



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI KINERJA EVAKUASI PADA GEDUNG SEKOLAH
MENGUNAKAN PEMODELAN KOMPUTER**

SKRIPSI

DIMAS RANANDA KENCANA

0405020243

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI KINERJA EVAKUASI PADA GEDUNG SEKOLAH
MENGUNAKAN PEMODELAN KOMPUTER**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

DIMAS RANANDA KENCANA

0405020243

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dimas Rananda Kencana

NPM : 0405020243

Tanda Tangan :

Tanggal : Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dimas Rananda Kencana
NPM : 0405020243
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi :

Evaluasi Kinerja Evakuasi Pada Gedung Sekolah Menggunakan Pemodelan
Komputer

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc.,Ph.D (.....)
Penguji : Dr.Ir. Danardono AS. (.....)
Penguji : Dr.Ir Warjito , M.Eng (.....)
Penguji : Ardiansyah, ST.,M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Desember 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan banyak nikmat, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul:

EVALUASI KINERJA EVAKUASI PADA GEDUNG SEKOLAH MENGUNAKAN PEMODELAN KOMPUTER

Atas kerja sama yang baik dari semua pihak, penulis telah berhasil dengan baik menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Skripsi ini ditulis guna memenuhi salah satu persyaratan pendidikan Sarjana Reguler pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu yang telah mendidik penulis sejak kecil hingga saat ini. Juga tak lupa pula untuk keluarga besar penulis yang telah menyokong dan memberikan semangat serta membantu kelancaran kuliah penulis.
2. Guru-guru/dosen-dosen penulis yang telah banyak membimbing penulis dalam menjalani karier akademis semenjak TK sampai dengan kuliah S1 reguler di Teknik Mesin Universitas Indonesia.
3. Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing skripsi, seluruh Dosen Teknik Mesin dan staf-staf DTM lainnya yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan skripsi ini.
4. Rekan-rekan mahasiswa Departemen Teknik Mesin FTUI yang selama ini telah banyak memberikan penulis inspirasi juga bantuan baik dalam pembuatan skripsi ini dan dalam kehidupan selama penulis melaksanakan Studi di Teknik Mesin FTUI.
5. Erlangga Aekukula, Andreas Pasaribu, Arthur Marulaktua, Edward Harrison, Ichwan Nurhalim, Ariezky N, Agung Nugroho, Yudha A, yang banyak membantu dalam membuat penulisan ini dan melakukan semua aktivitas dalam maupun diluar kampus selama proses perkuliahan.
6. Annis Chaerun Nissa yang memberikan dukungan semangat dan dorongan psikologis pada saat pembuatan penelitian ini.

Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan juga dalam penulisan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya.

Penulis juga minta maaf sebesar-besarnya kepada semua pihak atas kesalahan yang sengaja maupun tidak sengaja selama pelaksanaan survey dan penelitian. Dan juga penulis menyadari adanya ketidaksempurnaan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik di masa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa skripsi ini dapat memberikan informasi dan manfaat serta pengetahuan bagi pembaca dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Demikian skripsi ini dibuat sebagaimana mestinya dan semoga bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya.

Depok, Desember 2009

Dimas Rananda Kencana

NPM 04 05 02 0243

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Dimas Rananda Kencana
NPM : 0405020243
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Evaluasi Kinerja Evakuasi Pada Gedung Sekolah Menggunakan
Pemodelan Komputer**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 3 Januari 2010

Yang menyatakan

(Dimas Rananda Kencana)

ABSTRAK

Nama : Dimas Rananda Kencana
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Evaluasi Kinerja Evakuasi Pada Gedung Sekolah Menggunakan
Pemodelan Komputer

Saat ini simulasi evakuasi penghuni bangunan saat kebakaran terjadi sudah dapat dilakukan dengan pemodelan. Pemodelan komputer menjadi suatu pendekatan engineering praktis untuk studi kelayakan bangunan terhadap keamanan dari kebakaran dan faktor bahaya yang ditimbulkan pada saat kebakaran. Namun demikian, pemodelan ini juga harus disertai juga dengan pengetahuan mendasar tentang proses terjadinya kebakaran. Bangunan sekolah merupakan salah satu sarana umum yang digunakan sebagai tempat untuk kegiatan belajar oleh para pelajar, dengan jumlah penghuni dapat mencapai 1000 orang. Pada penelitian ini dilakukan 5 skenario simulasi evakuasi menggunakan *BuildingEXODUS*, untuk memodelkan pergerakan siswa dalam keadaan darurat saat berada di dalam gedung sekolah. Sebagai input dipergunakan informasi mengenai karakteristik human *behavior*, *fire hazard* dan geometri pemodelan. Untuk memodelkan simulasi, digunakan beberapa skenario evakuasi, sehingga didapat kinerja evakuasi berupa total waktu evakuasi, gambaran titik-titik lokasi terjadinya densitas tinggi, dan analisa kelayakan gedung sekolah. Skenario dilakukan dengan cara mengubah rute evakuasi, lebar tangga dan asumsi adanya akses area yang tidak berfungsi. Kisaran waktu evakuasi untuk gedung sekolah yang diteliti adalah 10 menit hingga 21 menit.

Kata kunci :

Building EXODUS, Pemodelan komputer, *Human behavior*, *fire hazzard*

ABSTRACT

Name : Dimas Rananda Kencana
Study Program : Teknik Mesin
Title : Performance Evaluation of School Building Escape Using
Computer Modelling

Fire escape scenario can now be simulated through computer modeling. This is a practical, yet accurate means to measure a building's fire safety, which is a part of building standards. The modeling, for its accuracy, has to incorporate the principal of fire and combustion science. School building, being one of the common public facilities with up to 1000 occupancy, is chosen to be the object of this work. This study analyzed five fire-escape scenarios using the Building EXODUS software in modeling human behavior, i.e. students' movements. The scenarios include a number of characteristics, namely human behavior, fire hazard and modeling geometry as input in computer modeling. By changing evacuation route, staircases' width or assuming collapsed routes, from computer modeling data was obtained the building's parameters of total evacuation time and description of spots within the building with high danger density, which in turn reflect the building's fire safety. The estimated of total evacuation times for the school building are 10 to 20 minutes.

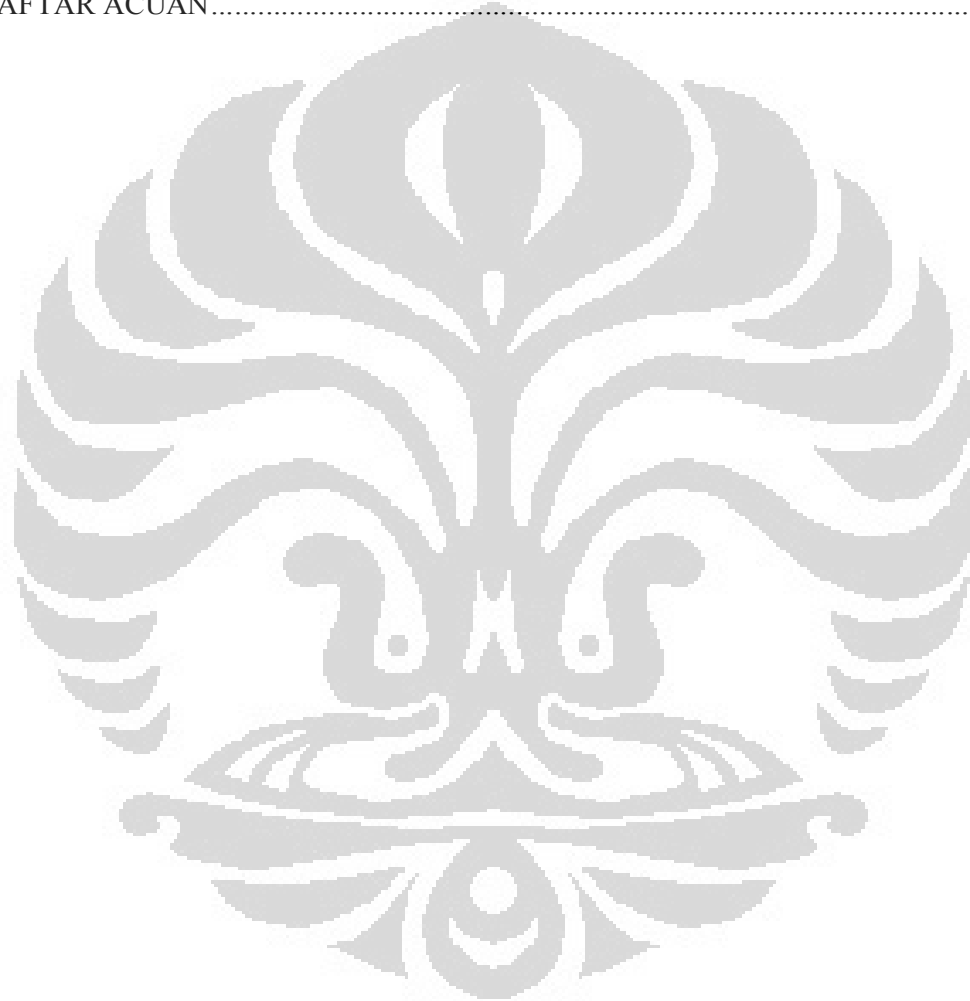
Keywords :

Building EXODUS, Computer modelling, Human behavior, Fire Hazzard,

DAFTAR ISI

<i>UCAPAN TERIMA KASIH</i>	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.2 Pembatasan Masalah	2
1.3 Metodologi Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Resiko Kebakaran	5
2.1.1 Kelas kebakaran	5
2.1.2 Compartement Fire	7
2.2 Bahaya Asap	8
2.2.1 Pergerakan Asap	9
2.3 Means of Escape [2]	10
2.3.1 Beban <i>Occupant</i> dan Geometri Jalur Evakuasi [2]	11
2.3.2 <i>Travel Time</i> [2]	13
2.4 Dasar-dasar BuildingEXODUS v 4.06 [3]	15
2.4.1 Struktur <i>Software</i> BuildingEXODUS	15
2.4.2 Tahapan Menggunakan BuildingEXODUS	17
2.4.3 Enclosure	18
2.4.4 <i>Occupant</i>	20
2.4.5 Movement	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1.1 Tangga	27
3.1.2 Pintu Kelas	27
3.1.3 Pintu Evakuasi	28
3.1.4 Koridor	29
3.1.5 Assembly Point	29
3.2 Pemodelan	30
3.2.1 Pemodelan Menggunakan <i>BuildingExodus</i>	32
3.2.2 Pemodelan kelas	33
3.2.3 <i>Physical Attribute</i>	33

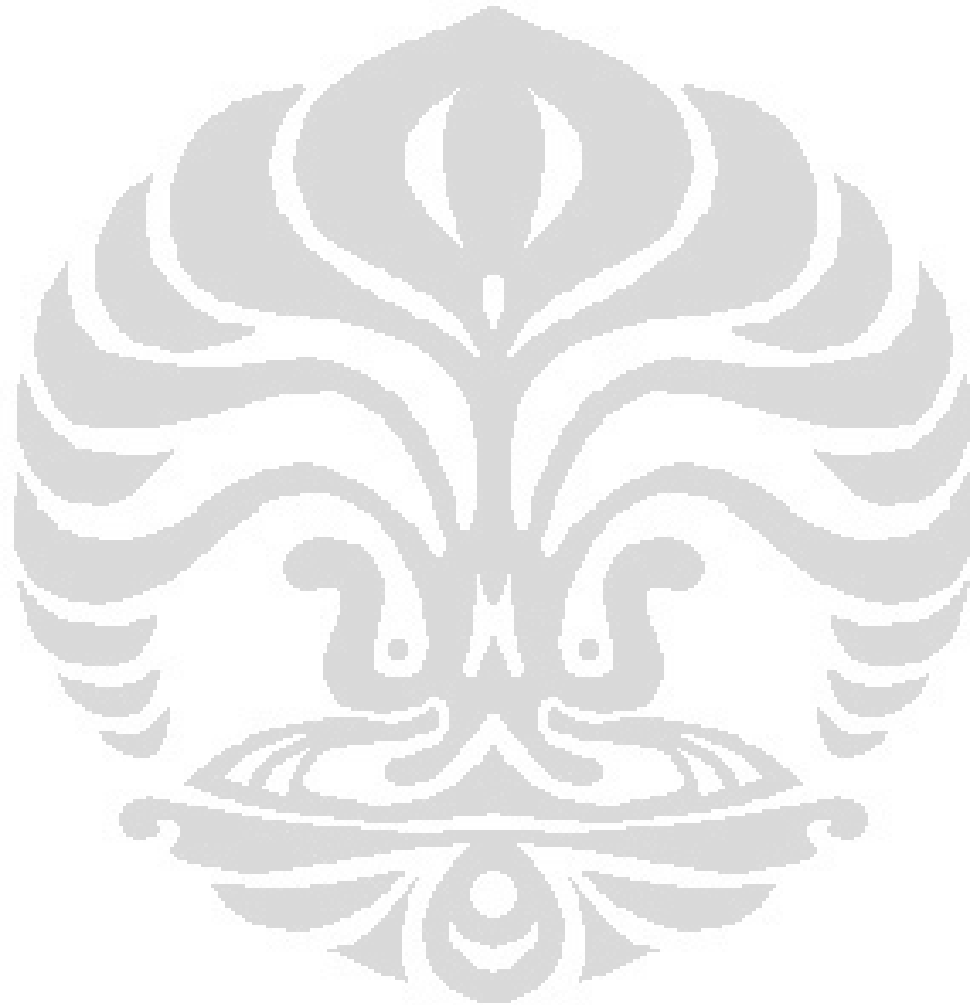
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS.....	35
4.1 Skenario 1.....	35
4.2 Skenario 2.....	41
4.3 Skenario 3.....	45
4.4 Skenario 4.....	48
4.5 Skenario 5 (lebar tangga 2m).....	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
DAFTAR ACUAN.....	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Segitiga Nyala Api.....	7
Gambar 2-2.Perode Nyala Api Dalam Kompartemen[1].....	8
Gambar 2-3.Prosedur Jalur Evakuasi	10
Gambar 2-4.Grafik Kecepatan Evakuasi Untuk Perhitungan Egrees	14
Gambar 2-5.Grafik Spesifik Flow vs Density ((nelson dan Maclenna 1988).....	14
Gambar 2-6.Interaksi Exodus sub-model [3].....	16
Gambar 2-7.Evakuasi pada EXODUS dengan tampilan VR [3]	17
Gambar 2-8.Node dengan 4 arc dan 8arc [3].....	19
Gambar 2-9.Hubungan arc, node, occupant dan enclosure [3].....	20
Gambar 3-1.Gedung Sekolah Menengah Atas	26
Gambar 3-2.Bentuk Tangga di Gedung Sekolah	27
Gambar 3-3.Pintu evakuasi 2 dan 3	28
Gambar 3-4.Pintu Evakuasi 1 dan 4.....	28
Gambar 3-5.Koridor di Gedung Sekolah.....	29
Gambar 3-6.Lapangan olahraga sebagai Assembly Point.....	29
Gambar 3-7.Layout lantai 1 titik-titik kelas dan pintu evakuasi.....	30
Gambar 3-8.Layout lantai 2 titik titik kelas, dan 4 titik tangga	31
Gambar 3-9.Layout lantai 3 dan titik-titik kelas	31
Gambar 3-10.Tampilan Pemodelan dengan Free node pada Exodus	32
Gambar 3-11.Pemodelan kelas dengan node dan Boundary di Exodus.....	33
Gambar 3-12.Physical Attribute laki-laki.....	34
Gambar 3-13.Physical Attribute Perempuan	34
Gambar 4-1.Rute evakuasi skenario 1 lantai 3	35
Gambar 4-2.Kepadatan Lantai 3 skenario 1	37
Gambar 4-3.Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 2 dan Tangga lantai 2.....	38
Gambar 4-4.Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 1 (menuju	39
Gambar 4-5.Grafik total waktu evakuasi.....	40
Gambar 4-6.Rute evakuasi lantai 3 skenario 2	41
Gambar 4-7.Grafik TotalWaktu Evakuasi Skenario 2	42
Gambar 4-8.Grafik Building Exodus - Evaluasi 4 Pintu Evakuasi skenario 1 dan 2.....	43
Gambar 4-9.Grafik Jumlah Occupant melakukan Evakuasi tiap 25 detik – Skenari 1 dan 2	44

Gambar 4-10. Grafik Jumlah Occupant melakukan Evakuasi tiap 25 detik - skenario 1 dan 2	44
Gambar 4-11. Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 3 - skenario 3	46
Gambar 4-12. Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 1 dan 2 - skenario 3	47
Gambar 4-13. Kinerja Tangga 1 vs Tangga 2	49



DAFTAR TABEL

Tabel 2-1.Occupant density dan travel speed [2].....	12
Tabel 2-2.Sekilas Mengenai buildingEXODUS[3].....	15
Tabel 2-3.Jenis-jenis node [3].....	19
Tabel 2-4.Nilai travel speed pada berbagai mode pergerakan [3]	22
Tabel 2-5.Travel speed berbagai usia dan gender pada saat menaiki dan menuruni tangga [3].....	23
Tabel 2-6.Pengaruh keterbatasan fisik terhadap pergerakan [3].....	23
Tabel 2-7.Kinerja Evakuasi Skenario 1	36
Tabel 2-8.Kinerja Evakuasi Skenario 2	42
Tabel 2-9.Kinerja Evakuasi skenario 3	45
Tabel 2-10.Kinerja Evakuasi Skenario 4.....	48
Tabel 2-11.Grafik Kinerja Tangga 1 skenario 5	50
Tabel 2-12.Grafik Kinerja Tangga 2 dan 3 skenario 5.....	50
Tabel 2-13.Kinerja Pintu Evakuasi Skenario 5.....	52

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran adalah bahaya yang sering terjadi di wilayah perkotaan. Kebakaran dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan bahaya bagi orang – orang yang berada di dalam bangunan pada saat terjadi kebakaran, bahkan dapat menimbulkan kematian apabila evakuasi tidak segera dilakukan. Dalam *fire safety science*, bahaya kebakaran dapat dikurangi potensinya dengan cara cara seperti melakukan desain ruangan yang menggunakan material yang tidak rusak pada temperatur tinggi, penggunaan interior yang tidak mudah terbakar, pemasangan *sprinkler* untuk mencegah terjadi *flashover*, standar ventilasi bangunan yang baik, penggunaan *fire extinguisher*, dan lain lain. Selain itu, evakuasi yang baik dan cepat juga merupakan suatu pertimbangan untuk mengurangi dampak berbahaya kebakaran bagi manusia di dalam suatu gedung atau gedung bertingkat.

Saat ini simulasi evakuasi penghuni bangunan saat kebakaran terjadi sudah dapat dilakukan dengan pemodelan. Langkah ini dinilai sangat menguntungkan karena menghemat waktu dan biaya investigasi. Pemodelan komputer menjadi suatu pendekatan *engineering* praktis untuk studi kelayakan bangunan terhadap keamanan dari kebakaran dan faktor bahaya yang ditimbulkan pada saat kebakaran. Namun demikian, pemodelan ini juga harus disertai juga dengan pengetahuan mendasar mengenai *fire and combustion science* serta kehati-hatian dalam melakukan input data yang tepat.

Bangunan sekolah merupakan salah satu sarana umum yang digunakan sebagai tempat untuk kegiatan belajar oleh para pelajar, dengan jumlah *occupant*-nya bisa mencapai 1000 orang. Gedung besar dan bertingkat tinggi yang dapat menampung banyak orang berpotensi menimbulkan korban apabila terjadi bencana antara lain kebakaran (Brady, 2003). Diperlukan perencanaan proses evakuasi yang baik agar dalam kondisi darurat korban manusia dapat dihindari. Pengelolaan proses evakuasi adalah salah satu upaya untuk memperkecil resiko timbulnya korban manusia.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi computer untuk memodelkan pergerakan evakuasi siswa dalam keadaan darurat saat berada di dalam gedung sekolah. Berbagai karakteristik *human behavior* dapat diatur di dalam piranti lunak dengan menggunakan input data geometri gedung sekolah. Sebagai kajian awal untuk memperoleh pemahaman dasar mengenai simulasi evakuasi, telah dilakukan pemodelan evakuasi oleh YS Nugroho dkk., (2009) dengan menggunakan geometri Gedung Perpustakaan FT UI .

1.2 Tujuan Penelitian

Melakukan pengukuran kinerja evakuasi siswa di gedung sekolah menengah atas di wilayah Jakarta. Dengan pengukuran kinerja evakuasi diharapkan dapat diperoleh beberapa parameter penting seperti waktu total evakuasi dan gambaran mengenai daerah-daerah dengan tingkat densitas siswa yang tinggi . Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan pola perilaku siswa pada saat evakuasi serta melakukan analisa terhadap kelayakan bangunan sekolah yang diteliti dalam mengakomodir sirkulasi evakuasi apabila terjadi bahaya kedaruratan .

1.2 Pembatasan Masalah

Pada pembahasan berikut, pemodelan simulasi akan dilakukan dengan menggunakan *software buildingEXODUS* pada objek salah satu bangunan sekolah 3 tingkat SMA negeri yang berada di Jakarta . Pemodelan evakuasi dilakukan pada ketiga lantai dengan menggunakan berbagai skenario . Pada saat simulasi seluruh siswa di asumsikan sedang berada di dalam kelas masing-masing dan dalam keadaan duduk di bangku . Staff ,karyawan dan guru tidak di ikut setakan di dalam pemodelan. Simulasi hanya menggambarkan sirkulasi dari pengunjung (*occupant*) dari Perpustakaan FT UI tanpa memberikan atau menggambarkan efek dari bahaya api (*fire hazard*) yang dapat mengurangi laju evakuasi dari pengunjung.

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian simulasi evakuasi ini menggunakan software *BuildingEXODUS v 4.06* dalam memodelkan beberapa evakuasi. Urutan kegiatan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pembuatan model bangunan sekolah dengan menggunakan Autocad 2009 dengan geometri yang di dapat melalui berkas resmi yang di miliki oleh sekolah tersebut.
- Membuat pemodelan di dalam *BuildingEXODUS v 4.06* dengan menentukan boundary boundary yang ada.
- Melakukan tahapan input data di dalam *BuildingEXODUS v 4.06* yaitu *geometry mode, population mode, dan scenario mode*
- Pembuatan skenario yang dibagi menjadi 5 bagian yaitu , 2 skenario dengan menggunakan 4 tangga evakuasi yang ada, 2 skenario dengan asumsi tangga yang collapse dan yang terakhir skenario dengan merubah geometri tangga.
- Mendapatkan hasil pola sirkulasi pergerakan simulasi dalam bentuk output 2D berupa file dengan format .avi
- Melakukan analisa dari kinerja evakuasi yang ada di gedung sekolah dari total waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan gedung

1.4 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang masalah, tujuan dilakukan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan konsep dasar resiko kebakaran ,*means of escape*, dasar dasar *building Exodusv4.06*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

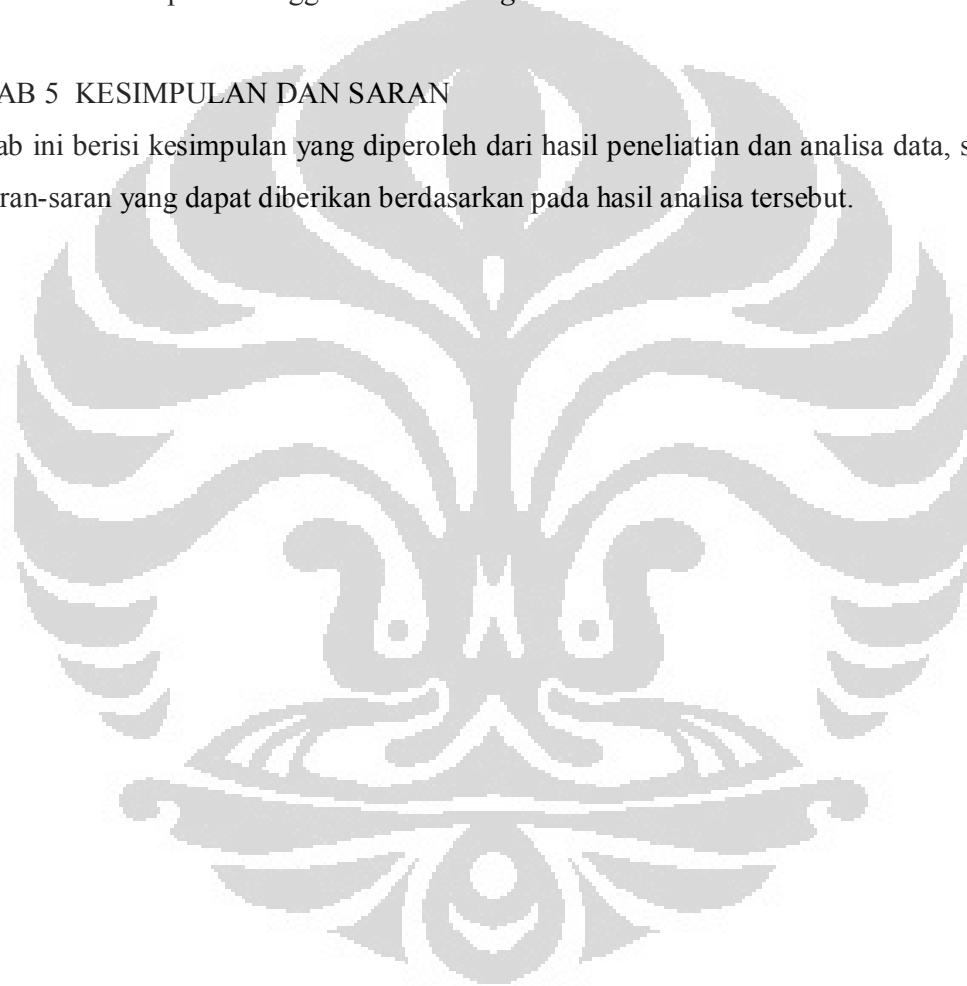
Bab ini berisikan tentang gambaran umum tentang gedung sekoah tersebut dan memaparkan langkah-langkah pengukuran kinerja evakuasi dengan simulasi komputer.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Di bab ini, penulis menjelaskan mengenai data hasil skenario simulasi dengan pemodelan komputer menggunakan *BuildingEXODUS v 4.06*

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil peneliatian dan analisa data, serta saran-saran yang dapat diberikan berdasarkan pada hasil analisa tersebut.



BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Resiko Kebakaran

Kebakaran pada bangunan umumnya berawal dari kebakaran dalam suatu ruangan, yang sering disebut sebagai kebakaran dalam ruangan tertutup (*compartment fire*). Urutan terjadinya proses adalah sifat kimia dan fisika yang terjadi saat penyulutan, dilanjutkan dengan pembakaran (*combustion*). Pengaruh yang menentukan pembakaran di dalam *compartment fire* adalah tersedianya beban api (*fire load*) dengan jumlah yang cukup, geometri ruangan, dan geometri ventilasi. Di dalam *compartment fire* kebakaran akan meningkat intensitasnya ditandai dengan kecepatan penyaluran dan panas yang tinggi dalam waktu yang relatif singkat.

Cepat lambatnya proses evakuasi suatu gedung bertingkat menentukan tinggi rendahnya faktor keselamatan manusia apabila sampai terjadi bencana seperti kebakaran pada gedung tersebut. Semakin pendek waktu evakuasi, semakin tinggi faktor keselamatan manusia apabila terjadi bencana.

2.1.1 Kelas kebakaran

Dalam memadamkan api atau kebakaran diperlukan alat pemadam yang tepat sesuai dengan jenis atau asal api. Sumber bahan/material yang terbakar akan menentukan karakteristik api dan asap yang akan terbentuk, sehingga memerlukan alat pemadam api yang berbeda untuk hal tersebut.

Kebakaran memiliki kelas-kelas yang berbeda tergantung pada material yang terbakar. Kebakaran di Indonesia dibagi menjadi tiga kelas, yaitu:

1. Kelas A



Kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda padat, misalnya kertas, kayu, plastik, karet, busa dan lain-lainnya. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: air, pasir, karung goni yang dibasahi, dan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering.

2. Kelas B



Kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda mudah terbakar berupa cairan, misalnya bensin, solar, minyak tanah, spirtus, alkohol dan lain-lainnya. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: pasir dan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering. Dilarang memakai air untuk jenis ini karena berat jenis air lebih berat dari pada berat jenis bahan di atas sehingga bila kita menggunakan air maka kebakaran akan melebar kemana-mana

3. Kelas C



Kebakaran yang disebabkan oleh listrik. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering. Matikan dulu sumber listrik agar kita aman dalam memadamkan kebakaran

4. Kelas D

Kebakaran yang terjadi pada material-material logam. Kebakaran jenis ini dapat memicu terjadinya kebakaran kelas A. Pemadamannya biasa menggunakan bubuk kimia kering.

5. Kelas K

Kebakaran yang disebabkan oleh minyak penggorengan. Kebakaran ini merupakan bagian kebakaran kelas B, tetapi karakteristiknya yang berbeda membuat kebakaran jenis ini perlu mendapat perhatian khusus.

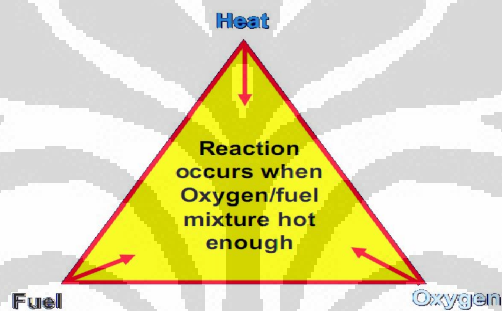
Dalam peristiwa kebakaran dalam bangunan, penyebaran api yang cepat umumnya didukung oleh adanya bahan bakar yang cukup, dalam hal ini berupa furnitur dan isi yang berada di dalam bangunan tersebut.

Berdasarkan kajian skala penuh [Drysdale, 2003], maupun kajian skala laboratorium [Tsantaridis, 2003], maka dalam peristiwa kebakaran, kinerja material terhadap api dapat dikategorikan berdasarkan:

- Waktu nyala
- Laju produksi kalor
- Laju produksi asap

2.1.2 Compartement Fire

Istilah Compartement Fire digunakan untuk mendeskripsikan api yang berkembang di dalam suatu ruangan tertutup. Ada 3 hal yang sangat menentukan nyala suatu api dalam Compartement yaitu Heat (Panas), Oxigen, dan Bahan Bakar jika digambarkan dalam segitiga akan menjadi sebagai berikut



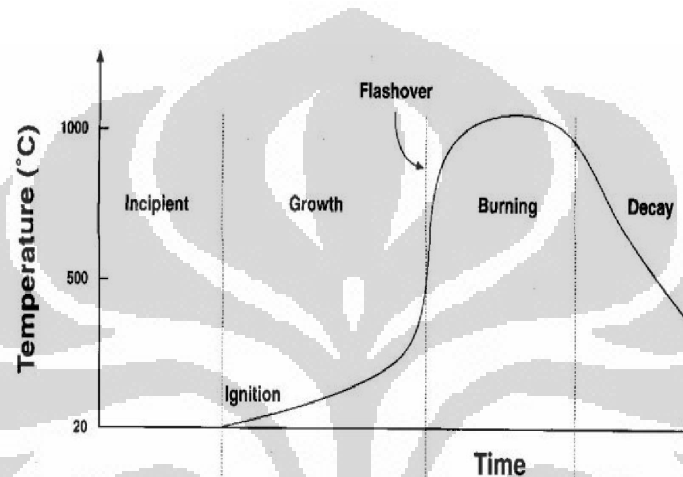
Gambar 2-1. Segitiga Nyala Api

Dalam Compartement api dapat bermula dari beberapa sebab tetapi umumnya kebakaran yang terjadi dalam Compartement disebabkan dari salah satu dari 3 sebab berikut :

1. *Pilot Ignition*, biasanya dimulai karena ada nya bahan yang mudah terbakar (flammable material) yang bermula oleh suatu pemicu misalnya api ataupun percikan listrik.
2. *Auto Ignition*, dimana api bermula dengan sendirinya karena temperatur ruang yang cukup tinggi dimana diruangan tersebut terdapat bahan yang dapat terbakar tanpa dimulai oleh suatu pemicu.
3. *Spontaneous Combustion in Bulk Fuels*, situasi ini lebih jarang terjadi dibandingkan oleh 2 sebab diatas. Penyebab api ini adalah dari suatu bongkahan bahan bakar solid yang mengalami *self-heating* dari hasil proses biologi, proses kimia, ataupun dari oksidasi

dari pengeringan minyak yang menyebabkan *smoldering* dari bagian dalam dari bahan bakar.

Pada kasus kebakaran bangunan (*room fires*) pertumbuhan api dapat digolongkan menjadi beberapa tahapan yaitu pemanasan awal (*incipient*), pertumbuhan nyala api (*growth*), pembakaran api serentak (*flash over*), pembakaran penuh (*fully developed burning*), dan tahap surut seperti tampak pada gambar



Gambar 2-2. Periode Nyala Api Dalam Kompartemen[1]

Tahapan awal terjadinya api / kebakaran dalam bangunan yaitu tahap inisiasi dan perkembangan api (sebelum terjadinya flash over) merupakan tahapan yang sangat penting dalam usaha pencegahan kebakaran serta pemadaman api. Tingginya tingkat kematian dan cedera penghuni dalam kasus kebakaran bangunan, umumnya disebabkan oleh (i) terhisapnya gas-gas beracun hasil pembakaran, (ii) menurunnya konsentrasi oksigen, (iii) menurunnya pandangan (*visibility*) akibat asap, sehingga menghambat usaha keluar dari bangunan, dan (iv) radiasi kalor

2.2 Bahaya Asap

Produk sampingan yang dihasilkan kebakaran selain timbul panas adalah asap yang akan menyebar ke lingkungan sekitarnya, yang dapat menghalangi pandangan sehingga dapat menyulitkan proses evakuasi atau penyelamatan dari penghuni

bangunan. Asap adalah produk gas dari pembakaran material *organic* dimana partikel kecil padat dan cair terdispersikan (Gross et al, 1967). Asap merupakan salah satu hasil pembakaran yang sangat berbahaya karena menurut data statistik yang diperoleh di UK dan USA menunjukkan bahwa lebih dari 50% kematian yang diakibatkan oleh kebakaran disebabkan karena terhirupnya partikulat-partikulat asap yang mungkin mengandung zat-zat beracun (Home Office, 1995; “National Fire Protection Association,”).

Selain bisa melumpuhkan kesadaran seseorang, asap pekat bisa menimbulkan gangguan dalam mengurangi jarak pandang (*visibility*). Selain itu produk non-termal kebakaran lainnya selain asap, yakni gas-gas hasil pembakaran (selain CO₂ dan CO) seperti HCl dan HCN yang kerap tidak berwarna dan tidak berbau namun sangat beracun (*toxic*) sehingga banyak menimbulkan korban baik di kalangan penghuni/pengguna bangunan maupun dari kalangan petugas pemadam kebakaran, saat dilakukan operasi pemadaman. Kebakaran bisa berakibat fatal terhadap bahan dan konstruksi bangunan akibat temperatur maupun tekanan yang ditimbulkannya.

2.2.1 Pergerakan Asap

Asap adalah gas panas yang mengapung – yang pada dasarnya adalah udara panas berkontaminasi. Asap juga mengikuti hukum-hukum dasar dari mekanikal fluida. Jumlah produksi asap dari setiap sumber api sangat bervariasi dari api ke api dan waktu ke waktu dari sebuah pembakaran yang sama. Ini mempunyai fungsi bergantung dari ukuran dan panas dari api serta bentuk geometri dari tempat yang akan dilewati oleh asap. Khususnya terkait dengan peningkatan *plume* dari asap tersebut, keliling dan tingginya. Hal ini diakibatkan gerakan *turbulence* dari sekeliling *plume* yang meningkat memasuki udara. Udara ini menahan laju pertumbuhan *plume*, meningkatkan volume dari asap tetapi mengurangi temperature dari asap tersebut.

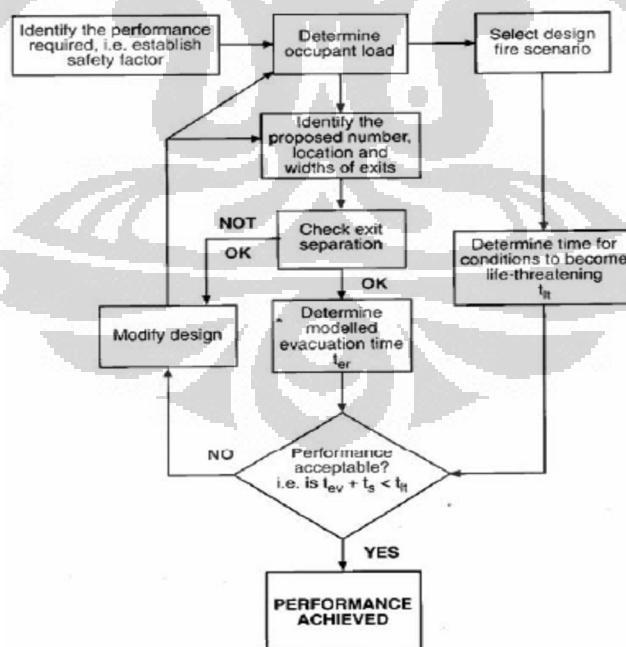
Produksi asap sangat tergantung dari ukuran api, tidak terlalu terpengaruh dari luas lantai atau volume dari compartmentnya kecuali hal ini mempengaruhi besarnya api dan laju pertumbuhan asap. Masa jenis dan racun yang terkandung di dalam asap tergantung dari bahan bakar yang terbakar, tetapi total volume dari asap yang terbentuk tergantung dari ukuran api dan bangunan tempat asap terbentuk.

Asap yang merupakan fluida bergerak berdasarkan pengaruh dari adanya gaya yang mendorong, yang mana gaya yang berpengaruh adalah gradient tekanan yang mendorong fluida. Untuk gerakan asap di dalam gedung, gaya-gayanya dihasilkan oleh:

- Gaya apung yang dihasilkan langsung oleh api
- Gaya apung yang terjadi akibat adanya perbedaan antara internal dan eksternal *temperature ambient*
- Efek dari angin dan udara yang bergerak
- System tata udara yang ada di dalam gedung

2.3 Means of Escape [2]

Evakuasi merupakan gerakan massa dari orang-orang dari tempat yang berbahaya karena adanya bencana seperti kebakaran, banjir dan lain-lain. Dalam melakukan evakuasi perlu adanya dasar-dasar yang harus diketahui bagaimana evakuasi dapat berjalan dengan baik. Untuk mendefinisikan secara spesifik bagi *engineer* mendesain jalur evakuasi bisa dilihat pada *flow chart* gambar



Gambar 2-3. Prosedur Jalur Evakuasi [2]

Untuk semua tempat pada bangunan, waktu untuk evakuasi dari suatu tempat harus kurang dari waktu untuk bertahan dalam keadaan bahaya/mengancam, sampai dengan *safety margin*, sehingga [2] :

$$t_{ev} + t_s < t_{lt}$$

dimana :

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

t_{lt} adalah waktu dimana keadaan menjadi *life-threatening*, yang diukur dari *ignition*

t_s adalah *safety margin*

Waktu evakuasi dan waktu untuk keadaan mencapai *life-threatening* kedua-duanya diukur dari waktu dari *ignition*.

Waktu evakuasi t_{ev} dinyatakan sebagai berikut [2] :

$$t_{ev} = t_d + t_a + t_o + t_i + t_t + t_q$$

dimana :

t_d adalah waktu dari *ignition* sampai dengan kebakaran terdeteksi (oleh *building occupant* atau menggunakan otomatis sistem deteksi)

t_a adalah waktu dari deteksi sampai alarm berbunyi

t_o adalah waktu dari alarm sampai dengan waktu dari respon *occupant*

t_i adalah waktu dari *occupant* untuk menginvestigasi adanya kebakaran, melawan adanya kebakaran

t_t adalah *travel time*

t_q adalah *queing time* pada pintu atau penghalang lainnya

Waktu dari t_d mungkin bisa ditentukan oleh komputer model *fire growth*. t_a diperkirakan dari pengetahuan terhadap alarm sistem atau dari pengetahuan dari lingkungan manusia. Waktu t_o dan t_i mungkin sulit untuk dihitung, tetap seharusnya bisa diambil waktunya kurang dari 30 detik.

2.3.1 Beban *Occupant* dan Geometri Jalur Evakuasi [2]

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

Tabel 2-1.Occupant density dan travel speed [2]

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

2.3.2 Travel Time [2]

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

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

$$L_t = S \times t_{tr}$$

Kecepatan dari *travel speed* tergantung dari *occupant density*, *age* dan *mobility*. Pada *occupant density* kurang dari 0,5 person per m^2 aliran akan *uncongested* dan kecepatan 70 m/min dapat diterima oleh *level travel* dan 51-63 m *down stairs*. Ketika *occupant density* melebihi 3,5 person/ m^2 , aliran akan sangat *congested* dan kecil.

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

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

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

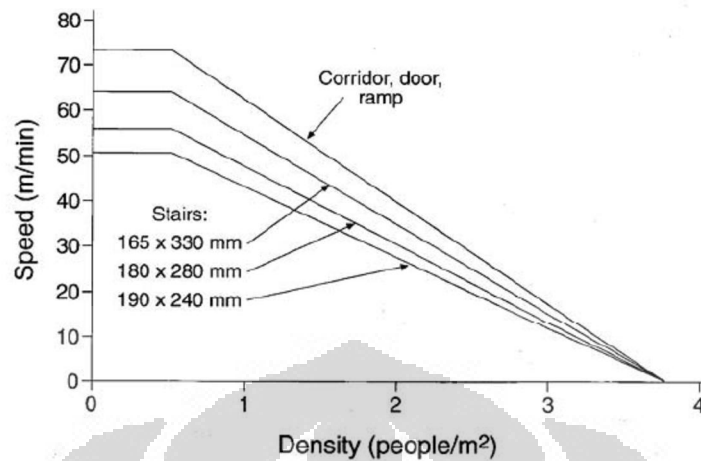
$k_t = 84,0$ untuk level koridor atau pintu dan

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

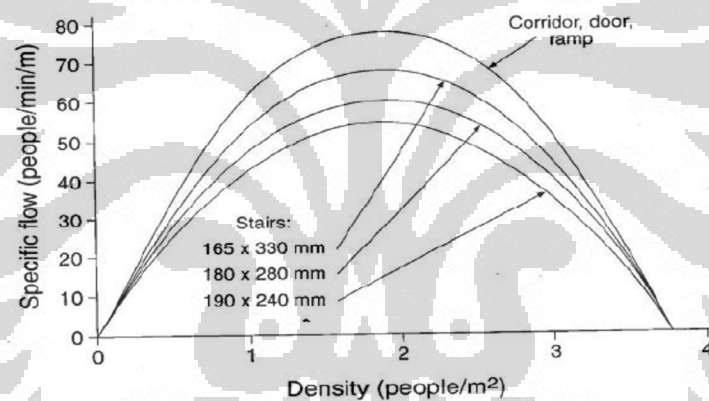
dimana G adalah panjang dari tapak tangga dan R adalah ketinggian anak tangga setiap langkah.

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

$$F_s = S \times D_o$$



Gambar 2-4. Grafik Kecepatan Evakuasi Untuk Perhitungan Egrees[2]



Gambar 2-5. Grafik Spesifik Flow vs Density (nelson dan Maclenna 1988)

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

$$F_a = F_s \times W_c$$

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

$$t_{ts} = N/F_a$$

Persamaan ini dapat untuk menentukan *queing time* ketika evakuasi terjadi.

2.4 Dasar-dasar BuildingEXODUS v 4.06 [3]

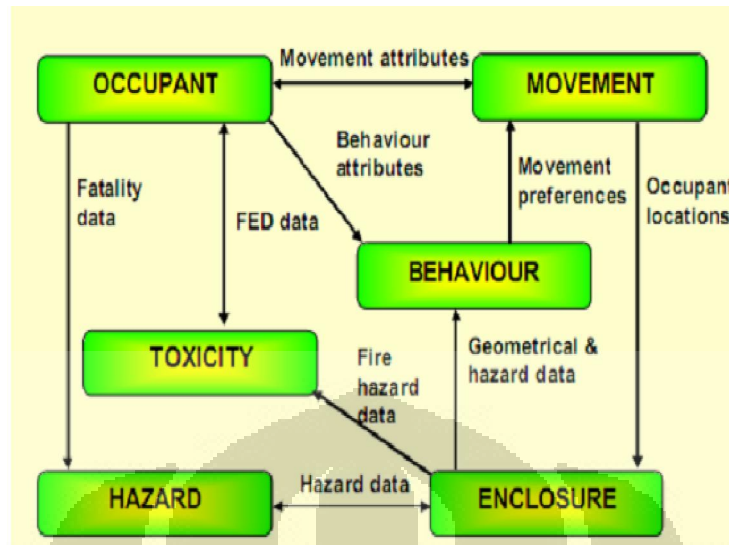
Exodus merupakan suatu *software* yang bertujuan untuk melakukan model evakuasi dan perilaku manusia. *buildingEXODUS* ini belum terlalu banyak digunakan di Indonesia karena software ini mempunyai izin *license*.

Tabel 2-2. Sekilas Mengenai *buildingEXODUS*[3]

Model Name	<i>buildingEXODUS</i>
Version	4.06 (release V4.1 due first half of 2008)
Classification	<i>Human behaviour/evacuation model</i>
Very Short Description	Software ini dapat melakukan dinamika pemodelan evakuasi yang mampu mensimulasikan <i>individual people, behavior, and enclosure</i> secara detail. Model meliputi aspek-aspek dari interaksi antara <i>people-people, people-structure and people-environment</i>. Software ini juga mampu untuk melakukan simulasi ratusan orang dengan geometri yang sangat luas dan dapat dilakukan dengan pengaruh <i>fire hazard</i> seperti <i>smoke, heat and toxic gases</i>.
Modeler(s), Organization(s):	EXODUS development Team, FSEG, The University of Greenwich, key members consist of Prof Ed Galea, Dr Peter Lawrence, Mr. Lazaros Filippidis, Mr. Daren Blackshields and Mr. David Cooney
User's Guide	<i>buildingEXODUS V4.06 User Guide and Technical Manual, Doc Rev 4.05, November 2006</i>
Availability	Contact Professor E. Galea, FSEG, The University of Greenwich, 30 Park Row, Greenwich, UK SE10 9LS, e.r.galea@gre.ac.uk, http://fseg.gre.ac.uk/exodus/, phone: +44 (0)20 8331 8730
Necessary Hardware	<i>PC/Workstations running Windows 32-bit or 64-bit editions</i>
Computer Language	C++
Size	<i>Approximately 30MB for main application</i>

2.4.1 Struktur *Software* BuildingEXODUS

BuildingEXODUS adalah software yang didesain untuk melakukan evakuasi dinamika perilaku dan pejalan kaki dari jumlah orang yang sangat banyak dalam lingkup yang luas. Model pada *buildingEXODUS* dibagi menjadi 5 bagian model yaitu : *Occupant, Movement, Behaviour, Toxicity* dan *Hazard*.



Gambar 2-6. Interaksi Exodus sub-model [3]

Sub-model pada Exodus :

- *Occupant sub-model*

Occupant sub-model untuk mendefinisikan dari populasi orang dengan jelas. Populasi terdiri dari *range* orang dengan perbedaan *movement abilities, reflecting age, gender and physical disabilities*. Populasi dapat dibuat secara manual dengan menggunakan “*Population Panels*” atau secara dinamik menggunakan “*Source Nodes*”

- *Movement sub-model*

Mengontrol pergerakan secara fisik setiap *occupant*. Pergerakan mungkin yaitu meliputi *behaviour, side-stapping, atau evasive actions*.

- *Behavior sub-model*

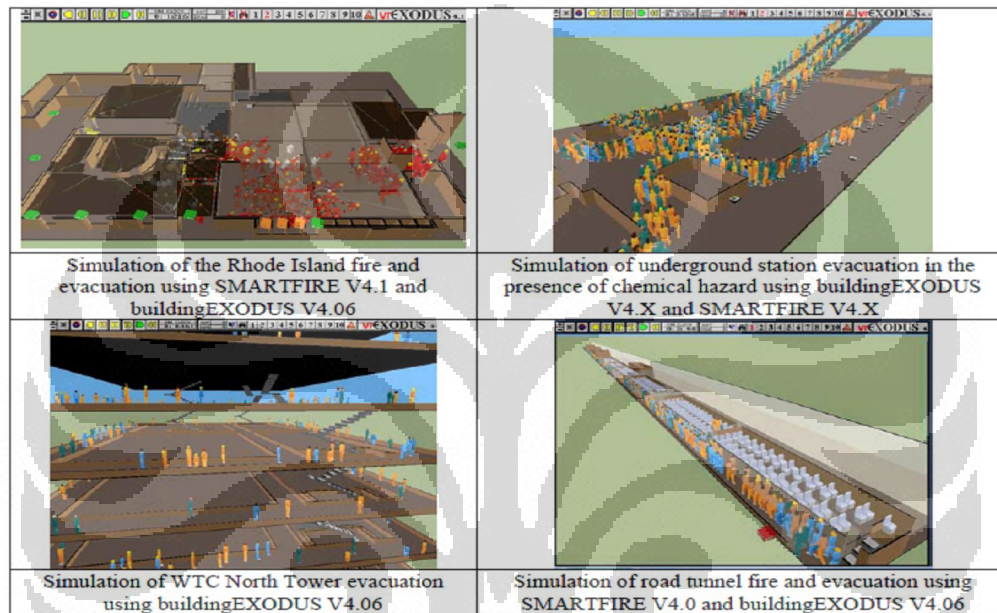
Behavior sub-model mendefinisikan respon dari occupant terhadap suatu situasi dan menyimpulkannya ke dalam *Movement sub-model*.

- *Toxicity sub-model*

Toxicity sub-model mendefinisikan pengaruh psikologi dari lingkungan terhadap orang. *BuildingEXODUS* menggunakan *Fractional Effective Dose (FED) toxicity model*, yang memprediksi efek dari *fire hazard* secara pasti yang dihubungkan untuk dose received lebih baik dari *exposure concentration*

- *Hazard sub-model*

Thermal and toxic environment dapat ditentukan dengan *Hazard sub-model*. Distribusi dari hazard ini terhadap lingkungan sebagai fungsi pada waktu dan interaksi lokasi pada hal yang relatif.



Gambar 2-7. Evakuasi pada EXODUS dengan tampilan VR [3]

2.4.2 Tahapan Menggunakan BuildingEXODUS

Tahapan dalam menggunakan Exodus ini secara umum dibagi menjadi empat cara yaitu :

1. *Geometri Mode*

Tahap pertama dalam menggunakan *buildingEXODUS* ialah menentukan terlebih dahulu bentuk geometrinya. Geometri yang bisa didefinisikan dapat dibangun langsung menggunakan tools *EXODUS*, mengimport langsung file dari CAD, atau dari *Library* yang ada di *software* ini.

2. *Population Mode*

Tahap kedua setelah menyelesaikan geometri adalah menentukan populasi orang yang akan dilakukan simulasi evakuasi. Disini dapat didefinisikan jumlah orang, deskripsi orang dan juga perilaku orangnya.

3. *Scenario Mode*

Tahap ini merupakan langkah dimana evakuasi dapat dilakukan sesuai dengan kondisi yang ada. Disini kita mendefinisikan pintu keluar untuk evakuasi, jarak maksimum yang mungkin dicapai, *fire hazard*, dan struktur orientasi.

4. *Simulation Mode*

Setelah menentukan geometri, populasi dan skenario maka simulasi dapat dilakukan. Untuk melakukan simulasi tahapan-tahapan sebelumnya sudah dipastikan dengan benar. Karena simulasi tidak dapat dilakukan oleh *software* jika tahapan yang lain masih ada yang salah. Dalam *simulation mode* ini juga dapat mendefinisikan data keluaran yang kita ingin lihat setelah simulasi dilakukan.

2.4.3 Enclosure

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

- *Node*

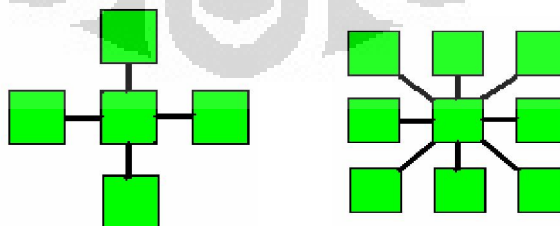
Setiap lokasi dalam grid disebut node. Pergerakan occupant ditentukan oleh geometri (enclosure) yaitu kondisi node yang akan dilewati. Node berukuran 0,5 m x 0,5 m. Setiap node dimungkinkan untuk ditempati oleh satu *occupant*. Dalam buildingEXODUS terdapat node-node yang berbeda-beda yang mempengaruhi *occupant behavior* ketika melewatinya. Tabel di bawah ini menjelaskan tentang jenis-jenis node.

Tabel 2-3. Jenis-jenis node [3]

NODE	NAMA	Deskripsi dan Pengaruh terhadap Occupant
	Free space	Merupakan node yang menggambarkan daerah bebas obstacle, ketika melewatinya occupant melewatinya dengan "fast walk"
	Landing	Node ini menghubungkan tangga, ketika melewatinya occupant melewatinya dengan "walk"
	Boundary	Merupakan node yang biasanya terdapat dekat dengan dinding ataupun obstacle, jika memungkinkan biasanya occupant menghindarinya namun jika tidak maka occupant melewatinya dengan "walk"
	Seat	Merupakan node yang menggambarkan adanya kursi atau meja, ketika melewatinya occupant dapat menghindarinya ataupun melompatinya (leap).
	Stair	Merupakan node yang menggambarkan tangga ketika melewatinya occupant akan mengurangi kecepatannya sesuai dengan arahnya naik atau turun
	Discharge	Merupakan node yang digunakan untuk memodifikasi map potensial dan mengontrol laju occupant yang melewatinya.
	Attractor	Sama dengan discharge node dan biasanya penggunaannya bersamaan.
	Census region	Merupakan node yang digunakan untuk mengumpulkan data tentang occupant yang melewatinya. Node ini tidak memberikan pengaruh terhadap occupant, jadi hanya berfungsi seperti sensor penghitung.
	Internal exit	Merupakan node yang menggambarkan exit di dalam gedung.

- *Arcs*

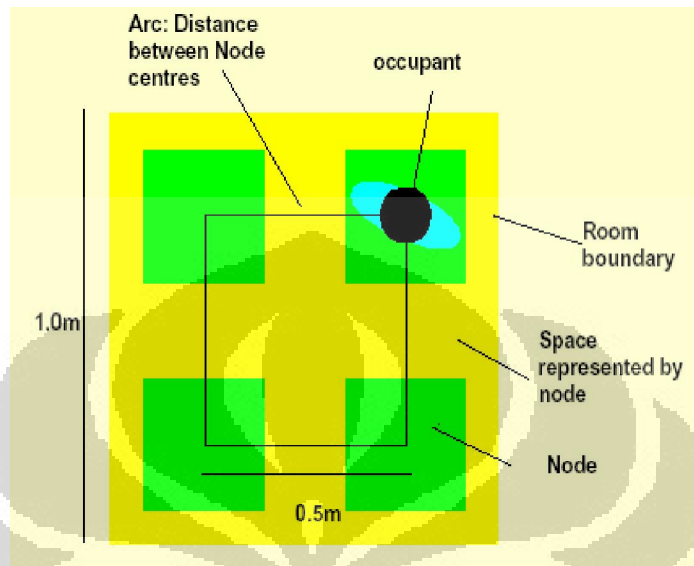
Arc didefinisikan sebagai penghubung antara tiap node dengan panjang 0.5 m. Umumnya tiap node memiliki 4 atau 8 arc. Pergerakan orang dari node satu ke node lainnya melalui arc.



Gambar 2-8. Node dengan 4 arc dan 8 arc [3]

Dua gambar di atas menggambarkan jenis-jenis hubungan arc dengan node biasanya satu node bisa dihubungkan oleh 4 arc ataupun 8 arc. Node yang dihubungkan dengan 4 arc memiliki arti bahwa occupant yang ada di dalamnya hanya

memiliki 4 arah tujuan yang dapat dilewati, jika terdapat 8 arc maka *occupant* memiliki 8 arah tujuan yang dapat dilewati



Gambar 2-9. Hubungan arc, node, occupant dan enclosure [3]

2.4.4 Occupant

Occupant merupakan orang-orang yang terdapat di dalam gedung. Setiap orang merupakan gabungan dari atribut yang dibagi ke dalam 4 kategori, yaitu fisik (seperti umur, jenis kelamin, ketangkasan), psikologi (seperti kesabaran, rangsangan), pengalaman (seperti jarak tempuh) dan pengaruh bahaya. Atribut ini bertujuan untuk mendefinisikan semua penghuni sebagai individu. Yang selanjutnya akan mempengaruhi terhadap perilakunya dalam evakuasi.

a. Atribut fisik

- Jenis kelamin dan umur

Mempengaruhi pergerakan pada tangga

- Tinggi

Mempengaruhi akibat dari bahaya api

- Pergerakan

Merupakan pengali dengan *travel speed* dan *agility* atribut ini menggambarkan kemampuan orang secara penuh, orang yang sedang sakit memiliki disability dimana nilai *mobility* < 1.0 dan orang normal memiliki *mobility* = 1.0

b. Atribut psikologi

- Drive
Menggambarkan kecekatan *occupant* ketika dalam konflik atau perebutan node, *occupant* dengan nilai drive lebih besar akan memenangkan konflik atau mendapatkan node.
- Patience (kesabaran)
Menggambarkan waktu yang dibutuhkan oleh *occupant* sebelum mengambil keputusan alternative
- Response time
Menggambarkan waktu pre-evakuasi atau dapat dikatakan menggambarkan waktu yang dibutuhkan *occupant* untuk bergerak setelah alarm berbunyi. Dapat dipengaruhi oleh asap dan temperatur.

c. Atribut Experiential

- Personal Elapsed Time (PET)
Menggambarkan waktu yang dibutuhkan oleh *occupant* untuk evakuasi
- Distance (Jarak)
Menggambarkan jarak yang ditempuh oleh *occupant* dari titik awalnya sampai pada assembly point pada saat evakuasi.
- Wait
Merupakan waktu diam antar pergerakan
- Cumulative Wait Time (CWT)
Merupakan waktu diam kumulatif

2.4.5 Movement

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

a. *Travel speed*

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

Tabel dibawah menunjukkan kecepatan tiap-tiap kondisi, pergerakan tercepat pada fast walk dan terendah pada *crawl*.

Tabel 2-4. Nilai travel speed pada berbagai mode pergerakan [3]

Travel Speed	Default Speed (m/s)
FAST WALK	1.5
WALK	1.5 * 90%
LEAP	1.5 * 80%
CRAWL	1.5 * 20%

Table dibawah menunjukkan kecepatan orang ketika menaiki dan menuruni tangga, kecepatan ketika menaiki tangga lebih rendah dari menuruni tangga karena memerlukan tenaga extra. Oleh karena itu semakin lemah orang maka kecepatan semakin rendah. Dan pada kondisi menuruni tangga, kecepatan juga lebih rendah walupun kita anggap sedang berlari karena orang harus waspada ketika turun, agar tidak terjadi kecelakaan(jatuh) yang dapat menimbulkan masalah baru yaitu terjadi macet didaerah tersebut.

Tabel 2-5. Travel speed berbagai usia dan gender pada saat menaiki dan menuruni tangga [3]

Travel Speed Attribute (Continued)

Default stair travel rate as derived from Fruin ¹

Gender	Age (Years)	Down avg (m/s)	Up avg (m/s)
Male	<30	1.01	0.67
Female	<30	0.755	0.635
Male	30 - 50	0.86	0.63
Female	30 - 50	0.665	0.59
Male	>50	0.67	0.51
Female	>50	0.595	0.485

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

Tabel 2-6. Pengaruh keterbatasan fisik terhadap pergerakan [3]

Movement Aid	Number of Subjects	Mean Travel Speed (m/s)	Mean Mobility
Elec. W/C	2	0.89	0.72
Man. W/C	12	0.69	0.56
Crutches	6	0.94	0.76
Walking Stick	33	0.81	0.65
Walking Frame	5	0.51	0.42
Rollator	5	0.61	0.49
No Aid	52	0.93	0.75
No Disability	19	1.24	1.0

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

b. Behavior

Tingkah laku dibagi menjadi 2 yaitu,

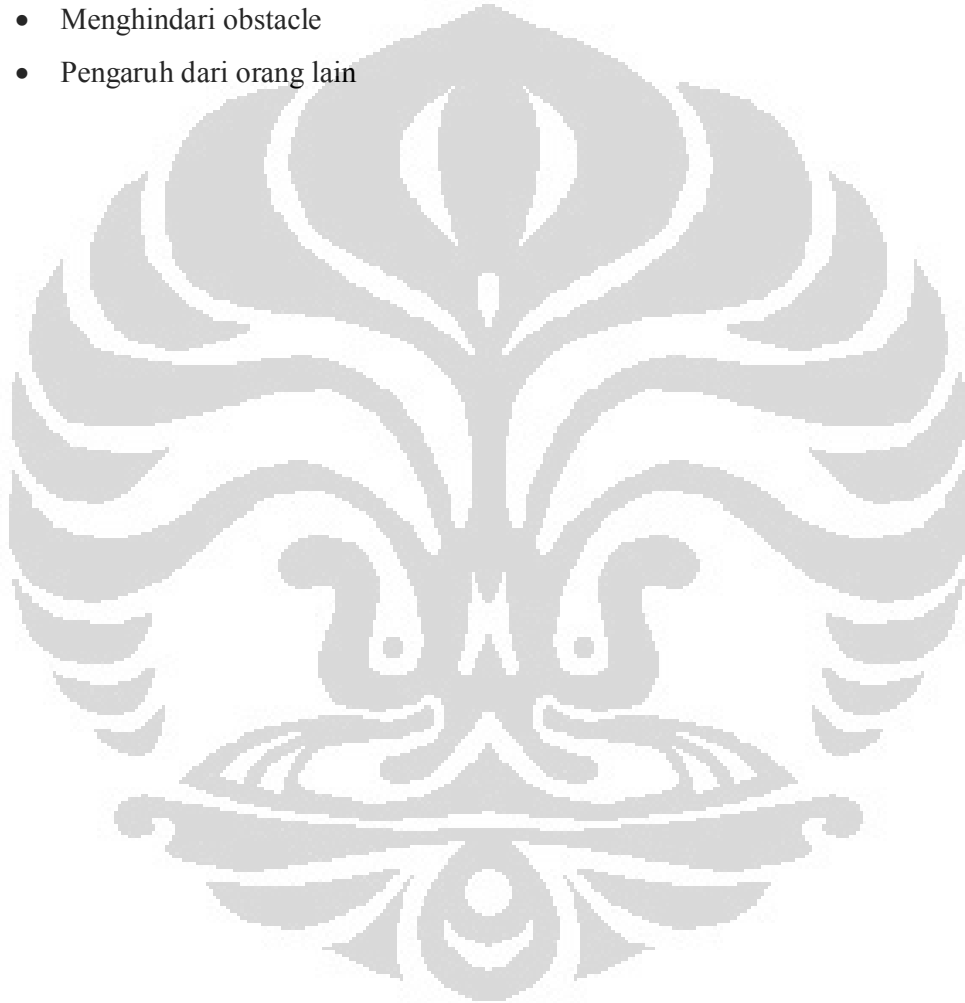
1. Global

- Gerakan orang ke pintu keluar terdekat
- Lebih condong pergi ke pintu keluar yang diketahui (pada banyak pintu keluar)

- Penggunaan beberapa pintu exit secara bersamaan

2. Local

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



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengambilan data di lapangan dengan melakukan survey ke lokasi untuk mendapatkan data-data layout gedung, denah lokasi, ukuran tangga, koridor dan data teknis yang dibutuhkan lainnya. Tahapan berikutnya adalah dengan pembuatan model simulasi menggunakan *BuildingEXODUS*. Pemodelan dibuat dengan membuat 5 variasi skenario yang berbeda yaitu :

1. Skenario 1 : Pemodelan dibuat tanpa merubah rute evakuasi, sehingga occupant bergerak menuju tangga atau pintu evakuasi terdekat
2. Skenario 2 : Pemodelan dibuat dengan merubah rute evakuasi 1 kelas yang berada di lantai 3 gedung sekolah
3. Skenario 4 : Pemodelan dibuat dengan mengasumsikan keadaan salah satu tangga evakuasi tidak dapat digunakan (*collapse*) yaitu tangga 1, namun tidak memberikan efek dari *fire hazard*
4. Skenario 5 : Pemodelan dibuat dengan mengasumsikan keadaan salah satu tangga evakuasi tidak dapat digunakan (*collapse*) yaitu tangga 2, namun tidak memberikan efek dari *fire hazard*
5. Skenario 5 : Pemodelan dibuat dengan merubah geometri tangga di tangga evakuasi 1, 2, dan 3 menjadi 2.5 m.

Waktu evakuasi yang di ukur pada penelitian ini adalah waktu dimana alarm (peringatan tanda bahaya dibunyikan) sampai dengan waktu *occupant* terakhir melakukan evakuasi menuju *assembly point*. *Response time* yang dibutuhkan occupant untuk melakukan evakuasi didalam pemodelan adalah 1 – 30 detik (default). Tiap occupant membutuhkan waktu respon yang berbeda dalam melakukan evakuasi.

Pengambilan data Gedung Sekolah :



Gambar 2-10. Gedung Sekolah Menengah Atas

Data gedung sekolah :

1. Keadaan Gedung : Permanen
2. Luas Tanah : 6600 m²
3. Luas Bangunan : 6000 m²
4. Ketinggian Bangunan : 3 lantai
5. Ruang Kelas lantai 1 : 17 kelas (1260 m²)
6. Ruang Kelas lantai 2 : 3 kelas (216 m²)
7. Ruang Kelas lantai 3 : 15 kelas (1107 m²)

Gedung ini memiliki 4 tangga utama yang menghubungkan 3 lantai gedung yang ada. Rata-rata kelas berukuran 9x8 m (kelas normal) dan lebar koridor yang ada di dalam gedung bervariasi antara 2m -3m. *Assembly point* berada di lapangan olah raga dan halaman parkir yang berada di dalam gedung .

3.1.1 Tangga



Gambar 2-11. Bentuk Tangga di Gedung Sekolah

Geometri Tangga

1. Lebar Tangga : 1.25-1.3 m (dihitung dari *hand rail* – dinding)
2. Drop Tangga : 8 cm
3. jumlah Anak Tangga : 10-11 buah
4. *Lane pad* : 2.8 m x 1.5 m

3.1.2 Pintu Kelas



Pintu kelas memiliki lebar 1.5 m dengan bukaan arah pintu keluar. Pada kondisi normal salah satu bagian pintu terkunci . Dalam keadaan terbuka pintu kelas ini dapat dilalui 2-3 orang dalam waktu bersamaan.

3.1.3 Pintu Evakuasi



Gambar 2-12. Pintu evakuasi 2 dan 3



Gambar 2-13. Pintu Evakuasi 1 dan 4

Terdapat 4 pintu utama jalur evakuasi yang ada gedung sekolah ini. Ke 3 pintu (pintu 1, 2 dan 3) merupakan jalur evakuasi yang terletak berdekatan dengan tangga utama. Sedangkan pintu evakuasi 4 adalah akses jalur keluar yang tepat berada di depan salah satu kelas yang berdekatan dengan pintu 1 evakuasi . Pintu evakuasi 1,2,3 terdapat pagar penutup yang dalam kondisi normal selalu berada dalam posisi terbuka.

3.1.4 Koridor



Gambar 2-14. Koridor di Gedung Sekolah

Koridor yang terdapat di dalam gedung sekolah tidak memiliki lebar yang sama di tiap lantainya. Ukuran koridor yang terkecil adalah 1.4m dan terbesar 3.1 m. Rata-rata koridor yang digunakan dalam gedung sekolah ini adalah koridor dengan lebar 2.5 m.

3.1.5 Assembly Point

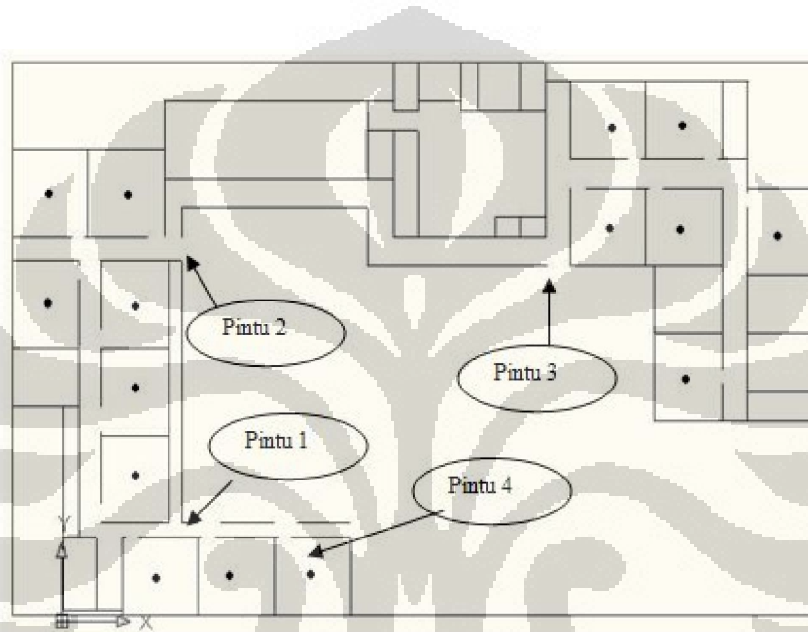


Gambar 2-15. Lapangan olahraga sebagai Assembly Point

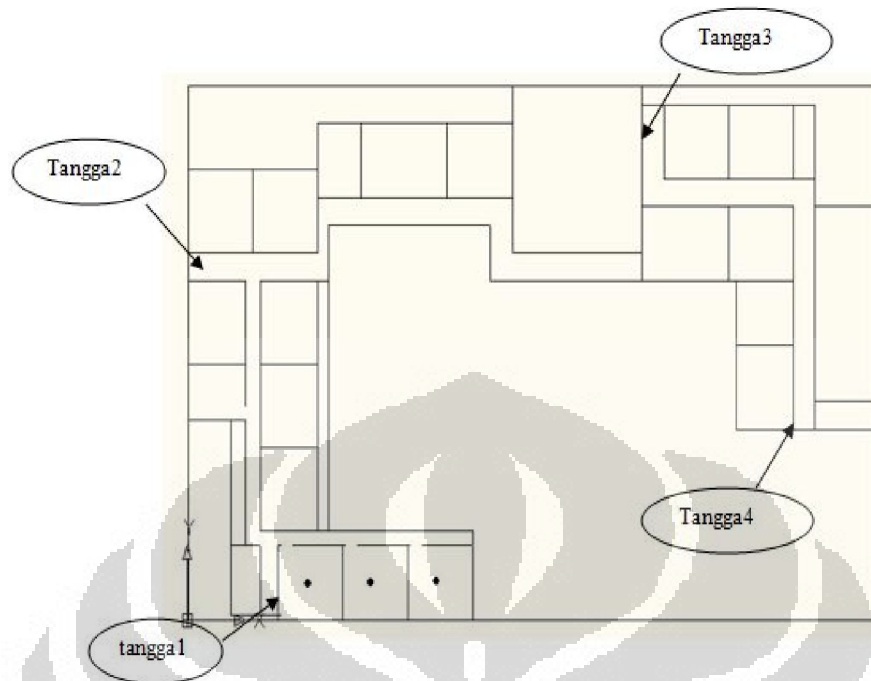
Assembly point pada penelitian ini adalah lapangan olahraga yang berukuran 2.165 m² dan area parkir yang tepat berada di sisi lapangan olahraga.

3.2 Pemodelan

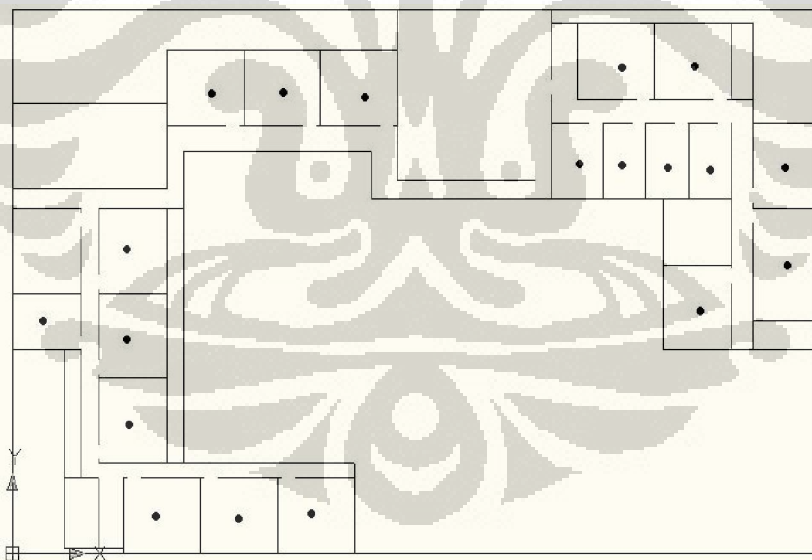
Pada tahap ini pemodelan gedung sekolah dibuat dengan menggunakan AutoCad 2009 , data yang diambil diperoleh dari pihak sekolah yang meliputi geometri bangunan, luas tanah dan lokasi bangunan . Data tersebut adalah data aktual yang sudah dikerjakan oleh staf pembangunan gedung tersebut dan data geometri gedung tersebut diberikan dalam bentuk hardcopy. *(Gambar denah gedung terlampir)



Gambar 2-16. Layout lantai 1 titik-titik kelas dan pintu evakuasi

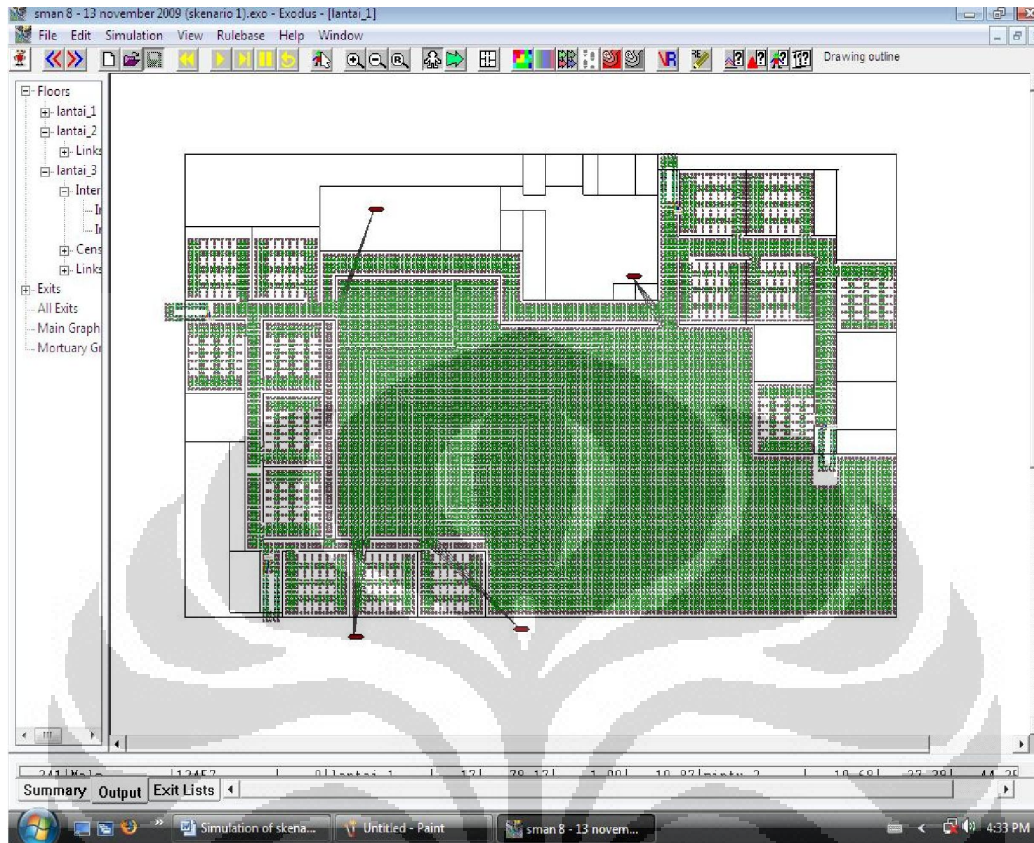


Gambar 2-17. Layout lantai 2 titik titik kelas, dan 4 titik tangga



Gambar 2-18. Layout lantai 3 dan titik-titik kelas

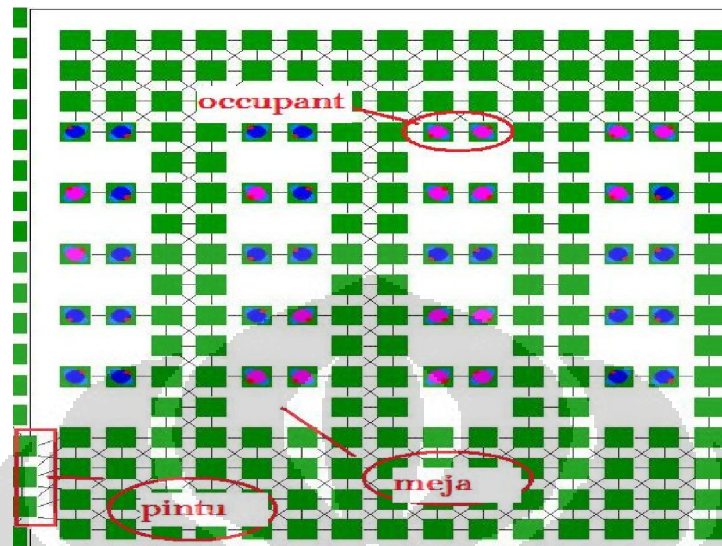
3.2.1 Pemodelan Menggunakan *BuildingExodus*



Gambar 2-19. Tampilan Pemodelan dengan Free node pada Exodus

Denah lokasi yang dibuat menggunakan AutoCad (.dxf) kemudian menjadi input di dalam pemodelan Exodus . Node-node hanya akan diberikan pada ruang kelas, koridor, jalur evakuasi yang bisa di lalui dan assembly point, sedangkan ruang ruang lainya yang berada di dalam gedung sekolah tidak di berikan node. Terdapat 4 pintu evakuasi dan 4 tangga utama yang akan menjadi akses dari lantai ke lantai di dalam gedung sekolah .

3.2.2 Pemodelan kelas



Gambar 2-20. Pemodelan kelas dengan node dan Boundary di Exodus

Ukuran kelas normal yang digunakan pada pemodelan adalah ruangan dengan geometri 9m x 8m, lebar pintu sebesar 1.5m yang di definisikan pintu terbuka dengan menggunakan *free node* sebanyak 3 buah yang diartikan sebagai lebar jalan 1.5m yang dapat dilalui 2-3 orang. Di depan tempat duduk occupant di tidak diberikan *node* berukuran 1m x 1m yang di definisikan sebagai meja kelas, tujuannya adalah mendefinisikan ukuran 1m x 1m sebagai *obstacle* (sebuah penghalang yang dapat menurunkan *travel speed*). Jumlah occupant rata-rata yang berada di dalam ruang kelas (kelas normal) pada pemodelan sebanyak 40 orang (sesuai dengan data jumlah siswa yang didapat oleh pihak sekolah). *Gender occupant* pada pemodelan juga di buat sesuai dengan data yang di dapat .

3.2.3 Physical Attribute

Fungsi input data dari physical attribute pada Building Exodus adalah untuk membedakan karakteristik dari masing masing individu . Pada dasarnya physical attribute meliputi *Gender, Age, Height* dan *Weight*. Input data pada tahap ini sangat penting karena akan mempengaruhi karakteristik individu pada saat melakukan evakuasi seperti *drive, agility, travel speed* dan lain-lain. Di dalam pemodelan penelitian ini, distribusi umur yang digunakan adalah antara 17 -20 tahun, tinggi badan *occupant* laki laki adalah 1.5m -1.8m sedangkan perempuan adalah 1.5m –

1.65m. Pada skenario menggunakan *Hazzard*, tinggi occupant tidak mempengaruhi pergerakan dan kecepatan evakuasi, karena pada pemodelan ini tidak menggunakan *hazard* yang dibuat di CFAST atau SmartFire.

Population Panel			
1_a_cowo	No. People: 17	Mobility: 1.000	Default
Travel Speeds			
Psychological Attrib.			
	Min	Max	
Response Time (s) :	0	30	Default
Drive :	5	15	Default
Patience (s) :	1	5	Default
Toxicity Attributes			
Physical Attrib.			
Age (years) :	17	20	Default
Weight (kg) :	50	80	Default
Height (m) :	1.500	1.800	Default
Agility :	3	7	Default
Gender: Male	OK	Save	Cancel Advanced

Gambar 2-21. Physical Attribute laki-laki

Population Panel			
1_a_cewe	No. People: 23	Mobility: 1.000	Default
Travel Speeds			
Psychological Attrib.			
	Min	Max	
Response Time (s) :	0	30	Default
Drive :	1	10	Default
Patience (s) :	1	5	Default
Toxicity Attributes			
Physical Attrib.			
Age (years) :	17	20	Default
Weight (kg) :	45	65	Default
Height (m) :	1.500	1.650	Default
Agility :	2	5	Default
Gender: Female	OK	Save	Cancel Advanced

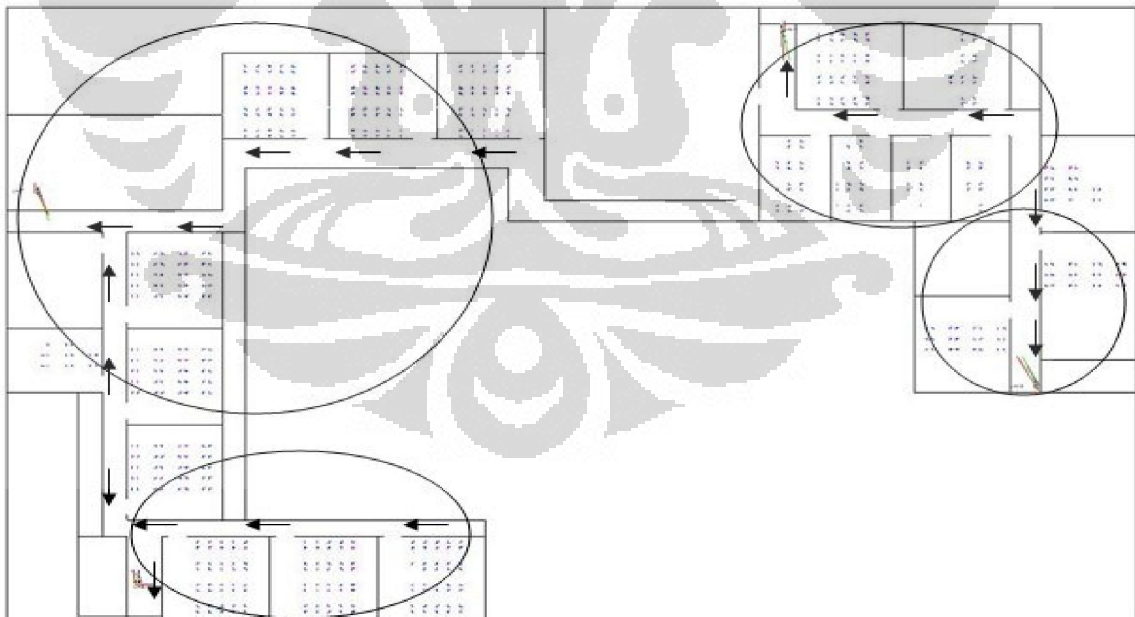
Gambar 2-22. Physical Attribute Perempuan

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa skenario dalam pemodelan evakuasi untuk memvariasikan berbagai keadaan darurat yang terjadi di gedung sekolah . Skenario terbagi menjadi 2 pemodelan yaitu skenario 1 dan 2 yang merupakan pemodelan evakuasi dengan 4 akses tangga yang dapat digunakan, skenario 3 dan 4 merupakan pemodelan evakuasi dengan adanya kondisi bahaya yang terjadi di tangga gedung sekolah sehingga tidak dapat dilalui occupant untuk melakukan evakuasi . Pemodelan yang terakhir dibuat untuk usulan perbaikan yang dapat dilakukan dengan memperlebar tangga gedung sekolah.

4.1 Skenario 1

Pada sekenario ini , evakuasi dilakukan tanpa merubah rute evakuasi di lantai 3 gedung sekolah. Artinya evakuasi yang dilakukan occupant dalam pemodelan adalah pergerakan darurat menuju *nearest door* atau tangga evakuasi terdekat .



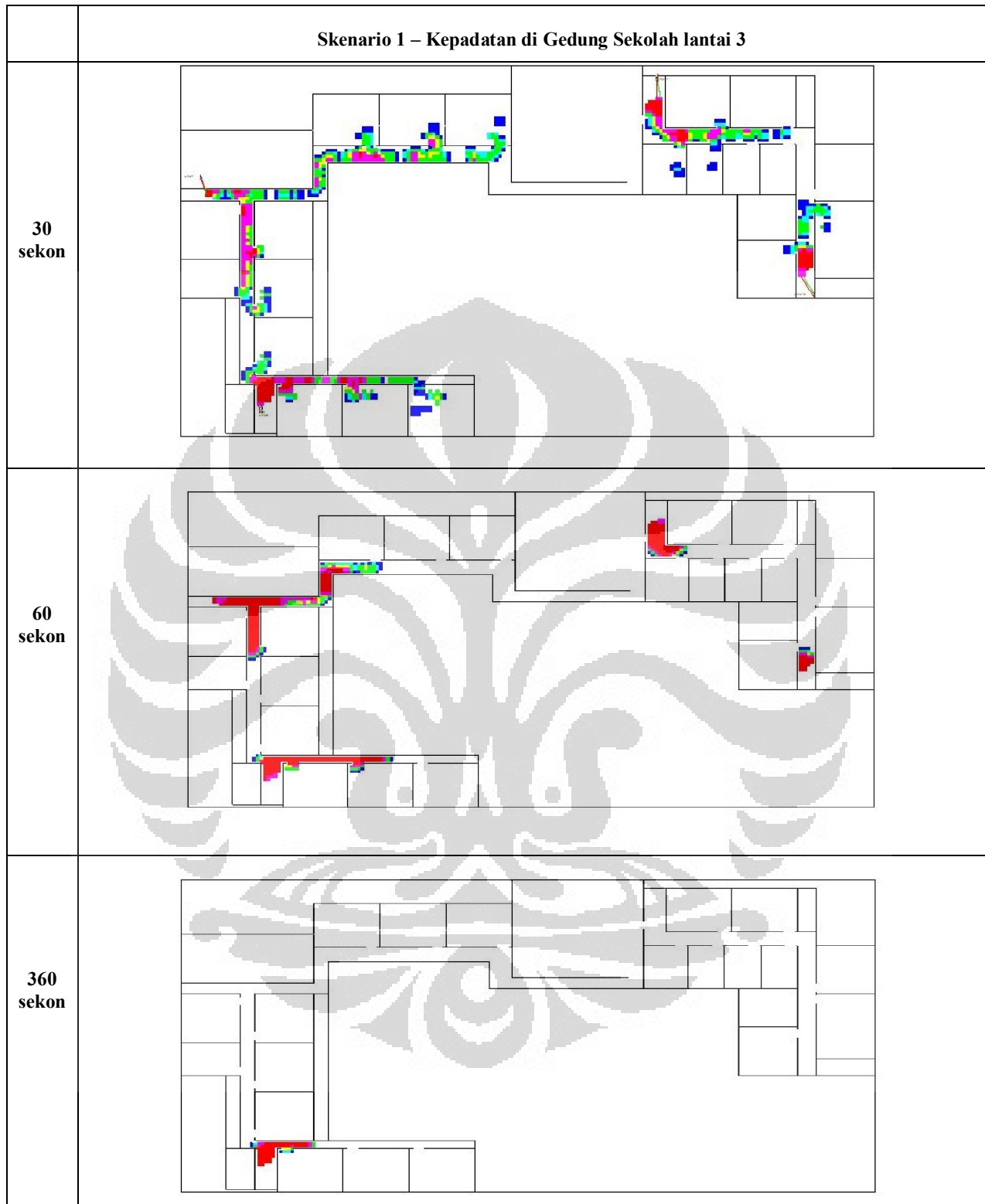
Gambar 2-23.Rute evakuasi skenario 1 lantai 3

Pada skenario 1, terdapat 4 kelas yang melakukan rute evakuasi menuju tangga terdekat yang merupakan akses ke lantai 2 dan 1. Pada evakuasi ini terdapat kepadatan di tangga dan di koridor lantai 3. Kepadatan ditangga terjadi karena adanya bentrokan antrian yang dilakukan *occupant* dari lantai 2 menuju lantai 1 dengan akses tangga yang sama. Jumlah *occupant* yang berasal dari 4 kelas tersebut melalui tangga 1 sebanyak 159 siswa sedangkan. Sedangkan tangga 2 digunakan sebanyak 215 siswa. Total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan evakuasi pada skenario ini adalah **13 menit 44 detik**. Waktu yang dibutuhkan *occupant* untuk mengosongkan lantai 3 pada skenario ini adalah 9 menit 48 detik. Waktu yang lama ini terjadi di tangga 1 yang digunakan oleh 374 orang yang membuat densitas di tangga 1 ini tinggi.

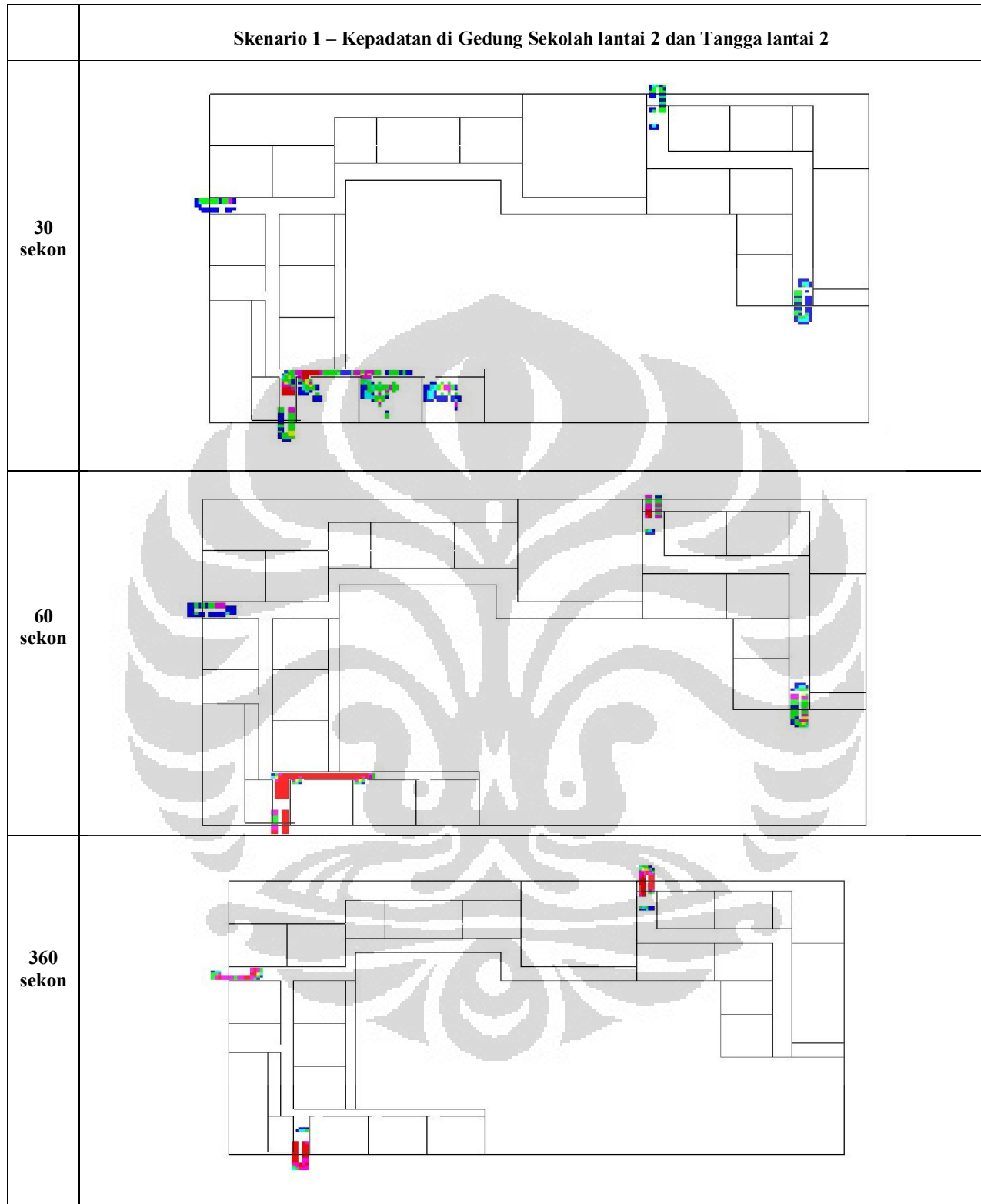
Pada titik tangga 3 dan 4, rute dan evakuasi dilakukan menuju tangga terdekat dari masing-masing kelas. Waktu yang dibutuhkan *occupant* untuk mengosongkan lokasi ini adalah 5 menit 10 detik, tangga 3 di gunakan oleh 138 *occupant* yang berasal dari 6 kelas sedangkan tangga 4 digunakan oleh 67 *occupant* yang berasal dari 3 kelas.

Tabel 2-7. Kinerja Evakuasi Skenario 1

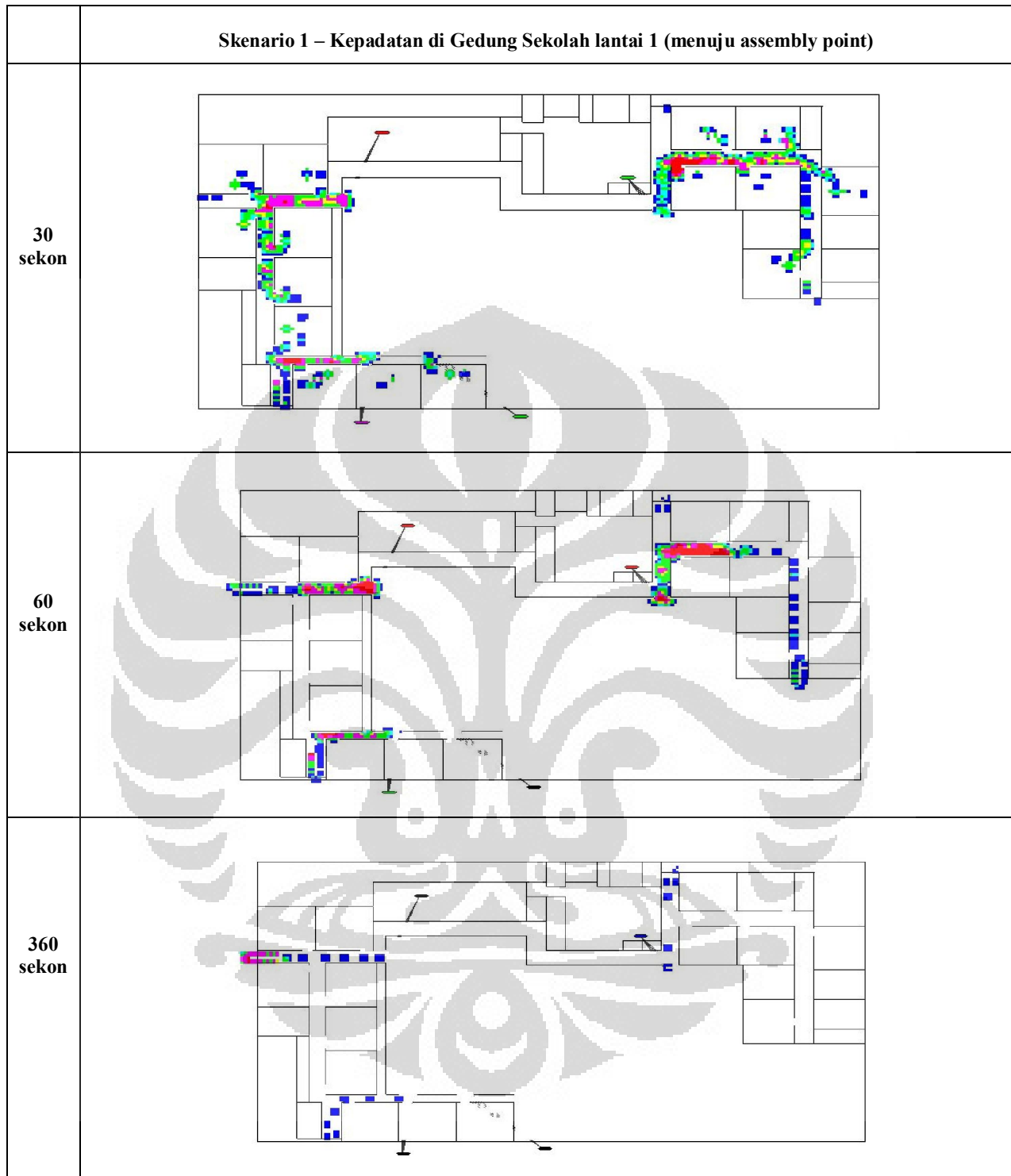
	Beban occupant	Waktu evakuasi orang pertama (s)	Waktu evakuasi orang terakhir (s)
Pintu 1 Evakuasi	392	11.65	806.96
Pintu 2 Evakuasi	415	11.44	493.69
Pintu 3 evakuasi	422	15.01	589.75
Pintu 4 Evakuasi	41	11.45	40.80



Gambar 2-24. Kepadatan Lantai 3 skenario 1



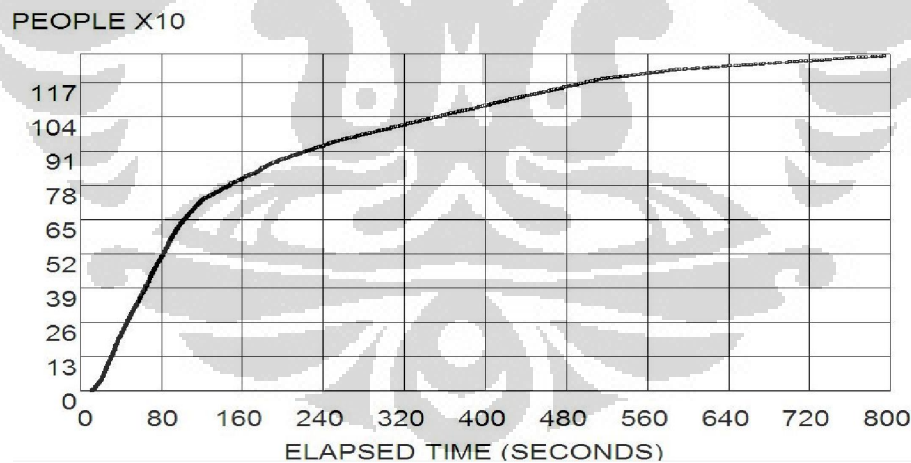
Gambar 2-25. Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 2 dan Tangga lantai 2



Gambar 2-26. Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 1 (menuju

Dari ketiga gambar diatas, menunjukan koridor dan tangga merupakan lokasi yang memiliki densitas tertinggi pada saat evakuasi berlangsung. Pada detik ke 60 di gedung lantai 3 , semua *occupant* berada di koridor dan terjadi antrian yang sangat panjang , Terutama di tangga 2 dan tangga 1 yang mempunyai beban *occupant* yang sangat banyak. Antrian terkahir berada di tangga 1, hal ini dikarenakan terjadinya bentrokan dengan *occupant* di lantai 2 yang hanya menggunakan tangga 1 untuk melakukan evakuasi . Gedung lantai 3 dapat dikosongkan saat evakuasi berjalan selama 588 detik.

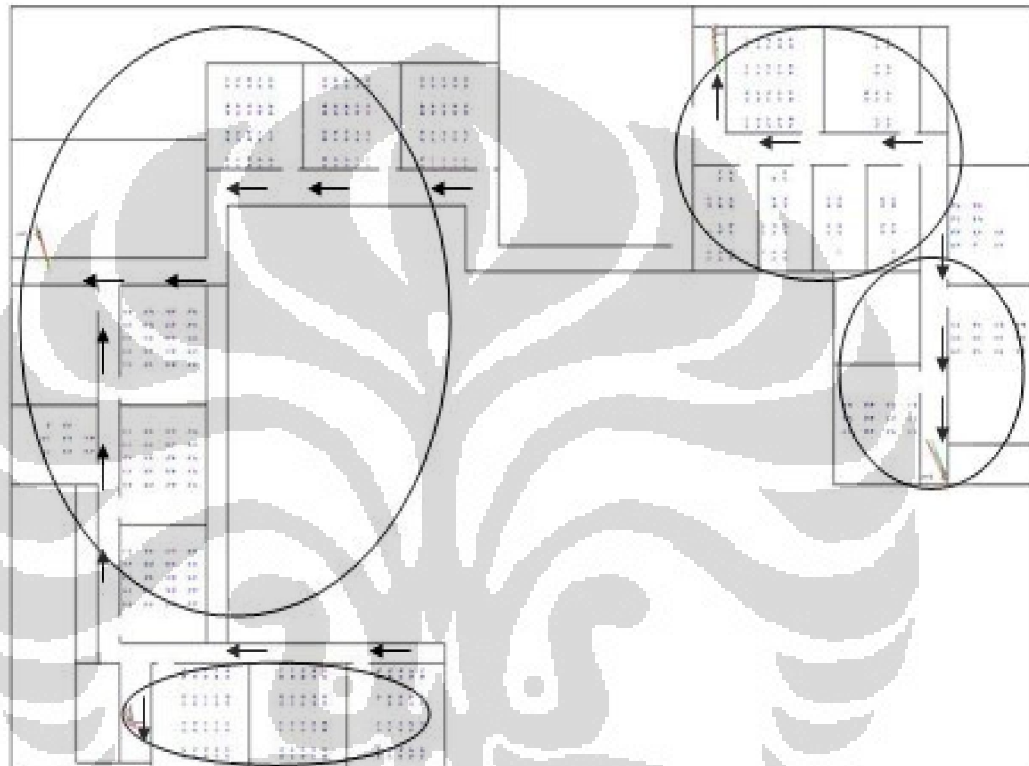
Pada Gedung lantai 2, hanya 1 koridor yang digunakan *occupant* untuk melakukan evakuasi, tangga 1 merupakan akses terdekat untuk melakukan evakuasi . gedung lantai 2 dapat dikosongkan seutuhnya saat evakuasi berlangsung 13 menit 07 detik. Sedangkan di lantai 1. Koridor juga memiliki densitas tinggi . Tetapi pada saat evakuasi berlangsung 6 menit, densitas di lantai 1 menurun, karena kepadatan masih terjadi di tangga gedung sekolah . Pada skenario ini pintu evakuasi 1,2 dan 3 merupakan akses terbanyak yang digunakan untuk evakuasi, karena pintu evakuasi 4 hanya digunakan 40 orang yang tepat berada di depan ruang kelas.



Gambar 2-27.Grafik total waktu evakuasi

4.2 Skenario 2

Pada dasarnya rute evakuasi skenario 2 hampir sama dengan skenario 1, perubahan skenario 2 adalah hanya merubah rute 1 kelas (40 *occupant*) menuju akses tangga 2 pada saat evakuasi untuk menghindari densitas yang terlalu tinggi di tangga 1.



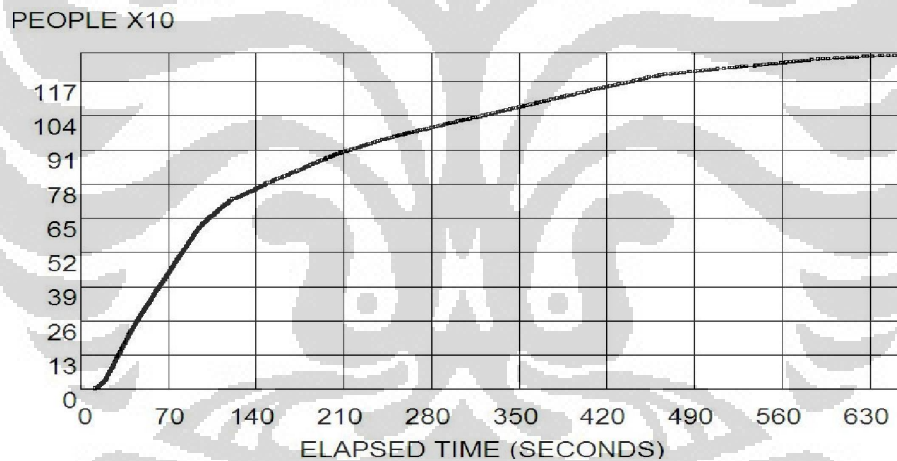
Gambar 2-28. Rute evakuasi lantai 3 skenario 2

Di dalam skenario ini, tangga 1 hanya digunakan oleh 119 *occupant* yang sebelumnya dilewati oleh 159 *occupant*, sedangkan tangga 2 digunakan oleh 215 *occupant*. Rute evakuasi tangga 3 dan 4 sama dengan skenario 1 (evakuasi dilakukan menuju tangga terdekat), Total waktu evakuasi yang didapat pada skenario ini adalah **10 menit 42 detik**. Hal ini bisa terjadi karena pada skenario 2 tangga 1 tidak digunakan sebanyak seperti pada skenario 1 sehingga antrian yang terjadi di tangga menjadi singkat. Evakuasi terakhir yang dilakukan *occupant* di lantai 3 adalah pada detik ke 419.25. Waktu ini menunjukkan selisih yang sangat jauh dengan skenario 1 yaitu pada detik ke 588. Tangga 2 yang hanya digunakan oleh 215 *occupant* dari

lantai 3 mengalami pemunduran waktu dari skenario sebelumnya dari 348,7 detik menjadi 403.92 detik. Hal ini terjadi karena beban occupant yang diterima tangga 2 menjadi lebih banyak .

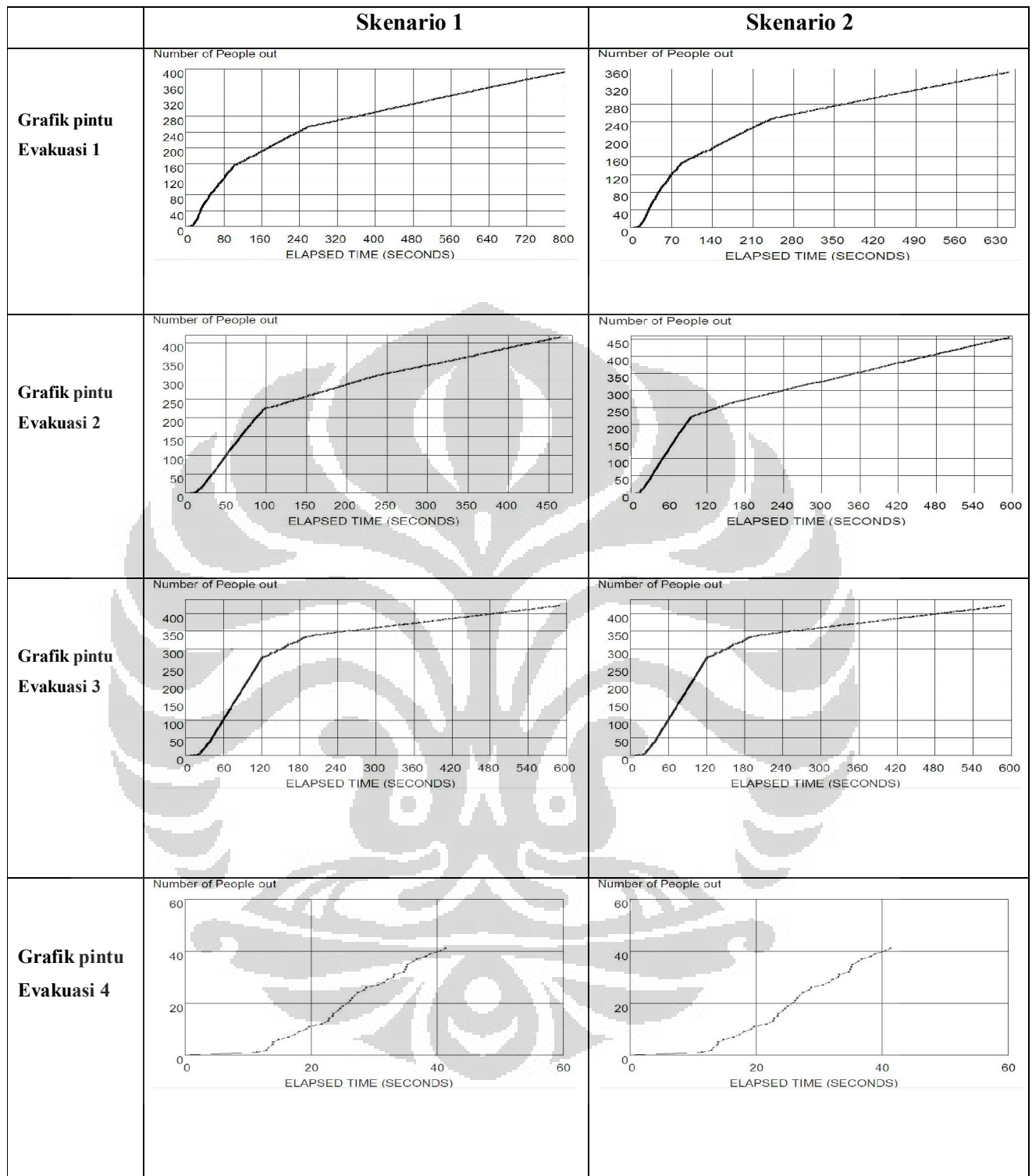
Tabel 2-8. Kinerja Evakuasi Skenario 2

	Beban occupant	Waktu evakuasi orang pertama (s)	Waktu evakuasi orang terakhir (s)
Pintu 1 Evakuasi	352	11.65	642.28
Pintu 2 Evakuasi	455	13.12	593.96
Pintu 3 evakuasi	422	15.01	588.77
Pintu 4 Evakuasi	41	11.66	41.87



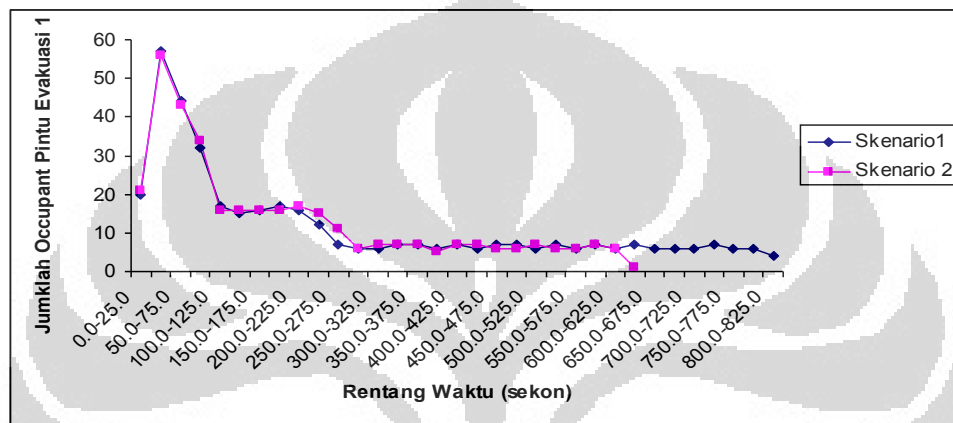
Gambar 2-29. Grafik Total Waktu Evakuasi Skenario 2

Gambaran kepadatan yang terjadi di titik-titik lokasi skenario 2 hampir sama dengan kepadatan yang terjadi di skenario 1, namun total waktu evakuasi yang diperoleh pada skenario 2 lebih cepat 3 menit 2 detik dibandingkan dengan skenario 1.

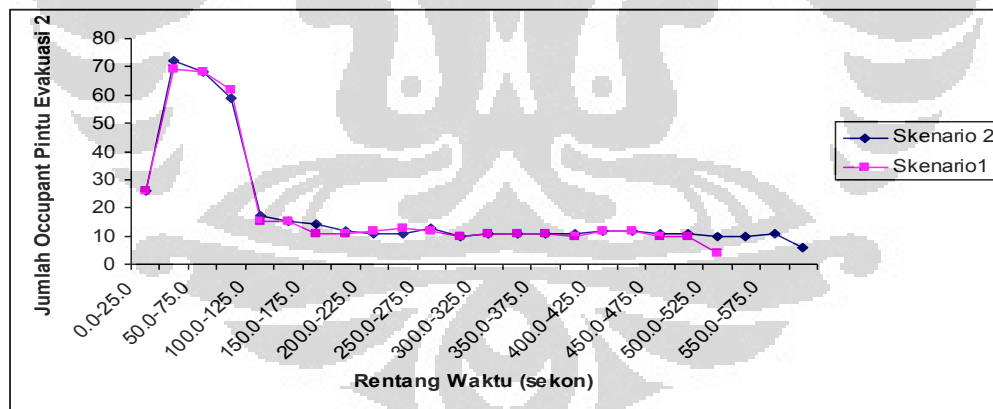


Gambar 2-30. Grafik Building Exodus - Evaluasi 4 Pintu Evakuasi skenario 1 dan 2

Dari evaluasi hasil grafik diatas, menunjukan bahwa pada menit menit awal berjalannya evakuasi , jumlah *occupant* yang sudah melakukan evakuasi menunjukan jumlah yang banyak. Hal ini terjadi karena letak pintu evakuasi yang berdekatan dengan ruang kelas di lantai 1 sehingga dapat di akses dengan cepat. Pada pintu evakuasi 1 dan 2 , grafik mulai linear pada detik ke 80-90, ini dikarenakan kepadatan mulai terjadi di sepanjang koridor lantai 3 dan tangga-tangga evakuasi maka grafik jumlah *occupant* mulai bergerak secara perlahan .



Gambar 2-31. Grafik Jumlah Occupant melakukan Evakuasi tiap 25 detik – Skenario 1 dan 2



Gambar 2-32. Grafik Jumlah Occupant melakukan Evakuasi tiap 25 detik - skenario 1 dan 2

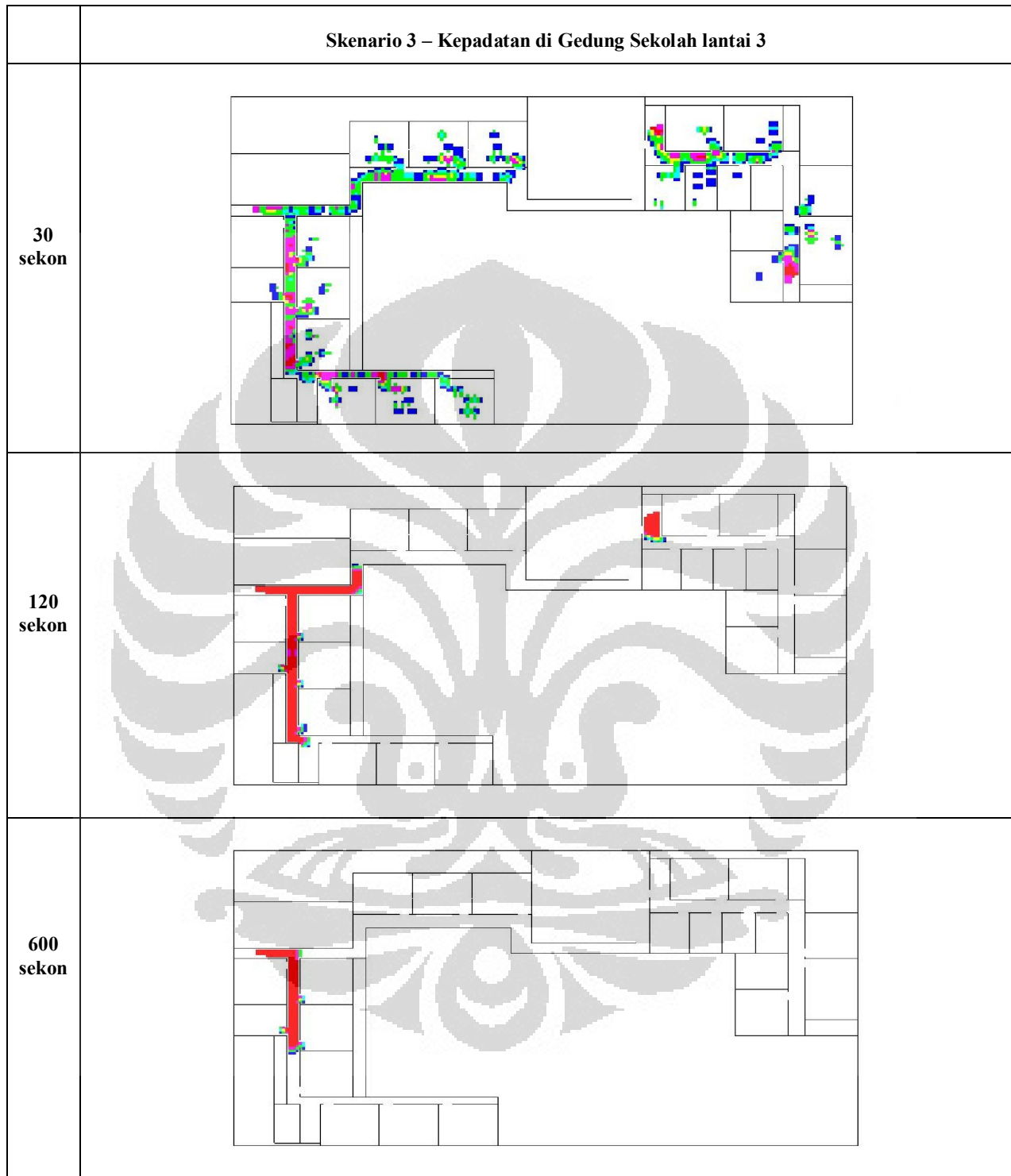
Densitas yang tinggi di koridor koridor gedung dan tangga menyebabkan adanya selisih waktu yang jauh antara kecepatan *occupant* di lantai 1 untuk melakukan evakuasi dibandingkan dengan *occupant* yang berada di lantai 2 dan 3, hal ini menyebabkan jumlah *occupant* yang melakukan evakuasi per waktu nya menjadi sedikit pada menit menit akhir.

4.3 Skenario 3

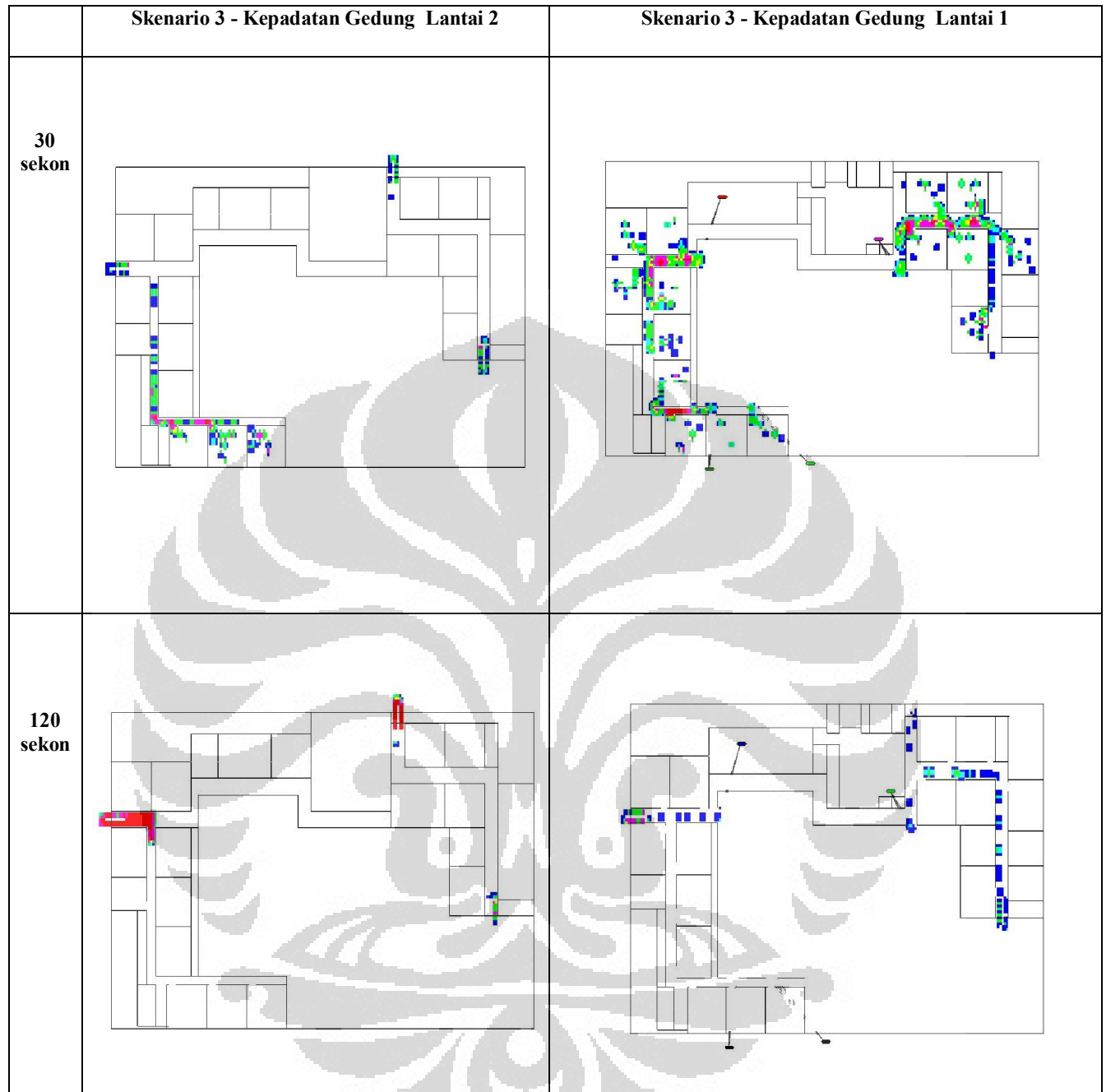
Skenario ini dibuat dengan asumsi tangga 1 tidak dapat digunakan karena adanya bahaya asap, kebakaran, dengan waktu yang singkat sehingga tangga tidak dapat di akses oleh occupant dari lantai 3 dan lantai 2 menuju lantai 1, seluruh occupant dengan total 374 orang hanya dapat melalui akses tangga 2 untuk melakukan evakuasi. Pada skenario ini, pintu 2 evakuasi menjadi pintu yang memiliki beban occupant terbanyak, sedangkan pintu 1 hanya dilewati occupant yang berada di lantai 1 gedung sekolah. Total waktu evakuasi yang dibutuhkan pada skenario ini adalah **19 menit 8 detik** . waktu yang sangat lama dibutuhkan untuk mengosongkan lantai 3 yaitu pada detik ke 944 (15 menit 44 detik).

Tabel 2-9.Kinerja Evakuasi skenario 3

	Beban occupant	Waktu evakuasi orang pertama (s)	Waktu evakuasi orang terakhir (s)
Pintu 1 Evakuasi	114	11.65	72.84
Pintu 2 Evakuasi	693	11.44	1148.43
Pintu 3 evakuasi	422	15.01	589.75
Pintu 4 Evakuasi	41	11.45	41.49



Gambar 2-33.Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 3 - skenario 3



Gambar 2-34. Kepadatan di Gedung Sekolah lantai 1 dan 2 - skenario 3

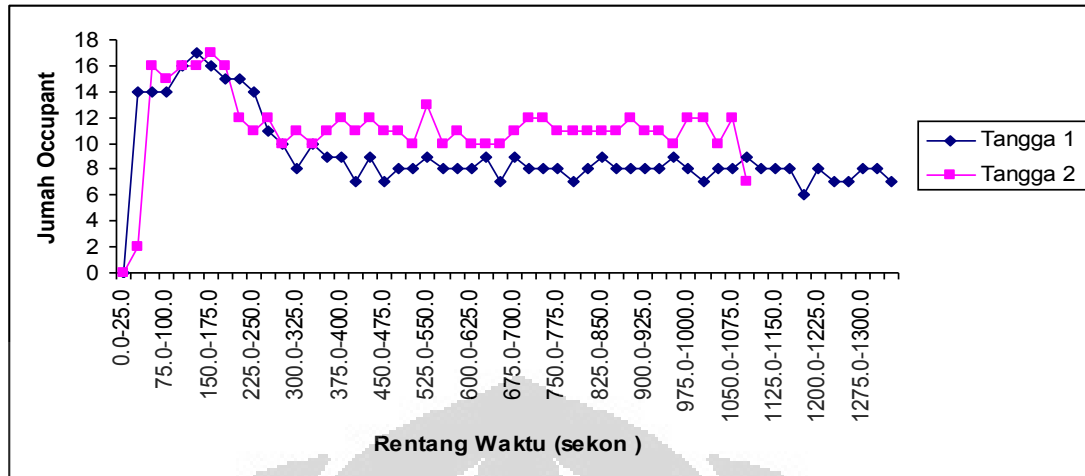
4.4 Skenario 4

Skenario 4 pada pemodelan memiliki asumsi yang serupa dengan skenario 3, namun pada skenario 4 tangga 2 tidak dapat digunakan atau tidak berfungsi. Pada keadaan sesungguhnya (keadaan dilapangan), tangga 2 lebih memiliki resiko yang lebih tinggi untuk tidak dapat digunakan pada saat evakuasi, karena kondisinya yang berdekatan dengan koridor koridor laboratorium IPA dan ruang *workshop*. Tangga 1 memiliki resiko collapse yang lebih kecil karena letak tangga ini hanya berdekatan dengan koridor-koridor ruang kelas. 374 occupant yang berada di lantai 3 melakukan evakuasi menggunakan tangga 1. Kondisi ini merupakan kondisi terpadat dan membutuhkan waktu untuk mengosongkan lantai 3 terlama dari semua skenario yaitu 1106.15 detik (18 menit 26 detik). Seperti yang sudah dibahas pada skenario sebelumnya, antrian yang panjang dan densitas yang tinggi terjadi karena bentrokan dengan occupant yang ada di lantai 2. Total waktu yang dibutuhkan di dalam skenario ini adalah **1268.82 detik (21 menit 8 detik)**.

Tabel 2-10.Kinerja Evakuasi Skenario 4

	Beban occupant	Waktu evakuasi orang pertama (s)	Waktu evakuasi orang terakhir (s)
Pintu 1 Evakuasi	607	11.65	1268.82
Pintu 2 Evakuasi	200	11.73	85.79
Pintu 3 evakuasi	422	15.01	589.75
Pintu 4 Evakuasi	41	11.45	41.49

Secara umum gambaran Kepadatan yang terjadi hampir sama, namun pada skenario ini waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi lebih lama dibandingkan dengan skenario 4. Dari hasil pemodelan dapat di lihat bahwa dalam keadaan darurat, resiko tangga 2 tidak dapat digunakan untuk evakuasi lebih tinggi dari tangga 1 tidak dapat digunakan. hal ini terlihat dari selisih waktu skenario 3 lebih cepat 120 detik (2 menit) dibandingkan dengan skenario 4.



Gambar 2-35. Kinerja Tangga 1 vs Tangga 2

Grafik diatas menunjukkan kinerja tangga 1 dibandingkan dengan tangga 2 dengan jumlah *occupant* yang sama yaitu 493 orang. Waktu yang dibutuhkan merupakan waktu dari lantai 3 menuju lantai 1. Evakuasi dengan pemodelan 3 dan 4 dapat menunjukkan kinerja kedua tangga tersebut, Hal ini juga dapat disebabkan oleh geometri tangga. Lebar tangga 2 lebih lebar dibandingkan tangga 1, sesuai data yang di dapat pada pengambilan data, yaitu :

	Lebar Tangga 1 (meter)	Lebar Tangga 2 (meter)
lantai 3-2	1.2	1.35
lantai 2-1	1.1	1.25

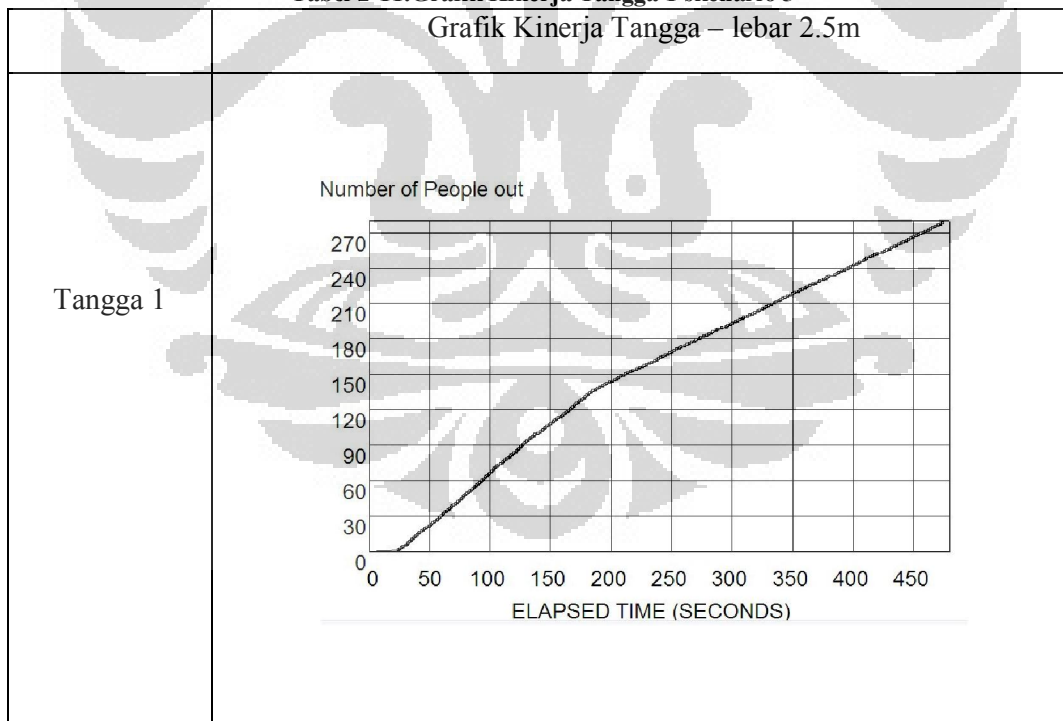
Pada pemodelan menggunakan BuildingEXODUS, pengaruh lebar tangga yang ditunjukkan pada nilai *arcs* mempengaruhi nilai kecepatan saat melewati tangga (*stair up, stair down*).

4.5 Skenario 5 (lebar tangga 2m)

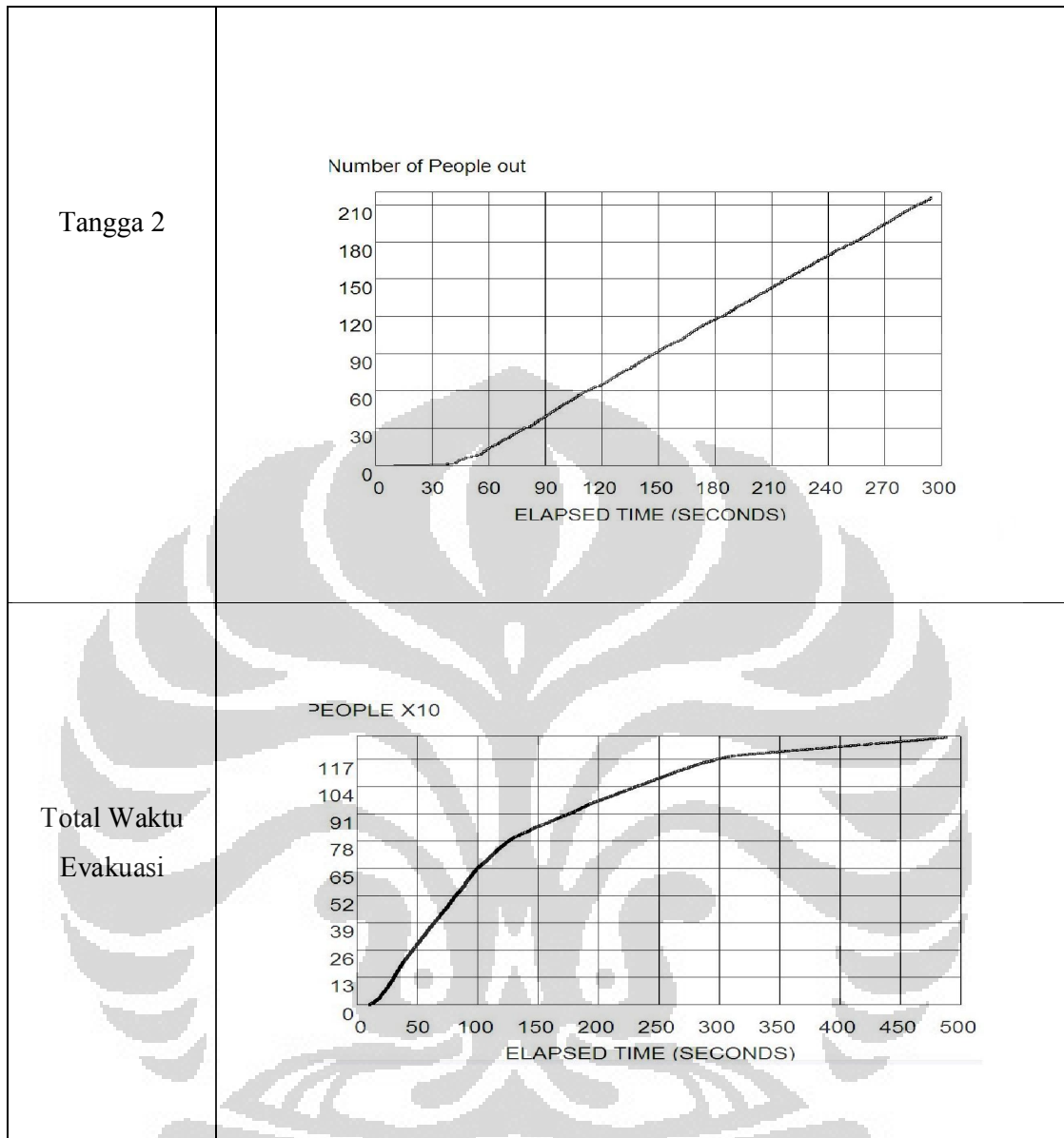
Skenario terakhir pada pemodelan adalah skenario untuk saran atau saran perbaikan yang di dapat dari hasil pemodelan . Skenario kali ini dibuat dengan cara memperlebar ukuran tangga yang ada di gedung sekolah. Input data lebar tangga yang digunakan pada pemodelan adalah ukuran yang di dapat dari pengambilan data, lebar tangga pada gedung sekolah yang diteliti pun berbeda beda yaitu antara 1.1m – 1.35 m. Skenario ini dilakukan dengan melihat hasil dari skenario sebelumnya yang menunjukkan bahwa tangga merupakan titik dengan densitas yang tinggi pada saat evakuasi berlangsung. Pada pemodelan kali ini lebar tangga dibuat menjadi 2 m di tangga 1, 2, 3. Tangga 4 tidak dilakukan perubahan geometri karena hanya sedikit *occupant* yang menggunakannya.

Dari pemodelan ini, total waktu evakuasi yang didapat menunjukkan perbedaan waktu yang jauh dari ske empat skenario sebelumnya yaitu **487,55 detik (8 menit 7 detik)** . Ketiga tangga dengan lebar 2 m menunjukkan kinerja yang lebih baik dari sebelumnya.

Tabel 2-11. Grafik Kinerja Tangga 1 skenario 5



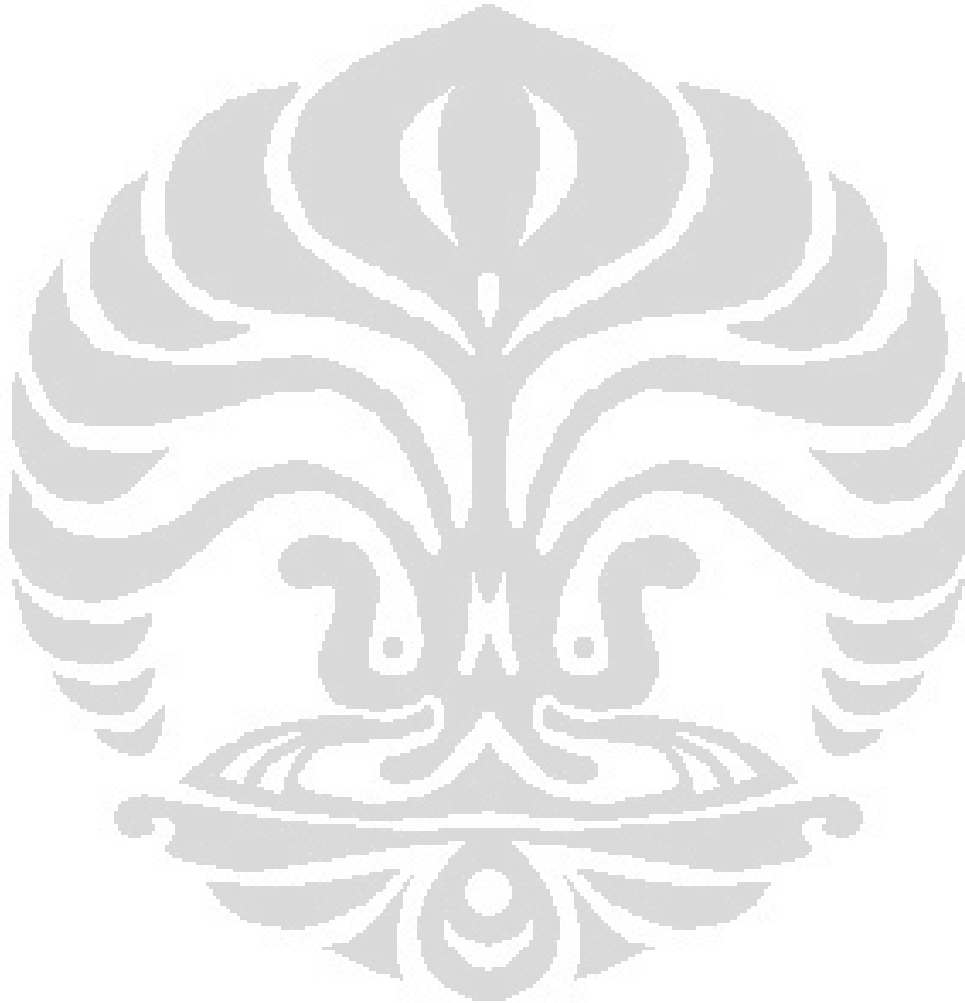
Tabel 2-12. Grafik Kinerja Tangga 2 dan 3 skenario 5



Dari ketiga grafik diatas, trend grafik memiliki karakter yang hampir sama, antara jumlah *occupant* dan waktu evakuasi bergerak secara linear, kecuali pada grafik tangga 1, ditunjukkan bahwa ada perlambatan jumlah *occupant* setelah detik ke 160 . Hal ini terjadi karena adanya bentrokan dengan *occupant* di lantai 2 yang terjadi seperti skenario-skenario sebelumnya. Namun pelebaran tangga 2 m pada model kali ini dapat membuat perlambatan tersebut tidak terlalu lama. Pada skenario ini kepadatan tetap terjadi di tiap koridor gedung, namun tidak membutuhkan waktu yang lama.

Tabel 2-13.Kinerja Pintu Evakuasi Skenario 5

	Beban occupant	Waktu evakuasi orang pertama (s)	Waktu evakuasi orang terakhir (s)
Pintu 1 Evakuasi	392	11.65	487.55
Pintu 2 Evakuasi	414	12.75	310.84
Pintu 3 evakuasi	422	15.01	279.56
Pintu 4 Evakuasi	41	11.66	41.87



BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemodelan komputer dengan berbagai skenario evakuasi, didapatkan kinerja evakuasi berupa total waktu evakuasi, selain itu penelitian ini juga meniadapatkan gambaran titik-titik lokasi di gedung sekolah yang memiliki densitas tinggi saat evakuasi berlangsung, waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan tiap lantai gedung sekolah dan lain lain. Secara terperinci didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Titik-titik lokasi yang memiliki kepadatan tinggi berada di koridor, dan tangga gedung sekolah.
2. Tangga evakuasi 1,2,3 merupakan tangga utama yang memiliki beban *occupant* sangat banyak, sehingga memiliki tingkat resiko yang tinggi pada saat evakuasi berlangsung.
3. Tata ruang kelas yang hanya menempatkan sedikit di lantai 2, dan sebagian besar ruang kelas berada di lantai 3, membuat gedung sekolah memiliki waktu yang cukup lama untuk mengosongkan bangunan 3 lantai tersebut.
4. Pada skenario 1-4, bentrokan massa terjadi antara occupant dari lantai 3 dan lantai 2 yang sama-sama menggunakan akses tangga yang sama sehingga antrian panjang selalu terjadi di koridor dan tangga.
5. Perubahan rute yang dilakukan pemodelan seknario 2, dapat bekerja dengan baik mempersingkat total waktu evakuasi menjadi 3 menit lebih cepat.
6. Perubahan lebar tangga 1, 2 dan 3 merupakan salah satu cara untuk mempercepat total waktu evakuasi.
7. Pada kondisi *real*, *response time* merupakan salah satu faktor yang penting untuk mengambil langkah evakuasi.

Menurut penulis penelitian ini sangat penting dilanjutkan dengan menggunakan skenario *fire hazzard*. Selain itu kegiatan latihan evakuasi di gedung sekolah yang diteliti penting untuk dilaksanakan agar mendapatkan data yang sesuai dengan kondisi di lapangan dan memberikan pemahaman yang baik kepada siswa-siswi sekolah menengah atas untuk meningkatkan kenyamanan aktivitas pembelajaran di sekolah-sekolah yang ada di wilayah DKI Jakarta.

DAFTAR ACUAN

- [1] Drysdale, Dougal. (2003). "An Introduction to Fire Dynamics Second Edition," John Wiley & Sons Ltd, England
- [2] Buchanan , A.H. (editor) (2001). Fire Engineering Design Guide. Secon Edition . Center for Advance Engineering , University of Canterbury , New Zealand
- [3] Galea, E. R, Peter L, Lazaros F, Darren B dan David C.(2006). "buildingEXODUS v4.06 User Guide and Technical Manual", Doc Rev 4.05 University of Greenwich
1. Sriram, K. B., Dilip, K. P. V., dan Ramancharla, P. K. Simulation of Building Evacuation from A Building
 2. Nugroho, Y.S., (2009) "Pemodelan Sirkulasi Evakuasi Kebakaran di Perpustakaan FT UI menggunakan Software buildingEXODUS" Universitas Indonesia
 3. Thompson, P.A. dan Marchant, E.W., 1995. "A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations", Fire Safety Journal 24, page 131-148
 4. Proulx, Guylène (2008). "Human Behavior and Evacuation Movement in Smoke" Fire safety Journal
 5. Pu, Shi., Zlatanova, Sisi. "Evacuation Route Calculation of Inner Buildings", Delft University of Technology, OTB Research Institute for Housing.
 6. Kuligowski,E.D., Milke.J.A. (2005) "A Performance-based Egress Analysis Of a Hotel Buildingusing Two Models " Department of Fire Protection Engineering University of Maryland

LAMPIRAN

