SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SKRIPSI

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN *AGENT-BASED MODELING* (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)

No. Soal: TKI 4011 / II-2012/2013 / BOED / 05 / 07 / 21-12 / 2012

Disusun Oleh:

Aditya Dwiputra

09/284900/TK/35545

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA

YOGYAKARTA

2013

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PENGESAHAN

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Guna memperoleh gelar SARJANA
Di Program Studi Teknik Industri
Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta

Disusun oleh:
Nama : Aditya Dwiputra
NIM : 09/284900/TK/35545

Disetujui untuk diuji,
Dosen Pembimbing

31/05 2013

Budi Hartono, S.T., MPM, Ph.D
NIP. 197602182005011003

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 24 Mei 2013



Aditya Dwiputra

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR

Topik	: Riset Operasi
Nama Mahasiswa	: Aditya Dwiputra
Nomor Mahasiswa	: 09/284900/TK/35545
Program Studi	: Teknik Industri
Nomor Persoalan	: TKI 4011 / II-2012/2013 / BOED / 05 / 07 / 21-12 / 2012

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN PADA RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI DENGAN PENDEKATAN *AGENT-BASED MODELING*

Yogyakarta, 21 Desember 2012
Dosen Pembimbing,

Budi Hartono, S.T., MPM, Ph.D.
NIP. 197602182005011003

Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 521673 Fax. (0274) 521673 E-mail:tk-mesin@ugm.ac.id

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Tidak ada jaminan kesuksesan, tapi tidak mencoba adalah jaminan kegagalan"

"UNTUK MAMA DAN PAPA, AKU PERSEMBAHKAN SEBUAH KARYA TERBAIK UNTUK KALIAN"

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, kekuatan, dan kemudahan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini membahas tentang pemodelan dan simulasi proses evakuasi bencana kebakaran yang mengambil objek penelitian ruang M-2 Jurusan Teknik Mesin dan Industri. Selanjutnya akan dianalisis beberapa skenario perbaikan sistem yang mampu mempercepat proses evakuasi bencana kebakaran.

Laporan tugas akhir dimulai dari bab pendahuluan yang berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, asumsi dan batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian. Bagian kedua dari laporan ini adalah tinjauan pustaka yang berisi uraian tentang penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Bagian ketiga menguraikan tentang dasar teori yang dipakai dalam penelitian. Bagian keempat menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan. Hasil dan pembahasan dijelaskan pada bagian kelima. Laporan ini diakhiri dengan kesimpulan hasil penelitian dan saran bagi peneliti yang inginmengadakan penelitian sejenis.

Dalam melaksanakan Tugas Akhir serta penyelesaian laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Maka padakesempatan kali ini, penulisinginmengucapkanterimakasih yang sebesar-besarnyakepada:

1. Keluarga tercinta, Mama, Papa dan Mbak Tika yang senantiasa menjadi motivasi hidup dalam setiap langkah pengerjaan penelitian.
2. Bapak Budi Hartono, S.T., MPM, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang luar biasa dalam memberi solusi dan motivasi sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.
3. Bapak Prof. Ir. Jamasri, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Univeritas Gadjah Mada.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. Bapak Ir. Subagyo, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Univeritas Gadjah Mada.
5. Bapak Dr. Muhammad KusumawanHerliansyah, ST. MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Univeritas Gadjah Mada.
6. Bapak Muslim Mahardika ST., M.Eng, Ph.D.Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberi kata – kata mutiara.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada atas semua ilmu yang telah diberikan.
8. Laras Setiani, sebagai pendamping, rekan, sahabat, penasihat, dan motivator dalam setiap pengerjaan penelitian ini.
9. Dafazal Saffan, Panji Pramadji, Berdiansyah Hetarin, Alayubi Akbar, Bing Angga, Yusron Abdul, Ajie Irawan, Ahnaf Basalamah, Adityia Wibisono, Singgih Nurhendro dan rekan – rekan Palagan yang telah menjadi sahabat sepermainan dan seperjuangan. Semoga persahabatan kita selalu abadi.
10. Benardinus Christian, Adisarizka Virginia, Ning Ayu, Roy Adam, Dimas Ghazi, Hedith Prawitakanti, Nurlelita Sudrawati, Hafiz Adi Kurnia yang telah menjadi sahabat karib selama ini.
11. Khairunisa Bundo dan Ilham Akbar yang menjadi sahabat dalam pengerjaan penelitian ini.
12. Monica Gozali, Dhiana Paramitha, Aprilia, Rahma, Kenia, Agus, Vincent, dan seluruh sahabat pejuang skripsi di Laboratorium yang senantiasa menjadi rekan bertukar ilmu.
13. Seluruh teman–teman angkatan 2009 yang saya cintai. Terimakasih atas kebersamaannya selama 4 tahun ini. Semoga 10 tahun dari sekarang, kita bisa reuni.
14. Seluruh staff Himpunan Mahasiswa Teknik Industri semua periode, terimakasih atas kerjasama, integritas, kejujuran, dan semangat yang kalian berikan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

15. Seluruh teman–teman Teknik Mesin, Teknik Geologi, dan Teknik Sipil yang telah menjadi teman berbagi pengalaman selama masa kuliah.
16. Seluruh teman–teman KKN unit Wukirsari, terutama sub unit Kedungbuweng atas dukungannya selama ini.
17. Teman–teman kos Bu Tari yang telah menjadi teman 4 tahun di kosan.
18. Teman–teman Teknik Industri angkatan 2007, 2008, 2010,2011 atas kerjasama dan dukungannya selama ini.
19. Teman–teman Astra 1st UGM yang senantiasa menjadi motivasi untuk segera menyelesaikan penelitian ini.

Yogyakarta, 24 Mei 2013

Penulis

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
HALAMAN PERNYATAAN iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xviii
INTISARI xix
ABSTRACT xx

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Simulasi Proses Evakuasi Bencana 5
2.2 Analisis Perilaku pada Kondisi Darurat 11
2.3 Peta Penelitian 13

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Bencana Kebakaran 14
3.2 Simulasi Evakuasi Kebakaran 15
3.3 *Agent – Based Modeling* 16
3.4 NetLogo 17
3.5 Pengukuran Kinerja Simulasi Proses Evakuasi 18
3.6 Verifikasi dan Validasi Sistem 20
3.7 Uji Statistik 22
3.8 Penentuan Jumlah Sampel 23

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian 24
4.2 Alat yang Digunakan 24
4.3 Prosedur Pengambilan Data 25
4.4 Pengolahan Data 25
4.4.1. Pengolahan Data Kuesioner 25
4.4.2. Pengujian Data Hasil Simulasi 25
4.5 Tahapan Penelitian 26

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengembangan Instrumen Penelitian 30
5.1.1. Studi Literatur 30
5.1.2. Pilot study 31
5.2. Pengumpulan Data 33
5.2.1 Deskripsi Responden 33
5.2.2 Data *Preparation* 34
5.2.3 Rekapitulasi Hasil 35
5.3. Pengelompokkan Mahasiswa 35
5.4. Pemodelan Sistem 44
5.4.1. Pemodelan Ruang M-2 dan Koridor JTMI 44

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.4.2. Pemodelan Perilaku Mahasiswa 45
5.4.3. Pemodelan Agent Mahasiswa 62
5.5. Simulasi Sistem 62
5.5.1 Perhitungan Kecepatan Mahasiswa 63
5.5.2 Hasil Simulasi Skenario Satu 65
5.5.3 Hasil Simulasi Skenario Dua 67
5.5.4 Hasil Simulasi Skenario Tiga 69
5.5.5 Perbandingan Waktu Evakuasi Setiap Kelompok Mahasiswa 71
5.6. Verifikasi dan Validasi Sistem 73
5.7. Pengukuran Kinerja Hasil Simulasi 78
5.8. Analisis Perbaikan Sistem 80
5.8.1 Skenario 1-Pengarahan Jalur Evakuasi 80
5.8.2 Skenario 2-Pemasangan Alarm Kebakaran 81
5.8.3 Skenario 3-Pelebaran Pintu Keluar Ruangan 82
5.8.4 Skenario 4 - Perubahan *Layout* Tempat Duduk 84
5.8.5 Kombinasi Perbaikan Sistem 86

BAB VI PENUTUP
7.1. Kesimpulan 89
7.2. Saran 90

DAFTAR PUSTAKA 91
LAMPIRAN 96

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Jumlah Kejadian Kebakaran D.I Yogyakarta (Kantor Pemadam Pemda Yogyakarta, 2013)	1
Gambar 2.1	Model Evakuasi Cellular Automata (Rui dkk.,2013)	7
Gambar 2.2.	Simulasi Menggunakan NetLogo (Almeida dkk., 2010)	9
Gambar 2.3.	Simulasi Proses Evakuasi Tsunami Menggunakan NetLogo (Saputra dkk., 2012)	10
Gambar 2.4.	Tampilan Aplikasi SET (Munadi dkk., 2012)	11
Gambar 4.1.	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 5.1.	Pengelompokan Responden	38
Gambar 5.2.	Pemilihan Jawaban dari Responden Berdasarkan Enam Pertanyaan Terpilih	40
Gambar 5.3	Diagram Pareto	42
Gambar 5.4	Model Ruang M-2 dan koridor JTMI	45
Gambar 5.5	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Secara Umum.	46
Gambar 5.6	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Satu	47
Gambar 5.7	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Dua	49
Gambar 5.8	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Tiga	51
Gambar 5.9	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Empat	53
Gambar 5.10	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Lima	55
Gambar 5.11	Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Enam	57
Gambar 5.12.	Pemodelan Keseluruhan Sebelum Simulasi	63
Gambar 5.13.	Jalur Pengukuran Waktu Tempuh	64
Gambar 5.14	Hasil Simulasi Satu	65
Gambar 5.15	Hasil Simulasi Satu Setiap Kelompok Mahasiswa	66
Gambar 5.16	Hasil Simulasi Dua	67
Gambar 5.17	Hasil Simulasi Dua Setiap Kelompok Mahasiswa	68
Gambar 5.18.	Hasil Simulasi Tiga	69

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.19	Hasil Simulasi Tiga Setiap Kelompok Mahasiswa	70
Gambar 5.20	Dinamika Perbandingan Waktu Evakuasi Setiap Kelompok	73
Gambar 5.21	Jalur Perhitungan Validasi Pertama	74
Gambar 5.22	Jalur Perhitungan Validasi Kedua	76
Gambar 5.23	Skenario Pengarahan Jalur Evakuasi	81
Gambar 5.24	Pemodelan Skenario Pelebaran Pintu Ruang M-2	83
Gambar 5.25	Pemodelan Skenario Pembuatan *Layout* Baru	84
Gambar 5.26	Dinamika Perbandingan Waktu Evakuasi	85
Gambar 5.27	Dinamika Perbandingan Waktu Evakuasi Kombinasi Skenario	87

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Peta Penelitian 13
Tabel 3.1 Waktu Kritis suatu Lokasi saat kebakaran (Hadjisophocleous dan Benichou, 1999) 19
Tabel 5.1 Daftar Publikasi untuk Analisis Perilaku 30
Tabel 5.2 Profil Responden *Pilot Study* 32
Tabel 5.3 Jumlah Mahasiswa S-1 Aktif JTMI (Direktorat Akademik UGM, 2013) 33
Tabel 5.4 Jumlah Sampel Setiap Program Studi 34
Tabel 5.5 Tabel Jumlah Responden 34
Tabel 5.6 Daftar Pertanyaan dan Kode Jawaban Kuesioner 35
Tabel 5.7 Data Hasil Proses *Cleaning* 38
Tabel 5.8 Kelompok Mahasiswa yang Terbentuk 40
Tabel 5.9 Perilaku dari Kelompok Terpilih 42
Tabel 5.10 Keterangan Warna 45
Tabel 5.11 Deskripsi Pemodelan Kelompok Satu pada NetLogo 48
Tabel 5.12 Deskripsi Pemodelan Kelompok Dua pada NetLogo 50
Tabel 5.13 Deskripsi Pemodelan Kelompok Tiga pada NetLogo 52
Tabel 5.14 Deskripsi Pemodelan Kelompok Empat pada NetLogo 54
Tabel 5.15 Deskripsi Pemodelan Kelompok Lima pada NetLogo 56
Tabel 5.16 Deskripsi Pemodelan Kelompok Enam pada NetLogo 58
Tabel 5.17 Timeline Perilaku Mahasiswa Setiap Kelompok 60
Tabel 5.18 Keterangan Warna pada *Timeline* Perilaku 62
Tabel 5.19 Pemodelan *Agent* Mahasiswa 62
Tabel 5.20 Hasil Simulasi Tiga Skenario Posisi Api 71
Tabel 5.21 Batas Atas dan Batas Bawah Hasil Simulasi Tiga Skenario Posisi Api 71
Tabel 5.22 Waktu Evakuasi Setiap Kelompok Mahasiswa 72

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.23 Hasil *T-test*Validasi Pertama (n=20) 76
Tabel 5.24 Hasil *T-test* Validasi Dua (n=20) 77
Tabel 5.25 Batas Maksimal HRR dan Klasifikasi Pertumbuhan Api (Hadjisophocleous dan Benichou1999) 78
Tabel 5.26 Keterangan Nilai α (Fleischmann, 2009) 79
Tabel 5.27 Perbandingan RSET dan ASET 79
Tabel 5.28 Waktu Evakuasi Rata-Rata Skenario Perbaikan Sistem 85
Tabel 5.29 Hasil Rata – Rata Skenario Kombinasi Perbaikan Sistem 86

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Pertanyaan *Pilot Study* 96
Lampiran 2. Hasil Pilot Study Tahap Satu 97
Lampiran 3. Hasil Pilot study Tahap Dua 98
Lampiran 4. Hasil Pilot study Tahap Tiga 99
Lampiran 5. Ringkasan Pertanyaan Komponen *Survey* Utama 100
Lampiran 6. Kuesioner 101
Lampiran 7. Rekapitulasi Kuesioner 105
Lampiran 8. Hasil Perhitungan Waktu Tempuh Mahasiswa 107
Lampiran 9. Hasil Uji Kenormalan Waktu Tempuh Mahasiswa 107
Lampiran 10. Hasil Uji Keseragaman Waktu Tempuh Mahasiswa 107
Lampiran 11. Hasil Uji Kecukupan Waktu Tempuh Mahasiswa 108
Lampiran 12. Hasil Simulasi dengan Tiga Skenario Posisi Api 108
Lampiran 13. Hasil Uji Kenormalan Simulasi Skenario Sisi Api Timur 109
Lampiran 14. Hasil Uji Keseragaman Simulasi Skenario Sisi Api Timur 109
Lampiran 15. Hasil Uji Kecukupan Simulasi Skenario Sisi Api Timur 109
Lampiran 16. Hasil Uji Kenormalan Simulasi Skenario Sisi Api Tengah 109
Lampiran 17. Hasil Uji Keseragaman Simulasi Skenario Sisi Api Tengah 110
Lampiran 18. Hasil Uji Kecukupan Simulasi Skenario Sisi Api Tengah 110
Lampiran 19. Hasil Uji Kenormalan Simulasi Skenario Sisi Api Barat 110
Lampiran 20. Hasil Uji Keseragaman Simulasi Skenario Sisi Api Timur 111
Lampiran 21. Hasil Uji Kecukupan Simulasi Skenario Sisi Api Barat 111
Lampiran 22. Hasil Simulasi untuk Validasi 111
Lampiran 23. Hasil Uji Kenormalan Validasi Satu 112
Lampiran 24. Hasil Uji Keseragaman Validasi Satu 112
Lampiran 25. Hasil Uji Kecukupan Validasi Satu 112
Lampiran 26. Hasil Uji Kenormalan Validasi Dua 113

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 27. Hasil Uji Keseragaman Validasi Dua 113
Lampiran 28. Hasil Uji Kecukupan Validasi Dua 113
Lampiran 29. Hasil Simulasi Skenario Perbaikan Sistem 113
Lampiran 30. *Timeline* Perilaku Kelompok Mahasiswa pada Skenario Pemasangan Alarm 115
Lampiran 31. Keterangan Warna Timeline Perilaku Setelah Pemasangan Alarm 117
Lampiran 32. Hasil Pengujian T-test Skenario Pemasangan Alarm 117
Lampiran 33. Hasil Pengujian T-test Skenario Pelebaran Pintu 118
Lampiran 34. Hasil Simulasi Skenario Kombinasi Perbaikan Sistem 118
Lampiran 35. Hasil Pengujian Statistik Waktu Evakuasi Setiap Kelompok (α=0.05) 119
Lampiran 36. *Interface* Penelitian dengan NetLogo 120
Lampiran 37. *Pseudocode* Model Evakuasi dengan NetLogo 121

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

HRR	= *Heat Release Rate*
UCL	= *Upper Control Limit*
LCL	= *Lower Control Limit*
n	= jumlah data sampel
N	= jumlah pengamatan yang telah dilakukan
N’	= jumlah pengamatan minimum
α	= *fire growth constant*
ASET	= *Available Safe Egress Time*
RSET	= *Required Safe Egress Time*
H_0	= Hipotesis awal / Hipotesis nol / *Null hypothesis*
H_1	= Hipotesis alternatif

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Kebakaran adalah peristiwa munculnya api yang tidak terkendali dan dapat merugikan orang lain. Kebakaran dapat mengakibatkan hilangnya harta benda, terhentinya proses produksi, kerusakan lingkungan, dan hilangnya nyawa. Untuk mencegah timbulnya korban jiwa, proses evakuasi yang efektif perlu dilakukan saat terjadi kebakaran. Cepat lambatnya proses evakuasi menentukan tinggi rendahnya tingkat keselamatan manusia. Waktu evakuasi penting diketahui untuk menentukan apakah suatu gedung memiliki sistem evakuasi yang baik.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Agent-Based Modeling* (ABM) untuk membuat model simulasi proses evakuasi kebakaran pada ruang kelas gedung Jurusan Teknik Mesin dan Industri (JTMI). Penelitian dimulai dengan membuat model dasar dari sistem nyata. Pengumpulan data perilaku dibutuhkan untuk memperoleh perilaku mahasiswa saat terjadi kebakaran. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan kuesioner. Setelah data terkumpul, mahasiswa dikelompokkan menjadi beberapa kelompok. Kelompok tersebut akan dimodelkan ke dalam *software* NetLogo. Setelah pemodelan dibuat, proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan waktu evakuasi. Waktu evakuasi akan divalidasi dengan menggunakan perhitungan waktu evakuasi sederhana. Setelah tervalidasi, penelitian ini menganalisis skenario perbaikan sistem untuk mengetahui perbaikan sistem terbaik yang mampu mempercepat waktu saat kebakaran.

Simulasi menghasilkan waktu evakuasi yang dibutuhkan mahasiswa untuk menuju keluar gedung saat kebakaran. Berdasarkan hasil simulasi dengan tiga skenario posisi api yang berbeda, waktu evakuasi yang diperoleh adalah 53,2 detik untuk posisi api sebelah timur, 53,3 detik untuk posisi api sebelah barat, dan 53,2 detik untuk skenario posisi api sebelah tengah. Hasil simulasi menyatakan bahwa waktu evakuasi yang dibutuhkan mahasiswa untuk evakuasi (*Required Safe Egress Time*) lebih kecil dibandingkan waktu yang tersedia untuk evakuasi (*Available Safe Egress Time*). Simulasi dengan skenario perbaikan sistem dibuat untuk mempercepat waktu evakuasi. Skenario perbaikan sistem yang dianalisis adalah pengarahan jalur evakuasi, pemasangan alarm, pelebaran pintu ruang kelas dan perubahan *layout* tempat duduk. Hasil analisis skenario memperoleh hasil bahwa skenario kombinasi antara pelebaran pintu dengan pemasangan alarm menjadi skenario terbaik dengan waktu evakuasi sebesar 44,3 detik dan 8,9 detik lebih cepat dibandingkan skenario awal.

Kata kunci : Simulasi, Kebakaran, *Agent-Based Modeling,* Waktu Evakuasi, Skenario Perbaikan Sistem

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Fire disaster is an occurence that could caused damage to the people and environment.Fire can result in loss of property, the cessation of the production process, and loss of life. To prevent loss of life, an effective evacuation process needs to be done. The time required by the system for evacuation process determines the level of human safety. Evacuation time is important to be observed to determine whether a building has a proper evacuation system or not.

This research uttilizes Agent-Based Modeling approach (ABM) to develop a simulation model of fire evacuation process in a class room of the Mechanical and Industrial Engineering Department, Gadjah Mada University. The research starts by develops the basic model of the real system. Behavioral data collection is carried out to obtain student's behavior during a fire circumstance. The data was collected by using a questionnaire. Data from the questionnaire suggests six main classifications of students behavior. The groupswere modeled into simulation software called NetLogo. Once the model was made,the process simulation is begun to find the evacuation time. Evacuation timewas validated by a simple calculation of evacuation time. This research develops four improvement scenarios to determine the possible system improvement.

Simulation produces the required evacuation time for student to get out of the building when fire occured.The required safe egress time (RSET) from three different scenarios of fire positions are 53.2 seconds for east side, 53.3 seconds for the position for the west side, and 53.2 seconds for the middle side.The simulation shows that RSET is smaller than the time available for evacuation (ASET). Improvement scenarios were made to speed up the evacuation time. Improvement scenarios are evacuation route direction, alarm installation, widening the classroom door and change the seating layout. The result conclude that the best combination of scenario is widening door and installing a fire alarm system. The evacuation time for the proposed improvement scenario is 44.3 seconds or 8.9 seconds shorter than the baseline scenario.

Keywords: Simulation, Fire, Agent-Based Modeling, Evacuation Time, Improvement Scenarios

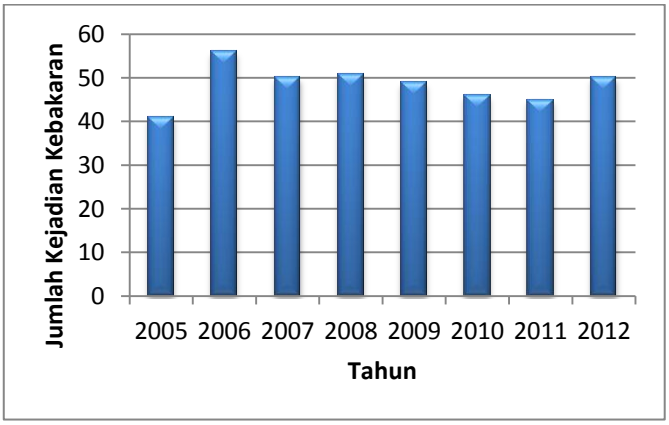
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana kebakaran merupakan kejadian yang tidak diinginkan dan merupakan kecelakaan yang dapat berakibat fatal. Menurut Rahman (2004), kebakaran dapat menimbulkan beberapa kerugian seperti kerugian harta, terhentinya suatu aktivitas produksi/usaha, kerusakan lingkungan, dan hilangnya nyawa. Bencana kebakaran dapat disebabkan oleh peristiwa alamseperti sinar matahari, petir, halilintar dan tindakan manusia baik disengaja atau tidak disengaja seperti kompor yang meledak, hubungan arus pendek listrik, bom, dan lain – lain (Umiati, 2008).

Rahman (2004) menyatakan bahwa kebakaran adalah peristiwa yang tidak dapat diprediksi kemunculannya. Hal ini mungkin menyebabkan angka kejadian kebakaran di D.I Yogyakarta selalu berubah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Jumlah Kejadian Kebakaran D.I Yogyakarta
(Kantor Pemadam Pemda Yogyakarta, 2013)

Pada situasi darurat kebakaran, proses evakuasi perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya korban jiwa. Evakuasi adalah proses perpindahan penghuni yang ada di dalam gedung menuju kawasan aman dari bahaya kebakaran. Waktu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

evakuasi dipengaruhi oleh faktor perilaku, kebiasaan, dan pengalaman penghuni ada di dalam gedung tersebut. Menurut Saikhu dkk. (2009), cepat lambatnya proses evakuasi suatu gedung menentukan tinggi rendahnya faktor keselamatan manusia apabila sampai terjadi kebakaran. Semakin pendek waktu evakuasi, maka semakin tinggi faktor keselamatan manusia. Dengan demikian,waktu yang diperlukan untuk melakukan evakuasi merupakan hal yang penting untuk diketahui.

Waktu evakuasi bisa diinvestigasi dengan melakukan *fire drill*. Namun, *fire drill* memiliki beberapa kelemahan seperti waktu yang dibutuhkan cukup lama dan kurang menciptakan kondisi darurat kebakaran yang sebenarnya. *Fire drill* dapat menyebabkan munculnya perilaku yang dibuat-buat oleh penghuni, sehingga kurang merepresentasikan perilaku saat kebakaran sebenarnya terjadi. Cara lain untuk mengetahui waktu evakuasi adalah dengan membuat simulasi komputer. Menurut Saikhu dkk.(2009), simulasi komputer dapat digunakan untuk mengetahui waktu evakuasi yang dibutuhkan penghuni pada kondisi darurat.Simulasi komputer memiliki beberapa kelebihan seperti waktu yang dibutuhkan lebih cepat dan mampu memodelkan heterogenitas perilaku dari setiap penghuni saat evakuasi.

Salah satu bentuk pengembangan metode simulasi proses evakuasi bencana kebakaran dengan komputer adalah menggunakan pendekatan *Agent-Based Modeling* (ABM). Pemodelan simulasi berbasis *agent* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pemodelan simulasi fenomena alam dan sosial (Saputradkk., 2012). Metode simulasi ini mempresentasikan *agent* sebagai model dari orang yang melarikan diri. Selain itu, simulasi ini juga dapat menunjukkan karakter fisik dari bencana. *Agent* mampu berinteraksi dengan bangunan, pohon, apidan kendaraan.

Menurut Crooksdkk. (2008), pemodelan berbasis *agent* menjadi pendekatan yang umum dalam simulasi fenomena sosial terutama karena banyak pandangan yang menunjukkan bahwa sistem kompleks muncul dari bawah ke atas (*bottom-up*) dan memiliki banyak objek heterogen.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lempert (2002) mengatakan bahwa ABM merupakan teknik yang cukup kuat untuk memodelkan interaksi antar individu dan memodelkan perilaku heterogen dari setiap *agent*. Waktu evakuasi dipengaruhi oleh heterogenitas perilaku dan interaksi dari setiap penghuni. Untuk itu, penelitian ini menggunakan pendekatan ABM untuk membuat model dan simulasi proses evakuasi kebakaran.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijabarkan di atas, perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan simulasi proses evakuasi bencana kebakaran serta menganalisis skenario perbaikan sistem.

1.3.Batasan Masalah

Asumsi dan batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memodelkan ruang M-2 JTMI.
2. Bencana yang dimodelkan adalah kebakaran.
3. Penyebaran asap dan pertumbuhan api tidak dimodelkan pada simulasi.
4. Ruang M-2 dipenuhi mahasiswa yang sedang belajar pada saat terjadi kebakaran.
5. Ruangan lain dianggap kosong dari penghuni.
6. Sumber api terletak pada tiga posisi api yang telah ditentukan.
7. Tidak ada orang yang berdesakan dan terinjak-injak saat evakuasi.

1.4.Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1 Mengembangkan model simulasi berbasis *agent* (ABM) pada proses evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 JTMI.

2 Mensimulasikan kinerja waktu evakuasi yang dibutuhkan pada ruang M-2 JTMI dibandingkan dengan waktu yang tersedia untuk evakuasi.

3 Mengembangkan dan menganalisis skenario perbaikan sistem pada proses evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 JTMI.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.5.Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu membuat dan menganalisis simulasi proses evakuasi kondisi darurat kebakaran pada ruang M-2 JTMI. Simulasi proses evakuasi menghasilkan perbandingan waktu evakuasi yang dibutuhkan mahasiswa pada kondisi sebelum dan sesudah perbaikan sistem. Dari perbandingan waktu evakuasi, diperoleh skenario terbaik yang dapat diaplikasikan di ruang M-2 JTMI untuk meminimalisir kerugian yang ditimbulkan akibat bencana kebakaran.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Simulasi Proses Evakuasi Bencana

Pendekatan model simulasi proses evakuasi diantaranya menggunakan pendekatan *Flow-Based Modeling, Cellular Automata,* dan *Agent-Based Modeling* (Santos dan Arguirre, 2004). *Flow-Based Modeling* adalah pendekatan pemodelan evakuasi berbasis aliran. Pada pendekatan *Flow-Based Modeling* lingkungan fisik simulasi didefinisikan sebagai jaringan *node. Node* merepresentasikan struktur fisik yang saling berhubungan. Suatu *node* ditunjukan sebagai tujuan *node* yang diidentifikasikan sebagai pintu keluar. Pendekatan simulasi berbasis aliran memiliki busur (*arcs*) untuk menghubungkan komponen–komponen gedung. Busur merupakan penggambaran lintasan yang menghubungkan antara dua *node* atau lintasan yang dilalui penghuni saat evakuasi. Busur dapat mengatur lamanya waktu penghuni berjalan dari suatu *node* ke *node* yang lain (Santos dan Arguirre, 2004).

Menurut Santos dan Arguirre (2004), *Cellular Automata* adalah pendekatan pemodelan dengan melibatkan diskritisasi jarak. Diskritisasi merupakan proses pemodelan dari struktur atau objek dengan membaginya dalam dua elemen kecil yang terhubung oleh *node* sebagai batas dari struktur atau obyek. Pendekatan ini membuat matriks untuk mengelompokan area dalam bidang dua dimensi. *Cellular Automata* menggunakan kerangka waktu yang ditentukan dimana orang dapat berpindah dari satu posisi atau *node* ke posisi lain dan diasumsikan bahwa keadaannya bebas atau tidak ada halangan (Santos dan Arguirre, 2004). Perpindahan terjadi pada setiap *step* dari kerangka waktu ketika orang-orang berpindah dari satu *node* ke *node* lain yang berdekatan.

Pendekatan *Agent-Based Modeling* adalah pendekatan model berbasis *agent. Agent* pada saat proses evakuasi adalah penghuni yang berada pada kondisi darurat. Pendekatan *Agent-Based Modeling* memberi cara untuk memodelkan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tingkah laku individu dan bagaimana tingkah laku tersebut mempengaruhi individu lain (Macal dan North, 2011).

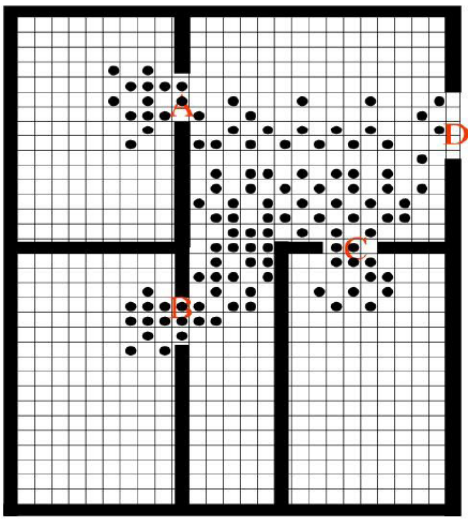
Pada pemodelan proses evakuasi, pendekatan *Flow-Based Modeling* dan *Cellular Automata* belum secara sempurna menggambarkan sistem nyata karena metode ini belum memodelkan aspek perilaku dari penghuni. Pendekatan *Flow-Based Modeling* hanya memodelkan aliran dari kumpulan orang yang melakukan proses evakuasi. Pendekatan *Cellular Automata* belum mampu memodelkan perbedaan kecepatan dan perbedaan perilaku penghuni. Sedangkan pendekatan *Agent-Based Modeling* sudah dapat menggambarkan perilaku yang berbeda pada setiap penghuni saat evakuasi.

Effendi dkk. (2012) membuat simulasi evakuasi bencana kebakaran dengan menggunakan metode *Flow-Based Modeling.* Simulasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kesiapan suatu gedung pada keadaaan darurat. Penelitian Effendi dkk. (2012) menggunakan *software Evacnet* untuk mengetahui waktu evakuasi yang dibutuhkan. *Evacnet* bertujuan untuk mengetahui apakah proses evakuasi di sebuah gedung berjalan optimal atau tidak. Parameter optimal atau tidaknya sebuah proses evakuasi adalah tidak adanya korban pada proses evakuasi tersebut. Jumlah penghuni pada gedung yang akan dimodelkan adalah sebanyak 74 orang yang terbagi pada dua lantai, yaitu sebanyak 64 orang pada lantai satu dan sepuluh orang pada lantai dua. Hasil simulasi menunjukkan bahwa proses evakuasi dilakukan selama 75 detik dan terdapat 18 pekerja yang tidak selamat.

Penelitian yang dilakukan Yang dkk. (2002) dan Rui dkk. (2013) membahas mengenai pemodelan proses evakuasi bencana kebakaran dengan menggunakan pendekatan *Cellular Automata*. Yang dkk. (2002) memfokuskan pada pergerakan penghuni menuju lokasi aman dengan memperhatikan tingkat bahaya dari kebakaran. Penelitian Yang dkk. (2002) menerjemahkan tingkat bahaya dari kebakaran sehingga membuat penghuni memilih rute evakuasi secara wajar. Namun model ini masih belum menggambarkan kondisi kebakaran secara nyata dengan *layout* yang berbeda.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian Rui dkk. (2013) bertujuan untuk mengetahui fenomena *bottleneck* pada proses evakuasi kebakaran. Rui dkk. (2013) memodelkan pergerakan penghuni saat evakuasi kebakaran pada kondisi ruangan yang memiliki sekat. Model tidak hanya mempertimbangkan interaksi antar penghuni, namun juga mempertimbangkan interaksi antara penghuni dengan lingkungan. Gambar 2.1 menunjukkan model evakuasi kebakaran pada rumah dengan tiga ruangan.



Gambar 2.1 Model Evakuasi *Cellular Automata* (Rui dkk, 2013)

Penelitian Tissera dkk. (2007) membahas penggunaan *cellular automata* dalam penyelidikan dinamika perilaku pejalan kaki pada kondisi darurat. Tissera dkk.(2007) menggunakan *tool* bernama EVAC untuk memodelkan proses evakuasi. EVAC menganalisis proses evakuasi dengan gedung yang berbeda sehingga desain gedung dapat dimodifikasi untuk mempengaruhi kinerja proses evakuasi. Berbeda dengan penelitian Badler dkk. (2011) yang bertujuan untuk membandingkan rute terbaik untuk proses evakuasi di stadion dengan indikator performa waktu evakuasi. Badler dkk. (2011) menggunakan pendekatan *cellular automata* dengan *software* STEPS untuk memodelkan proses evakuasi. Badler dkk. (2011) membandingkan 60 skenario proses evakuasi dengan *software* STEPS.

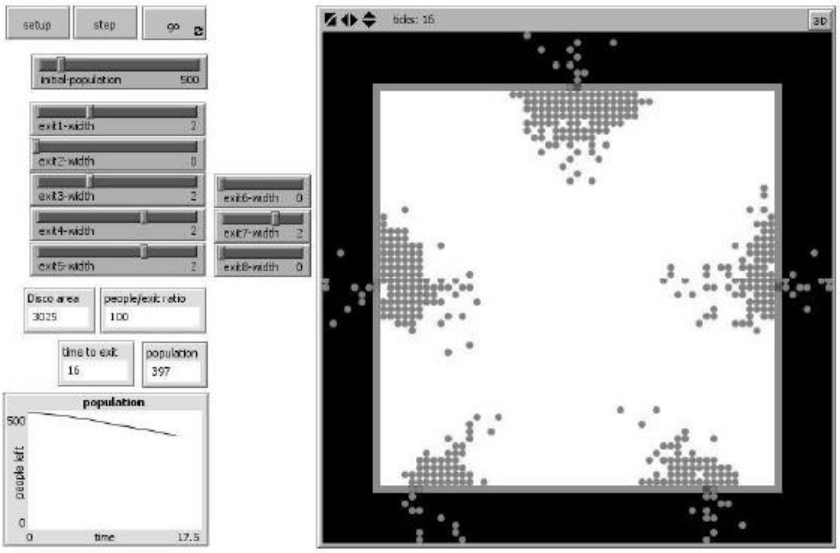
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian Shi dkk. (2009) dan Tang dan Ren (2008) menggunakan pendekatan *Agent-Based Modeling* (ABM) dalam pemodelan proses evakuasi. Shi dkk. (2009) mempelajari aliran penghuni pada saat evakuasi dengan studi kasus di stadion untuk olimpiade Beijing menggunakan sistem AIEva. Sistem AIEva mengkuantitatifkan tingkat kesehatan penghuni yang terpengaruh akibat kebakaran yang terjadi. Sedangkan pada penelitian Tang dan Ren (2008) bertujuan untuk memberi adegan kebakaran secara lebih nyata dan menunjukkan bentuk gemoetri gedung. Tang dan Ren (2008) menggunakan *Fire Dynamics Simulator* (FDS) untuk memodelkan proses evakuasi dan memperoleh waktu dari evakuasi tersebut. Penelitian Tang dan Ren (2008) mampu menunjukkan gambaran lengkap dari proses evakuasi yang sebenarnya.

Kagaya dkk.(2005) melakukan pembuatan simulasi evakuasi bencana gempa bumi dengan studi kasus di kawasan Kushiro, Jepang. Simulasi dilakukan dengan mencari data perilaku menggunakan kuesioner dan membagi responden menjadi beberapa kelompok perilaku. Penelitian Kagaya dkk. (2005) bertujuan untuk mengetahui perbedaan waktu setiap kelompok perilaku.

Penelitian Almeida dkk. (2010) membahas proses evakuasi pada kondisi darurat menggunakan *software* NetLogo. Almeida dkk. (2010) menerjemahkan perilaku *agent* sebagai penghuni yang akan melakukan evakuasi menuju pintu terdekat. Setiap *agent* memiliki sifat saling susul menyusul dengan *agent* lain saat menuju pintu keluar terdekat. Penelitian Almeida dkk. (2010) masih belum memberikan gambaran jelas mengenai bencana yang diteliti. Gambar 2.2 menunjukkan model simulasi yang dibuat menggunakan NetLogo.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

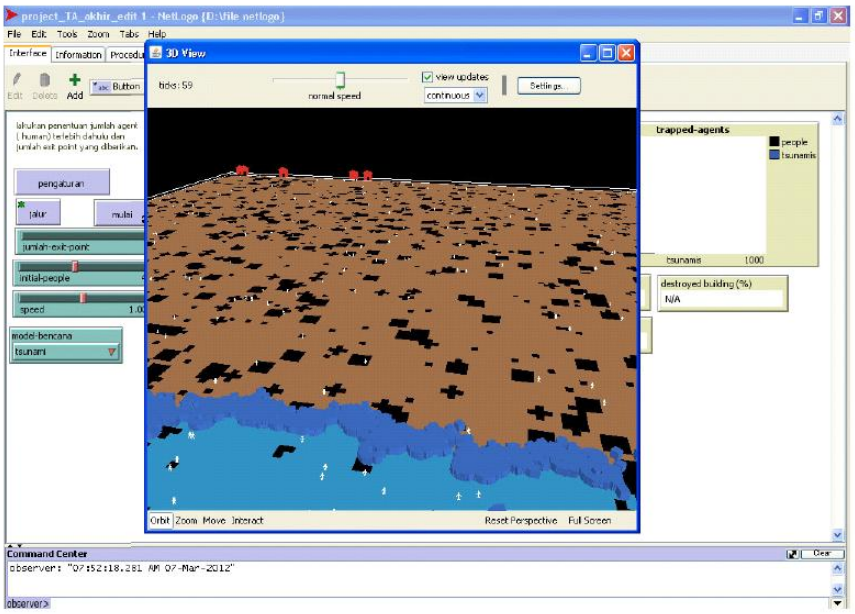


Gambar 2.2. Simulasi Menggunakan NetLogo (Almeida dkk., 2010)

Penelitian Ha (2012) bertujuan untuk menguji kepanikan sekumpulan manusia saat keluar gedung pada kondisi darurat bencana. Ha (2012) membuat empat skenario simulasi evakuasi, yaitu skenario evakuasi pada satu ruangan dengan satu lantai, skenario evakuasi pada dua ruangan dengan satu lantai, skenario evakuasi pada banyak ruangan dengan satu lantai, skenario evakuasi pada banyak ruangan dengan tiga lantai. Penelitian Ha (2012) menggunakan satu pintu keluar utama, sehingga belum perilaku *agent* dalam memilih pintu utama belum ditunjukkan.

Di Indonesia, Saputra dkk. (2012) meninjau penelitian dengan tema pengembangan aplikasi simulasi evakuasi bencana dengan menggunakan pendekatan *agent based modeling* menggunakan *software* NetLogo. Bencana yang dikaji adalah bencana tsunami. Saputra dkk. (2012) meneliti tingkat keselamatan penghuni pada bencana tsunami sesuai dengan jumlah *exit point* yang ada. Gambar 2.3 menunjukkan model simulasi proses evakuasi bencana tsunami pada NetLogo.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.3. Simulasi Proses Evakuasi Tsunami Menggunakan NetLogo (Saputra dkk., 2012)

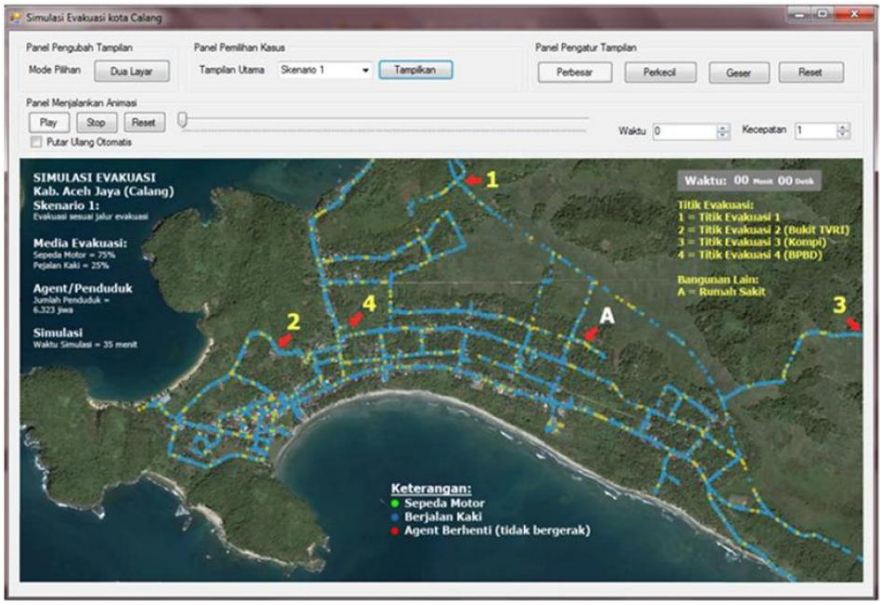
Penelitian Saputra dkk. (2012) memperoleh hasil berupa persentase keselamatan penghuni berbanding lurus dengan jumlah pintu keluar yang ada. Sehingga penelitian Saputra dkk. (2012) mengambil kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah pintu keluar, maka semakin tinggi persentase keselamatan pada proses evakuasi tsunami.

Munadi dkk. (2012) membangun dan mengembangkan aplikasi Simulasi Evakuasi Tsunami (SET) berbasis *multi-agent* untuk Kecamatan Calang, daerah pesisir di wilayah Kabupaten Aceh Jaya, Provinsi Aceh. Untuk membangun aplikasi SET berbasis *multi-agent*, penelitian Munadi dkk. (2012) mengumpulkan dua jenis data dari lapangan. Data tersebut adalah data lingkungan, yang berkaitan dengan wilayah yang aman dan terkena dampak, dan data yang berkaitan dengan karakteristik masyarakat

Pada tahap awal, SET mensimulasikan beberapa skenario evakuasi untuk memperoleh perkiraan waktu yang dibutuhkan masyarakat untuk meninggalkan daerah yang terkena terjangan tsunami. SET memvisualisasikan perkiraan titik-

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

titik kemacetan pada proses evakuasi tsunami. Gambar 2.4 menunjukkan tampilan dari SET untuk simulasi proses evakuasi bencana tsunami.



Gambar 2.4. Tampilan Aplikasi SET (Munadi dkk., 2012)

2.2. Analisis Perilaku pada Kondisi Darurat

Analisis perilaku bertujuan untuk mencari cara pengumpulan data perilaku penghuni ketika berada pada kondisi darurat bencana kebakaran. Cordeiro dkk. (2011) mencari tahu perilaku manusia pada situasi kebakaran dengan cara penyebaran kuesioner. Hasil kuesioner tersebutakan dikembangkan menjadi sebuah model simulasi berbasis *games*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *games*, dimana pemain harusbertahan untuk terhindar dari kebakaran untuk memperoleh poin. Simulasi *games* dapat memvisualisasikan secara lebih nyata proses evakuasi kebakaran.

Penelitian Setyawan dan Kartika (2010) bertujuan untuk mengetahui tingkat kesadaran akan bahaya kebakaran di kampus Universitas Kristen Petra Surabaya. Setyawan dan Kartika (2010) melakukan sebuah *survey exploratory* mengenai tingkat kesadaran akan bahaya kebakaran menggunakan kuesioner untuk mengetahui sikap dan perilaku ketika ada kebakaran. Hasil penelitian Setyawan dan Kartika (2010) mengindikasikan bahwa kesadaran diantara penghuni di

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kampus Universitas Kristen Petra Surabaya masih rendah karena para penghuni belum sepenuhnya menyadari apa yang harus mereka lakukan ketika terjadi kebakaran.

Penelitian Sekizawa dkk. (1999) bertujuan untuk melakukan investigasi perilaku penghuni pada kejadian kebakaran apartemen di Jepang pada tahun 1996. Sekizawa dkk. (1999) menginvestigasi reaksi terhadap tanda-tanda kebakaran, alasan untuk melakukan evakuasi, dan motivasi dalam pemilihan jalur evakuasi. Investigasi dilakukan dengan menyebarkan kuisioner kepada 77 penghuni yang berada pada lokasi kebakaran tersebut. Berdasarkan investigasi pada penelitian Sekizawa dkk. (1999), diperoleh hasil bahwa para penghuni melakukan proses evakuasi karena arahan orang lain. Selain itu penghuni menggunakan lift sebagai alat evakuasi dikarenakan tingginya gedung. Penghuni lebih banyak memilih jalur yang biasa dipakai atau jalur lebih aman dibanding jalur terdekat menuju pintu keluar.

Liu dan Lo (2011) mengumpulkan data secara kuantitatif terhadap perilaku pra evakuasi pada bencana kebakaran. Pengumpulan data menggunakan kuisioner sebagai instrumen dengan korban kebakaran sebagai responden. Liu dan Lo (2011) menginvestigasi hubungan antara perilaku pra evakuasi dengan karakteristik penghuni. Hasil penelitian Liu dan Lo (2011) menunjukkan bahwa keinginan untuk mencari tahu tanda-tanda kebakaran semakin besar seiring meningkatnya umur penghuni. Selain itu, penghuni yang sudah memiliki pengalaman kebakaran sebelumnya memiliki keinginan yang tinggi untuk mencari tahu tanda-tanda kebakaran.

Penelitian Thompson (2011) bertujuan untuk membantu suatu dinas pemadam kebakaran agar mampu lebih memahami perilaku penghuni pada saat kebakaran. Thompson (2011) melakukan wawancara untuk mengumpulkan data perilaku penghuni ketika kebakaran. Responden yang akan diwawancara adalah 10 orang yang merupakan korban kebakaran. Tujuan wawancara adalah mengetahui respon awal penghuni terhadap tanda–tanda kebakaran, respon penghuni ketika ada kebakaran, dan pemilihan jalur evakuasi oleh penghuni.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3. Peta Penelitian

Peta penelitian dibedakan berdasarkan metode pemodelan evakuasi bencana dan jenis bencananya. Posisi penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Peta Penelitian

Metode Pemodelan Evakuasi Bencana	**Jenis Bencana**				
	Luar Negeri			**Indonesia**	
	Gempa Bumi dan Tsunami	**Kebakaran**	**Lain – lain**	**Gempa Bumi dan Tsunami**	**Kebakaran**
Celullar Automata	-	Rui dkk., 2013 Yang dkk., 2002	Tissera dkk., 2007 Badler dkk., 2011	-	-
Agent-Based Modeling	Kagaya dkk., 2005	Shi dkk.,2009 Tang dan Ren, 2008	Almeida dkk., 2010 Ha, 2012	Saputra dkk., 2012 Munadi dkk., 2012	Dwiputra, 2013 (Penelitian ini)
Flow-Based Modeling	-	-	-	-	Effendi dkk., 2012

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Bencana Kebakaran

Menurut Perda DKI Nomor 3 tahun 1992, kebakaran adalah suatu peristiwa timbulnya api yang tidak terkendali yang dapat membahayakan jiwa maupun harta benda. Klasifikasi kebakaran berdasarkan bahan bakar yang terbakar terdiri dari kelas A, kelas B, kelas C, dan kelas D. Kelas A adalah kebakaran pada bahan yang mudah terbakar, misalnya kertas, kayu, dan plastik. Kelas B adalah kebakaran yang melibatkan bahan seperti cairan *combustible* dengan cairan *flammable*, seperti bensin dan minyak tanah. Kelas C adalah kebakaran yang disebabkan oleh listrik bertegangan. Kelas D adalah kebakaran pada bahan logam yang mudah terbakar.

Menurut Umiati (2008), bencana kebakaran disebabkan oleh peristiwa alamseperti sinarmatahari, petir, halilintar dan tindakan manusia baik disengaja atau tidak disengaja seperti kompor yang meledak, hubungan aruspendek litrik, bom, dan lain–lain. Bencana kebakaran merupakan bencana yang datangnya tidak dapat diperkirakan dan diprediksi (*unpredictible*) sebelumnya (Rahman, 2004). Kapan datangnya, apa penyebabnya, tingkat cakupannya serta seberapa besar dampak yang ditimbulkanya adalah hal-hal yang tidak bisa diperkirakan oleh kemampuan manusia. Teknologi yang ada saat ini hanya mampu memberikan peringatan dini, tetapi mempunyai kemampuan yang sangat terbatas untuk memberi waktu persiapan dan pertolongan dalam menghadapi bahayanya. Sehingga cara yang paling efektif dalam menghadapi terjadinya bencana kebakaran adalah menghindari faktor–faktor penyebab terjadinya kebakaran.

Kebakaran sering menimbulkan berbagai akibat yang tidak diinginkan baikyang menyangkut kerugian material, kerusakan lingkungan, maupun korban jiwa. Bencana kebakaran juga merupakan bahaya yang mempunyai dampak yang sangat luas yang meliputi kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat yang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

mengalaminya. Kebakaran yang terjadi dipemukiman padat penduduk ataupun pusat-pusat kegiatan ekonomi didaerah perkotaan dapat menimbulkan akibat-akibat sosial, ekonomi dan psikologis yang luas orang yang mengalami bencana ini, akan bisa mengalami *shock* yang berkepanjangan (Rahman, 2004).

3.2 Simulasi Evakuasi Kebakaran

Simulasi didefinisikan sebagai suatu teknik meniru proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer dan dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah (Law dan Kelton, 2001). Ingalls (2002) mengatakan bahwa simulasi merupakan proses merancang sebuah model dari suatu sistem nyata yang bertujuan untuk melakukan eksperimen dan memahami perilaku sistem. Simulasi dapat mengamati efek dari interaksi antara objek dan mampu memecahkan masalah secara efektif.

Salah satu keuntungan simulasi adalah dapat menghemat waktu dan tenaga dibandingkan bekerja pada keadaan yang sebenarnya. Simulasi memperoleh hasil lebih cepat karena membutuhkan lebih sedikit waktu dalam pengaturan sebuah lingkungan dibandingkan pada dunia nyata. Salah satu kemampuan simulasi untuk menghemat waktu adalah pada suatu aktivitas yang apabila dikerjakan pada dunia nyata akan menghabiskan waktu beberapa tahuntetapi dapat disimulasikan hanya dalam beberapa menit atau detik. Selain itu, simulasi dapat melakukan pengulangan apabila peneliti perlu membandingkan waktu evakuasi korban bencana pada pintu keluar yang berbeda–beda ukuran, dan sebagainya.

Pendekatan simulasi diawali dengan membangun model dari sistem nyata. Model dari sistem nyata menunjukkan bagaimana berbagai komponen dalam sistem saling berinteraksi sehingga dapat menggambarkan perilaku sistem. Setelah model dibuat maka model tersebut ditransformasikan ke dalam program komputer sehingga memungkinkan untuk disimulasikan. Simulasi evakuasi kebakaran diartikan sebagai sebuah visualisasi dari proses evakuasi bencana kebakaran.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3 Agent – Based Modeling

Agent-Based Modeling (ABM) merupakan suatu pendekatan simulasi berbasis *agent*. Simulasi berbasis *agent* adalah sebuah pendekatan simulasi yang dapat menganalisis interaksi antar individu pada suatu sistem. *Agent* adalah suatu set kesatuan pembuat keputusan otonom yang memodelkan suatu sistem (Munadi dkk., 2012). ABM memberi cara untuk memodelkan tingkah laku individu dan bagaimana tingkah laku tersebut mempengaruhi individu lain (Macal dan North, 2011). Bonabeau (2002) menyatakan bahwa ABM adalah teknik simulasi untuk memecahkan masalah pada dunia nyata dengan cara memodelkan sistem tersebut sebagai kumpulan dari entitas yang dapat mengambil keputusan yang disebut *agents*. Pada metode ABM bukan model yang menyelesaikan masalah tetapi *agent* dalam model yang akan memecahkan masalah yang dihadapi (Bonabeau, 2002).

Menurut Macal dan North (2011),struktur dari ABM terdiri dari tiga elemen, yaitu:

1.*Agents*, dengan atribut dan perilakunya.

2.*Agents relationship* dan metode interaksinya. Sebuah aturan dasar yang mendefinisikan bagaimana dan dengan siapa agen berinteraksi.

3. *Agents' environment*, *agent* berinteraksi dengan lingkungan dan *agen*t lainnya.

Menurut Macal dan North (2011), kunci untuk mengembangkan model berbasis *agent* adalah dengan mengidentifikasi perilaku *agent* dan secara tepat mewakili interaksi antara *agent*. Simulasi berbasis ABM menerjemahkan interaksi antara *agent* satu dengan yang lain. Mnurut Smith dan Conrey (2007), ABM merupakan pendekatan simulasi yang baik untuk menangkap proses interaksi yang ada pada sistem nyata.

Yasik (2009) menyatakan bahwa ABM adalah suatu metode yang digunakan untuk eksperimen dengan melihat pendekatan dari bawah ke atas (*bottom-up)* bagaimana interaksi perilaku–perilaku individu dapat mempengaruhi perilaku sistem. ABM adalah pendekatan simulasi berbasis komputer untuk memodelkan semua perilaku entitas (*agent*) yang terlibat dalam dunia nyata

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Menurut Twomey dan Cadman (2002), ABM adalah metode yang menggunakan pendekatan dari bawah ke atas (*bottom-up*) untuk mendapatkan pemahaman mengenai suatu sistem dengan membangun agen yang dirancang untuk meniru secara detil atribut dan perilaku agen di alam nyata. Metode ABM berguna untuk menghasilkan simulasi yang dapat digunakan untuk tujuan eksplanatori dan prediksi (Twomey dan Cadman, 2002).

Twomey dan Cadman (2002) mengatakan bahwa kelebihan ABM adalah mampu membuat model menjadi semakin realitis dengan menerjemahkan heterogenitas perilaku dari setiap *agent*. Sedangkan kelemahan ABM adalah kurangnya data yang memadai untuk keperluan pemodelan dan membutuhkan kemampuan pemrograman yang baik.

3.4 NetLogo

Dalam pengembangan simulasi berbasis *agent*, terdapat banyak *free software* yang dapat digunakan, diantaranya adalah NetLogo. NetLogo merupakan suatu program pemodelan yang digunakan untuk mensimulasikan fenomena alam dan sosial. NetLogo dibuat oleh Wilensky pada tahun 1999 dan terus dikembangkan di *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*. NetLogo merupakan program yang cocok digunakan untuk mensimulasikan sistem yang kompleks. Pembuat model dapat memberikan instruksi kepada ratusan bahkan ribuan *agent* yang beroperasi secara independen. NetLogo tidak hanya menjadi *software* sederhana yang digunakan oleh mahasiswa dan pengajar, namun dapat digunakan untuk melakukan penelitian di berbagai bidang seperti difusi teknologi dan evakuasi bencana.

Pada NetLogo terdapat perintah (*command*) yang dapat digunakan untuk mendefinisikan perilaku *agent* beserta efek yang akan ditimbulkan. Biasanya kata perintah berupa kata kerja seperti melompat (*jump*), membuat (*create*), dan sebagainya.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5 Pengukuran Kinerja Simulasi Proses Evakuasi

Simulasi proses evakuasi bencana bertujuan untuk memperoleh waktu evakuasi. Waktu evakuasi akan menjadi parameter kinerja terhadap suatu proses evakuasi. Penelitian Almeida dkk. (2010) menggunakan parameter waktu evakuasi untuk menentukan lebar pintu yang paling optimal pada suatu *layout* bangunan. Waktu evakuasi mempunyai beberapa komponen, yaitu *Required Safe Egress Time* (RSET) dan *Available Safe Egress Time* (ASET). Chow dan Candy (2006) menyatakan bahwa RSET adalah waktu yang diperlukan penghuni dalam gedung untuk menuju lokasi aman sejak pertanda kebakaran diberikan. Chow dan Candy (2006) juga menyatakan bahwa ASET adalah batas waktu yang tersedia untuk penghuni menuju pintu keluar yang aman sebelum kondisi penghuni atau bangunan tidak mampu menahan bencana tersebut.

RSET mempertimbangkan *pre-movement time* dalam perhitungannya. *Pre-movement time* adalah waktu yang sejak pertanda kebakaran diberikan sampai pergerakan pertama yang dilakukan untuk menuju keluar (Chow dan Candy, 2006). Pada penelitian Olsson dan Regan (2001) diketahui bahwa *pre-movement time* yang dihasilkan penghuni pada ruang kelas adalah 24 detik.

ASET diartikan sebagai batas waktu suatu lokasi mampu menahan efek dari kebakaran. ASET menghitung tingkat pertumbuhan api pada suatu level kebakaran tertentu. Kebakaran menyebar melalui beberapa tahap yang berbeda (Fleischmann, 2009). Proses pertama adalah proses awal munculnya api. Proses kedua adalah pertumbuhan selama api terlokalisir ke beberapa objek pembakaran. Proses ketiga adalah proses perkembangan api sepenuhnya. Proses keempat adalah proses penyusutan api karena api telah mengkonsumsi bahan bakar yang tersedia. Pada tahap pertumbuhan api, laju pertumbuhan api menentukan cepat lambatnya penyebaran kebakaran. Fleischmann (2009) mengatakan bahwa untuk memodelkan tingkat pertumbuhan api sebenarnya sangat sulit dan masih merupakan bidang penelitian yang aktif.

Hadjisophocleous dan Benichou (1999) menyatakan bahwa tingkat pertumbuhan api merupakan parameter paling penting untuk menentukan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

performa dari desain keamanan kebakaran. Tingkat pertumbuhan api ditentukan dengan menghitung waktu *Heat Release Rate* (HRR) mencapai titik maksimal dari suatu lokasi. HRR adalah energi yang dihasilkan dari pembakaran yang berubah seiring dengan perubahan ukuran api dan berjalannya waktu dari awal pembakaran terjadi. Menurut Babrauskas dan Peacock (1992), HRR merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap bahaya kebakaran. Penelitian Fleischmann (2009) mengatakan bahwa metode untuk menghitung HRR adalah dengan menggunakan *t-squared fire growth rate*. Persamaan (3.1) digunakan dalam menghitung HRR.

$$q = \alpha.t^2 \qquad (3.1)$$

$$t = \sqrt{\frac{q}{\alpha}} \qquad (3.2)$$

Keterangan:

q = *heat release rate* (kW)

α = *fire growth constant* (kW/s^2)

t = waktu pembakaran efektif (detik)

Selain menggunakan perhitungan HRR, ASET dapat diperoleh dari penelitian Hadjisophocleous dan Benichou (1999).ASET dapat diterjemahkan sebagai waktu kritis dimana suatu lokasi tidak mampu menahan efek dari kebakaran. Waktu kritis setiap lokasi ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu Kritis suatu Lokasi saat kebakaran

(Hadjisophocleous dan Benichou, 1999)

Type of zone	Critical time to reach untenable conditions in means of escape (min)
Unprotected fire zone (zone of occurrence of fire)	
● Normal sized room ($\leq$ 100 m^2)	2–2.5
● Larger compartments or room (height > 4 m)	4–6
Partially protected zone (zone with heat and smoke resisting barriers for a limited time)	
● Natural smoke expulsion	5
● Pressurization or extraction system	10
Fully protected zone (zone where protection remains acceptable for the whole duration for which protection is required in the building)	
● Natural smoke expulsion, no lobby	30
● Natural smoke expulsion, lobby	45
● Pressurization or extraction system	60

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian Hadjisophocleous dan Benichou (1999) menyatakan bahwa untuk tipe zona kebakaran yang tanpa perlindungan dengan ukuran ruangan normal (<100m^2), memiliki waktu kritis sekitar 2 - 2,5 menit.

3.6 Verifikasi dan Validasi Sistem

Verifikasi merupakan proses pengujian apakah penerjemahan model simulasi dasar ke dalam bahasa pemrograman secara benar dilakukan. Menurut Xiang (2005), verifikasi adalah proses yang menentukan apakah program dari model dasar benar dan juga mengidentifikasi kesalahan pada pemrograman yang telah dibuat ke dalam *software* untuk memodelkan sistem nyata.

Validasi adalah proses menentukan apakah model simulasi yang dibuat sesuai dengan sistem nyata. Menurut Kuligowski dan Peacock (2005), cara untuk melakukan validasi terhadap model evakuasi bisa dengan melakukan *fire drill*, mempelajari literatur *fire drill* dari peneliti lain, validasi terhadap model evakuasi lain, atau validasi menggunakan hasil penelitian literatur lain. Serta menurut Almeida dkk. (2010), untuk melakukan validasi model evakuasi dapat menggunakan kemampuan matematis dan rumus empiris.

Perhitungan *Van Bogaert* dan *Paper and Pencil* adalah perhitungan yang digunakan untuk menghitung waktu evakuasi. Hasil ini akan digunakan untuk melakukan validasi yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan komputer. Hasil ini tidak memasukkan *pre-movement time*, sehingga kedua metode ini hanya memperhitungkan *movement time* yaitu waktu dari saat bangkit sampai menuju pintu keluar gedung.

Perhitungan *Van Bogaert* digunakan untuk validasi hasil simulasi. Menurut Coelho (2010), perhitungan *Van Bogaert* dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

a. Waktu untuk meninggalkan ruang menuju koridor

Rumus yang digunakan adalah persamaan (3.3) sebagai berikut.

$$T = \frac{O_{room}}{F_{d \times N_{upe}}} \text{ (s)} \qquad (3.3)$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b. Waktu untuk keluar gedung dari pintu menuju pintu keluar gedung.

Rumus yang digunakan adalah persamaan (3.4) sebagai berikut.

$$T = \frac{D_{exit\ building}}{F_d} (s) \qquad (3.4)$$

c. Waktu mahasiswa terdekat dari lokasi titik awal penghuni menuju pintu keluar ruangan.Rumus yang digunakan adalah persamaan (3.5) sebagai berikut.

$$T = \frac{D_{exit\ room}}{F_d} (s) \qquad (3.5)$$

Keterangannya adalah sebagai berikut:

i. O_{room} = jumlah orang yang akan meninggalkan ruangan melalui pintu.
ii. F_d = *horizontal flow* yaitu 1,5 *person/passage unit.second*.
iii. N_{upe}= *angka passage unit* dari pintu yaitu 1.
iv. $D_{exit\ building}$= jarak dari pintu keluar ruangan menuju pintu keluar gedung.
v. $D_{exit\ room}$ = jarak dari titik awal menuju pintu keluar ruangan.

Perhitungan *Paper and Pencil* juga bisa digunakan untuk validasi hasil simulasi sistem sederhana. Kretz (2011) menggunakan perhitungan *Paper and Pencil* untuk menghitung waktu evakuasi. Perhitungan *Paper and Pencil* ditunjukkan pada persaamaan (3.6).

$$T = \frac{N}{j.b} + \frac{d}{v} \qquad (3.6)$$

Keterangan:

T = Waktu populasi mencapai pintu keluar (*second*)

N = Jumlah populasi (*person*)

j = 1,3 (1/m.s) (*International Maritim Organization*, 2007)

b = Lebar pintu keluar (*meter*)

v = Kecepatan setiap individu dalam populasi (*meter/second*)

d = Jarak tempuh menuju pintu keluar (*meter*)

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.7 Uji Statistik

3.7.1 Uji Kenormalan Data

Uji kenormalan data bertujuan untuk mengetahui apakah data yang dikumpulkan mengikuti distribusi normal. Uji kenormalan data digunakan dalam penentuan metode pengujian data selanjutnya. Jika data terdistribusi normal maka pengujian statistik parametrik digunakan untuk membandingkan hasil simulasi, sebaliknya jika data tidak terdistribusi normal, maka langkah berikutnya adalah dengan melakukan pengujian statistik non-parametrik.

3.7.2 Uji Keseragaman

Uji keseragaman data dilakukan untuk memisahkan data – data hasil replikasi simulasi yang bersifat *outlier*. Data yang berada di luar batas *Upper Control Limit* (UCL) dan *Lower Control Limit* (LCL) akan dibuang kemudian dilakukan uji keseragaman kembali hingga tidak ada data *outlier*.

3.7.3 Uji Kecukupan

Uji kecukupan data bertujuan untuk menganalisis jumlah data apakah sudah menjadi *representative* dari keseluruhan data. Uji kecukupan data menggunakan tingkat ketelitian sebesar 5% dan tingkat keyakinan 95% ditunjukkan oleh Persamaan 3.6.

$$N' = \left[\frac{k}{s}\sqrt{N\left(\sum xi^2\right) - \left(\sum xi\right)^2}\right]^2 \qquad (3.6)$$

Keterangan:

N’ = jumlah pengamatan minimum

N = jumlah pengamatan yang telah dilakukan

K = tingkat kepercayaan

S = tingkat ketelitian

Jika N ≥ N’ maka data dikatakan cukup

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.7.4 Uji t-test

Uji *t-test* digunakan apabila data terdistribusi normal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi satu dengan hasil simulasi lainnya. Uji *t-test* juga digunakan untuk validasi suatu hasil simulasi komputer dengan hasil yang diperoleh menggunakan suatu persamaan dari literatur.

3.8 Penentuan Jumlah Sampel

Untuk menduga populasi dilakukan dengan menguji sampel. Semakin banyak sampel yang diambil semakin besar kemungkinan sampel itu mewakili populasinya, sehingga pendugaan populasi dengan sampel semakin tepat. Tapi semakin besar jumlah sampel semakin tidak efisien, baik waktu, biaya dan tenaga.

Dengan diketahuinya jumlah populasi, rumus SLOVIN dapat digunakan untuk menentukan jumlah sampel. Menurut Soleh (2005), ada satu buah rumus yang penggunaannya sudah sangat umum dalam penentuan jumlah sampel, yaitu rumus SLOVIN. Pada rumus SLOVIN, penentuan jumlah sampel didasarkan pada banyaknya anggota populasi (N) dan tingkat kepercayaan (1-α) 100% (Soleh, 2005). Adapun rumusan dari penentuan banyaknya sampel melalui rumus SLOVIN adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1+N\alpha^2} \qquad (3.7)$$

Keterangan:

n : jumlah sampel

N : jumlah populasi

α : batas toleransi kesalahan

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah ruang kuliah M-2 Jurusan Teknik Mesin dan Industri (JTMI), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta, Indonesia.

Data yang dibutuhkan pada simulasi proses evakuasi kebakaran adalah data perilaku. Data perilaku mahasiswa diperoleh menggunakan instrumen kuesioner. Responden dari pengumpulan data ini adalah mahasiswa S-1 aktif Jurusan Teknik Mesin dan Industri. Setelah data diperoleh, proses evakuasi dimodelkan dengan *software* NetLogo.

4.2 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. NetLogo 5.0.2.

   Software ini digunakan untuk membangun sebuah model dan dapat digunakan untuk membuat simulasi dari *real system*, serta melakukan analisis skenario simulasi agar dihasilkan suatu *scenario improvement* yang paling tepat untuk diaplikasikan npada sistem nyata.

2. SPSS 16.0

   SPSS 16.0 adalah *software* untuk menganalisis data statistik meliputi uji kenormalan, *one-sample-t-test*, *independent-t-test*, *chi-square*, dan pengujian statistik lainnya.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3 Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data diawali dengan menjelaskan tujuan penelitian. Kemudian responden harus membayangkan seolah–olah sedang berada pada ruang M-2 JTMI dan mendapat sinyal akan pertanda kebakaran berupa bau asap. Peneliti memberikan video yang mampu merefleksikan bentuk kebakaran yang akan terjadi. Setelah itu, responden diminta mengisi kuesioner yang telah diberikan.

4.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dibagi menjadi pengolahan data kuesioner dan pengujian statistik terhadap data hasil replikasi simulasi yang dilakukan.

4.4.1. Pengolahan Data Kuesioner

Data kuesioner yang telah diperoleh diolah dengan membuat kode jawaban pada setiap pertanyaan yang diberikan. Kemudian dilakukan proses pengelompokan perilaku pada setiap mahasiswa yang memperoleh jawaban yang sama. Setiap kode jawaban yang sama akan dikelompokkan menjadi satu kelompokmahasiswa.

4.4.2. Pengujian Data Hasil Simulasi

Data hasil hasil replikasi dari simulasi diuji dengan beberapa pengujian statistik, diantaranya:

1. Uji Normalitas

   Uji normalitas data bertujuan untuk mengetahui apakah data hasil replikasi simulasi yang diperoleh mengikuti distribusi normal.

2. Uji Keseragaman

   Uji keseragaman data dilakukan untuk memisahkan data–data hasil replikasi simulasi yang bersifat *outlier*.

3. Uji Kecukupan

   Uji kecukupan data bertujuan untuk mengetahui apakah jumlah replikasi simulasi sudah cukup.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. Uji *t-test*

   Uji *t-test* digunakan apabila data hasil replikasi simulasi terdistribusi normal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi satu dengan hasil simulasi lainnya. Pengujian ini juga digunakan untuk validasi waktu evakuasi hasil simulasi dengan waktu simulasi yang diperoleh menggunakan persamaan yang diperoleh dari literatur.

4.4. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun model dasar

   Penyusunan model dasar bertujuan untuk membantu penataan masalah pada sistem nyata. Penyusunan model dasar pada penelitian ini adalah memodelkan struktur atau bentuk *layout* yang akan dijadikan objek penelitian yaitu ruang M-2 JTMI. Model dasar dibuat mendekati sistem nyata yang ada pada ruang M-2 dimana susunan tempat duduk dibuat, kapasitas pintu, dan lebar koridor dibuat sama.

2. Pengumpulan data

   Setelah model dasar dibuat, tahap selanjutnya adalah mencari data perilaku. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data perilaku/respon mahasiswa yang berada padaruang M-2 JTMI pada kondisi darurat kebakaran.

   Posisi pintu keluar mempengaruhi pengambilan keputusan respondenpada saat memilih pintu keluar, apakah pada pintu keluar gedung terdekat atau pintu keluar gedung pada saat *agent* masuk. Kondisi kebakaran pada gedung juga mempengaruhi perilaku responden dimana korban akan menjauh dan mengambil jalur yang terhindar dari titik api berada atau tidak. Kemudian faktor psikologis responden juga mempengaruhi pengambilan keputusan saat

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

berada pada keadaan darurat kebakaran yang cenderung mengikuti arah sekumpulan orang yang berada di sekitarnya menuju pintu keluar atau tidak.

Metode pengumpulan data perilaku *agent* pada keadaan darurat bencana kebakaran diperoleh menggunakan kuisioner. Kuesioner menanyakan respon terhadap pertanda kebakaran, respon ketika berhadapan dengan api, perilaku pada saat terjadi kemacetan, dan pemilihan pintu keluar gedung oleh responden. Sebelum pengisian kuesioner, peneliti meminta mahasiswa untuk membayangkan apabila terjadi kebakaran di ruang M-2.Peneliti menggunakan bantuan video untuk memvisualisasikan bentuk kebakaran yang terjadi.

3. Pengelompokkan mahasiswa

   Setelah kuesioner diisi, kumpulan jawaban akan dikode menggunakan angka.Peneliti mengklasifikasikan respon berdasarkan pilihan kode jawaban yang sama pada setiap mahasiswa. Klasifikasi jawaban akan membentuk beberapa kelompok mahasiswa dengan respon dan perilaku yang berbeda.

4. Memodelkan sistem pada *software* NetLogo

   Pemodelanproses evakuasi bencana kebakaran dilakukan menggunakan *software* NetLogo 5.0.2. Sebelum melakukan proses *coding*, peneliti membuat suatu *timeline* perilaku untuk setiap kelompok mahasiswa. *Timeline* merupakan suatu tahapan perilaku dari kelompok mahaiswa yang meliputi respon awal terhadap pertanda kebakaran, respon saat kebakaran, dan interaksi antara kelompok mahasiswa. *Timeline* perilaku menunjukkan waktu untuk setiap kelompok mahasiswa bangkit dari tempat duduk dan melakukan proses evakuasi.

5. Melakukan proses simulasi

   Setelah model dimasukkan ke dalam *coding*, peneliti melakukan proses simulasi untuk memperoleh waktu evakuasi yang dibutuhkan seluruh mahasiswa di ruang M-2 JTMI. Peneliti membedakan simulasi berdasarkan posisi sumber api. Terdapat tiga lokasi sumber api, yaitu di sisi timur ruang M-2, di sisi barat ruang M-2, dan di sisi tengah ruang M-2.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Hasildiperoleh dengan melihat rata–rata yang dihasilkan oleh 20 replikasi simulasi. Hasil replikasi simulasi diuji menggunakan uji kenormalan, uji keseragaman, dan uji kecukupan data.

6. Melakukan pengukuran kinerja

   Hasil simulasi yang diperoleh adalah waktu evakuasi yang dibutuhkan mahasiswa di ruang M-2 untuk menuju pintu keluar gedung (RSET). Hasil ini dibandingkan dengan waktu yang tersedia untuk mahasiswa di ruang M-2 untuk melakukan evakuasi menuju keluar gedung (ASET). Proses evakuasi dikatakan aman apabila *margin of safety* (selisih antara ASET dengan RSET) memiliki nilai yang cukup besar.

7. Melakukan pengujian model

   Peneliti menguji model evakuasi dengan proses verifikasi model dan validasi hasil simulasi. Verifikasi dilakukan dengan menunjukkan model kepada sesama pengguna *software* NetLogo. Pengguna *software* NetLogo akan menentukan bahwa *coding* pada model terdapat kesalahan atau tidak.

   Validasi dilakukan dengan membandingkan waktu evakuasi simulasi dengan waktu evakuasi menggunakan rumus perhitungan. Peneliti menghitung waktu evakuasi dengan dua perhitungan yaitu *Van Bogaert Method* dan *Paper and Pencil*.

8. Melakukan simulasi dengan beberapa skenario perbaikan

   Setelah terverifikasi dan tervalidasi, peneliti memodelkan beberapa skenario perbaikan proses evakuasi menggunakan *software* NetLogo 5.0.2. Skenario perbaikan bertujuan untuk mengoptimalkan waktu evakuasi. Peneliti juga mengkombinasikan skenario perbaikan dengan tujuan memperoleh waktu evakuasi yang lebih optimal.

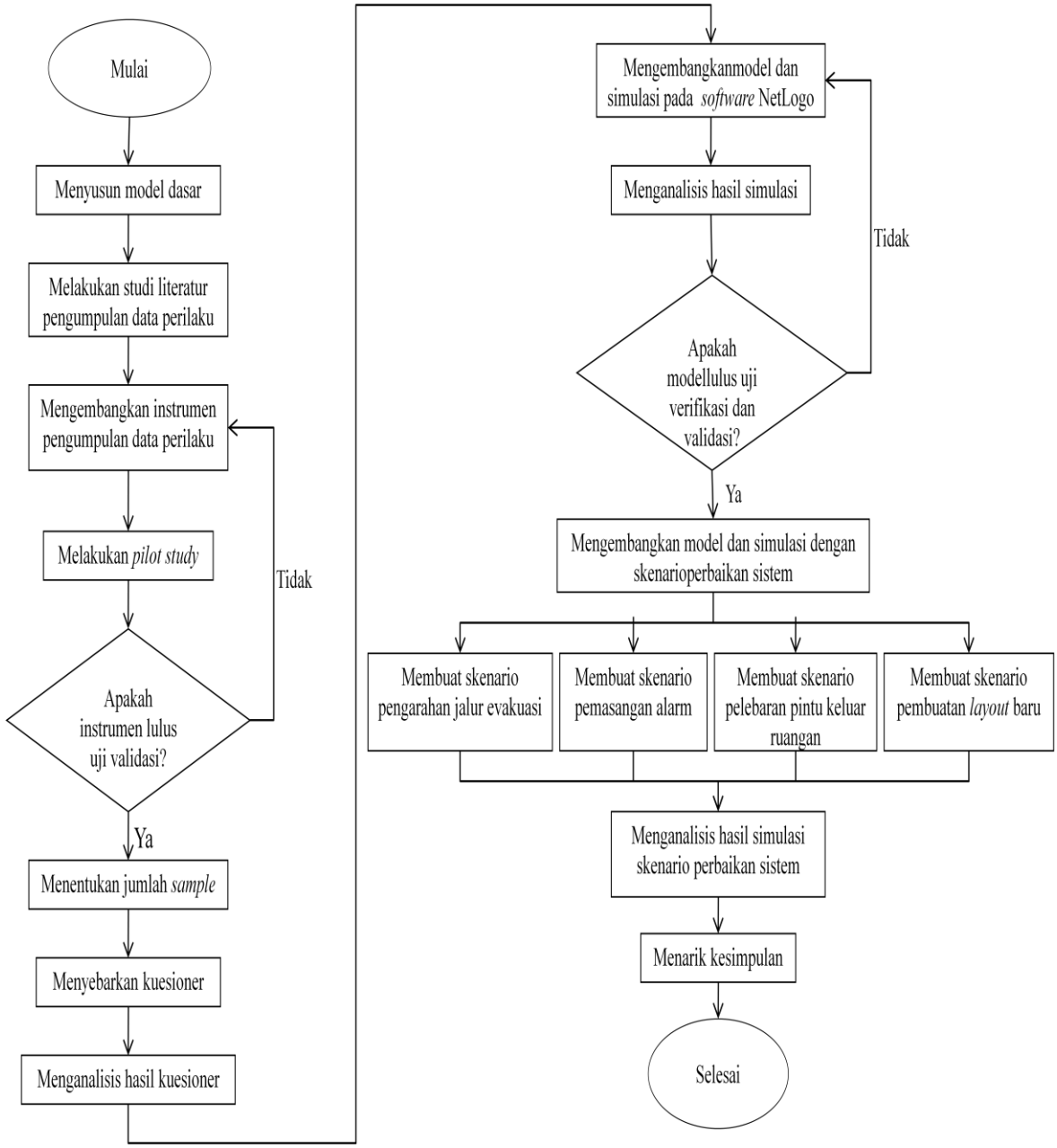
9. Menganalisis hasil simulasi

   Setiap skenario perbaikan sistem akan menghasilkan waktu evakuasi yang berbeda. Dalam menganalisis hasil simulasi, peneliti membandingkan waktu evakuasi setiap skenario perbaikan sistem dengan skenario sebelum perbaikan

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sistem. Perbandingan waktu evakuasi bertujuan untuk menentukan skenario perbaikan sistem yang paling optimal.

Tahapan-tahapan penelitian ditunjukkan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Alir Penelitian

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengembangan Instrumen Penelitian

Pengembangan instrumenpada penelitian ini diawali dengan studi literatur. Instrumen yang digunakan merupakan pengembangan dari studi literatur penelitian-penelitian sebelumnya mengenai analisis perilaku manusia pada saat evakuasi bencana. Tahap pengembangan instrumen yang dilakukan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

5.1.1. Studi Literatur

Pada tahap ini studi literatur dilakukan pada beberapapenelitian yang membahas tentang analisis perilaku manusia pada saat evakuasi bencana. Publikasi yang dipelajari ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Daftar Publikasi untuk Analisis Perilaku

Penulis	Judul
Cordeirodkk., 2011	*Human Behavior Under Fire Situations – Portuguese Population*
Setyawan dan Kartika, 2010	Studi Eksploratif Tingkat Kesadaran Penghuni Gedung Bertingkat Terhadap Bahaya Kebakaran
Thompson, 2011	*Human Behaviour in Accidental Dwelling Fires*
Liudan Lo. 2011	*The Quantitative Investigation on People's Pre-Evacuation Behavior Under Fire*
Johansson, 2011	*Pre-Movement Time and Human Behavior – Evacuations in Australia Compared to International Guidelines*
Sekizawa dkk. 1999	*Occupant's Behavior in Response to High-rise Apartments Fire in Hiroshima City*

Berdasarkan studi literatur, diperoleh bahwa proses pengumpulan data perilaku mahasiswa dapat dilakukan dengan instrumen kuesioner. Dari beberapa jurnal tersebut diperoleh pertanyaan kuesioner yang beragam. Langkah berikutnya

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

adalahmenganalisispertanyaan pada jurnal yang ada pada Tabel 5.1.Analisis pertanyaan bertujuan untuk memperoleh pertanyaan yang sesuai untuk memperoleh informasi perilaku manusia pada saat evakuasi bencana kebakaran.

5.1.2. *Pilot study*

Sebelum penyebaran kuesioner, *pilot study* dilakukan terlebih dahulu. Tujuan utama dari *pilot study* adalah untuk menguji keefektifan dari instrumen *survey* (kuesioner) sebagai alat komunikasi antara peneliti dan responden. Pengujian yang dilakukan dalam *pilot study* ini meliputi dua hal, yaitu *face validity* dan *content validity*. *Face validity* mengacu pada penilaian informal terhadap kesesuaian item yang termasuk dalam instrumen oleh orang awam, sementara *content validity* mengacu padapenilaian para ahli mengenai kesesuaian konten pertanyaan dengan informasi yang ingin diperoleh.

Tujuan utama dari *pilot study* yang dilakukan adalah:

a. Untuk mengidentifikasi jika terdapat kesalahan pada instrumen penelitian.
b. Untuk memprediksi kesulitan yang mungkin muncul pada saat pengerjaan *survey* utama dan menemukan solusi untuk meminimalisasi kesulitan tersebut.
c. Untuk mengestimasi waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan kuesioner.
d. Untuk menilai sensitivitas data yang akan ditanyakan dari sudut pandang responden serta untuk memperoleh masukan untuk memperbaiki level respon.
e. Untuk menilai validasi muka dan validasi konten. Validasi muka mengacu padapenilaian informal terhadap kesesuaian item yang termasuk dalam instrumenoleh orang awam, sementara validasi konten mengacu padapenilaian para ahli mengenai kesesuaian konten pertanyaan dengan informasi yang ingin diperoleh.

Metode yang digunakan dalam *pilot study* ini adalah dengan pemberian kuesioner utama dan lembar penilaian *pilot study* yang berisikan sebelas item pertanyaan dengan tipe pertanyaan terbuka. Daftar pertanyaan ditunjukkan pada

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 1. Responden diminta untuk membaca keseluruhan kuesioner utama kemudian mulai mengisi kuesioner *pilot study*. Responden dapat secara bebas memberikan masukan dan perbaikan pada masing-masing pertanyaan mengenai penilaian mereka terhadap kuesioner utama.

Tahap pertama *pilot study* menggunakan dua responden yang berasal dari mahasiswa Jurusan Teknik Mesin dan Industri. Setelah *pilot study* dilakukan, ditemukan beberapa kesalahan pada *survey* utama. Setelah dilakukan perbaikan terhadap kesalahan, *pilot study* tahap dua bisa dilakukan. *Pilot study*tahap dua menggunakan dua responden yang merupakan dosen Jurusan Teknik Mesin dan Industri. Instrumen kemudian diperbaiki sesuai hasil yang diperoleh dari *pilot study* tahap dua. Setelah dilakukan perbaikan, *pilot study* tahap akhir bisa dilakukan. Pada *pilot study* tahap akhir, peneliti menggunakan dua responden yang berasal dari responden yang memiliki keahlian atau pengalaman mengenai proses evakuasi kebakaran. Tabel 5.2 menunjukan profil responden dari *Pilot Study*.

Tabel 5.2 Profil Responden *Pilot Study*

No	Status	Pengalaman di bidang evakuasi kebakaran	Jumlah	Tahap
1	Mahasiswa JTMI	0 kali	2	1
2	Dosen JTMI	1 kali	2	2
3	Pemadam kebakaran	>10 kali	2	3

Hasil *pilot study* dapat dilihat pada Lampiran 2, 3, dan 4. Setelah tiga tahap *pilot study* dilakukan, instrumen dapat dinyatakan valid secara kualitatif dan siap untuk disebarkan kepada responden. Daftar pertanyaan dan kuesioner yang akan diberikan kepada responden ditunjukkan pada Lampiran 5 dan 6.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2. Pengumpulan Data

Menurut Soleh (2005), metode untuk mengumpulkan data tergantung pada karakteristik data, maka teknik yang digunakan pun tidak selalu sama. Beberapa metode sudah dikenal luas sebagai suatu teknik untuk mengumpulkan data seperti wawancara, *survey* yang terdiri dari pengamatan (observasi) dan kuesioner, serta studi dokumentasi.

Proses pengumpulan data pada penelitian ini adalah dengan menggunakan kuesioner. Populasi yang dipilih adalah mahasiswa S-1 aktif JTMI sampai tahun ajaran 2012/2013 yang pernah menggunakan ruang M-2 JTMI. Tabel 5.3menunjukkan jumlah mahasiswa S-1 aktif JTMI sampai tahun ajaran 2012/2013.

Tabel 5.3 Jumlah Mahasiswa S-1 Aktif JTMI

(Direktorat Akademik UGM, 2013)

No	Program Studi	Populasi
1	Teknik Mesin	649
2	Teknik Industri	625
Total		1274

Dengan diketahuinya jumlah populasi, digunakan rumus SLOVIN untuk menentukan jumlah sampel. Rumus SLOVIN ditunjukkan pada Persamaan 3.7.

Berdasarkan rumus SLOVIN dengan jumlah populasi total mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Mesin dan Industri sebesar 1274 mahasiswa dan tingkat kepercayaan sebesar 95%, diperoleh jumlah sampel minimal 305 mahasiswa. Namun dengan keterbatasan waktu dan biaya, tingkat kepercayaan diturunkan menjadi 90% dan menghasilkan jumlah sampel minimal 93 mahasiswa.

5.2.1. Deskripsi Responden

Responden pada penelitian ini adalah mahasiswa S-1 aktif JTMI sampai tahun ajaran 2012/2013.Jumlah responden dibagi berdasarkan program studi dan angkatannya masing–masing. Dari hasil perhitungan proporsi program studi, diperoleh bahwa kuesioner disebar minimal kepada 47 mahasiswa Teknik Mesin

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dan 46 mahasiswa Teknik Industri. Tabel 5.4 menunjukkan perhitungan proposi masing–masing program studi.

Tabel 5.4 Jumlah Sampel Setiap Program Studi

Program Studi	**Proporsi (%)**	**Jumlah Sampel**	
		Hasil Slovin	**Pembulatan**
Teknik Mesin	649/1274x100% = 50,94%	50,94%x93 = 47,38	47
Teknik Industri	625/1274x100% = 49,06%	49,06%x93 = 45,62	46
Total	100%	**Total**	93

Setelah dilakukan penyebaran kuesioner didapatkan data sejumlah 127 buah. Tabel 5.5 menunjukkan jumlah data yang tersebar.

Tabel 5.5 Tabel Jumlah Responden

Program Studi	**Angkatan**	**Jumlah**	**Jumlah Total**
Teknik Mesin	2012	12	48
	2011	12	
	2010	12	
	2009	12	
Teknik Industri	2012	12	79
	2011	27	
	2010	21	
	2009	19	
Total Responden			**127**

5.2.2. Data *Preparation*

Pencarian data dilakukan untuk mengetahui respon dan perilaku mahasiswa JTMI pada proses evakuasi bencana kebakaran di ruang M-2. Pengisian oleh responden sebagian dilakukan di ruang M-2 langsung dengan menampilkan video kebakaran. Hal ini ditujukan untuk menyamakan persepsi antar responden

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

terhadap besar kebakaran yang terjadi. Namun dengan keterbatasan waktu dan tempat, sebagian responden mengisi kuesioner di luar ruang M-2. Proses pengisian diawali dengan meminta responden membayangkan sedang berada pada ruang M -2 dan ruang M-2 mengalami kebakaran.

5.2.3. Rekapitulasi Hasil

Setelah kuesioner disebar, diperoleh 127 jawaban dari responden. Rekapitulasi hasil ditunjukkan pada Lampiran 7.

5.3. Pengelompokkan Mahasiswa

Pengelompokkan mahasiswa bertujuan untuk mengklasifikasikan mahasiswa dalam beberapa kelompok berdasarkan persamaan karakteristik umum antar mahasiswa tersebut sehingga dalam satu kelompok akan mempunyai kesamaan satu dengan yang lainnya.

Analisis perilaku menggunakan instrumen kuesioner mampu menghasilkan berbagai macam hasil. Pada proses pencarian data perilaku, diperoleh hasil perilaku yang sangat beragam. Proses pengelompokkan perilaku responden dilakukan dengan mengelompokkan kode–kode jawaban yang dipilih oleh setiap responden. Tabel 5.6 menunjukkan daftar pertanyaan berikut kode jawaban yang telah ditentukan peneliti.

Tabel 5.6 Daftar Pertanyaan dan Kode Jawaban Kuesioner

Kode Pertanyaan	Pertanyaan	Kode Jawaban	% Hasil
A.1	**Apakah Anda pernah mendengar berita tentang korban atau kerugian yang diakibatkan oleh bencana kebakaran ?**		
	a. Pernah	1	100%
	b. Tidak pernah	0	0%
B.2	**Apakah Anda pernah mengikuti pelatihan evakuasi bencana (*training safety*)?**		
	a. Pernah	1	15%
	b. Tidak pernah	0	85%

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kode Pertanyaan	Pertanyaan	Kode Jawaban	% Hasil
B.3	**Apa respon Anda ketika ada indikasi awal bencana kebakaran seperti munculnya asap atau bunyi alarm?**		
	a. Meninggalkan tempat dan menuju keluar	4	46%
	b. Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	3	40%
	c. Memperingatkan orang lain	2	14%
	d. Menunggu perintah	1	0%
	e. Meneruskan pekerjaan	0	0%
C.4	**Ketika bencana kebakaran terjadi, apakah Anda akan merasa panik?**		
	a.Panik	1	68%
	b.Tidak panik	0	32%
C.5	**Apa reaksi Anda apabila bencana kebakaran terjadi di ruang M-2?**		
	a. Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung	5	47%
	b. Memberi tahu orang lainkemudianmenuju keluar gedung	4	38%
	c. Mencoba menolong orang lain kemudian menuju keluar gedung	3	3%
	d. Mencoba memadamkan api kemudian menuju keluar gedung	2	4%
	e. Mengikuti apa yang dilakukan mayoritas orang lain	1	8%
	f. Meneruskan pekerjaan	0	0%
C.6	**Apa reaksi Anda ketika berhadapan langsung dengan api?**		
	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	3	72%
	b. Meminta pertolongan	1	1%
	c. Berusaha memadamkan api	2	14%
D.7	**Apa yang menjadi pertimbangan Anda saat memilih salah satu pintu keluar di ruang M-2 pada saat melakukan proses evakuasi? (Skor:0/1)**		
	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat dari posisi Anda berada	1	100%
	b. Memilih pintu keluar yang lebih jauh dari posisi Anda berada	0	0%
D.8	**Di lorong JTMI, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan tidak terjadi antrian pada jalur 2 dan jalur 3 seperti pada gambar? (Skor:0/1)**		
	a. Tetap mengantri di jalur 1	0	3%
	b. Menuju ke jalur 2	1	97%
	c. Menuju ke jalur 3	2	0%

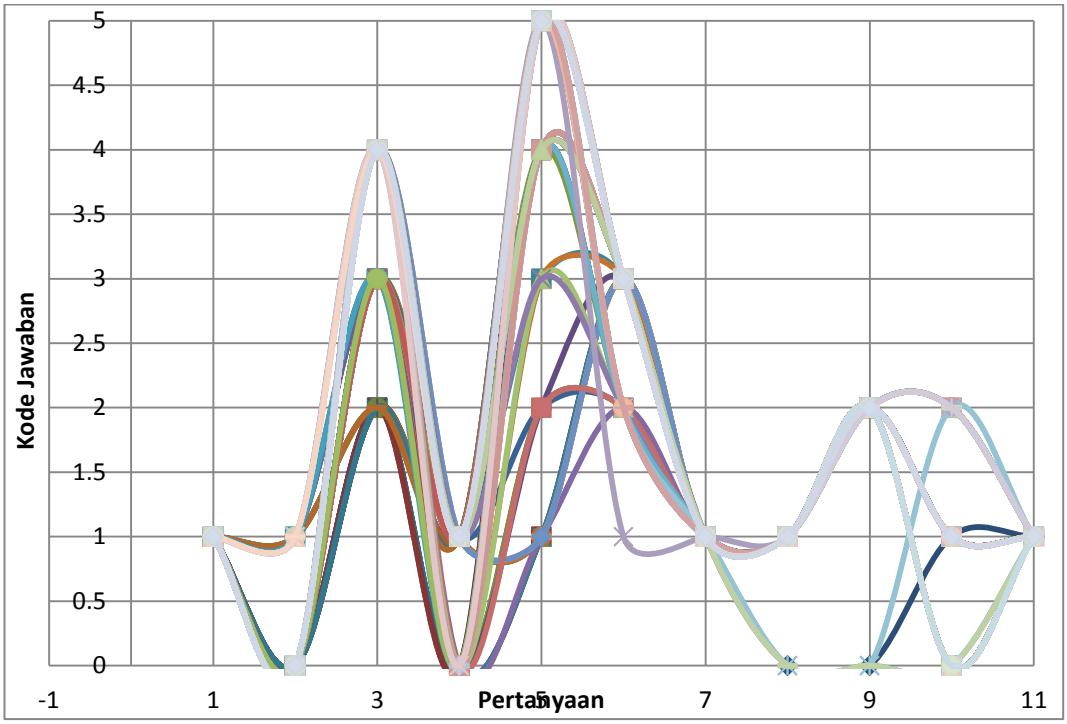
UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kode Pertanyaan	Pertanyaan	Kode Jawaban	% Hasil
D.9	**Di lorong JTMI, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan jalur 2, namun tidak terjadi antrian pada jalur 3 seperti pada gambar?**		
	a. Tetap mengantri di jalur 1	0	1%
	b. Mengantri di jalur 2	1	5%
	c. Menuju ke jalur 3	2	94%
D.10.I	**Apabila terjadi bencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk menuju pintu keluar gedung? (dari pintu kiri?)**		
	a. Keluar gedung melalui pintu keluar utama JTMI	0	35%
	b. Keluar gedung melalui pintu keluar samping JTETI	1	50%
	c. Keluar gedung melalui pintu keluar parkiran motor/mobil JTMI	2	15%
D.10.II	**10.b.Apabila terjadi bencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk menuju pintu keluar gedung? (dari pintu kanan)**		
	a. Keluar gedung melalui pintu keluar utama JTMI	0	0%
	b. Keluar gedung melalui pintu keluar samping JTETI	1	100%
	c. Keluar gedung melalui pintu keluar parkiran motor/mobil JTMI	2	0%

Setelah kode pertanyaan dan kode jawaban dibuat, responden dikelompokan dengan mengganti setiap jawaban responden menjadi kode sesuai dengan Tabel 5.6.

Dari hasil pengelompokan 11 pertanyaan, diperoleh 62 kelompok yang dihasilkan dari 127 responden. Gambar 5.1 menunjukkan grafik pemilihan keseluruhan jawaban oleh responden.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.1. Pengelompokan Responden

Perolehan jumlahkelompok mahasiswa ini dirasa masih terlalu banyak, oleh karena itu dilakukan *cleaning data* perilaku. *Cleaning data* dilakukan dengan mereduksi data yang tidak dapat dimodelkan dalam simulasi berdasarkan diskusi. Data yang tidak dimodelkan adalah data A.1, B.2, D.10.I, D.10.II. Setelah *cleaning data*, data dikelompokan kembali melalui proses pengelompokkan. Data-data tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Data Hasil Proses *Cleaning*

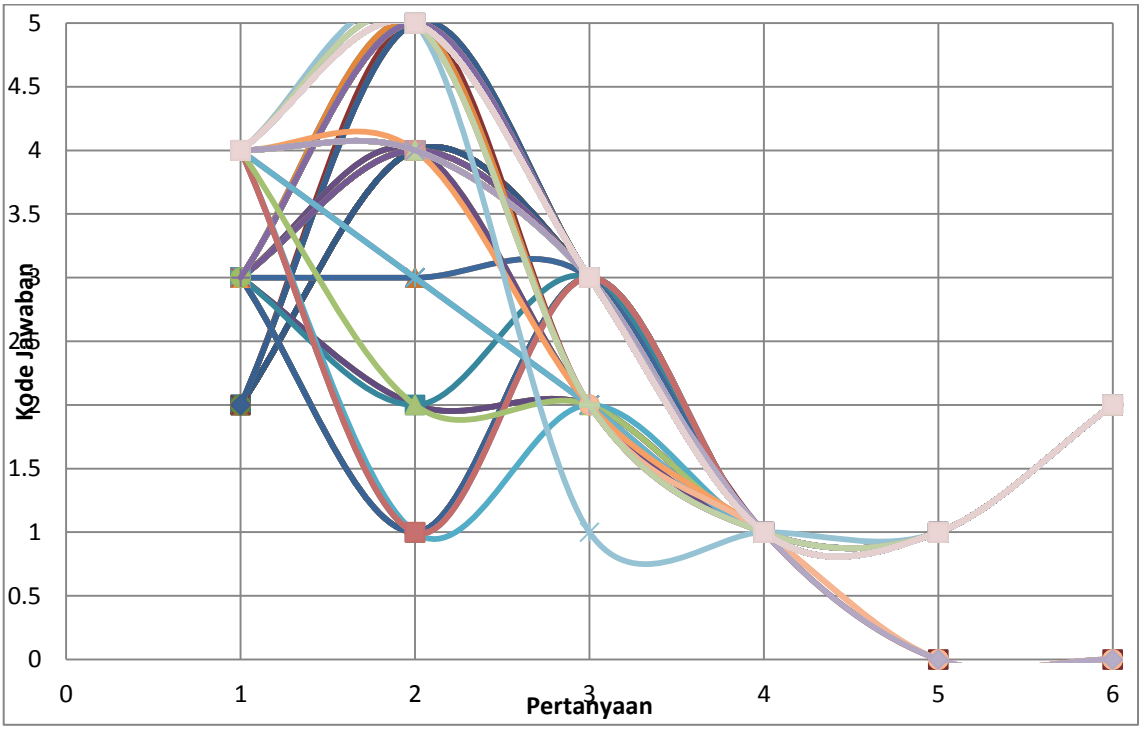
No	Kode Pertanyaan	Pertanyaan
1	B.3	Apa respon Anda ketika ada indikasi awal bencana kebakaran seperti munculnya asap atau bunyi alarm?
2	C.5	Apa reaksi Anda apabila bencana kebakaran terjadi di ruang M-2?

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

No	Kode Pertanyaan	Pertanyaan
3	C.6	Apa reaksi Anda ketika berhadapan langsung dengan api?
4	D.7	Apa yang menjadi pertimbangan Anda saat memilih salah satu pintu keluar di ruang M-2 pada saat melakukan proses evakuasi?
5	D.8	Ketika Anda berada di lorong JTMI saat proses evakuasi bencana kebakaran, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan tidak terjadi antrian pada jalur 2 dan jalur 3 seperti gambar di bawah ini?
6	D.9	Ketika Anda berada di lorong JTMI saat proses evakuasi bencana kebakaran, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan2 namun tidak terjadi antrian pada jalur 3 seperti gambar di bawah ini?

Cleaning data memperoleh enam data yang akan dimodelkan pada simulasi proses evakuasi bencana kebakaran di ruang M-2 JTMI. Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan berdasarkan kode jawaban yang sama. Mahasiswa-mahasiswa yang memiliki kode jawaban sama pada enam data tersebut akan dikelompokkan menjadi satu kelompok mahasiswa. Hasil pengelompokkan mahasiswa setelah dilakukan *cleaning data* ditunjukkan oleh Gambar 5.2.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.2. Pemilihan Jawaban dari Responden Berdasarkan Enam Pertanyaan Terpilih

Gambar 5.2 menunjukkan bahwajumlah kelompokyang terbentuk adalah 23 kelompok. Jumlah 23 kelompok dinilai masih terlalu banyak untuk dianalisis lebih lanjut. Terdapat sembilan dari 23 kelompok yang berjumlah hanya satu orang dan tiga dari 23 kelompok yang hanya berjumlah dua orang. Tabel 5.8 menunjukkan kelompok-kelompok yang terbentuk berdasarkan kode jawaban yang dipilih oleh responden.

Tabel 5.8 Kelompok Mahasiswa yang Terbentuk

Kelompok	Kode Jawaban	Frekuensi	Persentase	Kumulatif
1	453112	28	22%	22%
2	343112	18	14%	36%
3	353112	16	13%	49%
4	443112	16	13%	61%
5	243112	11	9%	70%
6	313112	6	5%	75%

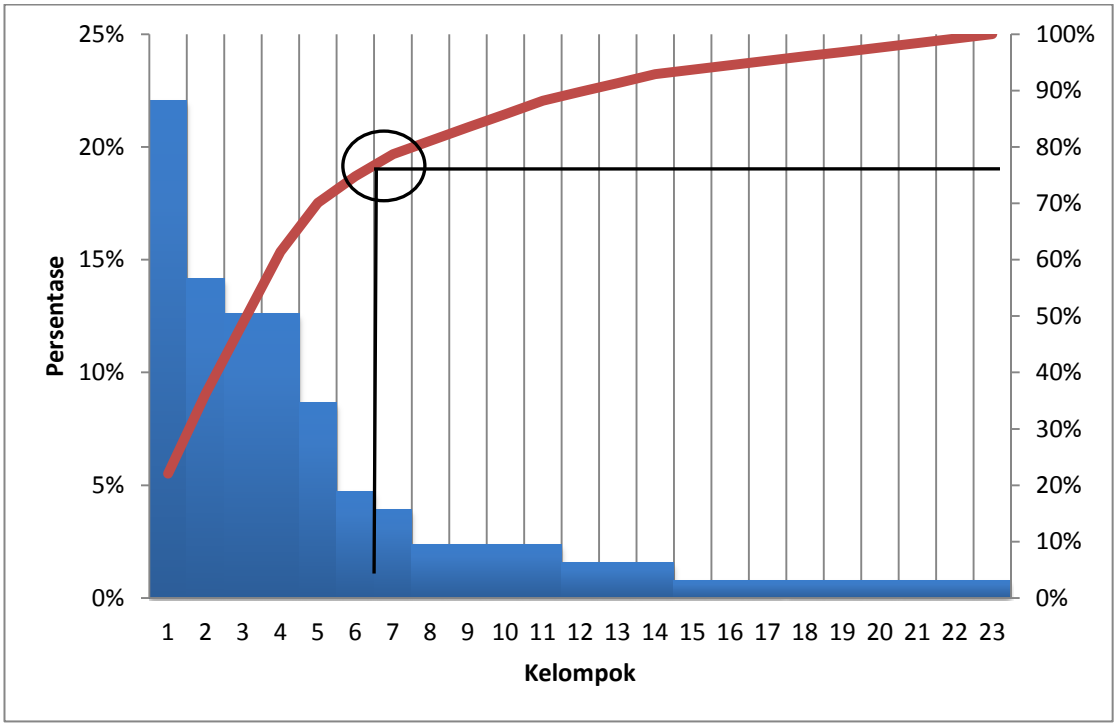
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kelompok	Kode Jawaban	Frekuensi	Persentase	Kumulatif
7	253112	5	4%	79%
8	322112	3	2%	81%
9	342112	3	2%	83%
10	413112	3	2%	86%
11	452112	3	2%	88%
12	333112	2	2%	90%
13	352112	2	2%	91%
14	432112	2	2%	93%
15	243100	1	1%	94%
16	252112	1	1%	94%
17	323112	1	1%	95%
18	412112	1	1%	96%
19	422112	1	1%	97%
20	442100	1	1%	98%
21	451112	1	1%	98%
22	452100	1	1%	99%
23	453100	1	1%	100%
Total		127	100%	100%

Untuk menentukan kelompok yang akan dimodelkan, dilakukan reduksi data dengan pendekatan prinsip pareto. Reduksi data dilakukan dengan mengidentifikasi bentuk dari grafik persentase kumulatif jumlah responden setiap kelompok. Hal ini dilakukan dengan mereduksi kelompok mahasiswa yang memiliki jumlah populasi terlalu sedikit.

Gambar 5.3 menunjukkan Diagram Pareto yang dihasilkan dari proses pengelompokkan mahasiswa. Persentase sebelah kanan menunjukkan persentase kumulatif jumlah responden. Berdasarkan bentuk grafik kumulatif yang curam, pemodelan akan dilakukan sampai kelompok enam. Hal ini dikarenakan peningkatan persentase kumulatif yang signifikan sampai kelompok enam. Sesetelah kelompok enam, persentase kumulatif jumlah mahasiswa tidak meningkat signifikan.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.3 Diagram Pareto

Hasil persentase kumulatif yang ditunjukkan grafik di atas menunjukkan bahwa 6 kelompok awal memiliki kemiringan yang curam.Bentuk grafik yang ditunjukkan setelah kelompok 6 sudah tidak curam, sehingga 6 kelompok mahasiswa tersebut yang akan dimodelkan dengan *software* NetLogo. Perilaku yang muncul oleh kelompok tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Perilaku dari Kelompok Terpilih

Kelompok	**Jumlah (%)**	**Kategori Pertanyaan**					
		B.3	**C.5**	**C.6**	**D.7**	**D.8**	**D.9**
1	22%	b. Meninggalkan tempat dan menuju keluar gedung	a. Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat	b.Menuju ke jalur 2	c. Menuju ke jalur 3

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kelompok	**Jumlah (%)**	**Kategori Pertanyaan**					
2	14%	a. Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	b. Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat	b.Menuju ke jalur 2	c. Menuju ke jalur 3
3	13%	a. Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	a. Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat	b.Menuju ke jalur 2	c. Menuju ke jalur 3
4	13%	b. Meninggalkan tempat dan menuju keluar gedung	b. Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat	b.Menuju ke jalur 2	c. Menuju ke jalur 3
5	9%	c. Memperingatkan orang lain	b. Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat	b.Menuju ke jalur 2	c. Menuju ke jalur 3
6	5%	a. Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	e. Mengikuti apa yang dilakukan mayoritas orang	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat	b.Menuju ke jalur 2	c. Menuju ke jalur 3

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kategori pertanyaan C.6, D.7, D.8, D.9 menghasilkan jawaban yang sama pada setiap kelompok. Sedangkan kategori pertanyaan yang menghasilnya jawaban berbeda adalah kategori pertanyaan B.3 dan C.5. Perilaku yang ditunjukkan pada Tabel 5.9 akan dimodelkan sesuai dengan kelompok masing–masing menggunakan *software* NetLogo.

5.4. Pemodelan Sistem

Proses pemodelan diawali dengan pengembangan model dasar.Poin utama dari pemodelan simulasi pada *software* Netlogo adalah menggunakan *agent turtles* dan *agent patches*. *Agent turtles* digunakan untuk membuat *agent* mahasiswa dan *agent* api. *Agent patches* digunakan untuk membuat *layout* keseluruhan dari objek yang dipilih, yaitu ruang M-2 JTMI. Pada pemodelan proses evakuasi bencana kebakaran di ruang M-2 JTMI, dilakukan dengan memodelkan ruangan M-2 yang berisi tempat duduk, tembok, dan pintu keluar ruangan. Kemudian pemodelan juga dilakukan dengan memodelkan lorong/koridor JTMI yang akan menunjukkan jalur menuju pintu keluar gedung JTMI dan memodelkan mahasiswa berdasarkan kelompok mahasiswa.

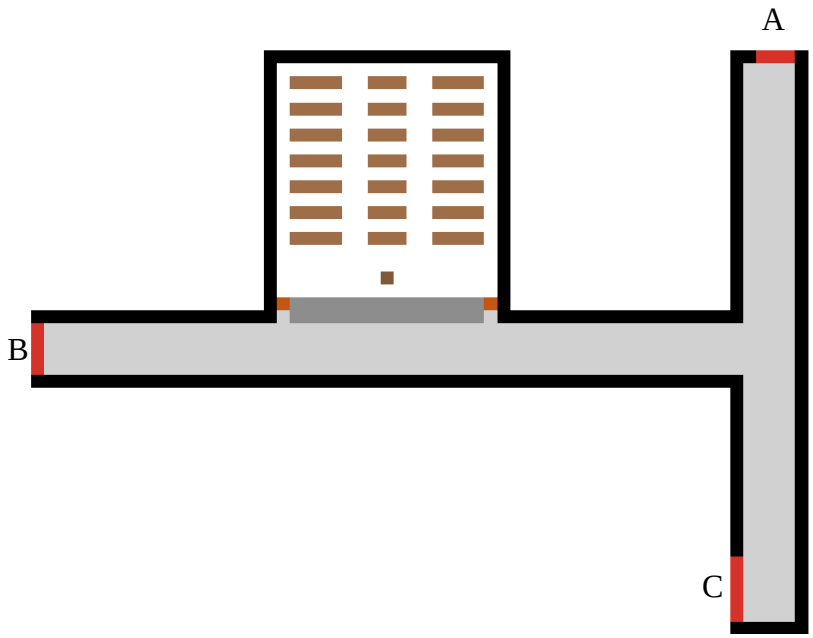
5.4.1. Pemodelan Ruang M-2 dan Koridor JTMI

Pemodelan ruang M-2 dilakukan dengan mengunakan *software* Netlogo. Pemodelan ruang M-2 meliputi pembuatan *layout* tempat duduk, tembok pemisah dengan ruangan lainnya, pintu keluar ruangan yang terdiri dari dua pintu, dan koridor menuju pintu keluar gedung JTMI. Tempat duduk ruang M-2 menjadi lokasi awal mahasiswa sebelum simulasi dilakukan. Pemodelan terhadap ruang M-2 diharapkan mampu mewakili objek dan mampu mendeskripsikan sistem secara lebih nyata.Evakuasi berhasil dilakukan ketika mahasiswa mencapai pintu keluar gedung JTMI. Pintu keluar gedung JTMI yang dimodelkan adalah pintu keluar menuju parkiran mobildan motor (A), pintu keluar menuju samping

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Jurusan Teknik Elektro (B) dan Teknologi Informasi (C), dan pintu keluar utama JTMI.

Gambar 5.4 menunjukkan pemodelan pada ruang M-2 JTMI yang telah dibuat menggunakan *software* Netlogo.



Gambar 5.4Model Ruang M-2 dan koridor JTMI

Tabel 5.11 menunjukkan keterangan fungsi warna yang dimodelkan pada pemodelan ruang M-2 JTMI.

Tabel 5.10 Keterangan Warna

Warna	**Keterangan**
Coklat	Kursi Kuliah
Hitam	Tembok
Orange	Pintu Keluar Kelas
Abu – abu tua	Tembok Depan Ruang M-2
Abu – abu muda	Lantai

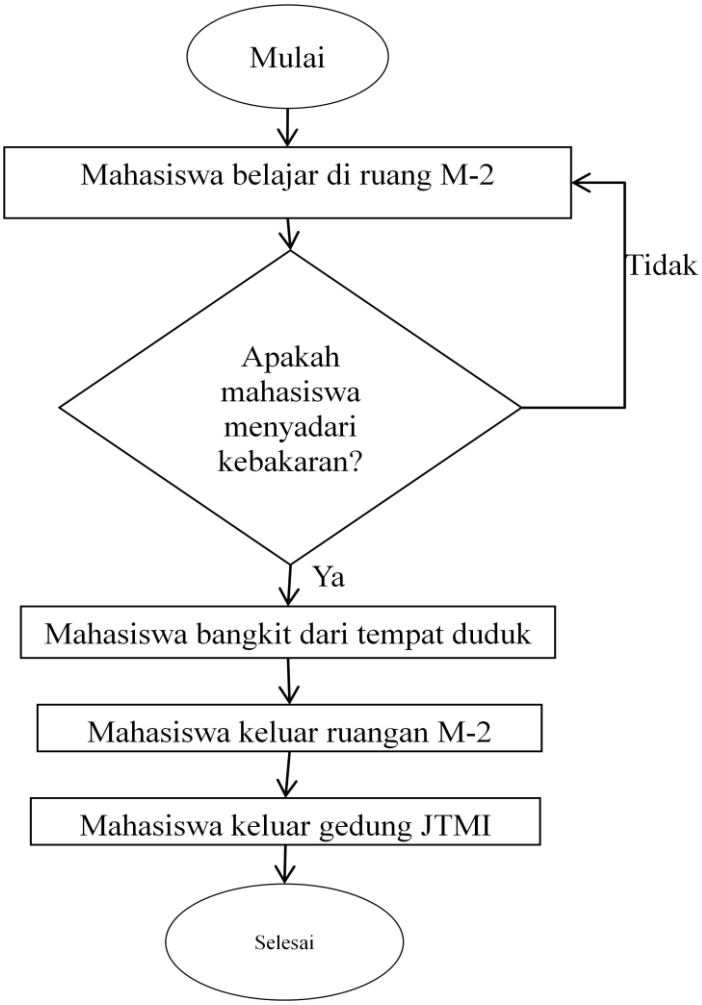
5.4.2. Pemodelan Perilaku Mahasiswa

Berdasarkan hasil pengelompokkan mahasiswa, pemodelan proses evakuasi bencana kebakaran di Ruang M-2 JTMI secara khusus dibedakan berdasarkan

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

enam kelompok perilaku. Kelompok tersebut memiliki perilaku yang berbeda pada respon terhadap tanda-tanda kebakaran dan respon pada saat kebakaran terjadi sesuai dengan jawaban yang dipilih pada kuesioner.

Pemodelan perilaku mahasiswa pada proses evakuasi kebakaran pada ruang M-2 JTMI digambarkan oleh diagram alir perilaku mahasiswa mulai dari menyadari indikasi kebakaran sampai proses keluar gedung. Diagram alir perilaku mahasiswa secara umum ditunjukkan oleh Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Secara Umum

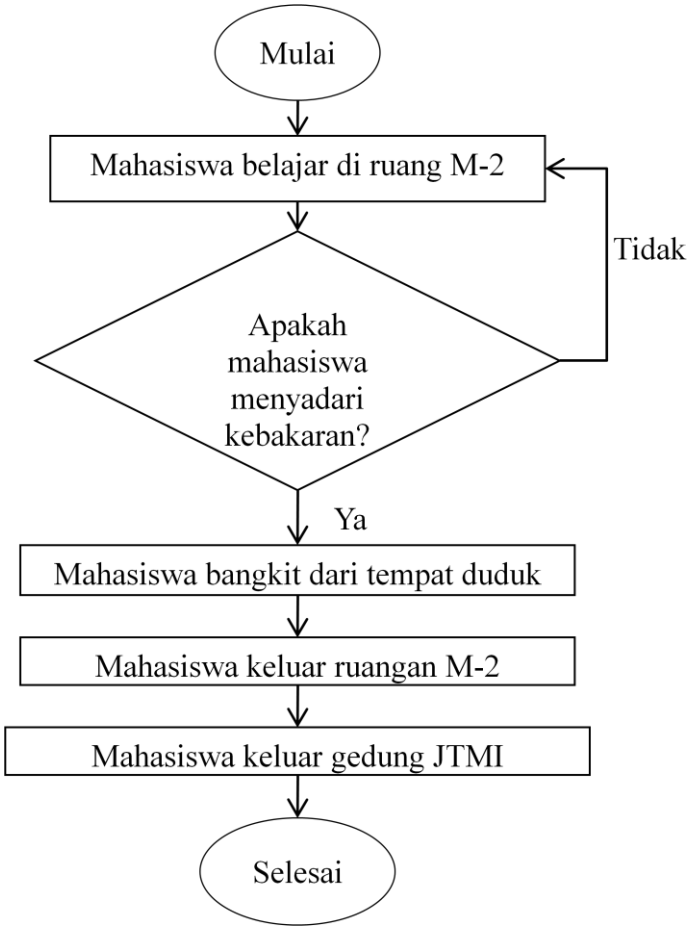
Kelompok 2, 4, dan 5 memiliki respon memberi tahu orang lain dengan cara berteriak selama beberapa waktu untuk mempengaruhi mahasiswa kelompok lain untuk segera melakukan evakuasi. Peringatan dengan berteriak dapat mengubah respon mahasiswa menjadi lebih cepat dalam bertindak. Menurut Ko (2003),

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

peringatan secara verbal sangat efektif mempengaruhi orang lain untuk mempercepat waktu evakuasi. Pergerakan sebelum evakuasi (*pre-movement*) adalah perilaku atau reaksi mahasiswa sebelum memulai pergerakan menuju keluar ruangan. Waktu yang dibutuhkan mahasiswa untuk melakukan pergerakan sebelum evakuasi diasumsikan sebesar 24 detik. Asumsi diambil berdasarkan penelitian Olsson dan Regan (2001) yang menyebutkan bahwa *pre-movement time* yang dihasilkan penghuni saat berada di ruang kelas adalah 24 detik.

5.4.2.1.Pemodelan Perilaku Kelompok Satu

Mahasiswa pada kelompok satu (Lihat Tabel 5.9) melakukan proses evakuasi langsung saat menyadari tanda-tanda kebakaran. Gambar 5.6 menunjukkan diagram alir perilaku kelompok satu.



Gambar 5.6 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Satu

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perilaku mahasiswa pada kelompok satu menunjukkan respon yang cepat saat ada tanda–tanda kebakaran. Respon yang diambil adalah proses menuju keluar kelas dan langsung menuju keluar gedung JTMI. Untuk penjelasan deskriptif perilaku kelompok satu, dilakukan wawancara kualitatif kepada responden yang berada pada kelompok satu.

Kelompok satu pada NetLogo dimodelkan dengan nama "mahasiswa_fast_response". Tabel 5.11 menunjukkan penjelasan pemodelan kelompok satu menggunakan NetLogo.

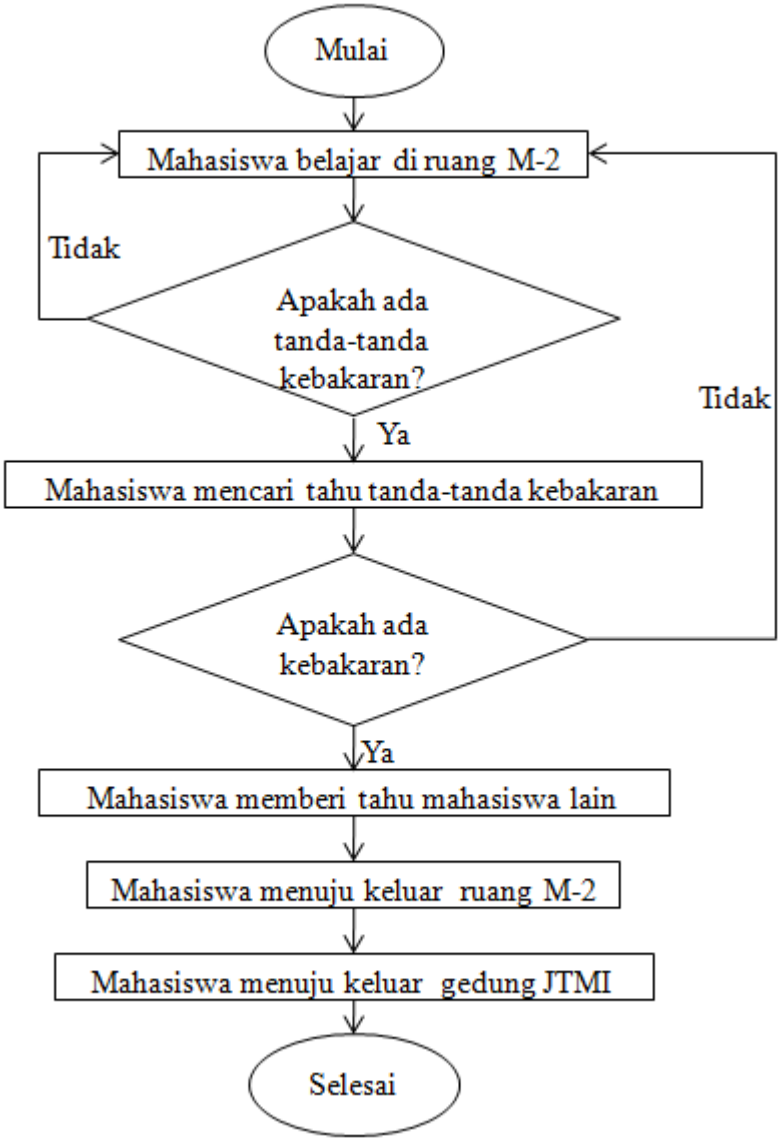
Tabel 5.11 Deskripsi Pemodelan Kelompok Satu pada NetLogo

Jenis Perilaku	Respon	Deskripsi pada NetLogo
Respon terhadap munculnya indikasi bencana kebakaran	Meninggalkan tempat dan menuju keluar gedung	Mahasiswa kelompok satu bangkit dari tempat duduk setelah menyadari ada tanda–tanda kebakaran pada detik ke-12
Respon pada saat bencana kebakaran terjadi	Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung	Mahasiswa kelompok satu setelah bangkit, pada detik ke-12 langsung menuju keluar gedung
Respon pada saat berhadapan dengan api	Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	Mahasiswa kelompok satu akan bergerak menghindari api kemudian berjalan menuju keluar gedung

5.4.2.2.Pemodelan Perilaku Kelompok Dua

Mahasiswa kelompok dua (Lihat Tabel 5.9) melakukan proses investigasi terhadap tanda-tanda kebakaran dan akan berteriak ketika bangkit untuk melakukan proses evakuasi. Gambar 5.7 menunjukkan diagram alir perilaku kelompok dua.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.7 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Dua

Perilaku mahasiswa kelompok dua menunjukkan respon ingin tahu terhadap tanda-tanda kebakaran. Respon yang diambil adalah proses mencari tahu tanda-tanda kebakaran, memberi tahu orang lain, kemudian melakukan evakuasi.

Kelompok dua pada NetLogo dimodelkan dengan nama "mahasiswa_investigator_notifier". Untuk penjelasan deskriptif perilaku kelompok dua dilakukan wawancara kualitatif kepada responden yang berada

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

pada kelompokdua. Tabel 5.12 menunjukkan penjelasan terhadap pemodelan perilakukelompokdua pada NetLogo.

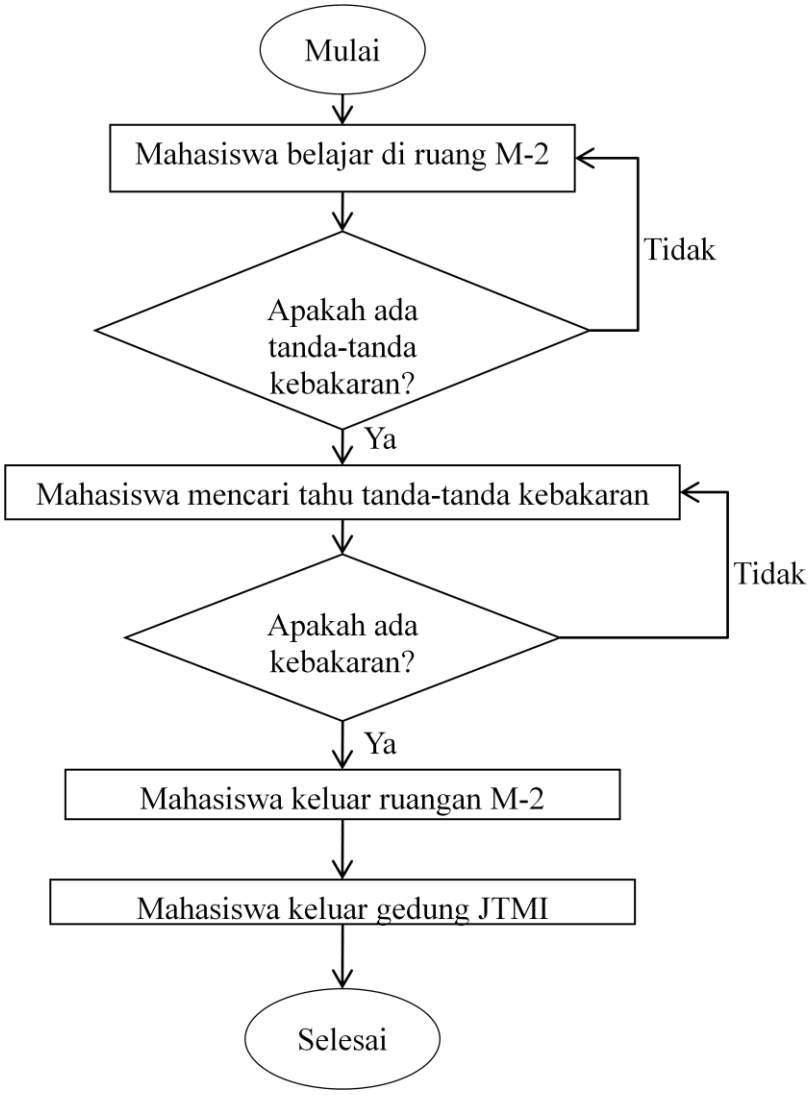
Tabel 5.12 Deskripsi Pemodelan Kelompok Dua pada NetLogo

Jenis Perilaku	Respon	Deskripsi pada NetLogo
Respon terhadap munculnya indikasi bencana kebakaran	Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	Mahasiswa kelompok dua akan mencari tahu indikasi bencana kebakaran dari tempat duduk awal selama 24 detik
Respon pada saat bencana kebakaran terjadi	Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	Mahasiswa kelompok dua akan memberi tahu mahasiswa lain dengan berteriak dari tempat duduknya. Kemudian setelah berteriak selama 5 detik, mahasiswa kelompok dua akan bangkit pada detik ke-29 untuk menuju keluar gedung
Respon pada saat berhadapan dengan api	Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	Mahasiswa kelompokdua akan bergerak menghindari api kemudian berjalan menuju keluar gedung

5.4.2.3.Pemodelan Perilaku Kelompok Tiga

Mahasiswa kelompok tiga (Lihat Tabel 5.9) melakukan proses investigasi pada tanda-tanda kebakaran dan langsung melakukan evakuasi keluar gedung. Gambar 5.8 menunjukkan diagram alir perilaku kelompok tiga.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.8 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Tiga

Perilaku kelompok tiga menunjukkan respon ingin tahu apabila ada tanda–tanda kebakaran. Respon yang diambil adalah proses investigasi, kemudian langsung menuju keluar gedung JTMI.

Kelompok tiga pada NetLogo dimodelkan dengan nama "mahasiswa_investigator_fast_response". Untuk penjelasan deskriptif perilaku pada kelompok tiga dilakukan wawancara kualitatif kepada responden yang berada pada kelompok tiga. Tabel 5.13 menunjukkan penjelasan terhadap pemodelan perilaku kelompok tiga pada NetLogo.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

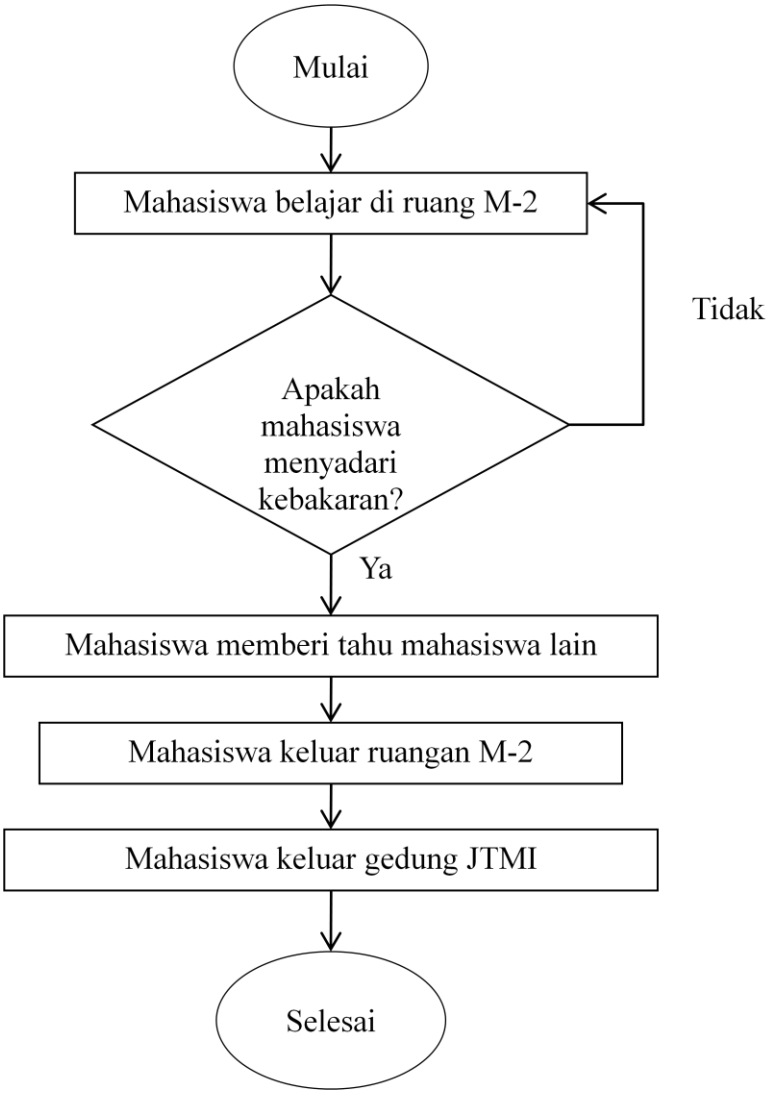
Tabel 5.13 Deskripsi Pemodelan Kelompok Tiga pada NetLogo

Jenis Perilaku	Respon	Deskripsi pada NetLogo
Respon terhadap munculnya indikasi bencana kebakaran	Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	Mahasiswa kelompok tiga akan mencari tahu indikasi bencana kebakaran dari tempat duduk awal sampai detik ke-24
Respon pada saat bencana kebakaran terjadi	Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung	Mahasiswa kelompok tiga setelah bangkit, langsung menuju pintu keluar pada detik ke-24
Respon pada saat berhadapan dengan api	Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	Mahasiswa kelompoktiga akan bergerak menghindari api kemudian berjalan menuju keluar gedung

5.4.2.4.Pemodelan Perilaku Kelompok Empat

Mahasiswa kelompok empat (Lihat Tabel 5.9) langsung melakukan proses evakuasi jika pertanda kebakaran dirasa sudah cukup meyakinkan. Selain itu, mahasiswa kelompok empat akan memberi tahu mahasiswa lainnya untuk evakuasi. Gambar 5.9 menunjukkan diagram alir perilaku kelompok empat.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.9 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Empat

Mahasiswa kelompok empat menunjukkan respon yang cepat apabila ada tanda–tanda kebakaran. Respon yang diambil adalah memberi tahu orang lain, kemudian menuju keluar gedung JTMI.

Kelompokempat pada NetLogo dimodelkan dengan nama "mahasiswa_notifier_fast_response". Untuk penjelasan deskriptif perilaku pada kelompok empat dilakukan wawancara kualitatif kepada responden yang berada pada kelompok empat. Tabel 5.14 menunjukkan penjelasan terhadap pemodelan perilaku kelompok empat pada NetLogo.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

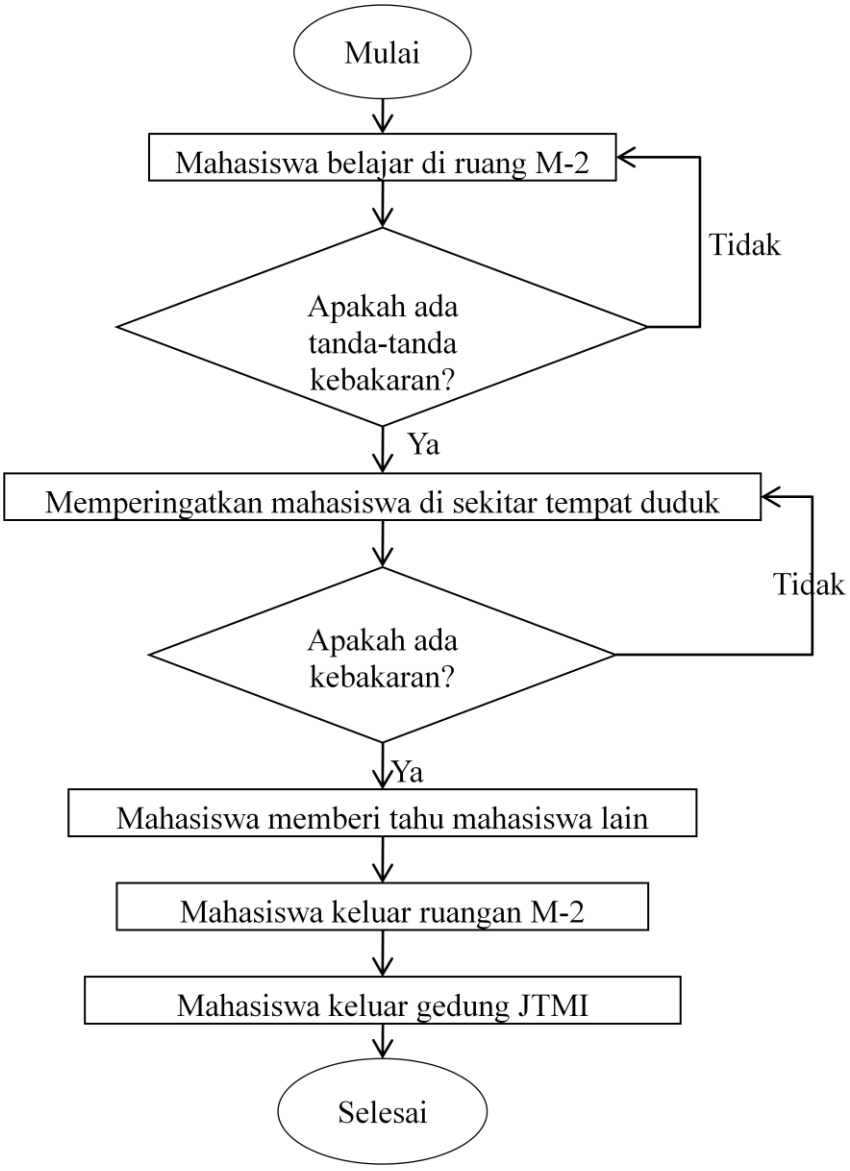
Tabel 5.14 Deskripsi Pemodelan Kelompok Empat pada NetLogo

Jenis Perilaku	Respon	Deskripsi pada NetLogo
Respon terhadap munculnya indikasi bencana kebakaran	Meninggalkan tempat dan menuju keluar gedung	Mahasiswa kelompok empat akan bangkit pada detik ke-12 ketika sudah menyadari ada indikasi bencana kebakaran.
Respon pada saat bencana kebakaran terjadi	Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	Mahasiswa kelompok empat berteriak untuk memberi tahu mahasiswa lain, setelah itu langsung menuju keluar gedung pada detik ke-15.
Respon pada saat berhadapan dengan api	Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	Mahasiswa kelompokempat akan bergerak menghindari api kemudian berjalan menuju keluar gedung

5.4.2.5.Pemodelan Perilaku Kelompok Lima

Mahasiswa kelompok lima (Lihat Tabel 5.9) akan memperingatkan mahasiswa lain di sekitar lokasi tempat duduk bahwa ada tanda-tanda kebakaran. Kemudian mahasiswa kelompok lima akan memberi tahu orang lain untuk melakukan proses evakuasi saat kebakaran terjadi. Gambar 5.10 menunjukkan diagram alir perilaku kelompok lima.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.10 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Lima

Mahasiswa kelompok lima menunjukkan respon untuk memperingatkan orang lain apabila ada tanda–tanda kebakaran. Respon yang muncul adalah memberi peringatan dan memberi tahu orang lain apabila ada kebakaran, kemudian menuju keluar gedung JTMI.

Kelompok lima pada NetLogo dimodelkan dengan nama "mahasiswa_notifier". Untuk penjelasan deskriptif perilaku pada kelompok lima juga dilakukan wawancara kualitatif kepada responden yang berada pada

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kelompoklima. Tabel 5.15 menunjukkan penjelasan terhadap pemodelan perilaku kelompoklima pada NetLogo.

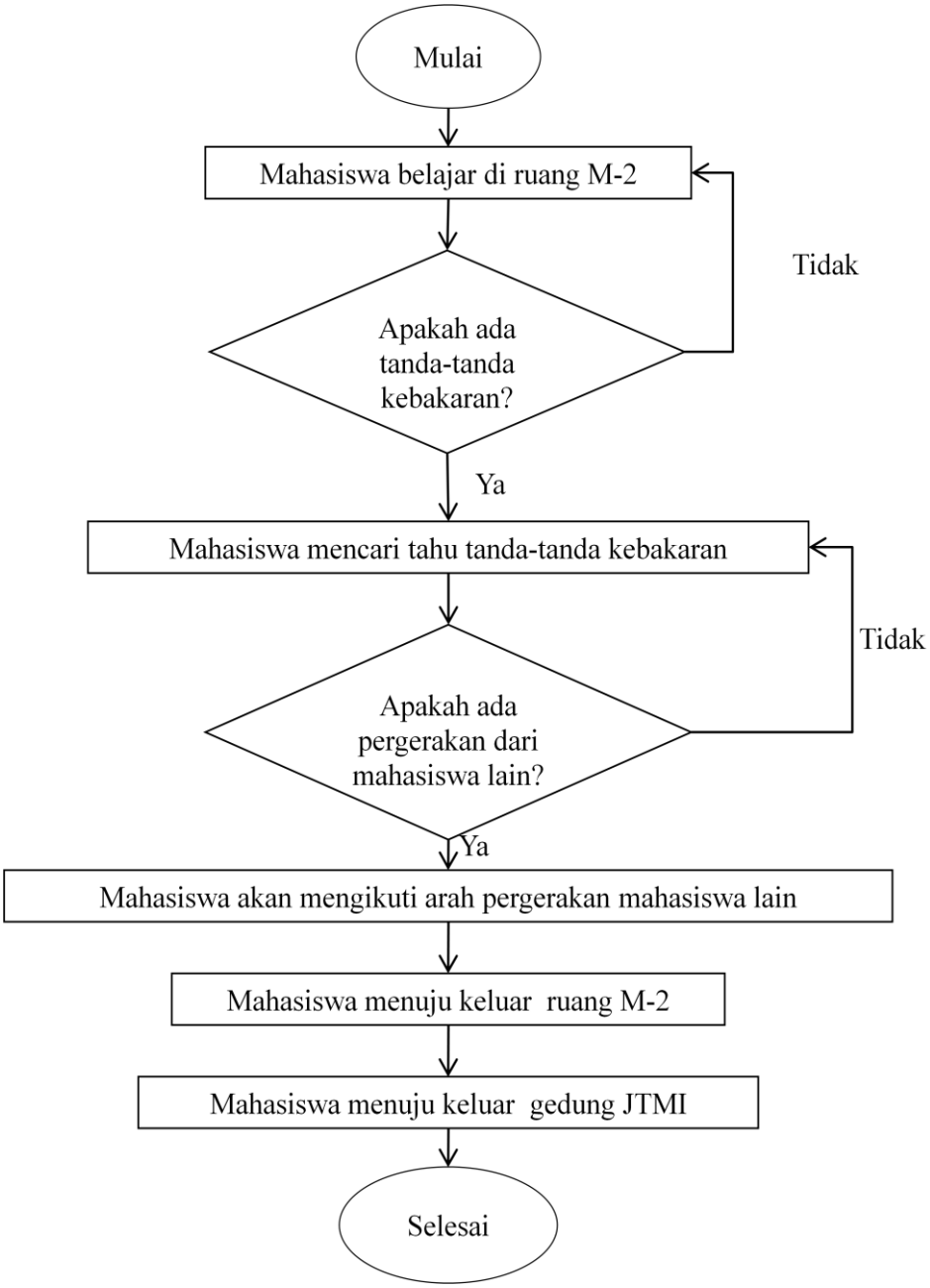
Tabel 5.15 Deskripsi Pemodelan Kelompok Lima pada NetLogo

Jenis Perilaku	Respon	Deskripsi pada NetLogo
Respon terhadap munculnya indikasi bencana kebakaran	Memperingatkan orang lain	Mahasiswa kelompok lima memperingatkan mahasiswa sekitar tempat duduknya kalau ada tanda-tanda kebakaran yang ditimbulkan sampai detik ke-24
Respon pada saat bencana kebakaran terjadi	Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	Setelah memperingatkan mahasiswa sekitar, mahasiswa kelompok lima akan berteriak untuk memberi tahu mahasiswa lain selama 3 detik. Jadi, mahasiswa kelompok lima akan bangkit pada detik ke-27 untuk menuju keluar gedung
Respon pada saat berhadapan dengan api	Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	Mahasiswa kelompok lima akan bergerak menghindari api yang kemudian berjalan menuju keluar

5.4.2.6.Pemodelan Perilaku Kelompok Enam

Mahasiswa kelompok enam (Lihat Tabel 5.9) melakukan proses investigasi terhadap tanda-tanda kebakaran. Selain itu, mahasiswa kelompok enam akan mengikuti pergerakan apabila terdapat mahasiswa yang melakukan evakuasi. Gambar 5.11 di bawah ini menunjukkan diagram alir perilaku kelompok enam.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.11 Diagram Alir Perilaku Mahasiswa Kelompok Enam

Mahasiswa kelompok enam menunjukkan respon untuk mencari tahu tanda–tanda kebakaran. Respon yang muncul adalah proses investigasi serta menunggu pergerakan dari mayoritas mahasiswa lain. Kelompok enam memutuskan untuk

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

melakukan proses evakuasi setelah melihat respon dari sebagian mahasiswa lain yang menuju keluar gedung.

Kelompok enam pada NetLogo dimodelkan dengan nama "mahasiswa_investigator_follower". Untuk penjelasan deskriptif perilaku pada kelompokenam dilakukan wawancara kualitatif kepada responden yang berada pada kelompokenam. Tabel 5.16 menunjukkan penjelasan terhadap pemodelan perilaku kelompok enam pada NetLogo.

Tabel 5.16 Deskripsi Pemodelan Kelompok Enam pada NetLogo

Jenis Perilaku	**Respon**	**Deskripsi pada NetLogo**
Respon terhadap munculnya indikasi bencana kebakaran	Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	Mahasiswa kelompok enam akan mencari tahu indikasi bencana kebakaran dari lokasi tempat duduk awal. Kemudian mahasiswa kelompok enamakan bangkit untuk melakukan evakuasi setelah melihat pergerakan dari mahasiswa lain
Respon pada saat bencana kebakaran terjadi	Mengikuti apa yang dilakukan mayoritas orang	Mahasiswa kelompok enam akan bangkit setelah 2 detik dari respon dari mahasiswa lain untuk menuju keluar gedung
Respon pada saat berhadapan dengan api	Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	Mahasiswa kelompok enam akan bergerak menghindari *agent* api yang dibuat kemudian berjalan menuju keluar gedung

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perilaku mahasiswa pada proses evakuasi bencana kebakaran dipengaruhi oleh interaksi antara mahasiswa lain. Interaksi pada proses evakuasi bencana kebakaran di ruang M-2 JTMI meliputi respon untuk memberi tahu mahasiswa untuk segera melakukan proses evakuasi. Interaksi antara kelompok mahasiswa akan mempengaruhi waktu bangkit kelompok mahasiswa untuk melakukan proses evakuasi.

Tabel 5.17. menunjukkan *timeline* dari respon mahasiswa sebelum dan setelah adanya interaksi antara mahasiswa. Pemodelan perilaku setiap kelompok mahasiswa pada NetLogo mengacu pada waktu bangkit yang ditunjukkan oleh *timeline* respon mahasiswa.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.17*Timeline* Perilaku Mahasiswa Setiap Kelompok

Seconds		**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Kelompok **mahasiswa_*fast_response***	Perilaku Asli																															
	Perilaku Setelah Terpengaruh																															
Seconds		**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Kelompok **mahasiswa_*investigator_notifier***	Perilaku Asli																															
	Perilaku Setelah Terpengaruh																															
Seconds		**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Kelompok **mahasiswa_*investigator_fast_response***	Perilaku Asli																															
	Perilaku Setelah Terpengaruh																															

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok **mahasiswa_*notifier_fast_response***	Perilaku Asli																															
	Perilaku Setelah Terpengaruh																															
Seconds		**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Kelompok **mahasiswa_*notifier***	Perilaku Asli																															
	Perilaku Setelah Terpengaruh																															
Seconds		**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Kelompok **mahasiswa_*investigator_follower***	Perilaku Asli																															
	Perilaku Setelah Terpengaruh																															

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.18 menjelaskan keterangan perilaku berdasarkan warna yang tampak pada *timeline* perilaku mahasiswa setiap kelompok.

Tabel 5.18 Keterangan Warna pada *Timeline* Perilaku

No	Warna	Deskripsi Perilaku
1		Proses bangkit untuk menuju keluar gedung
2		Proses bangkit untuk menuju keluar gedung setelah terpengaruh kelompok lain
3		Proses menyadari adanya indikasi kebakaran
4		Proses menyadari adanya indikasi kebakaran dengan melakukan *pre-movement*
5		Proses memberi tahu orang lain
6		Proses mendengar teriakan atau peringatan dari kelompok lain
7		Proses pengambilan keputusan untuk mengikuti kelompok lain

5.4.3. Pemodelan *Agent* Mahasiswa

Pemodelan *agent* mahasiswa dibuat menggunakan *turtles* pada NetLogo. Setiap kelompok mahasiswa dimodelkan dengan bentuk manusia dan warna yang berbeda dari setiap kelompok mahasiswa. *Agent* mahasiswa akan diletakkan secara acak pada tempat duduk yang tersedia di ruang M-2. Tabel 5.19 menunjukkan keterangan pemodelan setiap kelompok mahasiswa.

Tabel 5.19 Pemodelan *Agent* Mahasiswa

Kelompok	Nama Kelompok	Model	Frekuensi
1	Mahasiswa_fast_response		22
2	Mahasiswa_investigator_notifier		15
3	Mahasiswa_investigator_fast_response		13
4	Mahasiswa_notifier_fast_response		13
5	Mahasiswa_notifier		9
6	Mahasiswa_investigator_follower		5

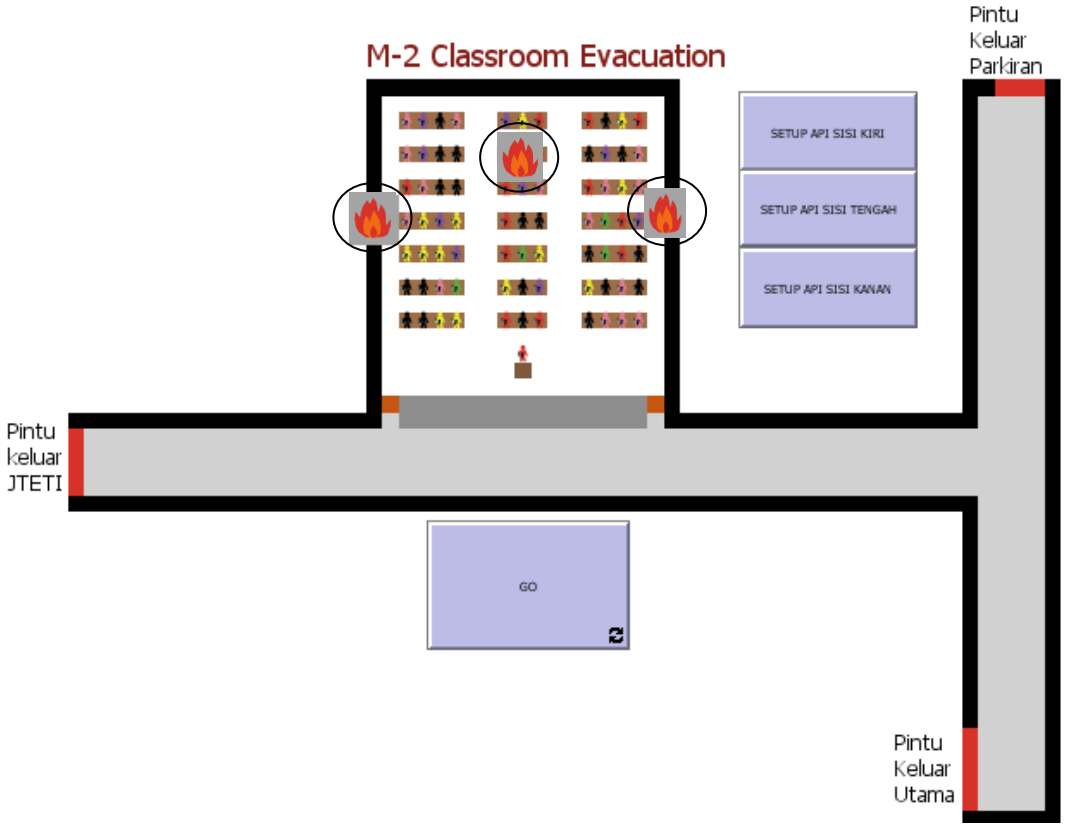
5.5. Simulasi Sistem

Parameter simulasi proses evakuasi bencana kebakaran adalah waktu evakuasi. Waktu evakuasi merupakan waktu diperlukan oleh penghuni di lokasi kebakaran untuk pindah menuju wilayah yang aman dari kebakaran. Menurut Chow (2006), waktu evakuasi merupakan waktu yang terjadi antara penerimaan

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tanda–tandabencana kebakaran oleh penghuni sampai kedatangan penghuni sampai lokasi yang aman dari kebakaran (di luar gedung).

Simulasi proses evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 JTMIdilakukan dengan tiga skenario yang berbeda. Skenario satu dilakukan pada posisi api di sisi timur ruang M-2, skenario dua dilakukan pada posisi api di sisi tengah ruang M-2, dan skenario tiga dilakukan pada posisi api di sisi barat ruang M-2. Gambar 5.12 menunjukkan pemodelan keseluruhan *layout* termasuk keterangan posisi api sebelum dilakukan simulasi.



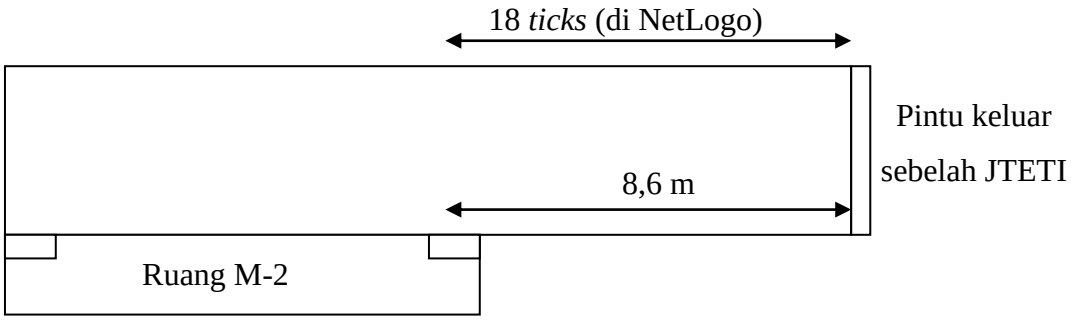
Gambar 5.12. Pemodelan Keseluruhan Sebelum Simulasi

5.5.1 Perhitungan Kecepatan Mahasiswa

Kecepatan mahasiswa rata–rata yang akan digunakan dalam proses simulasi menggunakan NetLogo diperoleh dengan melakukan proses *trial* pada beberapa responden. Peneliti meminta responden untuk melarikan diri pada keadaan darurat dengan jalur dari depan pintu kanan ruang M-2 menuju

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

pintukeluar sebelah JTETI yang berjarak 8,6 meter. Gambar 5.13. menunjukkan contoh jalur yang dijadikan pengukuran.



Gambar 5.13. Jalur Pengukuran Waktu Tempuh

Dari proses *trial* oleh 20 responden yang merupakan mahasiswa JTMI, diperoleh rata – rata waktu tempuh sebesar 4,78 detik. Seluruh data waktu tempuh ditunjukkan pada Lampiran 8. Data waktu tempuh diuji kenormalan, keseragaman, dan kecukupannya. Menurut Razali dan Wah (2011), uji kenormalan pada jumlah *sample* dibawah 50 digunakan metode *Shapiro-Wilk.* Dari hasil uji kenormalan menggunakan SPSS dengan metode *Shapiro-Wilk* diperoleh bahwa data normal. Pengujian data lainnya menyatakan bahwa data seragam dan cukup. Hasil uji statistik pengukuran waktu tempuh mahasiswa ditunjukkan pada Lampiran 9, 10, dan 11.

Dengan diketahuinya jarak dan waktu tempuh, kecepatan mahasiswa dapat diketahui dengan Persamaan 5.2.

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{Jarak}}{\text{Waktu tempuh}} \qquad (5.2)$$

BerdasarkanPersamaan 5.2, kecepatan rata - rata mahasiswa ditunjukkan pada Persamaan 5.3.

$$\text{Kecepatan mahasiswa} = \frac{8{,}6 \text{ meter}}{4{,}78 \text{ seconds}} = 1{,}8 \text{ m/s.} \qquad (5.3)$$

Hasil pada Persamaan 5.3 diperkuat oleh pernyataan Shi dkk. (2009) yang menyebutkan bahwa kecepatan berjalan bebas dapat dianggap antara 1,2 m/s dan 1,8 m/s. Muhdi (2008) juga mengatakan bahwa kecepatan yang dimasukkan ke

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dalam model terdiri dari kecepatan jalan (1 m/s), jalan cepat (1,5 m/s), dan lari (2 m/s), sehingga hasil percobaan berada di antara jalan cepat dan lari.

Untuk memperoleh perhitungan detik sebagai parameter kinerja waktu evakuasi di NetLogo,dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 5.4 dan 5.5.

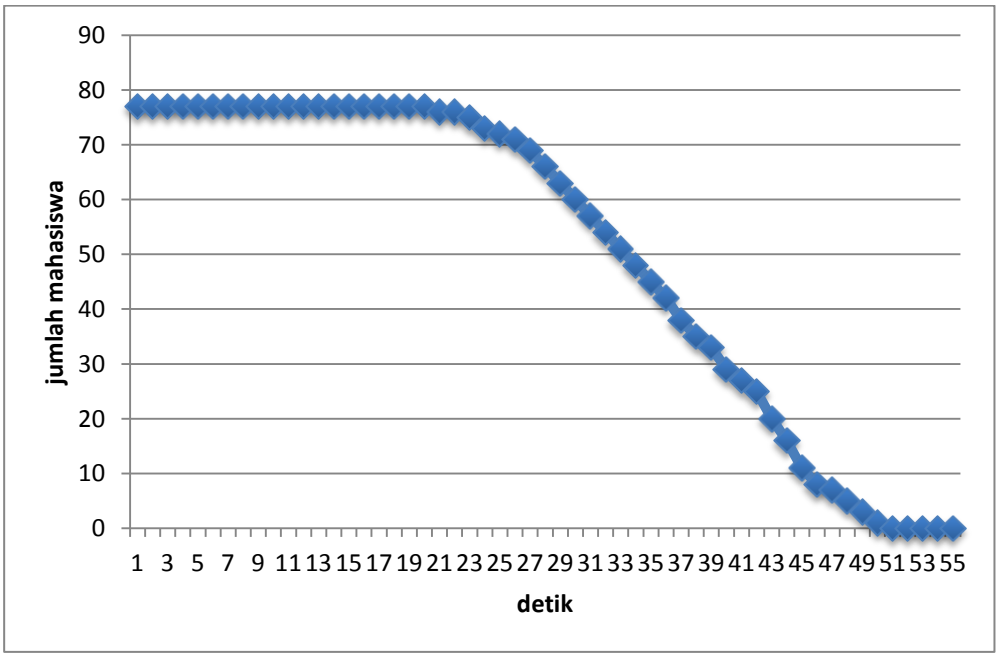
$$Seconds\ counter = \frac{ticks}{\text{Waktu } tempuh} \qquad (5.4)$$

$$Secondscounter = \frac{18\ ticks}{4{,}78\ seconds} = 3{,}8\ ticks/second \qquad (5.5)$$

Persamaan 5.5 memperoleh hasil bahwa 3,8 *ticks* pada NetLogo setara dengan 1 detik waktu aktual atau 1 *ticks* pada NetLogo setara dengan 0,263 detik waktu aktual.

5.5.2. Hasil Simulasi Skenario Satu

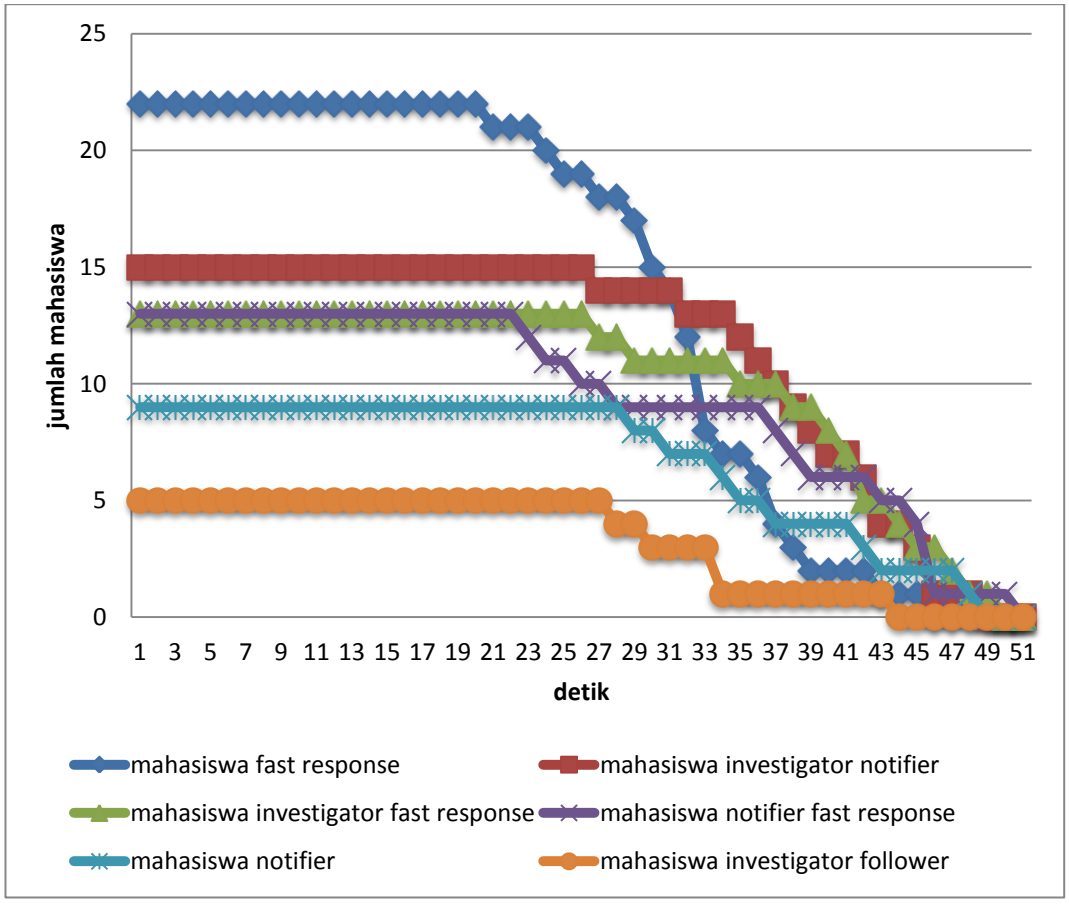
Simulasi skenario satu dilakukan dengan posisi api di sisi timur ruang M-2 JTMI. Simulasi menghasilkan waktu yang dibutuhkan mahasiswa untuk menuju ke luar gedung. Salah satu hasil replikasi simulasi proses evakuasi ditunjukkan oleh Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Hasil Simulasi Satu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Replikasi simulasi tersebut memperoleh waktu evakuasi evakuasi sebesar 51 detik dari total jumlah 77 mahasiswa di ruang M-2 JTMI. Gambar 5.15 menunjukkan hasil simulasi setiap kelompok mahasiswa.



Gambar 5.15 Hasil Simulasi Satu Setiap Kelompok Mahasiswa

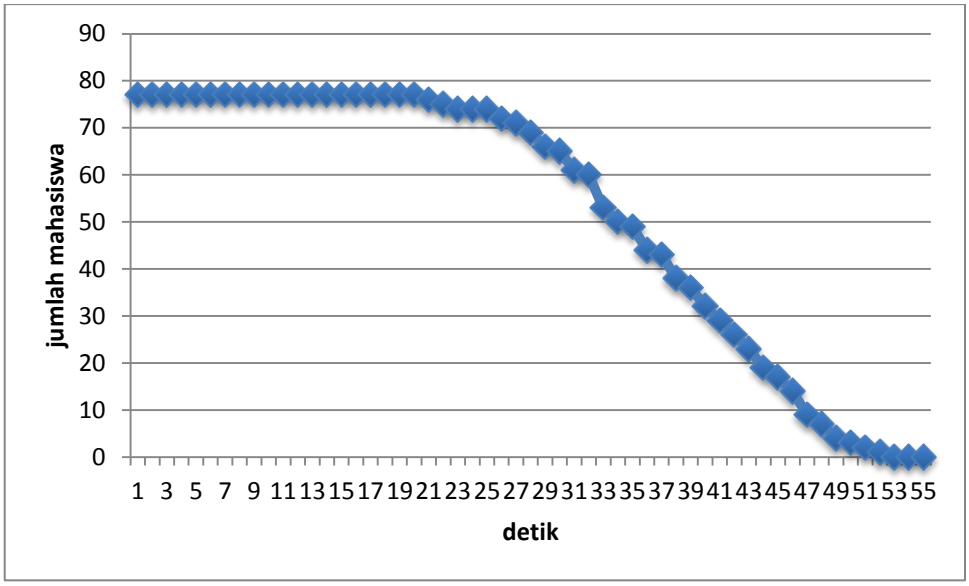
Gambar 5.15 menunjukkan tampilan grafik pada NetLogo yang menggambarkan jumlah setiap kelompok mahasiswa yang terevakuasi. Berdasarkan Gambar 5.15 dinyatakan bahwa orang pertama pada kelompok "mahasiswa fast response" berhasil menjadi mahasiswa pertama yang mencapai pintu keluar gedung pada detik ke-21. Kelompok "mahasiswa notifier" memperoleh waktu paling lama untuk mencapai pintu keluar gedung, yaitu pada detik ke-29. Pada skenario posisi api sisi timur, mahasiswa tercepat yang berhasil keluar gedung memperoleh waktu evakuasi sebesar 21 detik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Simulasi dilakukan dengan jumlah replikasi sebanyak 20 kali. Hasil replikasi simulasi ditunjukkan pada Lampiran 12. Hasil replikasi simulasi akan diuji kenormalan, kecukupan dan keseragaman datanya. Pengujian statistik memperoleh hasil bahwa data normal, seragam, dan cukup. Hasil pengujian statistik dapat dilihat pada Lampiran 13, 14, dan 15. Hasil rata-rata replikasi simulasi skenario api sisi timur adalah 53,2 detik terhitung sejak mahasiswa terakhir yang berhasil mencapai pintu keluar gedung.

5.5.3. Hasil Simulasi Skenario Dua

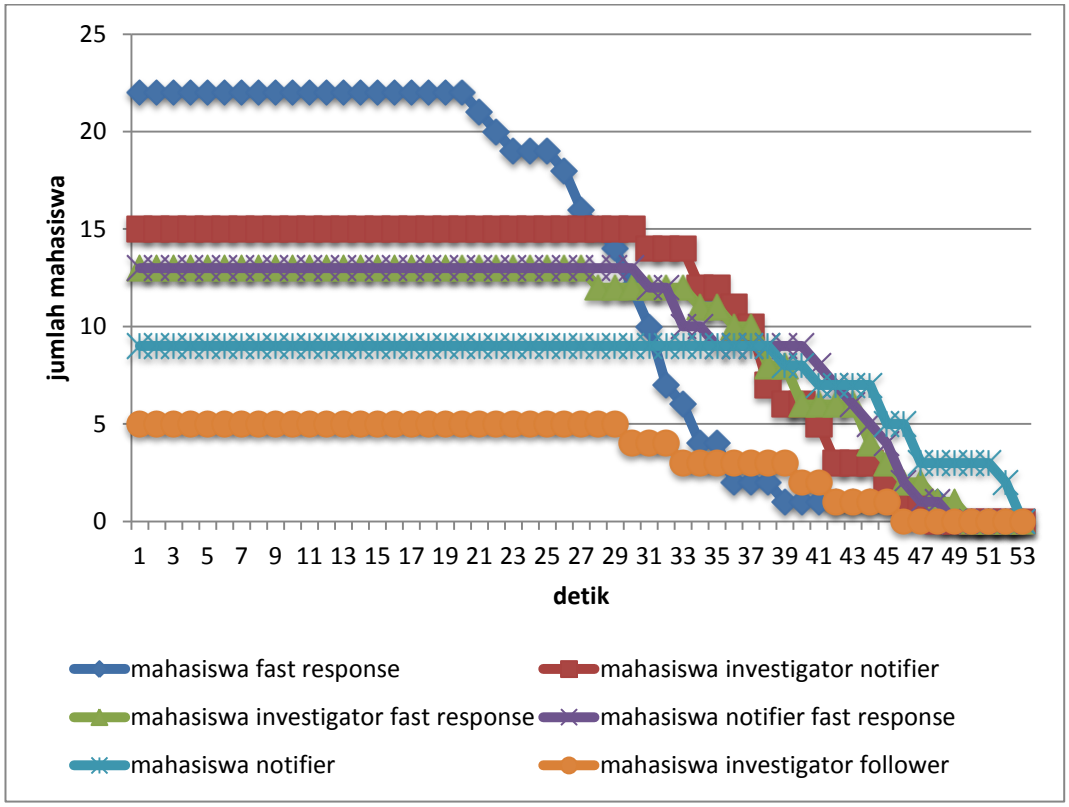
Simulasi skenario dua dilakukan dengan posisi api di sisi tengah ruang M-2 JTMI. Gambar 5.16 adalah salah satu hasil replikasi simulasi yang diperoleh menggunakan NetLogo.



Gambar 5.16 Hasil Simulasi Dua

Salah satu replikasi simulasi dua memperoleh waktu evakuasi sebesar 52,8detik dari total jumlah 77 mahasiswa di ruang M-2 JTMI. Gambar 5.17 menunjukkan hasil simulasi setiap kelompok dalam grafik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.17 Hasil Simulasi Dua Setiap Kelompok Mahasiswa

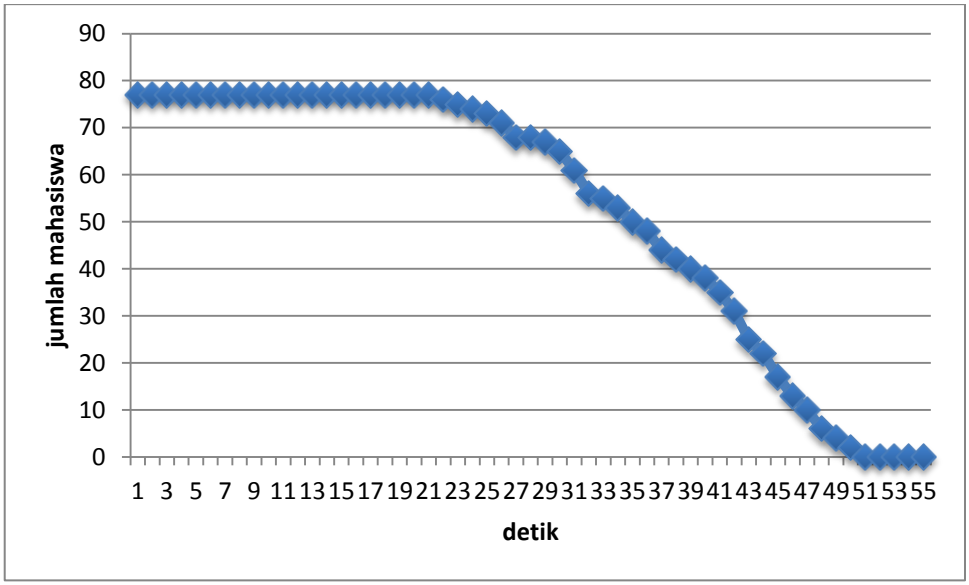
Gambar 5.17 menunjukkan bahwa mahasiswa *fast_response* pertama yang berhasil melakukan proses evakuasi pada detik ke-21. Kelompok mahasiswa *notifier* menjadi kelompok yang mencapai pintu keluar gedung paling lama, yaitu pada detik ke-39. Pada skenario posisi api sisi tengah, mahasiswa tercepat yang berhasil keluar gedung memperoleh waktu evakuasi sebesar 21 detik.

Simulasi dilakukan dengan jumlah replikasi sebanyak 20 kali. Hasil replikasi simulasi ditunjukkan pada Lampiran 12. Hasil replikasi simulasi akan diuji kenormalan, kecukupan dan keseragaman datanya. Pengujian statistik memperoleh hasil bahwa data normal, seragam, dan cukup. Hasil pengujian statistik dapat dilihat pada Lampiran 16, 17, dan 18. Hasil rata-rata replikasi simulasi skenario api sisi tengah adalah 53,2 detik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5.4. Hasil Simulasi Skenario Tiga

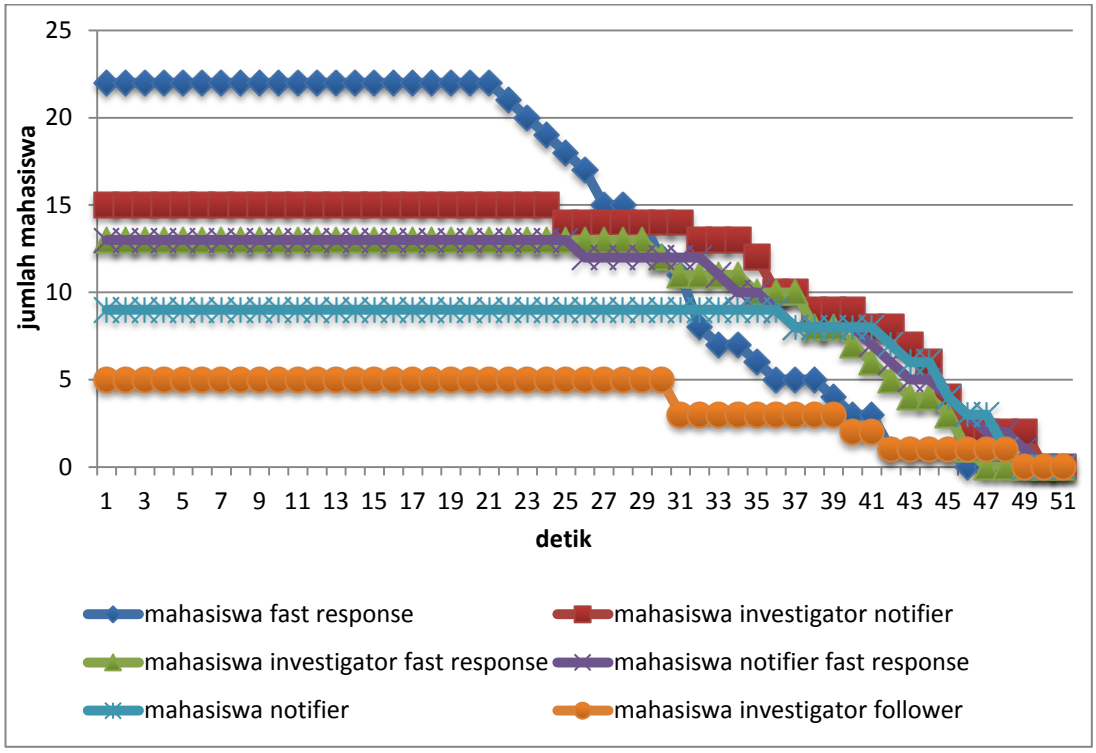
Simulasi skenario tiga dilakukan dengan posisi api di sisibarat ruang M-2 dan diperoleh hasil percobaan pertama seperti ditunjukkan oleh gambar 5.18.



Gambar 5.18. Hasil Simulasi Tiga

Salah satu hasil replikasi simulasi memperoleh waktu evakuasi sebesar 51 detik dari total jumlah 77 mahasiswa di ruang M-2 JTMI. Gambar 5.19 menunjukkan hasil simulasi setiap kelompok dalam grafik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.19 Hasil Simulasi Tiga Setiap Kelompok Mahasiswa

Gambar 5.19 menunjukkan bahwa mahasiswa *fast_response* pertama yang berhasil melakukan proses evakuasi pada detik ke-22,6. Kelompok mahasiswa yang mencapai pintu keluar gedung paling lama adalah mahasiswa *notifier*. Mahasiswa pertama pada kelompok tersebut mencapai pintu keluar gedung pada detik ke-30,3. Pada skenario posisi api sisi barat, mahasiswa tercepat yang berhasil keluar gedung memperoleh waktu evakuasi sebesar 22,6 detik.

Simulasi dilakukan dengan jumlah replikasi sebanyak 20 kali. Hasil replikasi simulasi ditunjukkan pada Lampiran 12. Hasil replikasi simulasi akan diuji kenormalan, kecukupan dan keseragaman datanya. Pengujian statistik memperoleh hasil bahwa data normal, seragam, dan cukup. Hasil pengujian statistik dapat dilihat pada Lampiran 19, 20, dan 21. Hasil rata-rata replikasi simulasi skenario api sisi barat adalah 53,3 detik.

Tabel 5.20 dan Tabel 5.21 menunjukkan hasil waktu evakuasi tiga skenario posisi api dengan batas atas dan bawah pada *confidence interval* 95% yang diperoleh dari replikasi simulasi menggunakan NetLogo.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.20 Hasil Simulasi Tiga Skenario Posisi Api

Skenario	N	Waktu Evakuasi Sejak Orang Pertama Keluar Gedung (detik)	Waktu Evakuasi Sejak Orang Terakhir Keluar Gedung (detik)
Api sisi timur	20	21	53,2
Api sisi tengah	20	21	53,2
Api sisi barat	20	22.8	53,3

Tabel 5.21 Batas Atas dan Batas Bawah Hasil Simulasi Tiga Skenario Posisi Api

Skenario	95% *Confidence Interval of the Difference*	
	Lower (detik)	*Upper* (detik)
Api sisi timur	52,4	53,9
Api sisi tengah	52,5	54
Api sisi barat	52,6	54

Hasil simulasi pada tiga skenario posisi api tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dapat dilihat dari waktu evakuasi sejak orang pertama dan terakhir berhasil keluar gedung yang tidak terlalu berbeda. Rata–rata hasil replikasi simulasi setiap skenario terletak di antara batas atas dan batas bawah pada *confidence interval* 95%. Batas atas dan batas bawah setiap skenario memiliki selisih yang cukup kecil, sehingga rata–rata hasil replikasi cukup akurat.

Analisis grafik dari ketiga skenario sisi api memperoleh hasil bahwa mahasiswa dengan kelompok mahasiswa *fast response* menjadi mahasiswa yang paling cepat mencapai pintu keluar gedung JTMI.

5.5.5. Perbandingan Waktu Evakuasi Setiap Kelompok Mahasiswa

Peneliti membandingkan waktu evakuasi yang diperoleh dari setiap kelompok mahasiswa. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui apakah setiap kelompok mahasiswa dengan perilaku yang berbeda akan menghasilkan waktu evakuasi yang berbeda pula. Skenario posisi api tengah dipilih menjadi skenario yang akan dibandingkan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pada perbandingan ini, setiap satu kelompok mahasiswa akan diletakkan pada ruang M-2 sampai kelas penuh tanpa dicampur dengan kelompok lainnya. Skenario posisi api yang dipilih sebagai contoh adalah skenario posisi api tengah ruang M-2. Kemudian simulasi dilakukan dengan replikasi sebanyak 20 kali pada setiap kelompok. Tabel 5.22 menunjukkan waktu evakuasi yang dihasilkan dari simulasi pada masing-masing kelompok mahasiswa.

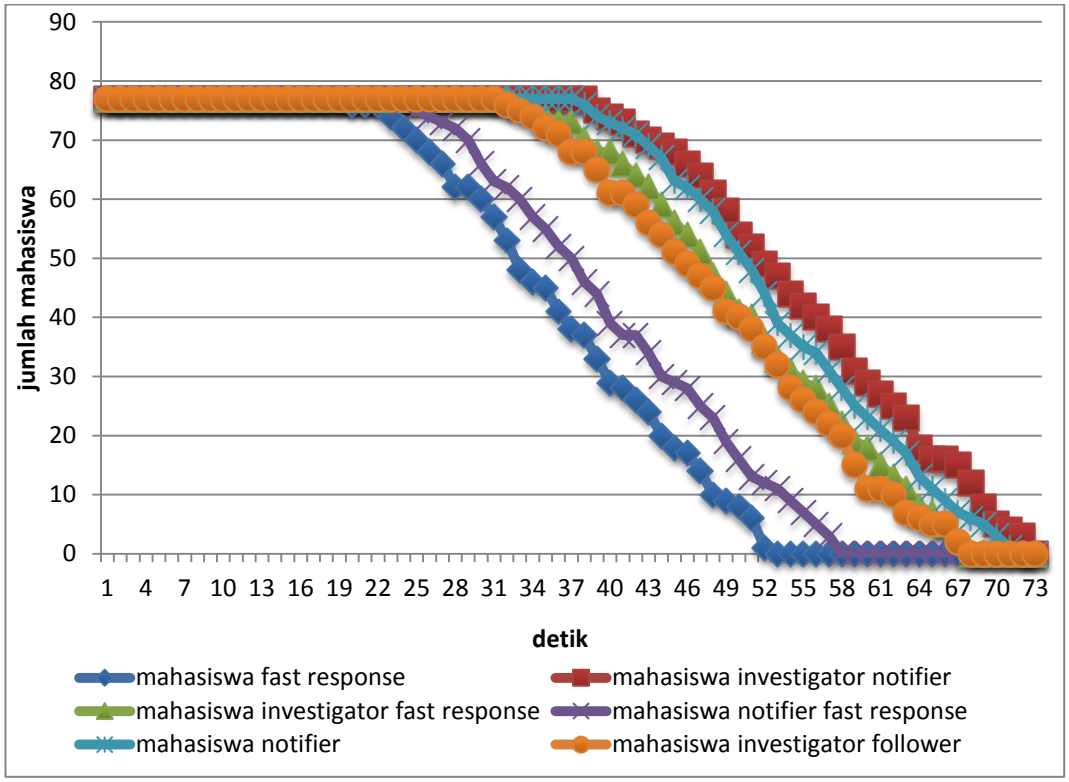
Tabel 5.22 Waktu Evakuasi Setiap Kelompok Mahasiswa

No	**Kelompok Mahasiswa**	**Waktu Evakuasi**	
		Rata-Rata	**Standar Deviasi**
1	*Fast Response*	53.3	0.9
2	*Investigator Notifier*	72.7	1
3	*Investigator Fast Response*	66.9	1.2
4	*Notifier Fast Response*	56.9	0.9
5	*Notifier*	71	1
6	*Investigator Follower*	66.4	1.1

Waktu evakuasi yang paling pendek adalah waktu evakuasi yang dihasilkan kelompok mahasiswa *Fast Response*, hal ini dikarenakan mahasiswa tersebut memiliki waktu yang lebih cepat untuk menyadari tanda-tanda kebakaran. Waktu evakuasi yang paling panjang adalah waktu evakuasi yang dihasilkan kelompok mahasiswa *Investigator Notifier*. Kelompok mahasiswa *Investigator Notifier* memiliki perilaku mencari tahu terhadap tanda-tanda kebakaran, kemudian memberi tahu mahasiswa di dalam kelas. Perilaku tersebut yang menyebabkan kelompok mahasiswa ini memiliki waktu evakuasi yang lebih panjang dibandingkan kelompok lain. Perolehan waktu evakuasi setiap kelompok mahasiswa memiliki perbedaan yang signifikan, kecuali pada kelompok mahasiswa *Investigator Fast Response* dan *Investigator Follower* yang memiliki hasil evakuasi sama. Hasil pengujian statistik dapat dilihat pada Lampiran 35.

Gambar 5.20 menunjukkan grafik perbandingan dinamika jumlah mahasiswa yang terevakuasi untuk setiap kelompok mahasiswa yang berbeda.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.20 Dinamika Perbandingan Waktu Evakuasi Setiap Kelompok

Berdasarkan Gambar 5.20, terlihat bahwa kelompok mahasiswa *fast response* memiliki waktu evakuasi terpendek dan mahasiswa *investigator follower* memiliki waktu evakuasi terpanjang.

5.6. Verifikasi dan Validasi Sistem

Verifikasi model dilakukan dengan melakukan pengecekan apakah model berperilaku wajar dan tidak terjadi *error* saat simulasi. Hasil yang diperoleh adalah model berperilaku wajar dan tidak terjadi *error* pada pemrograman NetLogo, sehingga model terverifikasi secara kualitatif.

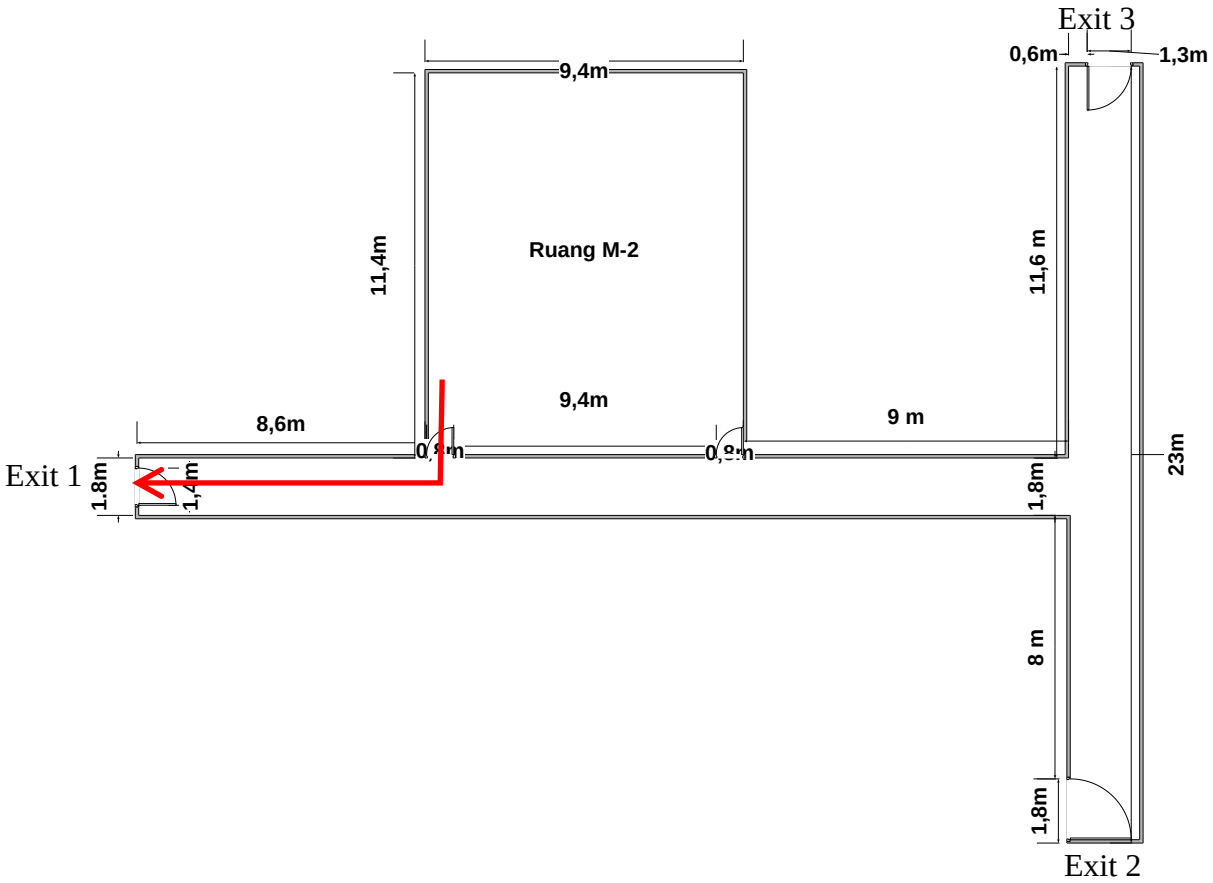
Validasi penelitian ini dilakukan dengan membandingkan waktu hasil simulasi dengan hasil perhitungan waktu evakuasi dari beberapa literatur. Perhitungan *Van Bogaert* (Coelho, 2010) dan *Paper and Pencil* (Kretz, 2011) adalah perhitungan

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang digunakan untuk acuan waktu evakuasi. Hasil ini dibandingkan dengan hasil simulasi yang diperoleh menggunakan komputer.

Validasi pertama adalah membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan *Van Bogaert*. Aplikasi metode *Van Bogaert* dilakukan dengan menghitung waktu evakuasi melalui satu jalur evakuasi. Jalur yang akan dihitung adalah jalur sederhana dimana penghuni akan menuju pintu keluar ruangan sebelah timur ruang M-2dan pintu keluar sebelah Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JTETI) dengan jumlah orang sebanyak 39 orang

Gambar 5.21 menunjukkan jalur evakuasi yang akan dihitung menggunakan metode perhitungan *Van Bogaert*.



Gambar 5.21 Jalur Perhitungan Validasi Pertama

Jalurevakuasi warna merah adalah jalur yang akan dihitung menggunakan perhitungan *Van Bogaert*. Deskripsi dari jalur merah adalah jalur evakuasi dari

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dalam ruang M-2 menuju pintu timur ruang M-2 kemudian menuju menuju pintu keluar sebelah JTETI (*Exit* 1). Hasil perhitungan waktu adalah sebagai berikut:

a. Waktu mahasiswa meninggalkan ruangan menuju koridor (T_1), yaitu:
   T_1= 39orang/1,5 (*person/passage unit.second*)) = 26 detik.
b. Waktu mahasiswa meninggalkan gedung dari koridor (T2), yaitu:
   T2= 8,6m/1,5 (*person/passage unit.second*)) = 5,7 detik.
c. Waktu yang diperlukan mahasiswa terdekat dari lokasi awal mahasiswa berada menuju pintu keluar ruangan), yaitu:
   T_3= 4m/ 1,5 (*person/passage unit.second*)) = 2,67 detik. (Asumsi jarak mahasiswa terdekat dari pintu ruang adalah 4 meter)

Waktu total kelompok 1 menuju pintu keluar 1 adalah $T_1 + T_2 + T_3$ = 34,37 detik. Hasil perhitungan dibandingkan dengan waktu simulasi evakuasi dengan jumlah orang dan jalur evakuasi yang sama. Simulasi menggunakan NetLogo dilakukan sebanyak 20 replikasi. Hasil replikasi simulasi ditunjukkan pada Lampiran 22. Hasil replikasi simulasi diuji kenormalan, kecukupan dan keseragaman datanya. Hasil uji statistik menyatakan bahwa data yang diperoleh normal, seragam, dan cukup. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Lampiran 23, 24, dan 25. Berdasarkan hasil uji statistik tersebut, digunakan pengujian statistik parametrik untuk membandingkan kedua hasil perhitungan waktu evakuasi.

Pengujian t (*t-test-one-sample*) dilakukan untuk membandingkan hasil replikasi dengan hasil perhitungan *Van Bogaert*. Pengujian t dilakukan untuk mengetahui apakah ada kesamaan antara kedua data tersebut. Prinsipnya adalah menguji apakah waktu evakuasi yang diperoleh dari rumus samajika dibandingkan denganrata-rata replikasi simulasi. Hasil perhitungan pengujian t ditunjukkan pada Tabel 5.23.

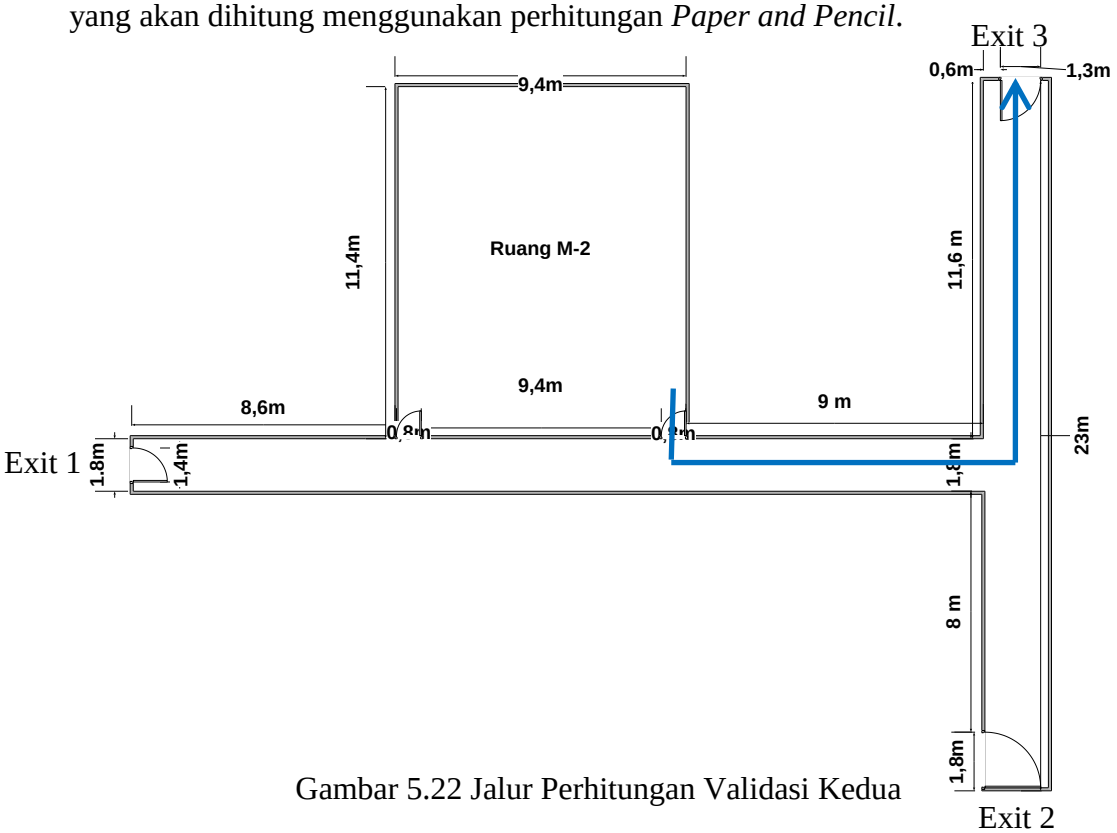
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.23 Hasil *T-test* Validasi Pertama (n=20)

	Test Value = 34.37					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
HasilSimulasi	-.911	19	.374	-.25990	-.8572	.3374

Berdasarkan pengujian t (*t-test-one-sample*), diketahui t hitung (-0,911) memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai t tabel (2,093) dan lebih besar dari (-) t tabel (-2,093). Hasil yang diperoleh adalah gagal untuk menolak H_0, yang artinya tidak ada cukup bukti yang menyatakan bahwa rata–rata data replikasi simulasi berbeda dengan hasil perhitungan *Van Bogaert*.

Validasi kedua dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan menggunakan metode *Paper and Pencil*. Perhitungan waktu evakuasi menggunakan *Paper and Pencil* mengambil jalur menuju pintu keluar yang menuju parkiran JTMI melalui pintu sebelah barat ruang M-2. Waktu evakuasi dihitung menggunakan 28 *agent* mahasiswa. Gambar 5.22 menunjukkan jalur yang akan dihitung menggunakan perhitungan *Paper and Pencil*.



Gambar 5.22 Jalur Perhitungan Validasi Kedua

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perhitungan *Paper and Pencil* pada jalur menuju pintu keluar parkiran JTMI (*Exit* 3) melalui pintu sebelah barat ruang M-2 ditunjukkan pada Persamaan 5.6.

$$\mathbf{T = (28 / (1{,}3 \times 0{,}8)) + ((4 + 9{,}6 + 11{,}6) / 1{,}8)}$$

$$\mathbf{T = 26{,}9 + 14 = 40{,}9\ s} \qquad (5.6)$$

Hasil perhitungan menggunakan *Paper and Pencil* akan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan NetLogo dengan jumlah orang dan jalur yang sama. Simulasi menggunakan NetLogo dilakukan sebanyak 20 replikasi. Hasil replikasi simulasi ditunjukkan pada Lampiran 22. Hasil replikasi simulasi akan diuji kenormalan, kecukupan dan keseragaman datanya. Hasil uji statistik menyatakan bahwa data yang diperoleh normal, seragam, dan cukup. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Lampiran 26, 27, dan 28. Berdasarkan hasil uji statistik tersebut, digunakan pengujian statistik parametrik untuk membandingkan kedua hasil perhitungan waktu evakuasi.

Setelah data teruji normalitas, kecukupan dan keseragamannya, data replikasi simulasi akan dibandingkan dengan hasil yang dihasilkan dengan metode perhitungan *Paper and Pencil.* Pengujian t (*t-test-one-sample*) dilakukan untuk mengetahui apakah ada kesamaan antara kedua data tersebut. Prinsipnya adalah menguji apakah waktu evakuasi yang diperoleh dari rumus samajika dibandingkan denganrata-rata replikasi simulasi. Hasil perhitungan pengujian t ditunjukkan Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Hasil *T-test* Validasi Dua (n=20)

	Test Value = 40.9					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
Hasil_SImulasi	-1.775	19	.092	-.42500	-.9263	.0763

Berdasarkan pengujian t (*t-test-one-sample*), diperoleh t hitung (-1,775) memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai t tabel (2,093) dan lebih besar dibandingkan (-) t tabel (-2,093). Hasil pengujian t adalah gagal untuk

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menolak H_0, yang artinya tidak ada cukup bukti yang menyatakan bahwa rata–rata data replikasi simulasi berbeda dengan hasil perhitungan.

Berdasarkan dua perhitungan waktu evakuasi dengan metode *Van Bogaert* dan *Paper and Pencil Calculation,* hasil simulasi proses evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 dapat dikatakan valid.

5.7. Pengukuran Kinerja Hasil Simulasi

Pengukuran kinerja pada simulasi proses evakuasi bencana kebakaran di ruang M-2 JTMI mengacu pada waktu evakuasi yang dibutuhkan dan waktu evakuasi yang tersedia untuk melakukan evakuasi. Hasil waktu simulasi atau *Required Safe Egress Time* (RSET) akan dibandingakan dengan waktu evakuasu yang tersedia atau *Available Safe Egress Time* (ASET). ASET dicari dengan menghitung waktu yang dibutuhkan suatu lokasi untuk mencapai *Heat Release Rate* (HRR) maksimal.

Waktu suatu lokasi mencapai *Heat Release Rate* (HRR) maksimal dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1. Batas maksimal HRR untuk gedung sekolah dan klasifikasi pertumbuhan apinya dapat ditunjukkan oleh Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Batas Maksimal HRR dan Klasifikasi Pertumbuhan Api
(Hadjisophocleous dan Benichou1999)

Occupancy Type	***Maximum Heat Release Rate***	***Fire Growth Rate***
Kantor, Sekolah, Hotel	250	Medium
Kios, Toko	500	Fast

Untuk menentukan *fire growth constant* (α), ditentukan bahwa tingkat pertumbuhan api yang ada pada ruang M-2 adalah medium. Tabel 5.26 menunjukkan nilai α berdasarkan tingkat pertumbuhan api.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.26 Keterangan Nilai α (Fleischmann, 2009)

Tingkat Pertumbuhan Api	**Nilai α**
Slow	0,00293
Medium	0,0117
Fast	0,0469
Ultra Fast	0,188

Tabel 5.26 menunjukkan nilai α sebesar 0,0117. Dengan diketahuinya HRR maksimal sebesar 250 dan nilai α sebesar 0,0117, waktu pembakaran untuk mencapai nilai HRR maksimal dapat ditentukan dengan Persamaan 3.2.

Pada Persamaan 3.2 dapat diketahui bahwa waktu efektif pembakaran (t) untuk mencapai nilai HRR maksimal adalah 146,2 detik atau 2,4 menit. Berdasarkan perhitungan, diperoleh waktu yang tersedia bagi para penghuni untuk melakukan evakuasi adalah sebesar 146,2 detik atau 2,4 menit.

Waktu yang tersedia untuk melakukan evakuasi digunakan sebagai pembanding waktu hasil simulasi proses evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 JTMI. Tabel 5.27 menunjukkan perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan evakuasi (RSET) dengan waktu yang tersedia untuk melakukan evakuasi (ASET).

Tabel 5.27 Perbandingan RSET dan ASET

Skenario	**RSET (detik)**	**ASET (detik)** (*t-squared calculation*)	**ASET (detik)** (Hadjisophocleous dan Benichou, 1999)	**Status**
Api Sisi Timur	53,2	146,2	120 - 150	Aman
Api Sisi Tengah	53,2	146,2	120 - 150	Aman
Api Sisi Barat	53,3	146,2	120 - 150	Aman

Menurut Babrauskas dkk. (2010), jika ASET > RSET terpenuhi, maka tingkat keselamatan bangunan pada saat kebakaran sepenuhnya memadai, ditinjau

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dari keselamatan melarikan diri. Analisis kinerja hasil simulasi menyatakan bahwa waktu yang dibutuhkan mahasiswa untuk evakuasi pada ruang M-2 aman.

5.8. Analisis Perbaikan Sistem

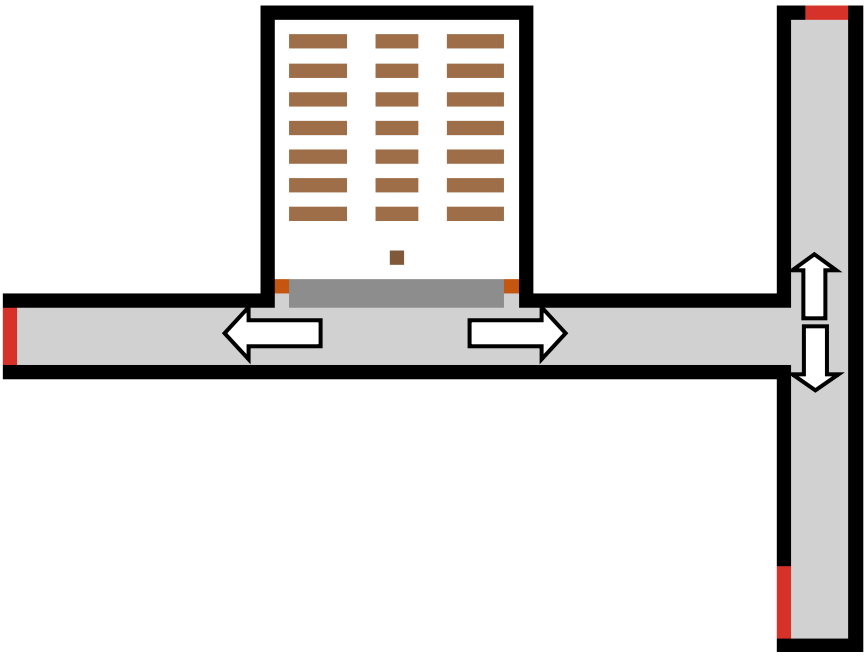
Perbaikan sistem diperlukan untuk melakukan optimasi terhadap performa evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 JTMI. Walaupun berdasarkan pengukuran kinerja, waktu evakuasi yang diperlukan (RSET) lebih kecil daripada waktu yang tersedia (ASET), masih diperlukan adanya perbaikan sistem untuk mempercepat proses evakuasi. Cara mempercepat proses evakuasi adalah dengan mempersingkat RSET. Dengan mempercepat waktu evakuasi yang dibutuhkan, *margin of safety* dari suatu proses evakuasi akan bertambah. Beberapa skenario perbaikan sistem dianalisis untuk memperoleh skenario perbaikan sistem terbaik dari proses evakuasi bencana kebakaran ruang M-2 JTMI.

5.8.1. Skenario 1 – Pengarahan Jalur Evakuasi

Pengarahan jalur evakuasi bertujuan untuk mengarahkan mahasiswa mencapai pintu keluar gedung sesuai dengan jalur yang diarahkan peneliti. Hal ini diprediksi mampu mempercepat waktu evakuasi mahasiswa dari koridor menuju pintu keluar gedung.

Pada pemodelan skenario pengarahan jalur evakuasi, setiap mahasiswa yang menuju ke pintu keluar gedung dari koridor akan diarahkan sesuai jalur yang terlihat pada Gambar 5.23. Perubahan perilaku mahasiswa terjadi pada proses pemilihan jalur evakuasi menuju ke pintu keluar gedung, dimana mahasiswa harus mengikuti jalur evakuasi yang telah ditentukan sesuai Gambar 5.23.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.23 Skenario Pengarahan Jalur Evakuasi

Simulasi dilakukan menggunakan NetLogo sebanyak 20 replikasi dengan mengambil contoh sisi api tengah. Hasil replikasi dapat dilihat pada Lampiran 29.

Hasil simulasi dengan skenario pengarahan jalur evakuasi memperoleh rata–rata sebesar 55,1 detik. Simulasi memperoleh hasil lebih tinggi dibandingkan dengan tidak melakukan pengarahan jalur evakuasi, sehingga skenario ini tidak efektif digunakan.

5.8.2. Skenario 2 - Pemasangan Alarm Kebakaran

Saran berikutnya adalah pemasangan alarm kebakaran pada ruang M-2. Pemasangan alarm diperkirakan mampu mempercepat respon mahasiswa terhadap tanda–tanda kebakaran dari mahasiswa untuk segera evakuasi. Menurut Gottuk (2009), waktu aktivasi alarm kebakaran berdasarkan eksperimen adalah 10–163 detik. Dengan asumsi lokasi alarm dengan sumber kebakaran adalah 0,9 meter, alarm kebakaran yang digunakan adalah tipe *photoelectric*, diperoleh waktu aktivasi alarm sebesar 10 detik (Gottuk, 2009).

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian ini mengasumsikan bahwa hanya kelompok "mahasiswa *fast response*" dan kelompok "mahasiswa *notifier fast response*" yang menjadi kelompok mahasiswa terpengaruh saat alarm berbunyi. Dengan terpengaruhnya kelompok mahasiswa tersebut untuk melakukan proses evakuasi lebih cepat, kelompok mahasiswa lainnya juga akan terpengaruh untuk melakukan proses evakuasi di ruang M-2 JTMI lebih cepat.

Pemodelan perilaku setiap kelompok mahasiswa pada NetLogo mengacu pada waktu bangkit yang ditunjukkan pada *timeline* respon mahasiswa. Pembuatan *timeline* bertujuan untuk mengetahui waktu bangkit setiap kelompok mahasiswa sebagai menjadi acuan pemodelan. Pemasangan alarm dapat mempercepat waktu bangkit dari mahasiswa untuk melakukan evakuasi. Lampiran 30 dan 31 menunjukkan *timeline* dari respon mahasiswa sebelum dan setelah pemasangan alarm.

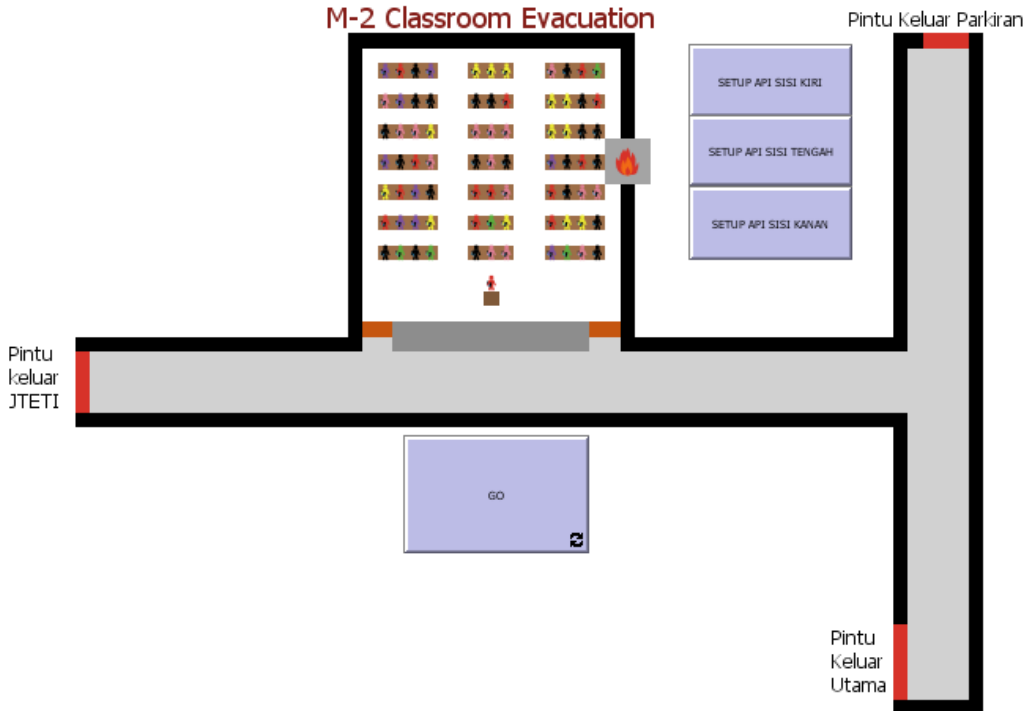
Simulasi dijalankan dengan mengambil contoh sisi api tengah dengan jumlah replikasi sebanyak 20 kali. Hasil replikasi dapat dilihat pada Lampiran 29. Hasil simulasi dengan skenario pemasangan alarm memperoleh rata–rata sebesar 50,7 detik. Simulasi memperoleh hasil lebih cepat dibandingkan dengan tidak memasang alarm, sehingga skenario ini dapat digunakan untuk perbaikan sistem.

Untuk mengetahui perbedaan antara skenario sebelum dan sesudah pemasangan, dilakukan pengujian t. Hasil pengujian t dapat dilihat pada Lampiran 32. Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan pengujian t, diperoleh bahwa terdapa perbedaan yang signifikan antara hasil replikasi simulasi sebelum dan setelah pemasangan alarm.

5.8.3. Skenario 3 - Pelebaran Pintu Keluar Ruangan

Saran perbaikan selanjutnya adalah melebarkan pintu ruangan dari kapasitas satu orang menjadi dua orang. Untuk itu perlu dilakukan simulasi untuk membuktikan apakah pelebaran pintu akan mempercepat waktu evakuasi atau tidak. Gambar 5.24 adalah pemodelan ruang M-2 setelah pintu keluar ruangan dilebarkan.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.24 Pemodelan Skenario Pelebaran Pintu Ruang M-2

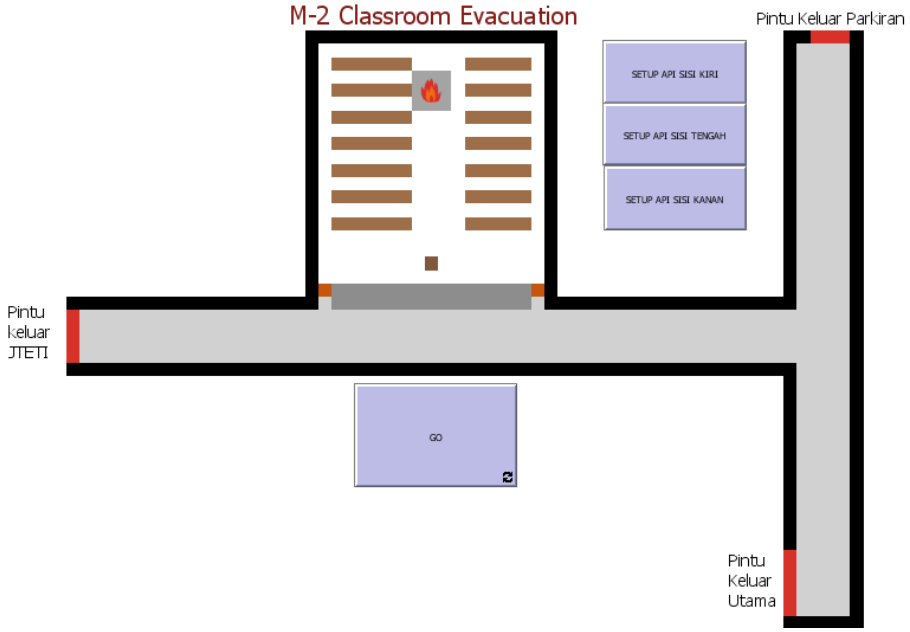
Simulasi dengan skenario pelebaran pintu dilakukandengan replikasi sebanyak 20 kali. Perhitungan mengambil contoh skenario api sisi tengah dengan skenario pelebaran pintu. Simulasi memperoleh waktu rata-rata sebesar 46,4 detik seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 29.

Simulasi memperoleh hasil lebih cepat dibandingkan dengan tidak melakukan pelebaran pintu, sehingga skenario ini dapat digunakan untuk perbaikan sistem. Untuk mengetahui perbedaan antara skenario sebelum dan sesudah pemasangan, dilakukan pengujian t. Hasil pengujian t dapat dilihat pada Lampiran 33. Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan pengujian t, diperoleh bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil replikasi simulasi sebelum dan setelah pemasangan alarm.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.8.4. Skenario 4 - Perubahan *Layout* Tempat Duduk

Skenario yang akan dianalisis berikutnya adalah perubahan *layout* tempat duduk dari ruang M-2 JTMI. Gambar 5.25 adalah *layout* perubahan yang dibuat oleh peneliti.



Gambar 5.25 Pemodelan Skenario Pembuatan *Layout* Baru

Simulasi dengan skenario pelebaran pintu dilakukan dengan replikasi sebanyak 20 kali. Perhitungan waktu evakuasi mengambil contoh skenario api sisi tengah dengan skenario pembuatan *layout* baru. Simulasi memperoleh waktu rata-rata sebesar 53,9 detik seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 29.

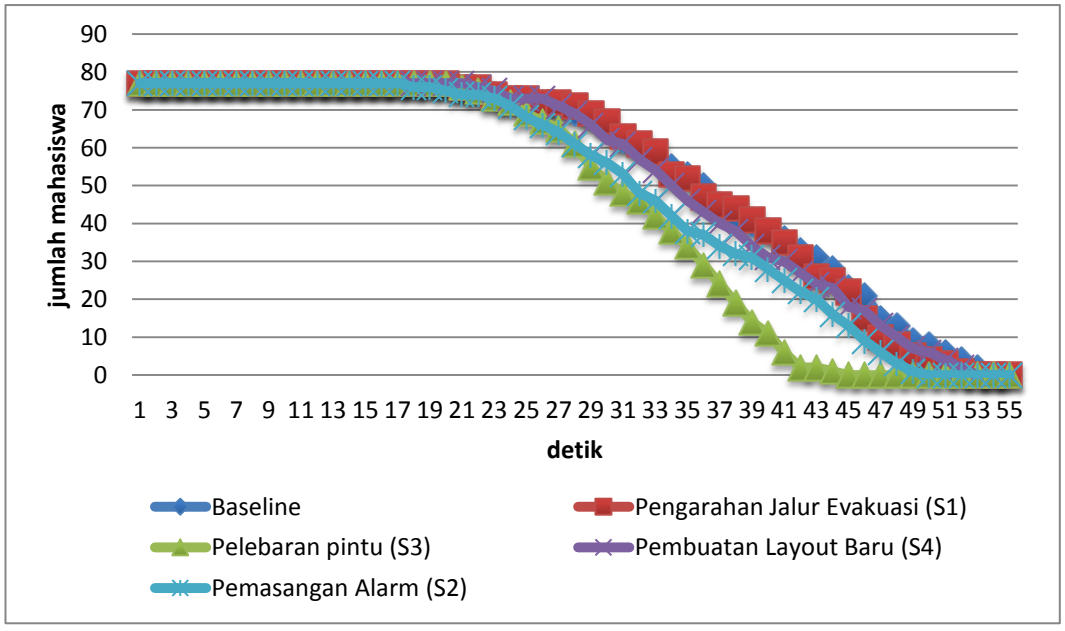
Tabel 5.28 menunjukkan hasil rata-rata yang diperoleh pada setiap skenario perbaikan sistem.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.28 Waktu Evakuasi Rata-Rata Skenario Perbaikan Sistem

Skenario	Kode Skenario	Waktu Evakuasi (detik)	Waktu Mahasiswa Pertama Keluar Gedung (detik)
Skenario Awal (Sisi Api Tengah)	*Baseline*	53,2	21
Pengarahan Jalur Evakuasi	S1	55,1	21
Pemasangan Alarm	S2	50,7	18
Pelebaran Pintu	S3	46,4	21
Pembuatan *Layout* Baru	S4	53,9	22

Skenario pengarahan jalur memiliki waktu evakuasi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan skenario awal dengan api di sisi tengah. Sedangkan skenario pelebaran pintu memperoleh waktu evakuasi yang kecil. Waktu untuk mahasiswa pertama berhasil menuju keluar gedung paling cepat terdapat pada skenario pemasangan alarm yang memperoleh waktu sebesar 18 detik. Hal ini mungkin dikarenakan alarm mampu mempercepat respon awal dari penghuni saat kondisi kebakaran. Gambar 5.26 menunjukkan dinamika perbandingan waktu evakuasi pada setiap skenario.



Gambar 5.26 Dinamika Perbandingan Waktu Evakuasi

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.26 menunjukkan bahwa skenario pelebaran pintu menghasilkan waktu evakuasi yang paling cepat dibandingkan skenario lainnya. Skenario pelebaran pintu memiliki perbedaan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan skenario awal (*baseline*). Selain itu, Gambar 5.26 menunjukkan bahwa skenario pengarahan jalur evakuasi tidak berhasil mengoptimalkan waktu evakuasi.

Berdasarkan analisis skenario perbaikan sistem, perbaikan yang akan disarankan kepada pengelola gedung adalah pelebaran pintu keluar ruangan dan pemasangan alarm kebakaran.

5.8.5. Kombinasi Perbaikan Sistem

Kombinasi perbaikan sistem dilakukan dengan menggabungkan beberapa skenario perbaikan. Kombinasi perbaikan sistem bertujuan untuk mengetahui kombinasiyang menghasilkan waktu evakuasi paling optimal. Kombinasi perbaikan sistem akan disimulasikan menggunakan NetLogo. Perbaikan sistem yang akan dikombinasi adalah perbaikan yang dianggap mampu mempercepat waktu evakuasi, yaitu skenario pelebaran pintu, skenario perubahan *layout* dan skenario pemasangan alarm.

Simulasi kombinasi perbaikan sistem mengambil contoh posisi api di tengah ruang M-2. Simulasi dilakukan dengan jumlah replikasi sebanyak 20 kali. Hasil replikasi simulasi dapat dilihat pada Lampiran 30. Waktu rata–rata setiap simulasi ditunjukkan pada Tabel 5.29.

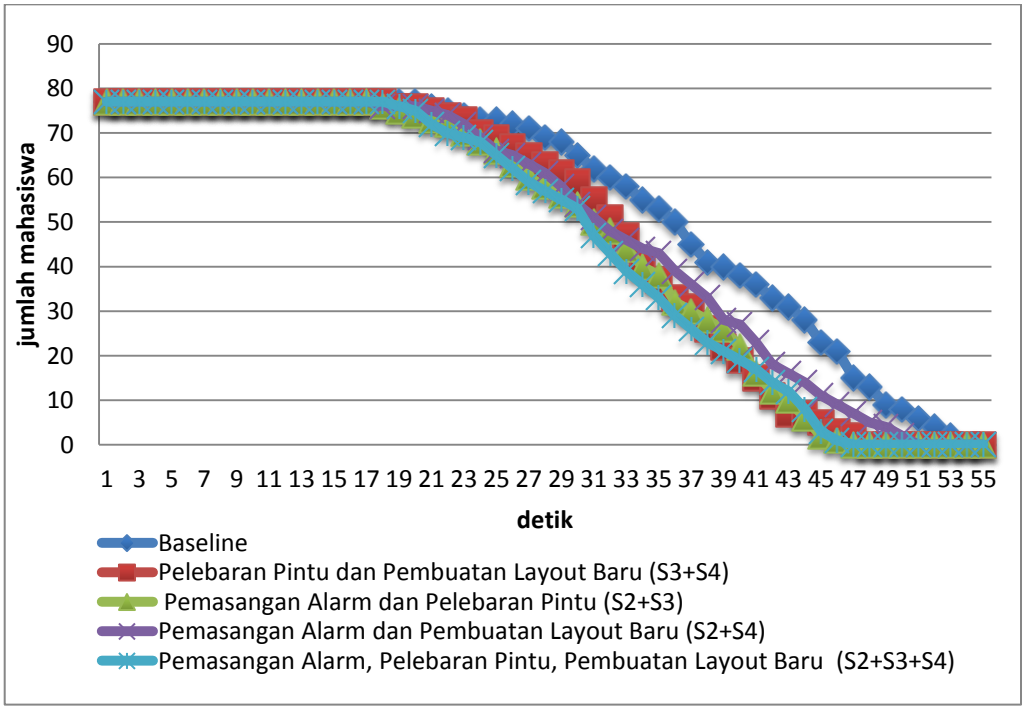
Tabel 5.29 Hasil Rata–Rata Skenario Kombinasi Perbaikan Sistem

Skenario	**Kode Skenario**	**Waktu Evakuasi (detik)**	**Waktu Mahasiswa Pertama Keluar Gedung (detik)**
Pelebaran Pintu + Pembuatan *Layout* Baru	S3 + S4	47,5	19
Pemasangan Alarm + Pelebaran Pintu	S2 + S3	44,3	18

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Skenario	Kode Skenario	Waktu Evakuasi (detik)	Waktu Mahasiswa Pertama Keluar Gedung (detik)
Pemasangan Alarm + Pembuatan *Layout* Baru	S2 + S4	50,8	18
Pemasangan Alarm + Pelebaran Pintu + Pembuatan *Layout* Baru	S2 + S3 + S4	45,6	19

Skenario kombinasi pelebaran pintu dan pemasangan alarm memperoleh hasil simulasi paling kecil dibandingkan skenario kombinasi yang lain. Sedangkan skenario kombinasi pembuatan *layout* baru dan pemasangan alarm memperoleh hasil simulasi yang paling besar dibandingkan skenario kombinasi yang lain. Waktu mahasiswa pertama berhasil keluar gedung paling cepat terdapat pada skenario S2+S3 (Pemasangan Alarm + Pelebaran Pintu) dan S2+S4 (Pemasangan Alarm + Pembuatan *Layout* Baru) yang sama-sama memiliki waktu 18 detik. Gambar 5.27 menunjukkan perbandingan waktu evakuasi pada setiap skenario.



Gambar 5.27 Dinamika Perbandingan Waktu Evakuasi Kombinasi Skenario

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.27 menunjukkan bahwa skenario kombinasi antara pelebaran pintu dan pemasangan alarm memperoleh waktu evaukasi paling kecil dibandingkan skenario kombinasi lainnya. Apabila dibandingkan dengan skenario awal (*baseline*), seluruh skenario kombinasi mampu mempercepat waktu evakuasi.

Berdasarkan analisis skenario kombinasi perbaikan sistem, kombinasi perbaikan yang disarankan kepada pengelola gedung adalah kombinasi pelebaran pintu keluar ruangan dan pemasangan alarm kebakaran tanpa merubah *layout* tempat duduk.

Skenario yang diusulkan oleh peneliti dianggap realistis untuk dilakukan pada ruang M-2 JTMI. Pada skenario pelebaran pintu ruangan, pengelola dapat melakukannya dengan memperlebar pintu yang sebelumnya hanya berkapasitas satu orang menjadi dua orang. Kemudian pemasangan alarm juga dapat dilakukan oleh pengelola gedung dengan memesan atau membeli alarm kebakaran.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VI
PENUTUP

6.1.Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini mengembangkan model simulasi proses evakuasi bencana kebakaran pada ruang M-2 JTMI dengan mempertimbangkan heterogenitas perilaku mahasiswa saat kondisi darurat kebakaran.
2. Berdasarkan hasil simulasi dengan tiga skenario posisi api yang berbeda, waktu evakuasiyang diperoleh adalah 53,2 detik untuk posisi api sebelah timur, 53,3 detik untuk posisi api sebelah barat, dan 53,2 detik untuk skenario posisi api sebelah tengah. Waktu evakuasi yang dibutuhkan (RSET) dibandingkan dengan waktu evakuasi yang tersedia (ASET) pada ruang M-2 JTMI. ASET yang diperoleh pada penelitian ini adalah 146,2 detik, sehingga diperoleh hasil bahwa waktu yang dibutuhkan mahasiswa untuk melakukan evakuasi (RSET) lebih kecil daripada waktu yang tersedia untuk melakukan proses evakuasi (ASET). Berdasarkan hasil ini, waktu evakuasi dinyatakan aman dari kebakaran.
3. Simulasi proses evakuasi bencana kebakaran menunjukkan bahwa peristiwa *bottleneck* pada pintu keluar dan *trigger* mahasiswa untuk bangkit dari tempat duduk sangat berpengaruh pada waktu evakuasi yang diperoleh. Perbaikan sistem ditujukan untuk memperpendek waktu evakuasi dengan mempertimbangkan kedua hal tersebut. Berdasarkan analisis skenario perbaikan sistem, perbaikan yang disarankan kepada pengelola gedung adalah pelebaran pintu keluar ruangan. Simulasi dengan skenario pelebaran pintu keluar menghasilkan waktu evakuasi sebesar 46,4 detik dan mampu memperkecil waktu evakuasi sebesar 6,8 detik. Berdasarkan analisis skenario kombinasi perbaikan sistem, kombinasi perbaikan yang disarankan kepada pengelola gedung adalah kombinasi pelebaran pintu keluar ruangan dan pemasangan alarm kebakaran. Skenario kombinasi pelebaran pintu ruangan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dan pemasangan alarm kebakaran memperoleh waktu evakuasi sebesar 44,3 detik. Jika dibandingkan dengan skenario awal (*baseline*), kombinasi skenario ini mampu memperkecil waktu evakuasi sebesar 8,9 detik.

6.2.Saran

Saran dari peneliti adalah mengembangkan model proses evakuasi bencana kebakaran dengan beberapa ruangan, sehingga aliran kepadatan populasi semakin diperhitungkan. Penelitian ini memodelkan bencana kebakaran dengan simbol api tanpa memodelkan penyebaran api dan asap. Untuk itu, penelitian selanjutnya juga diharapkan mampu memodelkan pertumbuhan api dan penyebaran asap, sehingga model bencana kebakaran akan terlihat semakin nyata.

Pemodelan perilaku berdasarkan karakter umur, jenis kelamin, ukuran fisik penghuni dapat menjadi saran penelitian berikutnya. Hal ini dikarenakan perbedaan karakter tersebut akan mempengaruhi kecepatan dari setiap penghuni pada kondisi kebakaran dan tentu akan mempengaruhi waktu evakuasi yang dihasilkan.

Saran berikutnya adalah menambah jumlah sampel untuk menentukan waktu respon dari kelompok mahasiswa. Wawancara kualitatif untuk mengetahui waktu respon setiap kelompok mahasiswa sebaiknya menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak. Hal ini dimaksudkan agar waktu respon yang diperoleh dari setiap kelompok mahasiswa lebih mampu merepresentasikan waktu pada kondisi sebenarnya. Selain itu, dapat digunakan data-data waktu respon dari proses *fire drill* sebagai acuan dan pembanding akan waktu respon yang diperoleh dari hasil wawancara.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

Almeida, J.E., Kokkinogenis, Z., dan Rossetti, R.J.F., 2010, NetLogo Implementation of an Evacuation Scenario, *CoRR*, Vol. abs/1303.4695.

Babrauskas,V., Fleming, J.M., dan Russell, B. D, 2010, RSET/ASET: A Flawed Concept for Fire Safety Assessment, *Fire and Materials,*Vol.34, pp.341–355.

Babrauskas, V., dan Peacock, R.D., 1992, Heat Release Rate: The Single Most Important Variable in Fire Hazard, *Fire Safety Journal*, Vol. 18, pp. 255-272.

Badler, N.,Liu, Y., Liu, D., dan Malkawi, A., 2011, Analysis of Evacuation Performance of Merging Points in Stadiums Based on Crowd Simulation, *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney.

Bonabeau, E., 2002, Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* Vol. 99, pp. 7280–7287

Chow, W.K., danCandy M.Y.Ng, 2006, A Brief Review on The Time Line Concept in Evacuation, *International Journal on Architectural Science*, Vol.7, No. 1, pp. 1-13.

Coelho, A. L, 2010,*Incêndios em Edifícios (in portuguese),*Edição em Português, Orion, Lisboa.

Cordeiro, E., Leça, A., Coelho, Rossetti, R.J.F., dan Almeida, J., 2011, Human Behavior Under Fire Situations – Portuguese Population, *Proceeding Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, Maryland.

Crooks, A., Castle, C., dan Batty, M., 2008, Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 32, pp. 417-430.

Direktorat Akademik UGM, 2013, *DataJumlah Mahasiswa S-1 Aktif*, Direktorat Akademik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Effendi, D.,O., Wignjosoebroto, S., dan Rahman, A., 2012, Pengukuran Tingkat Kesiapan Perusahaan Terhadap Bahaya di Tempat Kerja dan Penanganan Hazard, [*Online* diakses tanggal 1 Mei 2013], URL: http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-8657-6505040009-Conclusion.pdf

Fleischmann, C.M., 2009, Prescribing The Input For The ASET Versus RSET Analysis: Is This The Way Forward For Performance Based Design?,*Advanced Research Workshop*, Santander.

Gottuk, D., 2009, Smoke Detection Calculations–New Advances, *NFPA Conference*, Chicago.

Ha, V.Q., 2012, *Agent-based Modeling of Emergency Building Evacuation,*Master Degree Thesis, University of Connecticut, Storrs.

Hadjisophocleous, G.V., dan Benichou, N., 1999, Performance Criteria Used in Fire Safety Design, *Automation in Construction*, Vol. 8, pp. 489–501.

Ingalls, R.G., 2002, Introduction to Simulation, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference,*San Diego.

International Maritime Organization, 2007, *Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New andExisting Passenger Ships*, International Maritime Organization, London.

Johansson, L., 2011, *Pre-movement time and human behaviour*, Bachelor's Thesis, Luleå University of Technology, Lulea.

Kagaya, S., Hagiwara, T., Uchida, K., dan Negishi, A., 2005, An Application of Multy-Agent Simulation to Trafficsantos Behavior for Evacuation in Eearthquake Disaster, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 4224 – 4236.

Kantor Pemadam Pemda Yogyakarta, 2013, *Kebijakan Penanggulangan Kebakaran di Kota Yogyakarta*,Dinas Pemadam Kebakaran, Yogyakarta.

Ko, S.Y., 2003, *Comparison of Evacuation Times Using Simulex and EvacuatioNZ Based on Trial Evacuations*, Master of Engineering in Fire Engineering Thesis, University of Canterbury, Christchurch.

Kretz, T., 2011, Counter Flow in Evacuations, *Traffic and Granular Flow Conference*, Moscow.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kuligowski, E.D., dan Peacock, R.D., 2005, *A Review of Building Evacuation Models*, NIST Fire Research Division, Washington.

Lempert, R., 2002, Agent-Based Modeling as Organizational and PublicPolicy Simulators, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, pp.7195-7196.

Law M. dan Kelton W., 2006, *Simulation Modeling and Analysis*, 4th edition, Tucson.

Liu, M.dan Lo, S.M., 2011, The Quantitative Investigation on People's Pre-Evacuation Behavior Under Fire, *Automation in Construction*, Vol. 20, pp.620-628.

Macal, C. M., dan North, M. J., 2011,Introductory Tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, Phoenix.

Muhdi, R.A., 2008, *The Development and Representation of Occupant Performance in Building Evacuation Modeling*, Doctor of Philosophy Dissertation, Auburn University, Auburn.

Munadi, K., Nasaruddin, Nurdin, Y., dan Dirhamsyah, M., 2012, Simulasi Evakuasi Tsunami Berbasis Multi-Agent Sebagai Media Edukasi Kebencanaan, *Prosiding InSINas*, Aceh.

NetLogo, 2009, NetLogo, [*Online*, diakses tanggal 10Desember 2012]. URL: http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/.

Olsson, P.A., dan Regan, M.A., 2001, A Comparison Between Actual and Predicted Evacuation Times, *Safety Science*, Vol.38, pp.139 – 145.

Peraturan Daerah DKI Jakarta No. 3 tahun 1992, *Penanggulangan Bahaya Kebakaran Dalam Wilayah Khusus Ibu Kota Jakarta*, Jakarta.

Rahman, N.V., 2004, *Kebakaran, Bahaya Unpredictible, Upaya Dan Kendala Penanggulangannya*, e-USU RepositoryUniversitas Sumatera Utara, Medan.

Razali, N.M., dan Wah, Y.B., 2011, Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, and Anderson-Darling Tests, *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, Vol. 2, No.1, pp. 21-33.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Rui, Y., Qinghui, J.,dan Zheng, F., 2013, A Fire Evacuation Model for Indoor Buildings Based on The Improved Cellular Automaton, *Disaster Advances,* Vol. 6, No.5.

Saikhu, A., Lianto, Buliali, J.L., dan Swastyastu, C.A., 2009, Simulasi Evakuasi Keadaaan Darurat Studi Kasus Apartemen XYZ Surabaya, *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, Yogyakarta.

Santos, G., dan Aguirre, B.E., 2004, A Critical Review of Emergency Evacuation Simulation Models, *NIST Workshop on Building Occupant Movement during Fire Emergencies*, Washington.

Saputra, R.W., Munadi, K., dan Nurdin, Y., 2012, Pengembangan Aplikasi Untuk Simulasi Evakuasi Bencana Tsunami Berbasis *Agent–Based Modeling,KITEKTRO*, Vol.1, No.1, pp. 26-32.

Sekizawa, A., Ebihara, M., Notake, H., Kubota, K., Nakano, M., Ohmiya, Y., dan Kaneko, H., 1999, Occupants Behaviour in Response to the High-rise Apartments Fire in Hiroshima City, *Fire and Material*, Vol.23, pp.297-303.

Setyawan,A., dan Kartika, E.W., 2010, Studi Eksploratif Tingkat Kesadaran Penghuni Gedung Bertingkat Terhadap Bahaya Kebakaran : Studi Kasus di Universitas Kristen Petra Surabaya, *Jurnal Manajemen Perhotelan,*Vol. 4, No. 1, pp. 28-38.

Shi, J., Ren, A., dan Chen, C., 2009, Agent-Based Evacuation Model of Large Public Buildings Under Fire Conditions,*Automation in Construction*, Vol.18, pp.338-347.

Smith, E.R., dan Conrey, F.R., 2007, Agent-Based Modeling: A New Approach for Theory Building in Social Psychology. *Personality and Social Psychology Review,* Vol.11, pp. 87-104

Soleh, Z.A., 2005, *Ilmu Statistika Pendekatan Teoritis dan Aplikatif DisertaiContoh Penggunaan SPSS*, Rekayasa Sains, Bandung.

Tang, F., dan Ren, A., 2008, Agent-Based Evacuation Model Incorporating Fire Scene and Building Geometry, *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 13, No. 5, pp. 708-714.

Thompson, O., 2011, Human Behaviour in Accidental Dwelling Fires-Pilot study, *Fire Investigation and Research Team (FIRT) Report*.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tissera, P.C., Printista, M., dan Errecalde, M.L., 2007, Evacuation Simulations using Cellular Automata, *JCS&T* , Vol. 7, No. 1.

Twomey, P., dan Cadman, R., 2002, Agent-Based Modeling of Customer Behaviour in The Telecoms and Media Market. *Journal Emerald*, Vol. 4, pp. 56-53

Umiati, S., 2008, Ketahanan Material Baja sebagai Struktur Bangunan terhadap Kebakaran, *Teknik A*, Vol. 1, No.29.

Xiang, X., Kennedy, R., Madey, G., dan Cabaniss, S., 2005, Verification and Validation of Agent-based Scientific Simulation Models, *Agent-Directed Simulation Conference,* San Diego.

Yang, L., Fang, W., Huang, R.,dan Deng, Z., 2002, Occupant Evacuation Model Based on Cellular Automata in Fire, *Chinese Science Bulletin*, Vol. 47, No. 17.

Yasik, Y. L.,Afiff,F., dan Kartini, D., 2009, Model Perilaku Konsumen Voice Music SMS (VMS) Berbasis Agent Based Modeling (ABM). *Jurnal Bisnis dan Manajemen*,Vol. 2, pp. 216-235.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Pertanyaan *Pilot Study*

No	Pertanyaan	Tujuan Terkait
1	Apakah Anda menemukan terminologi yang tidak familiar?	A
2	Apakah instruksi cukup jelas untuk diikuti?	A
3	Apakah pertanyaan cukup jelas untuk diikuti?	A
4	Apakah format *survey* memiliki alur yang baik?	B
5	Apakah *survey* terlalu panjang? Apakah jumlah pertanyaan masih masuk akal?	B
6	Berapa lama kira-kira waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan keseluruhan *survey*?	C
7	Apakah Anda menemukan item tertentu yang terlalu sensitif untuk dipertanyakan?	D
8	Apakah instrumen menggunakan cara yang wajar untuk mendapatkan informasi yang diinginkan?	A
9	Secara keseluruhan, apakah pertanyaan-pertanyaan yang diajukan sudah sesuai dan relevan untuk mengukur konsep yang ingin diukur oleh peneliti?	E
10	Menurut Anda, apakah menyediakan sebuah Internet based *survey* akan membantu untuk meningkatkan kesempatan dalam mendapatkan lebih banyak respon?	D
11	Apakah ada komentar lain untuk meningkatkan kualitas dari draft instrumen?	E

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 2. Hasil *Pilot Study* Tahap Satu

No	Waktu	Profil Responden	Hasil	
1.	12 Maret 2013	Mahasiswa S1 JTMI UGM (angkatan 2008)	1	Tidak
			2	Instruksi jelas. Namun pada pertanyaan terakhir, perintah untuk menggambarkan garis harusnya dicetak tebal
			3	Ya, cukup jelas
			4	Ya, alur cukup baik
			5	Tidak panjang, seluruh *item* pertanyaan jelas. Ruang yang diobservasi akan lebih baik jika berada pada lantai 2.
			6	7-10 menit
			7	Tidak ada pertanyaan yang sensitive
			8	Ya, menurut saya sudah relevan
			9	Ya, masuk akal
			10	Ya, tapi butuh
			11	Tidak
2.	12 Maret 2013	Mahasiswa S1 JTMI UGM (angkatan 2008)	1	Tidak
			2	Instruksi jelas, kecuali pertanyaan terakhir sedikit membingungkan
			3	Ya, cukup jelas
			4	Ya, alur cukup baik
			5	Tidak panjang, seluruh *item* pertanyaan jelas.
			6	5-10 menit
			7	Tidak ada pertanyaan yang sensitive
			8	Ya, menurut saya sudah relevan
			9	Ya, masuk akal
			10	Ya, tapi mungkin sulit karena responden harus menggambarkan jalur evakuasi
			11	Tidak

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 3. Hasil *Pilot study* Tahap Dua

No	Waktu	Profil Responden		Hasil
1.	13 Maret 2013	Dosen JTMI	1	Tidak
			2	Instruksi bagian D tidak terlalu jelas. Apakah jalur 1 sampai jalur 3 *available* atau sebenarnya hanya 1 jalur yang dibuka
			3	Pada bagian B perlu dukungan informasi apakah responden pernah memperoleh *training safety*
			4	Ya, alur cukup baik
			5	Tidak
			6	5 menit
			7	Tidak ada pertanyaan yang sensitive
			8	Perlu tambahan pertanyaan yang lebih detail
			9	Ya, masuk akal
			10	Tidak butuh
			11	Tidak
2.	13 Maret 2013	Dosen JTMI	1	Ya, *agent* merupakan istilah yang tidak familiar bagi responden
			2	Pada awal pertanyaan seharusnya ada instruksi untuk melingkari/menyilang salah satu jawaban. Dan pada soal nomor 7, perintah untuk mengisi kedua skenario harus diperjelas
			3	Ya, cukup jelas
			4	Ya, alur cukup baik, namun ada sedikit *margin* yang kurang tepat serta gambar ruang M-2 kurang terlihat
			5	Tidak panjang, seluruh *item* pertanyaan jelas.
			6	10 menit
			7	Tidak ada pertanyaan yang sensitive
			8	Ya, menurut saya sudah relevan
			9	Ya, masuk akal
			10	Tidak butuh
			11	Gambar pada nomor 7 dibuat lebih jelas

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 4. Hasil *Pilot study* Tahap Tiga

No	Waktu	Profil Responden	Hasil	
1.	14 Maret 2013	Mohamad Farid *Fire Fighter Department* D.I Yogyakarta	1	Tidak
			2	Jelas
			3	Jelas
			4	Ya, alur cukup baik
			5	Tidak
			6	Dibawah 5 menit
			7	Tidak ada pertanyaan yang sensitif
			8	Sudah mampu mendapatkan perilaku manusia pada saat kondisi darurat kebakaran
			9	Ya, masuk akal
			10	Tidak butuh
			11	Sudah cukup, mampu memperoleh informasi. Untuk hasil penelitian ini mampu dibuat skenario jalur evakuasi tercepat.
No	**Waktu**	**Profil Responden**	**Hasil**	
2.	14 Maret 2013	Wisnu Subroto *Fire Fighter Department* D.I Yogyakarta	1	Tidak
			2	Instruksi cukup jelas
			3	Ya, cukup jelas
			4	Ya, alur cukup baik
			5	Tidak
			6	10 menit
			7	Tidak ada pertanyaan yang sensitif
			8	Ya, menurut saya sudah relevan asalkan responden bukan petugas pemadam kebakaran
			9	Ya, masuk akal
			10	Tidak butuh
			11	Cukup baik

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 5. Ringkasan Pertanyaan Komponen *Survey* Utama

No	Sub Bab	Kode Item	Item	Tipe Respon
1	Profil Responden		Nama	*Open-ended*
2	Profil Responden		Angkatan	*Open-ended*
3	Profil Responden		Program Studi	*Open-ended*
4	Profil Responden		Jenis Kelamin	*Close-ended*
5	Kesadaran akan bahaya bencana kebakaran	A.1	Apakah Anda pernah mendengar berita tentang korban atau kerugian yang diakibatkan oleh bencana kebakaran	*Close-ended*
6	Respon pada indikasi/pertanda terjadinya bencana kebakaran	B.2	Apakah Anda pernah mengikuti pelatihan evakuasi bencana (training safety)?	*Close-ended*
7	Respon pada indikasi/pertanda terjadinya bencana kebakaran	B.3	Apa respon Anda ketika ada indikasi awal bencana kebakaran seperti munculnya asap atau bunyi alarm?	*Close-ended*
8	Respon pada saat terjadi bencana kebakaran	C.4	Ketika bencana kebakaran terjadi, apakah Anda akan merasa panik?	*Close-ended*
9	Respon pada saat terjadi bencana kebakaran	C.5	Apa reaksi Anda apabila bencana kebakaran terjadi di ruangM-2?	*Close-ended*
10	Respon pada saat terjadi bencana kebakaran	C.6	Apa reaksi Anda ketika berhadapan langsung dengan api?	*Close-ended*
11	Perilaku pada proses evakuasi bencana kebakaran	D.7	Ruang M-2 memiliki **lebih dari satu** pintu keluar, apa yang menjadi pertimbangan Anda saat memilih **salah satu** pintu keluar pada saat melakukan proses evakuasi?	*Close-ended*
12	Perilaku pada proses evakuasi bencana kebakaran	D.8	Ketika Anda berada di lorong JTMI saat proses evakuasi bencana kebakaran, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan tidak terjadi antrian pada jalur 2 dan jalur 3 seperti gambar di bawah ini?	*Close-ended*
13	Perilaku pada proses evakuasi bencana kebakaran	D.9	Ketika Anda berada di lorong JTMI saat proses evakuasi bencana kebakaran, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan2 namun tidak terjadi antrian pada jalur 3 seperti gambar di bawah ini?	*Close-ended*

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

No	Sub Bab	Kode Item	Item	Tipe Respon
14	Perilaku pada proses evakuasi bencana kebakaran	D.10.I	Apabila terjadibencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk menuju pintu keluar gedung dengan pintu kiri?	*Close-ended*
15	Perilaku pada proses evakuasi bencana kebakaran	D.10.II	Apabila terjadibencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk menuju pintu keluar gedung dengan pintu kanan?	*Close-ended*

Lampiran6. Kuesioner

KUESIONER PERILAKU MANUSIA TERHADAP BENCANA KEBAKARAN

Terima kasih atas partipasi Anda menjadi salah satu peserta *survey* dan secara sukarela mengisi kuesioner ini. Nama saya Aditya Dwiputra, mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM yang sedang melakukan penelitian untuk Tugas Akhir yang berjudul "ANALISIS SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN PADA GEDUNG JTMI".

Survey ini bertujuan untuk menganalisis perilaku yang muncul dan mengetahui interaksi yang terjadi antar manusia dan lingkunganpada saat proses evakuasi kebakaran sedang berlangsung. Ruangan yang menjadi objek simulasi adalah **ruang M-2** Jurusan Teknik Mesin dan Industri (JTMI).

Saya memohon kesediaan Anda untuk mengisi kuesioner dengan lengkap dan sejujur-jujurnya. Jika terdapat pertanyaan dan komentar mengenai kuesioner ini, Anda dapat menghubungi saya di nomor 085697756303 atau alamat email aditya2301@hotmail.com.

Identitas Responden

Nama :
Angkatan :
Program Studi : Teknik Mesin / Teknik Industri
Jenis Kelamin : L / P

Pertanyaan :(Berikan tanda silang (X) pada salah satu jawaban yang Anda pilih)

A. Kesadaran akan bahaya bencana kebakaran

1. Apakah Anda pernah mendengar berita tentang korban atau kerugian yang diakibatkan oleh bencana kebakaran?
   a. Pernah

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b. Tidak pernah

B. Respon pada indikasi/pertanda terjadinya bencana kebakaran

2. Apakah Anda pernah mengikuti pelatihan evakuasi bencana (*training safety*)?
   a. Pernah
   b. Tidak pernah

3. Apa respon Anda ketika ada **indikasiawal** bencana kebakaran seperti munculnya asap atau bunyi alarm?
   a. Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi
   b. Meninggalkan tempat dan menuju keluar
   c. Memperingatkan orang lain
   d. Menunggu perintah
   e. Meneruskan pekerjaan

C. Respon pada saat terjadi bencana kebakaran

4. Ketika bencana kebakaran terjadi, apakah Anda akan merasa panik?
   a. Panik
   b. Tidak panik

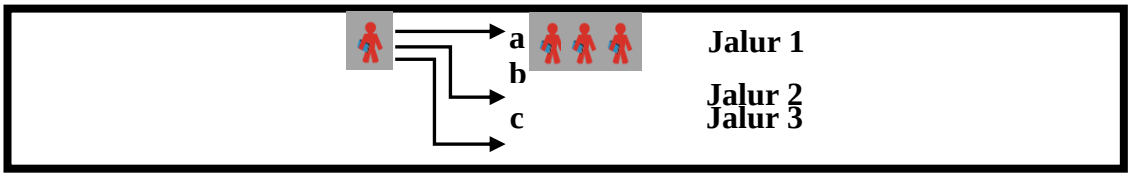
5. Apa reaksi Anda apabila bencana kebakaran terjadi di ruangM-2?
   a. Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung
   b. Memberitahu orang lainkemudian menuju keluar gedung
   c. Mencoba menolong orang lainkemudian menuju keluar gedung
   d. Mencoba memadamkan api kemudian menuju keluar gedung
   e. Mengikuti apa yang dilakukanmayoritas orang lain
   f. Meneruskan pekerjaan

6. Apa reaksi Anda ketika berhadapan langsung dengan api?
   a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api
   b. Meminta pertolongan
   c. Berusaha memadamkan api

D. Perilaku pada proses evakuasi bencana kebakaran

7. Ruang M-2 memiliki **lebih dari satu** pintu keluar, apa yang menjadi pertimbangan Anda saat memilih **salah satu** pintu keluar pada saat melakukan proses evakuasi?
   a. Memilih pintu keluar yang lebih dekat dari lokasi Anda berada
   b. Memilih pintu keluar yang lebih jauh dari lokasi Anda berada

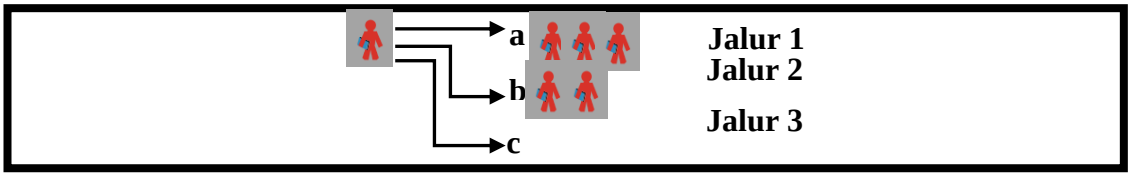
8. Ketika Anda berada di **lorong** JTMI saat proses evakuasi bencana kebakaran, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan tidak terjadi antrian pada jalur 2 dan jalur 3 seperti gambar di bawah ini?



SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

a. Tetap mengantri di jalur 1
b. Menuju ke jalur 2
c. Menuju ke jalur 3

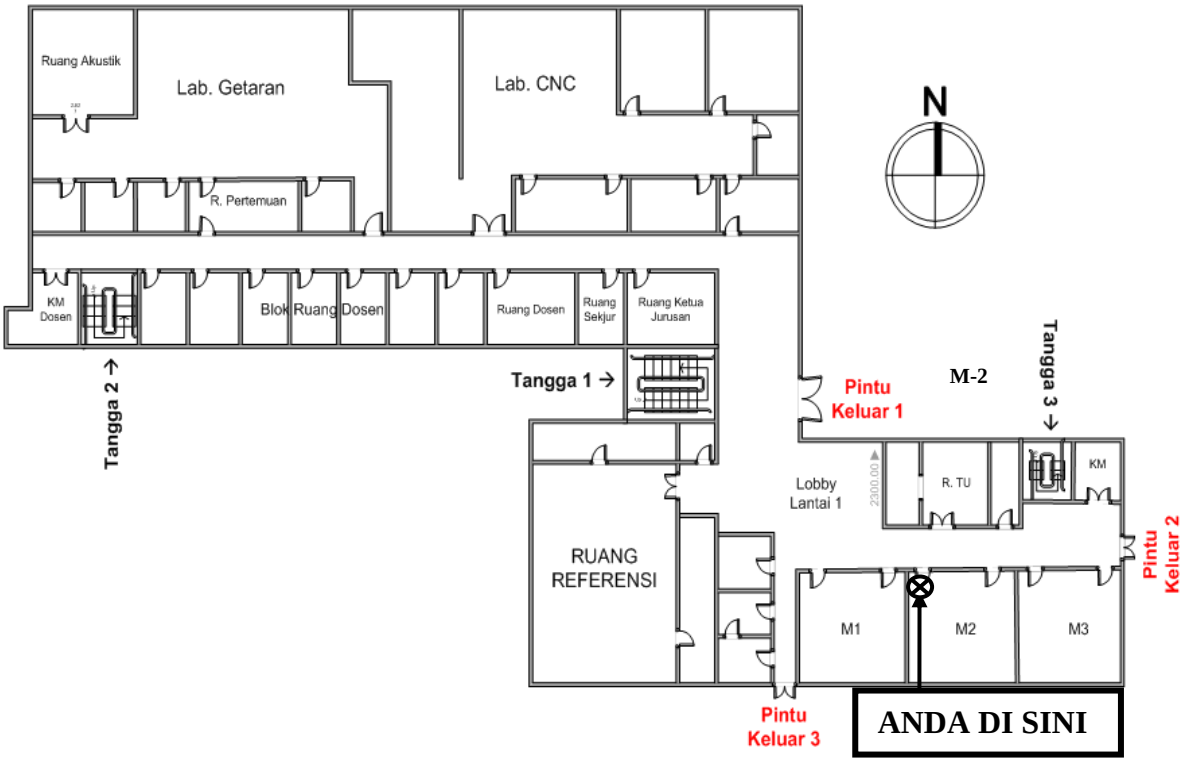
9. Ketika Anda berada di **lorong** JTMI saat proses evakuasi bencana kebakaran, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan2 namun tidak terjadi antrian pada jalur 3 seperti gambar di bawah ini?



a. Tetap mengantri di jalur 1
b. Mengantri di jalur 2
c. Menuju ke jalur 3

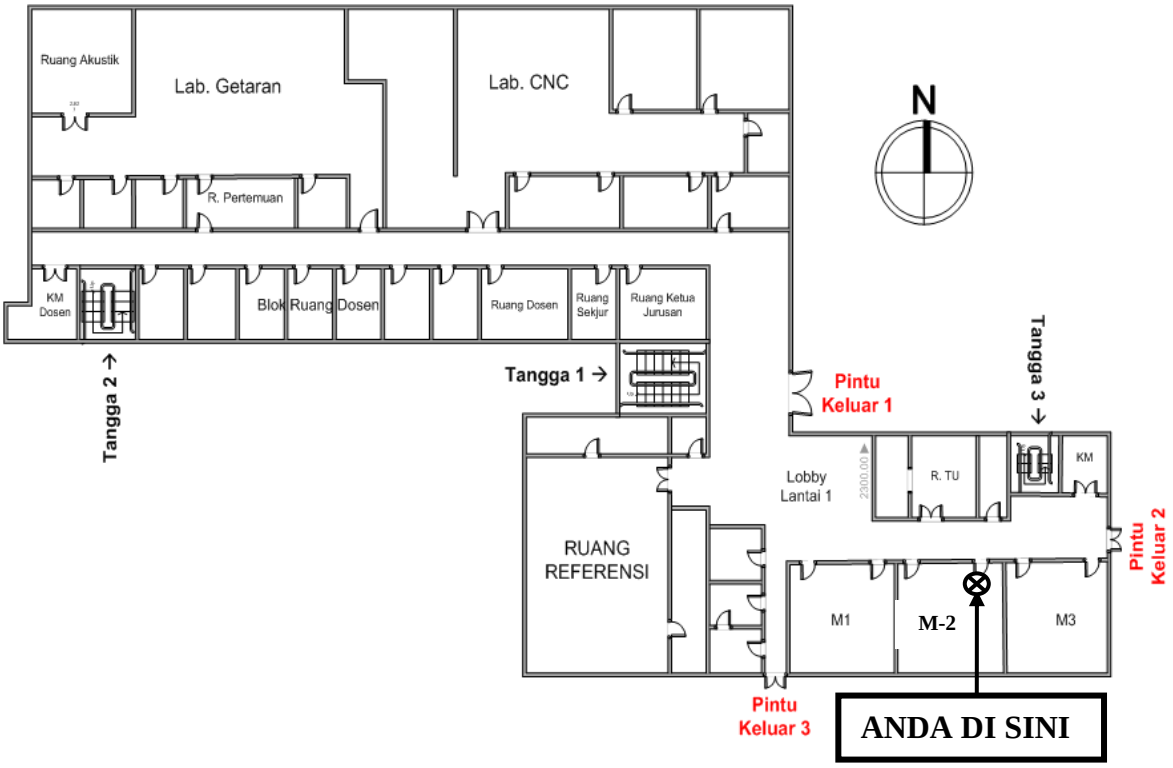
10. Apabila terjadibencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk **menuju** pintu keluar gedung?(**GAMBARKANDENGAN GARIS ~~PA~~NAH**( ) jalur evakuasi Anda menggunakan pulpen/pensil pada **masing – masing skenario**)

I. Skenario Anda keluar melalui pintu kiri ruang M-2



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

II. Skenario Anda keluar melalui pintu kanan ruang M-2



SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran7.Rekapitulasi Hasil Kuesioner

No	Pertanyaan	Jumlah Responden	%
A.1	**Apakah Anda pernah mendengar berita tentang korban atau kerugian yang diakibatkan oleh bencana kebakaran**		
	a. Pernah	127	100%
	b. Tidak pernah	0	0%
B.2	**Apakah Anda pernah mengikuti pelatihan evakuasi bencana (training safety)?**		
	a. Pernah	19	15%
	b. Tidak pernah	108	85%
B.3	**Apa respon Anda ketika ada indikasi awal bencana kebakaran seperti munculnya asap atau bunyi alarm?**		
	a. Mencari tahu apa yang sebenarnya terjadi	51	40%
	b. Meninggalkan tempat dan menuju keluar	58	46%
	c. Memperingatkan orang lain	18	14%
	d. Menunggu perintah	0	0%
	e. Meneruskan pekerjaan	0	0%
C.4	**Ketika bencana kebakaran terjadi, apakah Anda akan merasa panik?**		
	a. Panik	68	68%
	b. Tidak panik	41	32%
C.5	**Apa reaksi Anda apabila bencana kebakaran terjadi di ruang M-2?**		
	a.Melakukan proses evakuasi menuju keluar gedung	60	47%
	b. Memberi tahu orang lain kemudian menuju keluar gedung	48	38%
	c. Mencoba menolong orang lain kemudian menuju keluar gedung	4	3%
	d. Mencoba memadamkan api kemudian menuju keluar gedung	5	4%
	e. Mengikuti apa yang dilakukan mayoritas orang lain	10	8%
	f. Meneruskan pekerjaan	0	0%
C.6	**Apa reaksi Anda ketika berhadapan langsung dengan api?**		
	a. Mencari jalan keluar yang terhindar oleh api	92	72%
	b. Meminta pertolongan	1	1%
	c. Berusaha memadamkan api	18	14%

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

No	Pertanyaan	Jumlah Responden	%
C.7	**Apa yang menjadi pertimbangan Anda saat memilih salah satu pintu keluar di ruang M-2 pada saat melakukan proses evakuasi?**		
	a. Pintu terdekat	127	100%
	b. Pintu terjauh	0	0%
C.8	**Di lorong JTMI, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan tidak terjadi antrian pada jalur 2 dan jalur 3 seperti pada gambar?**		
	a. Tetap mengantri di jalur 1	4	3%
	b. Menuju ke jalur 2	123	97%
	c. Menuju ke jalur 3	0	0%
C.9	**Di lorong JTMI, apa reaksi Anda ketika terjadi antrian pada jalur 1 dan jalur 2, namun tidak terjadi antrian pada jalur 3 seperti pada gambar?**		
	a. Tetap mengantri di jalur 1	1	1%
	b. Mengantri di jalur 2	6	5%
	c. Menuju ke jalur 3	120	94%
D.10.I	**Apabila terjadi bencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk menuju pintu keluar gedung? (dari pintu kiri?)**		
	a. Keluar gedung melalui pintu keluar utama JTMI	45	35%
	b. Keluar gedung melalui pintu keluar samping JTETI	63	50%
	c. Keluar gedung melalui pintu keluar parkiran motor/mobil JTMI	19	15%
10.II	**Apabila terjadi bencana kebakaran di ruang M-2, bagaimana Anda menentukan jalur untuk menuju pintu keluar gedung? (dari pintu kanan)**		
	a. Keluar gedung melalui pintu keluar utama JTMI	0	0%
	b. Keluar gedung melalui pintu keluar samping JTETI	127	100%
	c. Keluar gedung melalui pintu keluar parkiran motor/mobil JTMI	0	0%

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 8. Hasil Perhitungan Waktu Tempuh Mahasiswa

Percobaan	Waktu Tempuh (detik)	Percobaan	Waktu Tempuh (detik)
1	4.7	11	5.5
2	5.2	12	5.5
3	5	13	5.2
4	4.7	14	4.5
5	4	15	5
6	5	16	4.2
7	4.5	17	4.5
8	5	18	5
9	4.7	19	4.5
10	5	20	4
Rata-rata		4.78	

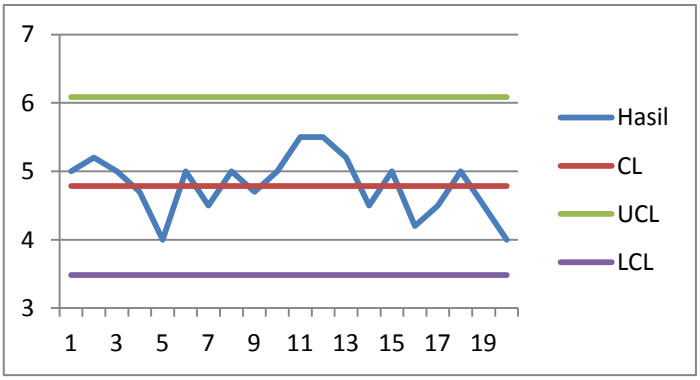
Lampiran 9. Hasil Uji Kenormalan Waktu Tempuh Mahasiswa

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
waktu_tempuh	.190	20	.056	.944	20	.281

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran10. Hasil Uji Keseragaman Waktu Tempuh Mahasiswa



SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 11. Hasil Uji Kecukupan Waktu Tempuh Mahasiswa

Persamaan	Hasil Percobaan
$\sum x_i$	95.700
$(\sum x_i)^2$	9158.490
$\sum x_i^2$	461.490
N'	12.458
N	20.000
Hasil	Cukup

Lampiran 12. Hasil Simulasi dengan Tiga Skenario Posisi Api

Replikasi	Sisi Api Timur	Sisi Api Tengah	Sisi Api Barat
1	55.23	54.1	52.86
2	56	57.3	54
3	51	55	53.1
4	52.3	52.8	53.9
5	52.6	53.6	56.2
6	55.7	52.8	55.2
7	54	52.6	53.3
8	52.6	53.6	52.3
9	53.1	54.1	53.9
10	52.8	51.5	54.4
11	53.1	53.1	52.3
12	53.6	51.5	55.2
13	54.7	50	54.17
14	51.8	53.6	53.9
15	53.1	52	53.3
16	55	54.4	52
17	53.1	53.9	51.2
18	50.4	53.1	54.7
19	52.1	52	50
20	51	54	51
Rata - rata	**53.16**	**53.25**	**53.35**

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

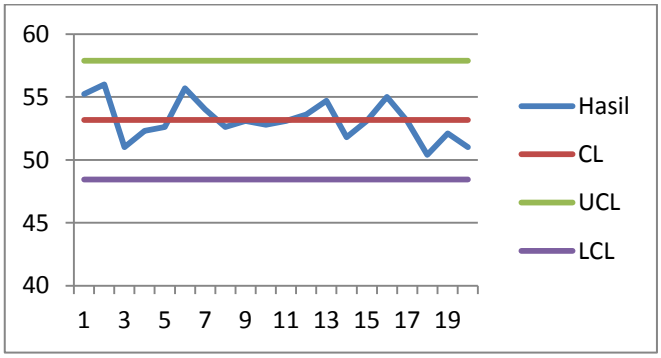
Lampiran 13. Hasil Uji Kenormalan Simulasi Skenario Sisi Api Timur

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasilsimulasi	.166	20	.153	.965	20	.645

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 14. Hasil Uji Keseragaman Simulasi Skenario Sisi Api Timur



Lampiran 15. Hasil Uji Kecukupan Simulasi Skenario Sisi Api Timur

Persamaan	Hasil Simulasi Skenario Posisi Api Timur
$\sum x_i$	1063,230
$(\sum x_i)^2$	1130458,033
$\sum x_i^2$	56569,793
N'	1,327
N	20,000
Hasil	Cukup

Lampiran 16. Hasil Uji Kenormalan Simulasi Skenario Sisi Api Tengah

Tests of Normality

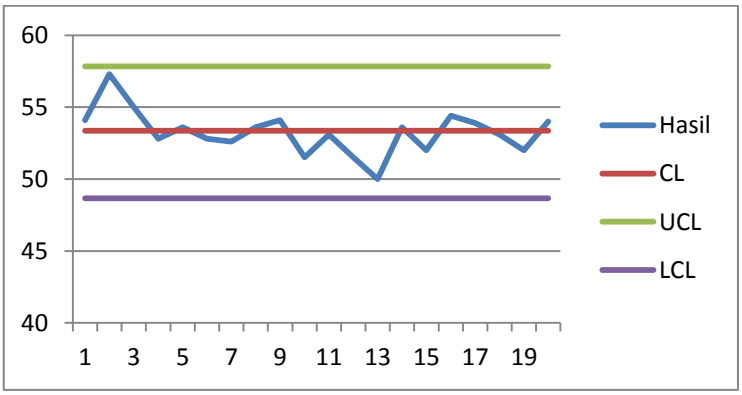
	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
HasilSimulasi	.139	20	.200*	.954	20	.431

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 17. Hasil Uji Keseragaman Simulasi Skenario Sisi Api Tengah



Lampiran 18. Hasil Uji Kecukupan Simulasi Skenario Sisi Api Tengah

Persamaan	Hasil Simulasi Skenario Posisi Api Tengah
$\sum x_i$	1065,000
$(\sum x_i)^2$	1134225,000
$\sum x_i^2$	56755,520
N'	1,249
N	20,000
Hasil	Cukup

Lampiran 19. Hasil Uji Kenormalan Simulasi Skenario Sisi Api Barat

Tests of Normality

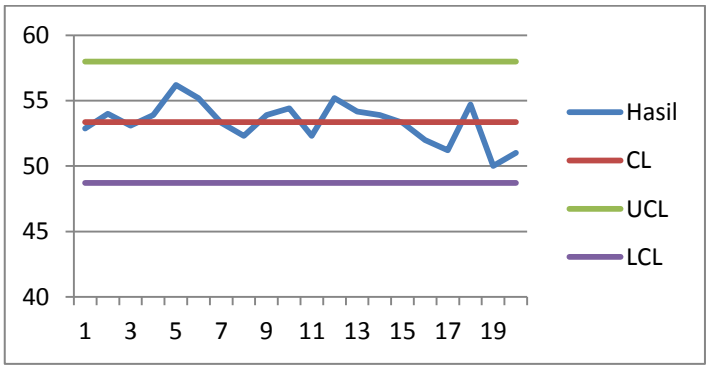
	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
HasilSimulasi	.140	20	.200*	.979	20	.922

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 20. Hasil Uji Keseragaman Simulasi Skenario Sisi Api Timur



Lampiran 21. Hasil Uji Kecukupan Simulasi Skenario Sisi Api Barat

Persamaan	Hasil Simulasi Skenario Posisi Api Barat
$\sum x_i$	1066,930
$(\sum x_i)^2$	1138339,625
$\sum x_i^2$	56962,579
N'	1,282
N	20,000
Hasil	Cukup

Lampiran 22. Hasil Simulasi untuk Validasi

Replikasi	Validasi *Van Bogaert* (detik)	Validasi *Paper and Pencil* (detik)
1	34.716	40
2	32	39.9
3	33	41.8
4	33.664	39.7
5	33	39.2
6	33.664	41.8
7	32	38.9
8	35.505	39.9
9	34.9	41.3
10	34.453	41.8
11	36.2	41.5
12	34.7	38.9
13	32	41
14	33.4	42.3
15	35.7	40.5

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Replikasi	Validasi *Van Bogaert* (detik)	Validasi *Paper and Pencil* (detik)
16	34.7	39.4
17	35.5	40.7
18	33.4	39.4
19	34.7	40.2
20	35	41.3
Rata - rata	**34.1101**	**40.475**

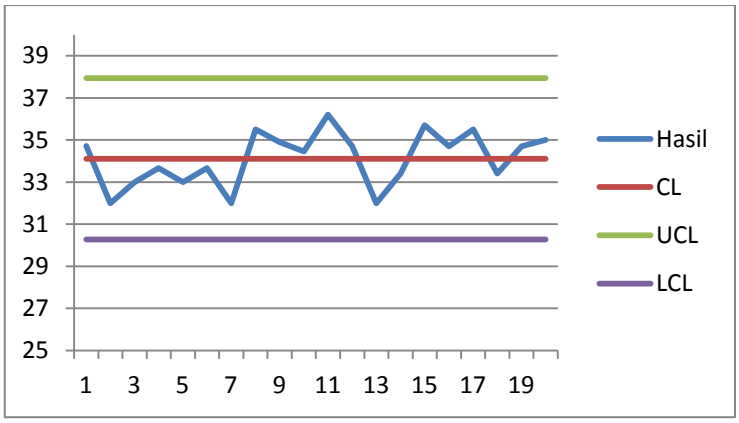
Lampiran 23. Hasil Uji Kenormalan Validasi Satu

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasilsimulasi	.178	20	.097	.938	20	.220

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 24. Hasil Uji Keseragaman Validasi Satu



Lampiran 25. Hasil Uji Kecukupan Validasi Satu

Persamaan	Hasil Simulasi
$\sum x_i$	682,202
$(\sum x_i)^2$	465399,569
$\sum x_i^2$	23300,925
N'	2,128
N	20,000
Hasil	Cukup

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 26. Hasil Uji Kenormalan Validasi Dua

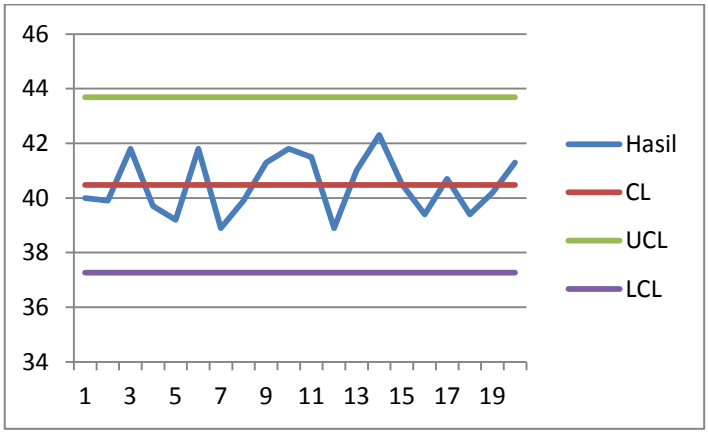
Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VAR00001	.129	20	.200*	.941	20	.252

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

Lampiran 27. Hasil Uji Keseragaman Validasi Dua



Lampiran 28. Hasil Uji Kecukupan Validasi Dua

Persamaan	Hasil Simulasi
$\sum x_i$	809,500
$(\sum x_i)^2$	655290,250
$\sum x_i^2$	32786,310
N'	1,064
N	20,000
Hasil	Cukup

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 29. Hasil Simulasi Skenario Perbaikan Sistem

Replikasi	Skenario Pengarahan Jalur	Skenario Pelebaran Pintu	Skenario Pembuatan *Layout* Baru	Skenario Pemasangan Alarm
1	55.2	44.7	55	49.2
2	54.2	45.2	53.4	50.7
3	54.7	46.8	52.6	48.9
4	53.4	45.5	55.2	51.4
5	52.1	45.8	57	52
6	56.5	48.1	51.5	50.7
7	51.8	47	52	50.7
8	56.8	44.7	55.7	50.5
9	55.7	47	55.7	49.7
10	56	47	53.4	50.5
11	56	46	53.4	52.3
12	56.8	46.8	55.7	49.7
13	57.6	47.9	57	51.8
14	53.6	47	54	52.6
15	57.3	45.5	52	52.3
16	55.5	47.3	52.8	50.7
17	56	47.9	52.6	51.5
18	53.4	45.5	53.4	49.7
19	54.4	46.3	54.4	50.2
20	54.7	45.2	52	49.4
Rata - rata	**55.1**	**46.4**	**53.9**	**50.7**

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 30. *Timeline* Perilaku Kelompok Mahasiswa pada Skenario Pemasangan Alarm

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok**mahasiswa_** ***fast_response***	Perilaku Sebelum Alarm Menyala																															
	Perilaku Setelah Alarm Menyala																															

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok**mahasiswa_** ***investigator_ notifier***	Perilaku Sebelum Alarm Menyala																															
	Perilaku Setelah Alarm Menyala																															

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok**mahasiswa_** ***investigator_ fast_response***	Perilaku Sebelum Alarm Menyala																															
	Perilaku Setelah Alarm Menyala																															

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok**mahasiswa_** ***notifier_ fast_response***	Perilaku Sebelum Alarm Menyala																															
	Perilaku Setelah Alarm Menyala																															

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok**mahasiswa_** ***notifier***	Perilaku Sebelum Alarm Menyala																															
	Perilaku Setelah Alarm Menyala																															

Seconds		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kelompok**mahasiswa_** ***investigator_ follower***	Perilaku Sebelum Alarm Menyala																															
	Perilaku Setelah Alarm Menyala																															

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 31. Keterangan Warna *Timeline* Perilaku Setelah Pemasangan Alarm

No	Warna	Perilaku
1		Proses bangkit untuk menuju keluar gedung
2		Proses bangkit untuk menuju keluar gedung setelah terpengaruh
3		Proses menyadari ada indikasi kebakaran
4		Proses menyadari ada indikasi kebakaran dengan melakukan *pre-movement* evakuasi
5		Proses memberi tahu orang lain
6		Proses mendengar teriakan atau peringatan dari kelompoklain
7		Proses pengambilan keputusan untuk mengikuti kelompoklain

Lampiran 32. Hasil Pengujian *T-test* Skenario Pemasangan Alarm.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
waktu_setelah_pemasangan	.159	20	.200	.953	20	.419

a. Lilliefors Significance Correction

	Setelah pemasangan	Sebelum pemasangan
Mean	50.725	53.25
Variance	1.224078947	2.33
Observations	20	20
Pooled Variance	1.777039474	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	38	
t Stat	-5.98980722	
P(T<=t) one-tail	2.93951E-07	
t Critical one-tail	1.685954461	
P(T<=t) two-tail	5.87902E-07	
t Critical two-tail	2.024394147	

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 33. Hasil Pengujian *T-test* Skenario Pelebaran Pintu.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
hasil_simulasi	.160	20	.191	.939	20	.232

a. Lilliefors Significance Correction

	Setelah Pelebaran	***Sebelum Pelebaran***
Mean	46.36	53.25
Variance	1.134105263	2.33
Observations	20	20
Pooled Variance	1.732052632	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	38	
t Stat	-16.55536193	
P(T<=t) one-tail	2.88203E-19	
t Critical one-tail	1.685954461	
P(T<=t) two-tail	5.76405E-19	
t Critical two-tail	2.024394147	

Lampiran 34. Hasil Simulasi Skenario Kombinasi Perbaikan Sistem

Replikasi	**Skenario Pelebaran Pintu dan Pembuatan *Layout* Baru**	**Skenario Pelebaran Pintu dan Pemasangan Alarm**	**Skenario Pembuatan Layout Baru dan Pemasangan Alarm**	**Skenario Pelebaran Pintu, Pembuatan Layout Baru, dan Pemasangan Alarm**
1	48.1	43.9	49.4	44.2
2	46	43.9	50.8	44
3	48	45.5	51.3	48.1
4	47.6	43.1	51.3	47
5	47.3	45.7	53.6	43.7
6	46.8	45	52.1	43.4
7	49.4	44.7	50.2	45.5
8	48.9	44.2	49.2	46.8
9	47.1	43.9	50.8	45.2
10	48.9	46.3	52.9	45.5

UNIVERSITAS GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

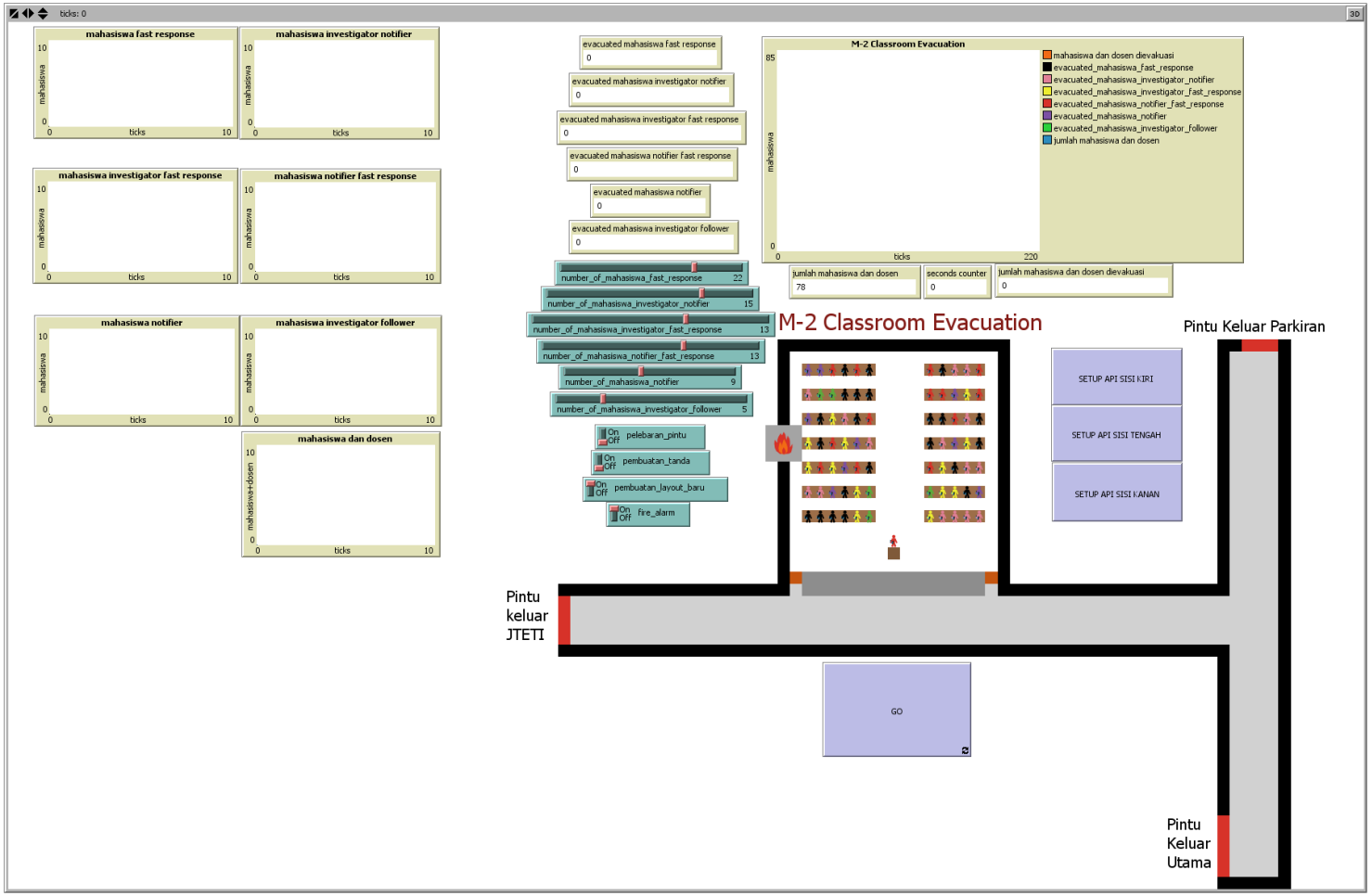
Replikasi	Skenario Pelebaran Pintu dan Pembuatan *Layout* Baru	Skenario Pelebaran Pintu dan Pemasangan Alarm	Skenario Pembuatan Layout Baru dan Pemasangan Alarm	Skenario Pelebaran Pintu, Pembuatan Layout Baru, dan Pemasangan Alarm
11	45.7	45	53.4	45.5
12	47.1	44.4	48.4	45.2
13	48.4	42.6	49.4	46.2
14	47.3	42.9	51.5	45.7
15	47.3	42.8	51.5	46.8
16	48.1	45.8	48.6	46
17	48.4	43.1	49.7	45.5
18	45.2	44.2	48.1	44.4
19	47.6	44.2	50.8	47.6
20	46.5	43.9	52.1	44.7
Rata - rata	**47.5**	**44.3**	**50.8**	**45.6**

Lampiran 35. Hasil Pengujian Statistik Waktu Evakuasi Setiap Kelompok (α=0.05)

Kelompok Mahasiswa	*investigator notifier*	*investigator fast response*	*notifier fast response*	*notifier*	*investigator follower*
fast response	Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)
investigator notifier		Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)
investigator fast response			Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)	Sama (P *value* = 0.195)
notifier fast response				Berbeda (P *value* = 0)	Berbeda (P *value* = 0)
notifier					Berbeda (P *value* = 0)

SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS
RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 36. *Interface* Penelitian dengan NetLogo



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 37. *Pseudocode* Model Evakuasi dengan NetLogo

Pseudocode model evakuasi kebakaran pada ruang M-2 JTMI terdiri dari:

1. *Setup* jumlah mahasiswa setiap kelompok mahasiswa.
2. *Setup* pembuatan api
3. *Setup* pembuatan kelas
4. *Setup* pergerakan mahasiswa

```
to go
 tick
 move_kategori_mahasiswa (1-6)
 move_dosen
 evacuate
 if count turtles = 1 [ stop]
 do-plots
end

to move_kategori_mahasiswa
ask mahasiswa_fast_response [ if bangkit? = 0 [ bangun-1 ] ]
ask mahasiswa_fast_response [ if bangkit? = 1 and belok? = 0 [ belok ] ]
ask mahasiswa_fast_response [ if belok? = 1 [ keluar ] ]
end

to bangun-1
if ticks = 46 [ set heading 180  fd 1 set bangkit? 1 ]   ;;KETERANGAN : Pada detik ke-12, mahasiswa akan menyadari ada indikasi kebakaran dan langsung melakukan evakuasi
end


to belok

 if bangkit? = 1 [

   if pxcor = 24 [ set heading 90 ]
   if pxcor = 23 [ set heading 270 ]
   if pxcor = 22 [ set heading 270 ]
   if pxcor = 21 [ set heading 270 ]

   if pxcor = 18 [ set heading 90 ]
   if pxcor = 17 [ ifelse random 2 = 1 [set heading 90] [set heading 270] ]
   if pxcor = 16 [ set heading 270 ]
   if pxcor = 19 [ set heading 180 ]
   if pxcor = 20 [ set heading 180 ]
   if pxcor = 15 [ set heading 180 ]
   if pxcor = 14 [ set heading 180 ]

   if pxcor = 13 [ set heading 90 ]
   if pxcor = 12 [ set heading 90 ]
   if pxcor = 11 [ set heading 90]

   if (pxcor = 10 ) [ set heading 270]
   ;if (pxcor = 11 and pycor < 4) [ set heading 270]
   ;if (pxcor = 10 and pycor > 3) [ set heading 90]
```

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

```
   ;if (pxcor = 10 and pycor < 4) [ set heading 270]
   if pxcor = 9 [ set heading 180 ]
   if (pycor = -6 and pxcor > 17)  [ set heading 90 ]
   if (pycor = -6 and pxcor < 17)  [ set heading 270 ]
   if (pycor = -7 and pxcor <= 17) [ set heading 270 ]
   if (pycor = -7 and pxcor > 17)  [ set heading 90 ]
   if (pycor = -8 and pxcor <= 17) [ set heading 270 ]
   if (pycor = -8 and pxcor > 17)  [ set heading 90 ]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 11 [set heading 180]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 13 [set heading 180]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 14 [set heading 180]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 20 [set heading 180]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 22 [set heading 180]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 24 [set heading 180]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -4 and pxcor = 14) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -2 and pxcor = 14) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 0 and pxcor = 14) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 2 and pxcor = 14) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -4 and pxcor = 15) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -2 and pxcor = 15) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 0 and pxcor = 15) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 2 and pxcor = 15) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -4 and pxcor = 19) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -2 and pxcor = 19) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 0 and pxcor = 19) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 2 and pxcor = 19) [set heading 90]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -4 and pxcor = 20) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = -2 and pxcor = 20) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 0 and pxcor = 20) [set heading 270]]
   if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pycor = 2 and pxcor = 20) [set heading 270]]
   if (pycor = -9 and pxcor <= 17) [ set heading 270 ]
   if (pycor = -9 and pxcor > 17)  [ set heading 90 ]]
   ;if (pycor = 4 and pxcor > 21)  [ set heading 270 ]
   ;if (pycor = 6 and pxcor > 21)  [ set heading 270 ]
   ;if (pycor = 8 and pxcor > 21)  [ set heading 270 ]
  if not any? turtles-on patch-ahead 1 [ if random 5 < 4  [ jump 1 ] ]
  if ( pxcor = 8 ) or ( pxcor = 27 ) and ( any? turtles-on patch-ahead 1 )
                                          [ set belok? 1
                                           ]
  if  any? neighbors with [ pcolor = black ]  [ set belok? 1  ]

end

to avoid-fire
  if (pxcor < 17) and any? neighbors with [pcolor = 6]
  [set heading 90 fd 1 set belok? 1 ]

  if (pxcor > 17) and any? neighbors with [pcolor = 6]
  [set heading 270 fd 1 set belok? 1]
end

to keluar
  if belok? = 1 [
        set heading 180
```

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SIMULASI PROSES EVAKUASI BENCANA KEBAKARAN DENGAN PENDEKATAN AGENT-BASED MODELING (STUDI KASUS RUANG KELAS JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI)
Aditya Dwiputra, Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM. Ph.D., IPU., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

```
    if any? neighbors with [pcolor = 6] [avoid-fire set belok? 0]
    if (pycor = -12 and pxcor = 25) [ ifelse random 100 < 45 [set heading 90] [set heading 270]]
    if (pycor = -12 and pxcor > 25)
            [set heading 90]
    if (pycor = -12 and pxcor < 25)
            [set heading 270]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 10 [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 8 [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 24 [set heading 180]]
    if (pycor = -13 and pxcor < 25) [set heading 270]
    if (pycor = -13 and pxcor > 25) [set heading 90]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 11 [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 17 [set heading 180]]
    if (pycor = -14 and pxcor < 25) [set heading 270]
    if (pycor = -1 and pxcor > 25) [set heading 90]
    if ( pxcor = 46 and pycor > -12) [set heading 0]
    if ( pxcor = 46 and pycor = -12) [ifelse random 100 < 30 [set heading 0] [set heading 180]]
    if ( pxcor = 46 and pycor < -12) [set heading 180]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if pxcor = 28 [set heading 90]]
    if ( pxcor = 47 and pycor > -12) [set heading 0]
    if ( pxcor = 47 and pycor = -12) [ifelse random 100 < 30 [set heading 0] [set heading 180]]
    if ( pxcor = 47 and pycor < -12) [set heading 180]
    if ( pycor = -30 and pxcor > 27) [set heading 270]
    if ( pycor = -31 and pxcor > 27) [set heading 270]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 24 and pycor = -12) [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 26 and pycor = -12) [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 27 and pycor = -12) [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 28 and pycor = -12) [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 33 and pycor = -12) [set heading 180]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 45 and pycor = -7) [set heading 90]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 45 and pycor = -1) [set heading 90]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 45 and pycor = -17) [set heading 90]]
    if any? turtles-on patch-ahead 1 [ if (pxcor = 45 and pycor = -22) [set heading 90]] ]

  if not any? turtles-on patch-ahead 1
        [ if random 5 < 4 [ jump 1 ] ]

end
to evacuate
ask turtles [ if pcolor = 15 [ die ] ]
end
```