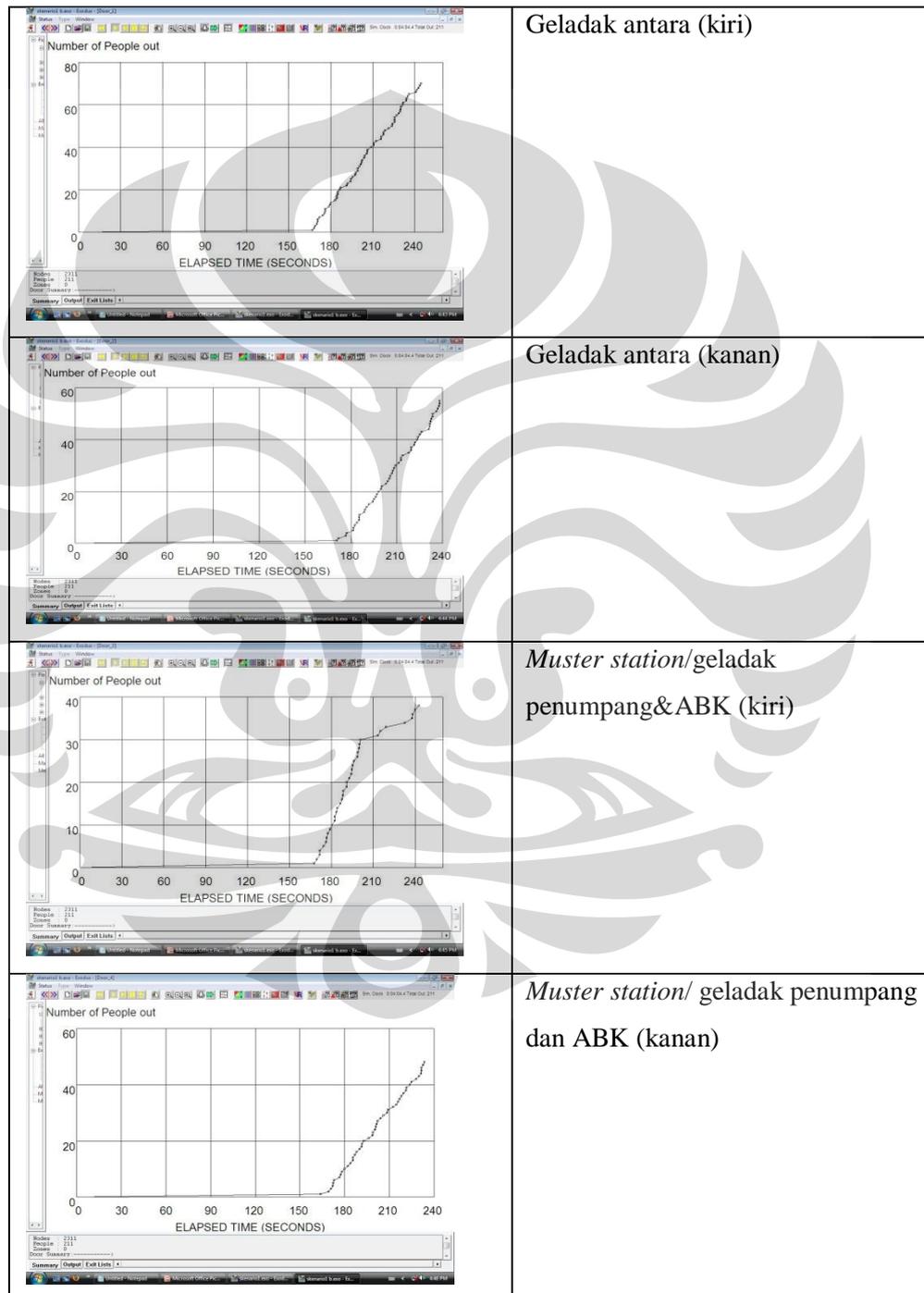
##### 4.1.1. Skenario pertama

Waktu yang dibutuhkan untuk mengevakuasi 197 penumpang kapal *ferry* ro-ro 500 GT, panjang kapal keseluruhan 40,1 m dan lebar 11,6 m, yang tersebar di 3 geladak dengan 4 akses tangga dari geladak kendaraan ke geladak antara dan 3 akses tangga dari geladak antara ke geladak penumpang dan ABK serta 4 assembly point (masing-masing 2 di geladak antara dan geladak penumpang & ABK) adalah 269 detik atau 4,48 menit.

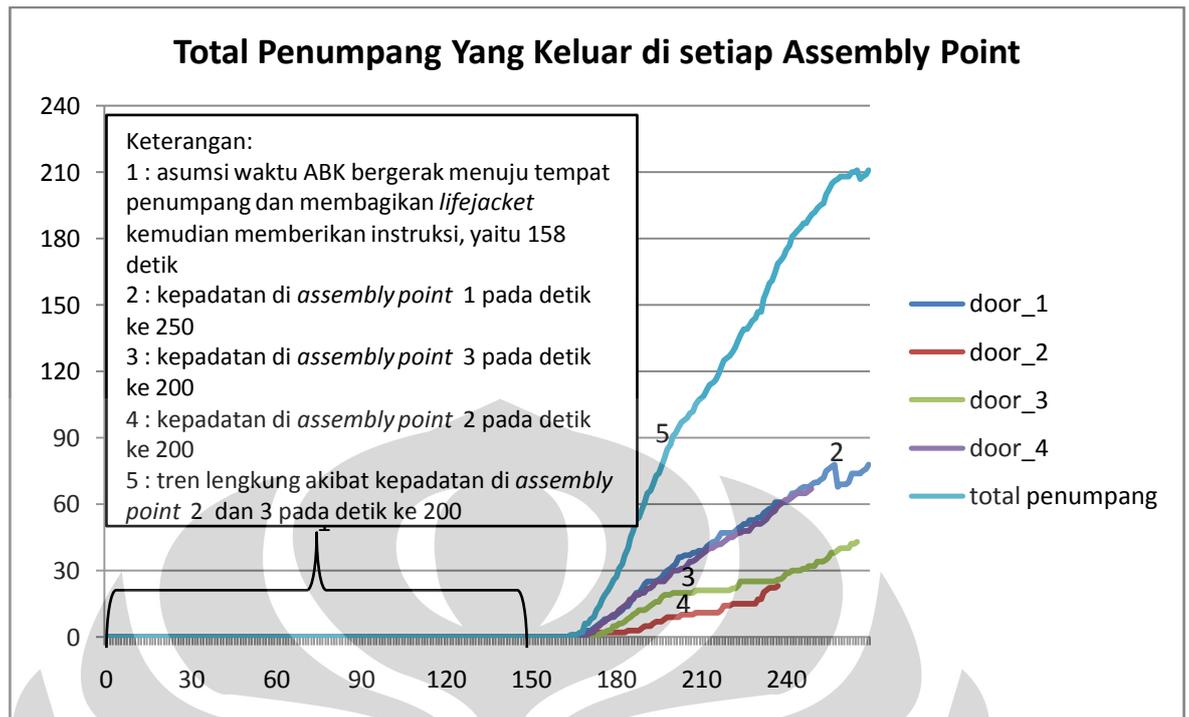


**Grafik 4.4 Waktu total evakuasi terhadap semua penumpang selamat pada skenario pertama**

Dari grafik 4.1 dapat disimpulkan bahwa tidak ada halangan yang berarti bagi penumpang untuk melakukan evakuasi seperti kepadatan, ada *obstacle* dan lain-lain. Hal ini terlihat dari tren garis yang konstan naik setelah detik ke 158 (waktu asumsi lama ABK ke tempat penumpang, membagikan *lifejacket* dan memberikan instruksi untuk evakuasi).



**Grafik 4.5 Waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap *assembly point* pada skenario pertama**



**Grafik 4.6 Waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap *assembly point* dan total penumpang yang keluar pada skenario pertama**

Pada grafik 4.3, tren yang terbentuk pada garis “total penumpang” adalah konstan naik kemudian melengkung di detik ke 200 dan kembali konstan naik sampai di detik ke 250 yang kemudian membentuk lengkungan. Dapat diartikan bahwa di awal evakuasi, jumlah penumpang yang berhasil mencapai *assembly point* terus bertambah, hingga pada detik ke 200 terjadi penurunan karena adanya antrian di pintu dan tangga yang menuju ke *assembly point* 3 dan 4 (lihat titik 3 dan 4 pada grafik 4.3), dan yang menuju ke *assembly point* 1 pada detik ke 250 (lihat titik 2).

Dari gambaran garis tersebut dapat dijelaskan bahwa penumpang yang berada di geladak antara lebih banyak yang memilih *assembly point* 1 dibandingkan dengan *assembly point* 2 yang sama-sama berada di geladak antara, hal ini terlihat dari panjang garis konstan naik “*door\_1*” melebihi panjang garis konstan naik “*door\_2*”. Penumpang dari geladak kendaraan ada yang langsung menuju *assembly point* 2 dan bertemu dengan penumpang dari geladak antara sehingga terjadi antrean di pintu, terlihat dari garis mendatar yang terbentuk,

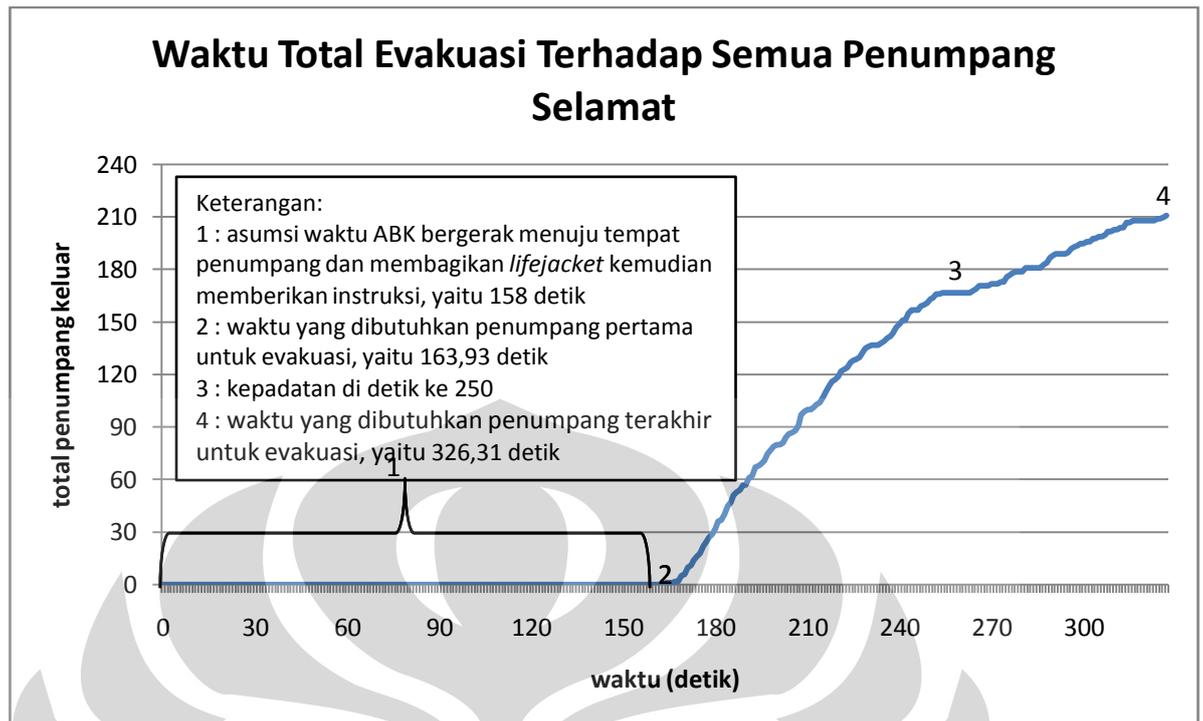
sedangkan pada garis “*door\_1*” yang menurun dan membentuk lembah digambarkan bahwa penumpang dari geladak kendaraan dan dari geladak antara bertemu sehingga terjadi antrean. Hal ini dapat terjadi dikarenakan letak atau tata ruang yang menuju *assembly point* tersebut lebih memungkinkan untuk dilewati dan jarak yang lebih dekat daripada *assembly point 2*.

Penumpang yang memilih *assembly point 3* berasal dari geladak penumpang dan ABK dan sebagian dari penumpang di geladak antara memilih *assembly point* yang sama sehingga terjadi kepadatan karena antrean (*congested*), terlihat dari garis yang mendatar di detik-detik awal evakuasi (detik ke-200). Sedangkan pada grafik *assembly point 4* memiliki garis yang hampir sama dengan grafik *assembly point 1*. Hal ini dimungkinkan karena tata ruang dan jarak menuju kedua *assembly point* itu hampir sama dan hampir mirip.

#### 4.1.2. Skenario kedua

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya bahwa pada skenario kedua, dua akses tangga dari geladak kendaraan menuju geladak antara tidak dapat berfungsi (di buritan kiri dan kanan) sehingga penumpang dari geladak tersebut hanya menggunakan 2 akses tangga di haluan kiri dan kanan.

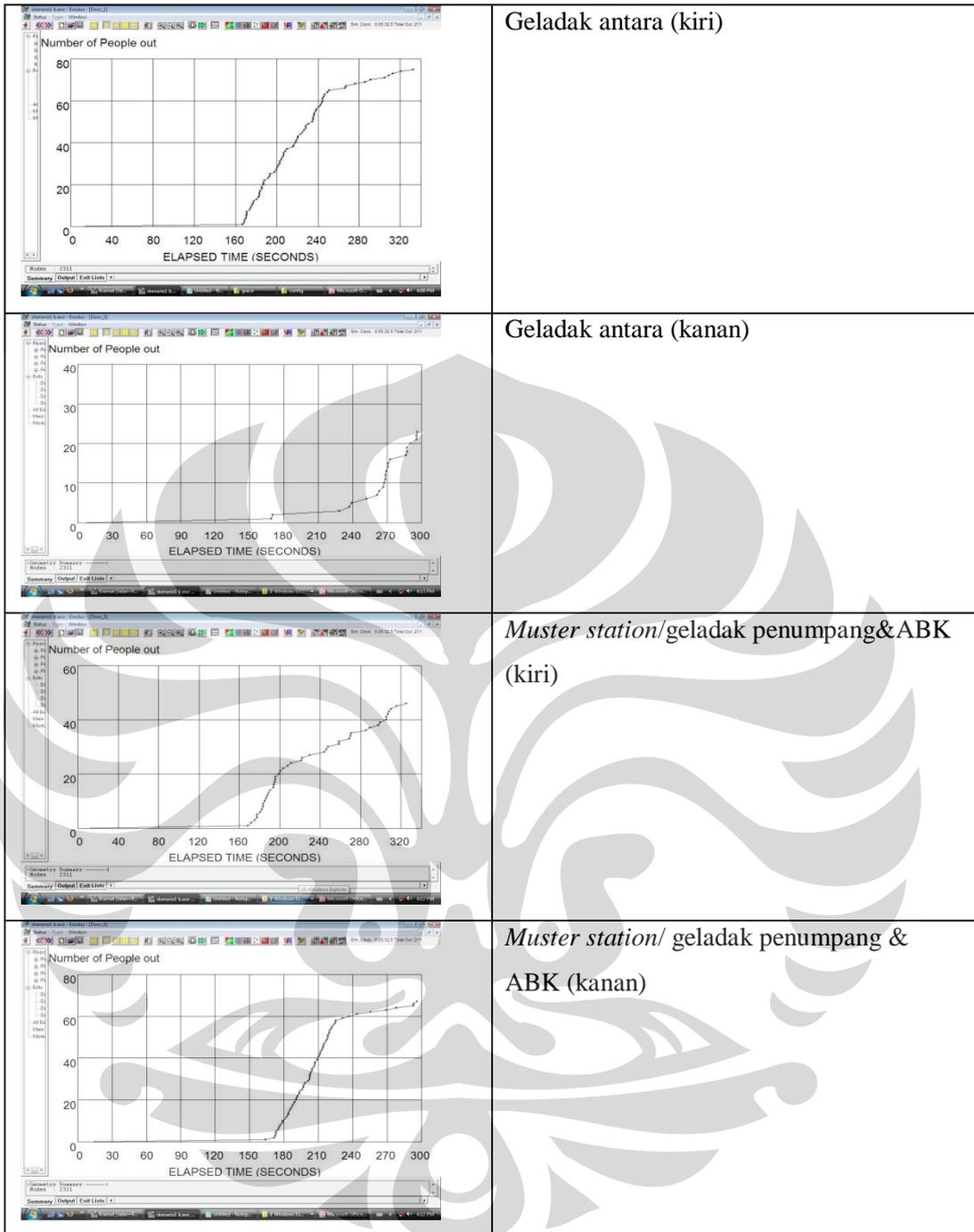
Waktu yang dibutuhkan untuk mengevakuasi 197 penumpang kapal *ferry* ro-ro 500 GT, panjang kapal keseluruhan 40,1 m dan lebar 11,6 m, yang tersebar di 3 geladak dengan 2 akses tangga dari geladak kendaraan ke geladak antara dan 3 akses tangga dari geladak antara ke geladak penumpang & ABK serta 4 *assembly point* (masing-masing 2 di geladak antara dan geladak penumpang & ABK) adalah 327 detik atau 5,45 menit.



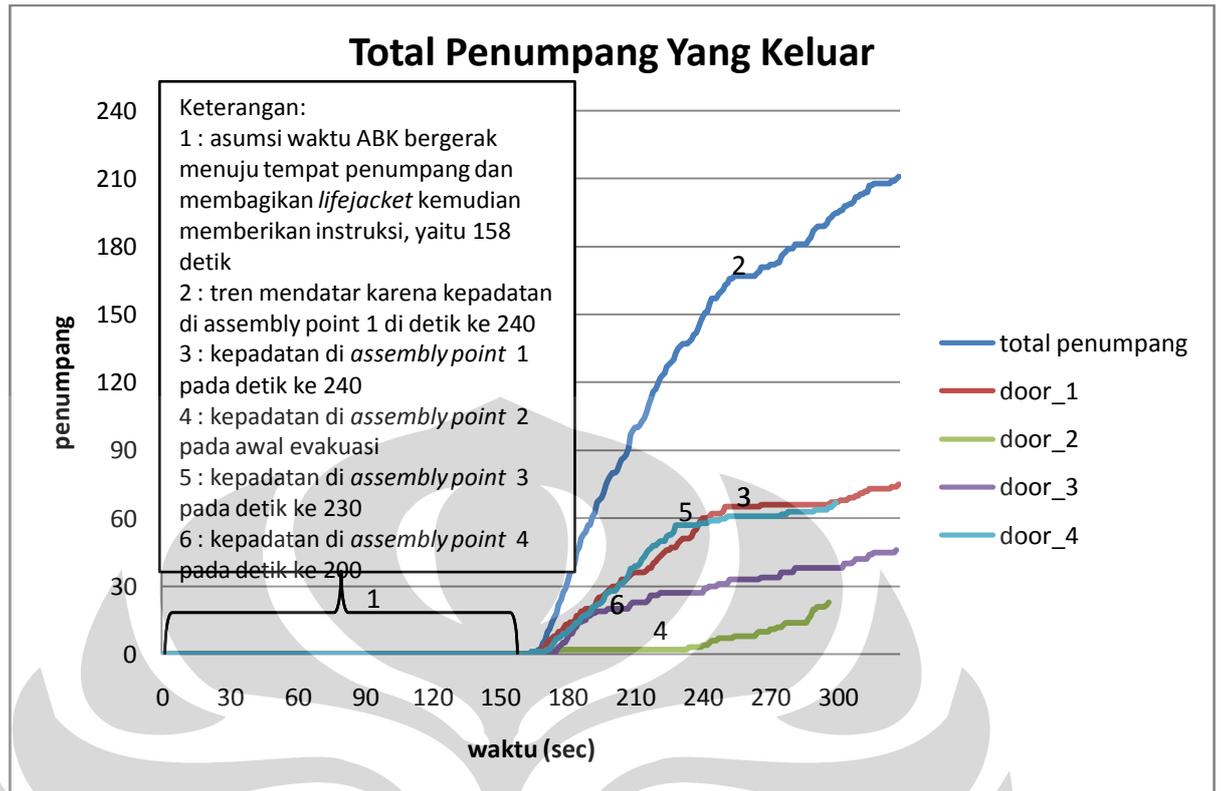
**Grafik 4.7 Waktu total evakuasi terhadap semua penumpang selamat pada skenario kedua**

Grafik 4.4 menggambarkan tren garis yang melengkung sampai di detik ke 250 kemudian mendatar sampai di detik ke 260 dan dilanjutkan dengan tren konstan naik sampai akhir evakuasi di detik ke 326. Grafik ini menggambarkan bahwa pada detik ke 250 sampai dengan 260 tidak ada penumpang yang berhasil sampai ke *assembly point* karena terjadi antrean dan kemungkinan saling ingin mendahului yang makin memperlambat proses evakuasi. 2 akses tangga di geladak kendaraan yang tidak berfungsi, mempengaruhi waktu total evakuasi penumpang kapal.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat kepadatan selama kurang lebih 10 detik dari detik ke 250 sampai detik ke 260. Oleh karena 2 tangga di geladak kendaraan tidak berfungsi maka orang pertama yang terevakuasi memiliki waktu yang lebih lama bila dibandingkan dengan skenario pertama.



**Grafik 4.8 Waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap *assembly point* pada skenario kedua**



**Grafik 4.9 Waktu evakuasi terhadap semua penumpang selamat tiap *assembly point* dan total penumpang yang keluar pada skenario kedua**

Grafik 4.6 menggambarkan secara detail di *assembly point* mana terjadi kepadatan sehingga mempengaruhi grafik total penumpang yang berhasil terevakuasi.

Penumpang dari geladak kendaraan yang menuju geladak di atasnya hanya menggunakan dua akses tangga sehingga penumpang akan menumpuk hanya di satu sisi saja dan ditambah lagi dengan penumpang dari geladak antara. Itu sebabnya mengapa garis “*door\_1*” dan “*door\_2*” memiliki bagian yang mendatar cukup panjang, begitu pula dengan “*door\_3*” dan “*door\_4*”. Itulah sebabnya pada garis “total penumpang” terdapat bagian yang mendatar di detik ke-240.

Jika dibandingkan antara *assembly point* 1 dan 2, terlihat bahwa saat di *assembly point* 2 terjadi kepadatan, tidak terjadi pada *assembly point* 1 tetapi kemudian terjadi sebaliknya, di *assembly point* 1 terjadi kepadatan tetapi *assembly point* 2 sudah melewatinya dan jumlah penumpang yang keluar menjadi

meningkat kembali. Dapat dikatakan bahwa pada saat di pintu menuju *assembly point* 2 terjadi antrean, penumpang mencari *exit* lain dan satu-satunya *exit* selain itu adalah *assembly point* 1, sehingga penumpang menuju ke *assembly point* 1 dan terjadilah kepadatan di jalan menuju *assembly point* 1 yang mengakibatkan terbentuknya garis tersebut di atas.

## 4.2. ANALISA KEPADATAN

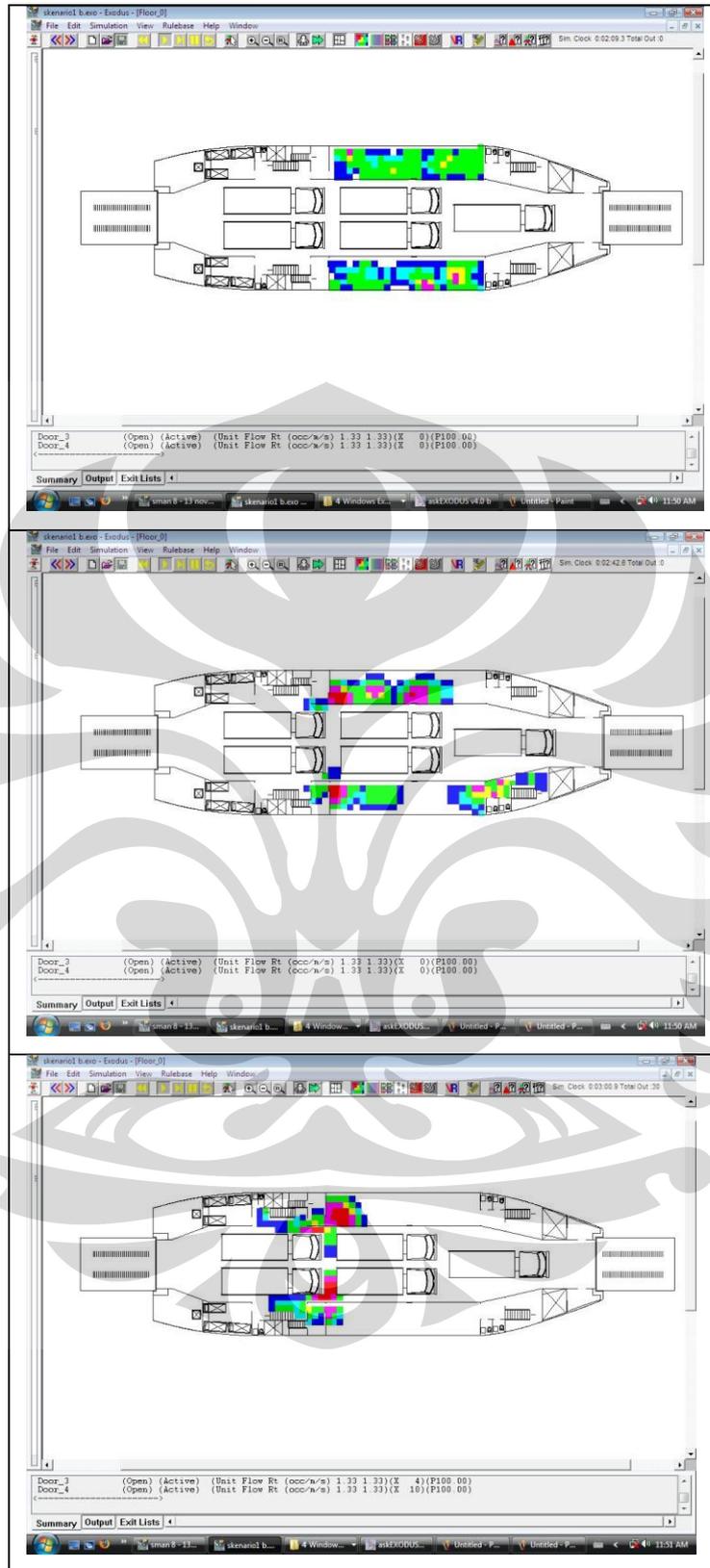
### 4.2.1. Skenario pertama

Pada skenario pertama, kepadatan penumpang banya terjadi di tangga dan pintu dikarenakan ukuran tangga dan pintu hanya cukup untuk dilewati satu orang, 0,75 m dan 0,6 m sehingga kepadatan tidak terhindarkan.

Pada geladak kendaraan, kepadatan terjadi di pintu darurat menuju tangga tetapi tidak terlalu lama. Hal ini dikarenakan terdapat 4 akses tangga menuju geladak antara untuk dilewati oleh 68 penumpang. Untuk mengetahui letak kepadatan yang terjadi di geladak kendaraan, berikut gambar hasil pemodelan pada menit ke dua, tiga dan empat.

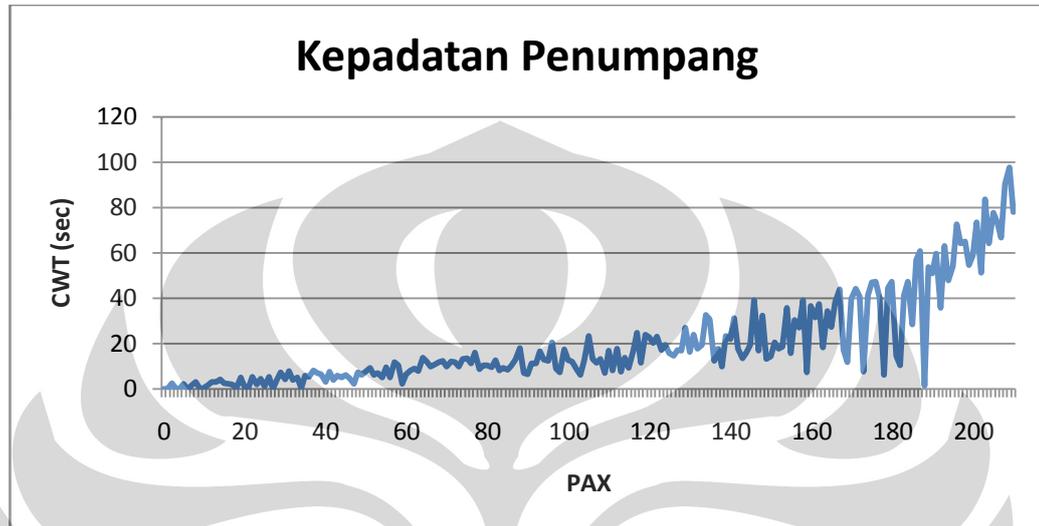
Gambar di bawah ini menunjukkan kepadatan saat terjadi evakuasi di geladak kendaraan. Warna merah menunjukkan adanya antrean penumpang yang akan melewati jalan dengan lebar terbatas. Dapat dilihat bahwa kepadatan terjadi di pintu menuju tangga darurat karena lebar pintu 0,6 m, hanya cukup untuk satu orang.

Gerakan penumpang dan pemilihan jalan tidak ditentukan oleh data input tetapi di set random berdasarkan jarak terdekat dengan *assembly point* sehingga jumlah penumpang yang memakai tangga satu tidak sama jumlahnya dengan penumpang yang memakai tangga lainnya.



**Gambar 4.13** Kepadatan penumpang pada geladak kedaraan saat 2:08, 2:42, 3:09

Grafik kepadatan untuk skenario pertama dapat dilihat dari CWT (cumulative waiting time) dari tiap penumpang. CWT menggambarkan berapa lama waktu seorang penumpang menunggu sampai dapat bergerak lagi dari keadaan diam atau menunggu.

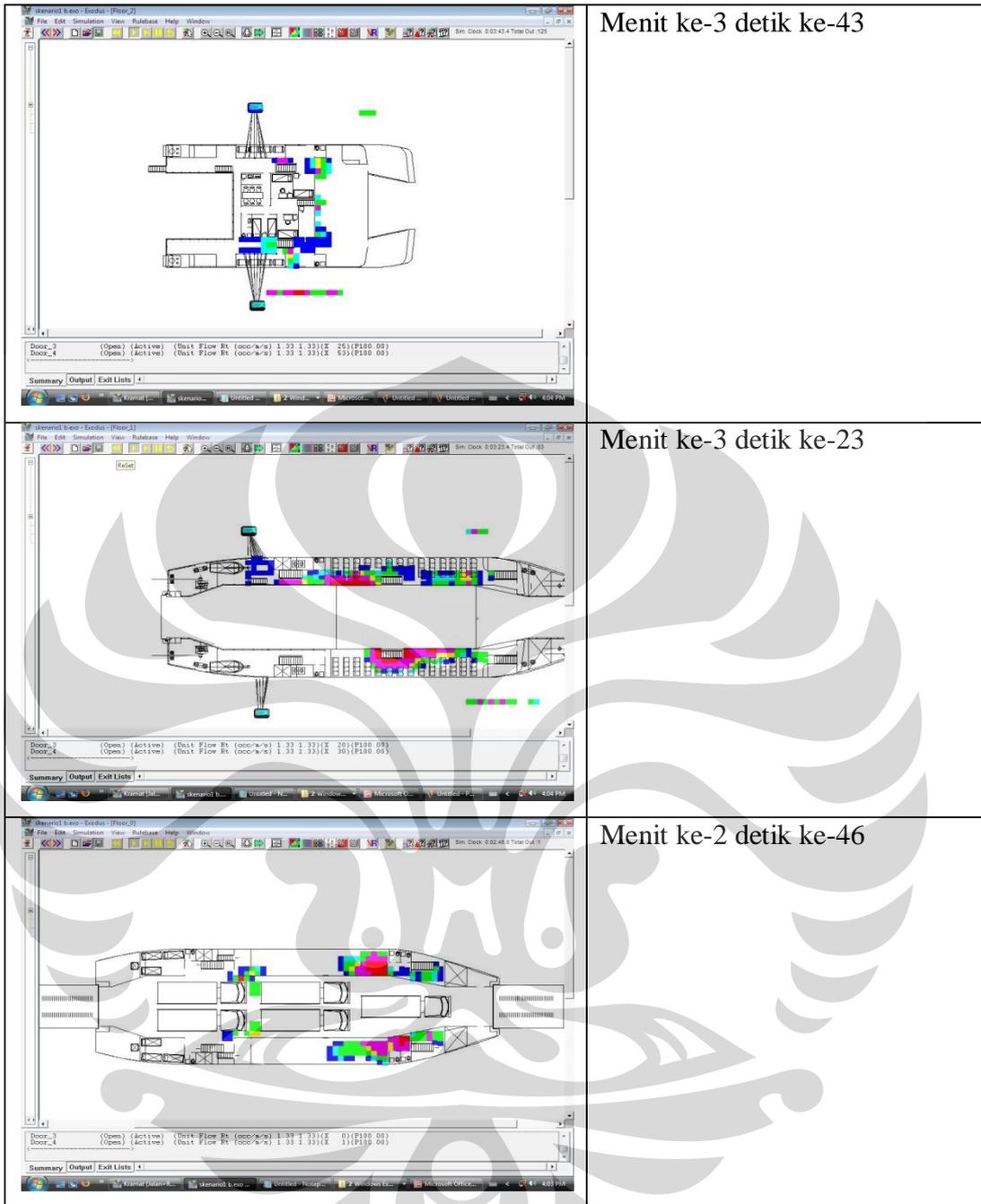


**Grafik 4.10 Kepadatan penumpang skenario pertama**

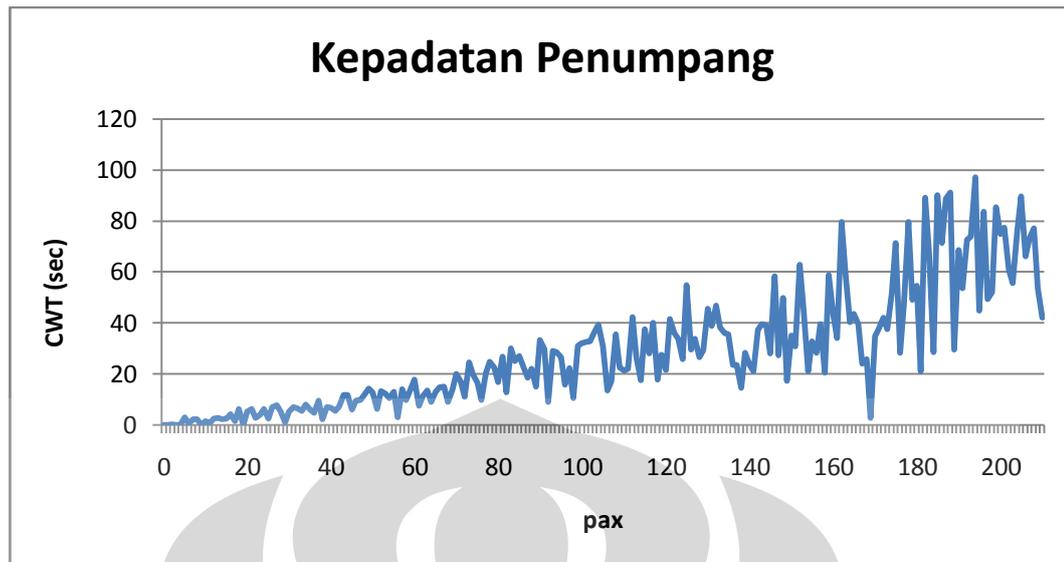
Dari grafik diatas terlihat bahwa kepadatan yang terlihat dari waktu tunggu seorang penumpang, mempengaruhi waktu evakuasi seseorang. Semakin tinggi waktu tunggu maka waktu evakuasi pun semakin tinggi atau besar dan sebaliknya.

#### 4.2.2. Skenario kedua

Di geladak kendaraan, terdapat kepadatan di tangga menuju geladak antara. Hal ini terjadi karena hanya terdapat 2 akses tangga yang tidak berfungsi yaitu tangga di bagian buritan geladak, sisi kiri dan kanan, sehingga kepadatan terjadi lebih lama dari skenario pertama.



**Gambar 4.14** Kepadatan penumpang tiap geladak pada skenario kedua



**Grafik 4.11 Kepadatan penumpang skenario kedua**

#### **4.3. WAKTU EVAKUASI HASIL PERHITUNGAN MANUAL**

Dari perhitungan yang dilakukan menggunakan rumus *means of escape* dan Interim Guidelines IMO MSC Circular 1033, hasil yang didapat adalah 6,8 menit untuk scenario pertama dan 7,5 menit untuk scenario kedua.

Perhitungan didasarkan pada prinsip hidrolis, dimana koridor dan tangga sebagai pipa, pintu dan pembatas secara umum sebagai *valve* atau katup dan *public space* sebagai tangki. Saat penumpang akan melewati pintu atau tangga yang memiliki lebar terbatas, maka akan terjadi *bottleneck*, atau peyempitan zona berjalan sehingga akan terjadi antrian untuk melewati pintu atau tangga dan akan terjadi kepadatan.

Nilai waktu evakuasi didapat dari menghitung waktu evakuasi tiap geladak. Nilai yang paling besar setelah dikali dengan *safety factor* 2,3, dinyatakan sebagai waktu evakuasi seluruh kapal.

Karena *evacuation drill* di kapal ini tidak dilakukan maka penulis tidak dapat membandingkan hasil dari perhitungan manual dengan hasil di lapangan, tetapi hasil perhitungan manual waktu evakuasi kapal ferry ro-ro 500 GT ini telah memenuhi aturan SOLAS, sekalipun telah dikali dengan *safety factor* sebesar 2,3.

#### 4.4. WAKTU EVAKUASI TERBAIK

Waktu evakuasi dari hasil pemodelan lebih kecil dari hasil perhitungan manual. Untuk scenario pertama, hasil pemodelan adalah 4,48 menit sedangkan dengan perhitungan manual didapat 6,8 menit dan untuk skenario kedua, hasil pemodelan adalah 5,45 menit sedangkan dengan perhitungan manual didapat 7,5 menit.

Perbedaan hasil waktu evakuasi cukup besar yaitu sekitar 2 menit. Hal ini dapat saja terjadi dikarenakan pada perhitungan manual, penjumlahan waktu di dek ( $T_{dek}$ ), waktu di tangga, waktu yang dibutuhkan menuju *assembly point* ( $t_{assembly}$ ) dan *flow time* ( $t_f$ ), dikalikan dengan *safety factor*, 2.3.

Dari hasil kedua metode ini dapat disimpulkan bahwa pada perhitungan manual, aspek yang diperhatikan hanya aspek *geometry* sedangkan pada pemodelan simulasi tidak hanya memperhatikan aspek *geometry* tetapi juga aspek *behavior* dan *procedural*

#### 4.5. KESESUAIAN DENGAN ATURAN SOLAS

Dari hasil pemodelan simulasi evakuasi penumpang kapal Ferry ro-ro 500 GT, waktu yang dihasilkan sudah memenuhi aturan SOLAS yaitu maksimum 30 detik. Namun harus diperhatikan waktu tidak terduga yang mempengaruhi lamanya waktu evakuasi seperti *human behavior*, *environment* dan *fire hazard*.

Human behavior seperti keadaan panik yang mempengaruhi *response time* penumpang, pemilihan *escape route* dan kecepatan berlari. Kapasitas *assembly point* juga mempengaruhi waktu total evakuasi karena penumpang akan mengambil *assembly point* lain jika tidak memungkinkan untuk berada di *assembly point* tersebut. Bahaya api seperti asap dan racun yang dihasilkan juga dapat berpengaruh pada kecepatan bejalan penumpang yang pada akhirnya mempengaruhi total waktu evakuasi.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Waktu evakuasi baik dengan penghitungan manual maupun dengan pemodelan simulasi, keduanya memenuhi syarat maksimum waktu evakuasi yang ditentukan oleh SOLAS untuk kapal penumpang jenis Ferry ro-ro
2. Perhitungan manual hanya memperhatikan aspek geometry sedangkan pemodelan simulasi selain memperhatikan aspek geometry juga aspek behavior dan prosedural
3. Jumlah assembly point/muster station (tempat berkumpulnya penumpang saat keadaan darurat) mempengaruhi waktu evakuasi penumpang. Semakin banyak *assembly point*, maka waktu yang diperlukan untuk evakuasi (T) semakin kecil
4. Perbedaan asumsi mempengaruhi hasil pemodelan simulasi

#### **5.2. Saran**

1. Pemodelan simulasi hendaknya dilanjutkan dengan *evacuation drill* (latihan evakuasi) untuk membandingkan waktu evakuasi hasil pemodelan dengan kenyataan di lapangan.
2. Pemodelan sebaiknya menggunakan software yang dikhususkan untuk geometri kapal, sehingga aspek yang diteliti dan hasil pemodelan dapat mendekati dengan keadaan real di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Buchanan, A.H., Means of Escape, in Fire Engineering Design Guide, Centre for Advance Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 2001.
2. Galea E.R., Gwynne .S., Lawrence .P.J., Filippidis .L. and Blackshields .D., buildingEXODUS V4.0 Guide and Technical Manual, Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich, UK, 2004.
3. G. Sharp, Gwynne. S., E.R. Galea, The Effect Of Ship Motion On The Evacuation Process, Maritime And Coastguard Agency Research Project 490 phase I, Fire Safety Engineering Group University of Greenwich, UK, 2003.
4. IMO MSC Circular 1033, June 2002 “Interim Guidelines For Evacuation Analysis For New And Existing Passenger Ship”.
5. International Maritime Organization, *Convention for safety of life at sea (SOLAS) – Consolidated Edition*, William Clowes Ltd, Beccles, Suffolk (London 2004).
6. Klassen, Mike. 2001. *buildingEXODUS Computer Models*
7. Owen, M., Galea, E.R., and Lawrence, P. Advanced Occupant Behavioural Features of the buildingEXODUS Evacuation Model. Fire Safety Science- Proc. of the Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, 1997.
8. Peraturan Pemerintah No.51 tahun 2002 tentang perkapalan.
9. Pu Shi, Zlatanova Sisi, Evacuation Route Calculation Of Inner Building, Delft University of Technology, OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, Netherlands, 2005
10. P:\www>List of MSC Circulars.doc

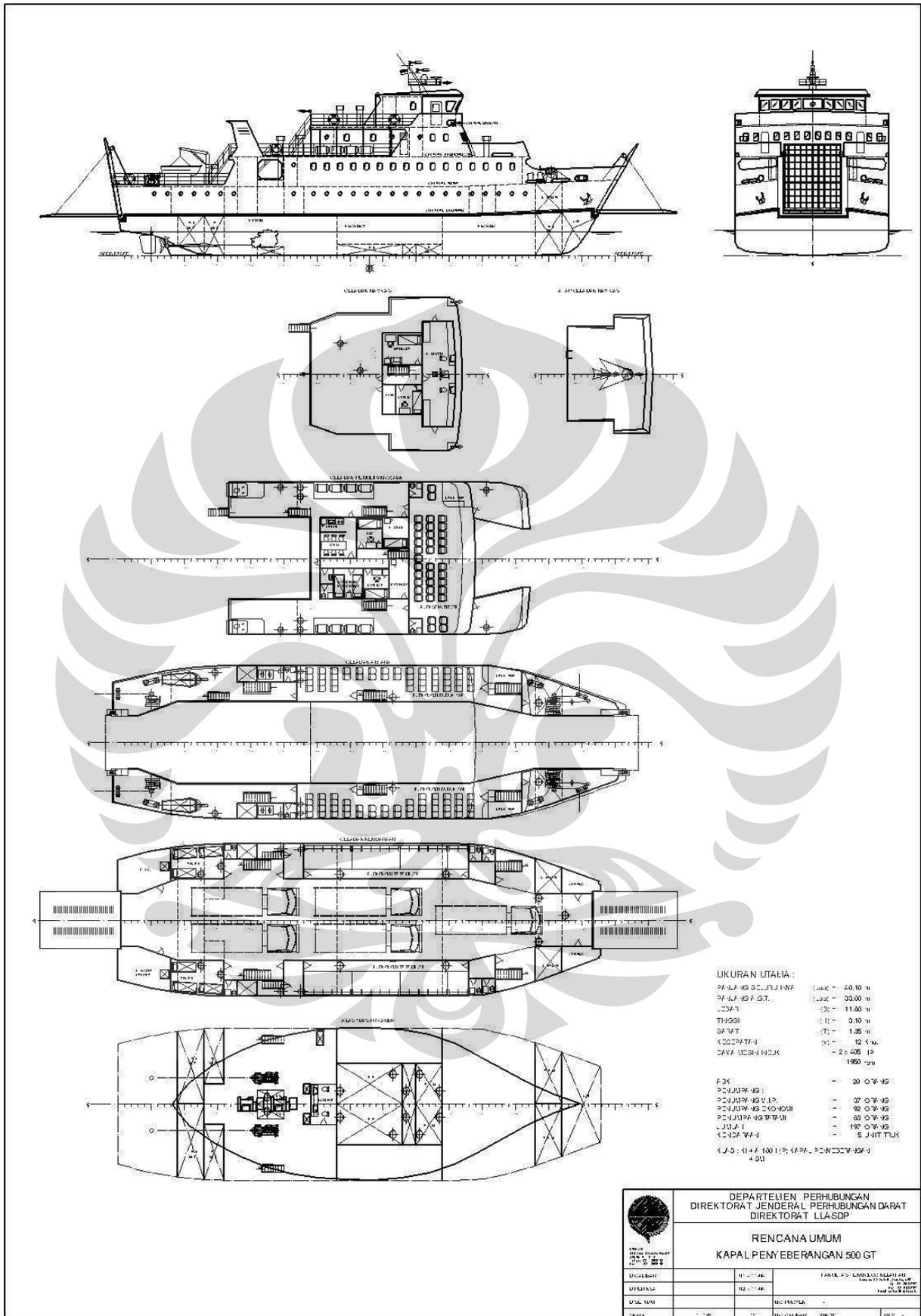
11. Schreckenber M, König T.M And Klüpfel. H, Simulating Mustering And Evacuation Processes Onboard Passenger Vessels: Model And Applications, Physic Of Transport And Traffic And Institute Of Ship Technology, Gerhard-Mercator-University, Germany, 2001.
12. SFPE Fire Protection Engineering Handbook, 2<sup>nd</sup> edition, NFPA 1995 (land-based stairs, corridors and doors in sivil building)





# LAMPIRAN 1

*General arrangement kapal ferry ro-ro 500 GT*





## **LAMPIRAN 2**

Summary output dari buildingEXODUS skenario 1

\_\_\_ Output 1 \_\_\_\_\_

Evacuees

Found statistics for the following files:

1D:\grace\skenario 1.sim

Results Data for all simulations

Level	Age	weight	Agility	Fwalk Rt	Patience	CWT	Distance	PET
2.00	54.00	41.69	3.22	1.83	3.97	0.00	6.82	163.93
1.00	40.00	53.10	3.70	1.07	4.23	0.00	7.16	166.96
1.00	23.00	66.72	3.52	1.33	1.00	0.29	9.49	168.37
1.00	56.00	55.66	4.85	1.13	1.00	0.00	8.25	168.39
1.00	56.00	44.08	3.39	1.26	3.26	2.18	7.62	168.84
1.00	39.00	71.00	6.74	1.03	2.84	0.00	8.68	168.87
1.00	47.00	61.31	4.75	1.61	1.39	3.23	8.60	170.42
1.00	26.00	58.04	3.42	1.36	3.71	0.00	9.87	170.89
1.00	46.00	74.07	4.64	0.99	2.08	1.01	9.44	171.11
2.00	59.00	55.53	3.02	1.12	4.00	0.59	13.57	172.04
1.00	23.00	76.83	2.17	1.50	1.11	3.69	11.95	172.06
2.00	22.00	70.87	4.39	1.42	3.94	2.26	12.10	172.53
1.00	17.00	75.46	4.34	1.34	3.93	3.60	11.53	173.16
1.00	43.00	87.15	2.59	1.08	4.57	0.00	10.31	173.66
2.00	49.00	54.66	4.54	0.96	3.01	1.31	11.24	174.52
1.00	26.00	79.51	2.53	1.24	2.15	5.62	10.80	174.87
2.00	23.00	69.09	3.16	1.24	2.37	0.92	16.90	174.98
1.00	29.00	64.95	3.46	1.28	4.74	4.78	13.22	175.81
1.00	41.00	72.57	4.45	1.07	4.14	3.85	11.49	175.97
2.00	26.00	44.80	4.91	1.49	2.67	6.40	12.95	176.15
1.00	32.00	69.65	5.70	1.15	1.53	4.82	11.93	176.99
1.00	42.00	43.06	3.94	1.11	2.69	3.67	14.01	177.17
2.00	39.00	44.10	3.79	1.35	2.21	5.03	13.57	177.19
2.00	54.00	75.91	3.90	0.83	3.05	0.93	13.95	178.13
2.00	21.00	57.22	2.93	1.37	3.28	5.68	13.04	178.22
1.00	17.00	69.73	2.52	1.10	1.33	4.51	13.20	178.34
1.00	54.00	88.90	4.90	0.84	4.52	4.09	12.27	179.84
1.00	18.00	72.80	3.91	1.31	1.12	7.02	13.07	180.19
2.00	20.00	78.22	4.22	1.04	2.05	5.82	11.74	180.19
1.00	43.00	55.82	3.40	1.45	3.94	12.54	11.18	180.64
2.00	56.00	80.23	4.09	0.79	1.65	2.22	13.66	180.94
1.00	42.00	58.92	3.46	1.39	1.74	9.77	13.95	181.02
2.00	29.00	73.67	5.40	1.36	1.33	7.64	14.60	181.10
1.00	22.00	62.53	4.48	1.20	1.14	12.74	10.66	182.13
1.00	31.00	42.37	5.10	1.14	2.44	8.46	14.65	182.34
2.00	57.00	54.91	4.81	0.94	2.69	5.90	15.07	182.62
2.00	71.00	68.40	4.87	0.85	3.28	4.31	14.98	182.67
2.00	64.00	66.17	3.08	0.86	3.65	6.41	10.83	183.46
2.00	26.00	81.61	4.12	0.97	1.21	4.01	17.98	183.82
0.00	18.00	72.26	5.35	1.55	3.51	4.39	24.83	183.87
1.00	57.00	82.19	6.69	0.98	2.56	11.76	11.38	184.14
1.00	31.00	81.95	5.97	1.31	4.89	11.81	12.71	184.16
2.00	31.00	66.69	2.15	1.01	2.35	5.62	14.86	184.38
1.00	20.00	80.65	2.09	1.02	2.97	10.09	13.66	184.47
2.00	45.00	42.07	3.53	1.07	3.95	10.32	13.45	184.64
2.00	39.00	51.26	3.23	1.19	4.74	11.78	11.95	185.11
1.00	24.00	52.73	2.31	1.52	3.43	10.67	21.36	185.82
1.00	19.00	50.59	2.81	1.50	4.57	12.93	17.74	185.95
0.00	21.00	87.31	3.68	1.23	0.00	8.73	20.47	186.01
1.00	48.00	56.90	2.12	0.85	2.81	8.56	13.26	186.21
0.00	49.00	55.12	4.88	1.47	3.58	4.88	26.84	186.65
2.00	49.00	51.07	3.56	1.19	4.91	8.01	17.49	186.80
2.00	26.00	47.23	3.30	1.67	4.65	13.98	17.51	186.91
2.00	41.00	89.39	4.13	1.08	3.92	8.58	16.06	187.83
1.00	22.00	83.94	3.27	1.23	1.47	12.26	18.22	188.18
0.00	20.00	67.63	5.27	1.43	3.25	5.98	27.53	188.54
1.00	48.00	54.94	2.94	1.05	3.91	12.03	13.11	188.67
0.00	43.00	66.59	6.86	1.84	0.00	10.43	19.64	188.93
1.00	18.00	75.62	6.27	1.54	2.89	17.75	16.55	189.31
1.00	31.00	89.96	3.61	1.43	1.88	13.31	20.90	189.72
0.00	36.00	59.81	5.87	1.60	0.00	14.82	17.42	189.95
1.00	23.00	59.84	4.43	1.34	3.53	17.87	13.79	190.52
1.00	25.00	67.48	2.88	0.98	2.33	13.86	14.78	190.56
1.00	36.00	67.13	3.29	1.11	1.43	17.19	13.98	190.79
2.00	69.00	81.96	3.98	1.14	1.47	12.60	16.16	190.90
2.00	72.00	48.47	2.43	0.63	3.81	4.34	16.28	191.24
2.00	37.00	41.77	4.85	1.17	1.85	17.77	13.07	192.00
0.00	45.00	45.29	3.51	1.18	2.06	3.67	26.34	192.59
2.00	24.00	44.76	4.67	1.22	3.13	19.72	12.24	192.87
1.00	26.00	89.81	3.00	1.29	1.79	18.43	15.41	193.44
0.00	40.00	53.99	4.88	1.52	3.81	10.09	26.83	193.58

2.00	27.00	82.13	2.42	1.10	1.28	17.02	16.36	193.81
1.00	23.00	62.69	4.07	1.29	4.19	19.26	15.68	193.99
1.00	64.00	77.75	3.43	0.78	3.80	11.84	16.79	194.96
2.00	41.00	45.83	3.83	0.97	2.09	12.42	18.07	195.32
2.00	44.00	44.86	3.50	1.41	2.53	21.25	15.16	195.38
0.00	23.00	83.82	4.26	1.34	3.52	8.14	28.31	195.91
2.00	39.00	78.54	6.45	1.34	3.58	19.29	18.78	196.34
0.00	60.00	53.43	3.98	1.13	0.00	14.63	21.45	196.58
1.00	32.00	81.88	4.75	1.19	2.16	17.97	20.14	196.75
0.00	37.00	71.66	4.39	1.23	1.33	11.24	27.42	196.97
2.00	60.00	52.53	3.65	0.57	4.88	9.24	12.45	197.09
1.00	41.00	76.66	6.51	1.18	1.58	19.11	19.43	197.09
2.00	21.00	43.43	5.69	1.41	2.40	22.02	17.30	197.39
0.00	45.00	40.89	3.67	1.49	4.83	11.49	30.39	197.41
1.00	34.00	56.25	5.92	1.28	1.72	19.83	20.86	198.20
2.00	27.00	70.71	3.82	1.53	1.56	24.69	17.45	198.82
2.00	79.00	47.68	4.56	1.25	3.97	24.64	14.60	199.06
2.00	62.00	46.77	3.79	0.59	4.73	10.53	12.74	199.09
1.00	42.00	52.29	2.51	0.73	3.19	15.74	15.22	199.16
1.00	28.00	72.98	4.41	1.01	2.66	17.98	19.87	199.35
1.00	29.00	54.68	4.27	1.54	2.64	19.66	29.36	200.45
1.00	23.00	80.37	4.59	1.16	2.28	24.37	17.78	201.08
0.00	26.00	70.05	3.88	1.39	3.10	12.66	31.47	201.57
0.00	35.00	40.39	2.01	1.14	2.02	14.27	27.59	201.91
2.00	41.00	43.15	4.30	0.72	2.86	19.98	12.45	202.06
0.00	27.00	56.66	4.21	1.30	3.71	11.71	28.74	202.19
0.00	28.00	73.95	2.57	1.25	4.87	15.43	29.82	203.62
1.00	62.00	61.04	2.47	0.68	1.93	17.35	17.11	204.15
1.00	79.00	56.63	3.45	0.91	2.58	27.45	15.02	205.55
2.00	49.00	83.87	2.75	0.84	3.21	17.35	18.84	205.55
1.00	32.00	83.62	3.33	1.06	1.97	23.41	21.70	206.80
0.00	36.00	61.01	6.89	1.60	2.97	13.93	36.67	207.43
0.00	34.00	73.65	3.19	1.08	1.35	13.77	29.17	207.54
1.00	47.00	47.67	3.69	0.73	1.13	24.41	15.80	207.89
1.00	42.00	67.87	3.46	1.17	1.01	31.22	16.50	208.66
1.00	40.00	73.17	3.54	0.86	2.23	17.25	23.82	208.88
1.00	24.00	83.15	2.17	1.34	4.81	33.64	18.52	209.78
2.00	30.00	53.69	6.48	1.37	3.90	37.16	17.07	210.39
1.00	21.00	80.22	4.54	1.36	1.23	32.34	23.23	211.21
0.00	48.00	42.78	3.57	1.82	0.00	30.38	23.52	211.43
2.00	59.00	76.85	4.36	1.84	1.00	37.66	16.65	211.83
1.00	20.00	76.14	3.37	1.31	3.11	34.08	20.02	212.80
1.00	22.00	62.48	2.59	1.19	4.29	27.58	26.63	212.82
1.00	60.00	50.15	3.07	0.88	2.17	22.46	24.98	213.42
1.00	22.00	82.38	5.97	1.64	2.11	42.74	15.24	214.23
1.00	34.00	59.18	4.13	0.88	3.02	21.60	26.59	215.27
1.00	31.00	78.62	6.03	1.31	2.15	35.16	23.55	215.28
1.00	17.00	84.70	4.37	1.32	1.40	37.04	20.59	215.75
0.00	34.00	71.04	4.74	0.71	1.83	9.52	27.49	216.03
0.00	32.00	69.11	4.10	1.22	2.55	23.20	32.15	216.56
0.00	77.00	67.00	4.09	1.07	1.36	21.43	32.54	216.86
0.00	55.00	40.26	6.40	0.91	3.69	14.83	30.61	217.01
0.00	34.00	63.93	5.53	1.48	4.93	30.11	29.20	217.05
1.00	43.00	77.79	4.47	1.31	1.13	44.58	14.87	217.28
1.00	55.00	60.20	5.11	1.32	2.18	39.71	17.57	218.27
1.00	26.00	69.81	4.81	1.40	1.11	41.04	21.97	219.84
0.00	40.00	64.13	4.53	0.93	2.24	17.45	33.02	220.53
0.00	70.00	81.96	3.63	1.31	4.99	15.28	42.68	220.67
1.00	55.00	71.59	4.32	0.58	3.19	15.34	23.69	221.29
1.00	19.00	48.16	3.23	1.48	2.72	52.49	11.61	221.67
1.00	45.00	52.26	4.26	1.18	1.60	35.03	28.77	222.18
0.00	38.00	62.86	4.64	1.38	1.69	21.58	46.28	222.21
1.00	20.00	46.75	4.39	1.18	3.63	44.17	17.37	222.81
0.00	45.00	83.77	3.57	1.57	4.34	26.19	44.08	223.05
1.00	51.00	42.92	3.71	0.90	2.17	32.16	25.30	223.07
0.00	37.00	56.63	4.41	1.15	3.35	17.88	37.32	223.71
1.00	48.00	53.08	2.08	0.74	1.43	20.72	29.77	224.81
1.00	33.00	58.02	2.11	0.91	1.26	35.79	21.89	224.94
1.00	25.00	48.85	4.50	1.03	3.39	37.72	26.07	226.13
1.00	47.00	87.44	3.65	0.94	3.16	32.50	29.08	226.58
1.00	69.00	62.74	3.95	0.66	3.04	29.68	21.96	227.33
1.00	31.00	53.50	3.31	1.53	1.79	49.44	23.45	227.63
1.00	25.00	72.53	4.92	1.20	4.47	48.74	22.06	228.29
0.00	56.00	45.50	2.55	0.70	4.90	12.81	32.69	229.55
1.00	33.00	42.54	2.63	0.71	4.59	31.49	24.74	229.64
0.00	54.00	47.02	5.83	1.37	3.24	36.91	34.35	229.81
0.00	35.00	44.01	2.02	1.04	4.19	24.83	36.44	231.05
0.00	74.00	59.66	4.76	1.38	1.97	33.05	36.07	231.18
0.00	22.00	85.77	6.03	1.35	0.00	46.07	25.85	231.33
1.00	66.00	42.11	4.08	0.62	4.59	34.16	20.93	231.34
0.00	41.00	58.40	3.28	0.96	3.25	29.62	33.85	231.57
1.00	25.00	88.57	6.14	1.24	4.66	47.26	26.42	231.60
1.00	77.00	64.84	3.19	1.04	3.09	38.29	25.16	232.20

1.00	74.00	77.51	3.22	1.05	1.35	45.33	25.66	232.85
0.00	28.00	64.17	2.91	1.55	1.53	36.16	42.63	232.94
1.00	63.00	83.01	5.42	0.93	3.53	51.72	16.73	233.03
0.00	39.00	51.23	5.08	1.34	2.22	36.10	35.71	233.11
1.00	76.00	83.26	6.24	0.99	2.81	52.55	17.38	233.49
0.00	48.00	80.02	4.59	0.89	2.44	31.47	31.98	233.53
2.00	28.00	73.64	5.54	1.27	4.05	55.72	19.51	234.32
0.00	19.00	45.38	3.93	1.80	4.89	50.10	31.22	235.09
1.00	40.00	59.14	6.75	1.05	3.03	55.32	17.63	235.13
0.00	56.00	75.33	2.78	0.90	2.29	30.90	31.41	235.44
1.00	49.00	51.20	3.18	1.22	4.32	47.98	30.15	235.94
0.00	33.00	65.42	4.70	0.82	4.80	14.53	45.74	236.34
1.00	21.00	62.95	6.81	1.83	4.39	56.13	28.15	236.76
1.00	26.00	62.04	2.19	1.07	3.20	40.90	28.68	236.78
0.00	60.00	67.84	4.39	0.83	1.25	15.68	40.29	236.93
1.00	27.00	84.85	5.49	1.63	2.05	57.32	25.09	237.24
0.00	43.00	88.39	4.20	0.78	4.76	13.13	45.97	238.17
1.00	22.00	86.28	6.91	1.59	1.85	56.91	24.23	238.57
1.00	20.00	41.80	4.99	1.29	2.79	43.61	30.97	239.81
0.00	54.00	60.12	4.73	0.85	1.41	15.77	47.89	239.83
0.00	69.00	40.07	5.95	1.31	3.47	30.80	41.60	239.86
0.00	73.00	57.88	3.49	0.65	3.18	23.28	28.29	240.01
0.00	56.00	61.65	6.39	1.23	3.41	51.83	29.89	240.99
0.00	53.00	48.88	2.58	0.94	4.00	34.93	35.13	241.19
0.00	35.00	45.81	2.88	0.90	4.57	19.68	44.57	241.51
1.00	39.00	72.55	3.65	0.95	4.67	46.84	24.40	241.67
0.00	70.00	86.77	3.34	1.07	4.85	39.01	35.73	241.83
1.00	22.00	59.70	5.48	1.15	4.98	59.09	22.67	242.91
1.00	74.00	76.00	5.43	1.07	2.98	66.68	16.07	243.00
1.00	65.00	68.03	4.83	0.98	2.57	57.78	20.55	243.57
0.00	68.00	63.76	4.81	0.88	3.47	45.05	30.52	244.32
0.00	62.00	58.37	6.42	1.24	5.00	25.65	49.41	245.50
0.00	44.00	43.13	4.42	1.04	3.04	46.08	32.95	245.55
0.00	20.00	78.76	2.21	1.48	3.48	45.99	44.44	247.48
1.00	36.00	61.92	3.46	0.73	1.83	42.87	25.77	247.53
0.00	70.00	70.40	2.31	0.67	1.97	38.60	30.07	248.41
1.00	54.00	80.88	4.65	0.83	4.25	45.36	27.43	248.98
0.00	55.00	49.37	3.68	1.01	1.96	43.87	35.75	249.89
0.00	38.00	56.92	3.97	1.27	1.82	43.57	49.24	250.46
0.00	71.00	48.43	2.93	0.79	4.78	21.32	44.99	250.52
0.00	58.00	88.55	2.66	0.89	3.01	37.38	37.45	251.91
0.00	43.00	48.16	3.90	0.81	1.77	34.43	37.00	252.10
0.00	38.00	43.62	6.47	1.61	4.96	64.66	36.64	253.10
0.00	47.00	63.07	3.97	0.84	3.64	31.80	46.75	253.60
0.00	38.00	66.27	5.75	1.61	2.19	65.45	33.36	253.71
0.00	37.00	41.83	6.27	1.29	2.96	59.20	34.26	253.84
0.00	26.00	75.92	5.01	1.47	4.54	60.77	36.86	254.89
0.00	75.00	65.50	6.46	1.22	3.59	46.50	46.71	255.00
0.00	47.00	57.11	5.11	1.09	4.79	47.17	47.19	255.29
0.00	39.00	81.54	6.95	1.30	2.09	45.79	53.08	255.55
0.00	36.00	86.04	3.70	1.05	2.85	56.82	34.69	255.67
1.00	39.00	75.17	3.27	1.25	2.52	69.49	29.28	256.14
0.00	32.00	72.27	4.71	1.19	4.83	48.92	47.73	257.15
0.00	48.00	75.69	4.65	1.42	1.02	53.71	51.16	258.06
0.00	54.00	62.08	4.95	0.96	3.40	39.25	50.01	262.75
0.00	71.00	89.60	2.97	0.58	1.78	20.97	45.05	262.96

\_ Output 1 \_\_\_\_\_

Found statistics for the following files:

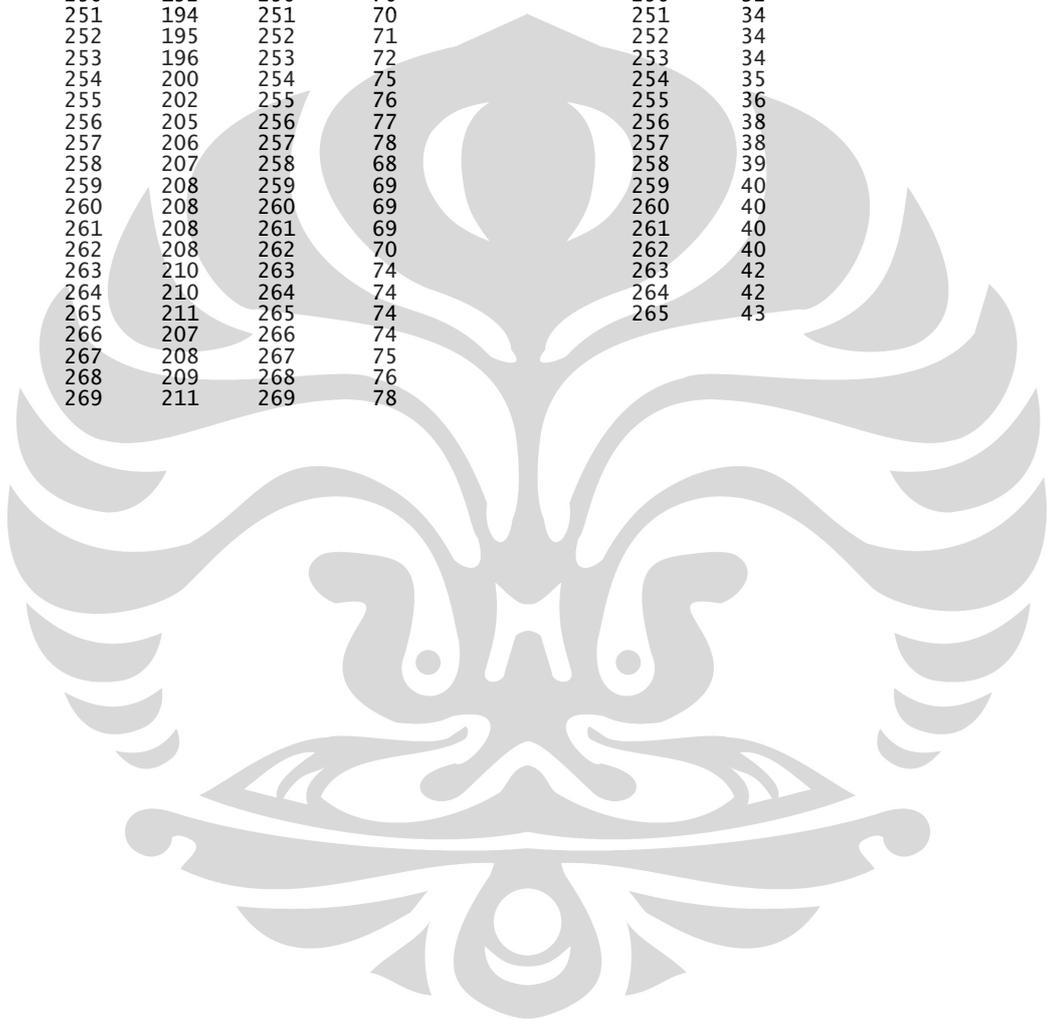
1D:\simulasi grace\skenario 1.sim

Cumulative Evacuation Times for entire Simulation		Cumulative Evacuation Times for Door_1		Cumulative Evacuation Times for Door_2		Cumulative Evacuation Times for Door_3		Cumulative Evacuation Times for Door_4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
3	0	3	0	3	0	3	0	3	0
4	0	4	0	4	0	4	0	4	0
5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
6	0	6	0	6	0	6	0	6	0
7	0	7	0	7	0	7	0	7	0
8	0	8	0	8	0	8	0	8	0
9	0	9	0	9	0	9	0	9	0
10	0	10	0	10	0	10	0	10	0
11	0	11	0	11	0	11	0	11	0
12	0	12	0	12	0	12	0	12	0
13	0	13	0	13	0	13	0	13	0
14	0	14	0	14	0	14	0	14	0
15	0	15	0	15	0	15	0	15	0
16	0	16	0	16	0	16	0	16	0
17	0	17	0	17	0	17	0	17	0
18	0	18	0	18	0	18	0	18	0
19	0	19	0	19	0	19	0	19	0
20	0	20	0	20	0	20	0	20	0
21	0	21	0	21	0	21	0	21	0
22	0	22	0	22	0	22	0	22	0
23	0	23	0	23	0	23	0	23	0
24	0	24	0	24	0	24	0	24	0
25	0	25	0	25	0	25	0	25	0
26	0	26	0	26	0	26	0	26	0
27	0	27	0	27	0	27	0	27	0
28	0	28	0	28	0	28	0	28	0
29	0	29	0	29	0	29	0	29	0
30	0	30	0	30	0	30	0	30	0
31	0	31	0	31	0	31	0	31	0
32	0	32	0	32	0	32	0	32	0
33	0	33	0	33	0	33	0	33	0
34	0	34	0	34	0	34	0	34	0
35	0	35	0	35	0	35	0	35	0
36	0	36	0	36	0	36	0	36	0
37	0	37	0	37	0	37	0	37	0
38	0	38	0	38	0	38	0	38	0
39	0	39	0	39	0	39	0	39	0
40	0	40	0	40	0	40	0	40	0
41	0	41	0	41	0	41	0	41	0
42	0	42	0	42	0	42	0	42	0
43	0	43	0	43	0	43	0	43	0
44	0	44	0	44	0	44	0	44	0
45	0	45	0	45	0	45	0	45	0
46	0	46	0	46	0	46	0	46	0
47	0	47	0	47	0	47	0	47	0
48	0	48	0	48	0	48	0	48	0
49	0	49	0	49	0	49	0	49	0
50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
51	0	51	0	51	0	51	0	51	0
52	0	52	0	52	0	52	0	52	0
53	0	53	0	53	0	53	0	53	0
54	0	54	0	54	0	54	0	54	0
55	0	55	0	55	0	55	0	55	0
56	0	56	0	56	0	56	0	56	0
57	0	57	0	57	0	57	0	57	0
58	0	58	0	58	0	58	0	58	0
59	0	59	0	59	0	59	0	59	0
60	0	60	0	60	0	60	0	60	0
61	0	61	0	61	0	61	0	61	0
62	0	62	0	62	0	62	0	62	0
63	0	63	0	63	0	63	0	63	0
64	0	64	0	64	0	64	0	64	0
65	0	65	0	65	0	65	0	65	0
66	0	66	0	66	0	66	0	66	0

67	0	67	0	67	0	67	0	67	0
68	0	68	0	68	0	68	0	68	0
69	0	69	0	69	0	69	0	69	0
70	0	70	0	70	0	70	0	70	0
71	0	71	0	71	0	71	0	71	0
72	0	72	0	72	0	72	0	72	0
73	0	73	0	73	0	73	0	73	0
74	0	74	0	74	0	74	0	74	0
75	0	75	0	75	0	75	0	75	0
76	0	76	0	76	0	76	0	76	0
77	0	77	0	77	0	77	0	77	0
78	0	78	0	78	0	78	0	78	0
79	0	79	0	79	0	79	0	79	0
80	0	80	0	80	0	80	0	80	0
81	0	81	0	81	0	81	0	81	0
82	0	82	0	82	0	82	0	82	0
83	0	83	0	83	0	83	0	83	0
84	0	84	0	84	0	84	0	84	0
85	0	85	0	85	0	85	0	85	0
86	0	86	0	86	0	86	0	86	0
87	0	87	0	87	0	87	0	87	0
88	0	88	0	88	0	88	0	88	0
89	0	89	0	89	0	89	0	89	0
90	0	90	0	90	0	90	0	90	0
91	0	91	0	91	0	91	0	91	0
92	0	92	0	92	0	92	0	92	0
93	0	93	0	93	0	93	0	93	0
94	0	94	0	94	0	94	0	94	0
95	0	95	0	95	0	95	0	95	0
96	0	96	0	96	0	96	0	96	0
97	0	97	0	97	0	97	0	97	0
98	0	98	0	98	0	98	0	98	0
99	0	99	0	99	0	99	0	99	0
100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
101	0	101	0	101	0	101	0	101	0
102	0	102	0	102	0	102	0	102	0
103	0	103	0	103	0	103	0	103	0
104	0	104	0	104	0	104	0	104	0
105	0	105	0	105	0	105	0	105	0
106	0	106	0	106	0	106	0	106	0
107	0	107	0	107	0	107	0	107	0
108	0	108	0	108	0	108	0	108	0
109	0	109	0	109	0	109	0	109	0
110	0	110	0	110	0	110	0	110	0
111	0	111	0	111	0	111	0	111	0
112	0	112	0	112	0	112	0	112	0
113	0	113	0	113	0	113	0	113	0
114	0	114	0	114	0	114	0	114	0
115	0	115	0	115	0	115	0	115	0
116	0	116	0	116	0	116	0	116	0
117	0	117	0	117	0	117	0	117	0
118	0	118	0	118	0	118	0	118	0
119	0	119	0	119	0	119	0	119	0
120	0	120	0	120	0	120	0	120	0
121	0	121	0	121	0	121	0	121	0
122	0	122	0	122	0	122	0	122	0
123	0	123	0	123	0	123	0	123	0
124	0	124	0	124	0	124	0	124	0
125	0	125	0	125	0	125	0	125	0
126	0	126	0	126	0	126	0	126	0
127	0	127	0	127	0	127	0	127	0
128	0	128	0	128	0	128	0	128	0
129	0	129	0	129	0	129	0	129	0
130	0	130	0	130	0	130	0	130	0
131	0	131	0	131	0	131	0	131	0
132	0	132	0	132	0	132	0	132	0
133	0	133	0	133	0	133	0	133	0
134	0	134	0	134	0	134	0	134	0
135	0	135	0	135	0	135	0	135	0
136	0	136	0	136	0	136	0	136	0
137	0	137	0	137	0	137	0	137	0
138	0	138	0	138	0	138	0	138	0
139	0	139	0	139	0	139	0	139	0
140	0	140	0	140	0	140	0	140	0
141	0	141	0	141	0	141	0	141	0
142	0	142	0	142	0	142	0	142	0
143	0	143	0	143	0	143	0	143	0
144	0	144	0	144	0	144	0	144	0
145	0	145	0	145	0	145	0	145	0
146	0	146	0	146	0	146	0	146	0
147	0	147	0	147	0	147	0	147	0
148	0	148	0	148	0	148	0	148	0
149	0	149	0	149	0	149	0	149	0

150	0	150	0	150	0	150	0	150	0
151	0	151	0	151	0	151	0	151	0
152	0	152	0	152	0	152	0	152	0
153	0	153	0	153	0	153	0	153	0
154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
155	0	155	0	155	0	155	0	155	0
156	0	156	0	156	0	156	0	156	0
157	0	157	0	157	0	157	0	157	0
158	0	158	0	158	0	158	0	158	0
159	0	159	0	159	0	159	0	159	0
160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
161	0	161	0	161	0	161	0	161	0
162	0	162	0	162	0	162	0	162	0
163	0	163	0	163	0	163	0	163	0
164	1	164	0	164	0	164	0	164	1
165	1	165	0	165	0	165	0	165	1
166	1	166	0	166	0	166	0	166	1
167	2	167	1	167	0	167	0	167	1
168	2	168	1	168	0	168	0	168	1
169	6	169	3	169	1	169	1	169	1
170	6	170	3	170	1	170	1	170	1
171	8	171	3	171	2	171	1	171	2
172	9	172	4	172	2	172	1	172	2
173	12	173	5	173	2	173	1	173	4
174	14	174	6	174	2	174	1	174	5
175	17	175	7	175	2	175	2	175	6
176	19	176	8	176	2	176	2	176	7
177	21	177	8	177	2	177	3	177	8
178	23	178	9	178	2	178	3	178	9
179	26	179	9	179	2	179	5	179	10
180	27	180	10	180	2	180	5	180	10
181	31	181	11	181	2	181	6	181	12
182	33	182	12	182	2	182	6	182	13
183	37	183	14	183	2	183	7	183	14
184	40	184	14	184	3	184	8	184	15
185	45	185	16	185	3	185	9	185	17
186	48	186	18	186	3	186	10	186	17
187	53	187	20	187	3	187	11	187	19
188	54	188	20	188	3	188	12	188	19
189	58	189	22	189	4	189	12	189	20
190	61	190	24	190	5	190	12	190	20
191	65	191	25	191	5	191	13	191	22
192	66	192	25	192	5	192	14	192	22
193	69	193	25	193	6	193	15	193	23
194	73	194	25	194	7	194	16	194	25
195	74	195	26	195	7	195	16	195	25
196	77	196	27	196	7	196	18	196	25
197	81	197	29	197	8	197	19	197	25
198	85	198	30	198	9	198	19	198	27
199	87	199	31	199	9	199	19	199	28
200	91	200	32	200	9	200	20	200	30
201	92	201	33	201	9	201	20	201	30
202	95	202	36	202	9	202	20	202	30
203	97	203	36	203	10	203	20	203	31
204	98	204	37	204	10	204	20	204	31
205	99	205	37	205	10	205	20	205	32
206	101	206	37	206	10	206	20	206	34
207	102	207	38	207	10	207	20	207	34
208	105	208	38	208	11	208	21	208	35
209	107	209	39	209	11	209	21	209	36
210	108	210	39	210	11	210	21	210	37
211	109	211	39	211	11	211	21	211	38
212	112	212	41	212	11	212	21	212	39
213	114	213	42	213	11	213	21	213	40
214	115	214	43	214	11	214	21	214	40
215	116	215	43	215	11	215	21	215	41
216	119	216	45	216	11	216	21	216	42
217	122	217	47	217	12	217	21	217	42
218	125	218	47	218	14	218	21	218	43
219	126	219	47	219	14	219	21	219	44
220	127	220	47	220	14	220	21	220	45
221	129	221	47	221	15	221	22	221	45
222	131	222	48	222	15	222	22	222	46
223	134	223	49	223	15	223	23	223	47
224	137	224	50	224	15	224	25	224	47
225	139	225	51	225	15	225	25	225	48
226	139	226	51	226	15	226	25	226	48
227	141	227	53	227	15	227	25	227	48
228	143	228	53	228	15	228	25	228	50
229	144	229	53	229	15	229	25	229	51
230	147	230	54	230	17	230	25	230	51
231	147	231	54	231	17	231	25	231	51
232	153	232	56	232	20	232	25	232	52

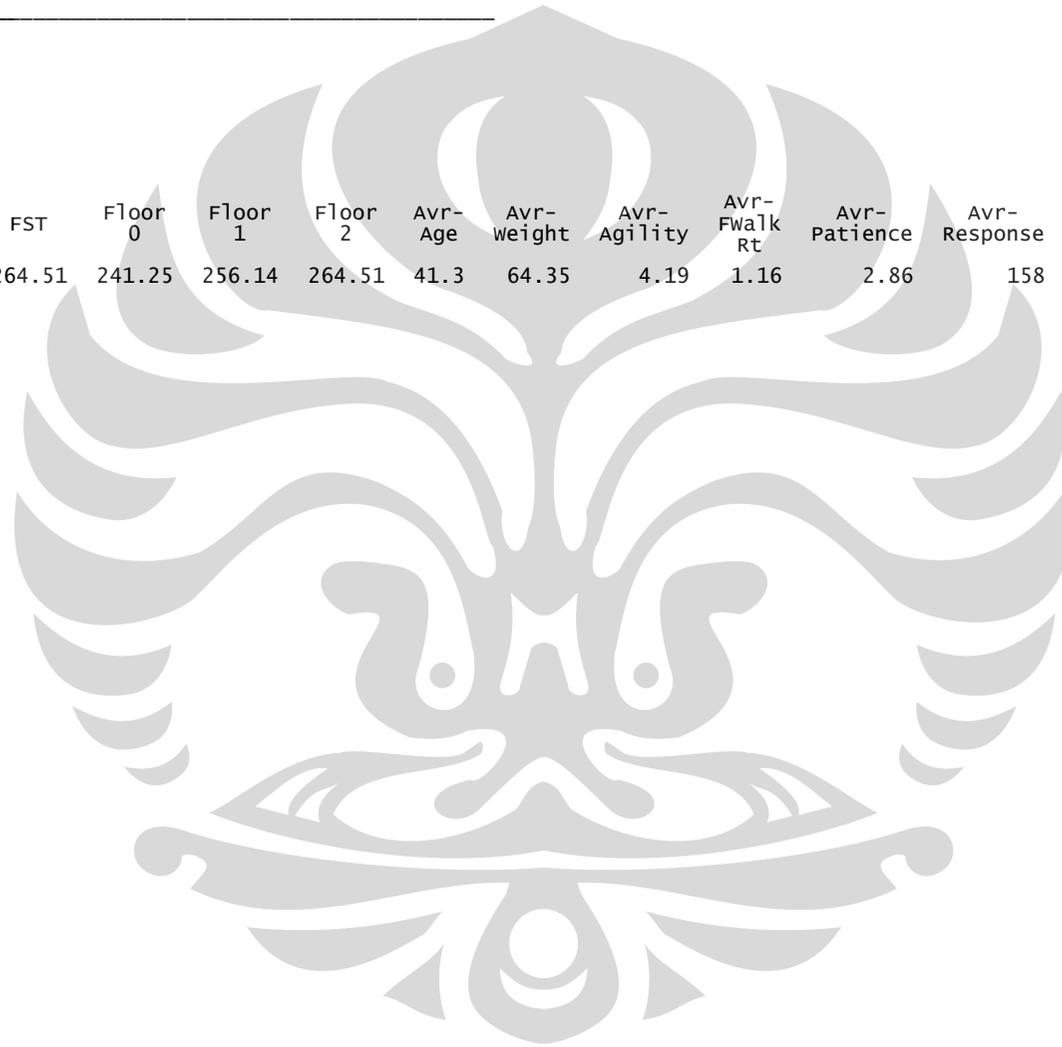
233	156	233	57	233	21	233	25	233	53
234	160	234	58	234	22	234	25	234	55
235	161	235	58	235	22	235	25	235	56
236	165	236	61	236	22	236	25	236	57
237	169	237	61	237		237	26	237	59
238	170	238	61			238	26	238	60
239	172	239	61			239	27	239	61
240	175	240	61			240	29	240	62
241	177	241	63			241	29	241	62
242	181	242	65			242	30	242	63
243	182	243	65			243	30	243	64
244	184	244	66			244	30	244	65
245	185	245	67			245	30	245	65
246	187	246	68			246	31	246	65
247	187	247	68			247	31	247	65
248	189	248	68			248	32	248	66
249	191	249	69			249	32	249	67
250	192	250	70			250	32		
251	194	251	70			251	34		
252	195	252	71			252	34		
253	196	253	72			253	34		
254	200	254	75			254	35		
255	202	255	76			255	36		
256	205	256	77			256	38		
257	206	257	78			257	38		
258	207	258	68			258	39		
259	208	259	69			259	40		
260	208	260	69			260	40		
261	208	261	69			261	40		
262	208	262	70			262	40		
263	210	263	74			263	42		
264	210	264	74			264	42		
265	211	265	74			265	43		
266	207	266	74						
267	208	267	75						
268	209	268	76						
269	211	269	78						



\_\_ Output 1 \_\_\_\_\_

Creating output file(s)...

Occ Out	First out	Last out	FST	Floor 0	Floor 1	Floor 2	Avr- Age	Avr- Weight	Avr- Agility	Avr- Fwalk Rt	Avr- Patience	Avr- Response	Avr- CWT	Avr- Distance	Avr- PET
211	163.93	264.51	264.51	241.25	256.14	264.51	41.3	64.35	4.19	1.16	2.86	158	24.17	23.77	210.78





## **LAMPIRAN 3**

Summary output dari buildingEXODUS skenario 1

\_\_ Output 1

Evacuees

Found statistics for the following files:

1D:\grace\skenario 2.sim

Results Data for all simulations

Level	Age	Agility	FWalk Rt	Patience	CWT	Distance	PET
1	1	1	1	1	1	1	1
2	54	3.22	1.83	3.97	0	6.82	163.93
1	40	3.7	1.07	4.23	0	7.16	166.96
1	23	3.52	1.33	1	0.29	9.49	168.37
1	56	4.85	1.13	1	0	8.25	168.39
1	39	6.74	1.03	2.84	0	8.68	168.87
1	56	3.39	1.26	3.26	3.03	7.84	169.88
1	26	2.53	1.24	2.15	0.52	11.16	170.1
1	43	3.4	1.45	3.94	2.31	10.94	170.62
1	47	4.75	1.61	1.39	2.15	10.45	170.76
1	26	3.42	1.36	3.71	0	9.87	170.89
1	46	4.64	0.99	2.08	1.39	9.44	171.48
2	59	3.02	1.12	4	0.68	13.57	172.13
2	22	4.39	1.42	3.94	2.54	11.95	172.69
1	17	4.34	1.34	3.93	2.79	12.09	172.82
1	42	3.94	1.11	2.69	2.3	11.45	173.25
1	31	5.97	1.31	4.89	2.41	10.85	173.28
1	43	4.47	1.31	1.13	4.32	11.54	174.28
2	23	3.16	1.24	2.37	1.48	16.4	174.94
2	26	4.91	1.49	2.67	6.16	11.83	175
2	57	4.81	0.94	2.69	0	13.86	175.1
1	29	3.46	1.28	4.74	5.18	12.28	175.4
1	23	2.17	1.5	1.11	6.21	12.75	175.81
2	20	4.22	1.04	2.05	2.83	10.65	176.35
2	21	2.93	1.37	3.28	4.03	13.04	176.57
1	57	6.69	0.98	2.56	6.14	10.09	177.07
2	49	4.54	0.96	3.01	2.39	12.04	177.11
1	23	4.43	1.34	3.53	6.94	12.07	177.94
1	42	3.46	1.39	1.74	7.76	13.49	178.1
1	31	5.1	1.14	2.44	5.2	14.11	178.76
2	54	3.9	0.83	3.05	0.97	14.66	179.16
1	17	2.52	1.1	1.33	5.21	13.49	179.24
2	44	3.5	1.41	2.53	7.01	14.04	179.88
2	45	3.53	1.07	3.95	6.43	13.16	180.28
1	20	2.09	1.02	2.97	5.44	14.19	180.34
2	24	4.67	1.22	3.13	8.11	11.45	180.64
1	43	2.59	1.08	4.57	6.02	11.58	180.83
2	26	4.12	0.97	1.21	4.66	15.48	181.67
2	30	6.48	1.37	3.9	9.48	16.57	182.5
2	56	4.09	0.79	1.65	2.36	14.78	182.84
2	27	2.42	1.1	1.28	6.99	15.04	182.93
1	54	4.9	0.84	4.52	6.69	12.91	183.28
2	31	2.15	1.01	2.35	5.57	14.45	183.82
2	49	3.56	1.19	4.91	7.21	15.78	183.94
1	18	6.27	1.54	2.89	11.87	17.34	183.96
1	19	2.81	1.5	4.57	11.66	16.73	183.99
2	64	3.08	0.86	3.65	5.98	12.24	184.76
2	39	3.23	1.19	4.74	9.55	14.04	184.86
1	41	6.51	1.18	1.58	9.84	16.85	185.15
2	37	4.85	1.17	1.85	11.81	12.45	185.3
2	26	3.3	1.67	4.65	14.22	16.1	185.49
1	36	3.29	1.11	1.43	12.77	13.27	185.61
2	41	4.13	1.08	3.92	6.36	17.14	186.13
2	27	3.82	1.53	1.56	13.16	16.74	186.74
1	74	5.43	1.07	2.98	12.22	15.12	187.5
2	69	3.98	1.14	1.47	10.4	16.45	188.56
1	48	2.12	0.85	2.81	12.95	11.74	188.72
2	72	2.43	0.63	3.81	2.89	15.86	188.8
2	39	6.45	1.34	3.58	13.93	18.07	190.08
2	71	4.87	0.85	3.28	9.76	16.63	190.24
1	25	2.88	0.98	2.33	13.99	14.49	190.47
2	29	5.4	1.36	1.33	17.8	14.36	190.81
1	64	3.43	0.78	3.8	7.55	17.2	191.25
1	79	3.45	0.91	2.58	11.23	16.69	192
1	34	5.92	1.28	1.72	13.52	22.17	192.28
2	41	3.83	0.97	2.09	8.95	18.49	192.69
1	29	4.27	1.54	2.64	13.01	27.02	192.71
1	22	3.27	1.23	1.47	14.86	20.27	192.93
1	21	4.54	1.36	1.23	14.94	23.12	193.31
2	60	3.65	0.57	4.88	9.08	11.32	194.96

1	32	3.33	1.06	1.97	13.73	20.8	195.13
1	23	4.07	1.29	4.19	20.03	16.25	195.35
1	31	6.03	1.31	2.15	17.09	22.99	196.53
2	49	2.75	0.84	3.21	10.95	17.15	196.6
2	59	4.36	1.84	1	24.52	14.74	196.74
1	18	3.91	1.31	1.12	19.77	17.97	196.97
1	74	3.22	1.05	1.35	16.6	20.29	197.5
2	62	3.79	0.59	4.73	9.85	12.45	197.86
1	32	4.75	1.19	2.16	20.22	20.23	198.61
2	79	4.56	1.25	3.97	24.67	13.95	198.63
1	23	4.59	1.16	2.28	22.57	17.98	199.35
1	62	2.47	0.68	1.93	16.85	16.12	201.83
2	21	5.69	1.41	2.4	26.75	17.72	202.39
1	40	3.54	0.86	2.23	12.82	23.42	202.47
2	39	3.79	1.35	2.21	30.13	15.45	202.74
1	24	2.31	1.52	3.43	25.15	25.34	203.21
1	31	3.61	1.43	1.88	27.1	21.11	203.66
1	47	3.69	0.73	1.13	23.11	14.61	204.14
2	41	4.3	0.72	2.86	18.56	15.65	205.77
1	42	2.51	0.73	3.19	22.01	15.86	206.23
1	60	3.07	0.88	2.17	14.91	25.51	206.44
1	22	5.97	1.64	2.11	33.17	18.34	206.54
1	24	2.17	1.34	4.81	29.67	20.32	207.18
0	37	4.41	1.15	3.35	8.91	33.73	207.32
2	28	5.54	1.27	4.05	28.95	19.07	207.75
1	20	3.37	1.31	3.11	28.54	20.81	207.9
1	28	4.41	1.01	2.66	26.51	19.9	207.92
0	36	6.89	1.6	2.97	15.82	39.25	207.95
1	22	2.59	1.19	4.29	22.33	27.59	208
0	69	5.95	1.31	3.47	10.51	37.57	208.19
1	26	4.81	1.4	1.11	30.94	21.46	209.25
1	20	4.39	1.18	3.63	31.98	18.16	211.31
1	17	4.37	1.32	1.4	32.56	22.08	212.48
1	42	3.46	1.17	1.01	32.88	19.1	212.85
1	31	3.31	1.53	1.79	36.65	22.17	213.63
1	32	5.7	1.15	1.53	39.27	14.87	214.34
1	76	6.24	0.99	2.81	30.84	20.49	214.92
1	55	4.32	0.58	3.19	13.63	22.1	214.98
0	22	6.03	1.35	0	16.99	37.99	215.6
1	26	3	1.29	1.79	35.48	21.72	215.8
0	28	2.57	1.25	4.87	22.55	35.02	215.84
0	21	3.68	1.23	0	21.26	40.76	216.48
0	48	3.57	1.82	0	22.13	38.99	216.59
1	41	4.45	1.07	4.14	42.19	13.92	216.83
1	51	3.71	0.9	2.17	26.57	25.19	217
1	48	2.08	0.74	1.43	17.54	27.06	217.57
1	63	5.42	0.93	3.53	37.57	15.78	217.92
1	25	4.5	1.03	3.39	28.14	28.08	218.22
1	48	2.94	1.05	3.91	40.13	14.91	219.31
0	53	2.58	0.94	4	17.73	35.14	219.55
1	34	4.13	0.88	3.02	27.63	26.36	220.38
0	45	3.57	1.57	4.34	21.59	43.34	220.55
1	40	6.75	1.05	3.03	41.44	16.66	220.64
1	49	3.18	1.22	4.32	36.13	28.8	221.9
1	45	4.26	1.18	1.6	33.87	30.34	222.2
1	69	3.95	0.66	3.04	25.7	22.54	223.49
1	19	3.23	1.48	2.72	54.92	11.24	223.84
1	47	3.65	0.94	3.16	29.44	29.4	223.9
1	26	2.19	1.07	3.2	33.79	26.8	224.68
0	35	2.01	1.14	2.02	26.5	39.14	225.61
1	36	3.46	0.73	1.83	29.34	23.51	226.15
1	55	5.11	1.32	2.18	45.44	20.27	227.35
1	39	3.65	0.95	4.67	38.91	22.89	227.36
1	21	6.81	1.83	4.39	46.75	28.84	227.45
0	19	3.93	1.8	4.89	38.21	45.97	228.53
1	33	2.63	0.71	4.59	36.08	21.24	228.57
0	20	5.27	1.43	3.25	35.44	41.95	229.81
0	48	4.59	0.89	2.44	23.52	36.24	230.55
0	28	2.91	1.55	1.53	23.42	58.98	233.51
0	70	2.31	0.67	1.97	14.59	36.89	234.95
0	37	4.39	1.23	1.33	28.39	49.36	235.82
0	44	4.42	1.04	3.04	23.49	43.73	235.87
0	23	4.26	1.34	3.52	20.95	64.43	236.68
0	77	4.09	1.07	1.36	37.3	37.05	237.58
0	56	6.39	1.23	3.41	39.45	40.54	237.69
1	66	4.08	0.62	4.59	39.12	20.5	238.01
0	38	5.75	1.61	2.19	28.15	69.48	238.36
1	25	6.14	1.24	4.66	58.27	23.31	238.64
0	40	4.88	1.52	3.81	27.16	62.22	239.74
0	38	6.47	1.61	4.96	49.68	41.13	239.87
0	35	2.88	0.9	4.57	17.21	43.17	240.28
0	38	3.97	1.27	1.82	34.98	43.85	240.3
0	70	3.63	1.31	4.99	30.79	46.64	242.45

1	39	3.27	1.25	2.52	62.73	22.75	242.46
1	54	4.65	0.83	4.25	44.99	23.32	242.59
0	54	5.83	1.37	3.24	20.93	62.31	242.92
0	18	5.35	1.55	3.51	32.67	66.64	243.69
0	49	4.88	1.47	3.58	28.17	70.03	243.74
0	75	6.46	1.22	3.59	39.46	41.67	246.09
0	27	4.21	1.3	3.71	20.52	64.35	246.71
1	20	4.99	1.29	2.79	58.93	27.75	247.93
0	68	4.81	0.88	3.47	43.19	34.86	248.11
0	36	3.7	1.05	2.85	34.16	47.85	249.61
1	22	4.48	1.2	1.14	79.46	11.33	249.65
1	25	4.92	1.2	4.47	59.58	25.32	250.14
0	32	4.71	1.19	4.83	40.24	47.71	251.39
0	20	2.21	1.48	3.48	43.59	50.08	251.61
0	45	3.67	1.49	4.83	39.51	63.93	253.85
0	40	4.53	0.93	2.24	24.08	58.85	263.18
0	41	3.28	0.96	3.25	25.75	61.63	264.9
0	73	3.49	0.65	3.18	2.66	59.39	265.19
0	71	2.93	0.79	4.78	34.79	44.89	265.95
0	45	3.51	1.18	2.06	37.91	67.86	269.31
0	35	2.02	1.04	4.19	42.05	62.99	272.71
0	43	4.2	0.78	4.76	37.65	49.14	274.33
0	54	4.95	0.96	3.4	51.46	47.09	274.41
1	65	4.83	0.98	2.57	71.43	28.21	274.53
0	55	6.4	0.91	3.69	28.3	61.88	275.69
0	74	4.76	1.38	1.97	47.49	68.31	276.13
1	22	5.48	1.15	4.98	79.68	28.39	277.62
0	33	4.7	0.82	4.8	49.04	49	280.8
0	47	5.11	1.09	4.79	54.44	55.74	280.94
0	56	2.55	0.7	4.9	20.94	59.62	286.4
0	36	5.87	1.6	0	89.16	43.41	286.7
0	39	5.08	1.34	2.22	67.5	65.63	287.37
0	60	4.39	0.83	1.25	28.41	61.39	288.16
0	43	6.86	1.84	0	90.09	42.51	288.79
0	34	5.53	1.48	4.93	71.32	70.63	289
1	27	5.49	1.63	2.05	88.57	41.03	289.08
0	60	3.98	1.13	0	91.04	39.51	290.06
0	34	4.74	0.71	1.83	29.43	61.53	294.67
1	77	3.19	1.04	3.09	68.68	43.5	295.18
0	34	3.19	1.08	1.35	53.56	71.41	295.87
0	26	5.01	1.47	4.54	72.48	71.2	296.07
1	33	2.11	0.91	1.26	73.92	38.05	297.52
1	22	6.91	1.59	1.85	97.1	42.25	298.08
0	58	2.66	0.89	3.01	44.7	66.05	300.92
0	38	4.64	1.38	1.69	83.56	60.75	302.23
0	47	3.97	0.84	3.64	49.33	59.66	302.4
0	56	2.78	0.9	2.29	52.12	67.75	304.22
0	48	4.65	1.42	1.02	85.23	64.34	306.06
0	26	3.88	1.39	3.1	74.92	76.43	307.42
0	62	6.42	1.24	5	77.23	56.84	307.5
0	70	3.34	1.07	4.85	60.73	72.56	309.11
0	55	3.68	1.01	1.96	55.59	74.53	311.05
0	37	6.27	1.29	2.96	75.91	74.04	313.18
0	39	6.95	1.3	2.09	89.58	62.75	313.41
0	54	4.73	0.85	1.41	65.95	58.57	313.55
0	78	6.2	0.9	1.96	72.99	57.66	315.56
0	32	4.1	1.22	2.55	77.07	77.67	323.23

\_ Output 1 \_\_\_\_\_

Found statistics for the following files:

1D:\simulasi grace\skenario 2.sim

Cumulative Evacuation Times for entire simulation	Cumulative Evacuation Times for Door_1	Cumulative Evacuation Times for Door_2	Cumulative Evacuation Times for Door_3	Cumulative Evacuation Times for Door_4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	0	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0	0	0	0
53	0	0	0	0
54	0	0	0	0
55	0	0	0	0
56	0	0	0	0
57	0	0	0	0
58	0	0	0	0
59	0	0	0	0
60	0	0	0	0
61	0	0	0	0
62	0	0	0	0
63	0	0	0	0
64	0	0	0	0
65	0	0	0	0
66	0	0	0	0

67	0	67	0	67	0	67	0	67	0
68	0	68	0	68	0	68	0	68	0
69	0	69	0	69	0	69	0	69	0
70	0	70	0	70	0	70	0	70	0
71	0	71	0	71	0	71	0	71	0
72	0	72	0	72	0	72	0	72	0
73	0	73	0	73	0	73	0	73	0
74	0	74	0	74	0	74	0	74	0
75	0	75	0	75	0	75	0	75	0
76	0	76	0	76	0	76	0	76	0
77	0	77	0	77	0	77	0	77	0
78	0	78	0	78	0	78	0	78	0
79	0	79	0	79	0	79	0	79	0
80	0	80	0	80	0	80	0	80	0
81	0	81	0	81	0	81	0	81	0
82	0	82	0	82	0	82	0	82	0
83	0	83	0	83	0	83	0	83	0
84	0	84	0	84	0	84	0	84	0
85	0	85	0	85	0	85	0	85	0
86	0	86	0	86	0	86	0	86	0
87	0	87	0	87	0	87	0	87	0
88	0	88	0	88	0	88	0	88	0
89	0	89	0	89	0	89	0	89	0
90	0	90	0	90	0	90	0	90	0
91	0	91	0	91	0	91	0	91	0
92	0	92	0	92	0	92	0	92	0
93	0	93	0	93	0	93	0	93	0
94	0	94	0	94	0	94	0	94	0
95	0	95	0	95	0	95	0	95	0
96	0	96	0	96	0	96	0	96	0
97	0	97	0	97	0	97	0	97	0
98	0	98	0	98	0	98	0	98	0
99	0	99	0	99	0	99	0	99	0
100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
101	0	101	0	101	0	101	0	101	0
102	0	102	0	102	0	102	0	102	0
103	0	103	0	103	0	103	0	103	0
104	0	104	0	104	0	104	0	104	0
105	0	105	0	105	0	105	0	105	0
106	0	106	0	106	0	106	0	106	0
107	0	107	0	107	0	107	0	107	0
108	0	108	0	108	0	108	0	108	0
109	0	109	0	109	0	109	0	109	0
110	0	110	0	110	0	110	0	110	0
111	0	111	0	111	0	111	0	111	0
112	0	112	0	112	0	112	0	112	0
113	0	113	0	113	0	113	0	113	0
114	0	114	0	114	0	114	0	114	0
115	0	115	0	115	0	115	0	115	0
116	0	116	0	116	0	116	0	116	0
117	0	117	0	117	0	117	0	117	0
118	0	118	0	118	0	118	0	118	0
119	0	119	0	119	0	119	0	119	0
120	0	120	0	120	0	120	0	120	0
121	0	121	0	121	0	121	0	121	0
122	0	122	0	122	0	122	0	122	0
123	0	123	0	123	0	123	0	123	0
124	0	124	0	124	0	124	0	124	0
125	0	125	0	125	0	125	0	125	0
126	0	126	0	126	0	126	0	126	0
127	0	127	0	127	0	127	0	127	0
128	0	128	0	128	0	128	0	128	0
129	0	129	0	129	0	129	0	129	0
130	0	130	0	130	0	130	0	130	0
131	0	131	0	131	0	131	0	131	0
132	0	132	0	132	0	132	0	132	0
133	0	133	0	133	0	133	0	133	0
134	0	134	0	134	0	134	0	134	0
135	0	135	0	135	0	135	0	135	0
136	0	136	0	136	0	136	0	136	0
137	0	137	0	137	0	137	0	137	0
138	0	138	0	138	0	138	0	138	0
139	0	139	0	139	0	139	0	139	0
140	0	140	0	140	0	140	0	140	0
141	0	141	0	141	0	141	0	141	0
142	0	142	0	142	0	142	0	142	0
143	0	143	0	143	0	143	0	143	0
144	0	144	0	144	0	144	0	144	0
145	0	145	0	145	0	145	0	145	0
146	0	146	0	146	0	146	0	146	0
147	0	147	0	147	0	147	0	147	0
148	0	148	0	148	0	148	0	148	0
149	0	149	0	149	0	149	0	149	0

150	0	150	0	150	0	150	0	150	0
151	0	151	0	151	0	151	0	151	0
152	0	152	0	152	0	152	0	152	0
153	0	153	0	153	0	153	0	153	0
154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
155	0	155	0	155	0	155	0	155	0
156	0	156	0	156	0	156	0	156	0
157	0	157	0	157	0	157	0	157	0
158	0	158	0	158	0	158	0	158	0
159	0	159	0	159	0	159	0	159	0
160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
161	0	161	0	161	0	161	0	161	0
162	0	162	0	162	0	162	0	162	0
163	0	163	0	163	0	163	0	163	0
164	1	164	0	164	0	164	0	164	1
165	1	165	0	165	0	165	0	165	1
166	1	166	0	166	0	166	0	166	1
167	2	167	1	167	0	167	0	167	1
168	2	168	1	168	0	168	0	168	1
169	5	169	3	169	0	169	1	169	1
170	6	170	3	170	1	170	1	170	1
171	10	171	5	171	2	171	1	171	2
172	11	172	6	172	2	172	1	172	2
173	14	173	7	173	2	173	1	173	4
174	16	174	8	174	2	174	1	174	5
175	18	175	8	175	2	175	1	175	7
176	22	176	10	176	2	176	3	176	7
177	24	177	10	177	2	177	4	177	8
178	27	178	11	178	2	178	5	178	9
179	29	179	13	179	2	179	5	179	9
180	32	180	13	180	2	180	7	180	10
181	36	181	14	181	2	181	9	181	11
182	37	182	14	182	2	182	9	182	12
183	40	183	14	183	2	183	11	183	13
184	45	184	17	184	2	184	12	184	14
185	47	185	17	185	2	185	14	185	14
186	51	186	19	186	2	186	14	186	16
187	53	187	19	187	2	187	15	187	17
188	54	188	20	188	2	188	15	188	17
189	57	189	20	189	2	189	17	189	18
190	57	190	20	190	2	190	17	190	18
191	61	191	20	191	2	191	18	191	21
192	62	192	21	192	2	192	18	192	21
193	67	193	24	193	2	193	19	193	22
194	68	194	25	194	2	194	19	194	22
195	69	195	25	195	2	195	19	195	23
196	71	196	26	196	2	196	19	196	24
197	75	197	27	197	2	197	19	197	27
198	77	198	28	198	2	198	20	198	27
199	79	199	29	199	2	199	20	199	28
200	80	200	30	200	2	200	20	200	28
201	80	201	30	201	2	201	20	201	28
202	81	202	30	202	2	202	20	202	29
203	84	203	31	203	2	203	20	203	31
204	86	204	33	204	2	204	20	204	31
205	87	205	33	205	2	205	20	205	32
206	88	206	33	206	2	206	20	206	33
207	91	207	34	207	2	207	20	207	35
208	97	208	35	208	2	208	22	208	38
209	99	209	36	209	2	209	23	209	38
210	100	210	36	210	2	210	23	210	39
211	100	211	36	211	2	211	23	211	39
212	101	212	36	212	2	212	23	212	40
213	103	213	36	213	2	213	23	213	42
214	104	214	36	214	2	214	23	214	43
215	107	215	37	215	2	215	23	215	45
216	110	216	38	216	2	216	24	216	46
217	113	217	38	217	2	217	26	217	47
218	116	218	40	218	2	218	26	218	48
219	117	219	41	219	2	219	26	219	48
220	119	220	42	220	2	220	26	220	49
221	122	221	43	221	2	221	27	221	50
222	123	222	44	222	2	222	27	222	50
223	124	223	45	223	2	223	27	223	50
224	127	224	46	224	2	224	27	224	52
225	128	225	46	225	2	225	27	225	53
226	129	226	47	226	2	226	27	226	53
227	130	227	47	227	2	227	27	227	54
228	133	228	47	228	2	228	27	228	57
229	135	229	49	229	2	229	27	229	57
230	136	230	50	230	2	230	27	230	57
231	137	231	51	231	2	231	27	231	57
232	137	232	51	232	2	232	27	232	57

233	137	233	51	233	2	233	27	233	57
234	138	234	51	234	3	234	27	234	57
235	139	235	52	235	3	235	27	235	57
236	141	236	54	236	3	236	27	236	57
237	142	237	55	237	3	237	27	237	57
238	144	238	57	238	3	238	27	238	57
239	147	239	59	239	3	239	27	239	58
240	149	240	60	240	4	240	27	240	58
241	151	241	60	241	4	241	29	241	58
242	151	242	60	242	4	242	29	242	58
243	155	243	61	243	5	243	30	243	59
244	157	244	62	244	6	244	30	244	59
245	157	245	62	245	6	245	30	245	59
246	157	246	62	246	6	246	30	246	59
247	159	247	62	247	7	247	31	247	59
248	160	248	62	248	7	248	31	248	60
249	161	249	63	249	7	249	31	249	60
250	163	250	65	250	7	250	31	250	60
251	164	251	65	251	7	251	31	251	61
252	166	252	65	252	7	252	33	252	61
253	166	253	65	253	7	253	33	253	61
254	167	254	65	254	8	254	33	254	61
255	167	255	65	255	8	255	33	255	61
256	167	256	65	256	8	256	33	256	61
257	167	257	65	257	8	257	33	257	61
258	167	258	65	258	8	258	33	258	61
259	167	259	65	259	8	259	33	259	61
260	167	260	65	260	8	260	33	260	61
261	167	261	65	261	8	261	33	261	61
262	167	262	65	262	8	262	33	262	61
263	167	263	65	263	8	263	33	263	61
264	168	264	65	264	9	264	33	264	61
265	169	265	65	265	10	265	33	265	61
266	171	266	66	266	10	266	34	266	61
267	171	267	66	267	10	267	34	267	61
268	171	268	66	268	10	268	34	268	61
269	171	269	66	269	10	269	34	269	61
270	172	270	66	270	11	270	34	270	61
271	172	271	66	271	11	271	34	271	61
272	172	272	66	272	11	272	34	272	61
273	173	273	66	273	12	273	34	273	61
274	173	274	66	274	12	274	34	274	61
275	176	275	66	275	12	275	36	275	62
276	177	276	66	276	13	276	36	276	62
277	178	277	66	277	14	277	36	277	62
278	179	278	66	278	14	278	36	278	63
279	179	279	66	279	14	279	36	279	63
280	179	280	66	280	14	280	36	280	63
281	181	281	66	281	14	281	38	281	63
282	181	282	66	282	14	282	38	282	63
283	181	283	66	283	14	283	38	283	63
284	181	284	66	284	14	284	38	284	63
285	181	285	66	285	14	285	38	285	63
286	181	286	66	286	14	286	38	286	63
287	183	287	66	287	16	287	38	287	63
288	184	288	66	288	17	288	38	288	63
289	187	289	66	289	20	289	38	289	63
290	188	290	66	290	20	290	38	290	64
291	189	291	66	291	21	291	38	291	64
292	189	292	66	292	21	292	38	292	64
293	189	293	66	293	21	293	38	293	64
294	189	294	66	294	21	294	38	294	64
295	190	295	66	295	22	295	38	295	64
296	192	296	66	296	23	296	38	296	65
297	193	297	67			297	38	297	65
298	194	298	67			298	38	298	66
299	195	299	67			299	38	299	67
300	195	300	67			300	38		
301	196	301	68			301	38		
302	196	302				302			
303	198	303	68			303	40		
304	198	304	68			304	40		
305	199	305	69			305	40		
306	199	306	69			306	40		
307	200	307	69			307	41		
308	202	308	70			308	42		
309	202	309	70			309	42		
310	203	310	71			310	42		
311	203	311	71			311	42		
312	204	312	72			312	42		
313	204	313	72			313	42		
314	207	314	73			314	44		
315	207	315	73			315	44		

316	208	316	73	316	45
317	208	317	73	317	45
318	208	318	73	318	45
319	208	319	73	319	45
320	208	320	73	320	45
321	208	321	73	321	45
322	208	322	73	322	45
323	208	323	73	323	45
324	209	324	74	324	45
325	209	325	74	325	45
326	210	326	74	326	46
327	211	327	75		



\_\_ Output 1 \_\_\_\_\_

Creating output file(s)...

Occ Out	First out	Last out	FST	Floor 0	Floor 1	Floor 2	Avr-Age	Avr-Weight	Avr-Agility	Avr-Fwalk Rt	Avr-Patience	Avr-Response	Avr-CWT	Avr-Distance	Avr-PET
211	163.93	326.31	326.31	222.2	326.31	325.85	41.3	4.19	1.16	2.86	158	28.39	30.71	223.07	211



## **LAMPIRAN 4**

*Safety arrangement kapal ferry ro-ro 500 GT*

