



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISIS EVAKUASI PENUMPANG KAPAL RO-RO 1309 DWT
DENGAN *AGENT BASED MODELING SIMULATION***

Mochammad Isom Mufikri
NRP 0421144000093

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - ME 184834

**ANALISIS EVAKUASI PENUMPANG KAPAL RO-RO 1309 DWT
DENGAN *AGENT BASED MODELING SIMULATION***

Mochammad Isom Mufikri
NRP 0421144000093

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019



BACHELOR THESIS - ME 183834

***PASSANGER EVACUATION ANALYSIS OF 1309 DWT RO-RO SHIP
USING AGENT BASED MODELING SIMULATION***

Mochammad Isom Mufikri
NRP 0421144000093

Supervisors
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS EVAKUASI PENUMPANG KAPAL RO-RO 1309 DWT
DENGAN AGENT BASED MODELING SIMULATION

TUGAS AKHIR



Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Operation And Maintenance* (MOM)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Mochammad Isom Mufikri
NRP. 0421144000093

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.

Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc.

()
()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS EVAKUASI PENUMPANG KAPAL RO-RO 1309 DWT
DENGAN *AGENT BASED MODELING SIMULATION***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Operation And Maintenance (MOM)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Mochammad Isom Mufikri
NRP. 0421144000093

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :


Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisis Evakuasi Penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT Dengan Agent Based Modeling Simulation

Nama Mahasiswa : Mochammad Isom Mufikri
NRP : 0421144000093
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc.

Abstrak

Kecelakaan kapal yang terjadi di perairan Indonesia memiliki angka frekuensi yang tinggi. Bentuk kecelakaan kapal didominasi oleh kebakaran kapal berjenis Ro-Ro atau kapal penumpang yang menyebabkan kerugian berupa material, pencemaran perairan, dan hilangnya nyawa manusia. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis terhadap evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT yang mengalami kecelakaan perairan berupa kebakaran di perairan laut Jawa. Data awal yang diperlukan berupa, *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT, informasi material kapal, kecepatan berjalan penumpang, serta komposisi dan persebaran penumpang. Dari hasil survei didapatkan komposisi penumpang yang terdiri dari 36% pria <30 tahun, 30,7% pria 30-50 tahun, 21,9% pria >50 tahun, 3,5% wanita <30 tahun, 2,6% wanita 30-50 tahun, dan 5,3% wanita >50 tahun. Persebaran penumpang pada siang hari terdiri dari 46% di kabin dan 54% terdistribusi, persebaran penumpang pada malam hari terdiri dari 71% di kabin dan 29% terdistribusi. Penyebab utama munculnya api akan diasumsikan dari kejadian kebakaran sebelumnya dan dijadikan sebagai *input* dalam melakukan simulasi kebakaran menggunakan program *fire dynamic simulator (FDS)*. Program ini memodelkan persebaran api mulai dari tahap penyalaan sampai api berada pada tahapan padam. *Output* pada simulasi ini berupa informasi perbandingan antara temperatur dan waktu sehingga akan menunjukkan lokasi yang terdampak kebakaran. Terdapat 3 titik yang mengalami kebakaran pada dek 3 yakni, toilet pria, dapur, dan tangga s-b (starboard side). Dan terdapat 3 titik yang mengalami kebakaran pada dek kendaraan atas yakni, 2 tangga s-b dan 1 tangga p-s (port side). Simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan *agent based modeling simulation* dijalankan berdasarkan standar IMO MSC.1/Circ. 1533 dengan menggunakan 4 kasus pada siang hari dan malam hari. Kondisi kebakaran juga akan disimulasikan pada simulasi evakuasi untuk mengetahui jumlah penumpang maksimal yang terevakuasi apabila kebakaran terjadi. Simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT dilakukan replikasi sebanyak 100 kali pada setiap kasus sebagai bentuk validasi pada tahap simulasi dengan dasar penggunaan distribusi uniform pada data kecepatan berjalan penumpang. Pada case 1 membutuhkan waktu 1236,5 detik untuk mengevakuasi seluruh penumpang, dan pada case 2 sampai 4 membutuhkan waktu masing-masing adalah 688,5 detik, 1615,5 detik, 953 detik. Pada kasus kebakaran membutuhkan waktu 1750 detik pada kondisi malam hari dengan 4 penumpang tidak terevakuasi dan pada kondisi siang hari membutuhkan waktu 795,3 detik dengan semua penumpang terevakuasi. Sehingga diperlukan re-desain *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT, sosialisasi terkait prosedur evakuasi, dan peningkatan kompetensi ABK dalam penerapan prosedur evakuasi.

Kata Kunci : Kebakaran kapal, Evakuasi Penumpang, Agent Based Modeling Simulation, IMO

Passenger Evacuation Analysis of 1309 DWT Ro-Ro Ship Using Agent Based Modeling Simulation

Name of Student : Mochammad Isom Mufikri
NRP : 0421144000093
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Supervisor 2 : Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc.

Abstrak

Ship accident that occurs in Indonesian waters has high frequency numbers. The form of the ship accident is dominated by the fire of Ro-Ro type ships or passenger ships which cause losses in the form of material, water pollution, and loss of human lives. In this final project, an Analysis of the Ro-Ro 1309 DWT vessel evacuation system will be carried out in an accident in the form of fire in the waters of the Java Sea. The initial data needed is in the form of general arrangement of the Ro-Ro 1309 DWT vessel, ship material information, passenger walking speed, and the composition and distribution of passengers. From the survey result, the composition of passengers are The composition of passengers consists of 36% men <30 years, 30.7% men around 30-50 years, 21.9% men >50 years, 3.5% women <30 years, 2.6% women around 30-50 years, and 5.3% of women >50 years old. Passenger distribution during the day consisted of 46% in the cabin and 54% distributed, the distribution of passengers at night consisted of 71% in the cabin and 29% distributed. The main causes of the emergence of fire will be assumed from historical event and used as input in conducting fire simulations using the fire dynamic simulator (FDS) program. This program models the distribution of fire from the ignition stage until the fire is at the outage stage. The output in this simulation is in the form of comparison information between temperature and time so that it will show the location affected by the fire. There are 3 points that experience fire on deck 3, namely, men's toilets, kitchens, and s-b (starboard side) stairs. There are 3 points that have a fire on the upper vehicle deck, namely, 2 s-b stairs and 1 p-s (port side) stairs. The passenger evacuation simulation of the Ro-Ro 1309 DWT ship using agent based modeling simulation is run based on the IMO standard MSC.1 / Circ. 1533 using 4 cases during the day and night. Fire conditions will be also simulated in an evacuation simulation to find out the maximum number of passengers evacuated when a fire occurs. The passenger evacuation simulation of the Ro-Ro 1309 DWT vessel was replicated 100 times in each case as a form of validation at the simulation stage with the basis of using uniform distribution on passenger walking speed data. In case 1 it takes 1236.5 seconds to evacuate all passengers, and in cases 2 to 4 it takes 688.5 seconds, 1615.5 seconds, 953 seconds respectively. In the case of a fire it took 1750 seconds at night with 4 passengers not evacuated and during the daytime conditions it took 795.3 seconds with all passengers evacuated. So that is needed, re-design the general arrangement of the Ro-Ro 1309 DWT vessel, disseminate information on evacuation procedures, and improve the ship's crew competence in implementing evacuation procedures.

Keywords: Ship Fire, Passenger Evacuation, Agent Based Modeling Simulation, IMO

KATA PENGANTAR

Puji syukur terucap kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Evakuasi Penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT Dengan *Agent Ased Modeling Simulation*” dengan hasil yang optimal. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan program studi sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis sadar bahwa hasil dari pengerjaan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan sehingga diperlukan kritik dan saran agar tugas akhir ini menjadi lebih bermanfaat. Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini serta proses dalam menempuh program studi sarjana tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak di bawah ini,

1. Keluarga penulis, Ibu Zuli Hidayati, Bapak Subandi, dan adik M Makhrus Irsyam serta Keluarga Besar Kakek Abdul Majid dan Kakek Markamin yang selalu mendukung dan mendoakan kehidupan penulis.
2. Bapak Ir. Tony Bambang Musrijadi, PGD., M.M.T., selaku dosen wali yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis untuk selalu belajar menjadi pribadi yang berkualitas.
3. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T, M.Sc., selaku pembimbing tugas akhir pertama dan Bapak Aleik Nurwahyudy, Dipl. TSI., S.T., M.Sc., selaku pembimbing tugas akhir kedua, yang telah membimbing penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir dan memberikan semangat serta pelajaran hidup untuk selalu bersyukur.
4. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang selalu semangat membentuk karakter penulis untuk menjadi pribadi yang kuat secara mental dan fisik.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang dengan ikhlas membagikan ilmu kepada penulis agar menjadi engineer yang siap menghadapi kehidupan pasca kampus.
6. Bapak Mohammad Yusuf selaku Direktur Armada & Teknik dan Bapak Miranto selaku staf Direktur Armada & Teknik PT. Dharma Lautan Utama yang telah membimbing dan membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir penulis.
7. Nur Azizah dan M Firman Fahrerozan sebagai teman yang berperan besar menyelamatkan kehidupan saya di tanah perantauan sehingga penulis bisa bertahan hidup.
8. Nadhira Zahrani dan Michael Prihantoro yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir.
9. Partner dalam berbagi ilmu Stupid squad dan Volunteer MCV yang semangat hanya ketika bersenang-senang.
10. Calvin, Utami, dan Sakamahija yang dengan ikhlas menerima segala kelebihan dan kekurangan penulis.
11. Teman Bermain dari Tahun Pertama Kelelawar Pemalas, Merkusuar, Densus 86 atas pelajaran hidupnya yang luar biasa.

12. Seluruh teman-teman satu angkatan MERCUSUAR, BISMARCK, BARAKUDA, SALVAGE, dan VOYAGE
13. Seluruh keluarga besar organisasi antara lain, HIMASISKAL 15/16 (Kabinet Mahakarya), HIMASISKAL 16/18 (Kabinet Asik), Pemandu Samudera FTK-ITS, Tim Pemandu “Reformasi” 2016, Tim Pemandu “Ekspresi” LKMM TM ITS 2017 dan penebar ekspresi, Tim Pemandu “Bumi” LKMM TM ITS 2018 dan penggerak bumi. yang telah membentuk pribadi saya dan mampu memahami kehidupan secara lebih mendalam.
14. Teman-teman laboratorium Marine Machinery and System (MMS) yang selalu memberikan dukungan kepada penulis di tahun terakhir perkuliahan.
15. Teman-teman laboratorium Marine Operation and Maintenance (MOM) yang sama-sama berjuang untuk menyelesaikan tugas akhir.
16. Pihak-pihak yang belum bisa penulis cantumkan namanya satu persatu.

Surabaya, 01 Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Data Utama Kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	5
2.2. Rute Pelayaran.....	6
2.2.1. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.....	6
2.2.2. Pelabuhan Trisakti Banjarmasin.....	9
2.3. Teori Api.....	10
2.3.1. Definisi Api dan Kebakaran.....	10
2.3.2. Jenis Kebakaran dan Alat Pemadamnya.....	11
2.3.3. Tahapan Kebakaran.....	12
2.3.4. Teori <i>Tetrahedron</i>	13
2.4. Simulasi Kebakaran.....	13
2.5. Prosedur Evakuasi Kapal Penumpang.....	15
2.6. Standar IMO MSC.1/Circ 1533.....	15
2.6.1. Metode Evaluasi.....	16
2.6.2. Skenario Yang Dipertimbangkan.....	16
2.6.3. <i>Performance Standards</i>	17
2.7. Metode Perhitungan Durasi Perjalanan Menggunakan Simulasi.....	18
2.7.1. <i>Response duration</i>	18
2.7.2. Kecepatan berjalan penumpang.....	18
2.7.3. Prosedur Perhitungan Durasi Perjalanan.....	19
2.8. <i>Agent Based Modeling and Simulation</i>	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Metodologi Penelitian.....	21

3.2.	Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	22
3.3.	Studi Literatur dan Pengumpulan Data	22
3.4.	Pengolahan Data.....	22
3.4.1.	3D <i>General Arrangement</i> Kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	22
3.4.2.	Kecepatan Berjalan Penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	23
3.4.3.	Komposisi dan Persebaran Penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT	23
3.4.4.	Informasi Material Kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	23
3.5.	Analisis Data	23
3.5.1.	Memprediksi Kemungkinan Kebakaran.....	23
3.5.2.	Simulasi Kebakaran.....	23
3.5.3.	Menentukan lokasi terdampak kebakaran	24
3.5.4.	Simulasi Sistem Evakuasi Kapal Ro-Ro 1309 DWT	24
3.5.5.	Menghitung <i>Total Assembly Duration</i> (tA).....	24
3.6.	Kesimpulan dan Saran.....	24
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		25
4.1.	Umum.....	25
4.2.	Pengumpulan Data	25
4.2.1.	Kecepatan Berjalan Penumpang.....	27
4.2.1.	Komposisi dan Persebaran Penumpang.....	29
4.3.	Pengujian Minimal Sampel	31
4.4.	Simulasi Kebakaran.....	32
4.4.1.	Pembuatan Model Simulasi Kebakaran.....	32
4.4.2.	Pembuatan Akses Berupa Pintu dan Tangga.....	35
4.4.3.	Pembuatan <i>Mesh</i>	36
4.4.4.	Penentuan <i>Species</i>	38
4.4.5.	Penentuan <i>Reactions</i>	39
4.4.6.	Penentuan <i>Material</i>	40
4.4.7.	Penentuan <i>Surface</i>	41
4.4.8.	Penentuan <i>Devices and Control</i>	41
4.4.9.	Pembuatan <i>Slices</i>	42
4.4.10.	Penentuan <i>Output</i> Simulasi	43
4.4.11.	Penentuan Parameter Simulasi dan Tahapan <i>Running</i>	46
4.5.	Hasil Simulasi Kebakaran	48

4.5.1.	Persebaran Api	48
4.5.2.	Persebaran Asap	50
4.5.3.	Lokasi Terbakar.....	52
4.6.	Simulasi Evakuasi Penumpang.....	53
4.6.1.	Pembuatan Model Simulasi Evakuasi Penumpang	54
4.6.2.	Penggambaran <i>Occupants</i>	56
4.6.3.	Penentuan Parameter Simulasi dan Tahapan Running	58
4.7.	Hasil Simulasi Evakuasi Penumpang	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1.	Kesimpulan.....	63
5.2.	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA		65

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Data Kecelakaan Transportasi Pelayaran KNKT 2012-2017	1
Tabel 4.1. menunjukkan data hasil survei kecepatan berjalan penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT :.....	27
Tabel 4.2. Persebaran Penumpang dan ABK kapal Ro-Ro 1309 DWT	30
Tabel 4.3. Komposisi penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT	30
Tabel 4.4. Total assembly duration pada setiap case	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Distribusi Investigasi Kecelakaan Pelayaran	2
Gambar 2.1. Kapal Ro-Ro 1309 DWT	5
Gambar 2.2. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.....	6
Gambar 2.3. Peta Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.....	6
Gambar 2.4. Pelabuhan Trisakti Banjarmasin	9
Gambar 2.5. Peta Pelabuhan Trisakti.....	9
Gambar 2.6. Segitiga Api	10
Gambar 2.7. Tahapan Kebakaran	12
Gambar 2.8. Teori <i>Tetrahedron</i>	13
Gambar 2.9. <i>Performance Standards</i>	17
Gambar 2.10. <i>Walking Speed as A function of Age and Gender</i>	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4.1. penumpang berjalan di koridor dan <i>outer gangway</i>	28
Gambar 4.5. Persebaran penumpang dan ABK pada kondisi siang hari	29
Gambar 4.6. tampilan <i>window side bar software pyrosim</i>	33
Gambar 4.7. tampilan <i>window</i> dan proses dari penggambaran ruangan pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT.	33
Gambar 4.8. tampilan <i>window</i> penentuan parameter dari material <i>steel</i>	34
Gambar 4.9. Hasil <i>3D drawing</i> pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan <i>software pyrosim</i>	34
Gambar 4.10. Tampilan <i>window</i> tahap penentuan <i>floor</i> berdasarkan tinggi setiap dek pada kapal Ro-Ro 1309 DWT	35
Gambar 4.11. Tampilan <i>window</i> dan proses pembuatan <i>slab hole</i> yang menggambarkan pintu dek 4 pada kapal Ro-Ro 1309 DWT	36
Gambar 4.12. Hasil akhir <i>3D drawing</i> kapal Ro-Ro 1309 DWT	36
Gambar 4.13. Tampilan <i>window</i> pembuatan <i>mesh</i> pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT .	37
Gambar 4.14. Hasil pembuatan <i>mesh</i> pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	37
Gambar 4.15. Tampilan <i>window</i> pembuatan <i>primitive species</i> berupa oksigen	38
Gambar 4.16. Tampilan <i>window</i> penentuan komposisi dari poliuretan.....	39
Gambar 4.17. Tampilan <i>window</i> penentuan <i>thermal properties</i> pada <i>steel</i>	40
Gambar 4.18. Tampilan <i>window</i> penentuan <i>surface</i> sebagai <i>burner</i>	41
Gambar 4.19. Tampilan <i>window</i> penentuan <i>device</i> (temperatur)	42
Gambar 4.20. Tampilan <i>window animated planar slices</i>	43

Gambar 4.21. Hasil Pembuatan <i>animated planar slices</i>	43
Gambar 4.22. Tampilan <i>window animated boundary quantities</i> dengan output wall temperature.....	44
Gambar 4.23. Tampilan <i>window animated isosurface</i> dengan <i>output temperature</i>	44
Gambar 4.24. Tampilan <i>window plot 3D data</i> dengan <i>output</i> produk dari hasil reaksi pembakaran	45
Gambar 4.25. Tampilan <i>window edit statistics</i> dengan <i>output</i> grafik antara temperatur dan waktu	46
Gambar 4.26. Tampilan <i>window</i> parameter simulasi dengan waktu simulasi selama 1800 detik dan <i>output</i> berupa <i>mass fraction</i> dari jelaga.....	47
Gambar 4.27. Tampilan <i>window</i> tahap simulasi dijalankan	47
Gambar 4.28. Tahap penyalaan api pada dek 2 pada detik ke 10	48
Gambar 4.29. Tahap pertumbuhan pada dek 2 dan tahap penyalaan dek 3 pada detik ke 20	48
Gambar 4.30. Tahap pertumbuhan api pada dek 2 dan dek 3 pada detik ke 1000.....	49
Gambar 4.31. Tahap penyalaan api pada dek 2 dan dek 3 pada detik ke 1800	49
Gambar 4.32. Kerapatan asap pada detik ke 5.....	50
Gambar 4.33. Kerapatan asap pada detik ke 20.....	50
Gambar 4.34. Kerapatan asap pada detik ke 50.....	51
Gambar 4.35. Kerapatan asap pada detik ke 1500.....	51
Gambar 4.36. Grafik antara waktu dan temperatur tangga pada dek kendaraan atas	52
Gambar 4.37. Grafik antara waktu dan temperatur dapur dan ruang saji pada dek 3.....	53
Gambar 4.38. Tampilan <i>window</i> dan proses pembuatan ruangan kapal Ro-Ro 1309 DWT.	54
Gambar 4.39. Tampilan <i>window</i> pada proses pembuatan pintu kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	54
Gambar 4.40. Tampilan <i>window</i> pada proses pembuatan tangga kapal Ro-Ro 1309 DWT.	55
Gambar 4.41. Tampilan <i>window</i> pada penentuan status tangga dan hasil pembuatannya.	55
Gambar 4.42. Hasil penggambaran pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan <i>software pathfinder</i>	55
Gambar 4.43. Persebaran penumpang berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari.	56
Gambar 4.44. Tampilan <i>window</i> proses penggambaran ABK 2.....	56
Gambar 4.45. Tampilan <i>window</i> proses penentuan parameter <i>profiles</i> pada siumulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	57

Gambar 4.46. Tampilan <i>window</i> proses penentuan nilai <i>initial delay</i> pada kondisi malam hari.....	57
Gambar 4.47. Tampilan <i>window</i> penentuan persentase dari penumpang	58
Gambar 4.48. tampilan <i>window</i> penentuan parameter simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT.....	58
Gambar 4.49. Tampilan <i>window</i> tahap <i>running</i> simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari.....	59
Gambar 4.50. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah <i>occupants</i> kondisi malam hari pada simulasi ke 92 (case 1).....	60
Gambar 4.51. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah <i>occupants</i> kondisi siang hari pada simulasi ke 44 (case 2).....	60
Gambar 4.52. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah <i>occupants</i> kondisi malam hari pada simulasi ke 10 (case 3).....	61
Gambar 4.53. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah <i>occupants</i> kondisi siang hari pada simulasi ke 50 (case 4).....	61
Gambar 4.54. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah <i>occupants</i> kondisi malam hari pada kasus kebakaran	62
Gambar 4.55. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah <i>occupants</i> kondisi siang hari pada kasus kebakaran	62

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki dua pertiga wilayah berupa perairan. Oleh karena itu, kegiatan distribusi tidak hanya menggunakan transportasi darat akan tetapi menggunakan transportasi melalui laut juga. Kapal dipilih sebagai mode transportasi perairan yang berperan dalam mengakomodasi semua kegiatan di laut seperti, distribusi barang, distribusi kebutuhan pokok, distribusi kebutuhan industri dan transportasi penyeberangan antar pulau. Tingkat kebutuhan kapal di Indonesia cukup tinggi, pada tahun 2009 terdapat sekitar 16.539 unit kapal yang beroperasi pada perairan Indonesia¹. Kapal sebagai alat transportasi perairan memiliki sistem permesinan, kelistrikan, perpipaan yang berfungsi untuk mengoperasikan kapal dengan fungsinya masing-masing. Dalam aktivitas perairan seperti operasional kapal memiliki banyak sekali risiko yang mungkin muncul. Risiko pada kapal dapat muncul dari banyak faktor mulai dari, faktor alam, *human factor*, dan kegagalan sistem. Risiko pada kapal dapat diartikan sebagai kondisi kapal yang tidak diinginkan seperti, tenggelam, terbakar, tubrukan, dan kandas. Akibat dari kondisi tersebut dapat menyebabkan kerugian berupa, kerugian material, pencemaran lingkungan sampai hilangnya nyawa manusia. Oleh karena itu tingkat keselamatan pada aktivitas perairan terutama pada operasional kapal sangat penting. Menurut data dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada 5 tahun terakhir mulai dari tahun 2012-2017 jumlah kasus kecelakaan kapal semakin meningkat. Yang artinya kesadaran akan keselamatan masih sangat kurang.

Tabel 1.1. Data Kecelakaan Transportasi Pelayaran KNKT 2012-2017²

Jenis Kecelakaan	Tahun					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tenggelam	0	2	2	3	6	6
Kebakaran	2	2	3	4	4	14
Tubrukan	2	2	2	3	3	6
Kandas	0	0	0	1	3	6
Lainnya	0	0	0	0	2	2
Total	4	6	7	11	18	34

Tabel 1.1. menunjukkan jumlah kecelakaan transportasi pelayaran yang terjadi dalam kurun waktu 5 tahun sejak tahun 2012 yang setiap tahunnya memiliki peningkatan jumlah kejadian dan menunjukkan besarnya potensi kecelakaan kapal

¹ Bondan Hendar Adiwibowo, "Simulasi Numerik Rekonstruksi Kebakaran Di Kapal, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, 7-8 Oktober 2015.

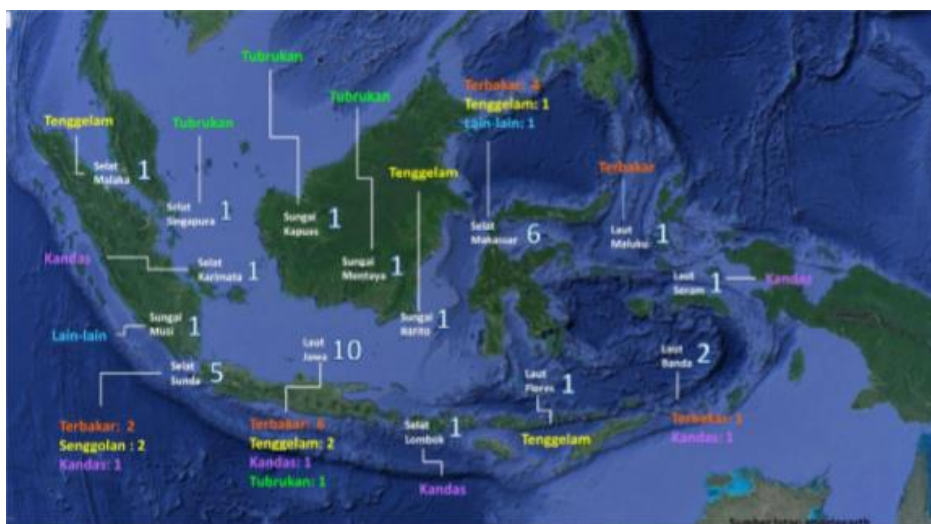
² Laporan Investigasi Keselamatan Transportasi, Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, 2017.

di Indonesia dengan jumlah kecelakaan paling banyak dikarenakan kapal mengalami kebakaran/ledakan

Tabel 1.2. Data Korban Kecelakaan Transportasi Pelayaran KNKT 2012-2017²

Korban Jiwa	Tahun					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Luka-luka	10	9	4	2	18	2
Meninggal/Hilang	13	65	22	85	45	42
Total	23	74	26	87	63	44

Tabel 1.2. menunjukkan jumlah korban jiwa akibat terjadinya kecelakaan transportasi pelayaran dalam kurun waktu 5 tahun sejak tahun 2012 dengan jumlah korban yang tidak sedikit dan menunjukkan jumlah kecelakaan transportasi pelayaran terbesar pada tahun 2015 dengan jumlah korban meninggal/hilang sebanyak 87 korban dan sebanyak 2 korban luka-luka.



Gambar 1.1. Distribusi Investigasi Kecelakaan Pelayaran
Sumber : (Komisi Nasional Kecelakaan Transportasi, 2017)

Dari **Gambar 1.1.** menunjukkan persebaran kecelakaan di perairan Indonesia yang terjadi pada tahun 2017. Dengan lokasi yang memiliki frekuensi kecelakaan perairan terbesar berada di laut Jawa dengan 10 kejadian. Banyak faktor yang berperan terkait kecelakaan di perairan Indonesia antara lain, aturan yang mengatur dan lemahnya pengawasan terhadap kapal, gangguan set generator tambahan di luar kamar mesin, dan tidak sesuainya penerapan *ISM Code* pada kapal. Jumlah kejadian terbanyak adalah kejadian berupa kebakaran/ledakan kapal berjenis Ro-Ro dan kapal penumpang.

² Laporan Investigasi Keselamatan Transportasi, Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, 2017.

Kebakaran kapal merupakan sesuatu yang sulit untuk dikendalikan karena kebakaran mungkin bisa terjadi tanpa kehendak manusia. Pada kapal terdapat beberapa pemicu yang dapat menyebabkan kebakaran, contohnya pada kamar mesin. Di kamar mesin banyak sekali hal yang dapat memicu kebakaran seperti, bocornya pipa bahan bakar, suhu ruangan yang tinggi, dan arus pendek peralatan listrik. Pemicu tersebut dapat menimbulkan kebakaran pada beberapa kompartemen sampai meledakkan seluruh badan kapal. Kejadian tersebut merupakan sebuah hal yang mengkhawatirkan bagi dunia maritim Indonesia¹. Sehingga perlu dilakukan tindakan berkelanjutan agar kecelakaan tersebut tidak terulang kembali dan angka kerugian dapat ditekan. Adapun penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas mengenai kebakaran dan evakuasi penumpang pada kapal diantaranya adalah penelitian mengenai analisis waktu evakuasi pada kapal perintis 1200 GT dengan menggunakan metode *advance* berdasarkan standar yang sudah menjadi ketentuan *Internatonal Maritime Organization*³. Penelitian lain membahas mengenai analisis evakuasi penumpang pada kapal menggunakan *discrete event simulation and social force model*⁴. Sehingga, dalam tugas akhir ini tindakan yang dapat diambil adalah melakukan analisis pasca kejadian kebakaran Kapal Ro-Ro 1309 DWT. Dari kejadian kebakaran tersebut dapat dianalisis sistem dan proses evakuasi penumpang agar waktu evakuasi memenuhi standar yang diadopsi serta memiliki rute evakuasi yang optimal. *International Maritime Organization* (IMO) pun telah mengatur metode dalam melakukan analisis terhadap waktu evakuasi kapal dan para ABK kapal³.

Dalam tugas akhir ini *output* yang diharapkan adalah mendapatkan rekomendasi terkait solusi mengenai evakuasi penumpang guna menekan adanya korban jiwa akibat kebakaran kapal menggunakan suatu metode analisis dalam berbagai kondisi. Bentuk analisis berupa simulasi kebakaran menggunakan program *fire dynamic simulator (FDS)* dimana titik awal munculnya api didapatkan dari *historical event* Kapal Ro-Ro 1309 DWT sehingga didapatkan gambaran fenomena kebakaran yang terjadi seperti persebaran api dan asap yang berdampak dalam proses evakuasi penumpang. Dalam tugas akhir ini juga dipertimbangkan komposisi dan persebaran penumpang pada kondisi siang dan malam, rute evakuasi yang diterapkan, dan juga kecepatan berjalan setiap orangnya untuk menuju *assembly station* dan *lifeboat* serta respon dari setiap penumpang terhadap kebakaran Kapal Ro-Ro 1309 DWT. Yang secara keseluruhan pertimbangan-pertimbangan tersebut dijadikan dasar dalam tahapan simulasi evakuasi penumpang menggunakan *agent based modeling simulation*.

¹ Bondan Hendar Adiwibowo, "Simulasi Numerik Rekonstruksi Kebakaran Di Kapal", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, 7-8 Oktober 2015.

³ Kusnindar Priohutomo, "Analisis Waktu Evakuasi Dengan Metode *Advance* Pada Kapal Perintis 1200 GT", dalam *Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknoogi (IPTEK) Kelautan*, 2017.

⁴ Ach. Nurul Firdausi dkk., "Analisis Evakuasi Penumpang Pada Kapal Ro-Ro Menggunakan *Discrete Event Simulation* Dan *Social Force Model*",

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan komposisi dan persebaran penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi siang dan malam?
2. Bagaimana menyimulasikan kebakaran kapal Ro-Ro 1309 DWT dan menentukan lokasi terbakar?
3. Bagaimana menyimulasikan evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan *agent based modeling simulation* dan Berapa waktu evakuasi penumpang dan ABK berdasarkan kasus 1,2,3, 4, dan kebakaran pada IMO MSC.1/Circ. 1533?
4. Apa saja rekomendasi yang dapat diusulkan dari hasil analisis sevakiasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT?

1.3. Batasan Masalah

1. Tugas akhir fokus pada proses evakuasi penumpang dan ABK pada kondisi normal dan kebakaran.
2. Data yang digunakan mengacu pada hasil survei kapal Ro-Ro 1309 DWT.
3. *Behaviour* penumpang tidak dipertimbangkan.
4. *Software* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *Pyrosim* dan *Pathfinder*.
5. Dalam melakukan simulasi proses evakuasi menggunakan *agent based modeling simulation*.
6. Guidelines yang digunakan adalah IMO MSC/Circ.1 1533.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui persentase komposisi dan persebaran penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT.
2. Megetahui persebaran hasil kebakaran dan ruangan yang terbakar pada kapal Ro-Ro 1309 DWT.
3. Mengetahui proses evakuasi pada kondisi normal dan kebakaran dan waktu evakuasi penumpang dan ABK kapal Ro-Ro 1309 DWT sesuai IMO MSC.1/Circ. 1533.
4. Menentukan rekomendasi-rekomendasi yang dapat diterapkan terkait *general arrangement & safety plan* kapal Ro-Ro 1309 DWT.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Membantu desainer kapal penumpang dalam mendesain *general arrangement and safety plan* serta rute evakuasi yang optimal.
2. Memberikan rekomendasi-rekomendasi kepada pihak yang terlibat seperti ABK, pemilik kapal dan pihak terkait dalam menentukan prosedur evakuasi ketika terjadi kecelakaan kapal penumpang

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Data Utama Kapal Ro-Ro 1309 DWT



Gambar 2.1. Kapal Ro-Ro 1309 DWT

Gambar 2.1. adalah kapal Ro-Ro 1309 DWT yang sedang melakukan kegiatan sandar di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tanggal 28 September 2018 setelah melakukan aktivitas pelayaran dengan tujuan Surabaya-Banjarmasin. Kapal ini memiliki 2 dek kendaraan yang terdiri dari dek kendaraan atas untuk kendaraan berukuran kecil dan dek kendaraan bawah untuk kendaraan berukuran besar. 2 dek penumpang yang terdiri dari dek penumpang atas untuk penumpang kelas VIP dan dek penumpang bawah untuk penumpang kelas ekonomi. dan 1 dek ABK yang berada pada dek paling atas kapal Ro-Ro 1309 DWT. Pada waktu yang sama kapal tersebut melakukan bongkar muat kendaraan serta penumpang untuk bersiap melakukan pelayaran menuju Pelabuhan Trisakti Banjarmasin. Pada umumnya kendaraan dengan jenis truk dan mobil hanya melakukan penyeberangan menggunakan kapal ini. Kapal Ro-Ro 1309 DWT ini adalah kapal yang akan dijadikan objek dalam melakukan analisis evakuasi penumpang. Kapal tersebut merupakan kapal berjenis Ro-Ro *Passanger* dengan spesifikasi sebagai berikut (*Vessel Traffic*, 02 Oktober 2018) :

<i>Flag</i>	: Indonesia [ID]	<i>Builder</i>	: Kanda Shipbuilding
<i>Vessel Type</i>	: Ro-Ro	<i>Class Society</i>	: BKI
<i>GT</i>	: 9168	<i>Year Built</i>	: 1983
<i>Deadweight</i>	: 1309 t	<i>Home Port</i>	: Surabaya
<i>Length Overall</i>	: 119 m		
<i>Breadth</i>	: 20.4 m		

2.2. Rute Pelayaran

2.2.1. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya



Gambar 2.2. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Pelabuhan Tanjung Perak berlokasi di kota Surabaya, Jawa Timur dengan ukuran pelabuhan seluas 1574,3 Ha serta luas lahan 545 Ha merupakan pelabuhan yang memiliki aktivitas terpadat setelah pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta. dikarenakan pelabuhan Tanjung Perak sebagai pusat perdagangan menuju wilayah Indonesia bagian timur dan juga akibat pertumbuhan ekonomi di provinsi Jawa Timur. Pelabuhan Tanjung Perak memiliki beberapa fasilitas penunjang aktivitas pelabuhan antara lain,

1. Terminal Gapura Surya Nusantara,
2. Terminal Pelabuhan Teluk Lamong, dan
3. Dermaga Kapal Pesiar.



Gambar 2.3. Peta Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Sumber : <http://www.pelindo.co.id/>

Dari **Gambar 2.3.** adalah peta pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang menjelaskan setiap fasilitas yang dimiliki dengan keterangan sebagai berikut :

A. Dermaga Jamrud Utara

Panjang : 1200 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 9 -M LWS

B. Dermaga Jamrud Barat

Panjang : 217 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 6 -M LWS

C. Dermaga Jamrud Selatan

Panjang : 800 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 7 -M LWS

Terminal Jamrud memiliki fasilitas dan peralatan berupa 6 unit *harbour mobile crane* kapasitas 100 Ton, gudang seluas 9744 m², lapangan penumpukan 43,1 Ha, dan terminal penumpang seluas 13000 m².

D. Dermaga Kalimas

Panjang : 2270 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 2,5 -M LWS

Terminal Kalimas memiliki fasilitas dan peralatan berupa gudang seluas 6060 m², dan lapangan penumpukan seluas 3520 m².

E. Dermaga Mirah

Panjang : 640 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 6 -M LWS

Terminal Mirah memiliki fasilitas dan peralatan berupa 2 unit *rubber tyred gantry* kapasitas 40 Ton, dan gudang seluas 13440 m².

F. Dermaga Berlian Timur

Panjang : 780 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 9,7 -M LWS

G. Dermaga Berlian Utara

Panjang : 140 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 7 -M LWS

H. Dermaga Berlian Barat

Panjang : 700 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 8,2 -M LWS

Terminal Berlian memiliki fasilitas dan peralatan berupa 16 unit *harbour mobile crane* kapasitas 100 Ton, 7 unit *rubber tyred gantry* kapasitas 40 Ton, 4 unit *reach stacker* kapasitas 40 Ton, lapangan penumpukan 7,5 Ha, dan 12 unit truk.

I. Dermaga Nilam Timur

Panjang	: 920	m
Lebar	: 15	m
Kedalaman kolam	: 8	-M LWS

Terminal Nilam memiliki fasilitas dan peralatan berupa 3 unit *ship to shore crane* kapasitas 35 Ton, 5 unit *rubber tyred gatry* kapasitas 40 Ton, 17 unit truk, dan lapangan penumpukan 3,4 Ha.

J. Dermaga Domestik TPS

Panjang	: 450	m
Lebar	: 45	m
Kedalaman kolam	: 7,5	-M LWS

K. Dermaga Internasional TPS

Panjang	: 1000	m
Lebar	: 50	m
Kedalaman kolam	: 10,5	-M LWS

Terminal Petikemas Surabaya memiliki fasilitas dan peralatan berupa 11 unit *ship to shore crane* kapasitas 35 Ton, 1 unit *harbour mobile crane* kapasitas 100 Ton, 33 unit *rubber tyred gantry* kapasitas 35 Ton, 6 unit *reach stacker* kapasitas 35 Ton, lapangan penumpukan 45 Ha, *container freight station* 1 Ha, dan 75 unit truk.

L. Dermaga Internasional TTL

Panjang	: 500	m
Lebar	: 50	m
Kedalaman kolam	: 10,5	-M LWS

M. Dermaga Domestik TTL

Panjang	: 450	m
Lebar	: 30	m
Kedalaman kolam	: 9	-M LWS

Terminal Teluk Lamong memiliki fasilitas dan peralatan berupa 5 unit *ship to shore crane* kapasitas 40 Ton, 10 unit *automated stacking crane* kapasitas 40 Ton, 50 unit *automatic terminal trailer*, 5 unit *straddle carrier*, lapangan penumpukan petikemas 15,86, dan lapangan penumpukan curah kering 10 ha.

2.2.2. Pelabuhan Trisakti Banjarmasin



Gambar 2.4. Pelabuhan Trisakti Banjarmasin

Pelabuhan Trisakti berlokasi di kota Banjarmasin Kalimantan. Pelabuhan tersebut memiliki aktivitas terpadat di Kalimantan yang dikelola oleh PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia III. Pelabuhan Trisakti berfungsi sebagai pintu gerbang arus keluar masuk barang ekspor dan impor maupun barang antar pulau dan negara. Pelabuhan Trisakti memiliki beberapa fasilitas penunjang aktivitas pelabuhan antara lain,

1. Terminal Penumpang Bandarmasih, dan
2. Terminal Petikemas Banjarmasin.



Gambar 2.5. Peta Pelabuhan Trisakti
Sumber : <http://www.pelindo.co.id/>

Dari **Gambar 2.5.** adalah peta pelabuhan Trisakti Banjarmasin yang menjelaskan setiap fasilitas yang dimiliki dengan keterangan sebagai berikut :

A. Dermaga Trisakti Konvensional

Panjang : 510 m
 Lebar : 20 m
 Kedalaman kolam : 7 -M LWS

B. Dermaga Trisakti Petikemas

Panjang : 601 m
 Lebar : 36 m
 Kedalaman kolam : 7 -M LWS

C. Dermaga Martapura Baru

Panjang : 415 m
 Lebar : 15 m
 Kedalaman kolam : 5 -M LWS

D. Dermaga pulang pisau

Panjang : 44 m
 Lebar : 15,5 m
 Kedalaman kolam : 5 -M LWS

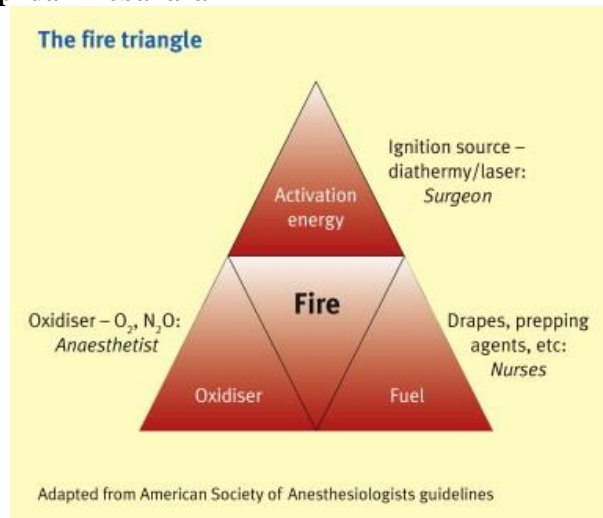
E. Dermaga basirih

Panjang : 250 m
 Lebar : 10 m
 Kedalaman kolam : 5 -M LWS

Terminal Trisakti memiliki fasilitas dan peralatan berupa 1 unit *mobile crane* 30 Ton, 1 unit *forklift* 3 Ton, 14 unit rtg, 24 unit truk, 2 unit *side loader*, 72 unit *reefer plug*, 6 unit *container crane*, 2 unit jembatan timbang, 7 unit *reach stacker*, dan 5 unit *forklift*.

2.3. Teori Api

2.3.1. Definisi Api dan Kebakaran



Gambar 2.6. Segitiga Api
 Sumber : (Thorn, 2010)

Api merupakan suatu hasil dari reaksi kimia yang melibatkan beberapa unsur pembentuk seperti, sumber panas, benda mudah terbakar, dan oksigen. Dimana ketiga unsur tersebut harus dipenuhi sehingga api dapat diproduksi. Proses pembentukannya dapat dijelaskan oleh segitiga api pada **Gambar 2.6**. Akan tetapi untuk sekarang model segitiga api sudah dikembangkan menjadi model *tetrahedron* yang memiliki unsur tambahan berupa chemical chain reaction dalam proses pembentukan api. Berikut merupakan ketiga unsur pembentuk api, antara lain :

1. Sumber panas
Sumber panas merupakan elemen pembentuk api yang apabila memiliki energi yang cukup dapat menjadi pemantik. Terdapat beberapa sumber utama energi panas antara lain, reaksi kimia, proses mekanik, elektrik, dan nuklir.
2. Bahan mudah terbakar
Bahan mudah terbakar dapat berupa benda padat, cair, dan gas. Akan tetapi untuk padatan dan cairan harus dikonversikan menjadi benda gas untuk dapat terbakar. Ketiga benda tersebut dapat terbakar apabila bereaksi dengan udara dan dipantik.
3. Oksigen
Oksigen yang terkandung dalam udara dapat menjadi pemicu kebakaran. Oksigen juga bisa didapat dari senyawa kimia yang disebut oksidator yang dibutuhkan untuk pembakaran.

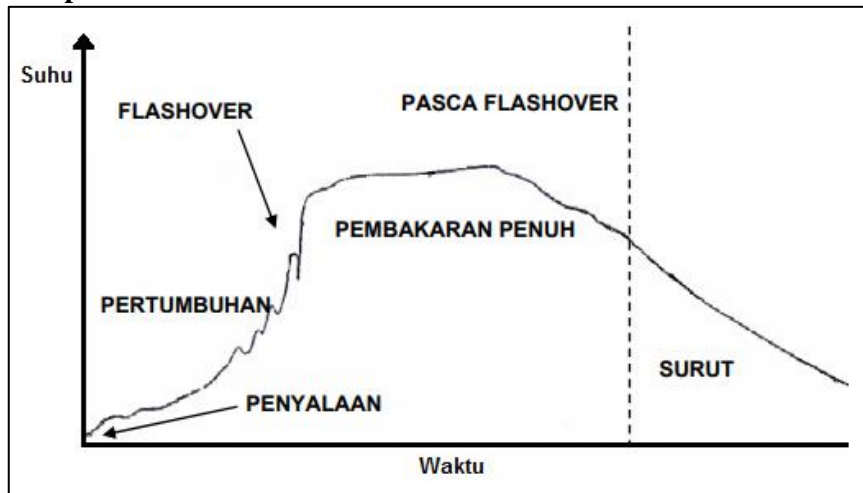
Sedangkan kebakaran adalah fenomena kompleks tidak terkendali yang merupakan interaksi antara aliran fluida udara sekitar, transfer panas dan massa, struktur bangunan dan reaksi kimia bahan mudah terbakar.

2.3.2. Jenis Kebakaran dan Alat Pemadamnya

Menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), penyebab kebakaran dikategorikan menjadi 5 antara lain :

1. Kategori A, mengategorikan kebakaran yang disebabkan oleh benda padat kecuali logam. Misal, kayu, kertas, dan plastik. Alat pemadam berupa : *foam, dry powder*, dan air.
2. Kategori B, mengategorikan kebakaran yang disebabkan oleh bahan bakar baik cair maupun gas. Misal, solar, LPG, dan LNG. Alat pemadam berupa : *foam, dry powder*, dan *water spray*.
3. Kategori C, mengategorikan kebakaran yang disebabkan oleh kegagalan instalasi listrik bertegangan. Alat pemadam berupa : karbondioksida (CO₂).
4. Kategori D, mengategorikan kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda logam. Misal, magnesium, aluminium, dan natrium. Alat pemadam berupa : *dry powder*.
5. Kategori K, mengategorikan kebakaran yang disebabkan oleh bahan dengan konsentrasi lemak yang tinggi. Alat pemadam berupa : *foam, dry powder*, dan air.

2.3.3. Tahapan Kebakaran



Gambar 2.7. Tahapan Kebakaran

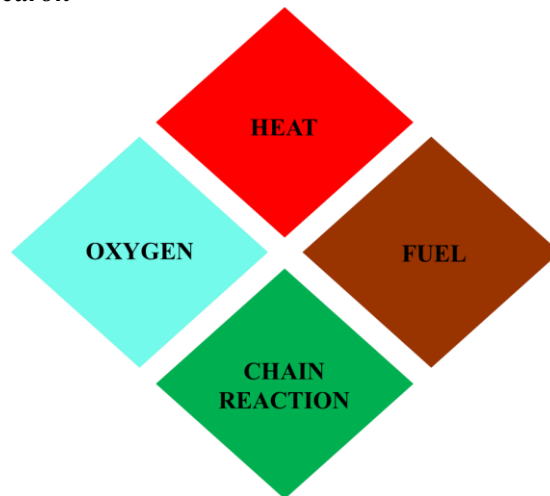
Sumber : (Tanubrata, 2006)

Gambar 2.7. menjelaskan tahapan kebakaran mulai dari tahap penyalaan dan api mulai tumbuh, pada saat pembakaran penuh maka api berada pada tahap puncak dari proses kebakaran. setelah tahapan puncak dilalui maka api semakin lama akan semakin surut sehingga temperaturnyapun juga surut. Hal tersebut dikarenakan material bahan terbakar sudah habis atau kandungan oksigen pada udara berkurang karena produksi gas karbon berlebih hasil pembakaran. **Gambar 2.7.** juga menjelaskan bahwa tahapan kebakaran dipengaruhi oleh waktu dan memiliki temperatur yang berbeda setiap tahapannya. Berikut tahapan kebakaran yang dibagi menjadi 4 tahap antara lain :

1. Tahapan kebakaran muncul
 - Dimulainya reaksi antara unsur-unsur pembentuk api (sumber panas, oksigen, dan bahan mudah terbakar).
 - Berpotensi untuk padam dengan sendirinya apabila api tidak mampu mencapai tahap kebakaran selanjutnya.
 - Menentukan tindakan pemadaman atau untuk menyelamatkan diri.
2. Tahap kebakaran tumbuh
 - Api membakar bahan yang mudah terbakar sehingga api semakin membesar.
 - Dapat memicu terjadinya *flashover* akibat tingginya panas dari api yang menyambar benda-benda mudah terbakar.
 - Berpotensi menyebabkan korban terjebak, terluka, dan kematian bagi petugas pemadam.
3. Tahap kebakaran puncak
 - Semua bahan mudah terbakar menyala secara keseluruhan.
 - Nyala api dengan puncak terpanas dan paling membahayakan nyawa manusia.

4. Tahap kebakaran reda
 - Tahap kebakaran yang memakan waktu paling lama di antara tahap-tahap kebakaran lainnya.
 - Kadar oksigen dan bahan mudah terbakar menurun sehingga menyebabkan api padam.
 - Terdapat bahan mudah terbakar yang belum menyala berpotensi untuk memunculkan api.
 - Berpotensi menimbulkan ledakan akibat masuknya pasokan oksigen secara tiba-tiba akibat kebakaran di ruang tertutup yang dibuka ketika kebakaran berlangsung.

2.3.4. Teori *Tetrahedron*



Gambar 2.8. Teori *Tetrahedron*

Gambar 2.8. menjelaskan bahwa teori *tetrahedron* memiliki 4 unsur pembentukan api antara lain :

1. Sumber panas.
2. Bahan mudah terbakar.
3. Oksigen, dan
4. *Chemical chain reaction*.

Dimana kebakaran dapat terjadi apabila unsur berupa *chemical chain reaction* bereaksi bersamaan dengan ketiga unsur lainnya. *Chemical chain reaction* dapat menyebabkan api dapat hidup terus menerus.

2.4. Simulasi Kebakaran

Pada tugas akhir ini, simulasi kebakaran ada kaitannya dengan hasil dari prediksi kemungkinan terjadinya kebakaran. Dari hasil prediksi tersebut akan didapatkan titik awal munculnya api yang disimulasikan persebarannya terhadap waktu menggunakan *software pyrosim*. *Pyrosim* merupakan *graphic user interface* untuk *Fire Dynamic Simulator (FDS)*. *Output* dari program ini berupa grafik persebaran api dan asap terhadap waktu simulasi.

Fire Dynamic Simulator merupakan kode komputasi dinamika fluida (CFD) dimana tidak semua detail suatu objek digunakan sebagai *input* data. *Software* ini pada dasarnya menyimulasikan suatu kejadian berupa kebakaran sehingga mampu menampilkan model dengan informasi berupa model persebaran api dan asap selama kebakaran. Hasil model tersebut telah digunakan sebagai pedoman dalam mendesain sistem keselamatan yang ada di kapal, merekonstruksi kebakaran sebagai bahan penyelidikan, dan membantu dalam pelatihan pemadaman kebakaran. *Fire Dynamic Simulator* dapat digunakan untuk membuat model dari beberapa fenomena antara lain :

- Transformasi panas dan produk pembakaran pada kecepatan rendah.
- Perpindahan konveksi dan radiasi antara gas dan permukaan benda.
- *Pyrolysis*.
- Penyebaran nyala dan perkembangan api.
- Pengaktifan *sprinkle* dan *detector*.
- Pemadaman kebakaran dengan *sprinkle*.

Dalam simulasi dengan *software pyrosim* akan menggunakan persamaan aliran *navier-stokes* untuk kecepatan rendah. Dalam simulasi ini akan menunjukkan transformasi panas dan asap dari kebakaran yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. Perhitungannya bisa menggunakan *Direct Numerical Simulation* (DNS) atau *Large Eddy Simulation* (LES) yang penggunaannya tergantung dari tujuan dan resolusi *grid* dari geometri. Penyederhanaan persamaannya menggunakan hukum kekekalan massa, momentum, energi, dan persamaan gas ideal. Berikut persamaan yang menjadi persamaan dasar dalam simulasi kebakaran :

1. Persamaan kekekalan massa

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot \rho u = 0 \quad (2.1)$$

2. Persamaan kekekalan momentum

$$\frac{d}{dt}(\rho u) + \nabla \cdot \rho u^2 + \nabla \rho = \rho f + \nabla \tau_{ij} \quad (2.2)$$

3. Persamaan kekekalan energi, dan

$$\frac{d}{dt}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \frac{d\rho}{dt} + qm - \nabla \cdot q + \varphi \quad (2.3)$$

4. Persamaan gas ideal

$$\rho = \frac{pRT}{M} \quad (2.4)$$

Dimana :

ρ	: kerapatan gas	H	: koefisien perpindahan kalor
t	: waktu	q	: laju pelepasan panas
u	: vektor kecepatan	φ	: fungsi disipasi
p	: tekanan	R	: universal gas constant
τ_{ij}	: <i>viscous stress tensor</i>	M	: berat molekul gas
F	: vektor gaya luar	T	: temperatur

2.5. **Prosedur Evakuasi Kapal Penumpang**

Prosedur evakuasi kapal penumpang merupakan tata cara yang harus dipatuhi dalam mengarahkan penumpang kapal menuju ke lokasi evakuasi (*assembly station*) dari tempat kejadian bencana seperti kebakaran. Selain peralatan keselamatan seperti, alarm, dan peralatan pemadam, aplikasi prosedur evakuasi yang tepat guna melakukan pengarahan penumpang menuju lokasi evakuasi menjadi bagian penting apabila suatu kapal mengalami kebakaran. Tahapan evakuasi pertama yang harus dilakukan adalah dengan mengarahkan penumpang menuju lokasi evakuasi sebelum peralatan keselamatan dilepaskan (*life boat, life raft*) untuk meninggalkan kapal yang terbakar. Dalam hal ini rute evakuasi memiliki peran yang utama dalam menentukan keselamatan korban dengan mempertimbangkan jumlah penumpang dan ABK. Dalam evakuasi kapal penumpang memiliki risiko yang berbeda-beda tergantung dari jumlah penumpang dan tingkat kepanikan pada saat kebakaran terjadi. Dalam penentuan kriteria prosedur evakuasi terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi antara lain :

1. Mudah diatur dengan definisi kelompok evakuasi yang jelas dan jadwal perjalanan.
2. Menghitung dengan waktu realibilitas yang memadai dari waktu tiba hingga tempat berkumpul awak kapal.
3. Menghitung dan meminimalkan waktu evakuasi kapal hingga awak kapal terakhir keluar dari kapal yang terbakar.

Terdapat prinsip dasar dalam melakukan prosedur evakuasi kapal penumpang yang harus dipenuhi antara lain :

- Kebijakan prosedur evakuasi.
- Koordinasi pergerakan dalam proses evakuasi.
- Komunikasi dalam pelaksanaan proses evakuasi.
- Program pelatihan.
- Inspeksi dan evaluasi.

2.6. **Standar IMO MSC.1/Circ 1533**

IMO MSC.1/Circ. 1533 adalah suatu pedoman yang digunakan untuk analisis evakuasi kapal penumpang. Pedoman ini akan memberikan informasi berupa asumsi awal yang akan digunakan dalam melakukan analisis terhadap waktu evakuasi kapal penumpang pada saat mengalami kecelakaan berdasarkan kejadian sebenarnya. Hasil dari asumsi ini diharapkan dapat mendekati keadaan yang sebenarnya.

Berikut ini istilah-istilah yang dipakai pada saat evakuasi menurut *International Maritime Organization (IMO)* :

1. *Persons load* adalah jumlah orang yang diasumsikan dalam proses evakuasi.
2. *Respon duration (R)* adalah durasi yang diperlukan bagi orang-orang untuk bereaksi. Durasi ini dimulai saat alarm dinyalakan dan berakhir ketika penumpang sadar bahwa ada kecelakaan dan mulai menuju *assembly station*.
3. *Individual travel duration* adalah durasi yang diperlukan oleh satu orang untuk menuju *assembly station*.
4. *Individual assembly duration* adalah jumlah dari respon dan durasi perjalanan individu.

5. *Total assembly duration* (tA) adalah durasi maksimal setiap individu
6. *Total travel duration* (T) adalah jumlah durasi seluruh penumpang menuju *assembly station*.
7. *Embarkation and launching duration* (E+L) adalah durasi yang diperlukan untuk mengantisipasi waktu tambahan mulai dari alarm dibunyikan sampai seluruh penumpang menggunakan *life jackets*.

2.6.1. Metode Evaluasi

Tahapan dalam analisis evakuasi dapat ditentukan sebagai berikut :

1. Identifikasi penumpang, awak kapal dan tempat evakuasi.
2. Identifikasi rute evakuasi.

Asumsi umum untuk diaplikasikan kedalam metode perkiraan waktu evakuasi berdasarkan pada beberapa skenario yang ideal dan asumsi-asumsi sebagai berikut,

1. Penumpang dan awak kapal akan dievakuasi melalui rute evakuasi utama menuju *assembly station*. Sebagaimana yang dimaksud dalam SOLAS II-2/13.
2. Jumlah maksimum penumpang dan distribusi awal berdasarkan bab 13 *FSS Code*.
3. Ketersediaan dari perencanaan evakuasi sepenuhnya dipertimbangkan, kecuali diberikan pertimbangan lain.
4. ABK akan segera berada di lokasi untuk mengevakuasi penumpang.
5. Asap, panas dan api beracun hasil pembakaran tidak dianggap mempengaruhi kinerja penumpang dan awak kapal.
6. Perilaku kelompok keluarga tidak dipertimbangkan.
7. Gerakan kapal, tumit dan kapal tidak dipertimbangkan.

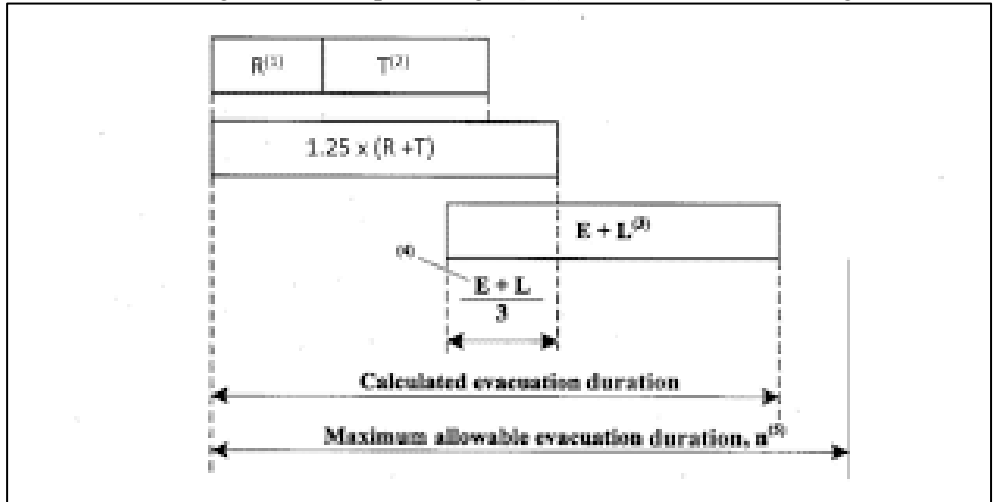
2.6.2. Skenario Yang Dipertimbangkan

Terdapat minimal 4 skenario yang harus dipertimbangkan dalam tahapan analisis pada simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT. Berikut merupakan 4 tipe skenario yang sesuai dengan IMO MSC.1/Circ. 1533,

1. Kasus 1 (kasus evakuasi primer pada kondisi malam hari), dan kasus 2 (kasus evakuasi primer pada kondisi siang hari) yang disesuaikan dengan bagian 13 pada *FSS Code*.
2. Kasus 3 (kasus evakuasi sekunder pada kondisi malam hari) dan kasus 4 (kasus evakuasi sekunder pada kondisi siang hari). Pada kasus ini hanya zona vertical utama yang menghasilkan waktu terpanjang suatu individu untuk mencapai *assembly station*. Namun, untuk jumlah populasi yang digunakan dalam kasus sekunder ini sama dengan populasi yang diterapkan pada kasus evakuasi primer. Berikut ini merupakan dua alternatif yang harus dipertimbangkan untuk kedua kasus sekunder. Untuk kapal dengan tipe Ro-Ro, alternatif yang pertama harus menjadi prioritas daripada alternatif kedua.
 1. Alternatif 1 : tangga yang merupakan akses antara dek satu dengan dek lainnya dan memiliki kapasitas populasi terbesar di nonaktifkan pada saat tahapan simulasi berlangsung. Atau
 2. Alternatif 2 : 50% populasi pada suatu zona vertical utama dipaksa untuk berpindah menuju ke zona lainnya dan melanjutkan ke *assembly station*. Zona vertical utama dengan populasi terbesar yang harus dipilih untuk tahapan simulasi.

2.6.3. Performance Standards

Gambar 2.9. mengilustrasikan perhitungan *performance standard* sebagai berikut :



Gambar 2.9. Performance Standards

Sumber : (IMO's Interim Guidelines MSC.1/Circ. 1533, 2016)

Gambar 2.9. menjelaskan terkait perhitungan standar evakuasi dengan keterangan sebagai berikut :

- (1) Sesuai dengan detail spesifikasi dari metode analisis.
- (2) Dihitung sesuai dengan lampiran pada IMO MSC.1/Circ. 1533
- (3) Maksimum 30 menit sesuai dengan peraturan SOLAS III/ 21.1.3.
- (4) Waktu jeda = $1/3 (E+L)$.
- (5) Nilai-nilai n minimal yang disediakan sesuai dengan *performance standard*.

Perhitungan total durasi untuk evakuasi adalah sebagai berikut :

$$1.25 (R + T) + \frac{2}{3} (E + L) \leq n \quad (2.5)$$

$$(E + L) \leq 30 \text{ min} \quad (2.6)$$

Performance standard (1) diaplikasikan untuk :

1. Kapal penumpang Ro-Ro dengan nilai $n = 60$.
2. Untuk kapal penumpang selain kapal penumpang Ro-Ro :
 - nilai $n = 60$ apabila kapal tidak memiliki lebih dari tiga zona vertikal utama.
 - nilai $n = 80$ apabila kapal memiliki lebih dari tiga zona vertikal utama.

Performance standard (2) sesuai dengan peraturan SOLAS III/21.1.3. $E + L$ harus dihitung terpisah berdasarkan :

1. hasil uji coba skala penuh pada kapal dan sistem evakuasi yang serupa.
2. Hasil dari simulasi berdasarkan analisis embarkasi.
3. Data disediakan oleh pembuat. Namun, dalam kasus ini metode perhitungan harus didokumentasikan, termasuk nilai faktor koreksi yang digunakan.

Durasi embarkasi dan peluncuran ($E+L$) harus didokumentasikan dengan jelas agar tersedia jika terjadi perubahan LSA. Untuk kasus-kasus dimana tak satupun dari

ketiga metode di atas dapat digunakan, nilai dari (E+L) harus diasumsikan sama dengan 30 menit.

2.7. Metode Perhitungan Durasi Perjalanan Menggunakan Simulasi

Pada perhitungan durasi perjalanan menggunakan simulasi terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan seperti, karakteristik setiap model, parameter yang akan digunakan dalam simulasi, dan detail dari pembuatan skenario. Waktu pada saat kejadian juga berpengaruh terhadap hasil simulasi, seperti waktu siang dan malam. Pada simulasi ini data yang diperlukan dalam proses simulasi berupa data komposisi dan persebaran penumpang, serta kecepatan berjalan pada berbagai kondisi. Dalam perhitungan durasi evakuasi terdapat beberapa parameter yang harus dipenuhi antara lain,

1. Durasi respon agen terhadap suatu kejadian (R) yang akan digunakan dalam perhitungan.
2. Metode untuk menentukan durasi perjalanan (T).
3. Durasi embarkasi dan launching (E+L).

2.7.1. Response duration

Distribusi *response duration* untuk skenario yang digunakan harus diterapkan menggunakan distribusi uniform. Berikut ini persamaan yang diberikan dalam perhitungan *response duration* :

Untuk kasus malam hari,

$$y = \frac{1.01875}{\sqrt{2\pi}0.84(x-400)} \exp \left[-\frac{(\ln(x-400)-3.95)^2}{2x0.84^2} \right] \quad (2.7)$$

Dengan nilai x , $400 < x < 700$

Untuk kasus siang hari,

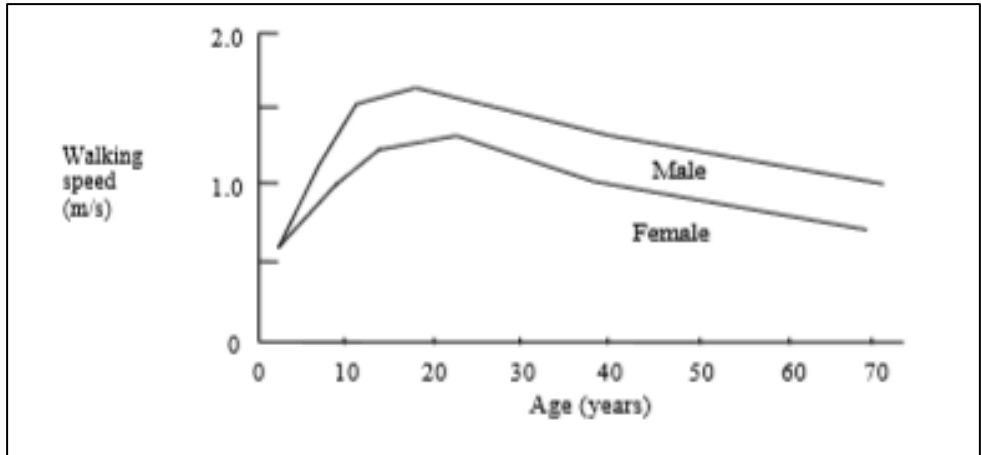
$$y = \frac{1.00808}{\sqrt{2\pi}0.94x} \exp \left[-\frac{(\ln(x)-3.44)^2}{2x0.94^2} \right] \quad (2.8)$$

Dengan nilai x , $0 < x < 300$

Dimana nilai x adalah *response duration* dengan satuan detik dan y adalah peluang kerapatan pada *response duration* x .

2.7.2. Kecepatan berjalan penumpang

Kecepatan berjalan maksimal pada kasus ini yang digunakan adalah data kecepatan dari hasil survei objek secara langsung dengan melakukan pelayaran sesuai dengan rute pelayaran kejadian sebenarnya. Metode yang digunakan adalah pengambilan sampel secara langsung dengan mempertimbangkan jenis kelamin dan rentang usia dari sampel. Pada Gambar 2.10. merupakan grafik yang menjelaskan hubungan antara kecepatan berjalan penumpang dengan usia dan jenis kelamin dimana nilai maksimal dari kecepatan berjalan penumpang untuk pria pada usia 18 tahun dan nilai maksimal kecepatan berjalan penumpang untuk wanita pada usia 22 tahun.



Gambar 2.10. *Walking Speed as A function of Age and Gender*

Sumber : (IMO's Interim Guidelines MSC.1/Circ. 1533, 2016)

2.7.3. **Prosedur Perhitungan Durasi Perjalanan**

Metode simulasi dalam menghitung durasi perjalanan yang dibutuhkan oleh seorang agen untuk menuju ke assembly station memiliki beberapa parameter yang harus dipenuhi. Dalam tahapan simulasi durasi perjalanan yang diprediksi oleh seorang agen berjumlah acak karena sifat probabilistik dari proses evakuasi. Berikut merupakan parameter yang harus dipenuhi dalam tahapan simulasi untuk menghitung durasi perjalanan $t(A)$,

1. Secara total setidaknya 500 simulasi yang berbeda harus dilakukan untuk masing-masing kasus benchmark, untuk setiap kasus setidaknya akan menghasilkan 500 nilai tA yang berbeda.
2. Simulasi dapat dilakukan hanya dengan 100 pengulangan apabila memiliki nilai yang signifikan untuk setiap kasus benchmark, sehingga menghasilkan 100 nilai tA yang berbeda.
3. Nilai dari durasi perjalanan untuk masing-masing kasus 1 hingga 4 akan diambil nilai yang lebih tinggi dari 95% dari total jumlah tA yang sudah disimulasikan.
4. Nilai tA dari keempat kasus yang memenuhi standar kerja adalah yang memiliki nilai tertinggi dari keempat durasi perjalanan.

2.8. **Agent Based Modeling and Simulation**

Simulasi merupakan metode penggambaran suatu model yang menyesuaikan dengan objek dan kejadian sebenarnya. Penerapan simulasi pada umumnya dengan menggunakan bantuan *software* yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang seminimal mungkin memiliki sedikit perbedaan antara model dengan sistem yang sebenarnya. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk perilaku dan karakteristik model yang menanggapi suatu kejadian akibat pengaruh dari internal maupun eksternal. Hasil dari tahapan simulasi akan dijadikan sebagai dasar dalam penerapannya ke objek sebenarnya untuk menurunkan risiko dari kejadian dan mengurangi dampak dari kejadian tersebut.

Agent Based Modeling and Simulation (ABMS) adalah pembuatan model dengan mensimulasikan tindakan dan interaksi suatu model. Metode ini bertujuan untuk mengetahui reaksi dari model jika dikenai suatu kasus kompleks berdasarkan keadaan sebenarnya. Berikut merupakan kelebihan dari penggunaan ABMS antara lain :

1. Dapat menggambarkan kondisi model seperti kondisi sebenarnya. Seperti, tangga, jendela, dan seluruh ruangan di kapal.
2. Dapat mensimulasikan posisi persebaran api pada saat kejadian kebakaran dan dapat juga membuat pencegahan kebakaran.
3. Dapat mensimulasikan skenario keselamatan, seperti rute evakuasi penumpang menuju master point.

Agent Based Modeling Simulation memodelkan suatu ruangan yang memiliki akses keluar dan masuk, seperti kamar tidur, kamar mandi, dan ruang makan. Kondisi tersebut memungkinkan untuk melakukan pemodelan terhadap manusia dan api dalam setiap ruangan. Suatu model dalam metode ini disebut sebagai agen. Setiap agen akan menggambarkan kondisi seseorang beserta lingkungannya. Agen yang berinteraksi satu sama lain dan saling memengaruhi akibat kejadian kebakaran akan digambarkan oleh metode ABMS. Dalam keadaan darurat seperti kebakaran akan memberikan pengaruh terhadap reaksi agen karena munculnya asap yang dapat menghambat pergerakan agen pada saat proses evakuasi dijalankan. Oleh karena itu ABMS sangat penting diterapkan pada kondisi tersebut untuk melancarkan proses evakuasi dan dapat mengurangi peluang korban jiwa muncul. Simulasi menggunakan ABMS memiliki beberapa skenario penting antara lain :

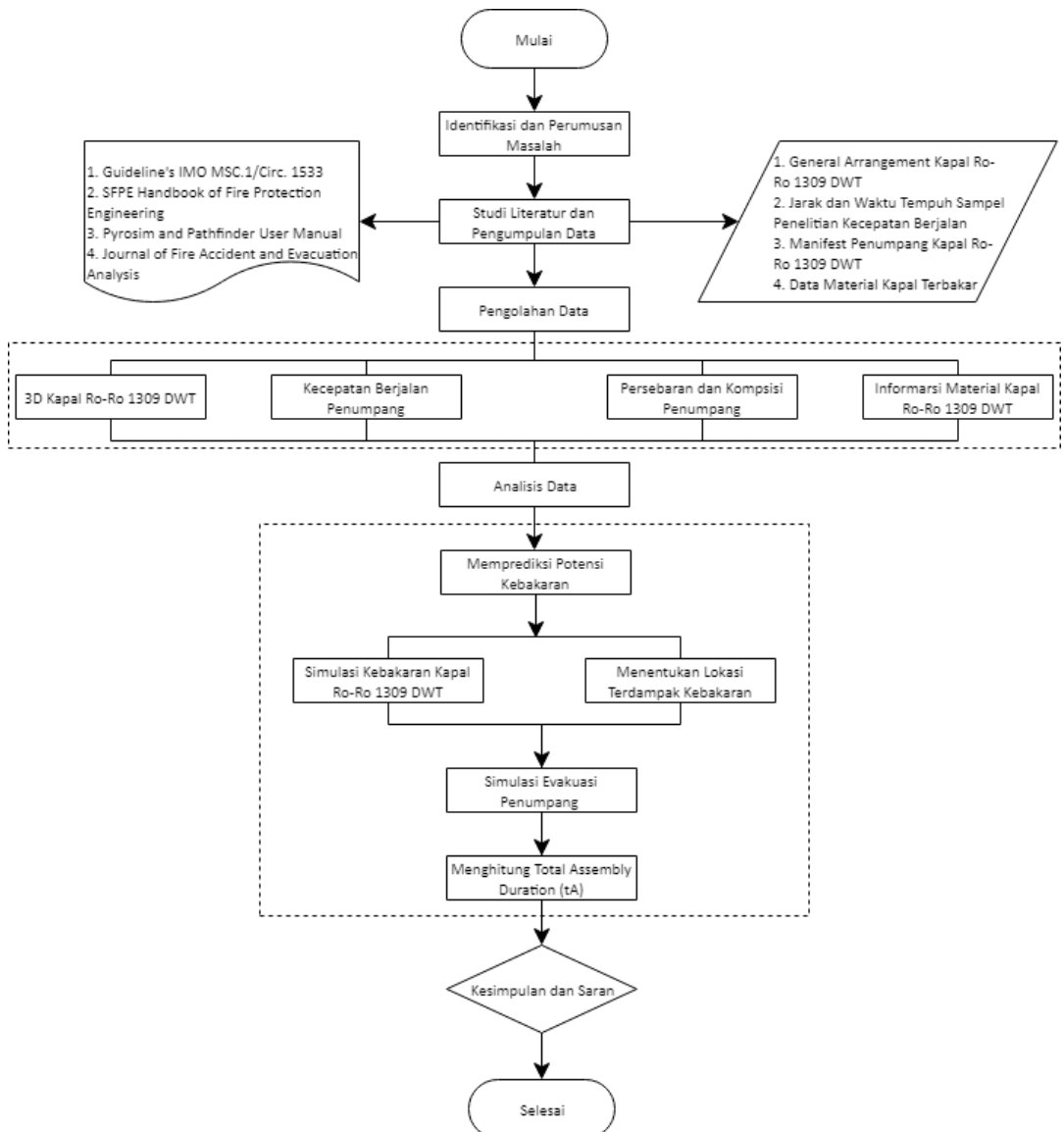
1. Representasi yang kurang dari agen terhadap alam.
2. Hasil dari suatu simulasi dapat dijadikan input ketika terjadi perubahan proses struktural.
3. Tingkat acak agen yang meningkat.
4. Terdapat kejadian yang tidak dapat diprediksi.
5. Terdapat komponen yang memengaruhi perilaku agen.
6. Saat agen-agen berkumpul menjadi suatu organisasi.
7. Agen memiliki perilaku tertentu.
8. Hubungan antar agen bersifat dinamis.
9. Agen dapat belajar, beradaptasi, dan dapat merubah perilaku masing-masing.

Keuntungan menggunakan ABMS adalah proses simulasinya yang fleksibel, menggambarkan kondisi sebenarnya, dan memberikan jawaban dalam pelaksanaan proses evakuasi penumpang yang optimal sehingga menurunkan angka korban yang berjatuhan. Oleh karena itu ABMS dapat menawarkan solusi dengan mengetahui kondisi sebelum dan setelah kejadian sehingga dapat dijadikan rekomendasi untuk kejadian serupa lainnya dalam proses evakuasi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Metodologi Penelitian merupakan kerangka dasar suatu penelitian yang meliputi semua kegiatan untuk memecahkan suatu permasalahan dengan tahapan-tahapan yang sudah disusun, seperti perumusan masalah, metode, validasi, dan hasil. Dari hasil dalam suatu penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang konkret. Dalam tugas akhir ini disusun diagram alir metodologi penelitian seperti yang terlihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini tahapan pertama yang dilaksanakan adalah identifikasi dan perumusan masalah. Permasalahan yang diambil adalah kecelakaan di perairan Indonesia yang sering terjadi dalam kurun waktu 5 tahun terakhir terhitung dari tahun 2012. Kecelakaan dalam bentuk kebakaran kapal Ro-Ro 1309 DWT lebih difokuskan dalam tugas akhir ini. Kecelakaan dalam bentuk kebakaran dapat memberikan kerugian yang tidak kecil. Kerugian dapat berbentuk material, pencemaran lingkungan sampai dengan hilangnya nyawa manusia. Langkah pertama yang diambil dalam tugas akhir ini adalah melakukan pengolahan data dalam bentuk evaluasi untuk menerima informasi-informasi yang dibutuhkan dalam proses analisis data. Selanjutnya akan diprediksi kemungkinan kebakaran sehingga titik awal terbentuknya api dapat diketahui. Setelah diketahui titik awal munculnya api maka akan dilakukan suatu simulasi persebarannya yang sebanding dengan berjalannya waktu. Dari hasil simulasi persebaran api dapat dijadikan bekal dalam pembuatan simulasi proses evakuasi penumpang terhadap waktu dan hasil akhirnya muncul usulan berupa rute evakuasi yang optimal dengan waktu tercepat. Setiap tahapan tersebut bertujuan untuk meminimalkan kebakaran dapat terjadi lagi dan mengantisipasi agar kerugian berupa material, pencemaran, dan nyawa manusia dapat dikurangi.

3.3. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur merupakan tahapan selanjutnya untuk mendapatkan informasi yang mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini. Informasi tersebut berupa teori, metode pengerjaan, regulasi, dan standar. Studi literatur dapat diperoleh dengan membaca buku, jurnal, *paper*, regulasi dan standar terkait bahasan pada tugas akhir ini.

Pada tahapan ini dilakukan juga pengumpulan data guna menunjang dalam pengolahan data sebagai *input* awal pengerjaan tugas akhir ini. Berikut merupakan data yang diperlukan dalam tugas akhir ini diantaranya :

1. *General Arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT
2. Jarak dan Waktu Tempuh Sampel Penelitian Kecepatan Berjalan
3. Manifest Penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT
4. Data Material Kapal Terbakar

3.4. Pengolahan Data

Pada tahapan ini data yang diolah hasilnya akan digunakan sebagai *input* dalam tahapan simulasi. Berikut data yang diolah beserta outputnya,

3.4.1. 3D *General Arrangement* Kapal Ro-Ro 1309 DWT

General Arrangement (GA) merupakan gambar tampak atas, samping dan depan sebuah kapal yang menunjukkan pembagian setiap ruangan sesuai dengan fungsinya. Seperti, ruang kamar mesin, ruang akomodasi, dan ruang muatan. Pada tahap pengolahan data, akan dicari informasi dari GA kapal Ro-Ro 1309 DWT berupa desain ruang kamar mesin, desain ruang kamar penumpang, penempatan peralatan evakuasi dan desain *fire fighting system*. Dari data tersebut akan dijadikan data untuk tahap selanjutnya yakni analisis data.

Pada tahap pengolahan data ini akan didesain ulang *general arrangement* dari kapal Ro-Ro 1309 DWT dalam bentuk 2D dan 3D. Tujuan dari tahap desain ulang adalah untuk membantu proses pengerjaan tugas akhir pada tahap simulasi.

3.4.2. Kecepatan Berjalan Penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT

Pada tahapan ini akan didapatkan informasi berupa kecepatan berjalan penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT dari hasil survei objek secara langsung dengan pengambilan sampel secara acak suatu agen yang menempuh jarak tertentu dengan waktu masing-masing. Pada pengambilan data akan dikategorikan berdasarkan rentang usia dan jenis kelamin.

3.4.3. Komposisi dan Persebaran Penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT

Komposisi dan Persebaran Penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT didapatkan dari hasil survei objek secara langsung dengan mempertimbangkan kondisi siang dan malam yang memengaruhi persebaran dan komposisi dari penumpang setiap ruangan. Yang selanjutnya data tersebut akan diterapkan ke dalam data manifest penumpang dengan kapasitas penumpang terbanyak.

3.4.4. Informasi Material Kapal Ro-Ro 1309 DWT

Pada tahapan ini akan ditentukan parameter-parameter yang merupakan sifat dari material kapal Ro-Ro 1309 DWT yang akan memengaruhi hasil dari simulasi kebakaran kapal. Pada kapal terdapat berbagai macam material yang merupakan komponen penyusun badan kapal. Beberapa parameter pendukung tersebut antara lain,

1. *Density*
2. *Specific Heat*, dan
3. *Conductivity*

3.5. Analisis Data

Pada tahapan analisis data diharapkan dapat memberikan hasil dari simulasi kebakaran dan simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT sebagai bentuk solusi terhadap permasalahan di dunia maritim terkait keselamatan.

3.5.1. Memprediksi Kemungkinan Kebakaran

Dalam tugas akhir ini akan diprediksi kemungkinan munculnya api yang menyebabkan kebakaran terjadi pada kapal Ro-Ro 1309 DWT, dari prediksi tersebut akan dijadikan *input* dalam melakukan simulasi persebaran api dan asap. Bentuk prediksi mengacu kepada *historical event* dimana didapatkan informasi dari laporan yang memiliki informasi terkait kejadian kebakaran kapal Ro-Ro 1309 DWT.

3.5.2. Simulasi Kebakaran

Simulasi kebakaran pada tugas akhir ini menggunakan *software pyrosim yang merupakan graphic user interface* dari *Fire Dynamic Simulator (FDS)*. Dimana program tersebut dapat menyimulasikan persebaran api terhadap waktu dari titik awal munculnya api yang didapatkan dari hasil analisis kemungkinan kebakaran sampai terjadi kebakaran pada kapal Ro-Ro 1309 DWT. Sebelum melakukan suatu simulasi maka harus dipenuhi terlebih dahulu parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi dari titik awal munculnya api sampai dengan api padam. Parameter-parameter yang harus dipenuhi antara lain :

1. Tahapan awal terjadinya api
2. Material penyebab kebakaran

3. Kecepatan persebaran api
4. Waktu pemodelan

3.5.3. Menentukan lokasi terdampak kebakaran

Dari hasil simulasi kebakaran akan diketahui informasi berupa nilai temperatur dari masing-masing ruangan yang sebanding dengan waktu simulasi. Dari informasi tersebut maka dapat disimpulkan lokasi yang terdampak kebakaran apabila memiliki nilai temperatur ruangan yang tinggi.

3.5.4. Simulasi Sistem Evakuasi Kapal Ro-Ro 1309 DWT

Dari simulasi kebakaran yang dilakukan sebelumnya menggunakan *software pyrosim*. Simulasi proses evakuasi dilaksanakan berdasarkan dua kondisi waktu yakni pada siang dan malam hari. Simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT menggunakan *software pathfinder*, dimana *software* ini menggunakan *Agent Based Modeling Simulation*. *Output* pada simulasi ini adalah waktu evakuasi penumpang pada berbagai kondisi dan setelahnya akan ditentukan waktu evakuasi dan rute yang optimal sehingga dapat dijadikan rekomendasi evaluasi *General Arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT dan kerugian berupa korban jiwa dapat diturunkan apabila kejadian serupa terulang.

3.5.5. Menghitung Total Assembly Duration (tA)

Dari hasil simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT akan didapatkan informasi berupa assembly duration dari setiap penumpang pada berbagai kondisi. Hasil ini menggambarkan respon penumpang terhadap suatu kejadian.

3.6. Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir pada tugas akhir ini adalah kesimpulan dan saran yang didapatkan dengan menyelesaikan semua tahapan diagram alir pada **Gambar 3.1.** dan harus menjawab semua masalah yang sudah dipermasalahkan sebelumnya. Sehingga saran dapat diberikan dan tugas akhir ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya terkait evakuasi penumpang kapal atau penelitian lainnya

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bagian ini akan dijelaskan terkait tahapan dalam pengerjaan tugas akhir mengenai analisis evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT. Langkah awal yang dilakukan yakni melakukan pengumpulan dan pengolahan data sebagai tahapan sebelum melaksanakan serangkaian tahapan pengerjaan tugas akhir. Data yang perlu disiapkan berupa *General Arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT, informasi material kapal, distribusi kecepatan berjalan penumpang berdasarkan rentang usia dan jenis kelamin yang disesuaikan dengan rute kejadian sebenarnya (Surabaya – Banjarmasin), serta komposisi dan persebaran penumpang pada kondisi waktu siang dan malam hari. Pada tahapan pengolahan data didapatkan *drawing general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT dalam bentuk 2D dan 3D yang digunakan untuk tahapan simulasi. Aktivitas lainnya adalah pengolahan data kecepatan berjalan penumpang menggunakan distribusi uniform dari kecepatan berjalan penumpang yang dijadikan sampel untuk mengetahui nilai minimal dan maksimal setiap kategori. Tahapan pertama yang dilakukan berupa prediksi kejadian untuk menentukan kemungkinan-kemungkinan terjadinya kebakaran. Prediksi kejadian didasarkan pada kejadian sebelumnya dengan bentuk kecelakaan yang sama. prediksi dilakukan pada setiap kompartemen yang ada di kapal yang memiliki potensi munculnya api. Lokasi awal munculnya api akan dijadikan acuan dalam simulasi kebakaran. Pada pembuatan model ini diperlukan beberapa pertimbangan sebagai parameter standar yang memengaruhi hasil dari simulasi menggunakan *software pyrosim*. Parameter-parameter yang harus dipenuhi berupa, profil kapal pada setiap ruangan beserta sistem pemadamnya, daya dari hantaran api yang dibuat, faktor lingkungan yang memengaruhi besar sebaran dari model api yang dibuat. Dari simulasi kebakaran tersebut akan diketahui bagian mana saja dari kapal yang terdampak oleh api, dan asap, dimana dampaknya dapat memengaruhi proses evakuasi penumpang. Tahapan kedua yang dilakukan berupa pembuatan model terkait *general arrangement* yang digunakan dalam simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT sehingga dapat memberikan rekomendasi berupa rute evakuasi yang optimal. Selanjutnya dibuat simulasi proses evakuasi menggunakan *agent based modeling simulation* dimana penumpang sebagai agen dapat berinteraksi dengan berbagai objek hidup maupun objek mati yang disimulasikan secara bebas dengan melakukan tahapan simulasi sesuai dengan standar yang sudah ditentukan oleh IMO MSC.1/Circ. 1533. Dari tahapan simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT akan didapatkan waktu evakuasi berdasarkan hasil simulasi yang dijadikan acuan dalam penentuan solusi dari permasalahan dalam tugas akhir ini.

4.2. Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini dibutuhkan beberapa data penunjang dalam proses penyelesaian setiap tahapannya sesuai dengan diagram alir pada **Gambar 3.1**. Metode dalam pengumpulan data berupa pelaksanaan survei lapangan dan pengajuan permohonan data ke perusahaan terkait. Data yang dikumpulkan berupa *general arrangement*

kapal Ro-Ro 1309 DWT, *manifest* penumpang, komposisi dan persebaran penumpang, serta kecepatan berjalan penumpang. Untuk *manifest* penumpang, *general arrangement* didapatkan dari PT. X selaku pemilik kapal Ro-Ro 1309 DWT. Sedangkan data kecepatan berjalan, komposisi dan persebaran penumpang didapatkan dari proses survei lapangan dengan rincian sebagai berikut :

Waktu Pelayaran : 27 – 29 September 2018

1. Rute Pelayaran : Surabaya – Banjarmasin – Surabaya
2. Waktu Sandar :
 - Tanjung perak 27 September 18.00 WIB
 - Bandarmasih 28 September 22.00 WITA
3. Waktu Embarkasi :
 - Tanjung Perak 27 September 22.00 WIB
 - Bandarmasih 29 September 01.30 WITA
4. Jumlah kendaraan :
 - Surabaya – Banjarmasin 37 mobil (dek 2)
 - Banjarmasin – Surabaya 4 mobil (dek 2)
5. Jumlah penumpang
 - Surabaya – Banjarmasin 66 penumpang
 - Banjarmasin – Surabaya 48 penumpang

Pada **Tabel 4.1.** diberikan informasi berupa jarak dan waktu tempuh oleh sampel yang diambil secara acak pada saat proses pelayaran. Jarak dan waktu tempuh yang sudah dikategorikan berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia akan diolah untuk mendapatkan kecepatan berjalan setiap sampel. Dari pengelompokan berdasarkan jenis kelamin dan usia agar mempermudah dalam pembuatan model simulasi dikarenakan data bersifat uniform kontinu dan merupakan variabel bebas. Data berupa kecepatan berjalan akan digunakan sebagai *input* dalam simulasi evakuasi.

4.2.1. Kecepatan Berjalan Penumpang

Tabel 4.1. menunjukkan data hasil survei kecepatan berjalan penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT :

No.	PRIA			WANITA		
	kategori < 30 tahun	kategori 30-50 tahun	kategori > 50 tahun	kategori < 30 tahun	kategori 30-50 tahun	kategori > 50 tahun
1	1,216	1,255	0,696	0,923	0,716	0,495
2	0,897	1,429	0,919	0,899	0,640	0,427
3	1,331	1,050	0,982	1,011	0,684	0,430
4	1,450	1,325	0,609	0,911		0,435
5	1,399	0,982	1,162			0,419
6	1,375	0,673	0,884			0,410
7	1,437	1,179	0,831			
8	0,950	1,141	0,945			
9	1,012	0,739	0,702			
10	1,190	0,972	1,078			
11	1,048	0,890	0,947			
12	1,236	0,983	0,571			
13	1,038	1,074	0,455			
14	0,788	0,921	0,833			
15	1,433	0,995	0,661			
16	1,444	1,193	0,663			
17	1,168	0,957	0,729			
18	1,204	0,982	1,011			
19	1,146	1,036	1,011			
20	0,808	0,911	0,881			
21	0,710	1,091	0,743			
22	0,729	1,004	0,458			
23	0,868	0,911	0,445			
24	1,218	0,865	0,491			
25	1,236	0,899	0,585			
26	0,746	0,942				
27	1,569	0,838				
28	1,060	0,876				
29	1,074	0,893				
30	1,020	1,004				
31	1,364	0,989				
32	0,809	0,962				
33	0,911	0,923				
34	0,826	0,747				
35	0,811	0,975				
36	1,196					
37	1,118					
38	0,911					
39	0,942					
40	0,982					
41	1,185					

Data hasil survei berupa kecepatan berjalan penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT diambil pada keadaan normal per tanggal 27-29 September 2018. Data tersebut dikategorikan berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia. Mulai dari kategori kurang dari 30 tahun, antara 30 – 50 tahun, dan lebih dari 50 tahun. Data diambil ketika penumpang berjalan pada koridor, *outer gangway*, dan tangga. Untuk keadaan dimana objek penelitian mendapatkan kasus lain seperti terdapat hambatan pada saat berjalan pada tugas akhir ini diabaikan. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur lintasan yang dilalui oleh sampel melalui pembacaan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT sesuai dengan jarak antar gading (0.6875 meter) yang ditempuh, setelah itu dilakukan pengukuran waktu tempuh lintasan sehingga didapatkan kecepatan berjalan setiap penumpang. Sebagai contoh penumpang berjalan dari pintu ke pintu pada koridor di dek 3 yang memiliki jarak gading sebesar 34 jarak gading sehingga untuk panjang lintasan adalah $(34 \times 0.6875 \text{ m} = 23.375 \text{ m})$ dengan waktu tempuh 20 detik. Sehingga, kecepatan berjalan yang didapat adalah $(23.375 \text{ m}/20 \text{ s} = 1.16875 \text{ m/s})$. Berikut merupakan dokumentasi yang diambil ketika melakukan survei terhadap penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT :



Gambar 4.1. penumpang berlaian di koridor dan *outer gangway*

4.2.1. Komposisi dan Persebaran Penumpang

Komposisi dan persebaran penumpang menjadi salah satu parameter dalam proses evakuasi kapal. Karena pada proses evakuasi kapal terdapat parameter-parameter yang harus dipenuhi dan disesuaikan dengan standar yang digunakan terkait waktu minimal evakuasi. Komposisi dan persebaran penumpang memengaruhi tahapan simulasi evakuasi karena setiap individu akan memiliki waktu sendiri untuk menuju ke *assembly station* dan *lifeboat* pada saat kecelakaan kapal. Sehingga komposisi dan persebaran penumpang diperlukan untuk mengetahui jumlah penumpang pada setiap titik di kapal yang akan menjadi dasar pembuatan model-model rekomendasi rute evakuasi. Metode yang digunakan dalam menentukan nilai dari komposisi dan persebaran penumpang yang diterapkan dalam simulasi adalah membandingkan komposisi dan persebaran penumpang dari hasil survei lapangan dengan data *manifest* kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi dimana kapal mengalami kelebihan muatan. Hal tersebut bisa terjadi pada kondisi dimana kebutuhan yang tinggi akan transportasi jalur perairan berbanding terbalik dengan fasilitas transportasinya. Kondisi tersebut diambil dari data *manifest* pada *voyage* ke 45 dan 46 Tahun 2017 dengan jumlah penumpang sebanyak 554 dan 730 orang yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5**. **Tabel 4.2**. diketahui bahwa pada kondisi malam penumpang dan ABK lebih terpusat pada area istirahat sedangkan pada kondisi siang penumpang dan ABK terdistribusi pada area hiburan dan area tugas masing-masing. Dan pada **Tabel 4.3**. memberikan informasi terkait persentase komposisi penumpang berdasarkan hasil survei lapangan akan disesuaikan dengan *manifest* data kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi *overload* yang sudah dikategorikan berdasarkan rentang usia dan jenis kelamin.



Gambar 4.5. Persebaran penumpang dan ABK pada kondisi siang hari

Tabel 4.2. Persebaran Penumpang dan ABK kapal Ro-Ro 1309 DWT

Jumlah ABK	Jumlah ABK Kondisi Malam		Jumlah Penumpang Kondisi Malam		Jumlah ABK Kondisi Siang		Jumlah Penumpang Kondisi Siang	
	di Kabin	Terdistribusi	di Kabin	Terdistribusi	di Kabin	Terdistribusi	di Kabin	Terdistribusi
Dek 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Dek 2	0	2	0	0	0	5	0	0
Dek 3	29	4	0	0	12	4	0	0
Dek 4	0	2	26	11	0	8	9	11
Dek 5	0	3	21	8	0	4	13	15
Dek 6	0	0	0	0	0	4	0	0
Dek 7	0	0	0	0	0	3	0	0
Total	29	11	47	19	12	28	22	26
	40		66		40		48	

Tabel 4.3. Komposisi penumpang Kapal Ro-Ro 1309 DWT

Komposisi Populasi Penumpang	Total Penumpang Survey	Prosentase Penumpang %	Data Manifest Penumpang
Pria < 30 Tahun	41	36,0	263
Pria 30 - 50 Tahun	35	30,7	224
Pria > 50 Tahun	25	21,9	160
Wanita < 30 Tahun	4	3,5	26
Wanita 30 - 50 Tahun	3	2,6	19
Wanita > 50 Tahun	6	5,3	38
Jumlah Penumpang	114	100	730
Komposisi Populasi ABK	Total ABK survey	Prosentase ABK %	Total ABK
ABK Pria	40	100	40

4.3. Pengujian Minimal Sampel

Pengujian minimal sampel dari penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT dilakukan untuk mengetahui nilai minimal sampel yang harus mewakili karakteristik keseluruhan populasi penumpang. Pengujian seperti ini dilakukan karena terbatasnya pengamatan terhadap suatu individu dalam populasi. Kasus tersebut dapat terjadi akibat besarnya jumlah populasi dari penumpang kapal, sebaran penumpang yang wilayahnya tidak dapat dicakup secara keseluruhan, dan terbatasnya waktu serta biaya penelitian. Pengujian minimal sampel ini juga dilakukan sebagai bentuk validasi sehingga data yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik keseluruhan penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT.

Pengujian minimal sampel dari penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT ditentukan nilainya dengan menggunakan rumus *Slovin*. Output dari rumus ini akan menjelaskan terkait jumlah minimal sampel yang harus mewakili keseluruhan populasi. Pada tugas akhir ini sampel yang diambil adalah *manifest* data yang didapatkan pada voyage ke 46 tahun 2017 dari pelayaran kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan rute pelayaran Batulicin menuju Surabaya. Sampel ini akan dijadikan sebagai model simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT. Pada voyage ke 46 kapal mengangkut 730 penumpang dari kapasitas maksimal penumpang adalah 642 orang. Sehingga perhitungan sampel minimal yang harus dicapai sebagai berikut :

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} = \frac{730}{(1 + 730(0.05)^2)} = 259 \text{ sampel}$$

Dimana :

- n : jumlah sampel
- N : populasi *overload*
- e : toleransi *error* 0.5% (akurasi data 95%)

Dari perhitungan jumlah sampel minimal menggunakan rumus slovin didapatkan minimal jumlah sampel yakni 259 sampel. Pada *manifest* data kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan rute Surabaya-Banjarmasin dan sebaliknya jumlah penumpang ketika embarkasi-debarkasi sejumlah 1274 penumpang. Sehingga *manifest* data yang didapatkan memenuhi nilai sampel minimal yang diperlukan sebagai *input* dalam simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT.

4.4. Simulasi Kebakaran

Pada tugas akhir ini tahapan simulasi yang pertama adalah simulasi kebakaran menggunakan model reaksi stoikiometri dari proses pembakaran senyawa kimia dengan *output* berupa persebaran api dan asap. Dalam tahapan simulasi kebakaran ini menggunakan reaksi dari senyawa poliuretan dimana kandungan dari komposisi atom karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen dengan kandungan setiap atomnya berbeda-beda.

Tahapan simulasi kebakaran menggunakan *software pyrosim* yang merupakan grafis *user interface* dari program *fire dynamic simulator*. *Software* ini dapat menyimulasikan pergerakan fluida seperti, api dan asap dengan menentukan nilai *heat release rate per unit area* (HRRPUA) dengan pertimbangan *output* daya dan luasan area yang sudah ditentukan. Simulasi kebakaran ini bertujuan untuk mendapatkan pertimbangan terkait dampak dari munculnya asap, api, dan sebaran panas pada beberapa lokasi yang sudah ditentukan sehingga dapat menghambat proses evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT dalam bentuk berkurangnya jarak pandang penumpang akibat asap, terbatasnya ruang evakuasi akibat api yang mengeluarkan panas, dan menyebabkan penumpang mengalami sesak napas.

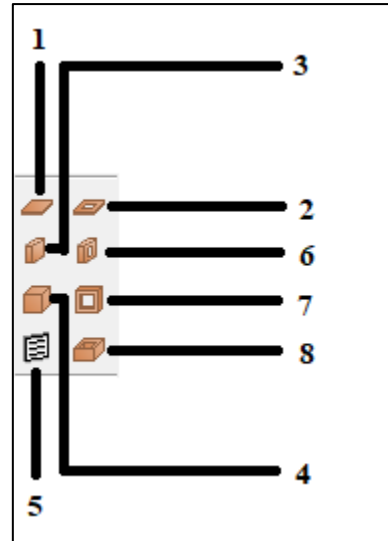
Dalam proses simulasi akan ditentukan terlebih dahulu parameter-parameter yang harus dipenuhi agar *output* dari hasil simulasi sesuai dan dapat dijadikan pertimbangan tahapan selanjutnya. Beberapa parameter tersebut antara lain, penentuan senyawa yang bereaksi dengan oksigen, nilai konduktivitas dari material terbakar, nilai *heat release rate* (HRR) pada *surface* dengan jenis *burner, device* beserta *device control* sebagai detektor waktu dan panas. Hasil dari simulasi kebakaran ini akan dijadikan sebagai pertimbangan dalam penentuan rute evakuasi yang optimal. Sehingga pada tahap akhir akan didapatkan nilai dari waktu evakuasi penumpang yang paling optimal dari pilihan rute yang sudah diberikan. Dalam proses simulasi akan dipenuhi setiap tahapan-tahapan simulasi mulai dari impor gambar sampai *running* program FDS. Berikut merupakan tahapan-tahapan dalam proses pembuatan model simulasi kebakaran.

4.4.1. Pembuatan Model Simulasi Kebakaran

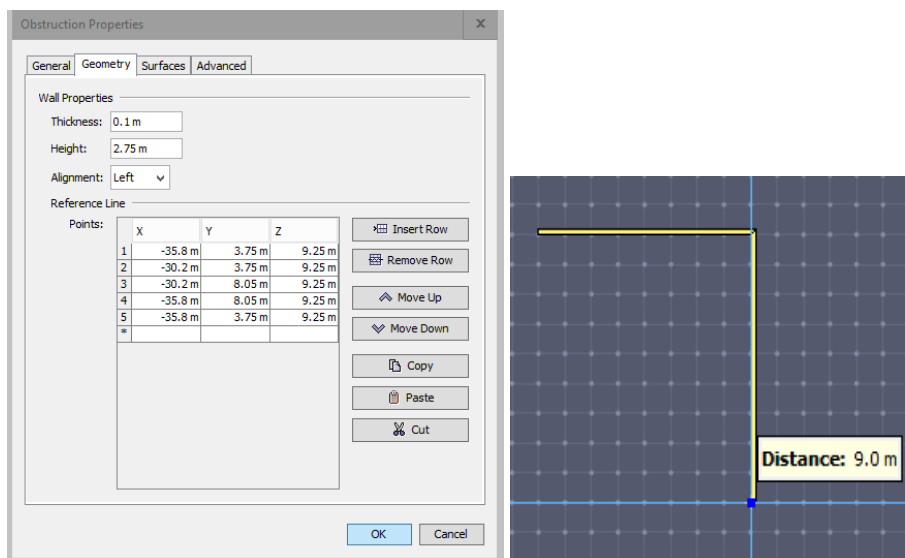
Tahapan pertama yang dilakukan dalam simulasi kebakaran adalah pembuatan model simulasi yang merupakan objek terdampak kebakaran. Model ini adalah *3D drawing* dari kapal Ro-Ro 1309 DWT yang menjadi objek tugas akhir. Penggambaran *3D drawing* berdasarkan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT yang mengalami kecelakaan kapal berupa kebakaran. pada tahapan ini *software pyrosim* dipilih dalam proses pembuatan model yang terdiri dari beberapa tahapan yang harus dipenuhi. Mulai dari penggambaran ruangan, penggambaran dinding, penggambaran lantai dan benda-benda lain. Pada *software pyrosim* terdapat beberapa *tools* yang membantu dalam tahap pembuatan model seperti, *slab obstruction, wall obstruction, block obstruction, dan room*. Pada **Gambar 4.6.** menunjukkan tampilan window sidebar yang membantu dalam proses pembuatan model 3D simulasi kebakaran dan pada **Gambar 4.7.** diberikan informasi berupa proses penggambaran ruangan pada dek 4 dengan tebal dinding 0.1 m dan tinggi ruangan 2.75 m.

Definisi side bar pendukung proses pembuatan 3D drawing kapal Ro-Ro 1309 DWT,

1. **Slab obstruction**, untuk menggambar lempengan berbentuk lantai.
2. **Slab hole**, untuk menggambar lubang pada lantai.
3. **Wall obstruction**, untuk menggambar dinding.
4. **Block obstruction**, untuk menggambar penghalang (mobil, bangku, dll.)
5. **Vent**, untuk menggambar ventilasi.
6. **Wall hole**, untuk menggambar lubang di dinding (pintu, jendela).
7. **Block hole**, untuk mengisi cell dengan lubang.
8. **Room**, untuk menggambar ruangan persegi.

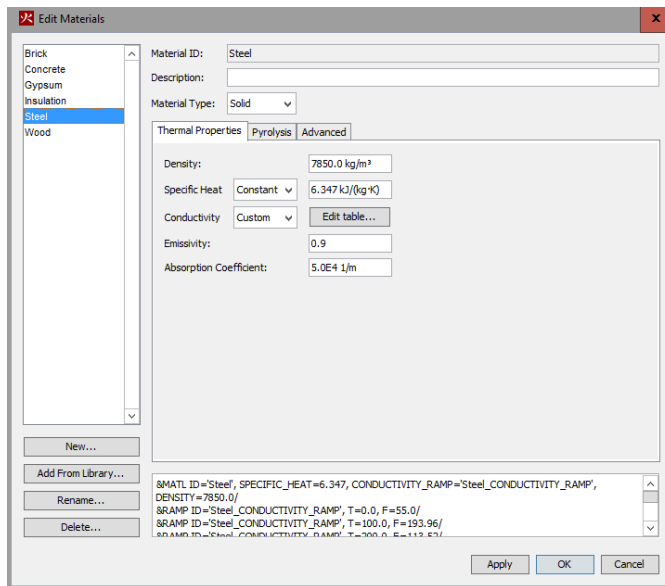


Gambar 4.6. tampilan window side bar software pyrosim

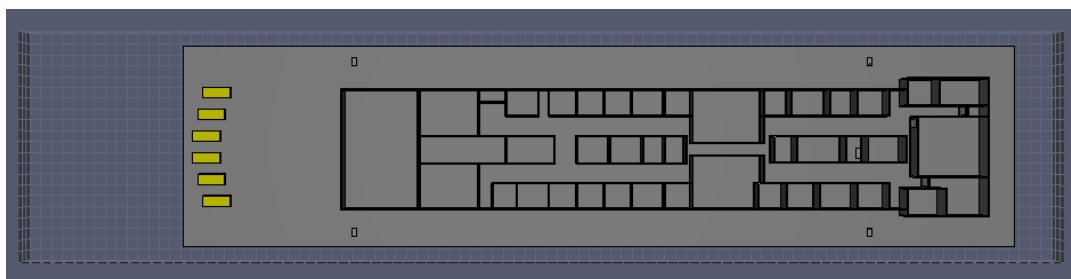


Gambar 4.7. tampilan window dan proses dari penggambaran ruangan pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT.

Pada proses penggambaran model juga dipertimbangkan *surface material* yang dipilih dikarenakan material dapat memengaruhi kecepatan rambatan panas dari sumber terbentuknya api yang digambarkan dengan penentuan nilai konduktivitas. Pada Gambar 4.8. menunjukkan tampilan window proses penentuan parameter dari material *steel* yang menunjukkan nilai *density*, *specific heat*, *conductivity*, *emissivity*, dan *absorption coefficient* dari material *steel*. Dari parameter-parameter yang sudah ditentukan akan berpengaruh terhadap hasil simulasi kebakaran.

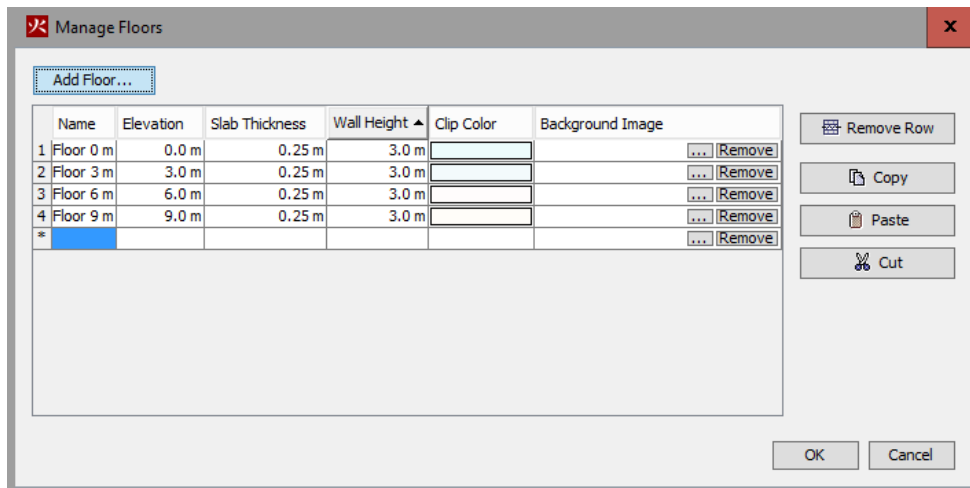


Gambar 4.8. tampilan *window* penentuan parameter dari material *steel*.



Gambar 4.9. Hasil *3D drawing* pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan *software pyrosim*

Pada **Gambar 4.9.** menunjukkan hasil penggambaran kabin, dinding, lantai, dan benda-benda lain pada dek 4 yang sudah disesuaikan dengan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. Proses penggambaran ulang dalam bentuk 3D dengan skala 1:1 dan hanya pada dek yang ditempati oleh penumpang dan ABK. Hal tersebut diterapkan dengan tujuan agar pada saat tahapan simulasi pada *software pyrosim* tidak mengalami kendala. Setelah tahapan penggambaran selesai, selanjutnya adalah tahapan impor gambar ke dalam *software pyrosim* sebagai *input* awal dalam simulasi kebakaran. Selanjutnya geometri dari kapal Ro-Ro 1309 DWT disesuaikan dengan ukuran kapal sebenarnya seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9.**

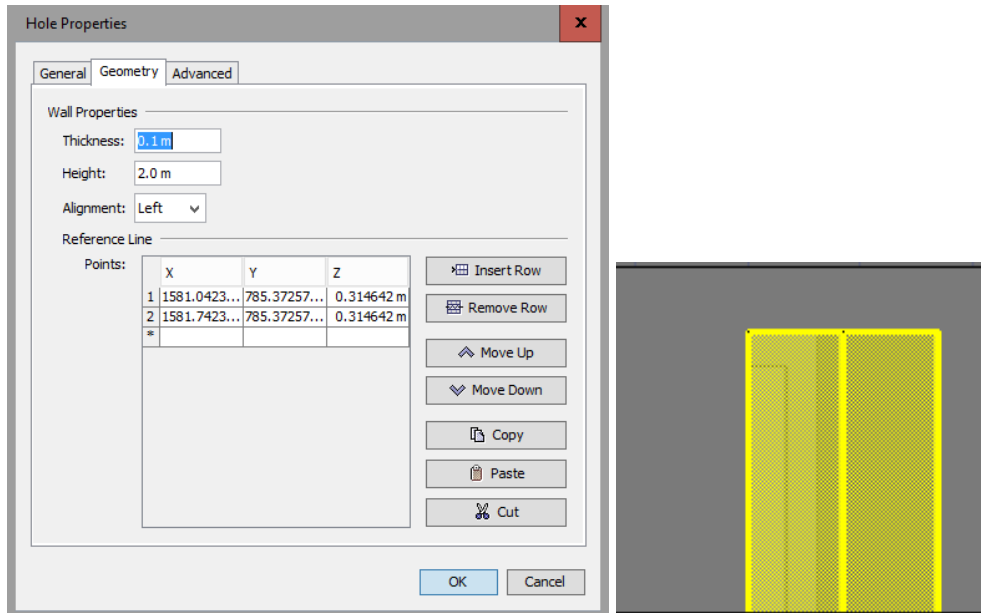


Gambar 4.10. Tampilan *window* tahap penentuan *floor* berdasarkan tinggi setiap dek pada kapal Ro-Ro 1309 DWT

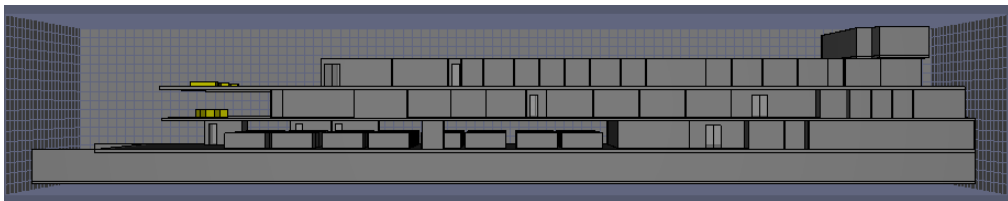
Pada **Gambar 4.10.** diberikan informasi terkait pembuatan *floor* yang disesuaikan dengan *slab thickness* dan *wall height* dengan ukuran (0.25 meter dan 3.0 meter) pada kapal Ro-Ro 1309 DWT. Pada tahap pembuatan *floor* juga dapat ditentukan warna dari setiap *floor* apabila diperlukan sebagai pembeda.

4.4.2. Pembuatan Akses Berupa Pintu dan Tangga

Tahapan selanjutnya adalah penentuan lokasi akses berupa pintu dan tangga yang disesuaikan dengan akses pada *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. Akses berupa pintu dan tangga digambarkan dengan pembuatan *slab hole* pada dinding dan lantai setiap deknnya. Maksud dari penggambaran *slab hole* adalah sebagai penghubung antara ruangan satu dengan ruangan lainnya dan penghubung antara dek satu dengan dek lainnya. Dengan adanya *slab hole* dalam bentuk pintu dan tangga maka sebaran api dan asap akan merambat dan menghantarkan panas sesuai dengan nilai *heat release rate* (HRR) yang sudah ditentukan. Untuk dimensi dari *slab hole* sendiri disesuaikan dengan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. **Gambar 4.11.** menunjukkan proses pembuatan *slab hole* dengan dimensi berupa ketebalan, tinggi, dan geometri yang disesuaikan dengan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. Dan **Gambar 4.12.** menunjukkan hasil pembuatan *slab hole* pada dek 4 yang menggambarkan akses berupa pintu dan tangga yang menuju dek 3 kapal Ro-Ro 1309 DWT. Untuk dek lainnya yang ditempati oleh penumpang dan ABK pembuatan *slab hole* disesuaikan dengan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT sehingga hasil simulasi dapat sesuai dan relevan untuk digunakan pada tahapan simulasi evakuasi.



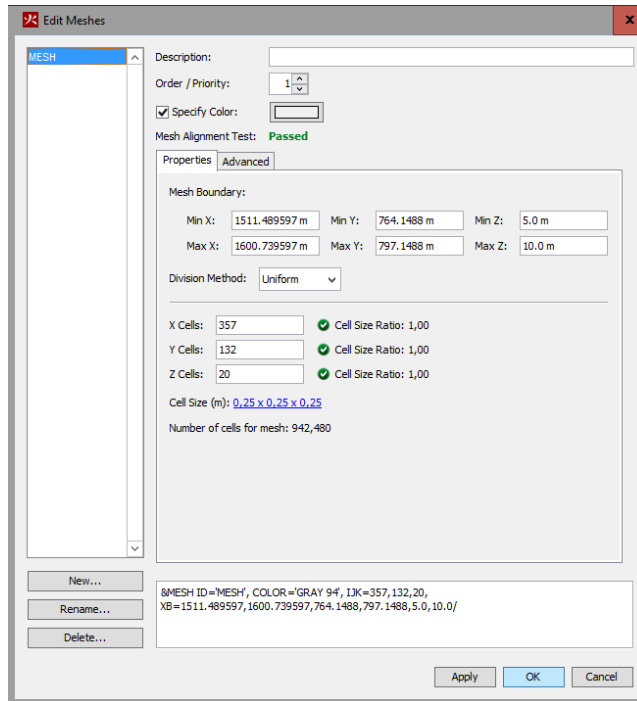
Gambar 4.11. Tampilan *window* dan proses pembuatan *slab hole* yang menggambarkan pintu dek 4 pada kapal Ro-Ro 1309 DWT



Gambar 4.12. Hasil akhir *3D drawing* kapal Ro-Ro 1309 DWT

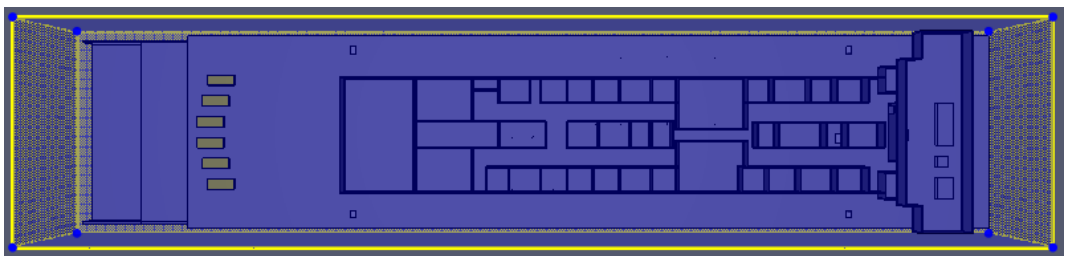
4.4.3. Pembuatan *Mesh*

Model yang akan dijadikan sebagai objek simulasi akan diberikan batasan area dalam proses simulasi dengan pembuatan *mesh*. *Mesh* adalah sebuah kumpulan *cell* berbentuk persegi yang membatasi area simulasi agar hanya terfokus kepada objek berupa model yang berada di dalam *mesh* dan tidak merambat ke model lainnya. Proses pembuatan *mesh* disesuaikan dengan kontur dari objek yang dikenai simulasi kebakaran. Geometri dari *mesh* sendiri dipengaruhi oleh tingkat kerumitan dari suatu objek didalamnya. Jumlah dari jaring-jaring *mesh* yang membatasi objek simulasi akan memengaruhi waktu simulasi. Semakin banyak jumlah jaring-jaring *mesh* maka waktu simulasi akan semakin lama dan sebaliknya.



Gambar 4.13. Tampilan *window* pembuatan *mesh* pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT

Pada **Gambar 4.13.** menunjukkan tampilan *window* pembuatan *mesh* pada dek 4 dengan dimensi *cell* (0.25 x 0.25 x 0.25) dengan satuan meter. Jumlah *cell* setiap akan berbeda pada setiap koordinatnya. Model berupa kapal Ro-Ro 1309 DWT memiliki dimensi LOA dan B (119 dan 20.4 meter) sehingga jumlah *cell* pada koordinat sumbu X memiliki jumlah lebih banyak daripada koordinat Y dan Z. Pada penentuan jumlah *cell* akan diverifikasi oleh rasio setiap koordinatnya, sehingga ukuran dari *mesh* sesuai dengan model yang ada didalamnya. Dan **Gambar 4.14.** merupakan hasil dari penggambaran *mesh* yang sudah disesuaikan dengan model yang ada didalamnya. Dalam proses pembuatan *mesh* dapat ditentukan warna permukaan *mesh* sehingga pada saat *output* simulasi muncul memiliki perbedaan antara *mesh*, model, dan hasil *output* simulasi.

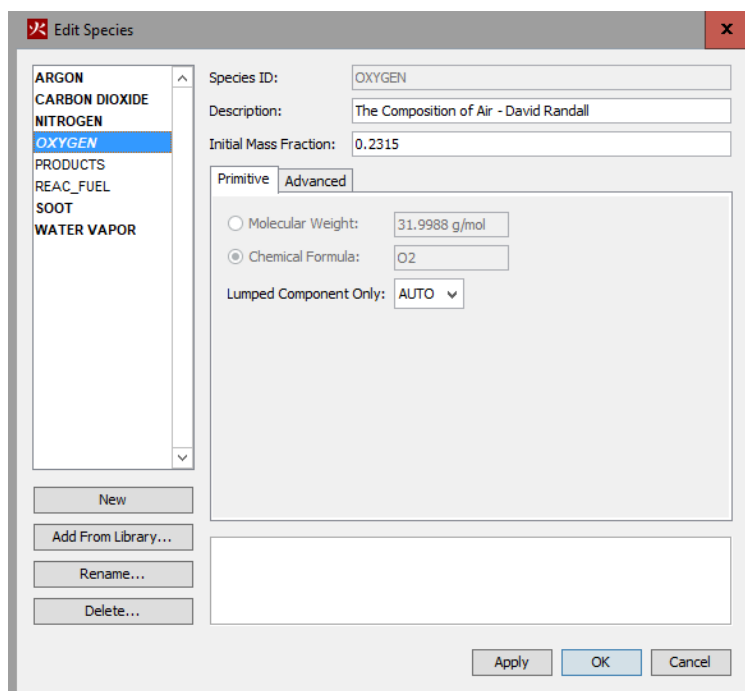


Gambar 4.14. Hasil pembuatan *mesh* pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT

4.4.4. Penentuan Species

Dalam *software pyrosim* akan dibagi menjadi dua *species* yakni *primitive species* dan *lumped species*. Dimana *primitive species* dapat berdiri sendiri sebagai suatu *species* atau bagian dari *lumped species*. Sedangkan *lumped species* merupakan kumpulan dari beberapa *primitive species*. Contoh *primitive species* yang merupakan bahan dari reaksi pembakaran poliuretan adalah oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2) yang merupakan senyawa penyusun udara dan contoh *lumped species* pada kasus yang sama yakni poliuretan ($-NHCOO-$). *Lumped species* dapat digunakan untuk menghemat waktu simulasi akan tetapi tidak dapat diberi nilai tetap seperti *primitive species*. Pada saat penggunaan *lumped species* dalam simulasi akan diperoleh informasi dari kombinasi semua komponen individu yakni, komposisi dari keseluruhan *primitive species* berdasarkan *mass fraction* atau berdasarkan *volume fraction*. *Species* dibuat untuk menjadikan suatu model dengan tujuan yang berbeda-beda antara lain,

1. Digunakan sebagai *species* reaktif sebagai model pembakaran yang bereaksi dengan senyawa lain.
2. Digunakan sebagai senyawa *non reactive* untuk simulasi aliran udara.
3. Atau sebagai komponen dari *species* yang lebih kompleks.

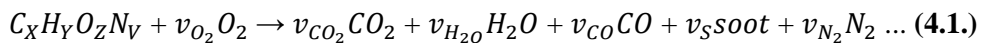


Gambar 4.15. Tampilan *window* pembuatan *primitive species* berupa oksigen

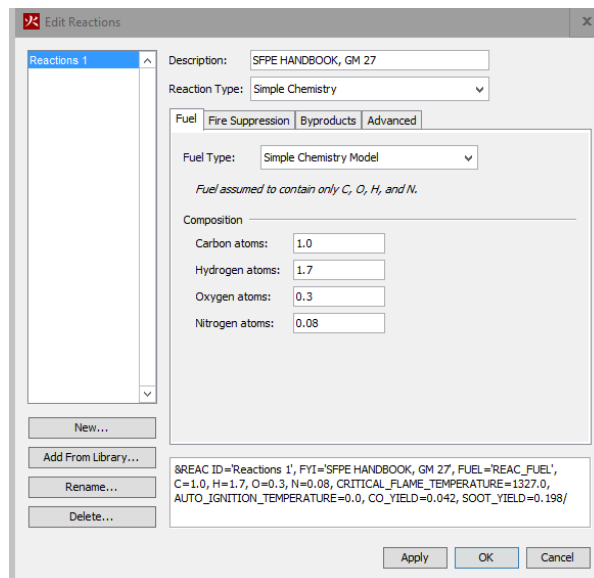
Gambar 4.15. menunjukkan proses penentuan *primitive species* dari oksigen dengan penentuan nilai *initial mass fraction* dan informasi *default* yang diberikan berupa *molecular weight* dan *chemical formula*.

4.4.5. Penentuan *Reactions*

Pada tahapan ini akan membahas terkait bagaimana menentukan reaksi pembakaran dari uap bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen. Pada program *Fire Dynamic Simulator* (FDS) terdapat dua reaksi yakni, pembakaran fase gas dan pirolisis fase padat. Dimana pembakaran fase gas mengacu pada reaksi uap bahan bakar dan oksigen (O_2). Sedangkan, pirolisis fase padat mengacu pada reaksi uap bahan bakar pada permukaan cair atau padat. Pada tahap pembuatan *reactions* akan ditentukan komposisi dari atom C-H-O-N dan juga kandungan karbonmonoksida (CO), jelaga (soot), dan fraksi atom hidrogen. Dalam mendesain api terdapat dua cara dengan menentukan nilai *heat release rate per unit area* (HRRPUA) dan menentukan *head of reactions* bersama dengan parameter termal lainnya. Berikut merupakan model fraksi campuran *reactions*,



Dari **Persamaan 4.1.** dijelaskan bahwa pada saat menentukan rumus kimia bahan bakar bersama dengan hasil karbon monoksida (CO), jelaga (asap hitam), dan hidrogen (H_2) serta jumlah hidrogen dalam jelaga. Apabila dalam kasus pembakaran menggunakan rumus kompleks dapat juga ditentukan nilai dari nitrogen (N_2) bahan bakar. Dalam proses pembakaran akan ditentukan jenis dari bahan bakar yang akan bereaksi dengan oksigen. Dimana apabila tidak ditentukan maka propana (C_3H_8) menjadi pilihan sebagai bahan bakar pengganti. **Gambar 4.16.** menunjukkan proses penentuan komposisi penyusun poliuretan yang akan bereaksi dengan oksigen.



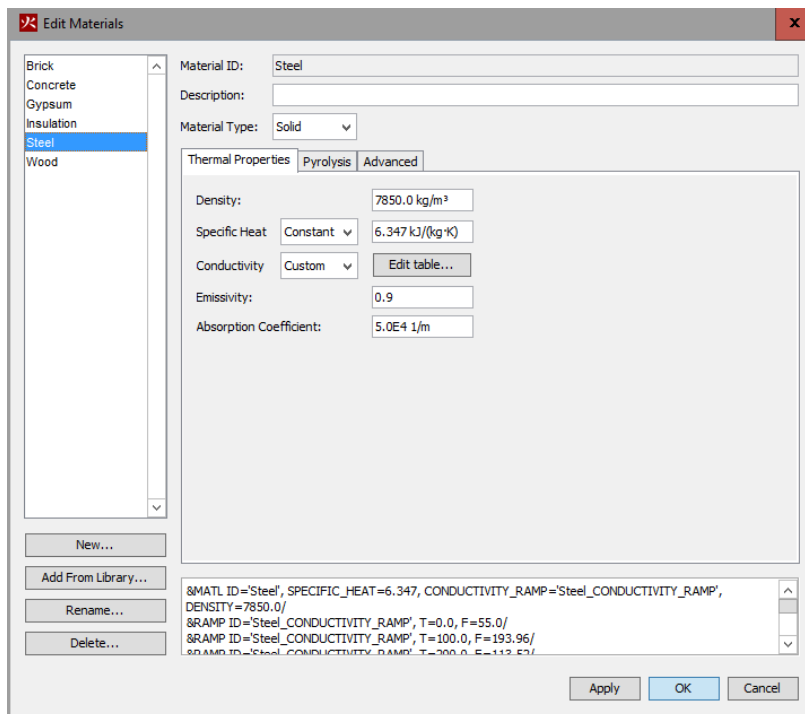
Gambar 4.16. Tampilan *window* penentuan komposisi dari poliuretan

4.4.6. Penentuan Material

Pada tahap penentuan material yang merupakan penyusun kapal Ro-Ro 1309 DWT. Dimana pada tahap ini, akan ditentukan *thermal properties* dari setiap material dengan rincian sebagai berikut,

1. *Density*
2. *Specific Heat*
3. *Conductivity*
4. *Emissivity*, dan
5. *Absorption Coefficient*

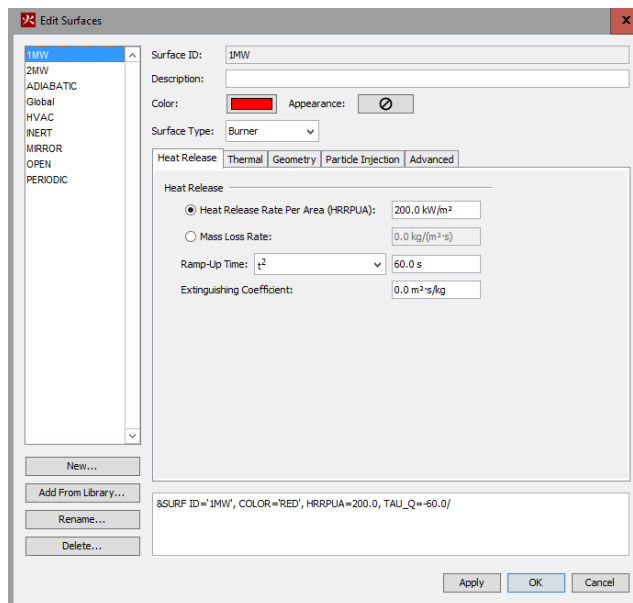
Angka dari komponen *thermal properties* secara keseluruhan akan berpengaruh terhadap proses berlangsungnya tahapan kebakaran mulai dari tahap pembentukan sampai tahap reda. *Density* dari masing-masing material memiliki nilai berbeda yang memengaruhi karakteristik dari suatu material. *Specific Heat* diartikan sebagai nilai panas yang akan dikeluarkan oleh suatu material setelah bereaksi dengan api. *Conductivity* merupakan komponen yang memiliki sifat untuk menentukan besarnya hantaran panas yang ditimbulkan akibat proses pembakaran. Pada **Gambar 4.17.** menunjukkan proses penentuan nilai dari komponen penyusun *thermal properties* dari material *steel* dengan nilai *density* 7850 kg/m³, Nilai *specific heat* 6.347 kJ/(kg.K), Nilai *conductivity* pada 1000 derajat adalah 36.917 W/m.K, Nilai *emissivity* 0.9, dan nilai *absorption coefficient* sebesar 5.0E4/m.



Gambar 4.17. Tampilan *window* penentuan *thermal properties* pada *steel*

4.4.7. Penentuan *Surface*

Pada tahap penentuan *surface* akan ditentukan *surface* dengan karakteristik sebagai *burner*, yakni *tools* untuk memunculkan produk hasil dari reaksi pembakaran bahan bakar dan menentukan nilai dari daya api yang dikeluarkan. Semakin besar daya api yang dikeluarkan maka nilai dari *heat release rate per unit area* (HRRPUA) juga semakin besar dan sebaliknya. Sedangkan kondisi tersebut akan berbalik apabila luasan *burner* yang dijadikan parameter. Pada tugas akhir ini dibuat variasi daya keluaran dari api sebagai pembanding output simulasi kebakaran. Pada awal simulasi, *surface* tidak akan terbakar sehingga nilai *rump-up time* harus ditentukan untuk menggambarkan bagaimana pelepasan panas naik dari suhu lingkungan ke suhu yang ditentukan.



Gambar 4.18. Tampilan *window* penentuan *surface* sebagai *burner*

Gambar 4.18. menunjukkan tampilan *window surface* yang memberikan informasi terkait nilai dari HRRPUA yakni sebesar 200 KW/m². Nilai tersebut didapatkan dari pembagian antara daya api dibagi dengan luasan *burner* dengan detail sebagai berikut :

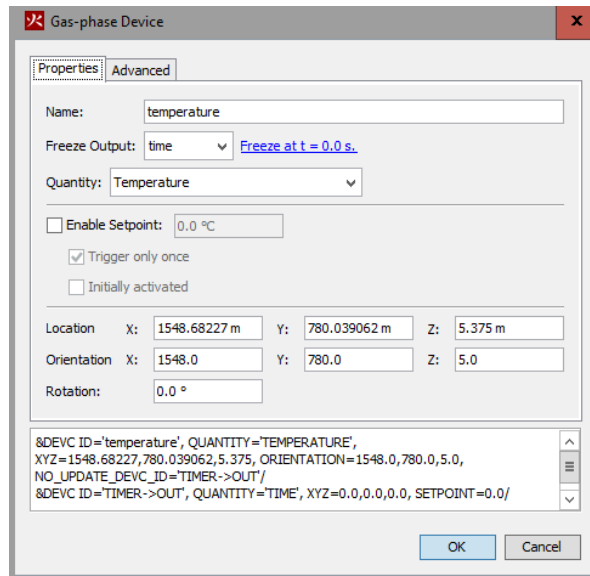
$$HRRPUA = \frac{P \text{ (daya)}}{A \text{ (luasan)}} = \frac{2000 \text{ KW}}{4 \text{ m}^2} = 500 \text{ KW/m}^2$$

Pada tugas akhir ini akan dipilih variasi daya dengan nilai 7 MW dan 2 MW.

4.4.8. Penentuan *Devices and Control*

Device pada simulasi menggunakan program *fire dynamic simulator* berfungsi untuk merekam entitas dalam suatu model atau untuk merepresentasikan sensor yang lebih kompleks. Seperti, detektor asap, *sprinkle*, dan *termocouple*. *Device* dapat dipindahkan, disalin, diputar, dan diskalakan menggunakan alat dengan parameter waktu dan temperatur. *Output* dari pemasangan *device* akan ditentukan fungsi rekamnya dan dikontrol oleh *tools control*. Dimana fungsi dari *tools* tersebut

untuk menentukan suatu *device active* atau *non active* dengan parameter waktu dan temperatur. Pada tahapan ini juga ditentukan nilai *set point* yang memengaruhi awal mula suatu *device active* sesuai dengan fungsinya. *Device* dan *control device* akan bekerja pada suatu permukaan yang dijadikan sebagai model dalam merekam suatu kejadian.

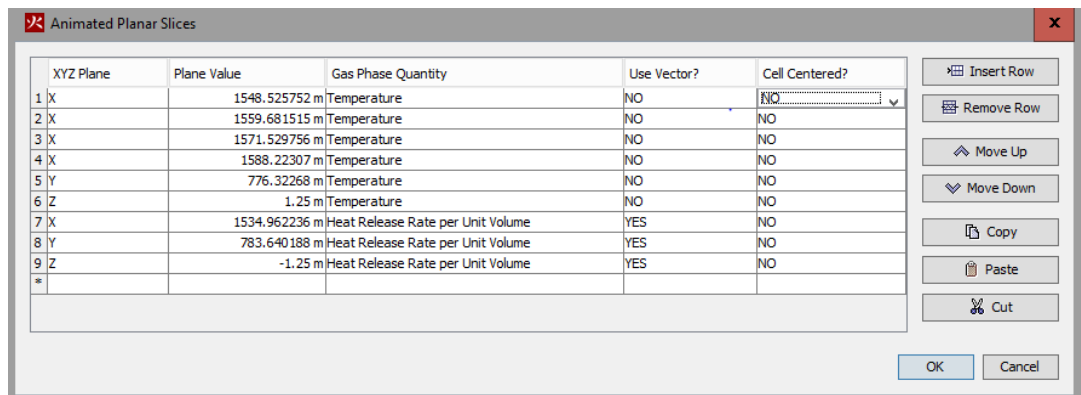


Gambar 4.19. Tampilan *window* penentuan *device* (temperatur)

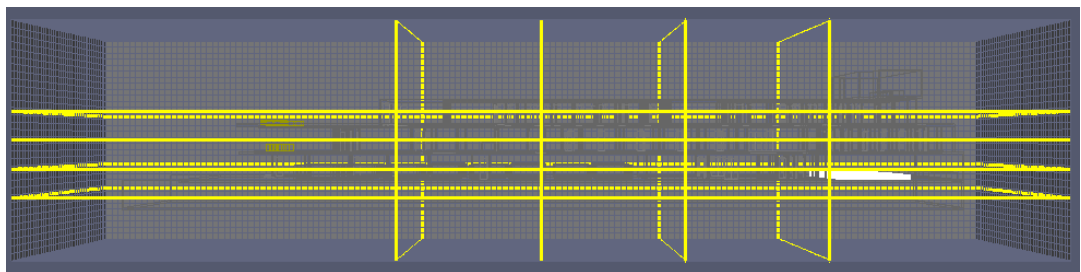
Gambar 4.19. menunjukkan tampilan *window* penentuan *device* (temperatur) yang dikontrol berdasarkan fungsi waktu dimana *temperature control* akan aktif dari awal simulasi yakni pada saat nilai $t = 0$ detik. *Device* (temperatur) tersebut akan mendeteksi panas dari titik *device* ditempatkan. *Tools set point* berfungsi untuk memberikan batasan *device* dalam bekerja.

4.4.9. Pembuatan Slices

Slices dapat digambarkan dengan tiga pandangan yang disesuaikan dengan koordinat masing-masing, koordinat tersebut adalah koordinat X-Y-Z. Fungsi dari *slices* adalah dapat memberikan informasi terkait karakteristik dari fase gas hasil dari reaksi pembakaran. Pemasangan *slices* dapat menjelaskan komposisi dari suatu gas dalam lingkungan yang terkena dampak dari model yang terbakar. Beberapa contoh karakteristik dari fase gas yang dapat digambarkan oleh *slices* antara lain, temperatur, *heat release rate per unit volume* (HRRPUV), konduktivitas, dan tekanan. *Slices* juga dapat memberikan informasi terkait arah pergerakan dari suatu gas. *Slices* juga merupakan salah satu tools untuk menentukan dan mengetahui output dari suatu simulasi kebakaran. **Gambar 4.20.** menunjukkan tampilan *window* dari *animated planar slices* yang sudah diinstal pada model sesuai dengan koordinat yang sudah ditentukan. Pada **Gambar 4.20.** juga dijelaskan terkait karakteristik dari fase gas yang ingin dideteksi yakni, temperatur dan HRRPUV. Arah pergerakan fase gas yang dideteksi pada tahapan simulasi ini hanya diterapkan pada HRRPUV dengan mengkomodir seluruh koordinat.



Gambar 4.20. Tampilan window *animated planar slices*



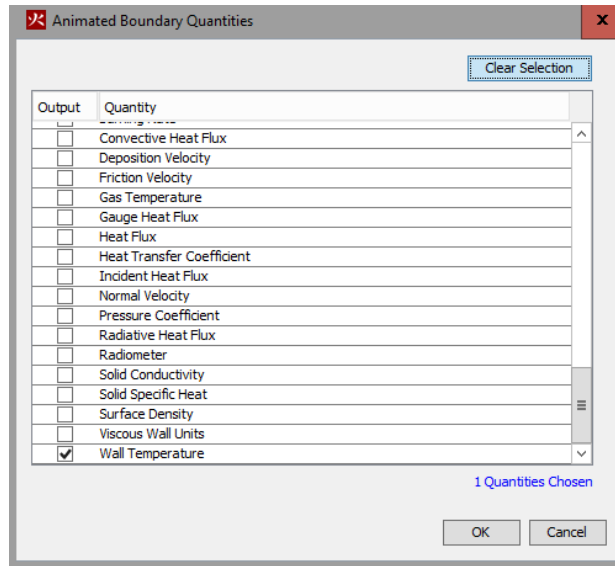
Gambar 4.21. Hasil Pembuatan *animated planar slices*

Gambar 4.21. merupakan hasil pembuatan *slices* pada setiap titik pada sumbu X-Y-Z dimana pada proses pembuatannya akan ditentukan informasi berupa temperatur dan persebaran panas yang akan direkam sehingga setelah proses simulasi dijalankan akan muncul hasil yang ingin diketahui berupa temperatur dan persebaran panas dari proses pembakaran.

4.4.10. Penentuan *Output* Simulasi

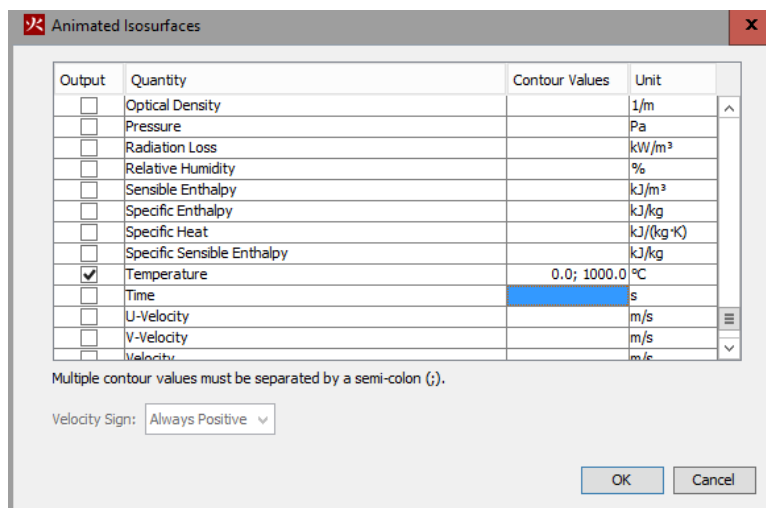
Pada tahapan simulasi kebakaran kapal Ro-Ro 1309 DWT ini akan ditentukan *output* yang diharapkan dan akan dijadikan sebagai parameter dalam tahapan simulasi evakuasi penumpang. Beberapa jenis *output* simulasi akan didapatkan dari menu bar “*Output*” pada *software pyrosim*. Berikut merupakan *tools* yang terdapat pada menu bar “*Output*” pada *software pyrosim*,

- Edit solid *profiles*, Plot 3D data, dan *Statistics*
- 2D *slices*, 3D *slices*
- *Boundary quantities*, *Isosurface*



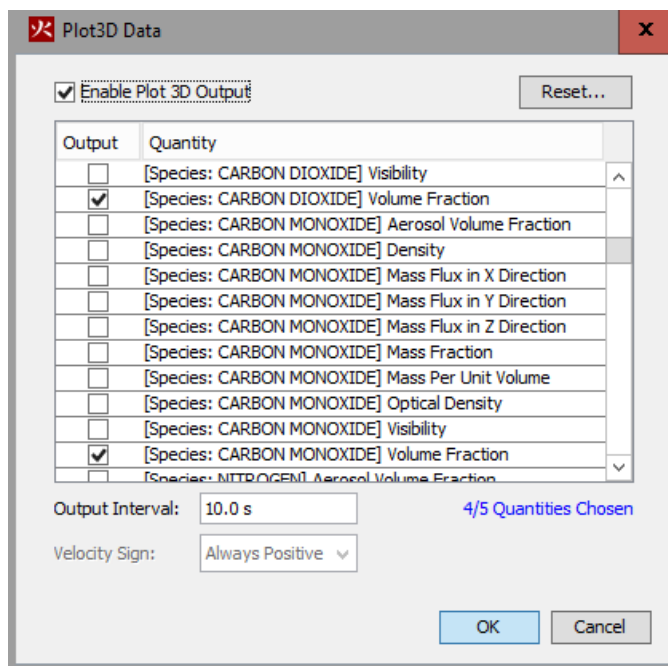
Gambar 4.22. Tampilan window *animated boundary quantities* dengan output wall temperature

Pada *tools boundary quantities* akan ditentukan jenis *output* yang ingin diketahui hasilnya dari reaksi pembakaran. Produk dari reaksi pembakaran dapat diketahui mulai dari massa produk sampai pergerakannya. Selain produk dari reaksi pembakaran, beberapa *output* yang dapat diketahui antara lain, *wall temperature*, *burning rate*, dan *gas temperature*. **Gambar 4.22.** menunjukkan *output* yang ingin diketahui dari hasil pembakaran poliuretan. Sedangkan, pada *tools animated isosurface* berfungsi untuk memberikan batasan berupa *contour values* dari *output* yang dihasilkan sehingga apabila nilai dari *output* berada di bawah atau di atas *contour values* maka tidak akan terdeteksi nilainya.



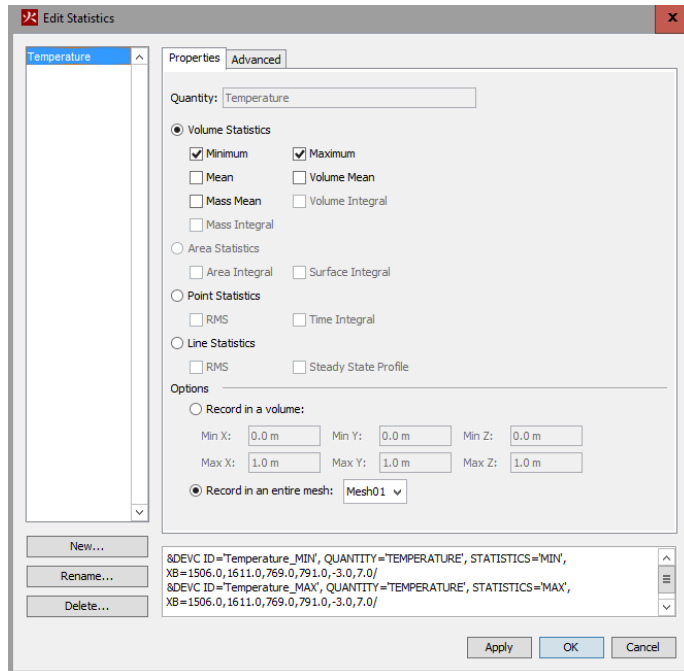
Gambar 4.23. Tampilan window *animated isosurface* dengan output temperature

Gambar 4.23. merupakan tampilan *window animated isosurface* dengan *output* berupa *temperature* dan memiliki *contour values* dengan rentang nilai 50°C sampai 100°C yang artinya *output* berupa temperatur yang ingin diketahui hanya pada rentang 50°C sampai 1000°C, apabila derajat hasil pembakaran memiliki nilai di bawah atau di atas rentang tersebut maka tidak akan animasi dari *isosurface* tidak akan muncul. **Gambar 4.24.** merupakan tampilan *window plot 3D data* dengan *default output* yang akan dijadikan sebagai parameter dalam simulasi evakuasi penumpang menggunakan *software pathfinder*. parameter tersebut antara lain, *volume fraction* dari karbondioksida, karbonmonoksida, dan oksigen, serta *visibility* dari jelaga. *Output* dari tools ini akan ditampilkan perubahannya setiap 10 detiknya sampai waktu simulasi berakhir.



Gambar 4.24. Tampilan *window plot 3D data* dengan *output* produk dari hasil reaksi pembakaran

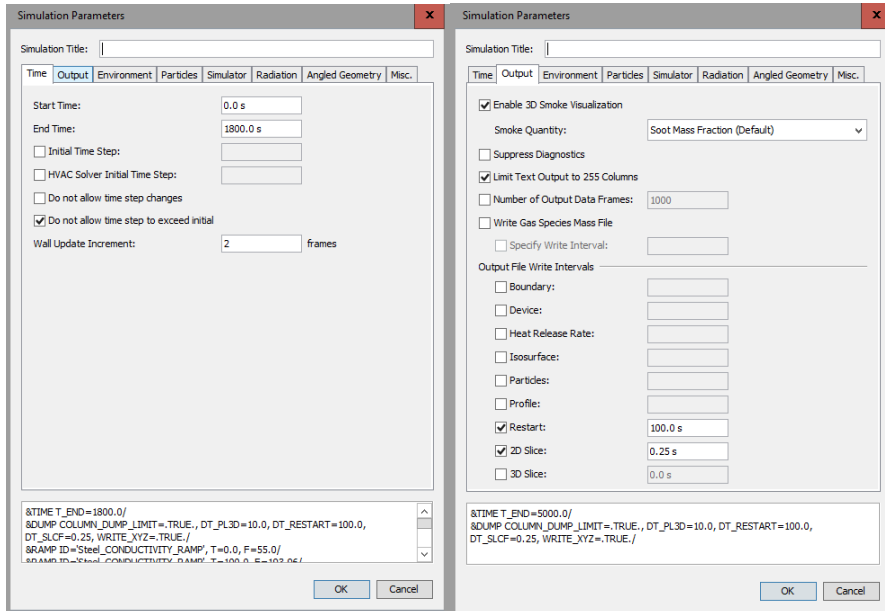
Selanjutnya, pada *tools statistics* akan didapatkan *output* dalam bentuk grafik antara *quantity* suatu ruangan terhadap waktu. Bentuk *quantity* yang dapat dibuat grafiknya seperti, temperatur, HRRPUA, dan tekanan. Pada *tools* ini akan ditentukan nilai yang ingin ditampilkan seperti, nilai minimal, nilai maksimal, dan rata-rata. Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka *recording* dilakukan dengan memberikan batasan daerah yang ingin diketahui nilai *quantity* nya pada suatu *mesh* yang sudah ditentukan. **Gambar 4.25.** merupakan tampilan *window edit statistics* dengan *quantity* yang ingin ditampilkan berupa temperatur dan ditentukan untuk nilai yang ingin diketahui berupa nilai minimal dan maksimal.



Gambar 4.25. Tampilan *window edit statistics* dengan *output* grafik antara temperatur dan waktu

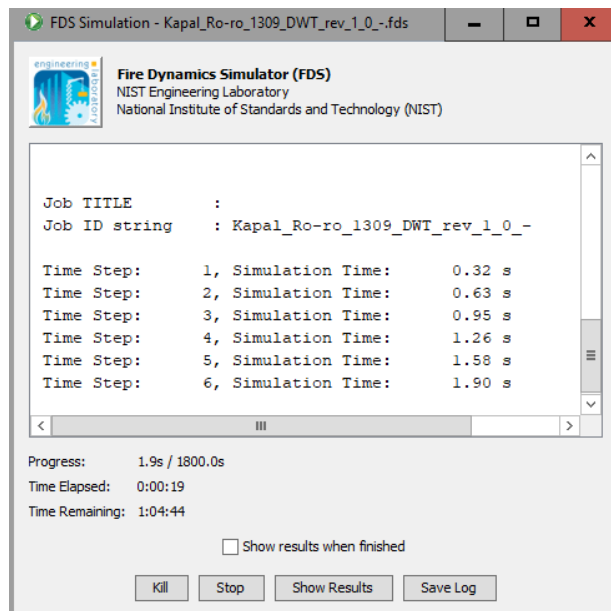
4.4.11. Penentuan Parameter Simulasi dan Tahapan *Running*

Tahapan penentuan parameter simulasi merupakan tahapan terakhir dalam serangkaian proses simulasi kebakaran. Terdapat beberapa parameter simulasi yang harus ditentukan sebelum tahapan *running* dilakukan. Yang pertama adalah parameter waktu dimana akan ditentukan nilai dari *start time* dan *end time*. Nilai tersebut merupakan nilai yang mendefinisikan total waktu dari *running simulation*. Nilai tersebut memengaruhi hasil dari reaksi pembakaran dan total waktu *software pyrosim* bekerja. Parameter kedua adalah *output* yang diharapkan dari hasil simulasi. Tab “*output*” menyediakan kendali halus tentang bagaimana nilai *output* dicatat. *Output* yang ditentukan pada simulasi ini berupa persebaran api dan asap. Terdapat juga beberapa parameter lain yang dapat memengaruhi hasil dari simulasi kebakaran. **Gambar 4.26.** merupakan tampilan *window* parameter simulasi pada tab “*time*”. Pada dialog *start time* tertulis 0 detik dan pada dialog *end time* tertulis 1800 detik. Yang artinya *output* berupa waktu total dari simulasi selama 1800 detik. **Gambar 4.26.** juga menjelaskan *output* yang diharapkan muncul dari hasil reaksi pembakaran berupa *mass fraction* dari jelaga. Pada dialog *restart* dan *2D slices* juga ditentukan waktu dari masing-masing dialog dengan nilai 100 detik dan 0.25 detik.



Gambar 4.26. Tampilan *window* parameter simulasi dengan waktu simulasi selama 1800 detik dan *output* berupa *mass fraction* dari jelaga

Setelah seluruh parameter sudah dipenuhi, maka tahap simulasi sudah bisa dijalankan. **Gambar 4.27.** merupakan tampilan *window* tahap simulasi kebakaran poliuretan dengan waktu simulasi selama 1800 detik dan *time step* setiap 100 detik yang memengaruhi waktu *software pyrosim* bekerja.



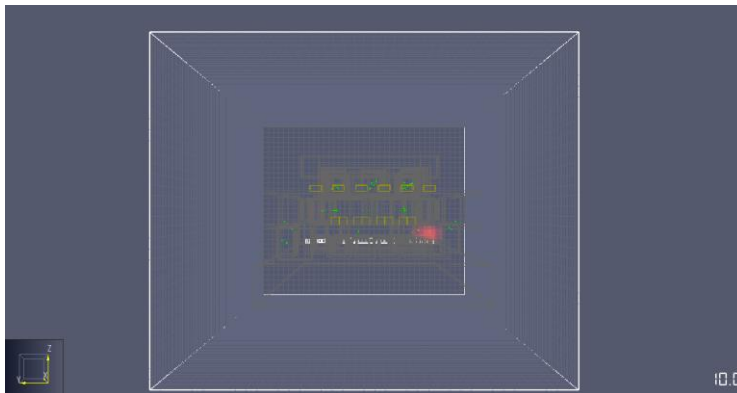
Gambar 4.27. Tampilan *window* tahap simulasi dijalankan

4.5. Hasil Simulasi Kebakaran

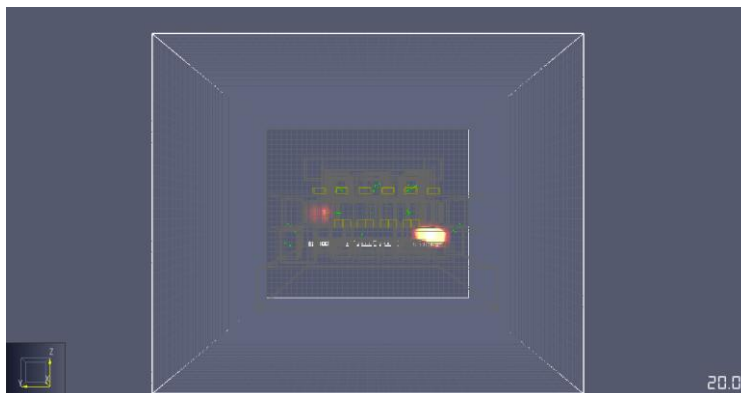
Hasil dari simulasi kebakaran akan sesuai dengan output yang sudah ditentukan pada **Sub Bab 4.5.** pada sub bab tersebut sudah ditentukan mulai dari reaksi pembakaran, *tools* untuk memvisualkan output, dan parameter dalam simulasi. Tahapan simulasi kebakaran ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari reaksi pembakaran yang dilangsungkan selama 1800 detik. Hasil dari reaksi pembakaran *polyurethane* akan menunjukkan persebaran dari api, jelaga, karbondioksida (CO_2), dan karbonmonoksida (CO). Berikut merupakan hasil dari reaksi pembakaran yang dibagi menjadi 4 bagian berdasarkan waktu,

4.5.1. Persebaran Api

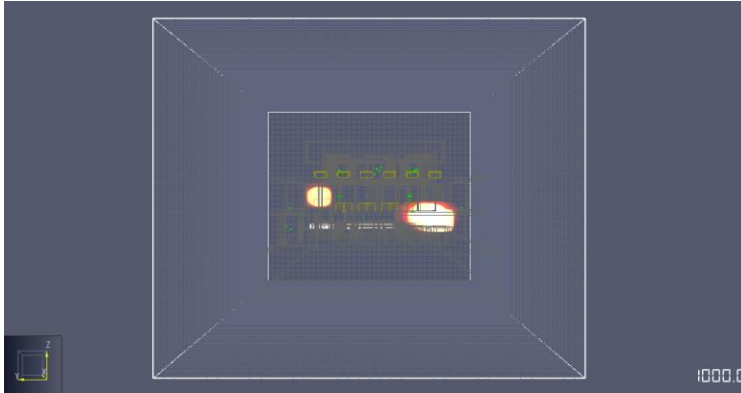
Pada sub bab ini akan dijelaskan terkait hasil dari reaksi pembakaran poliuretan yang sudah ditentukan lokasi awal dari munculnya api. Setelah itu akan diketahui output dari simulasi berupa tahapan pembakaran mulai dari tahap penyalaan, tahap pertumbuhan, tahap puncak, sampai tahap api reda. Pada **Gambar 4.28.** menunjukkan bahwa api berada pada tahap penyalaan yakni api menyala berasal dari kebakaran kendaraan pada dek kendaraan atas pada detik ke 10. Dan pada **Gambar 4.29.** pada detik ke 20 sumber api dari kendaraan mulai mencapai tahap pertumbuhan dan pada ruang dapur pada dek 2 api berada pada tahap pertumbuhan.



Gambar 4.28. Tahap penyalaan api pada dek 2 pada detik ke 10

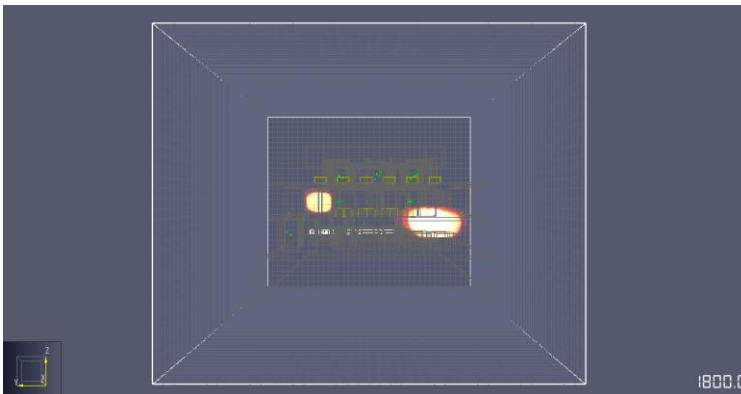


Gambar 4.29. Tahap pertumbuhan pada dek 2 dan tahap penyalaan dek 3 pada detik ke 20



Gambar 4.30. Tahap pertumbuhan api pada dek 2 dan dek 3 pada detik ke 1000

Pada gambar 4.30. menunjukkan bahwa pada detik ke 1000 sumber api yang berasal dari ruang dapur pada dek 3 berada pada tahap pertumbuhan dan belum mencapai puncak kebakaran. Sedangkan sumber api yang berasal dari kebakaran kendaraan pada dek 2 berada pada tahap pertumbuhan dan menyebar ke titik-titik kapal yang lainnya sehingga berdampak kepada terbakarnya tangga dan panasnya menyebar ke dek 3 dan dek kendaraan bawah.

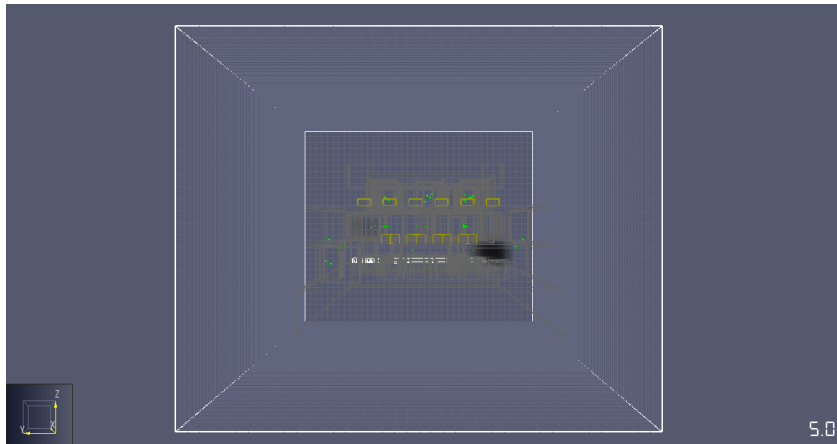


Gambar 4.31. Tahap penyalaaan api pada dek 2 dan dek 3 pada detik ke 1800

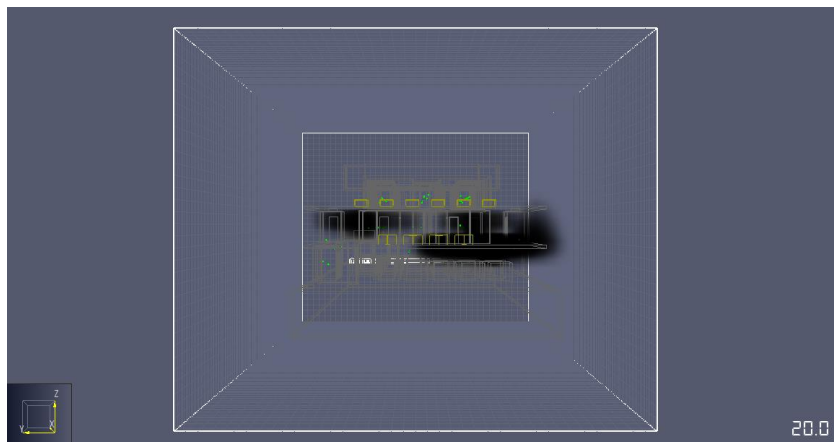
Pada gambar 4.31. menunjukkan bahwa sudah mencapai pada *end time* simulasi. Dimana waktu simulasi menunjukkan detik ke 1800. Sumber api yang berasal dari ruang dapur pada dek 3 beradap pada tahap pertumbuhan dan sumber panasnya sudah memberikan dampak ke titik-titik kapal yang lain. Dan sumber api yang berasal dari kebakaran pada dek 2 berada pada kondisi yang sama dengan sumber api pada dek 3. Dari simulasi ini belum terlihat tahapan surut dari proses kebakaran poliuretan dikarenakan pada tugas akhir ini memang ingin diketahui nilai persebaran panas akibat kebakaran sampai detik ke 1800.

4.5.2. Persebaran Asap

Pada simulasi kebakaran menggunakan software pyrosim ini memiliki output lain selain persebaran api yakni persebaran asap. Dimana tingkat visibility dari asap akan memengaruhi jarak pandang serta mengganggu pernapasan penumpang. Tingkat visibility dari asap dipengaruhi oleh intensitas dari api sendiri. Semakin lama dan besarnya daya yang dikeluarkan oleh reaksi pembakaran poliuretan maka nilai visibility dari asap akan semakin besar pula. Pada **Gambar 4.32.** menunjukkan bahwa pada detik ke 5 asap sudah mulai terlihat muncul dari sumber api pada dek kendaraan atas. Namun tingkat kerapatan asap masih sangat kecil dikarenakan tahapan kebakaran masih berada pada tahap penyalaan.

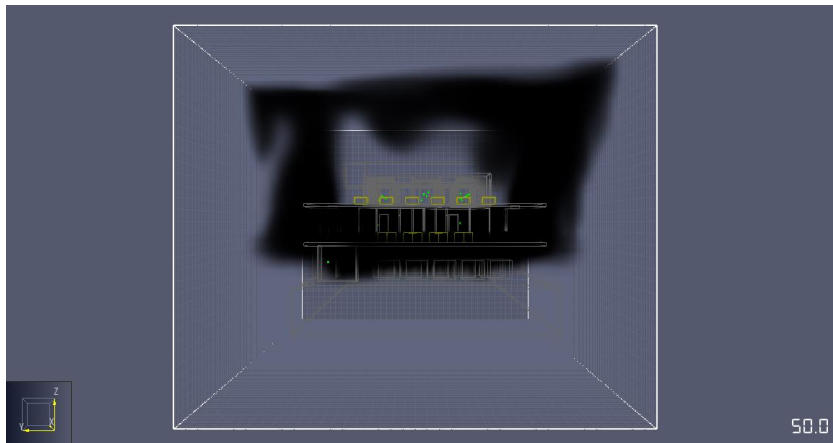


Gambar 4.32. Kerapatan asap pada detik ke 5



Gambar 4.33. Kerapatan asap pada detik ke 20

Pada **Gambar 4.33.** kerapatan asap sudah mulai meningkat dikarenakan kebakaran sudah berjalan selama 20 detik. Seperti yang terlihat pada dek 3 dimana asap sudah mulai muncul dari sumber kebakaran pada ruang dapur dan juga asap yang berasal dari sumber kebakaran pada dek kendaraan atas sudah mulai menyebar ke dek 3 dan dek kendaraan bawah.



Gambar 4.34. Kerapatan asap pada detik ke 50

Pada **Gambar 4.34.** menunjukkan bahwa tingkat kerapatan dari asap hasil dari kebakaran semakin tumbuh dan sudah menyebar ke seluruh dek 3 dan dek kendaraan atas. Asap juga sudah mulai menyebar ke lingkungan yang berada disekitar kapal Ro-Ro 1309 DWT akan tetapi masih berada didalam mesh yang sudah ditentukan pada tahap sebelum simulasi dijalankan. Dan pada **Gambar 4.35.** asap sudah menutupi seluruh badan kapal serta sudah mengisi seluruh mesh yang menjadi batas area simulasi. Dari simulasi ini sudah ditentukan sebelumnya untuk kecepatan persebaran asap dari reaksi pembakaran poliuretatan yang disesuaikan dengan *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Output dari simulasi kebakaran ini yang berupa persebaran asap akan dipertimbangkan pada tahap selanjutnya yakni simulasi evakuasi penumpang. Dimana kandungan gas pada udara seperti karbondioksida, karbonmonoksida, dan oksigen menjadi parameter yang berpengaruh.

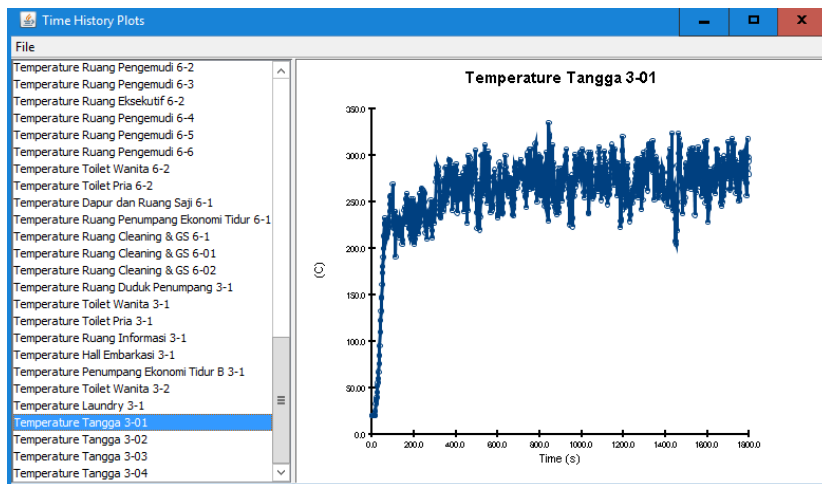


Gambar 4.35. Kerapatan asap pada detik ke 1500

4.5.3. Lokasi Terbakar

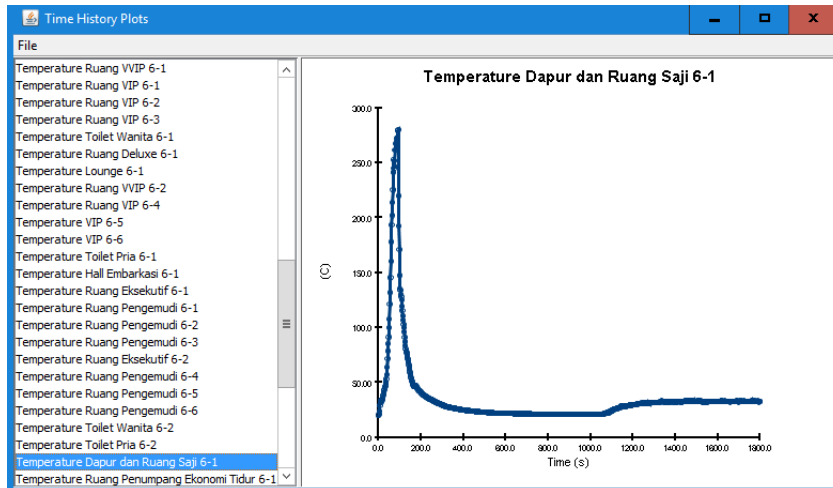
Hasil dari simulasi kebakaran menggunakan *pyrosim* pada tugas akhir ini menunjukkan beberapa ruangan yang mengalami kebakaran akibat dari persebaran api yang berasal dari ruang dapur pada dek 3 dan kebakaran kendaraan pada dek kendaraan atas. Terdapat 6 titik yang mengalami kebakaran dengan nilai temperatur dan waktu tahapan yang berbeda antara lain,

1. Dapur dan Ruang Saji pada dek 3
2. Toilet Pria pada dek 3
3. 3 tangga pada dek kendaraan atas dan 1 tangga pada dek 3



Gambar 4.36. Grafik antara waktu dan temperatur tangga pada dek kendaraan atas

Pada **Gambar 4.36.** menunjukkan grafik perbandingan antara temperatur dengan waktu simulasi pada tangga di dek kendaraan atas. Dimana tangga ini mengalami kebakaran yang merambat dari sumber api ke titik-titik kapal lainnya. **Gambar 4.36.** Menunjukkan bahwa pada detik ke 39 temperatur dari tangga berada pada angka 100 °C. Dapat diketahui bahwa rambatan api yang diterima oleh tangga konsisten sampai pada tahap akhir simulasi dibuktikan dengan grafik pada **Gambar 4.36.** yang konsisten dan tidak mengalami penurunan yang signifikan. Sedangkan pada **Gambar 4.37.** menunjukkan grafik perbandingan antara temperatur dengan waktu simulasi pada dapur dan ruang saji yang berada di dek 3 dengan kondisi yang berkebalikan dengan **Gambar 4.36.** dimana dapur dan ruang saji mencapai temperatur 100 °C pada detik ke 52 dan berada pada tahapan reda pada detik ke 122. Dapur dan ruang saji sendiri merupakan ruangan yang terdapat sumber api yang memberikan rambatan panas ke ruangan lainnya. Sumber api yang berada pada dapur dan ruang saji memiliki tahapan kebakaran yang singkat seperti yang terlihat pada **Gambar 4.37.** dimana hanya berlangsung selama 70 detik.



Gambar 4.37. Grafik antara waktu dan temperatur dapur dan ruang saji pada dek 3

4.6. Simulasi Evakuasi Penumpang

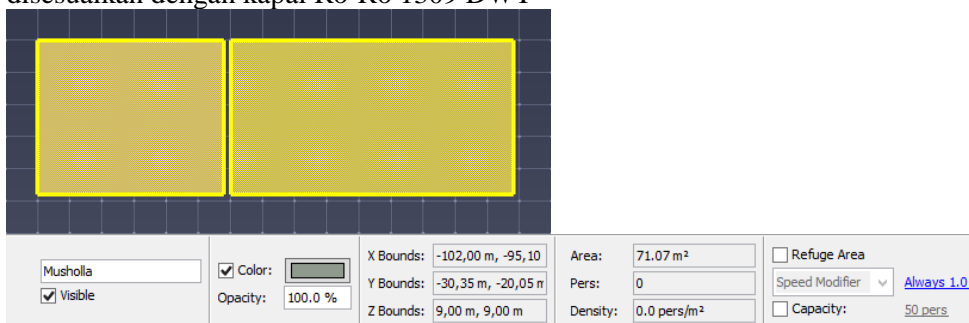
Pada tahap simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT merupakan tahap lanjutan setelah tahap simulasi kebakaran. Tahapan simulasi evakuasi penumpang akan dilakukan sesuai dengan kondisi sebenarnya yakni simulasi evakuasi akibat kejadian kebakaran dan disesuaikan dengan *guideline's* IMO MSC.1/Circ. 1533 dengan model yang sudah disesuaikan dengan kapal Ro-Ro 1309 DWT. Dimana simulasi akan dilakukan berdasarkan empat kasus berdasarkan kondisi siang dan malam. Simulasi ini akan diterapkan kedalam kondisi dimana jumlah penumpang melebihi kapasitas muatan yakni dengan jumlah penumpang pada kondisi malam sejumlah 730 penumpang dan pada kondisi siang sejumlah 554 penumpang dengan komposisi dan persebaran penumpang yang sudah ditentukan sebelumnya pada sub **BAB 4.2.3.**

Tahapan simulasi menggunakan *software pathfinder* dengan *agent based modeling simulation* dimana agen merupakan variabel bebas dengan kecepatan berjalan yang bersifat *uniform kontinu*. Agen berperilaku sesuai dengan kondisi dan tidak dapat dikontrol untuk responnya terhadap suatu rangsangan. Pada *software* ini akan ditentukan rentang nilai dari kecepatan berjalan penumpang berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia dengan nilai *initial delay* yang ditentukan berdasarkan kondisi siang dan malam. Tujuan akhir dari tahapan simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT adalah mengetahui berapa nilai durasi perjalanan suatu agen menuju ke *assembly station*. Oleh karena itu, akan ditentukan letak *assembly station* dari model yang disesuaikan dengan letak sebenarnya.

Kasus yang digunakan pada tahap simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT selain mengacu kepada *guideline's* IMO MSC.1/Circ. 1533 juga mengacu kepada hasil dari simulasi kebakaran dimana daerah yang mengalami kejadian kebakaran akan dihindari oleh agen pada proses perjalanan menuju *assembly station*. Berikut merupakan tahapan yang harus diselesaikan dalam simulasi,

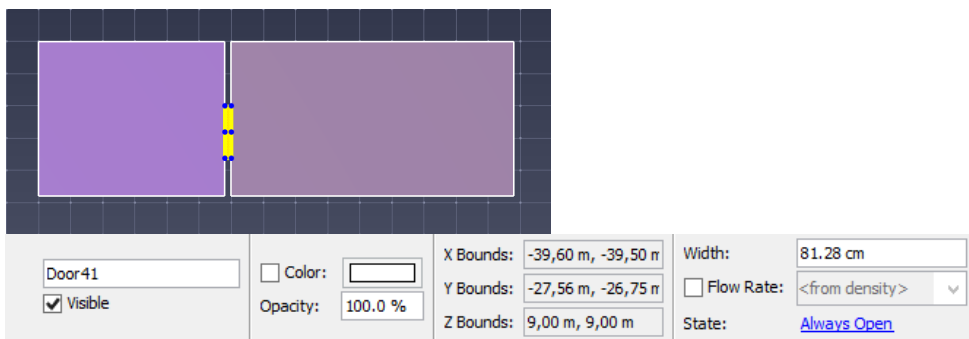
4.6.1. Pembuatan Model Simulasi Evakuasi Penumpang

Tahapan pertama pada simulasi evakuasi penumpang adalah pembuatan model simulasi yang menggambarkan objek sebenarnya. Pembuatan model simulasi berdasarkan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. Pada pembuatan model terdapat beberapa tahapan yang harus dipenuhi sehingga dapat menggambarkan kondisi objek sebenarnya. Mulai dari penggambaran ruangan, penggambaran dinding, penggambaran *assembly station*, serta penggambaran akses berupa pintu dan tangga. Pada tahapan ini *software* yang digunakan adalah *pathfinder* yang dapat membantu dalam proses penggambaran model. *Software* ini memiliki beberapa *tools* yang menunjang penggambaran movement space seperti, *floors*, *rooms*, *obstruction/holes*, *doors*, dan *stairs*. Pada **Gambar 4.38**, merupakan hasil dan tampilan *window* penggambaran ruangan yang dapat ditentukan nilai dari geometri dan kapasitas *occupants* yang dapat ditampung masing-masing ruangan yang disesuaikan dengan kapal Ro-Ro 1309 DWT



Gambar 4.38. Tampilan *window* dan proses pembuatan ruangan kapal Ro-Ro 1309 DWT.

Setiap ruangan akan dihubungkan oleh akses berupa pintu yang proses pembuatannya ditunjukkan pada **Gambar 4.39**, pada proses pembuatan pintu akan dipertimbangkan tata letak pintu yang disesuaikan dengan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. Pada proses ini juga ditentukan dimensi dari pintu serta *flow rate* yang disesuaikan dengan nilai *density* dari ruangan yang didapatkan dari perbandingan antara jumlah penumpang dibagi dengan dimensi ruangan yang ditempati dengan ketentuan nilai kurang dari 1.33 *person/meter*.

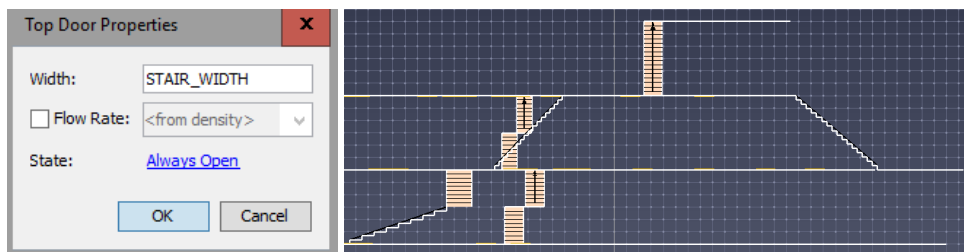


Gambar 4.39. Tampilan *window* pada proses pembuatan pintu kapal Ro-Ro 1309 DWT.

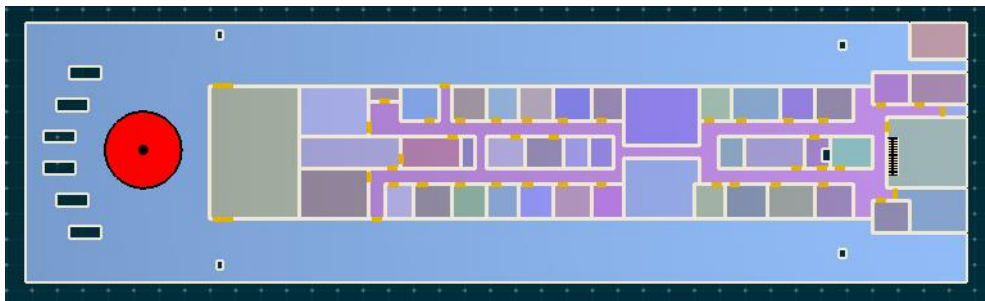
Sedangkan, akses berupa tangga akan menjadi penghubung antar dek yang proses pembuatannya ditunjukkan pada **Gambar 4.40**. pada proses pembuatan tangga akan dipertimbangkan tata letak tangga yang disesuaikan dengan *general arrangement* kapal Ro-Ro 1309 DWT. Pada proses ini juga dipertimbangkan dimensi dari anak tangga dengan menentukan nilai dari *riser*, *tread*, serta panjang dan lebar. Salah satu tangga dibuat dengan nilai *riser* 17.78 cm, nilai *tread* 27.94 cm, dengan panjang tangga 4.960091 meter dan lebar 75 cm. Selanjutnya akan ditentukan fungsi dari tangga apakah dapat di akses dengan menentukan status *top door* dan *bottom door* yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.41**. beserta dengan hasil penggambarannya.

Stair30	<input type="checkbox"/> Color: <input type="text"/>	Riser: 17.78 cm	Width: 75.0 cm
<input checked="" type="checkbox"/> Visible	Opacity: 100.0 %	Tread: 27.94 cm	Top Door: Edit
		Length: 4.960091 m	Bottom Door: Edit

Gambar 4.40. Tampilan *window* pada proses pembuatan tangga kapal Ro-Ro 1309 DWT.



Gambar 4.41. Tampilan *window* pada penentuan status tangga dan hasil pembuatannya.

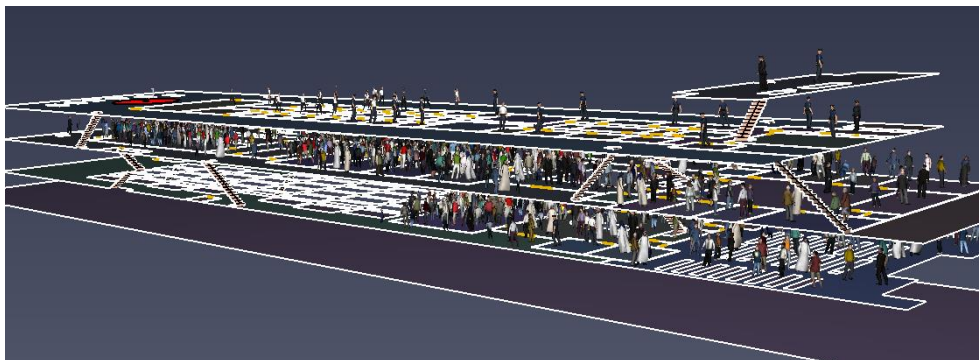


Gambar 4.42. Hasil penggambaran pada dek 4 kapal Ro-Ro 1309 DWT dengan *software pathfinder*.

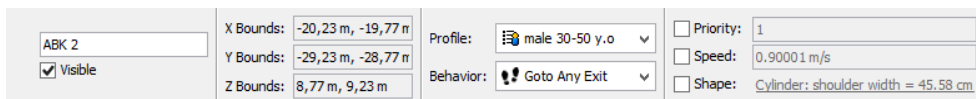
Dan setelah semua tahapan dilaksanakan seperti yang terlihat hasil akhirnya pada **Gambar 4.42**. menunjukkan penggambaran ruangan pada dek 4 seperti kabin, musholla, dan dapur. Pada dek 4 juga terdapat *assembly station* yang merupakan tempat evakuasi pada proses simulasi. Dinding dan beberapa perabotan digambarkan dengan penggambaran holes sehingga tidak dapat dijadikan akses oleh *occupants*.

4.6.2. Penggambaran *Occupants*

Tahap selanjutnya adalah penggambaran *occupants* untuk mengisi setiap ruangan yang sudah digambar sebelumnya. *Occupants* akan menggambarkan agen yang merupakan penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT. Dalam pembuatan agen terdapat beberapa pertimbangan yang harus dipenuhi mulai dari komposisi dari penumpang berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia yang sudah didapatkan hasilnya pada saat pelaksanaan survei lapangan secara langsung. Yang kedua yakni pertimbangan berupa persentase persebaran penumpang untuk menentukan jumlah dari penumpang yang berada pada kabin dan penumpang yang terdistribusi. Selanjutnya akan ditentukan nilai dari kecepatan berjalan setiap penumpang dan juga tingkah laku dari penumpang. **Gambar 4.43** menunjukkan hasil akhir dari penggambaran agen yang sudah disesuaikan dengan kondisi sebaran penumpang berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia pada kondisi malam hari.

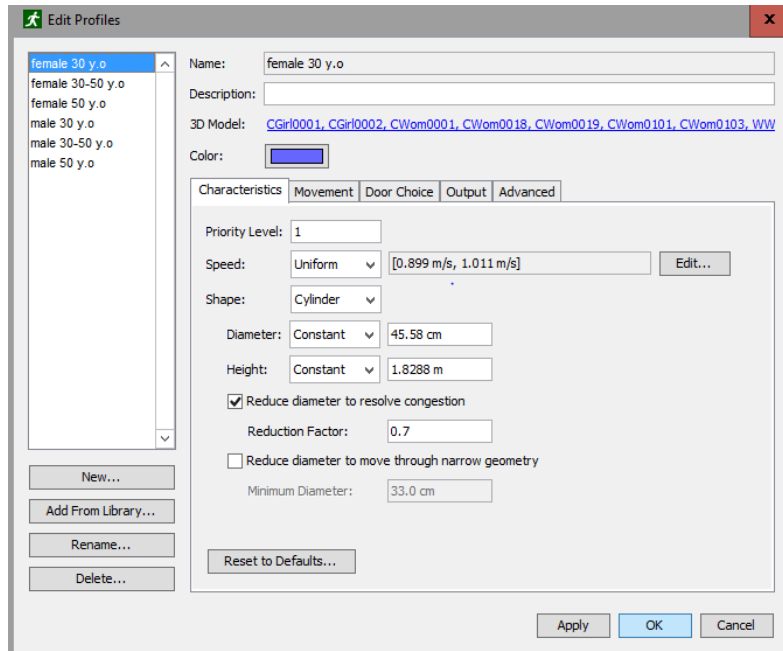


Gambar 4.43. Persebaran penumpang berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari.



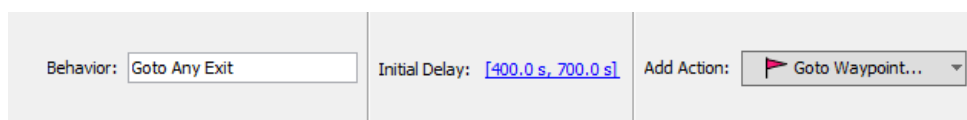
Gambar 4.44. Tampilan *window* proses penggambaran ABK 2.

Pada **Gambar 4.44.** menunjukkan proses penggambaran ABK 2 dengan kategori pria berusia antara 30-50 tahun yang sudah ditentukan posisi dan kecepatan berjalan penumpang dengan nilai 0.90001 m/s. ABK 2 juga sudah ditentukan tingkah lakunya untuk menuju *assembly station* yang digambarkan dengan keterangan “*Goto Any Exit*”.



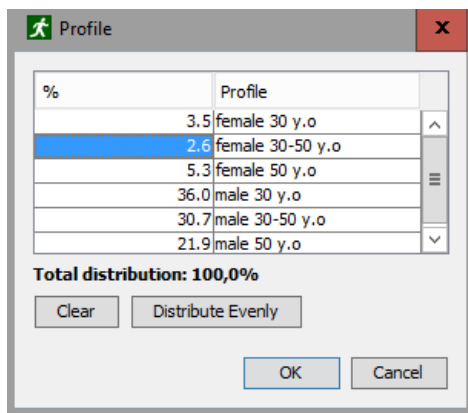
Gambar 4.45. Tampilan *window* proses penentuan parameter *profiles* pada simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT.

Gambar 4.45. menunjukkan proses penentuan parameter mulai dari characteristics, movement, door choice, output, dan advance. Pada proses ini nilai kecepatan berjalan penumpang ditentukan dari hasil survei lapangan dan nilainya akan didistribusikan menggunakan distribusi uniform sehingga nilai kecepatan minimal dan maksimal dapat ditentukan. Pada kategori perempuan dengan usia dibawah 30 tahun memiliki kecepatan berjalan dengan rentang antara 0.899 m/s sampai 1.011 m/s. Pada tahapan ini juga ditentukan nilai dari initial delay yang menggambarkan karakteristik respon dari penumpang untuk menuju ke assembly station. Tahapan tersebut di tunjukkan pada **Gambar 4.46.** dengan nilai initial delay adalah 400 sampai 700 detik. Dan **Gambar 4.47.** menunjukkan nilai dari persebaran penumpang yang sudah dikategorikan berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia dengan total distribusi harus 100%.



Gambar 4.46. Tampilan *window* proses penentuan nilai *initial delay* pada kondisi malam hari.

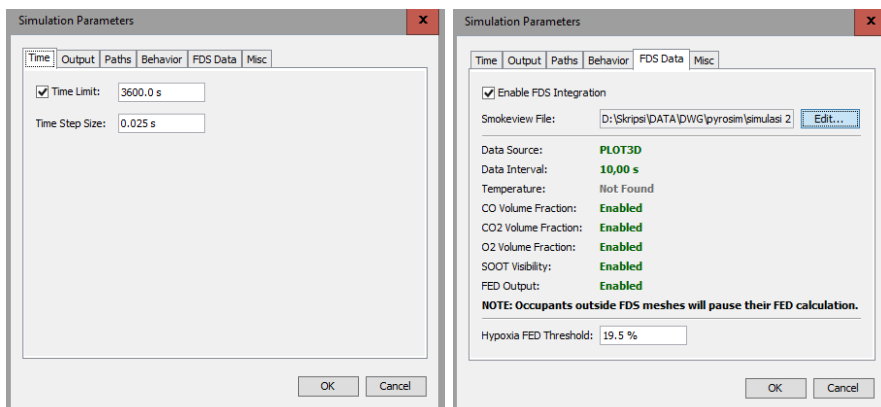
Pada **Gambar 4.46.** diberikan informasi berupa nilai initial delay dengan rentang nilai 400 sampai 700 detik yang artinya suatu agen akan merespon suatu kejadian dengan rentang nilai tersebut. Dikarenakan agen merupakan variabel bebas dimana tingkah lakunya tidak dapat dikontrol maka tidak bisa ditentukan secara pasti setiap agen akan merespon suatu kejadian.



Gambar 4.47. Tampilan window penentuan persentase dari penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT.

4.6.3. Penentuan Parameter Simulasi dan Tahapan Running

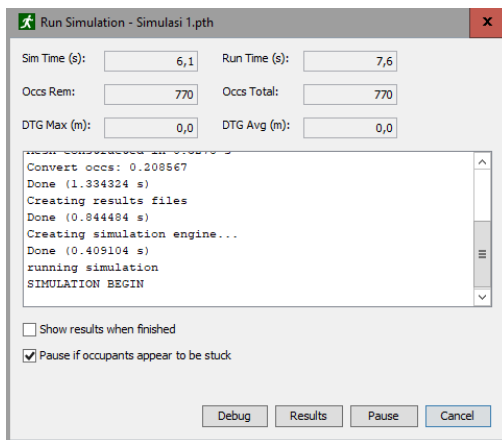
Tahapan penentuan parameter simulasi merupakan tahapan terakhir dalam serangkaian proses simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT. Terdapat beberapa parameter simulasi yang harus ditentukan sebelum tahapan running dilakukan. Yang pertama adalah parameter waktu dimana akan ditentukan batas maksimal waktu simulasi yang nilainya lebih besar daripada waktu agen terakhir menuju ke *assembly station*. Parameter kedua adalah output yang diharapkan dari hasil simulasi. Dimana pada simulasi evakuasi output berupa waktu untuk menuju assembly station dan tingkah laku pada setiap agen. **Gambar 4.48.** menunjukkan nilai time limit dari simulasi evakuasi yang disesuaikan dengan ketentuan dari IMO MSC.1/Circ. 1533 yang menjelaskan bahwa nilai maksimal evakuasi penumpang kapal Ro-Ro selama 60 menit.



Gambar 4.48. tampilan window penentuan parameter simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT.

Pada **Gambar 4.48.** menunjukkan nilai time limit selama 3600 detik yang mendefinisikan bahwa tahap running memiliki nilai maksimal selama 3600 detik. Apabila waktu agen terakhir menuju ke assembly station lebih dari 3600 detik maka simulasi tidak akan berjalan. Pada Gambar 4.8. juga menunjukkan integrasi dari output simulasi kebakaran menggunakan fire dynamic simulator. Dimana pada

simulasi tersebut dibutuhkan data output berupa data source, data interval, temperature, volume fraction karbonmonoksida, volume fraction karbondioksida, volume fraction oksigen, SOOT visibility, dan FED output. **Gambar 4.49.** merupakan tahap running simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari dengan jumlah penumpang sebanyak 770 penumpang.



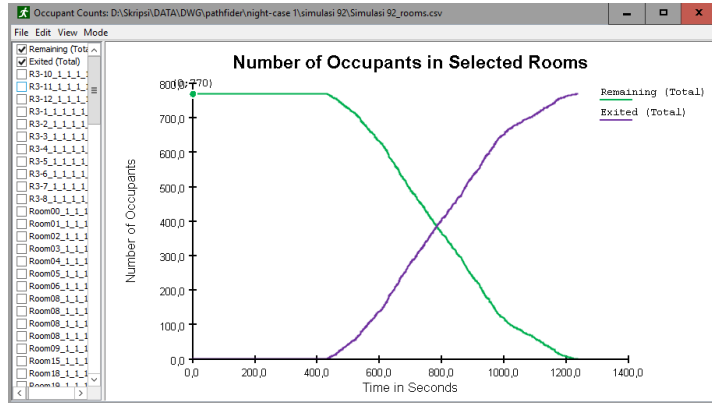
Gambar 4.49. Tampilan *window* tahap *running* simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari.

4.7. Hasil Simulasi Evakuasi Penumpang

Hasil dari simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT merupakan *output* dari simulasi sesuai dengan IMO MSC.1/Circ. 1533 dengan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. *Output* dari simulasi evakuasi akan memberikan informasi terkait total durasi yang dibutuhkan oleh seluruh penumpang untuk menuju *assembly station*. Pada simulasi ini total durasi menuju *assembly station* (tA) akan dilakukan validasi dengan menentukan 5% dari 100 replikasi yang sudah dilakukan pada setiap *case*. Pada Tabel 4.4. ditampilkan 5 nilai tA tertinggi pada setiap *case*.

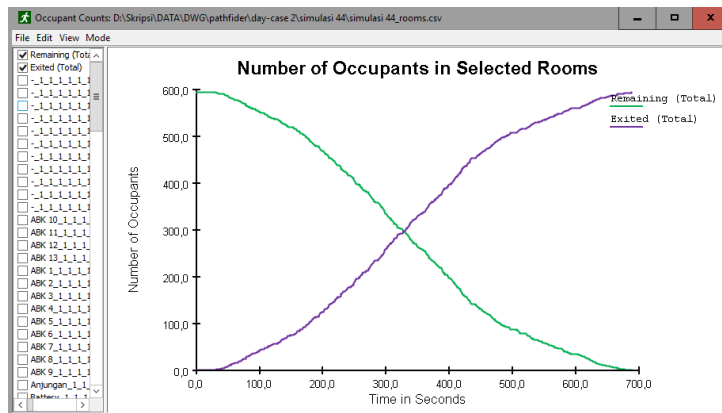
Tabel 4.4. Total assembly duration pada setiap case

simulasi ke- (night case-1)	total assembly duration (s)	simulasi ke- (day case-2)	total assembly duration (s)	simulasi ke- (night case-3)	total assembly duration (s)	simulasi ke- (day case-4)	total assembly duration (s)
92	1236,5	44	688,5	10	1615,5	50	953
46	1236,3	65	688,5	2	1597,5	10	952
38	1234	21	686,8	12	1589,8	61	947,3
86	1230,5	35	686	4	1586,3	78	947,3
77	1226,8	62	683	7	1582,3	26	947

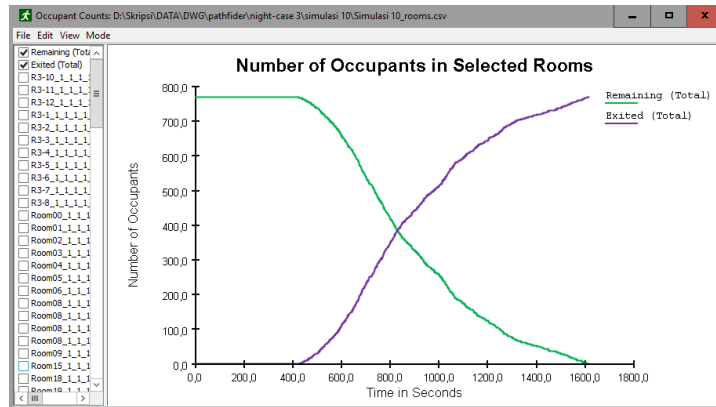


Gambar 4.50. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah *occupants* kondisi malam hari pada simulasi ke 92 (case 1)

Pada **Gambar 4.50.** menunjukkan grafik dari hasil simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari (*case 1*). Simulasi tersebut merupakan replikasi simulasi yang ke 92 dimana total waktu yang dibutuhkan untuk menuju *assembly station* adalah 1236,5 detik dengan jumlah penumpang sebanyak 770 orang. Dan pada **Gambar 4.51.** menunjukkan grafik dari hasil simulasi pada kondisi siang hari (*case 2*). Simulasi tersebut merupakan replikasi simulasi yang ke 44 dimana total waktu yang dibutuhkan untuk menuju *assembly station* adalah 688,5 detik dengan jumlah penumpang sebanyak 594 orang.

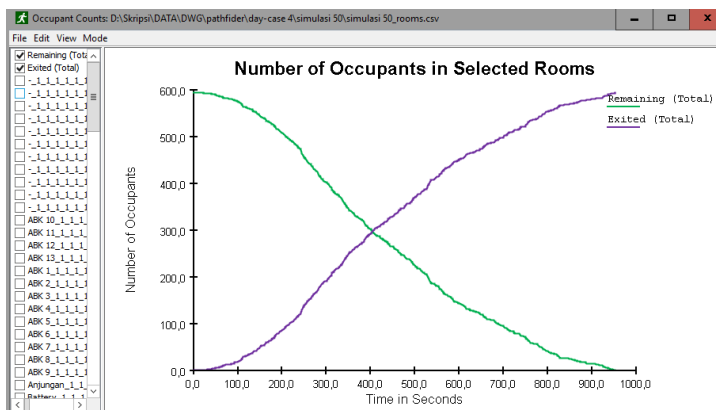


Gambar 4.51. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah *occupants* kondisi siang hari pada simulasi ke 44 (case 2)

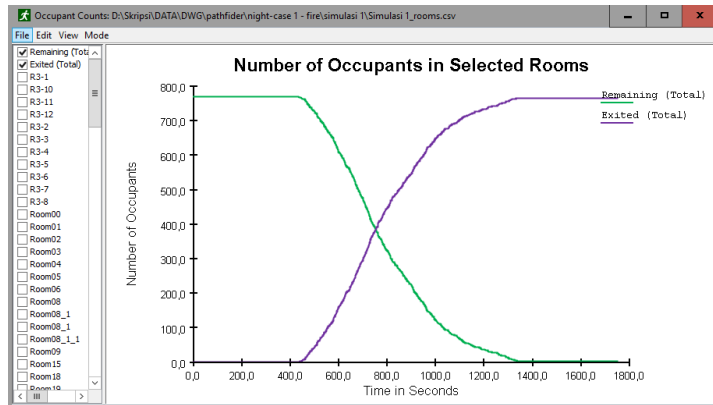


Gambar 4.52. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah *occupants* kondisi malam hari pada simulasi ke 10 (case 3)

Pada **Gambar 4.52.** menunjukkan grafik dari hasil simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari dengan menonaktifkan salah satu tangga akses antara dek 3 dengan dek kendaraan atas (*case 3*). Simulasi tersebut merupakan replikasi simulasi yang ke 10 dimana total waktu yang dibutuhkan untuk menuju *assembly station* adalah 1615,5 detik dengan jumlah penumpang sebanyak 770 orang. Dan pada **Gambar 4.53.** menunjukkan grafik dari hasil simulasi pada kondisi siang hari dengan menonaktifkan salah satu tangga akses antara dek 3 dengan dek kendaraan atas (*case 4*). Simulasi tersebut merupakan replikasi simulasi yang ke 50 dimana total waktu yang dibutuhkan untuk menuju *assembly station* adalah 953 detik dengan jumlah penumpang sebanyak 594 orang.

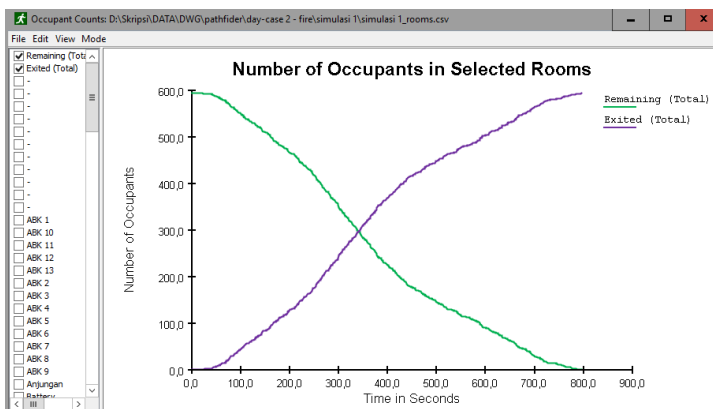


Gambar 4.53. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah *occupants* kondisi siang hari pada simulasi ke 50 (case 4)



Gambar 4.54. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah *occupants* kondisi malam hari pada kasus kebakaran

Pada **Gambar 4.54.** menunjukkan grafik dari hasil simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT pada kondisi malam hari pada kasus kebakaran. Dimana total waktu yang dibutuhkan untuk menuju *assembly station* adalah 1750 detik dengan jumlah penumpang sebanyak 770 orang. Pada simulasi kasus ini terdapat 4 orang yang menerima dampak dari kejadian kebakaran dan berstatus sebagai korban. Dan pada **Gambar 4.55.** menunjukkan grafik dari hasil simulasi pada kondisi siang hari pada kasus kebakaran. Dimana total waktu yang dibutuhkan untuk menuju *assembly station* adalah 795,3 detik dengan jumlah penumpang sebanyak 594 orang. Pada simulasi ini diketahui bahwa durasi menuju *assembly station* membutuhkan waktu yang lebih lama daripada *case 1 sampai 4* pada masing-masing kondisi siang dan malam dikarenakan *occupants* harus melewati rute evakuasi yang lebih jauh dikarenakan beberapa akses penghubung antar ruangan dan akses penghubung antar dek menerima dampak dari kebakaran.



Gambar 4.55. Grafik Perbandingan antara waktu dan jumlah *occupants* kondisi siang hari pada kasus kebakaran

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini terkait simulasi evakuasi kapal Ro-Ro 1309 DWT menggunakan agent based modeling simulation maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut,

5.1. Kesimpulan

1. Komposisi penumpang berdasarkan rentang usia dan jenis kelamin dengan jumlah sebagai berikut,
36% pria dan 3,5% wanita dengan usia < 30 tahun, 30,7% pria dan 2,6% wanita dengan usia 30-50 tahun, 21,9% pria dan 5,3% wanita dengan usia > 50 tahun. Dengan persebarannya adalah, pada siang hari 46% penumpang berada di kabin dan 54% penumpang terdistribusi. Dan pada malam hari 71% penumpang berada di kabin dan 29% terdistribusi.
2. Simulasi kebaran dengan nilai HRRPUA pada dek kendaraan atas sebesar 1000 kW/m² dan pada dek 3 sebesar 500 kW/m² menyebabkan toilet pria pada dek 3, dapur pada dek 3, 1 tangga s/b pada dek 3, 2 tangga s/b pada dek kendaraan atas, 1 tangga p/s pada dek kendaraan atas mengalami kebakaran.
3. Total assembly duration yang dibutuhkan pada simulasi evakuasi penumpang kapal Ro-Ro 1309 DWT berdasarkan IMO MSC.1/Circ. 1533 adalah sebagai berikut,
Case 1 terjadi pada simulasi ke 92 dengan nilai tA 1236,5 detik. Case 2 terjadi pada simulasi ke 44 dengan nilai tA 688,5 detik. Case 3 terjadi pada simulasi ke 10 dengan nilai tA 1615,5 detik. Case 4 terjadi pada simulasi ke 50 dengan nilai tA 953 detik. Case kebakaran 1 dengan nilai tA 1750 detik dengan 4 penumpang stuck. Case kebakaran 2 dengan nilai tA 795,3 detik.
4. Rekomendasi yang dapat diberikan berupa, merekonstruksi Akses Evakuasi sesuai dengan standar yang ditentukan oleh FSS (Fire Safety Sistem), melakukan tindakan sosialisasi oleh ABK kepada penumpang terkait prosedur evakuasi. meningkatkan kompetensi ABK untuk mengevakuasi penumpang pada kondisi kecelakaan.

5.2. Saran

1. Melakukan penelitian terhadap objek dengan dimensi kapal yang lebih besar.
2. Melakukan penelitian terkait evakuasi penumpang selain kecelakaan berupa kebakaran kapal.
3. Mempertimbangkan dampak dari kejadian kebakaran kapal seperti, kondisi kapal trim dan list.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

1. Adiwibowo, B. H., 2015. *Simulasi Numerik Rekonstruksi Kebakaran Di Kapal*. Banjarmasin, s.n.
2. Afrianza, I., 2016. *Analisis Sistem Evakuasi Kapal Penumpang 1200 GT Dalam Kondisi Kebakaran Dengan Pendekatan Agent Based Modeling*, Surabaya: s.n.
3. Firdausi, A. N., 2013. *Analisa Evakuasi Penumpang Pada Kapal Ro-ro Menggunakan Discrete Event Simulation Dan Social Force Model*, Surabaya: s.n.
4. International Maritime Organization, 2016. *Guidelines on Evacuation Analysis For New and Existing Passenger Ship*. London: s.n.
5. Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, 2017. *Laporan Investigasi Keselamatan Transportasi*, Jakarta: s.n.
6. National Institute of Standards and Technology, 2013. *Fire Dynamic Simulator User's Guide*. Sixth Edition penyunt. Maryland: VTT Technical Research Centre of Finland.
7. Panjaitan, D. M., 2016. *Pemodelan Kebakaran Menggunakan Program Fire Dynamic Simulator (FDS) Studi Kasus : KM Otong Kosasih*, Surabaya: s.n.
8. Priohutomo, K., 2017. *Analisa Waktu Evakuasi Dengan Metode Advance Pada Kapal Perintis 1200 GT*. *Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*.
9. Society of Fire Protection Engineers Bethesda, 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Third Edition penyunt. Maryland: National Fire Protection Asspciation.
10. Thorn, E. B. a. C., 2010. Fires and Explosion. *Scienc Direct*, 11(11), pp. 455-457.
11. Thunderhead Engineering, 2014. *Pathfinder User Manual*. USA: s.n.
12. Thunderhead Engineering, 2014. *Pyrosim User Manual*. USA: s.n.
13. Wijaya, R. T., 2016. *Analisa Evakuasi Penumpang dan ABK Kapal PT. Pelni dalam Kondisi List dan Kebakaran*, Surabaya: s.n.

LAMPIRAN B
Detail Komposisi Dan Persebaran Penumpang

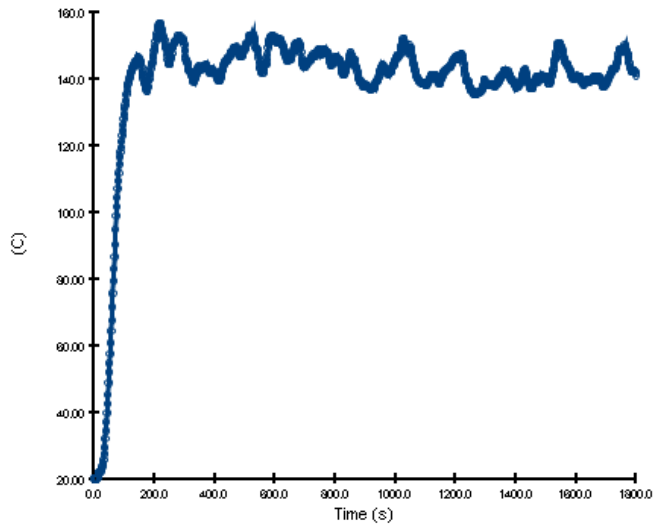
SIMULASI KONDISI 1 (MALAM)						
male 30 yo	male 30-50 yo	male 50 yo	female 30 yo	female 30-50 yo	female 50 yo	Location
9	9	6	1	1	1	Ruang Eksekutif 1
9	9	6	1	1	1	Ruang Eksekutif 2
9	9	6	1	1	1	Ruang Pengemudi 1
9	9	6	1	1	1	Ruang Pengemudi 2
9	9	6	1	1	1	Ruang Pengemudi 3
9	9	6	1	1	1	Ruang Pengemudi 4
9	9	6	1	1	1	Ruang Pengemudi 5
9	9	6	1	1	1	Ruang Pengemudi 6
12	9	12	1	0	2	Hall Embarkasi 6 m
13	11	12	2	0	2	Hall Embarkasi 3 m
10	5	4	2	1	3	outer Gangway 3 meter
20	17	12	1	1	3	Ruang Cleaning & GS
39	33	23	2	2	5	Ruang Penumpang Ekonomi Tidur 6 meter
0	2	0	0	2	0	Ruang VVIP 1
0	0	2	0	0	2	Ruang VVIP 2
2	0	0	2	0	0	Ruang VIP 1
0	4	0	0	0	0	Ruang VIP 2
0	2	0	0	2	0	Ruang VIP 3
4	0	0	0	0	0	Ruang VIP 4
0	0	0	2	0	2	Ruang VIP 5
0	0	2	0	0	2	Ruang VIP 6
2	0	2	0	0	0	Ruang Deluxe
40	33	24	3	2	6	Ruang Penumpang Ekonomi Tidur 3 meter
20	15	10	1	0	2	Ruang Penumpang Duduk
1	2	0	1	0	0	Lounge
27	17	6	1	1	1	outer Gangway 6 meter
0	2	3	0	0	1	Gangway 6 meter
262	224	160	26	19	39	730
						212
						518

SIMULASI KONDISI 2 (SIANG)						
male 30 yo	male 30-50 yo	male 50 yo	female 30 yo	female 30-50 yo	female 50 yo	Location
4	4	3	1	1	1	Ruang Eksekutif 1
4	4	4	1	0	1	Ruang Eksekutif 2
5	4	4	0	1	1	Ruang Pengemudi 1
4	3	3	1	1	1	Ruang Pengemudi 2
3	5	4	1	1	1	Ruang Pengemudi 3
4	4	3	1	1	1	Ruang Pengemudi 4
5	4	3	0	1	1	Ruang Pengemudi 5
4	2	4	1	1	1	Ruang Pengemudi 6
10	13	4	3	1	1	Hall Embarkasi 6 m
20	16	10	1	0	4	Hall Embarkasi 3 m
26	18	10	0	0	0	outer Gangway 3 meter
0	0	0	0	0	0	Ruang Cleaning & GS
17	15	12	2	2	2	Ruang Penumpang Ekonomi Tidur 6 meter
0	1	0	0	1	0	Ruang VVIP 1
0	0	1	0	0	1	Ruang VVIP 2
1	0	0	0	0	0	Ruang VIP 1
0	2	0	0	0	0	Ruang VIP 2
0	1	0	0	1	0	Ruang VIP 3
0	0	0	0	0	0	Ruang VIP 4
0	0	0	0	0	1	Ruang VIP 5
0	0	1	0	0	0	Ruang VIP 6
1	0	1	0	0	0	Ruang Deluxe
31	24	16	4	1	4	Ruang Penumpang Ekonomi Tidur 3 meter
20	18	13	0	0	1	Ruang Penumpang Duduk
2	0	0	2	0	1	Lounge
29	26	23	1	2	4	outer Gangway 6 meter
10	6	2	0	0	2	Gangway 6 meter
200	170	121	19	15	29	554
						299
						255

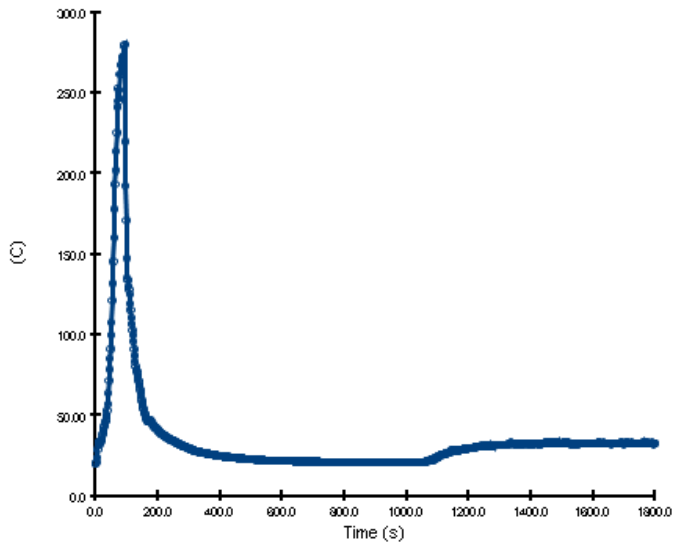
LAMPIRAN C

Grafik Hasil Simulasi Kebakaran Pada Titik Yang Terbakar

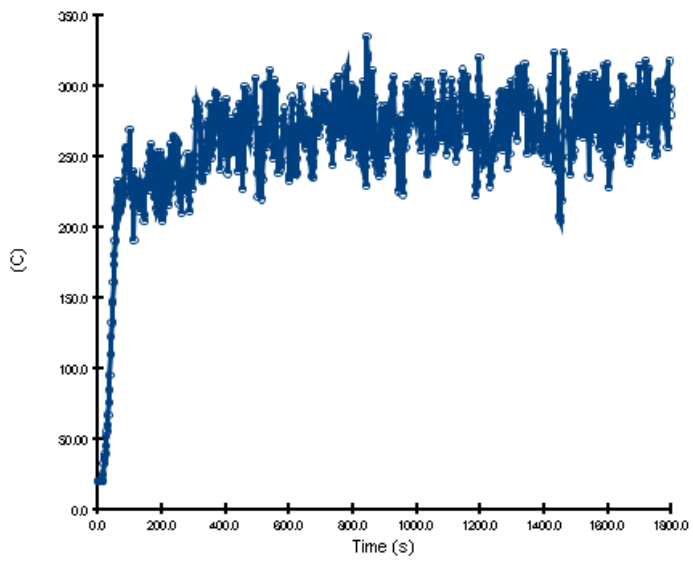
Grafik temperatur toilet pria di dek 3



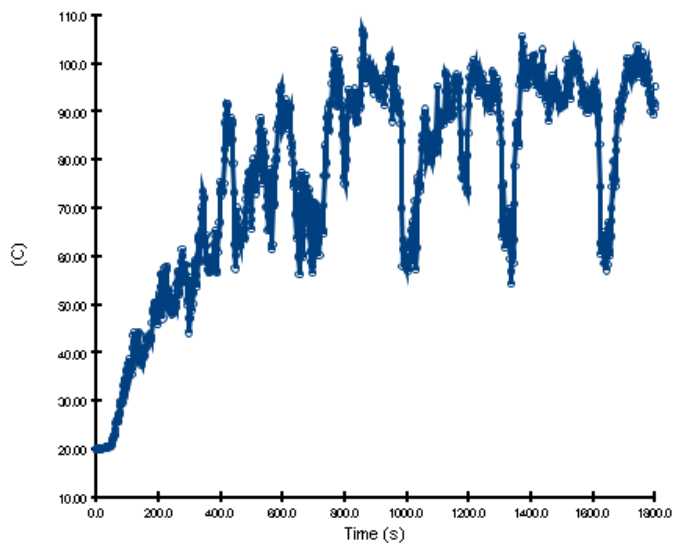
Grafik temperatur dapur dan ruang saji di dek 3



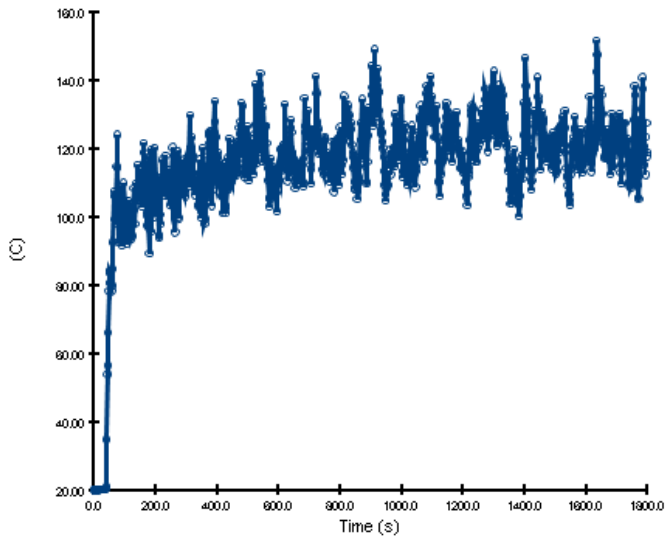
Grafik temperatur tangga s/b di dek 3



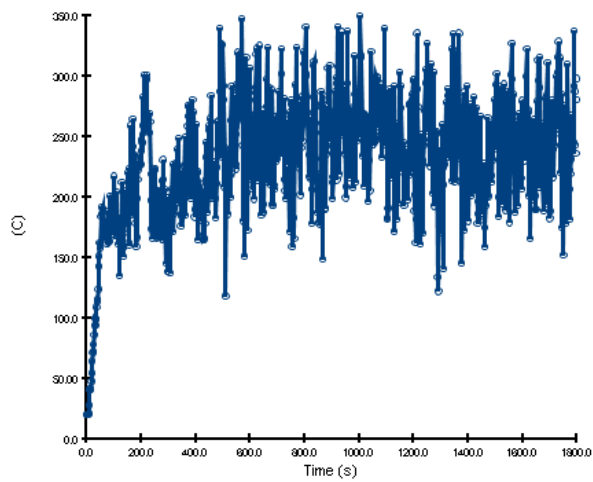
Grafik temperatur tangga s/b-1 di dek kendaraan atas



Grafik temperatur tangga p/s di dek kendaraan atas



Grafik temperatur tangga s/b-2 di dek kendaraan atas



LAMPIRAN D
Model Record Simulation

&MESH ID='Mesh01', IJK=147,40,33, XB=-10.0,100.0,-5.0,25.0,-5.0,20.0/

&REAC ID='Reaction1 (Polyurethane)',
 FUEL='REAC_FUEL',
 C=1.0,
 H=1.7,
 O=0.3,
 N=0.08,
 AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=0.0,
 CO_YIELD=0.042,
 SOOT_YIELD=0.079,
 RADIATIVE_FRACTION=0.35/

&DEVC ID='Temperature Anjungan 12-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=82.109607,10.378001,13.25, ORIENTATION=0.0,0.0,12.25/
 &DEVC ID='Temperature KKM 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=84.909332,14.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Masinis 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=80.95997,14.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Masinis 9-2', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=76.562995,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Masinis 9-3', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=73.782918,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Masinis 9-4', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=70.726344,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Electrican 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=67.598703,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Ruang Gyro 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=83.238646,9.224386,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Kapten 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=85.290083,5.396003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Mualim 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=81.651804,4.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Markonis 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=76.552822,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Mualim 9-2', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=73.307744,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Mualim 9-3', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=70.09867,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
 &DEVC ID='Temperature Mualim 9-4', QUANTITY='TEMPERATURE',
 XYZ=67.291516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/

&DEVC ID='Temperature Ruang Artis 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=77.569387,9.224386,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Gambar 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=71.43475,9.224386,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=58.077833,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=55.618921,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=52.413757,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.044051,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=47.386917,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Kamar Mandi 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=43.952589,13.346003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=58.291516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=55.291516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=52.741516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=49.906777,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=47.741516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=45.041516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=41.791516,4.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=53.83821,8.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature ABK 9-13', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=50.829946,8.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Dapur 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=43.952589,9.196003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Mess ABK 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.978802,9.196003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Satpam 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=36.79962,5.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Musholla 9-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=30.524161,8.846003,10.460897, ORIENTATION=0.0,0.0,9.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang VVIP 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=87.474867,15.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang VIP 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=83.870135,15.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/

&DEVC ID='Temperature Ruang VIP 6-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=81.787128,15.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang VIP 6-3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=79.708202,15.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Wanita 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=77.647696,15.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Deluxe 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=88.612123,10.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Lounge 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=82.880792,9.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang VVIP 6-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=87.209312,2.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang VIP 6-4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=83.977309,2.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature VIP 6-5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=81.749204,2.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature VIP 6-6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=79.826821,2.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Pria 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=77.645138,3.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Hall Embarkasi 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=72.294422,9.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Eksekutif 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=65.349287,13.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Pengemudi 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=60.866114,13.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Pengemudi 6-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=55.798012,13.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Pengemudi 6-3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=51.726632,13.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Eksekutif 6-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=65.250424,5.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Pengemudi 6-4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=60.545392,5.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Pengemudi 6-5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=55.993876,5.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Pengemudi 6-6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=51.712668,5.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Wanita 6-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=45.172053,13.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Pria 6-2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=45.039234,5.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Dapur dan Ruang Saji 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.431425,14.343172,7.5, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/

&DEVC ID='Temperature Ruang Penumpang Ekonomi Tidur 6-1',
QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=31.375248,6.043021,7.75,
ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Cleaning & GS 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=32.225517,13.343172,7.563686, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Cleaning & GS 6-01', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=29.0,17.75,6.5, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Tangga S/B 6-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=29.0,1.0,6.5, ORIENTATION=0.0,0.0,6.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Duduk Penumpang 3-1',
QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=82.0,10.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Wanita 3-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=74.709007,14.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Pria 3-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=74.745231,3.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Ruang Informasi 3-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=71.500942,3.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Hall Embarkasi 3-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=68.118345,10.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Penumpang Ekonomi Tidur B 3-1',
QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.6,3.6,5.25, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Toilet Wanita 3-2', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=23.945867,17.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Laundry 3-1', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=14.168416,16.75,4.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Tangga 3-01', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=40.0,1.0,5.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Tangga 3-02', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=40.0,17.0,5.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Tangga 3-03', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=28.0,1.5,5.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/
&DEVC ID='Temperature Tangga 3-04', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=28.0,17.0,5.75, ORIENTATION=0.0,0.0,3.25/

&MATL ID='Steel',
SPECIFIC_HEAT=6.347,
CONDUCTIVITY_RAMP='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP',
DENSITY=7850.0/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=0.0, F=55.0/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=100.0, F=193.96/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=200.0, F=113.52/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=300.0, F=85.95/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=400.0, F=70.665/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=600.0, F=50.925/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=800.0, F=41.579/
&RAMP ID='Steel_CONDUCTIVITY_RAMP', T=1000.0, F=36.917/

```

&MATL ID='Insulation',
  SPECIFIC_HEAT=1.0,
  CONDUCTIVITY_RAMP='Insulation_CONDUCTIVITY_RAMP',
  DENSITY=10.0/
&RAMP ID='Insulation_CONDUCTIVITY_RAMP', T=200.0, F=0.1419/
&RAMP ID='Insulation_CONDUCTIVITY_RAMP', T=400.0, F=0.247/
&RAMP ID='Insulation_CONDUCTIVITY_RAMP', T=600.0, F=0.476/
&RAMP ID='Insulation_CONDUCTIVITY_RAMP', T=800.0, F=0.816/
&RAMP ID='Insulation_CONDUCTIVITY_RAMP', T=1000.0, F=1.235/
&MATL ID='Wood',
  SPECIFIC_HEAT_RAMP='Wood_SPECIFIC_HEAT_RAMP',
  CONDUCTIVITY=0.1,
  DENSITY=1500.0/
&RAMP ID='Wood_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=100.0, F=4.409/
&RAMP ID='Wood_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=200.0, F=3.429/
&RAMP ID='Wood_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=300.0, F=3.742/

&SURF ID='Steel',
  COLOR='GRAY 40',
  BACKING='VOID',
  MATL_ID(1,1)='Steel',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.1/
&SURF ID='Insulation',
  COLOR='WHITE',
  BACKING='VOID',
  MATL_ID(1,1)='Insulation',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.1/
&SURF ID='Wood',
  RGB=153,153,0,
  BACKING='VOID',
  MATL_ID(1,1)='Wood',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.1/
&SURF ID='2 MW',
  COLOR='RED',
  HRRPUA=500.0,
  TAU_Q=-60.0/
&SURF ID='7 MW',
  COLOR='RED',
  HRRPUA=1000.0,
  TAU_Q=-60.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=87.9,90.4,1.9,5.9,3.25,4.0, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=86.9,90.4,5.9,12.4,3.25,4.0, SURF_ID='Steel'/

```


&OBST ID='Obstruction', XB=74.5,74.6,17.0,18.5,3.25,6.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=74.5,90.5,0.0,0.1,3.25,6.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=74.5,74.6,0.0,1.5,3.25,6.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=74.5,74.6,5.5,13.0,3.25,6.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=22.0,22.1,10.25,11.25,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=21.35,22.1,10.15,10.25,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=21.35,21.45,8.25,10.25,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=21.35,22.1,8.25,8.35,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=22.0,22.1,7.35,8.35,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=45.45,45.55,8.75,9.75,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=47.45,49.45,14.65,14.75,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=47.45,49.45,3.75,3.85,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=40.0,43.5,3.75,3.85,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=40.0,43.5,14.65,14.75,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=77.5,77.6,4.45,6.45,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=77.5,77.6,11.95,13.95,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=67.4,76.0,3.25,3.35,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=67.4,76.1,15.15,15.25,6.25,9.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=45.2,46.3,14.4,14.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=39.7,41.1,3.5,3.6,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=77.25,78.75,3.5,3.6,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=65.75,65.85,6.0,8.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=77.25,78.75,14.4,14.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=80.75,80.85,5.4,6.55,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=78.75,82.35,5.4,5.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=82.25,82.35,2.9,5.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=86.15,86.25,3.0,6.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=78.75,86.25,2.9,3.0,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=78.75,78.85,2.9,5.5,9.25,12.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=14.25,16.75,13.75,14.75,9.25,9.75, SURF_ID='Wood'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=13.75,16.25,11.75,12.75,9.25,9.75, SURF_ID='Wood'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=13.25,15.75,9.75,10.75,9.25,9.75, SURF_ID='Wood'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=13.25,15.75,7.75,8.75,9.25,9.75, SURF_ID='Wood'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=13.75,16.25,5.75,6.75,9.25,9.75, SURF_ID='Wood'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=14.25,16.75,3.75,4.75,9.25,9.75, SURF_ID='Wood'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=83.4,84.9,8.0,12.0,12.25,13.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=83.4,84.4,6.0,7.0,12.25,13.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=83.4,84.9,3.0,5.0,12.25,13.0, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=51.0,55.0,14.0,15.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=51.0,55.0,11.75,13.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=51.0,55.0,9.5,11.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=51.0,55.0,7.25,9.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=51.0,55.0,5.0,6.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=51.0,55.0,2.75,4.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=46.5,50.5,13.5,15.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
 &OBST ID='Obstruction', XB=46.5,50.5,11.25,13.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/

&OBST ID='Obstruction', XB=46.5,50.5,9.0,10.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=46.5,50.5,6.75,8.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=46.5,50.5,4.5,6.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=46.5,50.5,2.25,4.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=41.5,45.5,2.75,4.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=41.5,45.5,5.0,6.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=41.5,45.5,7.25,9.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=41.5,45.5,9.5,11.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=41.5,45.5,11.75,13.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=41.5,45.5,14.0,15.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=37.0,41.0,13.5,15.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=37.0,41.0,11.25,13.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=37.0,41.0,4.5,6.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=37.0,41.0,6.75,8.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=37.0,41.0,9.0,10.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=32.0,36.0,14.0,15.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=32.0,36.0,11.75,13.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=32.0,36.0,9.5,11.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=32.0,36.0,7.25,9.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=32.0,36.0,5.0,6.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=32.0,36.0,2.75,4.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=27.5,31.5,2.25,4.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=27.5,31.5,4.5,6.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=27.5,31.5,6.75,8.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=27.5,31.5,9.0,10.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=27.5,31.5,11.25,13.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=22.5,26.5,11.75,13.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,22.0,11.25,13.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,22.0,9.0,10.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=22.5,26.5,9.5,11.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=22.5,26.5,7.25,9.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,22.0,6.75,8.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,22.0,4.5,6.25,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=22.5,26.5,5.0,6.75,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=22.5,26.5,2.75,4.5,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=18.0,22.0,2.25,4.0,3.25,4.75, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=38.0,40.0,13.75,15.75,6.25,7.25, SURF_ID='Steel'/
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.272109,90.272109,0.25,18.25,0.30303,0.30303,
SURF_ID='Steel'/

&HOLE ID='Hole-1', XB=72.756732,73.506732,13.0,13.1,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-2', XB=74.5,74.6,12.1,12.85,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-3', XB=72.756732,73.506732,11.9,12.0,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-4', XB=72.756732,73.506732,6.5,6.6,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-5', XB=74.5,74.6,5.6,6.35,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-6', XB=72.756732,73.506732,5.4,5.5,3.25,5.5/

&HOLE ID='Hole-7', XB=71.500942,72.250942,4.9,5.0,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-8', XB=66.000942,66.750942,3.75,3.85,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-9', XB=65.250942,66.000942,3.75,3.85,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-10', XB=66.000942,66.750942,14.65,14.75,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-11', XB=65.250942,66.000942,14.65,14.75,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-12', XB=63.4,63.5,5.75,6.5,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-13', XB=63.4,63.5,12.25,13.0,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-14', XB=38.400942,39.150942,1.9,2.0,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-15', XB=26.900942,27.650942,16.5,16.6,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-16', XB=22.500942,23.250942,16.5,16.6,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-17', XB=13.600942,14.350942,14.5,14.6,3.25,5.5/
&HOLE ID='Hole-35', XB=23.45,23.55,12.249992,12.999992,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-36', XB=23.45,23.55,6.449992,7.199992,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-37', XB=22.3,23.05,11.25,11.35,6.127292,8.377292/
&HOLE ID='Hole-38', XB=22.3,23.05,7.35,7.45,6.127292,8.377292/
&HOLE ID='Hole-39', XB=30.95,31.05,16.85,17.6,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-40', XB=31.3,32.05,1.9,2.0,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-30', XB=45.45,45.55,8.9,9.65,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-31', XB=43.5,43.6,13.65,14.4,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-32', XB=43.5,43.6,4.1,4.85,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-33', XB=39.9,40.0,11.25,12.0,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-34', XB=39.9,40.0,6.05,6.8,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-2', XB=86.85,87.6,6.2,6.3,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-3', XB=87.95,88.05,4.949764,5.699764,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-4', XB=84.8,85.55,13.95,14.05,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-5', XB=82.8,83.55,13.95,14.05,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-6', XB=80.8,81.55,13.95,14.05,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-7', XB=78.8,79.55,13.95,14.05,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-8', XB=84.8,85.55,4.45,4.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-9', XB=82.8,83.55,4.45,4.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-10', XB=80.8,81.55,4.45,4.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-11', XB=78.8,79.55,4.45,4.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-12', XB=77.85,78.6,11.85,11.95,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-13', XB=77.850434,78.600434,6.45,6.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-14', XB=76.350434,77.100434,6.45,6.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-15', XB=76.35,77.1,11.85,11.95,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-16', XB=69.75,70.5,15.15,15.25,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-17', XB=70.5,71.25,15.15,15.25,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-18', XB=69.75,70.5,3.25,3.35,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-19', XB=70.5,71.25,3.25,3.35,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-20', XB=65.05,65.8,10.0,10.1,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-21', XB=65.05,65.8,8.4,8.5,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-22', XB=60.55,61.3,10.0,10.1,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-23', XB=60.55,61.3,8.4,8.5,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-24', XB=56.05,56.8,10.0,10.1,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-25', XB=56.05,56.8,8.4,8.5,6.25,8.5/

&HOLE ID='Hole-26', XB=51.55,52.3,10.0,10.1,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-27', XB=51.55,52.3,8.4,8.5,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-28', XB=47.9,48.65,14.65,14.75,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-29', XB=47.9,48.65,3.75,3.85,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-1', XB=86.5,86.6,6.8,7.55,6.25,8.5/
&HOLE ID='Hole-1', XB=84.25,84.35,12.125,12.875,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-2', XB=82.05,82.8,12.95,13.05,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-3', XB=79.1,79.85,12.95,13.05,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-4', XB=79.75,79.85,11.05,11.8,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-5', XB=80.75,80.85,5.625,6.375,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-6', XB=79.1,79.85,5.4,5.5,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-7', XB=75.55,76.3,7.75,7.85,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-8', XB=73.55,74.3,7.75,7.85,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-9', XB=73.55,74.3,10.15,10.25,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-10', XB=72.05,72.8,7.75,7.85,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-11', XB=74.55,75.3,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-12', XB=72.05,72.8,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-13', XB=68.55,69.3,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-14', XB=66.1,66.85,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-15', XB=74.55,75.3,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-16', XB=71.1,71.85,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-17', XB=68.1,68.85,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-18', XB=66.85,67.6,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-19', XB=57.1,57.85,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-20', XB=54.1,54.85,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-21', XB=51.55,52.3,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-22', XB=49.05,49.8,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-23', XB=46.55,47.3,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-24', XB=46.55,47.3,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-25', XB=49.05,49.8,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-26', XB=51.55,52.3,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-27', XB=54.1,54.85,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-28', XB=57.1,57.85,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-29', XB=53.8,54.55,10.2,10.3,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-30', XB=50.8,51.55,10.2,10.3,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-31', XB=41.35,42.1,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-32', XB=43.85,44.6,5.9,6.0,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-33', XB=45.75,46.5,10.2,10.3,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-34', XB=45.4,46.15,14.4,14.5,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-35', XB=44.2,44.95,12.0,12.1,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-36', XB=40.75,41.5,13.25,13.35,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-37', XB=41.3,42.05,7.7,7.8,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-38', XB=42.2,42.3,7.95,8.7,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-39', XB=39.7,39.8,10.45,11.2,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-40', XB=39.7,39.8,6.75,7.5,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-41', XB=27.6,28.35,3.5,3.6,9.25,11.5/

&HOLE ID='Hole-42', XB=28.35,29.1,3.5,3.6,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-43', XB=27.6,28.35,14.4,14.5,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-44', XB=28.35,29.1,14.4,14.5,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole-45', XB=40.2,40.95,3.5,3.6,9.25,11.5/
&HOLE ID='Hole', XB=11.70068,12.44898,17.5,18.25,2.575758,3.333333/
&HOLE ID='Hole', XB=31.904762,34.897959,17.5,18.25,5.606061,6.363636/
&HOLE ID='Hole', XB=31.904762,34.897959,1.0,1.75,5.606061,6.363636/
&HOLE ID='Hole', XB=44.62585,45.37415,16.75,17.5,5.606061,6.363636/
&HOLE ID='Hole', XB=44.62585,45.37415,1.0,1.75,5.606061,6.363636/
&HOLE ID='Hole', XB=69.319728,75.306122,6.25,12.25,5.606061,6.363636/
&HOLE ID='Hole', XB=74.557823,75.306122,8.5,9.25,8.636364,9.393939/
&HOLE ID='Hole', XB=75.306122,76.054422,1.0,1.75,8.636364,9.393939/
&HOLE ID='Hole', XB=75.306122,76.054422,16.75,17.5,8.636364,9.393939/
&HOLE ID='Hole', XB=28.163265,28.911565,16.75,17.5,8.636364,9.393939/
&HOLE ID='Hole', XB=28.163265,28.911565,1.0,1.75,8.636364,9.393939/
&HOLE ID='Hole', XB=79.795918,80.544218,8.5,9.25,11.666667,12.424242/

&VENT ID='Vent-01', SURF_ID='2 MW', XB=38.0,40.0,13.75,15.75,7.25,7.25/
&VENT ID='Vent-02', SURF_ID='7 MW', XB=41.5,45.5,2.75,4.5,4.75,4.75/
&VENT ID='Vent-03', SURF_ID='7 MW', XB=27.5,31.5,2.25,4.0,4.75,4.75/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=10.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=7.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=30.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=45.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=60.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=75.0/

LAMPIRAN E
Time Step Simulation

Starting FDS: C:\Program Files\PyroSim 2018\fds\fds.exe...

Mesh 1 is assigned to MPI Process 0
OpenMP thread 0 of 1 assigned to MPI process 0 of 0
OpenMP thread 1 of 1 assigned to MPI process 0 of 0
Completed Initialization Step 1
Completed Initialization Step 2
Completed Initialization Step 3
Completed Initialization Step 4

Fire Dynamics Simulator

Current Date : January 11, 2019 01:02:39
Version : FDS 6.6.0
Revision : FDS6.6.0-131-g88ae75a-HEAD
Revision Date : Wed Nov 1 16:03:29 2017 -0400
Compiler : Intel ifort 17.0.4.210
Compilation Date : Wed 11/01/2017 09:03 PM

MPI Enabled; Number of MPI Processes: 1
OpenMP Enabled; Number of OpenMP Threads: 2

MPI version: 3.0
MPI library version: Intel(R) MPI Library 5.1.3 for Windows* OS

Job TITLE :
Job ID string : Kapal_Ro-Ro_1309_DWT_rev_1_0

Time Step:	1, Simulation Time:	0.24 s
Time Step:	2, Simulation Time:	0.48 s
Time Step:	3, Simulation Time:	0.71 s
Time Step:	4, Simulation Time:	0.95 s
Time Step:	5, Simulation Time:	1.19 s
Time Step:	6, Simulation Time:	1.43 s
Time Step:	7, Simulation Time:	1.66 s
Time Step:	8, Simulation Time:	1.90 s
Time Step:	9, Simulation Time:	2.14 s
Time Step:	10, Simulation Time:	2.38 s
Time Step:	20, Simulation Time:	4.76 s
Time Step:	30, Simulation Time:	7.13 s
Time Step:	40, Simulation Time:	9.51 s
Time Step:	50, Simulation Time:	11.89 s

Time Step:	60,	Simulation Time:	14.27 s
Time Step:	70,	Simulation Time:	16.65 s
Time Step:	80,	Simulation Time:	18.93 s
Time Step:	90,	Simulation Time:	21.07 s
Time Step:	100,	Simulation Time:	22.98 s
Time Step:	200,	Simulation Time:	37.01 s
Time Step:	300,	Simulation Time:	48.13 s
Time Step:	400,	Simulation Time:	57.90 s
Time Step:	500,	Simulation Time:	65.84 s
Time Step:	600,	Simulation Time:	73.29 s
Time Step:	700,	Simulation Time:	80.22 s
Time Step:	800,	Simulation Time:	87.16 s
Time Step:	900,	Simulation Time:	94.75 s
Time Step:	1000,	Simulation Time:	101.80 s
Time Step:	1100,	Simulation Time:	108.65 s
Time Step:	1200,	Simulation Time:	115.31 s
Time Step:	1300,	Simulation Time:	121.93 s
Time Step:	1400,	Simulation Time:	128.69 s
Time Step:	1500,	Simulation Time:	135.97 s
Time Step:	1600,	Simulation Time:	143.25 s
Time Step:	1700,	Simulation Time:	150.54 s
Time Step:	1800,	Simulation Time:	158.62 s
Time Step:	1900,	Simulation Time:	167.44 s
Time Step:	2000,	Simulation Time:	175.35 s
Time Step:	2100,	Simulation Time:	182.82 s
Time Step:	2200,	Simulation Time:	189.89 s
Time Step:	2300,	Simulation Time:	197.15 s
Time Step:	2400,	Simulation Time:	204.14 s
Time Step:	2500,	Simulation Time:	211.14 s
Time Step:	2600,	Simulation Time:	218.13 s
Time Step:	2700,	Simulation Time:	225.13 s
Time Step:	2800,	Simulation Time:	232.62 s
Time Step:	2900,	Simulation Time:	240.92 s
Time Step:	3000,	Simulation Time:	248.86 s
Time Step:	3100,	Simulation Time:	256.00 s
Time Step:	3200,	Simulation Time:	262.79 s
Time Step:	3300,	Simulation Time:	269.59 s
Time Step:	3400,	Simulation Time:	276.78 s
Time Step:	3500,	Simulation Time:	284.26 s
Time Step:	3600,	Simulation Time:	291.74 s
Time Step:	3700,	Simulation Time:	299.91 s
Time Step:	3800,	Simulation Time:	308.69 s
Time Step:	3900,	Simulation Time:	317.74 s
Time Step:	4000,	Simulation Time:	326.19 s
Time Step:	4100,	Simulation Time:	334.15 s
Time Step:	4200,	Simulation Time:	341.87 s

Time Step:	4300,	Simulation Time:	349.89 s
Time Step:	4400,	Simulation Time:	357.91 s
Time Step:	4500,	Simulation Time:	365.93 s
Time Step:	4600,	Simulation Time:	373.95 s
Time Step:	4700,	Simulation Time:	381.97 s
Time Step:	4800,	Simulation Time:	390.00 s
Time Step:	4900,	Simulation Time:	398.06 s
Time Step:	5000,	Simulation Time:	406.72 s
Time Step:	5100,	Simulation Time:	414.60 s
Time Step:	5200,	Simulation Time:	422.40 s
Time Step:	5300,	Simulation Time:	429.83 s
Time Step:	5400,	Simulation Time:	437.62 s
Time Step:	5500,	Simulation Time:	445.41 s
Time Step:	5600,	Simulation Time:	452.94 s
Time Step:	5700,	Simulation Time:	460.31 s
Time Step:	5800,	Simulation Time:	468.01 s
Time Step:	5900,	Simulation Time:	475.71 s
Time Step:	6000,	Simulation Time:	483.41 s
Time Step:	6100,	Simulation Time:	491.21 s
Time Step:	6200,	Simulation Time:	499.05 s
Time Step:	6300,	Simulation Time:	506.52 s
Time Step:	6400,	Simulation Time:	513.98 s
Time Step:	6500,	Simulation Time:	521.44 s
Time Step:	6600,	Simulation Time:	529.52 s
Time Step:	6700,	Simulation Time:	537.46 s
Time Step:	6800,	Simulation Time:	546.33 s
Time Step:	6900,	Simulation Time:	555.20 s
Time Step:	7000,	Simulation Time:	563.74 s
Time Step:	7100,	Simulation Time:	570.86 s
Time Step:	7200,	Simulation Time:	577.98 s
Time Step:	7300,	Simulation Time:	585.09 s
Time Step:	7400,	Simulation Time:	592.66 s
Time Step:	7500,	Simulation Time:	600.49 s
Time Step:	7600,	Simulation Time:	608.31 s
Time Step:	7700,	Simulation Time:	616.14 s
Time Step:	7800,	Simulation Time:	623.96 s
Time Step:	7900,	Simulation Time:	631.79 s
Time Step:	8000,	Simulation Time:	639.62 s
Time Step:	8100,	Simulation Time:	647.44 s
Time Step:	8200,	Simulation Time:	655.27 s
Time Step:	8300,	Simulation Time:	663.09 s
Time Step:	8400,	Simulation Time:	670.92 s
Time Step:	8500,	Simulation Time:	678.75 s
Time Step:	8600,	Simulation Time:	686.57 s
Time Step:	8700,	Simulation Time:	694.40 s
Time Step:	8800,	Simulation Time:	702.22 s

Time Step: 8900, Simulation Time: 710.05 s
Time Step: 9000, Simulation Time: 717.88 s
Time Step: 9100, Simulation Time: 725.70 s
Time Step: 9200, Simulation Time: 733.53 s
Time Step: 9300, Simulation Time: 741.79 s
Time Step: 9400, Simulation Time: 750.40 s
Time Step: 9500, Simulation Time: 758.16 s
Time Step: 9600, Simulation Time: 765.89 s
Time Step: 9700, Simulation Time: 773.63 s
Time Step: 9800, Simulation Time: 781.75 s
Time Step: 9900, Simulation Time: 789.38 s
Time Step: 10000, Simulation Time: 797.01 s
Time Step: 10100, Simulation Time: 804.65 s
Time Step: 10200, Simulation Time: 812.71 s
Time Step: 10300, Simulation Time: 821.11 s
Time Step: 10400, Simulation Time: 830.21 s
Time Step: 10500, Simulation Time: 839.03 s
Time Step: 10600, Simulation Time: 847.33 s
Time Step: 10700, Simulation Time: 855.62 s
Time Step: 10800, Simulation Time: 863.92 s
Time Step: 10900, Simulation Time: 872.21 s
Time Step: 11000, Simulation Time: 880.51 s
Time Step: 11100, Simulation Time: 888.80 s
Time Step: 11200, Simulation Time: 897.10 s
Time Step: 11300, Simulation Time: 905.39 s
Time Step: 11400, Simulation Time: 913.69 s
Time Step: 11500, Simulation Time: 921.98 s
Time Step: 11600, Simulation Time: 930.28 s
Time Step: 11700, Simulation Time: 938.57 s
Time Step: 11800, Simulation Time: 947.03 s
Time Step: 11900, Simulation Time: 956.65 s
Time Step: 12000, Simulation Time: 965.61 s
Time Step: 12100, Simulation Time: 973.78 s
Time Step: 12200, Simulation Time: 981.73 s
Time Step: 12300, Simulation Time: 989.68 s
Time Step: 12400, Simulation Time: 997.62 s
Time Step: 12500, Simulation Time: 1005.57 s
Time Step: 12600, Simulation Time: 1013.52 s
Time Step: 12700, Simulation Time: 1021.70 s
Time Step: 12800, Simulation Time: 1030.73 s
Time Step: 12900, Simulation Time: 1038.81 s
Time Step: 13000, Simulation Time: 1046.75 s
Time Step: 13100, Simulation Time: 1054.87 s
Time Step: 13200, Simulation Time: 1062.98 s
Time Step: 13300, Simulation Time: 1071.69 s
Time Step: 13400, Simulation Time: 1080.62 s

Time Step: 13500, Simulation Time: 1089.54 s
Time Step: 13600, Simulation Time: 1098.46 s
Time Step: 13700, Simulation Time: 1108.16 s
Time Step: 13800, Simulation Time: 1117.14 s
Time Step: 13900, Simulation Time: 1125.96 s
Time Step: 14000, Simulation Time: 1134.78 s
Time Step: 14100, Simulation Time: 1143.60 s
Time Step: 14200, Simulation Time: 1151.82 s
Time Step: 14300, Simulation Time: 1159.72 s
Time Step: 14400, Simulation Time: 1167.62 s
Time Step: 14500, Simulation Time: 1175.52 s
Time Step: 14600, Simulation Time: 1184.00 s
Time Step: 14700, Simulation Time: 1192.69 s
Time Step: 14800, Simulation Time: 1201.36 s
Time Step: 14900, Simulation Time: 1209.12 s
Time Step: 15000, Simulation Time: 1217.24 s
Time Step: 15100, Simulation Time: 1225.78 s
Time Step: 15200, Simulation Time: 1234.31 s
Time Step: 15300, Simulation Time: 1242.85 s
Time Step: 15400, Simulation Time: 1251.38 s
Time Step: 15500, Simulation Time: 1259.92 s
Time Step: 15600, Simulation Time: 1268.45 s
Time Step: 15700, Simulation Time: 1276.99 s
Time Step: 15800, Simulation Time: 1286.02 s
Time Step: 15900, Simulation Time: 1295.00 s
Time Step: 16000, Simulation Time: 1303.60 s
Time Step: 16100, Simulation Time: 1312.77 s
Time Step: 16200, Simulation Time: 1321.93 s
Time Step: 16300, Simulation Time: 1330.97 s
Time Step: 16400, Simulation Time: 1339.20 s
Time Step: 16500, Simulation Time: 1347.42 s
Time Step: 16600, Simulation Time: 1355.65 s
Time Step: 16700, Simulation Time: 1363.87 s
Time Step: 16800, Simulation Time: 1372.10 s
Time Step: 16900, Simulation Time: 1380.33 s
Time Step: 17000, Simulation Time: 1388.55 s
Time Step: 17100, Simulation Time: 1396.78 s
Time Step: 17200, Simulation Time: 1405.00 s
Time Step: 17300, Simulation Time: 1413.23 s
Time Step: 17400, Simulation Time: 1422.14 s
Time Step: 17500, Simulation Time: 1431.19 s
Time Step: 17600, Simulation Time: 1440.24 s
Time Step: 17700, Simulation Time: 1450.05 s
Time Step: 17800, Simulation Time: 1459.67 s
Time Step: 17900, Simulation Time: 1468.55 s
Time Step: 18000, Simulation Time: 1476.60 s

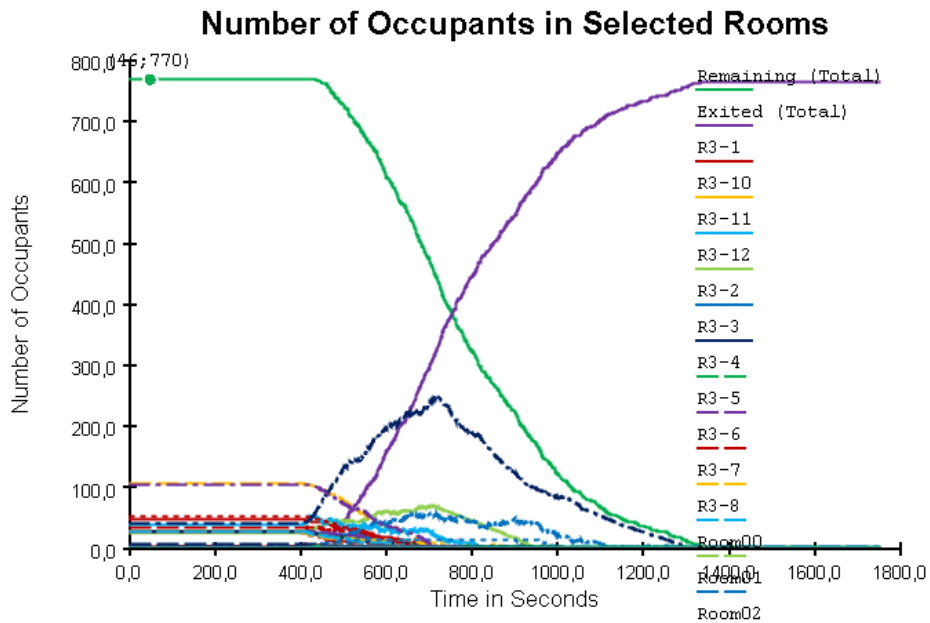
Time Step: 18100, Simulation Time: 1484.55 s
Time Step: 18200, Simulation Time: 1492.63 s
Time Step: 18300, Simulation Time: 1501.38 s
Time Step: 18400, Simulation Time: 1510.12 s
Time Step: 18500, Simulation Time: 1518.47 s
Time Step: 18600, Simulation Time: 1526.30 s
Time Step: 18700, Simulation Time: 1534.14 s
Time Step: 18800, Simulation Time: 1541.98 s
Time Step: 18900, Simulation Time: 1550.09 s
Time Step: 19000, Simulation Time: 1558.71 s
Time Step: 19100, Simulation Time: 1567.33 s
Time Step: 19200, Simulation Time: 1575.94 s
Time Step: 19300, Simulation Time: 1584.56 s
Time Step: 19400, Simulation Time: 1593.18 s
Time Step: 19500, Simulation Time: 1601.67 s
Time Step: 19600, Simulation Time: 1610.00 s
Time Step: 19700, Simulation Time: 1618.52 s
Time Step: 19800, Simulation Time: 1627.03 s
Time Step: 19900, Simulation Time: 1635.54 s
Time Step: 20000, Simulation Time: 1644.05 s
Time Step: 20100, Simulation Time: 1652.56 s
Time Step: 20200, Simulation Time: 1661.07 s
Time Step: 20300, Simulation Time: 1669.58 s
Time Step: 20400, Simulation Time: 1678.09 s
Time Step: 20500, Simulation Time: 1686.60 s
Time Step: 20600, Simulation Time: 1695.11 s
Time Step: 20700, Simulation Time: 1703.62 s
Time Step: 20800, Simulation Time: 1712.13 s
Time Step: 20900, Simulation Time: 1720.65 s
Time Step: 21000, Simulation Time: 1729.16 s
Time Step: 21100, Simulation Time: 1737.69 s
Time Step: 21200, Simulation Time: 1747.05 s
Time Step: 21300, Simulation Time: 1755.73 s
Time Step: 21400, Simulation Time: 1764.36 s
Time Step: 21500, Simulation Time: 1772.63 s
Time Step: 21600, Simulation Time: 1780.90 s
Time Step: 21700, Simulation Time: 1789.17 s
Time Step: 21800, Simulation Time: 1797.44 s
Time Step: 21832, Simulation Time: 1800.00 s
MPI process 0 has completed

STOP: FDS completed successfully (CHID: Kapal_Ro-Ro_1309_DWT_rev_1

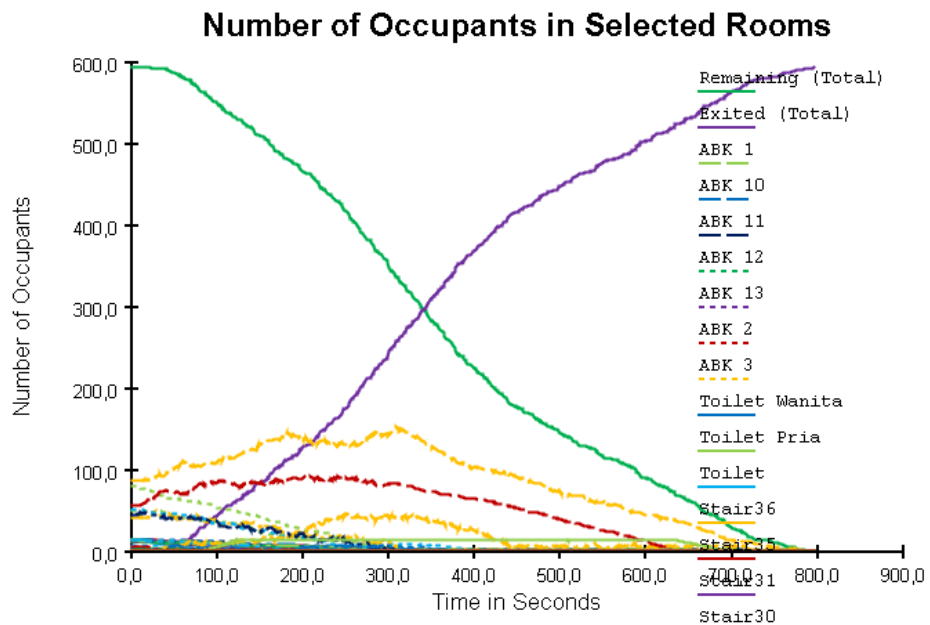
LAMPIRAN F

Simulasi Evakuasi Kasus Kebakaran Pada Kondisi Siang Hari Dan Malam Hari

Grafik Jumlah Penumpang Terevakuasi pada Malam Hari



Grafik Jumlah Penumpang Terevakuasi pada Siang Hari



LAMPIRAN G

Save Log Night-Fire Case Simulation

Simulation: Simulasi 1
 Version: 2018.3.0730
 Mode: SFPE (Basic)
 Total Occupants: 770

Completed: 0
 Did not Complete: 770 (excluded from summary tables)

Completion Times for All Occupants (s):

Min: 0.0
 Max: 0.0
 Average: 0.0
 StdDev: 0.0

Completion Times by Behavior (s):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all behaviors	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

Completion Times by Profile (s):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all profiles	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

Travel Distances for All Occupants (m):

Min: 18.1 "M30-50-3"
 Max: 184.7 "M30-16"
 Average: 84.1
 StdDev: 41.2

Movement Distance by Behavior (m):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all behaviors	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

Movement Distance by Profile (m):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all profiles	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

[Components] All: 273
 [Components] Doors: 148
 Triangles: 1956
 Startup Time: 0.7s
 CPU Time: 74.4s

Door Flow Rates:

Door Flow_Avg	First_InLast_Out		Last_Out_Name		Total_Use	
	(s)	(s)	(pers)	(pers/s)		
Stair35 door 1	0,0	0,0	0			
Stair35 door 2	0,0	0,0	0			
Stair36 door 1	0,0	0,0	0			
Stair36 door 2	0,0	0,0	0			
D3-1	599,9	599,9	F50-2	1		
D3-2	419,7	700,2	M30-16	29	0,10	
D3-3	457,0	457,0	M30-50-3	1		
D3-4	585,5	585,5	M30-50-6	1		
D3-5	411,7	680,0	M30-50-2	19	0,07	
D3-6	676,8	678,3	M50-12	2	1,34	
D3-7	477,1	640,3	Masinis 4	3	0,02	
D3-8	430,2	707,6	M30-16	36	0,13	
D3-9	411,7	702,7	M30-3	63	0,22	
D3-10	421,1	691,8	M30-50-2	35	0,13	
D3-11	406,2	708,9	F50-2	65	0,21	
D3-12	408,9	698,8	M30-3	52	0,18	
D3-13	403,8	702,7	F50-2	56	0,19	
D3-14	0,0	0,0	0			
D3-15	604,8	744,7	M30-16	14	0,10	
D3-16	0,0	0,0	0			
D3-17	0,0	0,0	0			
S3-1 door 1	0,0	0,0	0			
S3-1 door 2	0,0	0,0	0			
S3-2 door 1	0,0	0,0	0			
S3-2 door 2	0,0	0,0	0			
S3-3 door 1	606,1	746,3	M30-16	14	0,10	
S3-3 door 2	608,5	749,3	M30-16	14	0,10	
S3-3_1 door 1	520,1	701,3	M30-1	14	0,08	
S3-3_1 door 2	517,6	699,0	M30-1	14	0,08	
Stair30 door 1	416,8	756,5	F50-2	95	0,28	
Stair30 door 2	423,1	769,9	F50-2	95	0,27	
Stair31 door 1	420,8	768,7	F50-1	101	0,29	
Stair31 door 2	428,0	785,7	F50-1	101	0,28	
Stair05 door 1	0,0	0,0	0			
Stair05 door 2	0,0	0,0	0			
Stair04 door 1	0,0	0,0	0			
Stair04 door 2	0,0	0,0	0			
Stair15 door 1	609,4	750,5	M30-16	14	0,10	
Stair15 door 2	612,2	754,0	M30-16	14	0,10	
Stair16 door 1	0,0	0,0	0			
Stair16 door 2	0,0	0,0	0			
Stair15_1 door 1		521,0	702,2	M30-1	14	0,08
Stair15_1 door 2		523,9	705,1	M30-1	14	0,08

Door63	409,2	737,5	M30-50-3	166	0,51	
Door64	501,8	802,4	M30-50-2	75	0,25	
Door63_1	429,1	721,8	M30-20	68	0,23	
Door47	636,9	636,9	F50-2	1		
Door48	415,4	551,3	M30-50-8	4	0,03	
Door46	0,0	0,0	0			
Door46_1	420,5	696,2	M30-2	13	0,05	
Door49	0,0	0,0	0			
Door61	405,9	699,6	M50-4	54	0,18	
Door56_1_1		407,0	533,3	M30-50-2	4	0,03
Door56_1	463,1	644,0	M30-50-1_1	4	0,02	
Door56	544,0	544,0	F50-1	1		
Door57	480,4	676,5	M50-7	2	0,01	
Door56_1_1_1		498,9	642,5	M30-50-1	4	0,03
Door58	406,9	584,6	M30-1_1	4	0,02	
Door56_1_1_1		405,0	681,1	F30-1	4	0,01
Door59	0,0	0,0	0			
Door60	0,0	0,0	0			
Door57_1_1_1_1		426,7	649,2	M50-1_1	4	0,02
Door57_1_1_1		445,2	702,6	M30-2_1	4	0,02
Door57_1_1		404,7	595,6	F30-1	4	0,02
Door57_1	485,9	586,9	M50-1_1	4	0,04	
Door51_1	407,8	699,0	M30-50-7	27	0,09	
Door50_1	419,0	686,9	M30-9	27	0,10	
Door50_1_1		423,8	699,8	M30-50-7	27	0,10
Door50_1_1_1		411,6	705,8	M30-50-3	27	0,09
Door50	403,2	698,7	M30-2	27	0,09	
Door51	414,6	697,4	M50-5	27	0,10	
Door51_1_1		439,5	702,1	M50-6	27	0,10
Door51_1_1_1		428,5	688,6	M30-4	27	0,10
Door82	410,2	716,4	M30-2_1	28	0,09	
Door84	413,5	713,1	M30-1_1	12	0,04	
Door86	0,0	0,0	0			
Door64_1	421,3	732,5	M30-1_1	29	0,09	
Door64_1	450,3	761,2	M50-2	40	0,13	
Door64_1_1		414,7	698,3	M50-10	13	0,05
Door91	524,6	705,7	M30-1	14	0,08	
Door93_1	0,0	0,0	0			
Door61_1	423,2	715,3	M30-2	117	0,40	
Door94	0,0	0,0	0			
Door99	417,0	973,1	M30-50-6	131	0,24	
Stair22 door 1	0,0	0,0	0			
Stair22 door 2	0,0	0,0	0			
Stair24 door 1	417,0	1054,5	M30-50-21	131	0,21	
Stair24 door 2	419,1	1057,0	M30-50-21	131	0,21	
Stair25 door 1	416,1	1053,7	M30-50-21	131	0,21	

Stair25 door 2	412,6	1050,4	M30-50-21	131	0,21	
Stair26 door 1	488,9	816,2	M30-7	117	0,36	
Stair26 door 2	493,4	822,8	M30-7	115	0,35	
Stair27 door 1	462,5	854,2	M50-2	128	0,33	
Stair27 door 2	466,2	861,7	M50-2	127	0,32	
Door110	613,1	755,1	M30-16	14	0,10	
Stair29 door 1	422,3	1083,7	M30-50-3	180	0,27	
Stair29 door 2	427,7	1095,4	M30-50-3	180	0,27	
Stair29_1 door 1		431,8	1075,6	M30-23	182	0,28
Stair29_1 door 2		436,9	1087,5	M50-5	182	0,28
Door93_1_1		424,6	718,7	F50-1	117	0,40
Door94_1	407,8	700,7	M50-4	54	0,18	
Door09	420,4	1058,1	M30-50-21	131	0,21	
Door45	433,6	1085,5	M30-50-6	154	0,24	
Door44	0,0	0,0	0			
Door36	0,0	0,0	0			
Door41	598,1	598,1	Satpam	1		
Door35	0,0	0,0	0			
Door43	0,0	0,0	0			
Door26	550,7	550,7	ABK 2	1		
Door27	524,3	633,5	ABK 3	2	0,02	
Door28	478,7	478,7	ABK 8	1		
Door37	0,0	0,0	0			
Door34	488,0	488,0	ABK 10	1		
Door18	608,0	663,7	ABK 20	2	0,04	
Door30	457,4	457,4	ABK 19	1		
Door31	501,0	660,7	ABK 18	2	0,01	
Door39	495,5	495,5	ABK 22	1		
Door40	496,8	598,8	ABK 23	2	0,02	
Door33	0,0	0,0	0			
Door29	411,4	671,6	ABK 14	2	0,01	
Door23	425,0	425,0	ABK 6	1		
Door22	691,7	691,7	ABK 5	1		
Door20	474,7	698,0	ABK 11	2	0,01	
Door19	562,4	562,4	ABK 2	1		
Door14	557,6	557,6	Electrican	1		
Door15	0,0	0,0	0			
Door17	511,4	511,4	Masinis 3	1		
Door25	484,0	633,9	ABK 16	2	0,01	
Door24	474,7	642,9	ABK 4	2	0,01	
Door16	404,6	404,6	Masinis 2	1		
Door03	428,9	428,9	Masinis 1	1		
Door02	579,6	579,6	KKM	1		
Door01	0,0	0,0	0			
Door04	576,7	688,2	ABK 1	3	0,03	
Door12	456,5	456,5	Mualim 3	1		

Door13	515,9	515,9	Mualim 4	1	
Door06	416,4	416,4	Mualim 1	1	
Door05	0,0	0,0		0	
Door10	0,0	0,0		0	
Door11	0,0	0,0		0	
Door07	0,0	0,0		0	
Door08_1	0,0	0,0		0	
Door44_1	0,0	0,0		0	
Door43_1	0,0	0,0		0	
Door07_1	0,0	0,0		0	
Stair34 door 1	570,1	602,2	Mualim 2	2	0,06
Stair34 door 2	562,9	596,9	Mualim 2	2	0,06
Door113	420,4	685,1	ABK 14	12	0,05

Room Usage:

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name (pers)		Total_Use
Stair35	0,0	0,0		0	
Stair36	0,0	0,0		0	
Room915		0,0	0,0	0	
R3-1	0,0	700,2	M30-16	48	
R3-2	0,0	599,9	F50-2	1	
R3-3	0,0	678,3	M50-12	2	
R3-4	0,0	640,3	Masinis 4	3	
R3-7	0,0	702,7	F50-2	108	
R3-8	0,0	0,0		0	
R3-10	0,0	0,0		0	
R3-11	0,0	0,0		0	
S3-1	0,0	0,0		0	
S3-2	0,0	0,0		0	
S3-3	606,1	749,3	M30-16	14	
S3-3_1	517,6	701,3	M30-1	14	
R3-5	0,0	585,5	M30-50-6	2	
R3-6	0,0	708,9	F50-2	199	
Room891		604,8	746,3	M30-16	14
Stair30	416,8	769,9	F50-2	95	
Stair31	420,8	785,7	F50-1	101	
R3-12	0,0	768,7	F50-1	224	
Stair05	0,0	0,0		0	
Stair04	0,0	0,0		0	
Room724		0,0	0,0	0	
Room756_1		608,5	750,5	M30-16	14
Stair15	609,4	754,0	M30-16	14	
Room783_1		0,0	0,0	0	
Stair16	0,0	0,0		0	
Room756_1_1		520,1	702,2	M30-1	14

Stair15_1	521,0	705,1	M30-1	14		
Room284		0,0	705,8	M30-50-3	27	
Room284_1_1_1		0,0	698,7	M30-2	27	
Room284_1_1_1_1		0,0	697,4	M50-5	27	
Room284_1		0,0	688,6	M30-4	27	
Room272_1		0,0	676,5	M50-7	2	
Room286		0,0	636,9	F50-2	1	
Room286_1		0,0	551,3	M30-50-8	4	
Room288		0,0	696,2	M30-2	13	
Room291_1		0,0	699,6	M50-4	54	
RUANG PENUMPANG EKONOMI TIDUR A			0,0	715,3	M30-2	117
Room271_1_1		0,0	533,3	M30-50-2	4	
Room271_1_1_1		0,0	644,0	M30-50-1_1	4	
Room272		0,0	544,0	F50-1	1	
Room271_1		0,0	595,6	F30-1	4	
Room271_1_1		0,0	586,9	M50-1_1	4	
Room270_1		0,0	649,2	M50-1_1	4	
Room270		0,0	642,5	M30-50-1	4	
Room271		0,0	702,6	M30-2_1	4	
Room271_1		0,0	681,1	F30-1	4	
Room269		0,0	584,6	M30-1_1	4	
Room367		0,0	0,0	0		
Room365		0,0	0,0	0		
Room284_1_1_1		0,0	699,0	M30-50-7	27	
Room284_1_1		0,0	686,9	M30-9	27	
Room284_1		0,0	699,8	M30-50-7	27	
Room284_1_1		0,0	702,1	M50-6	27	
Room273		0,0	716,4	M30-2_1	40	
Room290		0,0	0,0	0		
Room629		405,9	700,7	M50-4	54	
Room629_1		423,2	718,7	F50-1	117	
Room637		0,0	0,0	0		
Room276		0,0	973,1	M30-50-6	391	
Room822		0,0	0,0	0		
Stair22	0,0	0,0		0		
Stair24	417,0	1057,0	M30-50-21	131		
Stair25	412,6	1053,7	M30-50-21	131		
Room838		416,1	1054,5	M30-50-21	131	
Stair26	488,9	822,8	M30-7	115		
Stair27	462,5	861,7	M50-2	127		
Stair29	422,3	1095,4	M30-50-3	180		
Stair29_1	431,8	1087,5	M50-5	182		
Room906		612,2	755,1	M30-16	14	
Room771		0,0	0,0	0		
Room517_1_1		523,9	705,7	M30-1	14	
Room274_1_1		410,2	1050,4	M30-50-21	151	

Room376		0,0	1083,7	M30-50-3	715
Room08_1		0,0	511,4	Masinis 3	1
Room08	0,0	404,6	Masinis 2	1	
Room01	0,0	579,6	KKM	1	
Room70	0,0	0,0	0		
Room59_1_1		0,0	0,0	0	
Room04	0,0	0,0	0		
Room45	0,0	0,0	0		
Room43	0,0	0,0	0		
Room43_1		0,0	598,1	Satpam	1
Room42	0,0	0,0	0		
Room46	0,0	598,8	ABK 23	2	
Room19	0,0	515,9	Mualim 4	1	
Room21	0,0	0,0	0		
Room29_1		0,0	550,7	ABK 2	1
Room30_1		0,0	633,5	ABK 3	2
Room34_1		0,0	478,7	ABK 8	1
Room39	0,0	0,0	0		
Room41	0,0	488,0	ABK 10	1	
Room36	0,0	663,7	ABK 20	2	
Room59	0,0	633,9	ABK 16	2	
Room59_1		0,0	642,9	ABK 4	2
Room36_1		0,0	457,4	ABK 19	1
Room37	0,0	660,7	ABK 18	2	
Room49	0,0	495,5	ABK 22	1	
Room35_1		0,0	671,6	ABK 14	2
Room20	0,0	0,0	0		
Room29	0,0	562,4	ABK 2	1	
Room09	0,0	557,6	Electrician	1	
Room08_1_1		0,0	0,0	0	
Room00	0,0	428,9	Masinis 1	1	
Room02	0,0	0,0	0		
Room35	0,0	425,0	ABK 6	1	
Room34	0,0	691,7	ABK 5	1	
Room30	0,0	698,0	ABK 11	2	
Room08_1		0,0	0,0	0	
Room15	0,0	0,0	0		
Room18	0,0	456,5	Mualim 3	1	
Room05	0,0	416,4	Mualim 1	1	
Room662		0,0	0,0	0	
Room69_1		0,0	0,0	0	
Room69_1_1		0,0	0,0	0	
Room69_1		0,0	0,0	0	
Room49_1		0,0	0,0	0	
Room06	404,6	1085,5	M30-50-6	166	
Room69	419,1	1058,1	M30-50-21	131	

Room03	0,0	688,2	ABK 1	3	
Stair34	562,9	602,2	Mualim 2	2	
Room263		420,4	1107,2	M30-50-3	770
Room802		0,0	596,9	Mualim 2	2

LAMPIRAN H

Save Log Day-Fire Case Simulation

Simulation: simulasi 1
 Version: 2018.3.0730
 Mode: SFPE (Basic)
 Total Occupants: 594

Completed: 0
 Did not Complete: 594 (excluded from summary tables)

Completion Times for All Occupants (s):

Min: 0.0
 Max: 0.0
 Average: 0.0
 StdDev: 0.0

Completion Times by Behavior (s):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all behaviors	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

Completion Times by Profile (s):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all profiles	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

Travel Distances for All Occupants (m):

Min: 14.3 "M30-50-10"
 Max: 219.7 "M30-50-16"
 Average: 70.8
 StdDev: 32.5

Movement Distance by Behavior (m):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all behaviors	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

Movement Distance by Profile (m):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
all profiles	0	0,0	0,0		0,0 0,0		

[Components] All: 273
 [Components] Doors: 148
 Triangles: 1956
 Startup Time: 0.5s
 CPU Time: 71.4s

Door Flow Rates:

Flow_Avg	DoorFirst_InLast_Out		Last_Out_Name		Total_Use	
	(s)	(s)	(pers)	(pers/s)		
Stair35 door 1	82,2	349,7	M30-50-3	40	0,15	
Stair35 door 2	88,3	344,2	M30-50-3	40	0,16	
Stair36 door 1	148,7	398,7	M30-50-3	33	0,13	
Stair36 door 2	153,1	416,3	M30-50-3	33	0,13	
Door Toilet Wanita-1	66,6	160,4	F30-1	3	0,03	
Door R Penumpang Duduk 1		11,1	290,2	M50-5	37	0,13
-	0,0	0,0	0			
-	75,0	306,6	M50-2	12	0,05	
Door R Penumpang Duduk 2		15,7	304,6	M50-2	15	0,05
Door Toilet Pria	9,3	245,6	M50-1	5	0,02	
Door R Informasi	75,6	75,6	ABK 19	1		
Door Outer Gangway 1		17,4	300,0	M50-5	59	0,21
Door Outer Gangway 2		11,3	308,8	M30-50-24	104	0,35
Door Outer Gangway 3		17,8	212,4	M30-50-3	7	0,04
Door Outer Gangway 4		11,8	282,5	M50-7	16	0,06
Door R Penumpang Ekonomi Tidur 3-1		7,6	303,7	M30-50-24	71	0,24
Door R Penumpang Ekonomi Tidur 3-2		6,9	295,1	M30-9	9	0,03
-	0,0	0,0	0			
-	53,8	635,5	M30-50-6	154	0,26	
Door Toilet Wanita-2	0,0	0,0	0			
Door Laundry	0,0	0,0	0			
Stair 3-4.5 door 1	78,2	311,2	M50-2	12	0,05	
Stair 3-4.5 door 2	80,1	314,0	M50-2	12	0,05	
Stair Hall Embarkasi 3-4.5 door 1		87,3	302,5	M30-14	41	0,19
Stair Hall Embarkasi 3-4.5 door 2		92,3	307,6	M30-14	41	0,19
S3-3 door 1	55,6	689,1	M30-50-6	187	0,30	
S3-3 door 2	58,8	695,5	M30-50-6	187	0,29	
S3-3_1 door 1	24,5	24,5	M50-3	1		
S3-3_1 door 2	21,2	21,2	M50-3	1		
Stair30 door 1	0,0	0,0	0			
Stair30 door 2	0,0	0,0	0			
Stair31 door 1	35,4	79,5	M50-1	18	0,41	
Stair31 door 2	41,1	58,9	M30-13	7	0,39	
Stair Hall Embarkasi 4.5-6-1 door 1		99,8	308,2	M30-14	22	0,11
Stair Hall Embarkasi 4.5-6-1 door 2		103,1	311,2	M30-14	22	0,11
Stair Hall Embarkasi 4.5-6-2 door 1		92,8	292,7	M30-21	19	0,10
Stair Hall Embarkasi 4.5-6-2 door 2		95,9	296,9	M30-21	19	0,09
Stair Gangway 4.5-6 1 door 1		60,1	705,6	M30-50-6	187	0,29
Stair Gangway 4.5-6 1 door 2		63,9	711,9	M30-50-6	187	0,29
Stair 4.5-6 door 1	81,0	315,2	M50-2	12	0,05	
Stair 4.5-6 door 2	83,5	318,9	M50-2	12	0,05	
Stair Gangway 4.5-6 2 door 1		25,7	25,7	M50-3	1	
Stair Gangway 4.5-6 2 door 2		29,5	29,5	M50-3	1	

Door63	11,7	328,4	F50-1	115	0,36
Door64	58,9	300,7	M30-11	13	0,05
Door63_1	47,9	308,8	M30-4	17	0,07
Door47	0,0	0,0	0		
Door48	0,0	0,0	0		
Door46	0,0	0,0	0		
Door46_1	27,6	307,0	M30-5	12	0,04
Door49	0,0	0,0	0		
Door61	0,0	0,0	0		
Door56_1_1	199,1	236,4	M30-50-2	2	0,05
Door56_1	16,6	184,4	F30-50-1	2	0,01
Door56	113,7	224,2	F30-50-1	2	0,02
Door57	53,7	247,4	M30-2	2	0,01
Door56_1_1_1	49,0	172,3	M30-50-1	2	0,02
Door58	253,5	255,0	M50-1	2	1,34
Door56_1_1_1	14,4	14,4	M30-1	1	
Door59	0,0	0,0	0		
Door60	0,0	0,0	0		
Door57_1_1_1_1	274,4	276,1	M50-1	2	1,19
Door57_1_1_1	0,0	0,0	0		
Door57_1_1	191,3	191,3	F50-1	1	
Door57_1	247,0	247,0	M50-1	1	
Door51_1	30,0	302,9	M50-3	14	0,05
Door50_1	20,9	283,2	M50-3	13	0,05
Door50_1_1	38,0	295,5	M30-4	15	0,06
Door50_1_1_1	17,6	282,9	M30-3	14	0,05
Door50	23,5	302,6	F30-50-1	15	0,05
Door51	4,8	299,9	F30-50-1	13	0,04
Door51_1_1	20,9	283,3	M30-1	14	0,05
Door51_1_1_1	10,5	276,9	M50-3	14	0,05
Door82	19,0	298,6	F50-1	14	0,05
Door84	8,3	249,2	M50-1	4	0,02
Door86	0,0	0,0	0		
Door64_1	28,0	301,1	M30-9	26	0,10
Door64_1	40,3	263,9	M30-1	4	0,02
Door64_1_1	59,7	314,7	M30-14	29	0,11
Door91	30,4	30,4	M50-3	1	
Door93_1	0,0	0,0	0		
Door61_1	18,6	329,3	M30-5	62	0,20
Door94	0,0	0,0	0		
Door99	21,7	243,0	M30-50-9	6	0,03
Stair22 door 1	0,0	0,0	0		
Stair22 door 2	0,0	0,0	0		
Stair24 door 1	22,3	326,1	M50-2	24	0,08
Stair24 door 2	24,9	328,7	M50-2	24	0,08
Stair25 door 1	21,1	324,9	M50-2	24	0,08

Stair25 door 2	16,7	320,4	M50-2	24	0,08		
Stair26 door 1	156,1	331,1	M30-4	43	0,25		
Stair26 door 2	159,8	335,1	M30-4	43	0,25		
Stair27 door 1	86,7	389,9	M30-50-6	87	0,29		
Stair27 door 2	90,4	393,7	M30-50-6	86	0,28		
Door110	65,1	713,7	M30-50-6	187	0,29		
Stair29 door 1	11,9	765,2	M50-1	204	0,27		
Stair29 door 2	16,0	778,1	M50-1	204	0,27		
Stair29_1 door 1	15,5	703,9	F30-50-1	216	0,31		
Stair29_1 door 2	19,5	713,7	F30-50-1	216	0,31		
Door93_1_1	20,3	331,4	M30-5	62	0,20		
Door94_1	0,0	0,0		0			
-	26,5	330,3	M50-2	24	0,08		
Door Outer Gangway-1		18,5	390,6	F50-1		40	0,11
Door Musholla-1	0,0	0,0		0			
Door36	0,0	0,0		0			
Door Satpam	0,0	0,0		0			
-	0,0	0,0		0			
Door Musholla-2	0,0	0,0		0			
Door ABK 6	0,0	0,0		0			
Door ABK 7	0,0	0,0		0			
Door ABK 8	77,1	289,2	ABK 9	2	0,01		
Door Dapur	0,0	0,0		0			
Door Kamar Mandi	73,9	73,9	ABK 12	1			
Door ABK 5	0,0	0,0		0			
Door ABK 10	0,0	0,0		0			
Door ABK 11	0,0	0,0		0			
Door R Mess ABK 1	238,6	238,6	ABK 11	1			
Door R Mess ABK 2	52,1	240,0	ABK 11	2	0,01		
Door Toilet	0,0	0,0		0			
Door ABK 9	43,6	43,6	ABK 10	1			
Door ABK 4	290,1	290,1	ABK 6	1			
Door ABK 3	0,0	0,0		0			
Door ABK 2	282,3	282,3	ABK 3	1			
Door ABK 1	2,4	2,4	ABK 2	1			
Door Electrican	193,0	193,0	Electrican	1			
Door Masinis 4	0,0	0,0		0			
Door Masinis 3	0,0	0,0		0			
Door ABK 13	145,7	145,7	ABK 7	1			
Door ABK 12	49,0	253,4	ABK 5	2	0,01		
Door Masinis 2	0,0	0,0		0			
Door Masinis 1	292,1	292,1	Masinis 1	1			
Door KKM	143,8	143,8	KKM	1			
-	0,0	0,0		0			
Door R Gyro	28,3	298,2	Kapten	6	0,02		
Door Muallim 3	0,0	0,0		0			

Door Mualim 4	0,0	0,0	0			
Door Mualim 1	0,0	0,0	0			
Door Kapten	0,0	0,0	0			
Door Markonis	0,0	0,0	0			
Door Mualim 2	0,0	0,0	0			
Door Ruang Gambar	0,0	0,0	0			
Door R Artis	0,0	0,0	0			
Door Musholla-3	0,0	0,0	0			
Door Musholla-4	0,0	0,0	0			
-	0,0	0,0	0			
Stair-9-anjungan door 1	24,5	291,9	Kapten	5	0,02	
Stair-9-anjungan door 2	20,6	285,0	Kapten	5	0,02	
Door Outer Gangway-2		56,9	301,1	ABK 9	5	0,02

Room Usage:

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name (pers)		Total_Use	
Stair35	82,2	349,7	M30-50-3	40		
Stair36	148,7	416,3	M30-50-3	33		
Room915		0,0	398,7	M30-50-3	40	
R Penumpang Duduk		0,0	304,6	M50-2	52	
Toilet Wanita		0,0	160,4	F30-1	3	
Toilet Pria	0,0	245,6	M50-1	5		
R Informasi	0,0	75,6	ABK 19	1		
R Penumpang Ekonomi Tidur 3			0,0	303,7	M30-50-24	80
-	0,0	0,0		0		
-	0,0	0,0		0		
Laundry	0,0	0,0		0		
Stair 3-4.5	78,2	314,0	M50-2	12		
Stair Hall Embarkasi 3-4.5		87,3	307,6	M30-14	41	
S3-3	55,6	695,5	M30-50-6	187		
S3-3_1	21,2	24,5	M50-3	1		
-	75,0	311,2	M50-2	12		
Hall Embarkasi 3 meter		0,0	308,8	M30-50-24	207	
-	53,8	689,1	M30-50-6	187		
Stair30	0,0	0,0		0		
Stair31	35,4	79,5	M50-1	11		
Outer Gangway 3		0,0	635,5	M30-50-6	224	
Stair Hall Embarkasi 4.5-6-1		99,8	311,2	M30-14	22	
Stair Hall Embarkasi 4.5-6-2		92,8	296,9	M30-21	19	
Lantai 4.5 2	92,3	308,2	M30-14	41		
Lantai 4.5 3	58,8	705,6	M30-50-6	187		
Stair Gangway 4.5-6 1		60,1	711,9	M30-50-6	187	
Lantai 4.5 1	80,1	315,2	M50-2	12		
Stair 4.5-6	81,0	318,9	M50-2	12		
Lantai 4.5 4	24,5	25,7	M50-3	1		

Stair Gangway 4.5-6 2	25,7	29,5	M50-3	1	
Room284	0,0	282,9	M30-3	14	
Room284_1_1_1	0,0	302,6	F30-50-1	15	
Room284_1_1_1_1	0,0	299,9	F30-50-1	13	
Room284_1	0,0	276,9	M50-3	14	
Room272_1	0,0	247,4	M30-2	2	
Room286	0,0	0,0	0		
Room286_1	0,0	0,0	0		
Room288	0,0	307,0	M30-5	12	
Room291_1	0,0	0,0	0		
RUANG PENUMPANG EKONOMI TIDUR A		0,0	329,3	M30-5	62
Room271_1_1	0,0	236,4	M30-50-2	2	
Room271_1_1_1	0,0	184,4	F30-50-1	2	
Room272	0,0	224,2	F30-50-1	2	
Room271_1	0,0	191,3	F50-1	1	
Room271_1_1	0,0	247,0	M50-1	1	
Room270_1	0,0	276,1	M50-1	2	
Room270	0,0	172,3	M30-50-1	2	
Room271	0,0	0,0	0		
Room271_1	0,0	14,4	M30-1	1	
Room269	0,0	255,0	M50-1	2	
Room367	0,0	0,0	0		
Room365	0,0	0,0	0		
Room284_1_1_1	0,0	302,9	M50-3	14	
Room284_1_1	0,0	283,2	M50-3	13	
Room284_1	0,0	295,5	M30-4	15	
Room284_1_1	0,0	283,3	M30-1	14	
Room273	0,0	298,6	F50-1	18	
Room290	0,0	0,0	0		
Room629	0,0	0,0	0		
Room629_1	18,6	331,4	M30-5	62	
Room637	0,0	0,0	0		
Room276	0,0	328,4	F50-1	204	
Room822	0,0	0,0	0		
Stair22	0,0	0,0	0		
Stair24	22,3	328,7	M50-2	24	
Stair25	16,7	324,9	M50-2	24	
Room838		21,1	326,1	M50-2	24
Stair26	156,1	335,1	M30-4	43	
Stair27	86,7	393,7	M30-50-6	86	
Stair29	11,9	778,1	M50-1	204	
Stair29_1	15,5	713,7	F30-50-1	216	
Room906		63,9	713,7	M30-50-6	187
Room771		0,0	0,0	0	
Room517_1_1		29,5	30,4	M50-3	1
Room274_1_1		8,3	320,4	M50-2	30

Room376		0,0	765,2	M50-1	549
Masinis 3	0,0	0,0		0	
Masinis 2	0,0	0,0		0	
KKM	0,0	143,8	KKM	1	
R Gambar		0,0	0,0		0
R Artis	0,0	0,0		0	
Kapten	0,0	0,0		0	
Musholla	0,0	0,0		0	
R AC Central 3		0,0	0,0		0
Satpam	0,0	0,0		0	
-	0,0	0,0		0	
R Mess ABK		0,0	240,0	ABK 11	2
Mualim 4	0,0	0,0		0	
R AC Central 2		0,0	0,0		0
ABK 6	0,0	0,0		0	
ABK 7	0,0	0,0		0	
ABK 8	0,0	289,2	ABK 9	2	
Toilet	0,0	0,0		0	
Kamar Mandi		0,0	73,9	ABK 12	1
ABK 5	0,0	0,0		0	
ABK 13	0,0	145,7	ABK 7	1	
ABK 12	0,0	253,4	ABK 5	2	
ABK 10	0,0	0,0		0	
ABK 11	0,0	0,0		0	
Dapur	0,0	238,6	ABK 11	1	
ABK 9	0,0	43,6	ABK 10	1	
R AC Central 1		0,0	0,0		0
ABK 1	0,0	2,4	ABK 2	1	
Electrican	0,0	193,0	Electrican	1	
Masinis 4	0,0	0,0		0	
Masinis 1	0,0	292,1	Masinis 1	1	
-	0,0	0,0		0	
ABK 4	0,0	290,1	ABK 6	1	
ABK 3	0,0	0,0		0	
ABK 2	0,0	282,3	ABK 3	1	
Markonis	0,0	0,0		0	
Mualim 2	0,0	0,0		0	
Mualim 3	0,0	0,0		0	
Mualim 1	0,0	0,0		0	
Battery	0,0	0,0		0	
-	0,0	0,0		0	
-	0,0	0,0		0	
-	0,0	0,0		0	
-	0,0	0,0		0	
Gangway 6		2,4	390,6	F50-1	45
-	24,9	330,3	M50-2	24	

R Gyro	0,0	298,2	Kapten	6	
Stair-9-anjungan		20,6	291,9	Kapten	5
Outer Gangway 6		16,0	795,1	M50-1	594
Anjungan	0,0	285,0	Kapten	5	

LAMPIRAN I
Time Assembly Duration (100 Replikasi)

simulasi ke- (night case-1)	total assembly duration (s)	simulasi ke- (day case-2)	total assembly duration (s)	simulasi ke- (night case-3)	total assembly duration (s)	simulasi ke- (day case-4)	total assembly duration (s)
92	1236,5	44	688,5	10	1615,5	50	953
46	1236,3	65	688,5	2	1597,5	10	952
38	1234	21	686,8	12	1589,8	61	947,3
86	1230,5	35	686	4	1586,3	78	947,3
77	1226,8	62	683	7	1582,3	26	947
36	1224,5	85	677,5	9	1582	21	944
15	1223	39	676,8	1	1581,5	29	941,3
28	1220,5	2	674,8	3	1568	73	940
84	1220,3	84	674,3	11	1559,5	76	938,3
98	1220,3	26	673,8	5	1557,3	6	937,8
19	1219,8	40	673,5	6	1557,3	81	937,5
25	1218,5	17	672,3	8	1556,5	57	933,8
44	1218,5	1	670,5	92	1554,3	22	932,3
20	1218	19	670,3	38	1552,3	79	926,8
31	1217,3	97	670	19	1550,5	38	926
71	1216,5	20	669,5	13	1546,8	39	925
41	1215,5	43	669,5	25	1543,8	66	924,8
39	1214,8	9	669,3	76	1542	37	924,3
60	1214,8	82	669	77	1542	5	922,5
42	1214,5	93	668,5	46	1539	84	920,8
100	1214,3	41	668	15	1537	27	919,3
76	1214	90	668	41	1534,3	45	918,3

16	1213,3	24	667	71	1533,5	64	917,8
27	1212,5	98	666,8	31	1533,3	70	915,5
58	1212,5	6	666,3	42	1533,3	68	913
29	1212,3	51	666,3	53	1533,3	96	912
35	1212,3	12	665	83	1532,8	48	910,3
43	1212,3	96	664,3	86	1532,5	75	910,3
85	1212,3	71	664	28	1532,3	62	910
64	1211,8	60	663,8	43	1531,3	3	909,5
97	1211,5	11	663,5	61	1530,3	69	909,3
32	1211	14	662,8	87	1529,8	49	909
18	1210,5	69	662,5	98	1528,3	15	906,3
48	1210,3	77	662,5	37	1527,8	85	906
49	1210,3	58	662,3	62	1527,3	8	905,5
56	1209	81	662	74	1525	89	904,5
94	1209	13	661,3	51	1524	91	904,3
30	1208,3	56	660,5	52	1524	74	903,5
72	1208	3	660,3	54	1523,5	56	902,8
53	1207,8	45	660,3	100	1523	12	901,8
79	1207,5	61	660,3	97	1522,8	41	901,8
14	1207,3	75	660,3	60	1522,3	32	900,8
66	1206,5	5	660	18	1521,3	52	899
54	1206	18	660	22	1520,8	67	897
96	1206	22	660	89	1519,3	18	894,5
74	1205,8	55	659,5	72	1518,5	2	894
21	1205	30	659,3	45	1517,8	72	893,8
34	1204,8	91	658,8	32	1517,5	93	891
59	1204	8	658,5	79	1517,5	33	890,5

62	1204	29	658,5	44	1516,8	35	890,5
67	1203,5	49	658,5	66	1516,8	7	889,5
73	1203,3	66	657,3	33	1516,5	86	889,5
91	1202,3	73	657,3	69	1516,3	97	889,3
63	1202	87	657	95	1516	28	888,8
87	1202	46	656,8	64	1515,8	14	887,8
47	1201,8	47	656,5	67	1515,5	65	887
51	1201,8	99	656,3	56	1514	71	885
52	1201,8	48	656	50	1513,8	82	882
40	1201	42	655,8	40	1513	55	881,8
45	1201	63	655,3	29	1512,8	4	881,5
33	1200,8	23	654,8	68	1512,5	60	880,5
23	1200,5	36	654,5	81	1512,5	100	880,3
55	1199,5	92	654,5	48	1511,5	36	879
83	1198,8	34	654	49	1511,5	42	878,8
37	1198,5	78	653,8	85	1511,5	47	878,8
68	1198,3	10	653,3	99	1511	13	878
93	1197,8	52	653,3	75	1510,8	80	878
61	1197,3	57	652,8	20	1509,3	31	877
50	1197	79	652,8	65	1509,3	19	875,5
95	1196	68	652,3	94	1508,3	25	875
99	1196	25	652	35	1508	9	874,5
89	1195,8	16	651,5	59	1507,8	94	874,5
81	1195,5	28	651,5	58	1507,5	63	874
26	1194,5	15	650,5	27	1507,3	30	873,5
78	1194,3	70	650,5	93	1507,3	98	873

24	1193,5	94	650,5	30	1506,8	87	872,5
75	1193	72	650,3	14	1506,5	92	871,5
69	1191	64	649	34	1503	90	871,3
90	1190,8	76	649	39	1502	83	870
80	1190,5	27	648,8	47	1500,5	1	869,3
65	1190,3	80	648,8	73	1500,5	20	868,8
17	1189,5	100	647,8	82	1500	46	868,5
22	1189,5	4	647,5	36	1499,5	51	867,3
88	1187,8	89	647,5	63	1498,8	16	864,8
57	1187,5	38	647	78	1498,5	17	864,8
70	1185	31	646,3	26	1498,3	34	864
82	1179,8	32	644,8	57	1496,5	99	863,5
4	1141,3	53	644,8	16	1494,5	44	863,3
12	1138,8	37	642,5	90	1494	58	862,3
13	1138,8	95	642,5	23	1492,8	59	862,3
9	1137,5	7	638	80	1492,8	43	861,8
8	1136,5	59	637,5	84	1492,5	53	860,8
7	1133,0	83	636	96	1491,8	40	860
2	1119,5	88	635,8	70	1490,8	95	859,8
5	1119	33	635,3	55	1490,3	77	857
6	1119	50	635,3	21	1489,8	54	854
10	1114,5	54	633,8	17	1489	88	854
3	1111,5	74	633,8	91	1486,5	23	853,3
11	1107,5	86	632,3	88	1477,8	11	851,8
1	1107,3	67	627	24	1476,8	24	843,3

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jombang, 11 Agustus 1995 yang merupakan anak pertama dari pasangan Subandi dan Zuli Hidayati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Al-Falah Trawasan (2001-2007), SMPN 1 Sumobito (2007-2010), SMAN 1 Jombang (2010-2013). Setelah lulus pendidikan tingkat menengah pada tahun 2013. Penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SBMPTN pada tahun 2014 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan dengan NRP. 0421144000093. Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil bidang Marine Operation and Maintenance (MOM). Selama masa perkuliahan, penulis mengikuti berbagai organisasi kemahasiswaan dalam kampus.

Sebagai staf Hubungan luar HIMASISKAL pada kepengurusan 2015/2016. Sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar HIMASISKAL pada kepengurusan 2016/2018. Sebagai Pemandu LKMM Pra-TD dan LKMM TD ITS 2015/2019. Sebagai Tim Pemandu LKMM TM “Ekspresi” ITS 2017. Sebagai Tim Pemandu LKMM TM “Bumi” ITS 2018.

Pada tahun 2017, penulis mengikuti kerja praktek pertama di PT. DUMAS TANJUNG PERAK SHIPYARD Surabaya dan pada tahun 2018, penulis mengikuti kerja praktek kedua di PT. PERTAMINA (PERSERO) MOR V Surabaya. Penulis menyelesaikan studi strata S1 dalam waktu sembilan semester. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir serta ingin memberikan kritik dan saran, penulis dapat dihubungi melalui email di bawah ini.

Mochammad Isom Mufikri
Isom1101@gmail.com