



TESIS - TE142599

**SIMULASI MULTI PERILAKU NPCs PADA
EVAKUASI KEBAKARAN MENGGUNAKAN
EMOTIONAL BEHAVIOR TREE**

WIDA PRAPONCO SUBAGYO
2214205004

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.
Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

SIMULATION MULTI BEHAVIOR NPCs IN FIRE EVACUATION USING EMOTIONAL BEHAVIOR TREE

WIDA PRAPONCO SUBAGYO
2214205004

SUPERVISOR

Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Wida Praponco Subagyo
NRP. 2214205004

Tanggal Ujian : 09 Januari 2017
Periode Wisuda : 115 (Maret 2017)

Disetujui oleh :

1. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT. (Pembimbing I)
NIP. 19700313 199512 1 001

2. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc. (Pembimbing II)
NIP. 19690613 199512 1 001

3. Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT. (Penguji)
NIP. 19760505 200812 1 003

4. Dr. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc. (Penguji)
NIP. 19690613 199702 1 003

an. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Tri Widada, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19611021 198503 1 003



Direktur Program Pasca Sarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**SIMULASI MULTI PERILAKU NPCs PADA EVAKUASI KEBAKARAN MENGGUNAKAN EMOTIONAL BEHAVIOR TREE**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 9 Januari 2017

Wida Praponco Subagyo

NRP. 2214205004

SIMULASI MULTI PERILAKU NPCs PADA EVAKUASI KEBAKARAN MENGGUNAKAN EMOTIONAL BEHAVIOR TREE

Nama : Wida Praponco Subagyo
NRP : 2214205004
Pembimbing I : Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T., M.T.
Pembimbing II : Dr. Surya Sumpeno S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Reaksi seseorang dalam merespon alarm evakuasi kebakaran dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti lingkungan, persepsi, dan emosi. Tujuan utama dari evakuasi adalah sesegera mungkin menuju pintu keluar dengan selamat. Faktor emosi berperan penting dalam mempengaruhi pengambilan keputusan, karena dapat mengubah kerasionalan seseorang, oleh karena itu NPC memerlukan emosi agar perilakunya lebih manusiawi. Multi perilaku memungkinkan NPC berperilaku lebih dinamis berdasarkan emosi yang dialami, untuk itu kecerdasan buatan (AI) dibutuhkan dalam menentukan perilaku yang sesuai. *Behavior Tree* (BT) adalah salah satu dari berbagai macam teknik AI untuk mekanisme seleksi aksi, dan untuk menangani emosi, BT memiliki bentuk lain yang dikenal dengan *Emotional Behavior Tree* (EmoBT). Penelitian ini menggunakan EmoBT sebagai metode untuk pemilihan tindakan pada evakuasi kebakaran. Skenario untuk NPC dalam penelitian ini telah dibuat sebelumnya dan telah memiliki beberapa faktor emosi agar dapat menentukan tindakan yang akan dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan, bahwa pengaruh emosi pada NPC, menghasilkan bobot emosi sebagai acuan dalam bertindak berdasarkan nilai tertinggi dalam probabilitas distribusi dengan asumsi $\alpha = 0.7$ untuk tindakan dengan bobot emosi terendah. Pada pengujian dengan bangunan beragam, menghasilkan persentase intensitas berbeda untuk setiap tindakan, namun persentase intensitas tertinggi dimiliki oleh tindakan yang sama untuk setiap bangunan.

Kata kunci: Evakuasi Kebakaran, NPC, Behavior Tree, Emosi, Pengambilan Keputusan

(Halaman sengaja dikosongkan)

SIMULATION MULTI BEHAVIOR NPCs IN FIRE EVACUATION USING EMOTIONAL BEHAVIOR TREE

By : Wida Praponco Subagyo
Student Identity Number : 2214205004
Supervisor(s) : 1. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T., M.T.
2. Dr. Surya Sumpeno S.T., M.Sc.

ABSTRACT

The reaction of a person when response to fire evacuation alarm is influenced by several factors such as environment, perception, and emotions. While the main purpose of evacuation is to get out as soon as possible to the exit safely. In this research will explain how the occupants in a fire evacuation simulation will behave with the emotions influence. Emotions have the important role to affect decision making, because emotions can change rationality. Therefore the NPC need to have emotion to become human like. Multi behavior allows NPC to behave based on the emotions they incite dynamically. Therefore Artificial Intelligence (AI) is required for determining the appropriate behavior. Behavior Tree (BT) is the kind of AI techniques for selection mechanism of action, and to handle emotions, BT has variant, that known as Emotional Behavior Tree (EmoBT). This research uses EmoBT as a method for the selection of action at fire evacuation. Scenario has already made before, and has the several emotional factors to decide which action to be executed. The test results showed that emotions influenced on the NPC, obtain emotional weight as a reference for act by the highest value in probability distribution with assuming $\alpha = 0.7$ for the action whose has the lowest emotional weight. In testing with variety of buildings, has generated percentage of different intensity for each action in each building, however the highest percentage of intensity is owned by the same action for each building.

Key words: Fire evacuation; NPC, Behavior Tree, Emotion, Decission Making

(Halaman sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT dengan seluruh limpahan rahmat serta ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini. terselesaikannya tesis ini tentu juga mendapatkan dukungan berupa semangat dan doa dari orang-orang yang berada di sekeliling penulis yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada :

1. Kedua orang tua Bapak Subagyo dan Ibu Endang Werdiningsih, kakak Andyanto dan Seluruh anggota ALKEMIS GAMES (Tedo, Wiwing, Aries, Toni, Ricky, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya) yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis secepat mungkin, meskipun jauh dari tepat waktu.
2. Dosen Pembimbing Dr. Surya Sumpeno S.T., M.Sc., dan Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho S.T., M.T., serta Dosen Pengampu Dr. Eko Mulyanto Yuniarno S.T., M.T., yang telah membimbing penulis selama berada di kampus ITS, dan kepada seluruh dosen dan para staf Magister Jurusan Elektro bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia – Teknologi Permainan khususnya.
3. Sahabat-sahabat penulis, Akbar, Ardi, Evan, Heri, Pradana, Thantowy, Karina, dan Sarah yang telah menuntun saya mulai dari pertama kali menerima studi hingga akhirnya dapat menyelesaikannya, dan juga untuk seluruh angkatan 2014 yang telah berjuang bersama hingga menyelesaikan studi di jenjang magister ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan tesis ini dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya dan semoga dengan penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kebaikan bagi banyak pihak demi kemaslahatan bersama, serta bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin.

Surabaya, 9 Januari 2017

Penulis

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1. Evakuasi Kebakaran	7
2.2. Behavior Trees.....	9
2.2.1. Leaf Nodes	10
2.2.2. Inner Nodes	10
2.3. Pengambilan Keputusan Berdasarkan Emosi	13
2.4. Emotional Behavior Trees	16
2.4.1. Perencanaan	16
2.4.2. Resiko	18
2.4.3. Waktu	19
2.4.4. <i>Emotional Selector</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1. Fase Observasi.....	24
3.2. Fase Perancangan Simulasi Evakuasi Kebakaran.....	27
3.2.1. Perancangan Skenario	27
3.2.2. Perancangan Konten	29
3.2.3. Pengaruh Emosi	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Implementasi	37
4.2. Pengujian pengaruh emosi dalam pengambilan keputusan.....	38
4.2.1. Persentase pengambilan keputusan untuk setiap emosi.....	38
4.2.2. Distribusi probabilitas pemilihan tindakan	44

4.3.	Pengujian pengaruh emosi dalam pengambilan keputusan pada lingkungan beragam..	48
4.3.1.	Pengujian pada bangunan berlantai 1.	48
4.3.2.	Pengujian pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.....	53
4.3.3.	Pengujian pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.....	58
4.4.	Analisa hasil pengujian.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		65
5.1.	Kesimpulan.....	65
5.2.	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Alur proses manusia berperilaku [15].	8
Gambar 2.2. Dasar pemodelan refleksi suatu agen [23].	13
Gambar 2.3. Model emosi Loewenstein and Lerner [11].	14
Gambar 3.1. Diagram alur metode penelitian.	23
Gambar 3.2. Skenario evakuasi kebakaran.	28
Gambar 3.3. Karakter NPC.	29
Gambar 3.4. Karakter NPC dengan berbagai animasi (a), (b), dan (c).	30
Gambar 3.5. Ikon emosi pada setiap NPC.	31
Gambar 3.6. Ikon perilaku pada setiap NPC.	32
Gambar 3.7. Bangunan berlantai 1 dengan 1 pintu keluar.	34
Gambar 3.8. Bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.	34
Gambar 3.9. Bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.	35
Gambar 4.1. Proses implementasi simulasi evakuasi kebakaran.	37
Gambar 4.2. Bobot emosi fase menerima informasi.	44
Gambar 4.3. Distribusi probabilitas fase menerima informasi.	45
Gambar 4.4. Bobot emosi fase investigasi.	45
Gambar 4.5. Distribusi probabilitas fase investigasi.	46
Gambar 4.6. Bobot emosi fase evakuasi bila ada halangan.	46
Gambar 4.7. Distribusi probabilitas fase evakuasi bila ada halangan.	47
Gambar 4.8. Bobot emosi fase evakuasi pergerakan NPC.	47
Gambar 4.9. Distribusi probabilitas fase evakuasi pergerakan NPC.	47

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tujuh jenis <i>node</i> umum pada BT.	12
Tabel 3.1. Pengelompokan tindakan dengan resiko, perencanaan, dan jangka waktu masing-masing berdasarkan lelah, sedih, marah, dan takut....	25
Tabel 4.1. Bobot emosi untuk kelelahan pada fase menerima informasi.	39
Tabel 4.2. Bobot emosi untuk sedih pada fase menerima informasi.	39
Tabel 4.3. Bobot emosi untuk marah pada fase menerima informasi.	39
Tabel 4.4. Bobot emosi untuk takut/panik pada fase menerima informasi.	40
Tabel 4.5. Bobot emosi untuk kelelahan pada fase investigasi	40
Tabel 4.6. Bobot emosi untuk sedih pada fase investigasi	41
Tabel 4.7. Bobot emosi untuk marah pada fase investigasi.....	41
Tabel 4.8. Bobot emosi untuk takut pada fase investigasi.....	41
Tabel 4.9. Bobot emosi untuk kelelahan pada fase evakuasi	42
Tabel 4.10. Bobot emosi untuk sedih pada fase evakuasi	43
Tabel 4.11. Bobot emosi untuk marah pada fase evakuasi.....	43
Tabel 4.12. Bobot emosi untuk takut pada fase evakuasi.....	43
Tabel 4.13. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan kelelahan pada bangunan berlantai 1.	49
Tabel 4.14. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi sedih pada bangunan berlantai 1.	50
Tabel 4.15. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi marah pada bangunan berlantai 1.	51
Tabel 4.16. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi Takut/Panik pada bangunan berlantai 1.....	52
Tabel 4.17. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan kelelahan pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.	53
Tabel 4.18. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi sedih pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.	55
Tabel 4.19. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi marah pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.	56
Tabel 4.20. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi Takut pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.	57
Tabel 4.21. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan kelelahan pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.	59
Tabel 4.22. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi sedih pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.	60

Tabel 4.23. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi marah pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.	61
Tabel 4.24. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi Takut pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi permainan saat ini semakin kompleks dan tampak nyata. Perkembangan pesat ini tidak hanya pada grafis yang menakjubkan saja, melainkan juga melibatkan interaksi yang diberikan kepada setiap karakter di dalam game yang semakin natural. Khususnya pada karakter *humanoid* (seperti manusia), yang dapat merasakan lapar, letih, ataupun marah yang lebih baik. Beberapa penelitian telah mempelajari bagaimana manusia berperilaku dan telah menyimulasikannya dalam suatu kondisi tertentu. Seperti yang telah dilakukan oleh W.T.W Tang dan D. Simpson yang menyimulasikan tentang bagaimana manusia berperilaku dalam sebuah evakuasi kebakaran [16]. Umumnya manusia melakukan tindakan berdasarkan pada apa yang pernah ia lakukan sebelumnya atau pengalaman yang ia miliki pada saat kondisi dan atau situasi tersebut terjadi pada dirinya. Kemudian pemilihan tindakan dari beberapa opsi yang dimiliki akan dipilih berdasarkan lingkungan tersebut dan beberapa faktor lainnya. Tindakan – tindakan, tanggapan, atau reaksi individu terhadap rangsangan atau kondisi yang dialami dapat disebut perilaku [19].

Evakuasi merupakan sebuah situasi yang melibatkan sebuah objek dengan tujuan penyelamatan dari sesuatu yang membahayakan, seperti halnya bahaya bencana alam, kebakaran, atau perang untuk menuju ke tempat atau daerah yang aman [19]. Prosedur evakuasi pada gedung kebakaran yang perlu diperhatikan adalah keluar sesegera mungkin dari gedung menuju pintu keluar, namun tidak disarankan untuk melalui elevator atau tangga otomatis, melainkan melalui tangga darurat api atau biasa disebut *emergency exit* ataupun *fire exit*. Evakuasi dilakukan ketika alarm berbunyi, yang bertujuan untuk memperingatkan penghuni agar sesegera mungkin keluar menuju pintu keluar. Faktanya, penghuni memiliki persepsi yang berbeda-beda, meskipun memperoleh informasi yang sama. Dari beberapa informasi yang dapat diperoleh dari proses evakuasi kebakaran tersebut akan dapat menyimulasikan beragam perilaku penghuni agar dapat memprediksikan apa yang

akan terjadi pada setiap penghuni dengan karakteristik tertentu. Untuk menyimulasikan agen pintar (penghuni) atau dapat disebut juga NPC yang dapat berpikir sendiri terhadap kondisi lingkungan yang dialami adalah dengan mengimplementasikan kecerdasan buatan pada setiap NPC.

Kecerdasan buatan (AI) merupakan salah satu bagian penting dalam sebuah pengembangan permainan atau simulasi yang membutuhkan NPC yang memiliki otak sendiri dalam melakukan tindakan, sehingga dapat bertindak secara otomatis berdasarkan faktor-faktor yang diperhitungkan, seperti halnya sebuah lingkungan yang memberikan tantangan dan pengalaman. AI digunakan untuk mengatur proses pemilihan tindakan berdasarkan faktor tersebut agar sesuai dengan prediksi yang diharapkan. Permainan membutuhkan sebuah arsitektur AI yang mendukung beragam perilaku karakter yang rumit [6]. Dalam evakuasi kebakaran sebuah gedung bertingkat ataupun tempat komersil tentu penghuni gedung tersebut tidak hanya satu atau dua orang saja melainkan banyak melibatkan orang di dalamnya. Untuk dapat menyimulasikannya secara baik, arsitektur AI harus dapat menangani seluruh NPC. Proses menyimulasikan NPC dengan jumlah yang banyak ini disebut *Crowd Simulation*. Mengatasi entitas dengan jumlah yang banyak apalagi memiliki otaknya masing-masing, diperlukan AI yang mudah dibaca dan fleksibel dalam proses pengembangannya. Karena dalam penelitian ini bisa saja kondisi, faktor, dan kasus-kasus tertentu dapat berubah, bertambah, ataupun berkurang berdasarkan kondisi yang sebenarnya terjadi, untuk itu teknik AI yang sesuai dan mudah digunakan adalah *Behavior Tree*.

Behavior Tree (BT) memiliki kelebihan yang tidak dimiliki beberapa teknik AI lainnya. Teknik AI ini memberikan kemudahan dalam proses pengembangan dengan mudahnya membaca proses ataupun alur pengambilan keputusan dan teknik ini juga mengatasi penggunaan logika yang digunakan berkali-kali seperti pada teknik AI lainnya (FSM, HFSM). BT menggambarkan setiap tindakan dalam proses pemilihan keputusan seperti pohon perilaku yang saling terhubung, dan hal tersebut mempermudah perancang dalam pengaturan dan perubahan di bagian tertentu [9]. Dengan menggunakan BT maka beragam perilaku NPC dapat ditangani dengan mudah. Ragam perilaku yang dimiliki NPC ini dapat disebut juga multi perilaku. Pada dasarnya multi perilaku ini dibutuhkan untuk permainan yang rumit

khususnya pada NPC *humanoid* yang harus dapat memerankan beragam perilaku dengan baik dan terlihat seperti manusia [22]. Oleh karena itu dalam simulasi ini NPC dapat menampilkan perilaku yang berbeda-beda untuk berhasil dan meyakinkan pada pengguna tentang apa yang sedang dialami oleh NPC berdasarkan apa yang sedang dialami dan emosi yang dimiliki ketika itu. Untuk menangani faktor emosi sebagai salah satu yang diperhitungkan dalam pengambilan keputusan, BT dimodifikasi agar dapat memberikan bobot dalam setiap perilaku sesuai dengan emosi yang dimiliki. BT yang dimodifikasi ini merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Anja dan Piere [14] untuk membantunya dalam menangani emosi dengan menggunakan BT yang kemudian mereka sebut sebagai Emotional Behaviour Trees (EmoBTs).

Pada dunia nyata orang akan bereaksi tentang apa yang mereka rasakan berdasarkan situasi yang terjadi padanya. Mereka bisa senang, takut, sedih, atau hanya menikmati situasi. Dari apa yang mereka rasakan, mereka akan memikirkan beberapa perilaku yang sesuai dengan rangsangan yang diterima pada saat itu. Hal ini dibuktikan oleh Loewenstein pada penelitiannya [10] dengan menunjukkan bagaimana alur seseorang mengambil suatu keputusan berdasarkan beberapa faktor yang salah satunya adalah emosi. Dalam penelitian ini, simulasi evakuasi kebakaran akan memperhitungkan semua tindakan penghuni yang mungkin terjadi saat evakuasi berjalan. Di dalam rancangan penelitian, tindakan yang dilakukan NPC merupakan tindakan yang berdasarkan skenario yang telah di desain sebelumnya. Dalam skenario ini terdapat beberapa tindakan yang dapat dipilih sesuai dengan kondisi dan emosi yang dialami oleh setiap NPC. Dengan menggunakan BT sebagai sistem pengambilan keputusan maka setiap perilaku yang tersedia merupakan skenario yang telah dirancang dan memiliki beberapa pilihan tindakan, dengan begitu NPC dapat berperilaku lebih dinamis.

1.2. Perumusan Masalah

Salah satu parameter yang digunakan dalam simulasi ini adalah emosi, yang faktanya memiliki peranan penting dalam pengambilan keputusan seseorang dalam bertindak [10]. Berdasarkan hal tersebut, munculah permasalahan dimana emosi sebagai pengaruh dalam pengambilan keputusan dapat menentukan tindakan yang

akan dilakukan di dalam kondisi darurat evakuasi bencana seperti bangunan yang terbakar. Untuk itu berikut masalah yang telah dirumuskan menjadi beberapa poin penting.

1. Perilaku NPC dalam simulasi evakuasi kebakaran terlalu kaku dan tidak manusiawi,
2. Setiap NPC pada simulasi evakuasi kebakaran berperilaku yang sama persis satu dengan yang lain,
3. Proses simulasi sistem yang baik adalah simulasi yang mendekati gambaran sistem yang sebenarnya.

1.3. Batasan Masalah

1. NPCs hanya menyimulasikan tindakan berdasarkan parameter yang digunakan yaitu lingkungan dan emosi ketika evakuasi terjadi,
2. Penelitian ini menitik beratkan pada proses pengambilan keputusan menggunakan kecerdasan buatan bukan pada kondisi arsitektur bangunan, namun untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang telah diprediksikan, pengujian dilakukan di beragam tempat yang berbeda,
3. Metode yang digunakan sebagai bahan uji penelitian ini adalah *Emotional Behavior Tree* yang diimplementasikan pada masing-masing NPC.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merancang dan membangun sebuah simulasi evakuasi kebakaran dengan melibatkan kelelahan, emosi sedih, takut, dan marah sebagai parameter yang dapat merubah perilaku seseorang ketika melakukan evakuasi kebakaran dengan menggunakan metode *Emotional Behavior Tree* agar lebih manusiawi.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan menerapkan kecerdasan buatan pada setiap NPC dalam sebuah simulasi sistem, khususnya evakuasi kebakaran, semoga dapat memberikan informasi serta gambaran perilaku seseorang yang lebih manusiawi dengan menunjukkan perbedaan perilaku berdasarkan emosi yang dialami.

Simulasi yang baik adalah simulasi yang dapat menggambarkan suatu proses yang mendekati kondisi sebenarnya, dan penelitian ini juga diharapkan dapat membantu peneliti-peneliti lainnya yang meneliti tentang bagaimana mensimulasikan suatu NPC yang berperilaku pada kondisi dan lingkungan tertentu agar dapat lebih manusiawi.

1.6. Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini pembahasan laporan terbagi menjadi 5 Bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 : Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 : Kajian Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini menjelaskan tentang prosedur evakuasi kebakaran, emosi sebagai salah satu faktor penting dalam pengambilan keputusan, dan penjelasan tentang teknik kecerdasan buatan behavior tree, dan beberapa bagian di dalamnya, serta penambahan emotional sebagai faktor pengambilan keputusan yang kemudian disebut emotional behavior tree.

BAB 3 : Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang alur kerja penelitian, alur sistem pengambilan keputusan, serta berbagai parameter terkait dengan objek penelitian.

BAB 4 : Hasil Penelitian dan Analisa

Bab ini menjelaskan tentang hasil implementasi emosi pada hasil pengambilan keputusan berdasarkan skenario yang telah di desain sebelumnya pada setiap NPCs terhadap rangsangan dari lingkungan dan emosi yang berbeda-beda.

BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian dan analisa.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

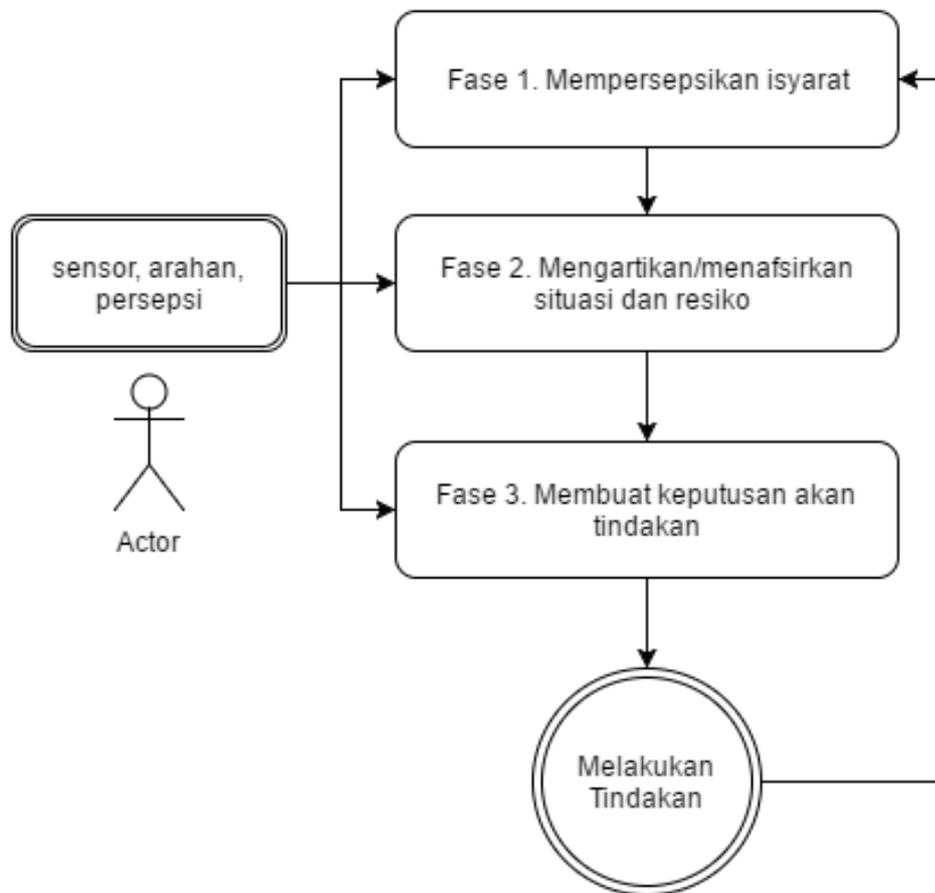
2.1. Evakuasi Kebakaran

Pengungsian atau pemindahan penghuni dari daerah berbahaya menuju daerah yang aman [19] merupakan tindakan penyelamatan dengan tujuan menghindari diri terdampak bencana yang mengancam. Pada kelompok atau organisasi tertentu biasanya telah diperhitungkan dan menjadi sebuah regulasi yang wajib ditaati ketika bencana terjadi. Salah satu bencana yang memiliki regulasi atau langkah evakuasi adalah bencana kebakaran, khususnya kebakaran pada sebuah bangunan. Di dalam sebuah bangunan berpenghuni umumnya dilengkapi oleh alarm yang berfungsi untuk memperingatkan penghuni akan kondisi bangunan terhadap kebakaran. Alarm memiliki 4 tujuan utama yaitu untuk memperingatkan penghuni, sebagai indikator penghuni untuk bertindak sesegera mungkin, mengindikasikan untuk memulai evakuasi, dan memberikan cukup waktu untuk segera keluar menyelamatkan diri.

Berdasarkan regulasi, gedung berpenghuni diwajibkan melakukan evakuasi demi menyelamatkan diri dari kebakaran, menuju tempat perlindungan melalui jalur evakuasi yang telah ditentukan pada bangunan tersebut [20]. Tetapi faktanya adalah penghuni memiliki persepsinya masing-masing berdasarkan perannya di dalam bangunan. Ketika penghuni tersebut berperan sebagai pengunjung maka tindakan yang akan dilakukan adalah menunggu pemberitahuan langsung melalui petugas, sedangkan untuk pegawai atau penghuni asli akan bertindak langsung ketika mendengarkan alarm, apalagi kalau pegawai memiliki kewajiban khusus untuk bertindak secara spesifik dan atau jika pegawai tersebut telah dilatih dalam situasi darurat [12]. Variasi perilaku ini dikarenakan masing-masing peran penghuni memiliki respon berbeda terhadap alarm [21].

Erica D. Kuligowski dalam penelitiannya tentang proses manusia berperilaku dalam bencana kebakaran adalah melalui 3 fase yaitu, fase melihat isyarat, fase mengartikan situasi dan resiko, dan fase menentukan tindakan. Dari ketiga fase tersebut seseorang kemudian melakukan tindakan [15]. Alur seseorang

melakukan tindakan melalui beberapa fase yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Alur proses manusia berperilaku [15].

Seseorang menentukan perilaku yang sesuai pada kondisi dan situasi dia berada, dan proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1. Di dalam bangunan yang terbakar, fase-fase dan faktor-faktor yang mempengaruhi setiap aksi merupakan spesifik untuk setiap penghuni. Pada fase persepsi (fase 1) misalnya, penghuni bangunan dapat merasakan situasi sekitar baik itu fisik maupun sosial, dari segi fisik termasuk adanya api yang menyala, munculnya asap, merasakan hawa yang sangat panas, serta adanya reruntuhan, dan dari segi sosial yaitu menerima informasi yang berasal dari orang lain. Dalam fase ini seseorang atau penghuni dapat menerima kondisi yang lebih kompleks, seperti mengalami hal yang tak

terduga, menerima terlalu banyak informasi, terburu-buru waktu, atau trauma masa lalu yang pernah dialami.

Pada fase mengartikan situasi dan memperhitungkan resiko (fase 2), penghuni mencoba mengartikan situasi dan memperhitungkan resiko berdasarkan isyarat dan atau yang dilihat misalnya, menafsirkan arti alarm yang salah atau serius, dan memperhitungkan resiko terhadap keselamatan dirinya sendiri dan atau orang lain.

Pada fase menentukan keputusan bertindak (fase 3) merupakan fase terakhir sebelum melakukan tindakan dari hasil mengartikan suatu situasi dan kondisi serta resiko yang dapat mempengaruhi keputusan di fase ke tiga ini.

Pada Gambar 2.1 ditunjukkan bahwa agen tersebut dapat langsung melakukan salah satu fase tanpa perlu melalui urutannya dikarenakan faktor-faktor tertentu seperti pengalaman, emosi, ataupun sosial yang mengakibatkan seseorang tidak perlu melakukan fase-fase tersebut secara berurutan.

2.2. Behavior Trees

Terdapat beberapa penelitian yang mendeskripsikan tentang behavior trees berdasarkan subjek yang digunakan dalam penelitian. Champandard telah mendeskripsikan BT secara komprehensif dan lengkap dalam [1], [2], [3], [4]. Damian juga telah mendeskripsikan bagaimana mengimplementasikannya dalam game komersial [7], [8]. Alijandro Marzinotto dan rekan juga memberikan deskripsi secara formal, bahwa BT didefinisikan sebagai graf asiklik berarah yang terdiri dari *node – node* yang berujung. *Node* terluar dari *node – node* yang berhubungan disebut dengan *parent*, dan *node – node* yang dimiliki oleh *node* *parent* disebut *node child*. *Node child* yang tidak lagi memiliki *node child* maka disebut *leaf node*, dan *node* yang tidak memiliki *node* *parent* disebut *root* [5]. Setiap *node* kecuali *root* yang memiliki *node child* sedikitnya satu dapat menjadi *node* *sequence*, *selector*, *paralel*, atau *decorator*. *Node* *leaf* yang tidak memiliki sama sekali *node child* dapat menjadi *node* *action* atau *conditional*. Ketika sebuah *node* dieksekusi, *node* tersebut dapat mengembalikan satu dari tiga keadaan yaitu : *success*, *failure*, dan *running*. Keadaan *success* dan *failure* mengindikasikan sukses

atau gagal nya *node* dieksekusi sedangkan *running* mengindikasikan bahwa *node* tersebut sedang dilakukan.

2.2.1. Leaf Nodes

Node ini memiliki dua kemungkinan tipe *node*, yaitu action atau conditional.

a. Action

Merepresentasikan sebuah tindakan pada NPC. Tipe pengembalian dari *node* ini adalah *success*, atau *failure*, tetapi jika *node* ini belum dinyatakan selesai dieksekusi, dapat juga mengembalikan kondisi *running*.

b. Conditional

Conditional merepresentasikan suatu *node* pengecekan saja bukan tindakan yang dapat dilakukan. *Node* ini memiliki nilai pengembalian *success* atau *failure*, dan tidak akan pernah dapat mengembalikan dalam kondisi *running*.

2.2.2. Inner Nodes

Node ini memiliki 4 kemungkinan tipe, yaitu *sequence*, *selector*, paralel, dan *decorator*.

a. Sequence

Node yang memiliki beberapa *node child* yang dieksekusi secara sekuensial atau berurutan. Selama *node child* yang dimiliki mengembalikan kondisi *success*, *node* ini akan mengembalikan nilai *success*. Tetapi, apabila terdapat *node child* yang mengembalikan dengan kondisi *failure* pada saat proses eksekusi maka proses eksekusi *node child* akan langsung dihentikan atau tidak melanjutkan ke *node child* berikutnya dengan mengembalikan kondisi *failure*, jadi *node child* ini harus mengembalikan kondisi *success* atau *running* agar dapat mengeksekusi *node child* berikutnya di dalam urutan.

b. Selector

Node yang memiliki beberapa *node child* yang dieksekusi secara sekuensial atau berurutan. Jika *node child* pertama mengembalikan kondisi *success* maka *node* ini juga akan langsung menghasilkan kondisi *success* tanpa perlu melanjutkan mengeksekusi *node child* selanjutnya dalam urutan. Namun apabila *node child* pertama mengembalikan kondisi *failure* maka, *child* selanjutnya dalam urutan akan dieksekusi, hingga salah satu *child* mengembalikan kondisi *success* atau tidak ada sama sekali yang mengembalikan kondisi *success*.

c. Parallel

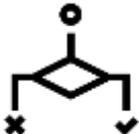
Node yang mengeksekusi semua *child*, tetapi *node* ini memiliki cara berbeda untuk mengeksekusi *node child*-nya yang telah ditentukan sebelumnya, ataupun memberhentikan eksekusi *node child*-nya. Bisa juga menspesifikasikan jumlah *child* yang harus dieksekusi dengan mengembalikan kondisi *success* untuk menjadi *success*, dan menspesifikasikan jumlah *child* yang fail untuk menjadi fail.

d. Decorator

Node yang memiliki peran untuk menyaring dengan mengubah kondisi tertentu pada eksekusi *node child* tunggal tanpa mempengaruhi *node child* itu sendiri. Seperti biasanya decorator dapat juga menjadi succeder atau pengkondisi *success* tidak peduli dengan apapun pengembalian dari *node child* tunggalnya, ataupun inverter yang mengubah pengembalian dari kondisi *success* menjadi *failure* atau sebaliknya.

Sebelum membuat skema BT, perlu diketahui bagaimana cara kerja setiap tipe *node* tersebut, karena setiap *node* memiliki proses yang berbeda-beda khususnya untuk *node* yang merupakan parent dalam mengeksekusi. Pada Tabel 2.1 dapat diketahui bagaimana setiap *node* yang telah disebutkan dapat menentukan keadaan *success*, *failure*, ataupun *running* dengan caranya masing-masing.

Tabel 2.1. Tujuh jenis *node* umum pada BT.

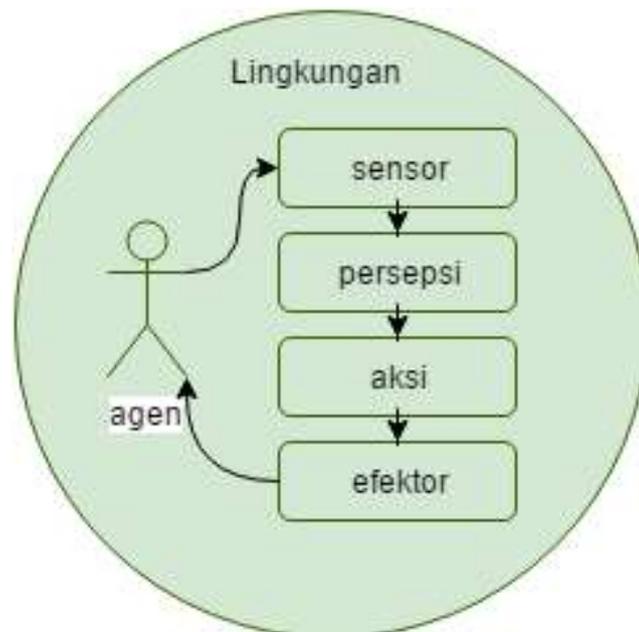
<i>Node Type</i>	Symb.	<i>Success jika</i>	<i>Failure jika</i>	<i>Running jika</i>
Root		tree <i>success</i>	tree <i>failure</i>	tree <i>running</i>
Selector		1 ch <i>success</i>	N ch <i>failure</i>	1 ch <i>running</i>
Sequence		N ch <i>success</i>	1 ch <i>failure</i>	1 ch <i>running</i>
Parallel		$\geq P$ ch <i>success</i>	$\geq P$ ch <i>failure</i>	lainnya
Decorator		Beragam	beragam	beragam
Action <i>n</i>		ch(n) <i>success</i>	ch(n) is <i>failure</i>	ch(n) <i>running</i>
Condition <i>n</i>		ch(n) <i>success</i>	ch(n) is <i>failure</i>	Tidak pernah

Tipe-tipe *node* yang disebutkan merupakan tipe *node* umum yang biasa digunakan pada BT, dan tidak menutup kemungkinan, terdapat tipe-tipe lainnya yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian seperti pada penelitian Anja yang membuat tipe *node* baru yaitu *Emotional Selector* [14]. Mereka menambahkan tipe *node* dengan menggunakan algoritma baru agar dapat sesuai dengan penggunaan emosi sebagai parameter. Pada pembahasan selanjutnya akan dijelaskan bagaimana emosi dapat mempengaruhi pengambilan keputusan.

2.3. Pengambilan Keputusan Berdasarkan Emosi

Setiap manusia memiliki perbedaan dalam proses pengambilan keputusan, tetapi pada dasarnya mereka menggunakan rasional yang dirasakan dari lingkungan melalui sensor-sensor manusia. Proses pengambilan keputusan berdasar pada apa yang dirasakan terhadap lingkungan.

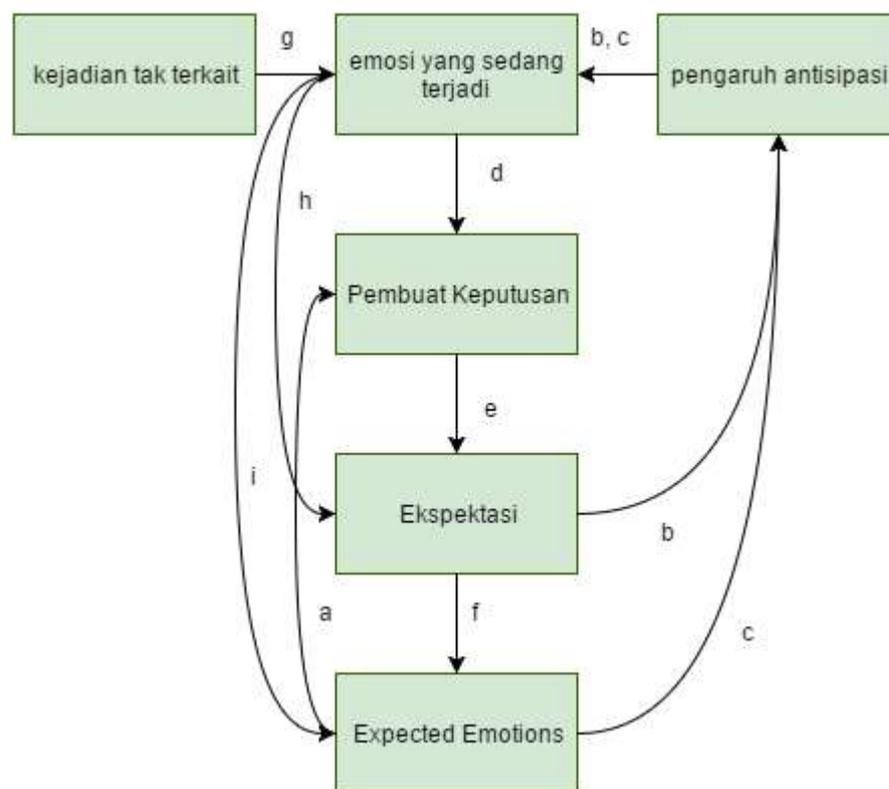
Pada Gambar 2.2 agen memiliki beberapa sensor yang digunakan untuk mempelajari lingkungan atau situasi untuk membuat keputusan dari apa yang mereka rasakan. Seperti contoh mudah adalah, manusia akan minum, ketika mereka haus. Contoh tindakan ini adalah minum air, dan situasi yang terjadi pada mereka adalah merasa haus. Gambar 2.2 menggambarkan bagaimana agen melakukan gerakan refleks atau otomatis terhadap lingkungan atau situasi yang merasa rasakan dan ditangkap secara rasional. Rasionalitas bukan merupakan sesuatu namun hanyalah sebatas status menjadi rasional, bijaksana, dan memiliki rasa menghakimi [23]. Rasional itu merupakan pengetahuan kognitif yang meningkatkan pemilihan tentang apa yang dipercaya dan apa yang harus dilakukan [17]. Faktanya adalah penelitian pada pengetahuan psikologi, neurologi, dan kognitif ini menunjukkan bahwa tidak hanya menggunakan fungsi kognitif mereka saja, tetapi juga menghitung bagaimana emosi yang dimiliki [18].



Gambar 2.2. Dasar pemodelan refleks suatu agen [23].

Emosi telah dipelajari dalam beberapa bidang yang berbeda dan terbukti sebagai faktor penting yang mempengaruhi pengambilan keputusan. Matiko, Josseph W dalam penelitiannya [13] menjelaskan bagaimana menggunakan emosi pada teknik fuzzy logic. Dia menjelaskan bagaimana otak yang memiliki bagian sisi kiri dan kanan ini memiliki tindakan yang berbeda dalam menerima emosi. Untuk sisi kanan otak lebih digunakan ketika memiliki emosi negatif dan sisi lainnya lebih digunakan ketika memiliki emosi positif. Berdasarkan pada hal tersebut, dia membuat sebuah fuzzy rule.

Loewenstein dan rekan, telah membuat sebuah model umum yang menjelaskan tentang bagaimana emosi mempengaruhi pengambilan keputusan [11]. Model tersebut digambarkan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Model emosi Loewenstein and Lerner [11].

Pada Gambar 2.3 tersebut terdapat beberapa huruf atau abjad yang menginformasikan bagaimana beberapa persegi yang saling berhubungan dan

menjadi sebuah proses dari pengambilan keputusan. Semua emosi ini disebut ekspektasi emosi dan direpresentasikan pada model sebagai penghubung 'a'. Proses ekspektasi emosi dari pengalaman manusia menjadi sebuah keputusan direpresentasikan oleh penghubung 'b' dan 'c'. Pada sebuah proses bagaimana manusia bereaksi oleh emosi, terdapat emosi yang tidak berhubungan dengan kejadian saat itu, namun hal tersebut juga dapat mempengaruhi pengambilan keputusan, dan itu direpresentasikan dengan penghubung 'g'. Emosi yang tidak berhubungan pada keputusan sekarang ini, dapat mempengaruhi pengambilan keputusan dengan dua cara, langsung dan tidak langsung. Proses tidak langsung direpresentasikan oleh penghubung 'd', dan langsung direpresentasikan dengan penghubung 'h' dan 'i'. Hasil dari pengambilan keputusan yang telah dibuat adalah ekspektasi tindakan (penghubung 'e') dan emosi yang sedang dimiliki atau emosi lainnya akan di perhitungkan pada proses ini (penghubung 'f').

Emosi mempengaruhi pengambilan keputusan berdasarkan pada informasi yang manusia dapatkan. Pada penelitian [11] terdapat tiga unsur informasi yang ditangkap oleh manusia dalam melakukan tindakan, diantaranya yaitu resiko yang dirasakan, sejauh apa untuk menyusun rencana, dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu tindakan. Ketiga unsur tersebut merupakan variabel yang dapat dipengaruhi oleh emosi yang kemudian menghasilkan tindakan sesuai dengan emosi yang sedang dialami.

a. Persepsi Resiko

Setiap aksi memiliki sebuah resiko yang dapat dipengaruhi oleh emosi dan setiap manusia memiliki perbedaan persepsi, bahkan dalam melakukan tindakan yang sama, jadi persepsi membuat manusia dapat berperilaku berbeda dengan yang lainnya. Senang atau marah akan mengambil lebih banyak resiko daripada takut yang akan lebih pesimis, yang artinya menghindari resiko.

b. Waktu

Setiap tindakan memiliki kalkulasi waktu. Emosi membuat setiap tindakan memiliki persepsi yang berbeda-beda terhadap lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan tindakan. Oleh karena itu waktu memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan. Ketika tindakan pertama memiliki waktu yang lebih lama

daripada tindakan kedua. Takut dan marah akan memilih melakukan tindakan yang memiliki sedikit waktu, sedangkan sedih atau depresi, akan memilih tindakan dengan waktu yang lebih lama.

c. **Perencanaan**

Peran pada pengambilan keputusan, perencanaan berkontribusi pada fungsi yang berbeda dalam memberikan dampak. Perencanaan juga membuat proses lebih sulit dan membutuhkan banyak waktu pada setiap tindakan. Perencanaan memiliki perbedaan dampak dari perbedaan emosi. Manusia yang bersedih, galau, dan frustrasi cenderung untuk memilih perencanaan yang lebih sedikit, sedangkan manusia yang senang dan letih akan cenderung memilih tindakan yang lebih membutuhkan banyak waktu.

2.4. **Emotional Behavior Trees**

Pada bagian ini kita akan mengetahui bagaimana emosi dapat diimplementasikan pada BT. Anja [14] menambahkan definisi dari BT dan menyediakan sebuah tipe *node selector* baru yang disebut *Emotional Selector*. Model BT ini disebut emotional behavior trees (EmoBTs). *Emotional Selector* berfungsi untuk mengurutkan kembali *node child* berdasarkan pada tiga faktor: (1) **perencanaan**, (2) **resiko**, dan (3) **waktu**. Rumus untuk metode ini menggunakan pendekatan psikologi tetapi tidak cukup spesifik untuk mendeskripsikan secara benar. Jadi, perumusan ini hanya bisa divalidasi secara empiris pada skenario kasus uji.

Setiap *node parent* memiliki perilaku yang berbeda-beda berdasarkan fungsinya masing-masing dalam mengeksekusi *node* turunannya, dan hal tersebut berpengaruh pula dalam memperoleh bobot emosinya. Berikut formula bagaimana parent yang berbeda mempengaruhi setiap faktor emosi.

2.4.1. **Perencanaan**

Nilai perencanaan akan diberikan berdasarkan tipe *node* yang sedang dieksekusi dalam EmoBT.

a. Action

Jenis *node* ini didefinisikan oleh desainer (secara baku ditetapkan nilai 1), dan dapat memiliki lebih, jika *node* ini memiliki proses yang kompleks. Tetapi biasanya akan ditetapkan oleh desainer langsung sebagai pengontrol data.

b. Condition

Kondisi memiliki nilai perencanaan yang di tetapkan oleh desainer (secara otomatis ditetapkan nilai 0) karena kondisi hanya memiliki 2 kemungkinan nilai true atau false.

c. Sequence

Sequence *node* didesain untuk mengeksekusi semua *node child* dalam urutannya, jadi nilai perencanaannya di tetapkan menggunakan formula berikut :

$$plan_j = \sum_{i=1}^N plan_i \quad (1)$$

dengan N merupakan jumlah dari *node child* dan $plan_i$ merupakan nilai perencanaan masing-masing *node child* i.

d. Priority Selector

Selector *node* mengeksekusi *node* berdasarkan parameter tertentu yang telah ditentukan, dikarenakan tidak diketahuinya *node child* mana yang menjadi prioritas, jadi rata-rata nilai perencanaan didefinisikan menggunakan formula berikut :

$$plan_j = \frac{\sum_{i=1}^N plan_i}{N} \quad (2)$$

dengan N merupakan jumlah dari *node child* dan $plan_j$ merupakan nilai perencanaan masing-masing *node child* j.

e. Decorator

Nilai perencanaan dari decorator *node* adalah sama dengan nilai perencanaan dari *node child* tunggalnya.

2.4.2. Resiko

Nilai resiko memiliki interval [0, 1]. 0 untuk tidak adanya resiko sedangkan 1 sangat berbahaya. Nilai resiko ditetapkan oleh desainer.

a. Action

Nilai resiko dari *node* ini, didefinisikan oleh desainer (secara baku ditetapkan nilai 0), dan dapat memiliki lebih, jika *node* ini memiliki proses yang kompleks. Tetapi biasanya akan di tetapkan oleh desainer langsung sebagai pengontrol data.

b. Condition

Kondisi memiliki nilai resiko yang di tetapkan oleh desainer (secara otomatis ditetapkan nilai 0) karena kondisi hanya memiliki 2 kemungkinan nilai true atau false.

c. Sequence

Sequence *node* didesain untuk mengeksekusi semua *node child* dalam urutannya, jadi nilai resikonya di definisikan menggunakan formula berikut :

$$risk_j = 1 - \prod_{i=1}^N (i - risk_i) \quad (3)$$

dengan N merupakan jumlah dari *node child* dan riski merupakan nilai resiko masing-masing *node child* i.

d. Priority Selector

Dikarenakan tidak diketahuinya *node child* mana yang menjadi prioritas, jadi rata-rata nilai resiko didefinisikan menggunakan formula berikut :

$$risk_j = \frac{\sum_{i=1}^N risk_i}{N} \quad (4)$$

dengan N merupakan jumlah dari *node child* dan $risk_j$ merupakan nilai resiko masing-masing *node child* j.

e. Decorator

nilai resiko dari *node* ini adalah sama dengan nilai resiko dari *node child* tunggalnya.

2.4.3. Waktu

Selain perencanaan dan resiko, terdapat pengekseskuan waktu pada setiap tindakan berdasarkan pada kondisi emosinya. Interval waktu direpresentasikan sebagai [L, U] dengan (dengan $L \leq U$), L untuk batas bawah dan U sebagai batas atas. Setiap *node leaf* memiliki interval waktu untuk pengekseskuan *node*.

a. Action

Interval waktu pada tipe *node* ini ditetapkan oleh desainer (secara baku akan bernilai [0, 0]);

b. Condition

Interval waktu pada tipe *node* ini [0, 0], karena *node* ini merupakan *node* dengan pengekseskuan instan.

c. Sequence

Interval waktu untuk *node* ini adalah menjumlahkan batas bawah dan atas dari semua *node child*.

$$[L_j, U_j] = [\sum_{i=1}^N L_i, \sum_{i=1}^N U_i] \quad (5)$$

dengan N merupakan jumlah dari *node child*.

d. Priority Selector

Dikarenakan *node* ini hanya mengeksekusi satu dari semua *node child*nya dan tidak tahu *child* mana yang merupakan prioritas, jadi rata-rata nilai resiko didefinisikan menggunakan formula berikut :

$$[L_j, U_j] = [\min\{L_i, \dots, L_N\}, \max\{U_i, \dots, U_N\}] \quad (6)$$

dengan N merupakan jumlah dari *node child* j.

e. Decorator

Interval waktu dari *node* ini adalah sama dengan nilai resiko dari *node child* tunggalnya.

2.4.4. Emotional Selector

Emotional Selector merupakan sebuah *node* pada EmoBTs yang berfungsi untuk menghitung resiko, perencanaan, dan waktu eksekusi dari setiap *node child*-nya. Hasil dari perhitungan ini dikombinasikan dengan emosi karakter untuk menentukan probabilitas dari setiap *child*-nya . Setiap *child* telah di urutkan berdasarkan probabilitas dari yang tertinggi ke terendah untuk mengetahui *child* mana yang akan dieksekusi terlebih dahulu. Emosi mempengaruhi suatu proses yang dapat menghitung seberapa besar dampaknya. Jadi mereka [14] menggunakan bobot emosi dari tiga faktor yaitu resiko, waktu tempuh, dan perencanaan.

Terdapat dua tipe emosi yang dirasakan oleh manusia, yaitu emosi positif, dan emosi negatif. Emosi positif dan negatif akan saling berlawanan satu sama lain untuk saling mengoptimasi, yang artinya bobot emosi untuk setiap faktor akan didefinisikan sebagai berikut:

Bobot emosi untuk resiko :

$$E_{risk} = \frac{\sum_{i=1}^M r_i^+}{M} - \frac{\sum_{j=1}^N r_j^-}{N} \quad (7)$$

Bobot emosi untuk waktu :

$$E_{time} = \frac{\sum_{i=1}^O t_i^+}{O} - \frac{\sum_{j=1}^P t_j^-}{P} \quad (8)$$

Bobot emosi untuk perencanaan :

$$E_{plan} = \frac{\sum_{i=1}^Q p_i^+}{Q} - \frac{\sum_{j=1}^R p_j^-}{R} \quad (9)$$

dari formula diatas, kita dapat menghitung setiap *node child* pada *Emotional Selector* untuk memperoleh total bobot resiko, waktu, dan perencanaan. Untuk resiko dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$W_{risk,i} = (1 - E_{risk} \cdot \delta) \cdot risk_i \quad (10)$$

$risk_i$ merupakan nilai untuk *node child* ke i , $W_{risk,i}$. Bobot nilai dari resiko berada pada interval 0 hingga 1 karena bobot ini merepresentasikan suatu probabilitas.

Kita juga dapat menghitung bobot untuk waktu yang didefinisikan sebagai berikut :

$$W_{time,i} = \left(1 - \frac{1}{1 + \mu \cdot time}\right) \cdot \max((1 - \lambda + \lambda \cdot E_{time}), 0) \quad (11)$$

Bagian pertama dari formula merepresentasikan fungsi diskontinu waktu hiperbolik. μ merupakan variabel yang digunakan untuk menyesuaikan waktu simulasi, dan *time* merupakan efek waktu tunda, dan itu dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$time = L_i + \frac{U_i - L_i}{2} (1 - \sigma \cdot E_{opt}) \quad (12)$$

dengan E_{opt} adalah dampak optimisme emosi:

$$E_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^S o_i^+}{S} - \frac{\sum_{j=1}^T o_j^-}{T} \quad (13)$$

Bobot untuk perencanaan dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$W_{plan,i} = \left(1 - \frac{1}{1 + \omega \cdot plan_i}\right) \cdot \max\left((1 - \phi + \phi \cdot E_{plan}), 0\right) \quad (14)$$

dengan ω adalah nilai yang digunakan untuk menyesuaikan jumlah perencanaan dari simulasi. Terdapat beberapa variabel δ , λ , σ , dan ϕ . Variabel-variabel tersebut mendefinisikan seberapa besar emosi dapat mempengaruhi beban. Nilai variabel-variabel tersebut dapat ditentukan dalam interval antara 0 sampai 1, yang artinya, jika lebih tinggi maka lebih mempengaruhi pada *node child* ke i , dan bobot dari beberapa faktor yang telah disebutkan sebelumnya dapat dihitung kembali dengan menggunakan formula di bawah ini untuk mendapatkan bobot totalnya.

$$W_i = \alpha \cdot W_{risk,i} + \beta \cdot W_{time,i} + \gamma \cdot W_{plan,i} \quad (15)$$

Konstan variabel α , β , dan γ merupakan variabel yang digunakan untuk mengetahui seberapa pentingnya setiap faktor emosi tersebut. Setelah semua *node child* diurutkan berdasarkan nilai bobotnya masing-masing mulai dari terkecil ke yang paling besar, bobot emosi tersebut dikonversi menjadi probabilitas menggunakan formula sebagai berikut:

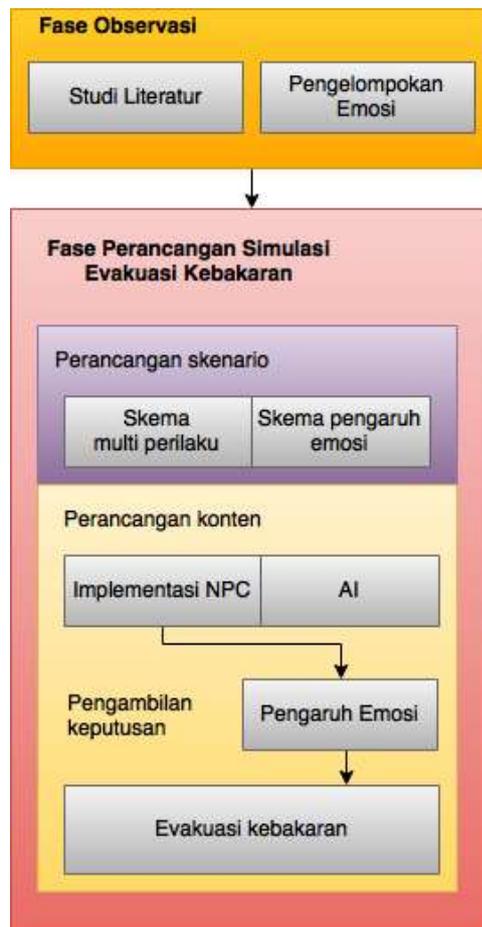
$$prob_i = a(1 - a)^{i-1} \text{ with } 0.5 \leq a \leq 1 \quad (16)$$

α dipilih berdasarkan satu distribusi yang diinginkan. Asumsikan $\alpha = 0,5$. Ini akan membuat *node child* pertama memiliki probabilitas 50%. *Node child* kedua 25%, and seterusnya. Setelah setiap *node* memiliki probabilitasnya masing-masing, itu akan memperjelas *node child* mana yang akan dieksekusi pertama kali.

BAB III

METODE PENELITIAN

Penulis membagi metode penelitian dengan dua fase, di antaranya yaitu observasi dan perancangan. Metode penelitian diilustrasikan dalam diagrams alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alur metode penelitian.

Pada Gambar 3.1 dapat diketahui fase observasi terdapat dua kegiatan yang dilakukan yaitu mempelajari beberapa literatur tentang pengaruh emosi terhadap pengambilan keputusan pada manusia setelah itu mengelompokkan emosi tersebut berdasarkan perilaku yang dipilih. Selain fase observasi terdapat fase perancangan. Pada fase ini akan dilakukan konsep pembuatan simulasi evakuasi kebakaran dengan

merancang skenario dan merancang konten yang diperlukan untuk mensimulasikan evakuasi dengan mengimplementasikan AI pada setiap NPC serta menyesuaikan skenario dengan pengelompokan emosi. Setiap pengambilan keputusan, NPC akan dipengaruhi oleh emosi yang sedang dialami.

3.1. Fase Observasi

Pada fase ini, kegiatan yang dilakukan adalah mengumpulkan informasi tentang bagaimana perilaku manusia pada evakuasi kebakaran. Hal ini telah diteliti oleh Erica dalam penelitiannya [15], terdapat tiga fase yang dialami oleh penghuni adalah fase melihat (sensor pancaindra), fase mengartikan situasi dan memperhitungkan resiko, dan fase menentukan tindakan.

Berdasarkan proses bagaimana seseorang bereaksi terhadap kejadian yang dialami dengan melalui beberapa fase tersebut dapat diketahui bagaimana menyusun perilaku dan tindakan-tindakan yang akan digunakan dalam *behaviour tree*. Tindakan-tindakan atau aksi yang akan digunakan adalah aksi yang mungkin dilakukan ketika evakuasi kebakaran.

Perilaku penghuni saat melakukan evakuasi kebakaran yang berdasarkan pada bagaimana proses seseorang berperilaku dipengaruhi oleh faktor-faktor yang tidak hanya dari lingkungan (luar) tetapi juga faktor dari diri (dalam). Emosional merupakan faktor yang berasal dari dalam diri seseorang dan hal ini akan mempengaruhi keputusannya. Dengan memperhitungkan faktor emosi yang dimiliki, maka perilaku yang akan dilakukan masing-masing orang akan dapat berbeda, dan lebih spesifik. Untuk memetakan tindakan apa saja yang mungkin dilakukan oleh penghuni dengan berbagai emosi yang dialami maka tindakan-tindakan umum yang ada ketika evakuasi berlangsung mulai dari awal hingga akhir. Karena emosi merupakan faktor yang dapat juga mempengaruhi keputusan maka untuk dapat mengetahui bobot emosi setiap penghuni maka setiap tindakan yang mungkin dilakukan saat evakuasi kebakaran memiliki tiga faktor yang digunakan sebagai ukuran yaitu resiko, perencanaan, dan waktu eksekusi. Berikut

pengelompokan tindakan-tindakan beserta resiko, perencanaan, dan waktu eksekusi masing-masing.

Tabel 3.1. Pengelompokan tindakan dengan resiko, perencanaan, dan jangka waktu masing-masing berdasarkan lelah, sedih, marah, dan takut.

Tindakan Berdasarkan Emosi	Resiko	Perencanaan	Jangka Waktu	optimasi
Diam (Idle) Lelah	0	1	[0, 0]	1
Mendengarkan suara peringatan Lelah	0.1	1	[4.5, 5.5]	1
Mengacuhkan Lelah	0.2	1	[5.5, 6.5]	1
Bertanya dengan orang terdekat Lelah	0.8	1	[7, 12]	1
Menunggu arahan Lelah	0.2	1	[1.5, 2]	1
Berpatroli Lelah	0.8	1	[25, 30]	1
Berjalan Lelah	0.5	1	[8, 10]	1
Berlari/Tergesa-gesa Lelah	0.7	1	[12, 15]	1
Menunggu Antrian Lelah	0.2	1	[1.5, 2]	1
Bersembunyi Lelah	0.9	1	[3.5, 5.5]	1
Mencari Tahu Lelah	0.8	1	[10, 10]	1
Mulai Evakuasi Lelah	0.9	1	[10, 10]	1
Menggunakan jalur lain Lelah	0.9	1	[30, 50]	1
Diam (Idle) Sedih	0	1	[0, 0]	1
Mendengarkan suara peringatan Sedih	0.3	1	[5.5, 5.5]	1
Mengacuhkan Sedih	0.1	1	[1.5, 2]	1
Bertanya dengan orang terdekat Sedih	0.7	1	[2, 3.5]	1
Menunggu arahan Sedih	0.1	1	[4, 4]	1
Berpatroli Sedih	0.7	1	[20, 30]	1
Berjalan Sedih	0.4	1	[3, 4]	1
Berlari/Tergesa-gesa Sedih	0.5	1	[5, 8]	1
Menunggu Antrian Sedih	0.2	1	[2, 2]	1

Bersembunyi Sedih	0.9	1	[4, 5.5]	1
Mencari Tahu Sedih	0.7	1	[10, 10]	1
Mulai Evakuasi Sedih	0.8	1	[10, 10]	1
Menggunakan jalur lain Sedih	0.8	1	[30, 50]	1
Diam (Idle) Marah	0	1	[0, 0]	1
Mendengarkan suara peringatan Marah	0.6	1	[5.5, 6.5]	1
Mengacuhkan Marah	0.7	1	[6.5, 5.5]	1
Bertanya dengan orang terdekat Marah	0.8	1	[7, 12]	1
Menunggu arahan Marah	0.8	1	[15, 15]	1
Berpatroli Marah	0.2	1	[3, 3.5]	1
Berjalan Marah	0.3	1	[5, 5]	1
Berlari/Tergesa-gesa Marah	0.4	1	[5.5, 5.5]	1
Menunggu Antrian Marah	0.8	1	[10, 15]	1
Bersembunyi Marah	0.7	1	[10, 10]	1
Mencari Tahu Marah	0.2	1	[2, 5]	1
Mulai Evakuasi Marah	0.5	1	[3, 5]	1
Menggunakan jalur lain Marah	0.2	1	[5.5, 5.5]	1
Diam (Idle) Takut	0	1	[0, 0]	1
Mendengarkan suara peringatan Takut	0.7	1	[5.5, 6.5]	1
Mengacuhkan Takut	0.8	1	[6.5, 7.5]	1
Bertanya dengan orang terdekat Takut	0.9	1	[7, 12]	1
Menunggu arahan Takut	0.9	1	[15, 15]	1
Berpatroli Takut	0.2	1	[25, 30]	1
Berjalan Takut	0.3	1	[3, 4]	1
Berlari/Tergesa-gesa Takut	0.2	1	[1, 3]	1
Menunggu Antrian Takut	0.9	1	[5, 10]	1
Bersembunyi Takut	0.8	1	[10, 10]	1

Mencari Tahu Takut	0.2	1	[2, 5]	1
Mulai Evakuasi Takut	0.1	1	[2, 5]	1
Menggunakan jalur lain Takut	0.4	1	[4.5, 8]	1

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi manusia selain secara rasional, faktor lain seperti emosional juga menjadi pertimbangan dalam menentukan keputusan. Berdasarkan hal tersebut nyatanya emosional memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan karena dapat merubah seseorang seketika.

Berdasarkan pada Tabel 3.1 yang menunjukkan setiap tindakan dengan emosi yang berbeda memiliki nilai yang berbeda pula, dan tentu akan mempengaruhi pengambilan keputusan yang berbeda untuk setiap tindakan. Emosional merupakan faktor pengaruh yang memiliki ukuran dan dapat dihitung berdasarkan 3 faktor utama yaitu resiko, perencanaan, dan jangka waktu.

Setiap emosi masing masing memiliki kecenderungan pada setiap faktor tertentu, seperti emosi takut atau panik yang akan menghindari tindakan dengan resiko yang lebih tinggi. Untuk mengetahui beberapa emosi yang dapat mempengaruhi perilaku seseorang, faktor-faktor yang mendasari emosi seperti resiko, perencanaan, dan jangka waktu dapat mewakili setiap tindakan dalam menentukan bobot emosi yang memiliki andil penting dalam menentukan keputusan.

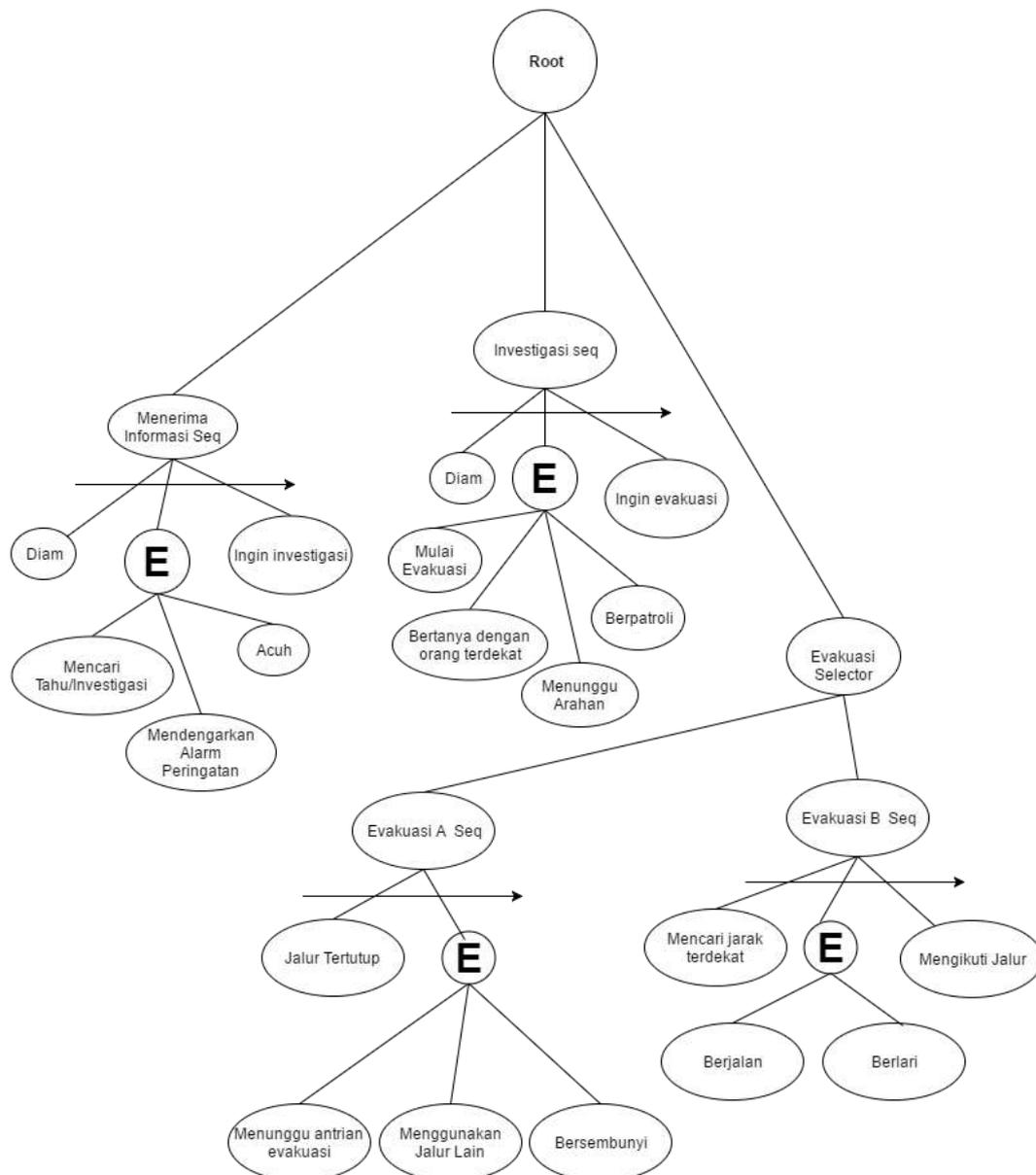
3.2. Fase Perancangan Simulasi Evakuasi Kebakaran

Perancangan simulasi evakuasi kebakaran diawali dengan **perancangan skenario, perancangan konten, dan pengaruh emosi.**

3.2.1. Perancangan Skenario

Perancangan simulasi dilakukan dengan menentukan dan menyusun alur tindakan yang telah dikelompokkan menjadi alur yang berbentuk pohon dengan menyesuaikan dengan proses kerja BT, sehingga dapat diimplementasikan pada logika bisnis simulasi. Setiap tindakan dikelompokkan menjadi beberapa *node* atau menjadi turunan *node*.

Pada fase ini, skenario simulasi evakuasi kebakaran ditentukan berdasarkan pengelompokan dan penyesuaian alur atau dapat disebut juga sebagai skema simulasi. Oleh sebab itu setiap tindakan harus disusun menjadi sebuah skema simulasi yang akan dimainkan oleh setiap NPC untuk melakukan evakuasi kebakaran.



Gambar 3.2. Skenario evakuasi kebakaran.

Proses pemilihan tindakan dalam skenarion akan dipengaruhi oleh bobot emosi berdasarkan faktor resiko, perencanaan, dan waktu eksekusi pada setiap tindakan yang telah ditentukan seperti pada Tabel 3.1. Seperti hal yang telah dijelaskan, tindakan-tindakan disusun berdasarkan skenario evakuasi kebakaran seperti pada Gambar 3.2 dengan mengikuti alur kerja BT dengan merubah setiap tindakan menjadi sebuah *node-node* tertentu.

Skenario BT yang telah disusun seperti pada Gambar 3.2 akan digunakan untuk menentukan tindakan-tindakan setiap NPC berdasarkan emosi yang dimiliki. Skenario ini akan digunakan pada setiap lokasi yang akan diuji untuk menentukan emosi dengan hipotesa bahwa dengan menambahkan melibatkan emosi pada evakuasi kebakaran akan memberikan ragam tindakan yang tak terduga. Emosi yang digunakan sebagai parameter pemilihan tindakan ini memiliki peranan penting dalam pemilihan tindakan, karena NPC yang memiliki emosi sedih tentu akan berperilaku berbeda dengan NPC yang sedang takut.

3.2.2. Perancangan Konten

Rancang bangun simulasi evakuasi kebakaran menggunakan EmoBT ini memerlukan beberapa aspek didalamnya yaitu **Karakter NPC** dan **Bangunan**. Untuk memberikan informasi yang lebih nyata dan meyakinkan, simulasi ini menggunakan teknologi 3 dimensi untuk setiap kontennya.

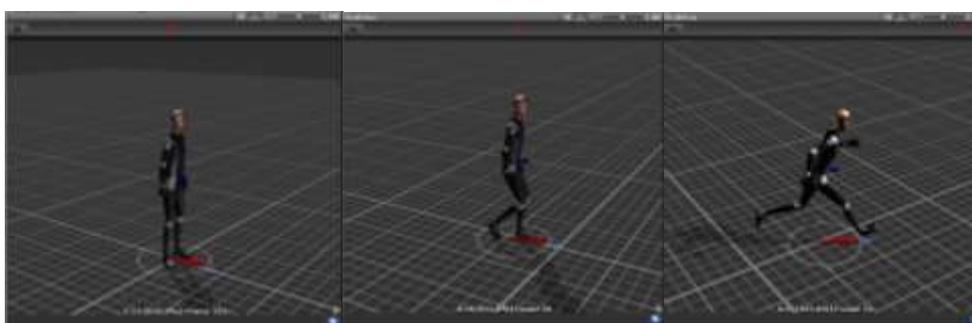
a. Karakter NPC



Gambar 3.3. Karakter NPC.

Adapun salah satu aspek uji yang utama pada simulasi evakuasi kebakaran yaitu karakter NPC. Berikut karakter yang digunakan pada simulasi evakuasi kebakaran ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.

Setiap NPC akan memiliki skenario yang sama untuk setiap lokasi evakuasi kebakaran yang berbeda-beda. Skenario yang sama akan memiliki alur pemilihan tindakan yang berbeda dengan mengimplementasikan emosi yang berbeda-beda untuk setiap NPC. Adapun beberapa animasi NPC yang akan digunakan dalam tindakan pada skenario yang digambarkan pada Gambar 3.4 dari a hingga c.



(a). Diam (Idle)

(b). Jalan

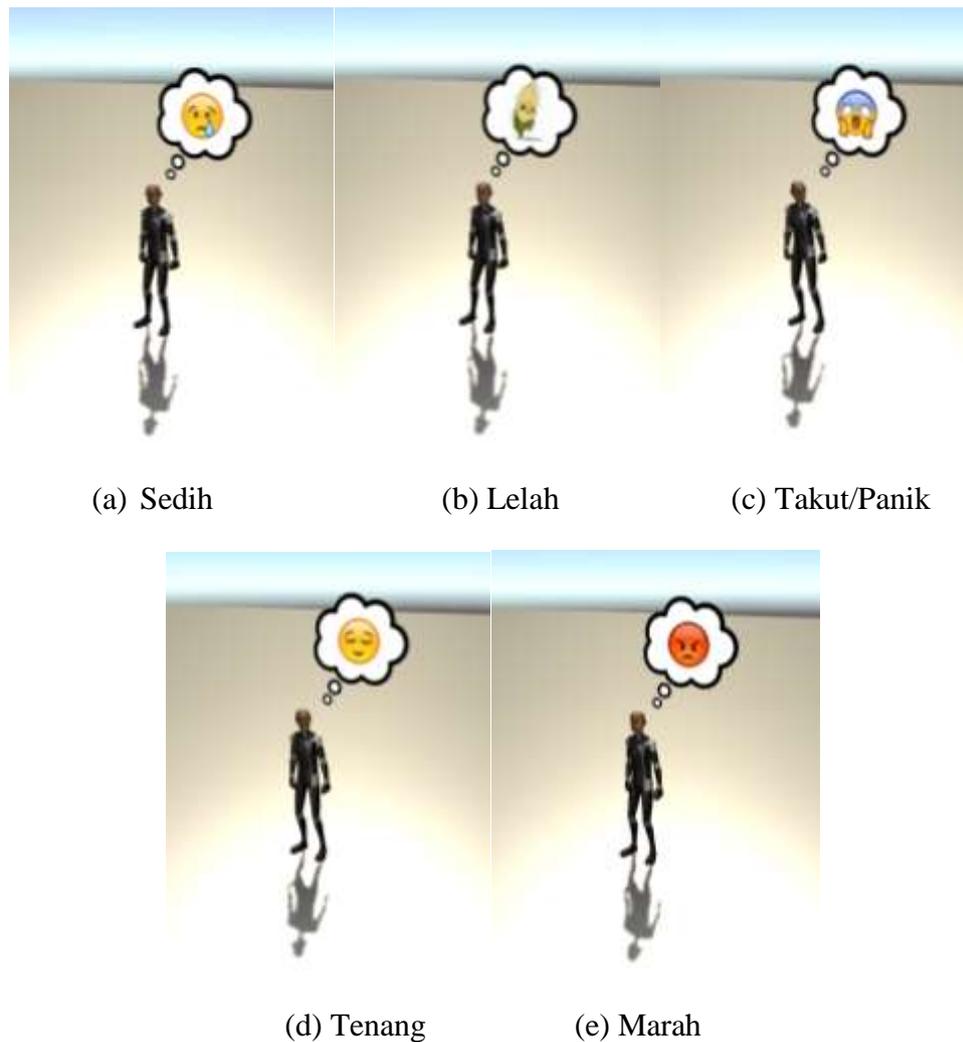
(c). Lari

Gambar 3.4. Karakter NPC dengan berbagai animasi (a), (b), dan (c).

Bagian Gambar 3.4 merupakan gambar pada satuan frame per detik dari sebuah animasi, gambar-gambar tersebut Gambar (a) merupakan animasi diam (idle) yang menggambarkan NPC sedang berdiam diri. Gambar (b) merupakan animasi jalan yang menggambarkan NPC sedang menuju suatu tempat dengan kecepatan yang rendah, dan Gambar (c) merupakan animasi lari yang menggambarkan NPC sedang menuju suatu tempat dengan terburu-buru.

Selain animasi dari sebuah karakter NPC, dalam simulasi kebakaran ini diberikan juga informasi emosi yang ada pada NPC berupa ikon emosi dan beberapa ikon perilaku agar dapat memperjelas perilaku NPC dalam simulasi ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

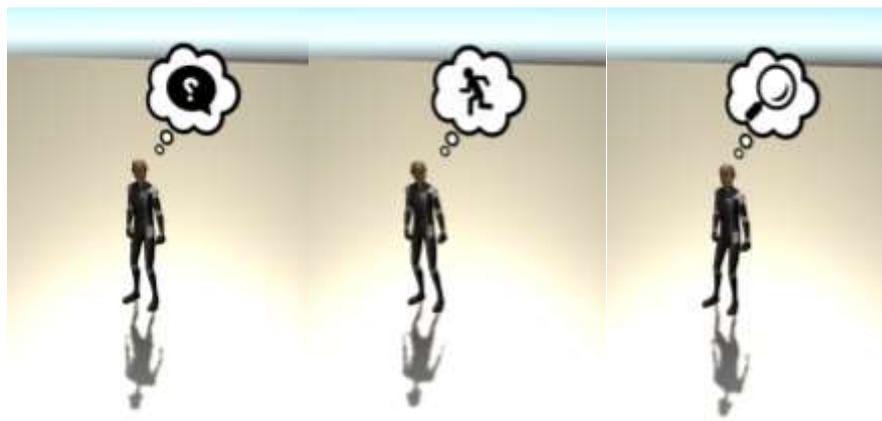
Pada Gambar 3.5 secara berurutan (a) merupakan ikon emosi sedih, (b) kelelahan, (c) emosi takut/panik, (d) emosi tenang, dan (e) emosi marah. Untuk setiap ikon emosi ini menunjukkan emosi yang sedang terjadi pada setiap NPC ketika simulasi berjalan.



Gambar 3.5. Ikon emosi pada setiap NPC.

Selain gambar ikon emosi, untuk menunjukkan setiap perilaku yang tidak terdapat animasi yang sesuai, ikon perilaku ini juga ditampilkan dengan memberikan info berupa gambar ikon tindakan yang sedang dilakukan NPC. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.

Pada Gambar 3.6 menunjukkan ikon yang menginformasikan perilaku yang sedang dilakukan setiap NPC pada fase rangkaian skenario simulasi. Secara berurutan menunjukkan perilaku (a) Bertanya pada orang sekitar, (b) Siap melakukan evakuasi, (c) Siap melakukan investigasi, (d) Bersembunyi, (e) Mendengarkan alarm, (f) Mengabaikan Alarm, (g) Menunggu instruksi, dan (h) Menunggu antrian evakuasi.



(a) Bertanya

(b) Evakuasi

(c) Investigasi



(d) Bersembunyi

(e) Mendengarkan

(f) Mengabaikan



(g) Menunggu instruksi (h) Dalam antrian

Gambar 3.6. Ikon perilaku pada setiap NPC.

b. Bangunan

Selain NPC, konten lain di dalam penelitian ini juga memerlukan beberapa bangunan sebagai objek evakuasi yang memiliki jalur-jalur evakuasi yang berbeda pada masing-masing bangunan. Perbedaan arsitektur pada setiap bangunan pada dasarnya tidak terlalu diperhitungkan, namun untuk menguji kesesuaian dan pengaruh emosi pada pengambilan keputusan maka NPC perlu memiliki pengalaman pada lingkungan yang berbeda-beda.

Pada penelitian ini terdapat 3 bangunan sebagai bahan uji bagaimana NPC melakukan evakuasi disetiap tempat dengan skema perilaku yang sama. Masing – masing bangunan memiliki jalur evakuasi yang berbeda dan tingkat serta letak titik kepadatan yang berbeda atau biasa disebut *bottle neck*. Titik kepadatan ini akan sangat mempengaruhi setiap NPC untuk dapat mencari jalur evakuasi yang berbeda berdasarkan emosi yang dimilikinya, namun hal ini tidak lepas dari skema atau skenario perilaku pada Gambar 3.2. Berdasarkan pohon perilaku atau dalam tekniknya disebut juga BT yang telah dirancang seperti pada Gambar 3.2. Sebagai contoh dalam pemilihan perilaku yang dipengaruhi oleh emosi, NPC akan melakukan improvisasi pemilihan jalur evakuasi ketika sesaat NPC merasakan emosi yang dimilikinya dalam kondisi ketika lama mengantre, NPC akan meninggalkan tempat tersebut untuk mencari jalur evakuasi lain yang tersedia. Runtutan perilaku tersebut merupakan salah satu contoh yang mungkin terjadi bilaman NPC memiliki emosi tertentu dengan perhitungan tingkat bobot emosi yang sesuai dengan tindakan yang akan dilakukan tersebut.

Berikut 3 bangunan yang akan menjadi bahan uji pemilihan perilaku berdasarkan emosi sesaat melakukan evakuasi kebakaran. Gambar 3.5 merupakan gambar bangunan dengan memiliki beberapa ruangan namun hanya memiliki satu lantai saja, dan titik kepadatan akan berada pada akses pintu keluar dengan hanya memiliki satu-satunya jalur evakuasi

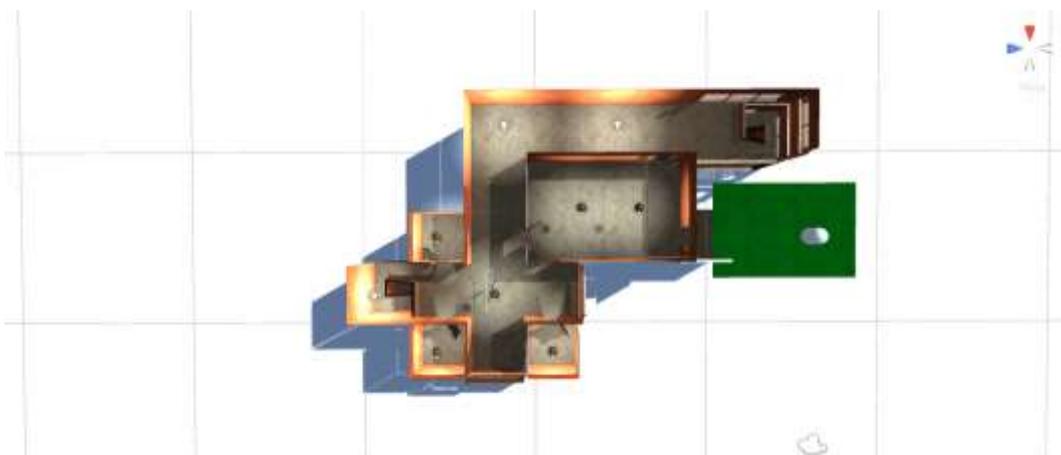
Bangunan berlantai 1 digunakan untuk menunjukkan bagaimana perilaku NPC ketika tidak adanya opsi jalur evakuasi yang lain sesaat dengan terjadinya titik kepadatan pada satu titik akan mempengaruhi pemilihan tindakan yang tentunya akan berbeda bilamana bangunan dengan memiliki opsi jalur evakuasi lebih dari

satu. Proses bagaimana hasil dari simulasi evakuasi kebakaran pada bangunan ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian pengujian.



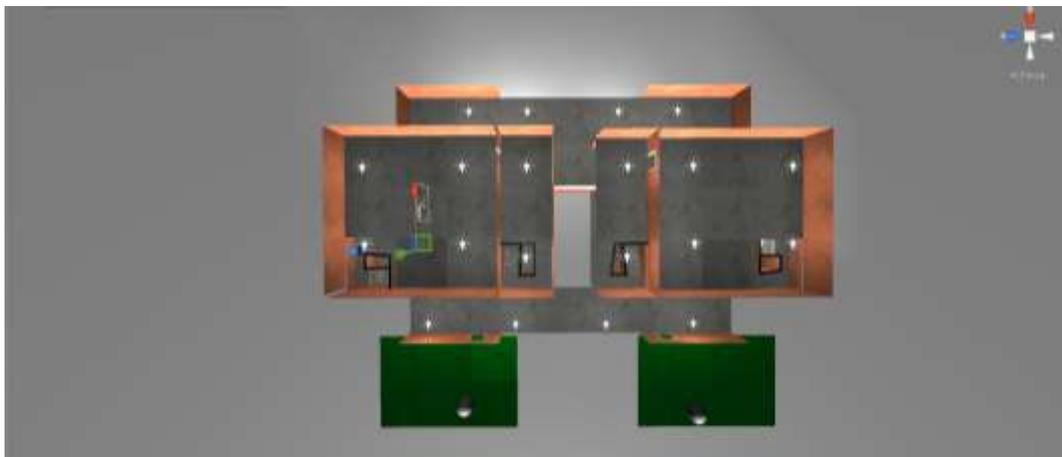
Gambar 3.7. Bangunan berlantai 1 dengan 1 pintu keluar.

Gambar 3.8 merupakan bangunan yang memiliki dua lantai dengan satu jalur evakuasi yang menggambarkan gedung perkantoran modern yang memiliki akses jalan cukup lebar. Pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar ini, titik kepadatan berada pada dua jalur akses untuk menuju ke lantai dasar. Lantai tersebut merupakan akses untuk keluar gedung evakuasi yang mungkin akan tidak terlalu padat karena akses jalur evakuasi yang cukup lebar, namun hal tersebut juga dipengaruhi oleh jumlah penghuni bangunan.



Gambar 3.8. Bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.

Bangunan ini digunakan untuk menunjukkan bagaimana perilaku NPC ketika memiliki opsi jalur evakuasi dalam mempengaruhi pemilihan tindakan berdasarkan emosi yang dimiliki. Perbedaan dengan bangunan berlantai 1 adalah titik kepadatan akan terjadi pada dua titik, dikarenakan pada bangunan ini memiliki dua jalur evakuasi. Namun kondisi tersebut memberikan dua opsi kepada penghuni bangunan ini untuk keluar dari bangunan tersebut. Tentunya jumlah penghuni juga sangat berpengaruh dalam proses evakuasi. Proses bagaimana hasil dari simulasi kebakaran pada bangunan ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian pengujian.



Gambar 3.9. Bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.

Gambar 3.9 merupakan bangunan dua lantai yang memiliki dua pintu keluar area cukup luas serta beberapa jalur evakuasi yang dapat digunakan ketika terjadi evakuasi kebakaran. Titik kepadatannya yang mungkin terjadi pada bangunan ini juga dapat terjadi di beberapa tempat yang memiliki akses menuju lantai dasar. Akses jalur yang banyak pada bangunan ini memberikan opsi yang sangat beragam bagi penghuni untuk menentukan jalur mana yang akan diambil. Bangunan ini menggambarkan sebuah bangunan publik yang komersial seperti supermal atau tempat hiburan dengan jumlah penghuni yang sangat banyak.

Berdasarkan perbandingan dengan ketiga bangunan tersebut dapat menunjukkan bagaimana perilaku NPC ketika terjadi evakuasi kebakaran dengan memiliki banyak opsi untuk memilih jalur evakuasi namun juga terdapat banyak penghuni yang dapat memungkinkan terjadinya titik kepadatan di beberapa tempat

yang dapat membuat NPC menentukan opsi tindakan lainnya yang dipengaruhi oleh emosi NPC itu sendiri.

Dari ketiga bangunan tersebut yang memiliki spesifikasi bangunan yang berbeda-beda, bangunan-bangunan ini tidak digunakan untuk menunjukkan bagaimana arsitektur bangunan ketika terjadi evakuasi, dikarenakan penelitian ini hanya merujuk pada bagaimana pengaruh emosi, sehingga penentuan konstruksi bangunan tidak mengacu pada regulasi tertentu, hal ini dilakukan hanya untuk menunjukkan bagaimana pengaruh emosi terhadap pemilihan tindakan pada NPC.

3.2.3. Pengaruh Emosi

Emosi memiliki kecenderungan dalam beberapa hal yang dapat menyebabkan seseorang menghindari terhadap sesuatu. Seperti ketika seseorang sedang panik akan lebih menghindari sesuatu yang beresiko, sedangkan ketika seseorang sedih maka akan cenderung tidak memperdulikan apa yang dikerjakan. Selain itu seseorang yang marah akan memperdulikan waktu tindakan yang akan dilakukan, namun ketika kelelahan seseorang akan cenderung malakukan tindakan yang membutuhkan waktu yang lebih lama dan tidak memperdulikan perencanaan. Emosi-emosi tersebut memiliki kecenderungan akan sesuatu untuk menentukan tindakan yang akan dilakukan selanjutnya.

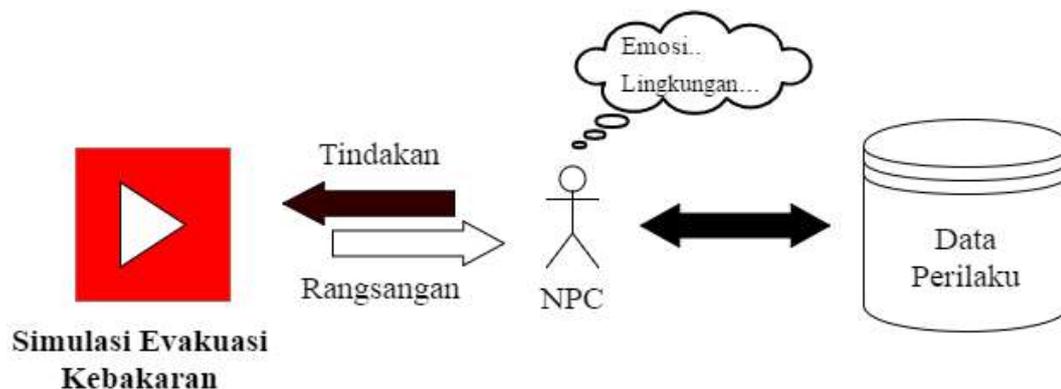
Agar setiap emosi uji memiliki representasi tindakan pada skenario, oleh karena itu setiap tindakan akan ditentukan penilaian yang merupakan representasi untuk setiap emosi sehingga dapat menentukan suatu tindakan yang berbeda-beda pada kondisi emosi satu dengan yang lainnya, penentuan nilai faktor-faktor emosi pada setiap tindakan menentukan acuan pada dasar kecenderungan emosi. Artinya dengan emosi tertentu pada tindakan tertentu memiliki nilai yang akan menjadi acuan untuk dihindari atau dipilih. Ketentuan ini dirancang dan diatur sesuai dengan Tabel 3.1 yang akan menjadi nilai dasar pengujian untuk setiap tindakan yang digunakan, seperti kelelahan, emosi sedih, marah, dan takut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengembangan dasar teori dan metode penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Pada bab ini akan dibahas tentang bagaimana hasil pengujian dari sistem yang telah dibuat. Proses pengujian akan dilakukan dengan dua macam jenis uji, diantaranya yaitu (1) uji perilaku NPC berdasarkan beberapa emosi sedih, marah, takut, kelelahan dan (2) uji perilaku yang dipilih untuk setiap emosi dengan membandingkan di setiap kasus uji. Dari kedua jenis pengujian tersebut akan dapat menggambarkan bagaimana emosi dapat mempengaruhi dalam proses pengambilan keputusan dan membuat simulasi menggunakan NPC akan lebih manusiawi.

4.1. Implementasi

Secara umum, berikut ini merupakan gambaran umum dari proses implementasi simulasi dengan menggambarkan bagaimana NPC dapat bermain dalam simulasi ini dengan parameter emosi, yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Proses implementasi simulasi evakuasi kebakaran.

Pada Gambar 4.1 menggambarkan bagaimana simulasi berjalan dengan memainkan peran NPC sebagai subjek penelitian dengan menempatkannya menjadi

bahan uji dengan beberapa perilakunya menggunakan kecerdasan buatan Emotional Behavior Tree.

4.2. Pengujian pengaruh emosi dalam pengambilan keputusan

Pada pengujian ini telah ditetapkan beberapa tindakan dengan beberapa parameter yang telah ditentukan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pada Tabel tersebut disebutkan bagaimana untuk tindakan yang sama dengan emosi yang berbeda memiliki nilai resiko, perencanaan dan jangka waktu yang berbeda pula. Berdasarkan nilai yang telah dirancang dapat ditentukan berapa persentase NPC yang memiliki emosi tertentu dapat memilih melakukan tindakan yang akan sesuai dengan tingkat kecenderungan emosi untuk menghindari tindakan tertentu. Pengujian ini dapat membuktikan bahwa dalam pengambilan keputusan tidak hanya berdasarkan rasional saja melainkan juga terdapat emosi sebagai salah satu faktor yang dapat mempengaruhi atau merubah persepsi pilihan seseorang.

4.2.1. Persentase pengambilan keputusan untuk setiap emosi

Dari keempat pengujian untuk kelelahan, sedih, marah dan takut akan dihitung berdasarkan probabilitas pemilihan untuk setiap anak *node* dari *Emotional Selector* yang terdapat pada rancangan pohon perilaku seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Berdasarkan rancangan skenario tersebut terdapat empat *node* berjenis *Emotional Selector* yang berperan dalam tiga perilaku utama, yaitu perilaku menerima informasi, investigasi, dan evakuasi. Semua perilaku telah diberikan bobot nilai untuk setiap faktor emosi yaitu resiko, perencanaan, dan waktu. Agar dapat mengilustrasikan bagaimana pemilihan aksi pada *Emotional Selector* ini bekerja pada simulasi evakuasi kebakaran ini, maka setiap emosi dirancang untuk menghasilkan nilai yang berbeda dan membuat semua nilai konstant menjadi 1.

a. Menerima informasi

Pada uji kasus fase menerima informasi ini terdapat *node* yang melibatkan *Emotional Selector* dengan 3 *node* turunan yaitu mendengarkan alarm, mengabaikan alarm, dan ingin mencari tahu.

Dari 3 tindakan tersebut diperoleh bobot emosi untuk setiap kelelahan pada Tabel 4.1, sedih pada Tabel 4.2, marah dan takut masing-masing pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Berdasarkan tabel-tabel tersebut kelelahan dan sedih memiliki urutan prioritas yang sama dengan tindakan utama yang dilakukan adalah mengabaikan alarm. Meskipun urutan prioritas sama namun memiliki bobot yang berbeda. Sedangkan untuk marah dan takut juga memiliki urutan prioritas yang sama, dengan tindakan utamanya adalah ingin mencari tahu.

Tabel 4.1. Bobot emosi untuk kelelahan pada fase menerima informasi.

Tindakan	W _{risk}	W _{time}	W _{plan}	W
Mendengarkan alarm	0.063	5.455	0.5	6.268
Mengabaikan alarm	0.127	5.641	0.5	6.018
Mencari tahu	0.507	6.061	0.5	7.067

Tabel 4.2. Bobot emosi untuk sedih pada fase menerima informasi.

Tindakan	W _{risk}	W _{time}	W _{plan}	W
Mendengarkan alarm	0.190	4.795	0.5	5.485
Mengabaikan alarm	0.063	3.4	0.5	3.963
Mencari tahu	0.443	5.152	0.5	6.095

Tabel 4.3. Bobot emosi untuk marah pada fase menerima informasi.

Tindakan	W _{risk}	W _{time}	W _{plan}	W
Mendengarkan alarm	0.3	3.949	0.5	4.749
Mengabaikan alarm	0.35	4.044	0.5	4.894
Mencari tahu	0.1	3.111	0.5	3.711

Tabel 4.4. Bobot emosi untuk takut/panik pada fase menerima informasi.

Tindakan	W _{risk}	W _{time}	W _{plan}	W
Mendengarkan alarm	0.303	3.949	0.5	0.792
Mengabaikan alarm	0.347	4.044	0.5	1.066
Mencari tahu	0.087	3.11	0.5	0.748

b. Investigasi

Pada uji kasus fase investigasi ini terdapat *node* yang melibatkan *Emotional Selector* dengan memiliki 4 *node* turunan yaitu bertanya dengan orang terdekat, menunggu instruksi, berpatroli, dan ingin evakuasi.

Dari 4 tindakan tersebut diperoleh bobot emosi untuk setiap kelelahan pada Tabel 4.5, sedih pada Tabel 4.6, marah dan takut masing-masing pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Berdasarkan tabel-tabel tersebut kelelahan dan sedih memiliki urutan prioritas yang sama dengan tindakan utama yang dilakukan adalah mengabaikan alarm. Meskipun urutan prioritas sama namun memiliki bobot yang berbeda. Sedangkan untuk marah dan takut juga memiliki urutan prioritas yang sama dengan tindakan utama dilakukan adalah ingin mencari tahu.

Tabel 4.5. Bobot emosi untuk kelelahan pada fase investigasi

Tindakan	W _{risk}	W _{time}	W _{plan}	W
Ingin evakuasi	0.292	9.886364	0.5	10.679
Bertanya	0.26	9.515625	0.5	10.276
Menunggu instruksi	0.065	6.525	0.5	7.090
Patroli	0.26	10.4567308	0.5	11.217

Tabel 4.6. Bobot emosi untuk sedih pada fase investigasi

Tindakan	Wrisk	Wtime	Wplan	W
Ingin evakuasi	0.34	8.181818	0.5	9.022
Bertanya	0.2975	6.0	0.5	6.798
Menunggu instruksi	0.0425	7.2	0.5	7.743
Patroli	0.2975	8.571428	0.5	9.369

Tabel 4.7. Bobot emosi untuk marah pada fase investigasi

Tindakan	Wrisk	Wtime	Wplan	W
Ingin evakuasi	0.213	5.25	0.5	5.963
Bertanya	0.34	6.125	0.5	6.965
Menunggu instruksi	0.34	6.563	0.5	7.403
Patroli	0.085	5.25	0.5	5.835

Tabel 4.8. Bobot emosi untuk takut pada fase investigasi

Tindakan	Wrisk	Wtime	Wplan	W
Ingin evakuasi	0.048	8.167	0.5	8.714
Bertanya	0.428	10.719	0.5	11.646
Menunggu instruksi	0.428	11.484	0.5	12.412
Patroli	0.095	11.779	0.5	12.374

c. Evakuasi

Pada uji kasus fase evakuasi ini terdapat *node* yang melibatkan 2 *Emotional Selector* dengan memiliki masing-masing 3 dan 2 *node* turunan. Untuk *Emotional*

Selector pertama berfungsi apabila dalam proses evakuasi mengalami penahanan jalur evakuasi sehingga NPC dapat berfikir lagi untuk menggunakan opsi yang diyakini berdasarkan emosi. Adapun tindakan yang tersedia di antaranya adalah menunggu antrian, mencari jalur lain, dan bersembunyi. Sedangkan pada *Emotional Selector* yang kedua hanya untuk menunjukkan bagaimana emosi yang memiliki kecenderungan menghindari resiko akan memilih tindakan berlari dan selain itu akan memilih untuk berjalan.

Dari ke 5 tindakan pada fase ini diperoleh bobot emosi untuk setiap kelelahan pada Tabel 4.9, sedih pada Tabel 4.10, marah dan takut masing-masing pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12. Berdasarkan tabel-tabel tersebut kelelahan dan sedih memiliki urutan prioritas yang sama dengan tindakan utama yang dilakukan adalah mengabaikan alarm. Meskipun urutan prioritas sama namun memiliki bobot yang berbeda. Sedangkan untuk marah dan takut juga memiliki urutan prioritas yang sama dengan tindakan utamanya adalah ingin mencari tahu.

Tabel 4.9. Bobot emosi untuk kelelahan pada fase evakuasi

Tindakan	W _{risk}	W _{time}	W _{plan}	W
<i>Emotional Selector I</i>				
Menunggu antrian	0.067	7.0	0.5	7.567
Menuju jalan lain	0.3	11.290	0.5	12.090
Bersembunyi	0.3	9.074	0.5	9.874
<i>Emotional Selector II</i>				
Berjalan	0.2	8.889	0.5	9.589
Berlari	0.28	9.231	0.5	10.011

Tabel 4.10. Bobot emosi untuk sedih pada fase evakuasi

Tindakan	Wrisk	Wtime	Wplan	W
<i>Emotional Selector I</i>				
Menunggu antrian	0.073	8.0	0.5	8.573
Menuju jalan lain	0.293	11.613	0.5	12.406
Bersembunyi	0.33	9.6	0.5	10.430
<i>Emotional Selector II</i>				
Berjalan	0.220	3.0	0.5	3.720
Berlari	0.275	3.333	0.5	4.108

Tabel 4.11. Bobot emosi untuk marah pada fase evakuasi

Tindakan	Wrisk	Wtime	Wplan	W
<i>Emotional Selector I</i>				
Menunggu antrian	0.347	7.727	0.5	8.574
Menuju jalan lain	0.087	7.192	0.5	7.779
Bersembunyi	0.303	7.727	0.5	8.531
<i>Emotional Selector II</i>				
Berjalan	0.195	4.375	0.5	5.070
Berlari	0.26	4.442	0.5	5.202

Tabel 4.12. Bobot emosi untuk takut pada fase evakuasi

Tindakan	Wrisk	Wtime	Wplan	W
<i>Emotional Selector I</i>				
Menunggu antrian	0.27	5.417	0.5	6.187

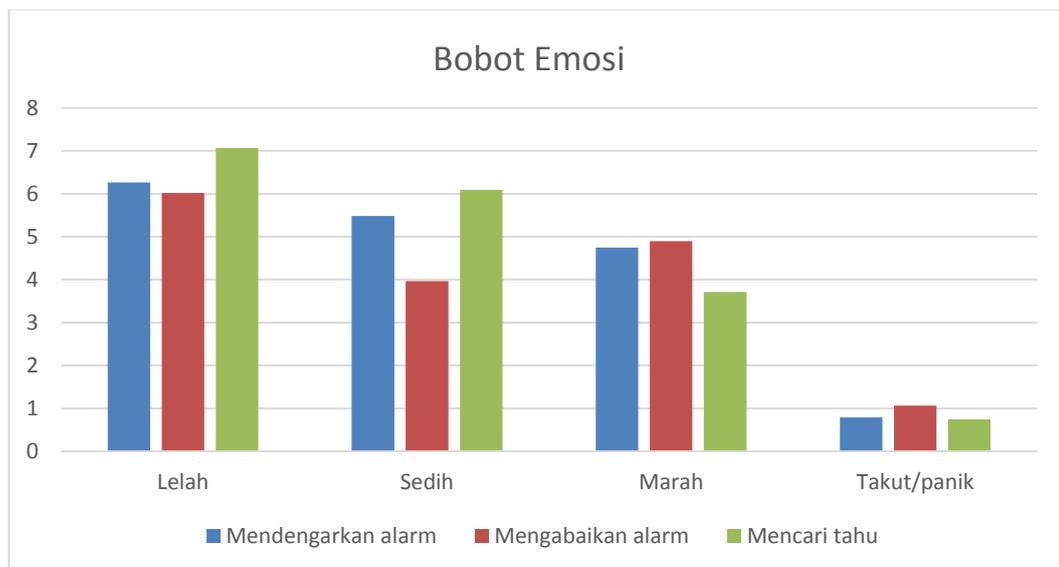
Menuju jalan lain	0.120	5.318	0.5	5.938
Bersembunyi	0.240	5.909	0.5	6.649
<i>Emotional Selector II</i>				
Berjalan	0.225	1.5	0.5	2.225
Berlari	0.15	1.0	0.5	1.650

4.2.2. Distribusi probabilitas pemilihan tindakan

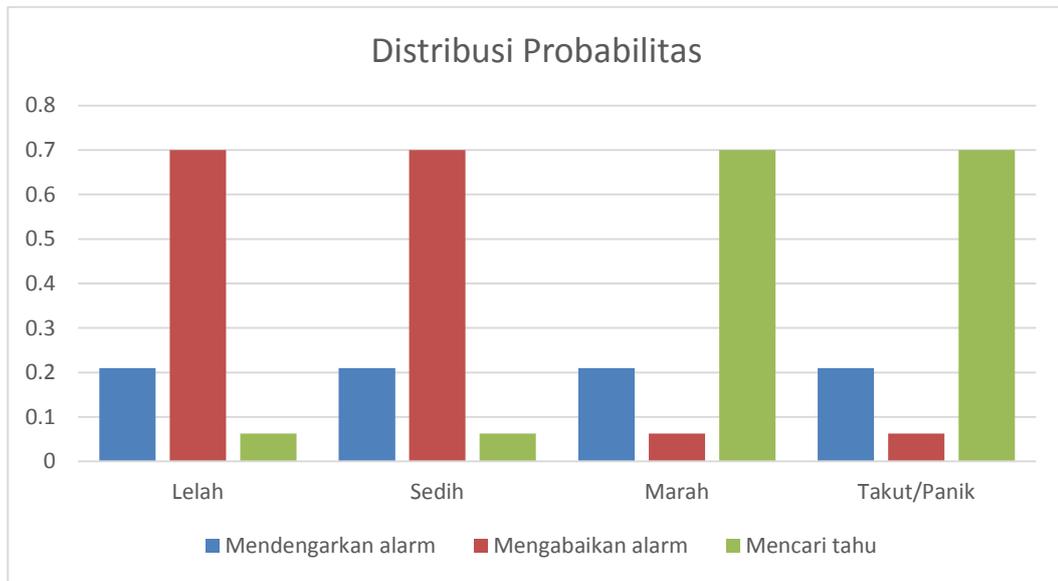
Berdasarkan pada hasil setiap fase diperoleh hasil nilai probabilitas yang dihitung menggunakan distribusi probabilitas sesuai dengan formula (16) dengan asumsi $\alpha = 0.7$. Berdasarkan hasil uji emosi pada setiap fase tindakan diperoleh probabilitas untuk fase menerima informasi, fase investigasi, fase evakuasi sebagai berikut.

a. Fase menerima informasi

Berdasarkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 yang secara berurutan menunjukkan hasil bobot emosi untuk setiap tindakan kelelahan, sedih, marah dan takut digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2 dan dalam distribusi probabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



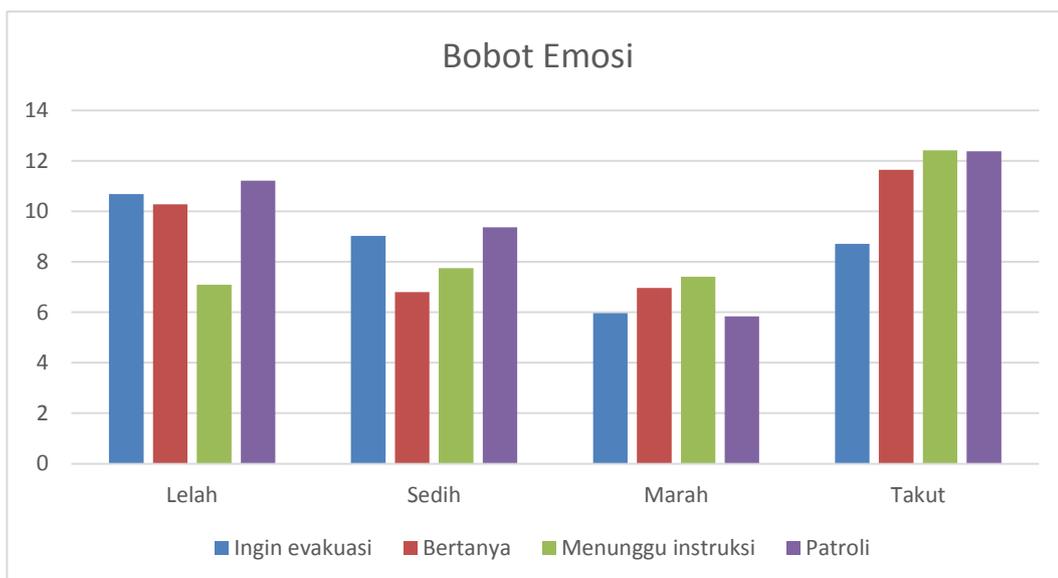
Gambar 4.2. Bobot emosi fase menerima informasi



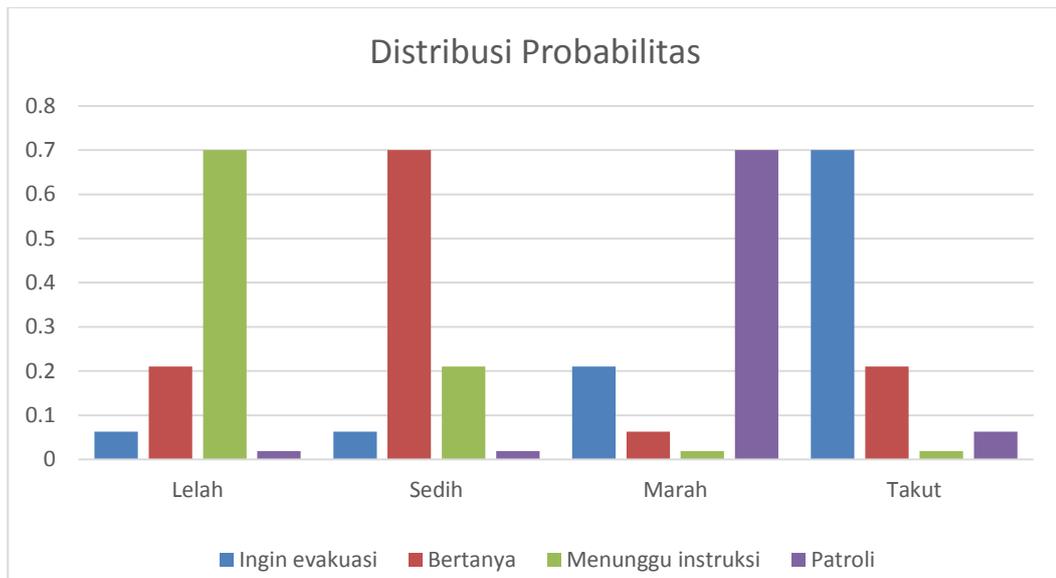
Gambar 4.3. Distribusi probabilitas fase menerima informasi

b. Fase investigasi

Berdasarkan pada Tabel 4.5, Tabel 4.6, Tabel 4.7, dan Tabel 4.8 yang secara berurutan menunjukkan hasil bobot emosi untuk setiap tindakan kelelahan, sedih, marah dan takut digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4 dan dalam distribusi probabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



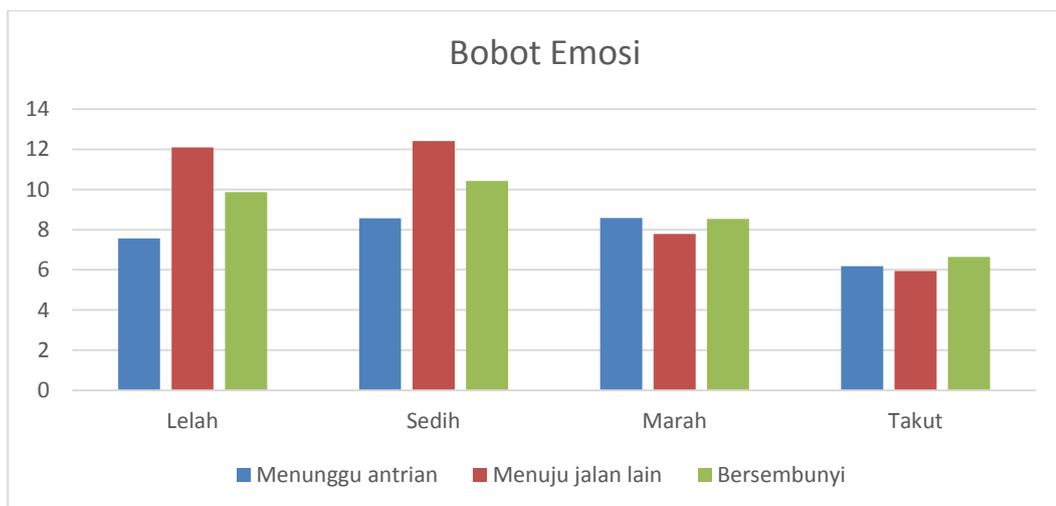
Gambar 4.4. Bobot emosi fase investigasi.



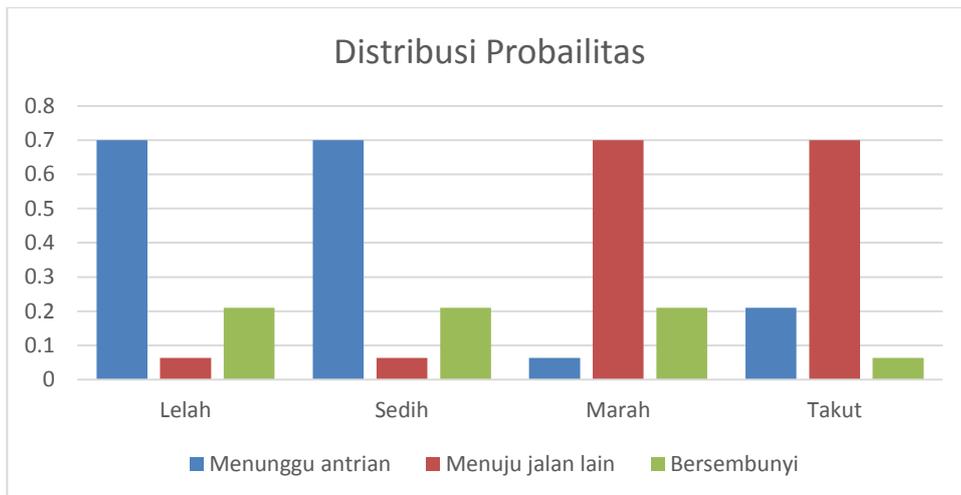
Gambar 4.5. Distribusi probabilitas fase investigasi.

c. Fase evakuasi

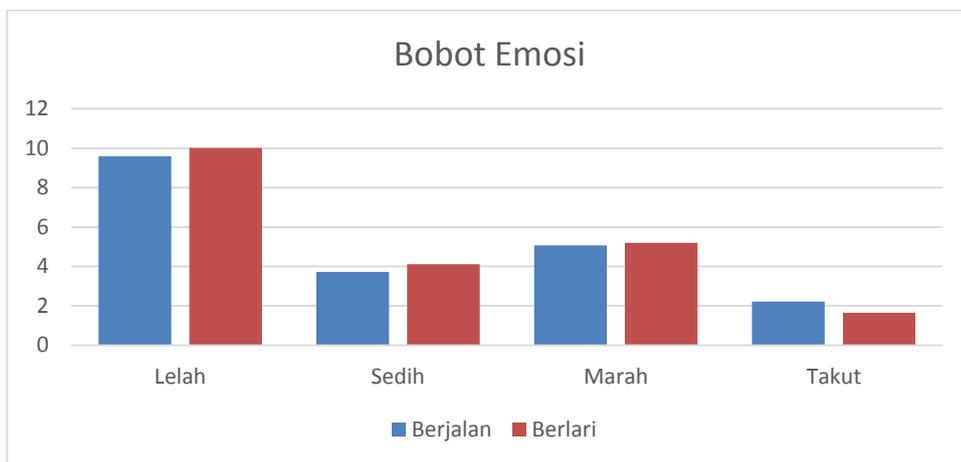
Pada fase evakuasi terdapat 2 *Emotional Selector* yang ditunjukkan pada Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, dan Tabel 4.12 yang secara berurutan menunjukkan hasil bobot emosi untuk setiap tindakan kelelahan, sedih, marah dan takut digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.6 dan dalam distribusi probabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 untuk pemilihan tindakan bila adanya halangan dan Gambar 4.8 serta Gambar 4.9 menunjukkan grafik untuk menentukan pergerakan NPC menuju tujuan antara jalan atau berlari.



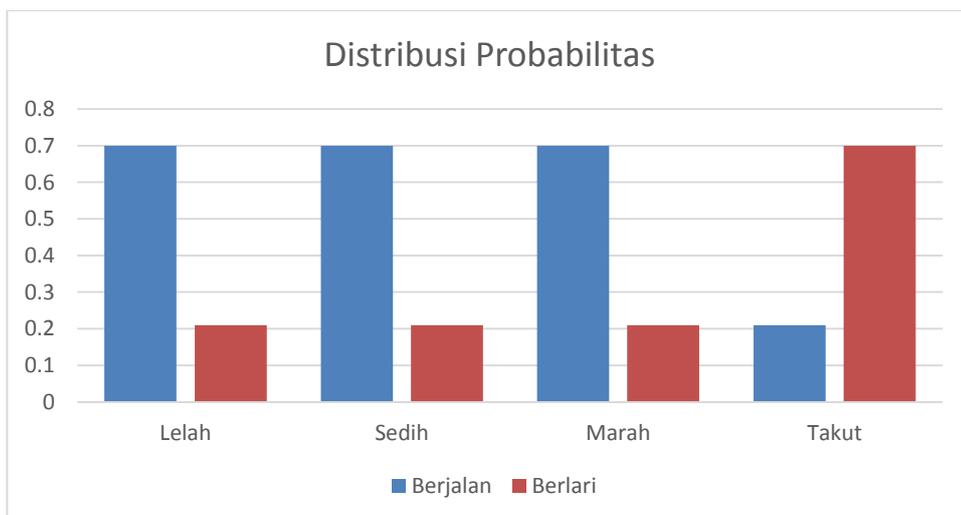
Gambar 4.6. Bobot emosi fase evakuasi bila ada halangan.



Gambar 4.7. Distribusi probabilitas fase evakuasi bila ada halangan.



Gambar 4.8. Bobot emosi fase evakuasi pergerakan NPC.



Gambar 4.9. Distribusi probabilitas fase evakuasi pergerakan NPC.

4.3. Pengujian pengaruh emosi dalam pengambilan keputusan pada lingkungan beragam.

Pada pengujian sebelumnya dapat diketahui setiap emosi memiliki pengaruh yang berbeda-beda sehingga menghasilkan tindakan yang berbeda-beda pula, namun hal tersebut belum secara jelas dapat membuktikan bahwa emosi akan memiliki pengaruh yang sama pada lokasi atau lingkungan yang berbeda. Oleh karena itu simulasi akan dijalankan pada bangunan yang berbeda-beda. Bangunan uji akan menggunakan bangunan berlantai 1, berlantai 2 dengan 1 pintu keluar, dan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar. Ketiga bangunan tersebut akan memberikan persentase bagaimana perilaku NPC yang memiliki emosi tertentu akan melakukan tindakan yang hampir sama dengan emosi sebelumnya pada setiap bangunan uji tersebut. Sehingga dalam pengujian kali ini setiap emosi memiliki pengaruh yang sama, walaupun berada pada lokasi atau lingkungan yang berbeda. Pada pengujian kali ini untuk setiap tindakan akan menghitung persentase tindakan NPC pada ke-4 *node* emosional selector untuk setiap emosi dan jumlah NPC di dalamnya.

4.3.1. Pengujian pada bangunan berlantai 1.

Pada bangunan uji ini merupakan bangunan yang memiliki akses keluar bangunan sebanyak 1. Pada bangunan ini setiap emosi pada NPC akan memilih beberapa kali tindakan yang ada pada skenario dan hal ini dilakukan untuk mengetahui tindakan apa saja yang dilakukan sesaat ketika melakukan evakuasi pada bangunan ini. Untuk setiap hasil uji akan diuji sebanyak 3 kali dengan menggunakan jumlah penghuni yaitu NPC yang berbeda - beda. Tujuan dari pemberian jumlah NPC akan berpengaruh pada pemilihan tindakan untuk setiap emosi.

Tabel 4.13. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan kelelahan pada bangunan berlantai 1.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	35.75%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	18.35%
		Evakuasi	Berjalan	40.46%
			Menunggu antrian	5.44%
II	30	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	32.97%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	15.9%
		Evakuasi	Berjalan	32.89%
			Menunggu antrian	18.23%
III	50	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	25.33%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	12.39%
		Evakuasi	Berjalan	23.76%
			Menunggu antrian	38.21%
			Bersembunyi	0.3%

Tabel 4.14. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi sedih pada bangunan berlantai 1.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Tidak menghiraukan alarm	36.44%
		Investigasi	Bertanya	15.58%
		Evakuasi	Berjalan	44.16%
			Menunggu antrian	3.82%
II	30	Menerima Informasi	Tidak menghiraukan alarm	37.09%
		Investigasi	Bertanya	12.91%
		Evakuasi	Berjalan	30.35%
			Menunggu antrian	19.48%
			Bersembunyi	0.16%
III	50	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	28.13%
		Investigasi	Bertanya	13.05%
		Evakuasi	Berjalan	22.99%
			Menunggu antrian	35.5%
			Bersembunyi	0.34%

Tabel 4.15. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi marah pada bangunan berlantai 1.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	0.48%
		Investigasi	Patroli	61.70%
		Evakuasi	Berjalan	37.67%
			Menuju jalan lain	0.15%
II	30	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	0.82%
		Investigasi	Patroli	60.78%
		Evakuasi	Berjalan	38.04%
			Menuju jalan lain	0.36%
III	50	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	1.03%
		Investigasi	Patroli	57.34%
		Evakuasi	Berjalan	40.78%
			Menuju jalan lain	0.85%

Tabel 4.16. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi Takut/Panik pada bangunan berlantai 1.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	1.6%
		Investigasi	Ingin evakuasi	1.6%
		Evakuasi	Berlari	95.4%
			Menuju jalan lain	1.4%
II	30	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	5.67%
		Investigasi	Ingin evakuasi	5.67%
		Evakuasi	Berlari	83.40%
			Menuju jalan lain	5.26%
III	50	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	12%
		Investigasi	Ingin evakuasi	6%
		Evakuasi	Berlari	76.8%
			Menuju jalan lain	5.2%

Berdasarkan Tabel uji 4.13 untuk kelelahan pada satu siklus evakuasi ternyata tindakan yang sering dilakuakn dan dipilih adalah mendengarkan alarm sebesar 25-35%. hal ini menunjukkan kelelahan ini tidak menghiraukan tanda untuk

segera melakukan evakuasi meskipun mengetahui adanya tanda tersebut. Pada emosi sedih yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 diperoleh bahwa intensitas tindakan yang banyak dilakukan adalah tidak menghiraukan alarm sebesar 28-36% untuk setiap pengujian dengan jumlah NPC yang berbeda namun intensitas tindakan tertinggi tetap sama. Pada emosi sedih NPC cenderung tidak menghiraukan adanya tanda untuk segera melakukan evakuasi.

Sedangkan pada Tabel 4.15 dan 4.16 yang menunjukkan hasil untuk emosi marah dan takut memiliki perbedaan juga. Untuk marah pada bangunan ini cenderung melakukan fase investigasi yang ditunjukkan pada tindakan patroli yang memiliki intensitas tinggi dalam satu siklus simulasi ini. Pada emosi takut fase evakuasi adalah fase yang paling menonjol dimana NPC akan langsung menunjukkan tindakan yaitu segera berlari keluar yang ditunjukkan pada Tabel 4.16 dengan berlari sebagai tindakan dengan persentase tertinggi.

4.3.2. Pengujian pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.

Pada bangunan ini merupakan bangunan yang memiliki akses keluar bangunan sebanyak 1 namun memiliki dua lantai. Pada bangunan ini setiap emosi pada NPC akan memilih beberapa kali tindakan yang ada pada skenario dan hal ini dilakukan untuk mengetahui tindakan apa saja yang dilakukan sesaat ketika melakukan evakuasi. Untuk setiap hasil uji akan diuji sebanyak 3 kali dengan menggunakan jumlah penghuni yaitu NPC yang berbeda –beda.

Tabel 4.17. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan kelelahan pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	42.68%

		Investigasi	Menunggu Instruksi	21.58%
		Evakuasi	Berjalan	35.27%
			Menunggu antrian	0.48%
II	30	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	40.6%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	12.59%
		Evakuasi	Berjalan	38.22%
			Menunggu antrian	8.6%
III	50	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	36.47%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	16.83%
		Evakuasi	Berjalan	35.23%
			Menunggu antrian	11.40%
			Bersembunyi	0.00007%

Tabel 4.18. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi sedih pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus	
I	10	Menerima Informasi	Tidak menghiraukan alarm	36.05%	
		Investigasi	Bertanya	16.83%	
		Evakuasi	Berjalan	46.97%	
			Menunggu antrian	0.15%	
II	30	Menerima Informasi	Tidak menghiraukan alarm	37.82%	
		Investigasi	Bertanya	17.32%	
		Evakuasi	Berjalan	41.08%	
			Menunggu antrian	3.77%	
III	50	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	29.55%	
		Investigasi	Bertanya	14.26%	
		Evakuasi	Berjalan	37.12%	
			Menunggu antrian	18.94%	
				Bersembunyi	0.14%

Tabel 4.19. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi marah pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	4.43%
		Investigasi	Patroli	40.49%
		Evakuasi	Berjalan	49.87%
			Menuju jalan lain	3.91%
			Bersembunyi	1.30%
II	30	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	7.21%
		Investigasi	Patroli	35.31%
		Evakuasi	Berjalan	48.72%
			Menuju jalan lain	6.57%
			Bersembunyi	2.19%
III	50	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	23.05%
		Investigasi	Patroli	23.05%
		Evakuasi	Berjalan	47.65%
			Menuju jalan lain	6.25%

Tabel 4.20. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi Takut pada bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	1.13%
		Investigasi	Ingin evakuasi	1.13%
		Evakuasi	Berlari	30.72%
			Menuju jalan lain	1.13%
			Bersembunyi	0.30%
			Menunggu antrian	65.59%
II	30	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	1.90%
		Investigasi	Ingin evakuasi	1.90%
		Evakuasi	Berlari	24.67%
			Menuju jalan lain	1.90%
			Bersembunyi	0.28%
			Menunggu antrian	69.34%
III	50	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	1.23%
		Investigasi	Ingin evakuasi	1.23%
		Evakuasi	Berlari	45.16%

			Menuju jalan lain	1.23%
			Bersembunyi	0.35%
			Menunggu antrian	50.82%

Berdasarkan Tabel uji 4.17 untuk kelelahan pada satu siklus evakuasi ternyata tindakan yang sering dilakuakn dan dipilih adalah mendengarkan alarm sebesar 36-48%. hal ini menunjukkan kelelahan ini tidak menghiraukan tanda untuk segera melakukan evakuasi meskipun mengetahui adanya tanda tersebut. Pada emosi sedih yang ditunjukkan pada Tabel 4.18 diperoleh bahwa intensitas tindakan yang banyak dilakukan adalah berjalan sebesar 37-46% untuk setiap pengujian dengan jumlah NPC yang berbeda. Pada emosi sedih NPC cenderung tidak menghiraukan adanya tanda untuk segera melakukan evakuasi.

Sedangkan pada Tabel 4.19 dan 4.20 yang menunjukkan hasil untuk emosi marah dan takut memiliki perbedaan juga. Untuk marah pada bangunan ini cenderung melakukan fase investigasi ditunjukkan pada tindakan patroli yang memiliki intensitas tinggi dalam satu siklus simulasi ini. Pada emosi takut fase evakuasi adalah fase yang paling menonjol dimana NPC akan langsung menunjukkan tindakan yaitu segera berlari keluar yang ditunjukkan pada Tabel 4.20 dengan berlari sebagai salah satu intensitas tertinggi namun pada bangunan B ini tindakan menunggu antrian juga memiliki intensitas tertinggi.

4.3.3. Pengujian pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.

Pada bangunan ini merupakan bangunan yang memiliki akses keluar bangunan sebanyak 2. Pada bangunan ini setiap emosi pada NPC akan memilih beberapa kali tindakan yang ada pada skenario dan hal ini dilakukan untuk mengetahui tindakan apa saja yang dilakukan sesaat ketika melakukan evakuasi. Untuk setiap hasil uji yang akan diuji sebanyak 3 kali dengan menggunakan jumlah penghuni yaitu NPC yang berbed-beda.

Tabel 4.21. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan kelelahan pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	43.15%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	22.06%
		Evakuasi	Berjalan	19.38%
			Menunggu antrian	8.03%
			Bersembunyi	0.00008%
II	30	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	37.98%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	23.87%
		Evakuasi	Berjalan	25.59%
			Menunggu antrian	12.33%
			Bersembunyi	0.23%
III	50	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	44.05%
		Investigasi	Menunggu Instruksi	25.35%
		Evakuasi	Berjalan	19.16%
			Menunggu antrian	11.18%
			Bersembunyi	0.27%

Tabel 4.22. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi sedih pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Tidak menghiraukan alarm	46.18%
		Investigasi	Bertanya	19.63%
		Evakuasi	Berjalan	31.08%
			Menunggu antrian	3.11%
II	30	Menerima Informasi	Tidak menghiraukan alarm	38.01%
		Investigasi	Bertanya	24.37%
		Evakuasi	Berjalan	25.94%
			Menunggu antrian	11.51%
			Bersembunyi	0.17%
III	50	Menerima Informasi	Mendengarkan Alarm	46.23%
		Investigasi	Bertanya	25.19%
		Evakuasi	Berjalan	21.89%
			Menunggu antrian	6.60%
			Bersembunyi	0.00009%

Tabel 4.23. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi marah pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	29.20%
		Investigasi	Patroli	29.20%
		Evakuasi	Berjalan	41.29%
			Menuju jalan lain	0.26%
			Bersembunyi	0.00005%
II	30	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	1.22%
		Investigasi	Patroli	34.96%
		Evakuasi	Berjalan	63.37%
			Menuju jalan lain	0.38%
			Bersembunyi	0.00007%
III	50	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	37.69%
		Investigasi	Patroli	42.89%
		Evakuasi	Berjalan	19%
			Menuju jalan lain	0.42%

Tabel 4.24. Tabel uji intensitas tindakan berdasarkan emosi Takut pada bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar.

Pengujian	Jumlah NPC	<i>Emotional Selector</i>	Tindakan	Persentase tindakan per siklus
I	10	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	0.68%
		Investigasi	Ingin evakuasi	0.68%
		Evakuasi	Berlari	31%
			Menuju jalan lain	1.14%
			Bersembunyi	0.30%
			Menunggu antrian	66.19%
II	30	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	0.22%
		Investigasi	Ingin evakuasi	0.22%
		Evakuasi	Berlari	99.56%
III	50	Menerima Informasi	Ingin Investigasi	0.45%
		Investigasi	Ingin evakuasi	0.45%
		Evakuasi	Berlari	98.70%
			Menuju jalan lain	0.34%
			Menunggu antrian	0.00005%

Berdasarkan Tabel uji 4.21 untuk kelelahan pada satu siklus evakuasi ternyata tindakan yang sering dilakuakn dan dipilih adalah mendengarkan alarm sebesar 44%. hal ini menunjukkan kelelahan ini tidak menghiraukan tanda untuk segera melakukan evakuasi meskipun mengetahui adanya tanda tersebut. Pada emosi sedih yang ditunjukkan pada Tabel 4.22 diperoleh bahwa intensitas tindakan yang banyak dilakukan adalah tidak menghiraukan alarm sebesar 46% untuk setiap pengujian dengan jumlah NPC yang berbeda. Pada emosi sedih NPC cenderung tidak menghiraukan adanya tanda untuk segera melakukan evakuasi.

Sedangkan pada Tabel 4.23 dan 4.24 yang menunjukkan hasil untuk emosi marah dan takut memiliki perbedaan juga. Untuk marah pada bangunan ini cenderung melakukan fase investigasi ditunjukkan pada tindakan patroli yang memiliki intensitas tinggi dalam satu siklus simulasi ini. Pada emosi takut fase evakuasi adalah fase yang paling menonjol dimana NPC akan langsung menunjukkan tindakan yaitu segera berlari keluar yang ditunjukkan pada Tabel 4.24 dengan berlari sebagai salah satu intensitas tertinggi.

4.4. Analisa hasil pengujian

Pada setiap pengujian perilaku NPC dengan pengaruh kelelahan, sedih, marah, dan takut, menunjukkan prioritas perilaku yang cenderung berbeda dan hal ini dapat dilihat pada fase-fase evakuasi kebakaran yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2, Gambar 4.4, Gambar 4.6 dan Gambar 4.8 yang menunjukkan bobot emosi untuk setiap fase evakuasi kebakaran, meskipun pada beberapa fase memiliki urutan bobot emosi yang sama seperti fase menerima informasi, dan fase evakuasi, namun pada fase investigasi menunjukkan perbedaan bobot emosi yang signifikan untuk setiap kelelahan, sedih, marah, dan takut. Dengan distribusi probabilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dari setiap bobot emosi memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan perilaku probabilitas tertinggi masing-masing yaitu kelelahan dengan 'Menunggu Instruksi', sedih dengan 'Bertanya', marah dengan 'Patroli', dan Takut dengan 'Ingin Evakuasi'. Pada fase ini menunjukkan bahwa emosi mempengaruhi perilaku yang dapat memungkinkan NPC untuk melakukan tindakan yang berbeda-beda.

Pengujian pada ketiga bangunan berbeda ternyata memiliki pengaruh dalam pengambilan keputusan NPC meskipun sangat sedikit sekali, hal tersebut ditunjukkan pada tabel-tabel uji untuk setiap bangunan yang memiliki perbedaan persentase tindakan untuk masing-masing emosi juga jumlah penghuni, seperti contoh hasil uji dengan 10 NPC untuk kelelahan pada fase menerima informasi dengan tindakan ‘Mendengarkan Alarm’ pada Tabel 4.13 untuk bangunan berlantai 1 memiliki intensitas tindakan 35.75% dan pada Tabel 4.17 untuk bangunan berlantai 2 dengan 1 pintu keluar memiliki intensitas tindakan 42.68% dan pada Tabel 4.21 untuk bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar memiliki intensitas tindakan 43.15% merupakan tindakan dengan intensitas tertinggi pada fase tersebut. Hal ini membuktikan bahwasannya lokasi atau arsitektur bangunan tidak terlalu mempengaruhi, namun pengaruhnya bukan pada intensitas tindakan tertinggi melainkan perubahan perilaku NPC pada emosi tertentu.

Perubahan perilaku seperti yang ditunjukkan pada fase evakuasi yang biasanya hanya ‘Berjalan’ atau ‘Berlari’ dan ‘Menunggu Antrian’ memunculkan tindakan baru seperti ‘Bersembunyi’ ataupun ‘Menuju Jalan Lain’. Ditunjukkan pada Tabel 4.20, dan Tabel 4.24, yang memiliki perbedaan dengan Tabel 4.16 untuk emosi takut yang Perbedaan tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh jumlah penghuni di dalamnya. Semakin banyak penghuni dan titik kepadatan akan membuat tingkat intensitas tindakan tertentu semakin tinggi dibandingkan dengan bangunan yang memiliki titik kepadatan sedikit akan membuat intensitas tindakan seperti ‘Menunggu Antrian’ akan jauh lebih rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian dan analisis pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem kecerdasan buatan emotional behaviour tree untuk pemilihan tindakan pada simulasi evakuasi kebakaran memiliki tingkat pemilihan tindakan yang dinamis, dengan menggunakan parameter emosi yang pada dasarnya berpengaruh dalam setiap pengambilan keputusan seseorang.
2. Penelitian ini telah menunjukkan bagaimana emosi dapat mempengaruhi suatu proses pengambilan keputusan menggunakan teknik kecerdasan buatan behaviour tree, dan dapat menentukan perilaku mana saja yang menjadi prioritas ataupun menjadi pilihan utama dalam proses pengambilan keputusan berdasarkan emosi yang dialami.
3. Simulasi evakuasi kebakaran ini telah menunjukkan bagaimana NPC berperilaku dalam melakukan proses evakuasi yang tidak hanya bergerak keluar dari sebuah gedung kebakaran melainkan juga berperilaku berdasarkan emosi yang terjadi pada dirinya. Dibuktikan dalam pengujian pengaruh kelelahan, sedih, marah, dan takut untuk setiap tindakan yang memiliki bobot emosi secara berurutan digambarkan pada Gambar 4.2, Gambar 4.4, Gambar 4.6, dan Gambar 4.8 dengan tindakan yang memiliki bobot terendah adalah pilihan tindakan yang akan dilakukan, dan apabila gagal dalam melakukan tindakan tersebut maka dengan bobot terendah berikutnya lah yang akan dilakukan, dan seterusnya.
4. Pengujian pada ketiga bangunan yang berbeda ternyata tidak terlalu mempengaruhi dalam pengambilan keputusan, melainkan emosi NPC itu sendiri. Dibuktikan pada tabel-tabel uji untuk setiap bangunan dengan fase yang sama memiliki intensitas tindakan tertinggi yang sama pula. Seperti contoh pada kelelahan fase 'Menerima Informasi' di Tabel 4.13 untuk bangunan berlantai 1 memiliki intensitas tindakan tertinggi sebesar 35.75% adalah 'Mendengarkan Alarm' pada Tabel 4.17 untuk bangunan berlantai 2

dengan 1 pintu keluar memiliki intensitas tindakan tertinggi sebesar 42.68% dan pada Tabel 4.21 untuk bangunan berlantai 2 dengan 2 pintu keluar memiliki intensitas tindakan tertinggi yang sama pula sebesar 43.15%. Dari persentase yang diperoleh tersebut menunjukkan bahwa meskipun persentase berbeda-beda namun tindakan dengan intensitas tertinggi adalah sama.

5.2. Saran

Potensi perbaikan dan pengembangan multi perilaku NPC menggunakan *emotional behaviour tree* dalam simulasi evakuasi kebakaran ini masih sangat luas karena masih jauh dari kata manusiawi dan perilaku yang digunakan juga tidak terlalu rumit dalam suatu kondisi evakuasi kebakaran. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu penulis dalam mengerjakan penelitian ini. Namun setidaknya penulis telah menunjukkan bagaimana menangani multi perilaku NPC dalam evakuasi kebakaran dengan parameter emosi sebagai pengaruh dalam pengambilan keputusan. Adapun sekiranya tambahan yang dapat menjadi rujukan dalam melanjutkan penelitian ini, diantaranya terdapat beberapa poin yaitu :

1. Rasonalita

Dalam penelitian telah disebutkan kerasionalan manusia dapat berubah karena pengaruh emosi, namun dalam penelitian ini kerasionalan belum dimasukkan menjadi parameter dalam pengambilan keputusan, mungkin akan jauh lebih manusiawi bila dapat melibatkan rasionalitas sebagai penyeimbang emosi.

2. Skenario Perilaku

Peneliti telah membuat skenario evakuasi kebakaran secara sederhana berdasarkan 3 fase penting evakuasi, namun simulasi yang baik adalah simulasi yang dapat menggambarkan sebuah proses atau kondisi yang sebenarnya.

3. Pegujian langsung

Dari simulasi ini mungkin dapat menjadi penelitian berkelanjutan yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi perilaku penghuni pada saat evakuasi kebakaran dalam sebuah gedung dengan penghuni dan gedung yang sebenarnya secara langsung.

Dari ketiga poin yang menurut penulis dapat ditambahkan dalam penelitian selanjutnya ini, semoga dapat menjadi rujukan untuk peneliti selanjutnya dalam melakukan penelitian, dan dengan penelitian ini semoga dapat memberikan pengetahuan dan manfaat bagi seluruh umat manusia khususnya dalam bidang ilmu multimedia yang mampu menggambarkan kondisi asli dalam sebuah simulasi sehingga mampu memprediksi kondisi-kondisi yang mungkin terjadi di kehidupan nyata.

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Chamandard. Getting Started with Decision Making and Control Systems, chapter 3.4, pages 257–264. Springer, 2008.
- [2] A. J. Chamandard. Popular approaches to behavior tree design. www.aigamedev.com, 2007.
- [3] A. J. Chamandard. Understanding behavior trees. www.aigamedev.com, 2007.
- [4] A. J. Chamandard. Behavior trees for next-gen game ai. www.aigamedev.com, 2008.
- [5] A. Marzinotto, M. Colledanchise, C. Smith, and P. Ogren, "Towards a Unified Behavior Trees Framework for Robot Control," in *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 5420–5427.
- [6] Cutumisu, Maria, and Duane Szafron, "An Architecture for Game Behavior AI: Behavior Multi-Queues," Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2009.
- [7] D. Isla. Handling complexity in the halo 2 ai. Game Developers Conference, 2005.
- [8] D. Isla. Building a better battle - the halo 3 ai objectives system. Game Developers Conference (talk), 2008.
- [9] D. Stephene, "Behavior Trees for Hierarchical RTS AI" *Southern Methodist University*.
- [10] G. Loewenstein and J. S. Lerner. The Role of Affect in Decision Making. Oxford University Press: New York, 2003.
- [11] G. Proulx, "Response to Fire Alarms," *Fire Prot. Eng.*, vol. Winter, no. 33, pp. 8–14, 2007.
- [12] H. L. H. Li, W. T. W. Tang, and D. Simpson, "Behaviour based motion simulation for fire evacuation procedures," *Proc. Theory Pract. Comput. Graph. 2004.*, vol. 2004, pp. 0–6, 2004.
- [13] I. I. Conference and S. Processing, "FUZZY LOGIC BASED EMOTION CLASSIFICATION Electronics and Computer Science University of Southampton SO17 1BJ , Southampton , United Kingdom," pp. 4389–4393, 2014.
- [14] Johanssen, Anna, and Pierangelo Dell'Acqua, "Emotional Behavior Trees.", IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG 2012).
- [15] Kuligowski, E. D. (2009). The Process of Human Behavior in Fires. *Technology, 1632*(May), NIST Technical Note.
- [16] Li, H. L. H., Tang, W. T. W., & Simpson, D. (2004). Behaviour based motion simulation for fire evacuation procedures. *Proceedings Theory and Practice of Computer Graphics, 2004.*, 2004, 0–6. <https://doi.org/10.1109/TPCG.2004.1314460>.
- [17] Lukeprog, The Cognitive Science of Rationality. http://lesswrong.com/lw/7e5/the_cognitive_science_of_rationality/, accessed in 2016.

- [18] M. Puică and A. Florea, “Emotional Belief-Desire-Intention Agent Model: Previous Work and Proposed Architecture,” *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2013.
- [19] Pusat Bahasa Kemdikbud. 2016. Kamus Besar Bahasa Indonesia (Edisi Ketiga) online. <http://kbbi.web.id/> diunduh 1 September 2015.
- [20] Regulation Number 1033.1/SJ-IND.5/11/2007, “SOP Pencegahan-Penanggulangan Kebakaran Gedung Departemen Perindustrian.”
- [21] SFPE, 2003, “Human Behavior in Fire”, Engineering Guide, Society of Fire Protection Engineers, 46 p.
- [22] Schrum, Jacob, and Risto Miikulainen, “Evolving Multi-modal Behavior in NPCs”, IEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG 2009), 325—332, Milan, Italy, September 2009.
- [23] http://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_agents_and_environments.htm, accessed in 2016.

Simulation Multi Behavior NPCs in Fire Evacuation using Emotional Behavior Tree

Wida Praponco Subagyo

Dept. of Electrical Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
wida14@mhs.ee.its.ac.id

Supeno Mardi Susiki Nugroho

Dept. of Electrical Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
mardi@its.ac.id

Surya Sumpeno

Dept. of Electrical Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia
surya@ee.its.ac.id

Abstract— Evacuation procedure in building fire has several points, and the main destination for occupants are going through the exit door of the building safely. In this research we learn how occupants behave with the emotion influence in a building fire. Emotions have important role to affect decision making because it can increase or decrease the rational value and aim at being realistic and naturally. The possibility to make NPCs behave naturally are implement multi behavior and handle all behavior using artificial intelligence (AI) technique. AI architecture have to support variant behavior and easily to reuse for complex character behaviors. Behavior trees (BTs) is the one of many AI techniques that more readable and scalable for action selection mechanism. So, we propose to implement Emotional Behavior Trees (EmoBTs) to handle dynamic behavior scenario that influenced by emotions. We already made the scenario for NPCs, that have emotion to decide which act would be selected. The experiment result compare how each NPCs are going to act by the emotions influence.

Keywords— *Fire Evacuation; NPCs; Behavior Tree; Emotion; Decision Making*

I. INTRODUCTION

Nowdays, modern games are drove to more complex and believable environments. Not only about awesome graphics are involved but also the interaction for each character in games are more natural. Especially, humanoid character can get starve, fatigue, or angry is more naturally. There are several attention to study about how simulate human behavior[18]. Humans normally doing actions from learn the situation that happened to them. There are many actions or group of actions that have a purpose to react the situation, and this called behavior.

Evacuation is the situation that involve people to get safe from disaster like fire. Evacuation procedure at building fire has several points to be concerned for occupants, but the main point for the occupants is leaving immediately from his place or room in building fire to go through the exit door, but not allowed using the elevator. There are should be several fire exit that can use to go to the exit door of the building. The evacuation are started when fire alarms on, that sign use to

warn people to go out of the building fire, but in fact people has different perception from that information. So to make NPCs act naturally, we use AI to handle variant perception of occupants to NPCs.

Artificial intelligence is one of the important part in a game development. AI has used for an action selection mechanism that can make dynamic behavior. Such an environment would provide a challenging and entertaining experience. Games need an AI architecture that support the straightforward creation and reuse of complex character behaviors [1]. AI is a logical bussiness that help agent to make decision. Game designer as an arranger has an authority to make the decision what would be consisted in the game and how it plays.

Multi behavior are needed for complex games, cause NPCs have to exhibit multiple different behaviors in order to be successful and believable to human players [2]. In the real world people will react about what they feel. According to the situation that happens to them. They can be happy, fear, sad, or just enjoy that situation. From what they feel, they will make multiple possible behavior, that has been proved by Loewenstein et al. research [3].

In this research, fire evacuation simulation will consider about multi behavior and emotional factor. Every NPCs should react as the scenario that already designed. The scenario has several option to be selected as an action. Selection of the action is depends on NPC emotions. The system to make selection action for NPC has to readable and scalable for the further development. BTs make every single logic AI visualizing like tree that are linked each other, and it can be easy to set up and maintain [22]. The functionality of BTs are usefull to create another variety of tasks, like EmoBTs has made from last research [5] by Anja. EmoBts used to make dynamic selection action that depends on emotions. Using EmoBTs in this research explain how emotions on crowd simulation of fire evacuation are handled using EmoBTs to make natural action for every NPC.

II. FIRE EVACUATION PROCEDURE

Fire evacuation happens when some smoke, heat, and toxic fumes, are detected by the sensor and switch on the alarm. Fire alarm were first introduced several decades ago from industrial environments to every apartment, residential buildings [15], and now fire alarm are installed in every building that has high wall and many occupants. Fire alarms has objectives to (1) warn occupants of fire, (2) prompt immediate action, (3) initiate evacuation movement, (4) allow sufficient time to escape., but the way people respond to fire alarm depends on a number of factors [4].

In the other hand occupants in fire evacuation will behave various way to save each life. The first thing that occupants do when hear the alarms on are go through the exit door of the building via the nearest fire exits when the alarms goes off [16]. But in fact occupants have each perception of their role in the building. When they act as visitors, they are waiting to be told and directed by staff, and for employees, they act after the activation of fire alarm, particularly if these employees feel the responsibility to take specific actions during an emergency and if they have been trained for such situations[15]. This various behave are act cause the role people feel to response fire alarms[17].

In this research, we will study about how occupant will behave by how they feel at that time. The factors they make a decision are the emotion that perceived. We will know how they behave follow the regulation, or behave another that they think right. In next section we introduce what method we use to make the simulation.

III. BEHAVIOR TREES

There are some paper that describe BTs depends on the subject what they are researched. Champandard has described BTs comprehensively [6], [7], [8], [9]. Damian isla described how to implement BTs in commercial games [10], [11]. Alijandro Marzinotto, et al give a formal description, that it is defined as directed acyclic graph with nodes and edges. The outgoing node of connected pair is a parent, and the incoming node is a child. Child node that does not have any inner child is called leaf, and a node that does not have any parent is called root [12]. Each node except root that has child could be possible to be a Sequence, Selector, Parallel, and Decorator node. Leaf node that has not any child could be possible to be an Action or Conditional node. When a node executed, it returns one of the three state: *success*, *failure*, *running*. The first two indicate it self but running indicate that node is not yet finished.

A. Leaf Nodes

This node has two possible type of node, it called Action and Conditional node.

Action represents a behavior that NPCs can perform. This type return a state, success or failure, but if this node not yet finished executing it can be return running.

Conditional represents a checker node that can return success or failure, and it never return running, cause this node is just depicted true or false.

B. InnerNodes

This node has four possible type of node, it called Sequence, Selector, Parallel, and Decorator.

Sequence is a node that has several child nodes that executed sequentially. As long as a child node return success, this node will return success, but if in a sequence order there is a child that return failure, this process directly return failure, and not continue to next child so this child nodes have to in a success or running state to execute next child in order.

Selector is a node that has several child nodes that executed sequentially. If the first child in order return success, it will directly return success and no matter the next child in order. Otherwise if the first child node return failure, next child node in order will execute, until one of childs in order return success or there are not any child return success.

Parallel is a node that executes all childs, but this node will execute the child that has determined already, when to stop executing its child nodes. One may specify the number of child nodes that must execute successfully or failure for this node return success or fail.

Decorator is a node that have a role to filter that places certain constraints on the execution of its single child node without affecting the child node itself. As usual decorator can be succeeder that make it succeed no matter what the result, failure that make it failure no matter what the result, or inverter that make it succeed when child return failure, and failure when child return succeed.

Table 1 show how to each node type can perform succeed, failure, or running.

TABLE I. THE 7 NODE TYPE OF BT

Node Type	Symb.	Succeed if	Failure if	Runs if
Root	\emptyset	tree S	tree F	tree R
Selector	?	1 ch S	N ch F	1 ch R
Sequence	\rightarrow	N ch S	1 ch F	1 ch R
Parallel		$\geq P$ ch S	$\geq P$ ch F	Otherwise
Decorator	\diamond	varies	varies	Varies
Action n	\square	ch(n) is S	ch(n) is F	ch(n) is R
Condition n	\circ	ch(n) is S	ch(n) is F	never

*ch = child, S = succeed, F = failure, R = running, N = all children, P = .param [12].

In Table 1 we can know how each node type can perform succeed, failure, or running in that way. Before we make BTs scheme, we have to know how every node type can perform because each node type have different algorithm. This node types are standard BTs, is possible to make another that fit on your research, like Anja and Pierre already done in their research [5]. They extend node type with new algorithm to perform using emotional as a parameter. In the next section we will explain how emotion can be a parameter.

IV. DECISION MAKING BY EMOTIONS

For each normal human have different process to make a decision, but actually they take a decision from rationality what they have perceived from the environment through their

sensors. The process of making a decision from the environment is illustrated in Fig. 1.

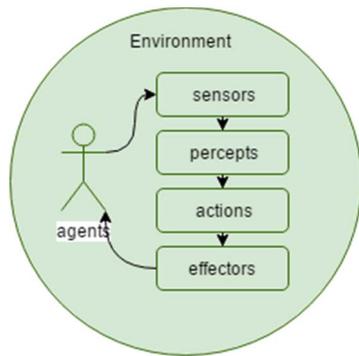


Fig. 1. Model Based Reflex Agents [19].

In Fig. 1 agents has sensors that are used to learn the environment or the situation to make decisions from what their current percept. For the simple example, humans will drink, when they are thirsty, this example action is “drink a water”, and the situation that happend to them is “thirsty”. Fig. 1 depict how agents reflex the situation or environment what they are perceived in being rational. Rationality is nothing but status of being reasonable, sensible, and having good sense of judgment [19]. Rational is cognitive science that improve choices, concerning what to believe and what to do [20]. In psychological fact, neurology and cognitive science show that human not only use their cognitive functions, but also account for their emotions [21].

Emotions already studied in many different fields and have proven as important factor to affect decision making. Matiko, Joseph W in [13] explained how to use emotions in fuzzy logic. He explained how the left and right side hemisphere of brain have different performance to receive emotions. The right hemisphere is more active during negative emotions and at the other side is more active during positive emotions.

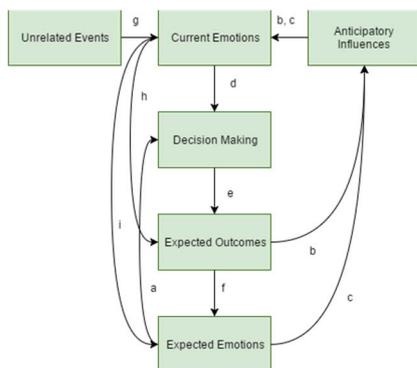


Fig. 2. Loewenstein and Lerner model of emotions [5].

Fig. 2, Lowenstein et al. have made a general model that explain how emotions influence decision making [14]. The alphabetic on that model, inform how some rectangle are linked and become a process of emotions affect decision making. In Matiko researched [13] when human decide to do, react, or act, they calculate positive emotions and negative emotions. All that emotions is called expected emotions and it represented in that model as link ‘a’. Emotion expectation from

human experience going to be a decision, and it is represented by link ‘b’ and ‘c’. In a process how human react by emotions, there are emotions that unrelated to the events, its also affect how human get decision, it represented by link ‘g’. Emotions that are not related to the current decision, its affect decision in two ways, directly and indirectly. Indirectly process is represented by link ‘d’, and directly process depicted by link ‘h’ and ‘i’. The result from decision that already made are human actions expected (link ‘e’) and current emotions or another emotions will be considered in this process (link ‘f’).

Emotions affect decision making by informations what humans get. In [3] there are three extracted information from emotions, risk is perceived, how far will plan, and how long does it takes.

A. Risk perception

Every action has a risk that influenced by emotions and every human has different risk perception even at the same action, so perception make humans can behave differently with another. Happy or angry will take more high risk than fearfull are more pessimistic, that means avoid high risk.

B. Time

Every action has calculation of time. Emotions make every single action have different perception how much time does it takes to complete. Time has an important role for taking a decision. While the first action has more time to complete than the second action. Fright and angry will take the less one, beside that sadness or depression, will take the longest time.

C. Planning

In a role of decision making, planning play another function to give impact. Planning also makes process more cumbersome and time consuming in every single action. Planning has a different impact from different emotions. Humans that sadness, bad mood and frustration, prone to chose the less, whereas humans that happy and fatigue prone to chose an action that more time-consuming.

V. EMOTIONAL BEHAVIOR TREE

In this section we will know how emotions can be implemented in BT. Anja [3] extends the definition of BT and provide a new type of node selector that called the *emotional selector*. The model of it called *emotional behavior tree* (EmoBT). The emotional selector orders its child node according to three factors: (1) planning, (2) risk, and (3) time. The formulas for this method are using psychology approach, but its not specific enough to describe appropriately. So, this formulas can only be empirically vallidated in test case scenario.

We assume the current affective state of the NPC is known to the EmoBT. The value of emotions must be represented in interval [0,1]. We just explain EmoBT formulas that we used in our research.

A. Planning

Planning value will be given according to the node type that executed in EmoBT.

Action: for action value, it will be given by the designer (1 by default), and it can be more, if this action has more complex process, but overall it will be set by the designer as a data controller.

Condition: A condition has a planning value that is set by the designer (0 by default).

Sequence Selector: A sequence selector j is designed to perform all its child in the sequence. The planning value is defined as:

$$plan_j = \sum_{i=1}^N plan_i \quad (1)$$

where N is the number of child nodes and $plan_i$ is the planning value of its child node i .

Priority Selector: Since it cannot know, which one the node is priority, $plan_j$ will perform, the planning value of j is defined as an average value:

$$plan_j = \frac{\sum_{i=1}^N plan_i}{N} \quad (2)$$

where N is the number of child nodes of j , is the planning value of its child node j .

Decorator: The planning value of the decorator is the same planning value of its child node.

B. Risk

A risk value are in a interval $[0, 1]$. 0 for there is not any risk and 1 is very dangerous. The risk value will be set by the designer.

Action: for action value, it will be given by the designer (0 by default), and it can be more, if this action has more complex process, but overall it will be set by the designer as a data controller.

Condition: A condition has a risk value that is set by the designer (0 by default).

Sequence Selector: A sequence selector j is designed to perform all its child in the sequence. The risk value is defined as:

$$risk_j = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - risk_i) \quad (3)$$

where N is the number of child nodes and $risk_i$ is the risk value of its child node i .

Priority Selector: Since it cannot know, which one the node is priority, $risk_j$ will perform, the risk value of j is defined as an average value.:

$$risk_j = \frac{\sum_{i=1}^N risk_i}{N} \quad (4)$$

where N is the number of child nodes of j , is the risk value of its child node j .

Decorator: The risk value of the decorator is the same risk value of its child node.

C. Time

Beside plan and risk, there is execution time that have to be considered when doing an action in certain emotional conditions. Time interval is represented $[L, U]$ (with $L \leq U$), L for lower limit and U for upper limit. Every leaf node in EmoBT have time interval for the execution of node.

Action: An action has a time interval that is set by the designer ($[0, 0]$ by default).

Condition: A condition has a time interval $[0, 0]$ cause condition are always instantaneous.

Sequence Selector: Time interval for sequence selector j is the sum of the lower and upper limits of every child node i :

$$[L_j, U_j] = [\sum_{i=1}^N L_i, \sum_{i=1}^N U_i] \quad (5)$$

where N is the number of child nodes.

Priority Selector: cause priority selector only executed one child from all it has, and dont know which child will be chosen. Time interval for this node will collected all time interval from childrens that defined as: :

$$[L_j, U_j] = [\min\{L_i, \dots, L_N\}, \max\{U_i, \dots, U_N\}] \quad (6)$$

where N is the number of child nodes of j .

Decorator: The time interval value of the decorator has the same value of its child node.

D. Emotional Selector

Emotional selector is an EmoBT node that calculate the risk, planning value, and execution time of childs. These result are combine with the current character's emotion to decide probability every child that will execute first. Emotional influence in a process can be calculated to measure how affective it is. So they [3] use emotional weight from the three emotion factors: risk, execute time, and planning.

There are two type emotions that perceived by humans, positive emotions and negative emotions in certain condition. Positive emotions will optimize by negative emotions. So the emotional weight for each factors will define as:

emotional weight for risk:

$$E_{risk} = \frac{\sum_{i=1}^M r_i^+}{M} - \frac{\sum_{j=1}^N r_j^-}{N} \quad (7)$$

emotional weight for time:

$$E_{time} = \frac{\sum_{i=1}^O t_i^+}{O} - \frac{\sum_{j=1}^P t_j^-}{P} \quad (8)$$

emotional weight for plan:

$$E_{plan} = \frac{\sum_{i=1}^Q p_i^+}{Q} - \frac{\sum_{j=1}^R p_j^-}{R} \quad (9)$$

From these formula we can calculated each child node in emotional selector to get the total weight of risk, time, and plan. For risk is calculated using this formula:

$$W_{risk,i} = (1 - E_{risk} \cdot \delta) \cdot risk_i \quad (10)$$

$risk_i$ is the risk value for the child node i , $W_{risk,i}$. The value weight of risk should be in a interval 0 to 1 cause it represent a probability.

We also can calculated the weight for the time, and its define as:

$$W_{time,i} = \left(1 - \frac{1}{1 + \mu \cdot time}\right) \cdot \max((1 - \lambda + \lambda \cdot E_{time}), 0) \quad (11)$$

These first part of formula represents hiperbolic time discounting function. μ is a variable that used to fits the simulation time, and $time$ is the emotional effect delay time, and its can be calculated as:

$$time = L_i + \frac{U_i - L_i}{2} (1 - \sigma \cdot E_{opt}) \quad (12)$$

where E_{opt} is the emotional impact on optimism:

$$E_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^S o_i^+}{S} - \frac{\sum_{j=1}^T o_j^-}{T} \quad (13)$$

The weight for the planning is calculated as:

$$W_{plan,i} = \left(1 - \frac{1}{1 + \omega \cdot plan_i}\right) \cdot \max((1 - \phi + \phi \cdot E_{plan}), 0) \quad (14)$$

where ω is to fit the planning amount of the simulation. There are variables δ , λ , σ , and ϕ that are determine how much emotions affect the weights. Their value are in the interval 0 to 1, that mean if higher is more affective and lower is not.

After calculated all the weights we can get the emotional weight as a total of the three of factor weight in a child node i , and its calculated:

$$W_i = \alpha \cdot W_{risk,i} + \beta \cdot W_{time,i} + \gamma \cdot W_{plan,i} \quad (15)$$

The constant α , β , and γ are variable to know how importance each factor. After the list of child have been ordered, emotional weight will be converted to probability using this formula.

$$prob_i = a(1 - a)^{i-1} \text{ with } 0.5 \leq a \leq 1 \quad (16)$$

where a is chosen depending on which distribution one wants. Let assume $a = 0.5$. This will make the first child probability in the list is 50%. The second child 25%, and so on. After each node has its probability, it will clear which child will execute first.

VI. EXPERIMENT

This experiment test of the hypothesis of the influence of emotions on human behavior. It implements EmoBT as decision making system in a fire evacuation simulation. NPCs

will behave correspond with the scenario design of EmoBT in Fig. 3. It has the emotional selector that is depicted as circle with E symbol. Childrens of emotional selector have been given emotional factors value, that contains plan, risk, and time execution.

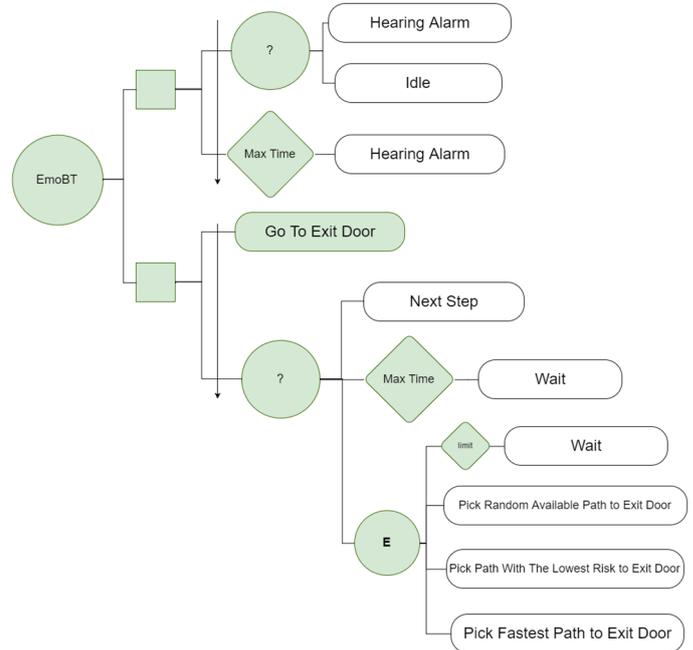


Fig. 3. EmoBT fire evacuation scenario.

To know how emotions will affect, behavior scenario is designed to be simple. In this scenario NPCs have options to chose the way to the exit door. It is illustrated in Fig. 4. This tree of node has different value for each emotional factor.

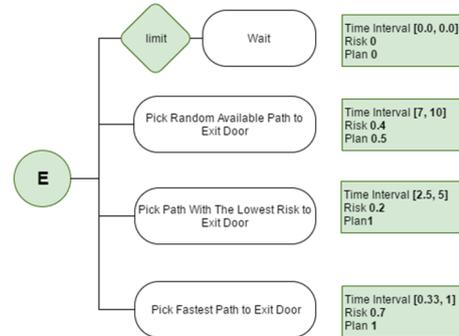


Fig. 4. Emotional selector scenario and childs with time, plan, and risk value.

Most value in EmoBT are set manually by the designer, we made data side to support this experiment. The first data that we have to decide is emotional data. It handle which emotion has positive or negative sign, in the time, risk, and plan impact. The data can be seen in table II.

TABLE II. EMOTIONAL DATA

Emotion	Risk Impact	Plan Impact	Time Impact
Sadness	-1	-1	1
Fatigue	-1	1	-1
Fear	-1	-1	-1
Panic	-1	1	1

The second data is constant variable that handle all the static value. When we already decided all the static data, we can just lookup the data to fulfill each constant variable to the formulas. We set constants value of μ , λ , δ , σ , ω , ϕ respectively 0.8, 0.9, 0.5, 0.9, 0.6, 0.9, and α , β , γ are set to 1, to make every factors are important. For this scenario when NPCs in emotional selector node, they would chose wait node as the main action to done first until the max time has reached, and then NPC will act as the current influence emotion. Let the NPC has fear emotion, it should act pick clear path as the second action after wait is done to be executed first, because pick clear path has the second less risk value, if NPC has sadness emotion, it should chose pick fastest path to be executed because this node has the second less execute times, and if NPC has fatigue emotion, it should chose pick random path to be executed because this node has the second less plan. We add panic emotion in this experiment to compare with another emotion, and to make another variant action. When NPC has panic emotion, it will take pick fastest path to be the second places literally. This result can be seen in Fig. 3 that show the weight values for each action in current emotion, and Fig. 5 show clearly which action is going to chose using probabilities.

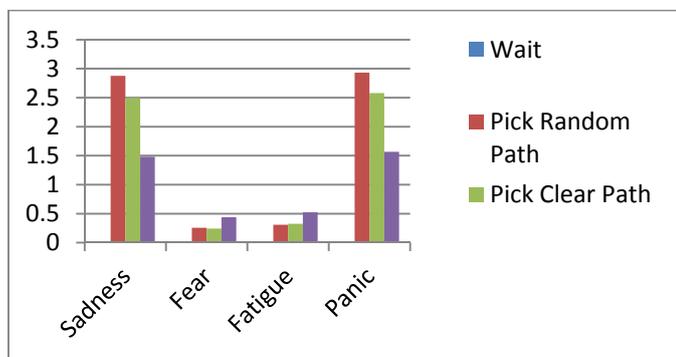


Fig. 5. The weight values for fire evacuation emotional selector child nodes.

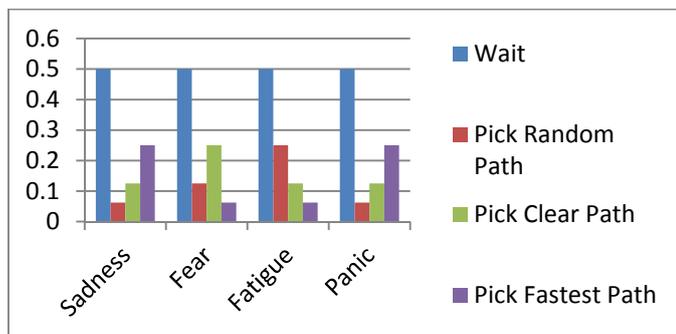


Fig. 6. The result probabilities of the fire evacuation simulation.

VII. CONCLUSION

This fire evacuation simulation involve emotions to be considered in a decision making process of NPCs by using EmoBTs technique. Emotions affect how human make a decision, and this experiment show that emotions have important role to create variant behavior in a fire evacuation.

Emotional Behavior Trees combine two methods, behavior trees and psychologi. Emotional Behavior Trees has emotional selector that chose which childs should be executed first. It makes probability for each child from emotional weight that they are had. As an selector node, this node will stop to execute child directly when get the success result from one of its child, and would be go to the next child when get the failure result. The different between emotional selector and general selector is, it reorder the childs in ascending order according to the emotional weight. the childs which has the less emotional weights would be chosen first.

In this experiment, now we can compare every emotional state in a fire evacuation give different value for each action. So in a fire evacuation has various emotion occupants can be predicted in this research. By using the behavior trees as base method, it can be scalable the action that should be in the scenario what we want.

REFERENCES

- [1] Cutumisu, Maria, and Duane Szafron, "An Architecture for Game Behavior AI: Behavior Multi-Queues," Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2009.
- [2] Schrum, Jacob, and Risto Miikulaian, "Evolving Multi-modal Behavior in NPCs", IEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG 2009), 325–332, Milan, Italy, September 2009.
- [3] G. Loewenstein and J. S. Lerner. The Role of Affect in Decision Making. Oxford University Press: New York, 2003.
- [4] Proulx, G. "Response to Fire Alarm." in Fire Protection Engineering, no. 33, Winter 2007, pp. 8-14.
- [5] Johanssen, Anna, and Pierangelo Dell' Acqua, "Emotional Behavior Trees.", IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG 2012).
- [6] A. Champandard. Getting Started with Decision Making and Control Systems, chapter 3.4, pages 257–264. Springer, 2008.
- [7] A. J. Champandard. Popular approaches to behavior tree design. www.aigamedev.com, 2007.
- [8] A. J. Champandard. Understanding behavior trees. www.aigamedev.com, 2007.
- [9] A. J. Champandard. Behavior trees for next-gen game ai. www.aigamedev.com, 2008.
- [10] D. Isla. Handling complexity in the halo 2 ai. Game Developers Conference, 2005.
- [11] D. Isla. Building a better battle - the halo 3 ai objectives system. Game Developers Conference (talk), 2008.
- [12] A. Marzinotto, M. Colledanchise, C. Smith, and P. Ogren, "Towards a Unified Behavior Trees Framework for Robot Control," in *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 5420-5427.
- [13] I. I. Conference and S. Processing, "FUZZY LOGIC BASED EMOTION CLASSIFICATION Electronics and Computer Science University of Southampton SO17 1BJ , Southampton , United Kingdom," pp. 4389–4393, 2014.
- [14] G. Loewenstein and J. S. Lerner. The Role of Affect in Decision Making. Oxford University Press: New York, 2003.
- [15] G. Proulx, "Response to Fire Alarms," *Fire Prot. Eng.*, vol. Winter, no. 33, pp. 8–14, 2007.
- [16] Regulation Number 1033.1/SJ-IND.5/11/2007, "SOP Pencegahan-Penanggulangan Kebakaran Gedung Departemen Perindustrian."
- [17] SFPE, 2003, "Human Behavior in Fire", Engineering Guide, Society of Fire Protection Engineers, 46 p.
- [18] H. L. H. Li, W. T. W. Tang, and D. Simpson, "Behaviour based motion simulation for fire evacuation procedures," *Proc. Theory Pract. Comput. Graph. 2004.*, vol. 2004, pp. 0–6, 2004.

- [19] http://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_agents_and_environments.htm, accessed in 2016.
- [20] Lukeprog, The Cognitive Science of Rationality. http://lesswrong.com/lw/7e5/the_cognitive_science_of_rationality/, accessed in 2016.
- [21] M. Puică and A. Florea, "Emotional Belief-Desire-Intention Agent Model: Previous Work and Proposed Architecture," *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2013.
- [22] D. Stephene, "Behavior Trees for Hierarchical RTS AI" *Southern Methodist University*.

BIODATA



PAS FOTO

Nama : Wida Praponco Subagyo
TTL : Sidoarjo, 01 Oktober 1990
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Jl. Belimbing IX/No. 4 Wage Taman– Sidoarjo 6257
Email : widapraponco@live.com
Telp : 085645152977

Riwayat Pendidikan

- 2009 – 2013 : S1 Teknik Informatika
Universitas Brawijaya Malang.
- 2006 – 2009 : SMA Negeri 1 Sidoarjo.
- 2003 – 2006 : SMP Al-Falah Deltasari.
- 1997 – 2003 : SD Al-Falah Surabaya.