

**PERANCANGAN PERILAKU NPC DALAM GAME SIMULASI EVAKUASI
KEBAKARAN PADA GEDUNG SAINTEK UIN MALANG
MENGUNAKAN ALGORITMA BOIDS**

SKRIPSI

Oleh:
NANDA AFIQ MUKHDOR
200605110168



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**PERANCANGAN PERILAKU NPC DALAM GAME SIMULASI
EVAKUASI KEBAKARAN PADA GEDUNG SAINTEK UIN
MALANG MENGGUNAKAN ALGORITMA BOIDS**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
NANDA AFIQ MUKHDLOR
NIM. 200605110168

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PERANCANGAN PERILAKU NPC DALAM GAME SIMULASI
EVAKUASI KEBAKARAN PADA GEDUNG SAINTEK UIN MALANG
MENGUNAKAN ALGORITMA BOIDS**

SKRIPSI

**Oleh :
NANDA AFIQ MUKHDLOR
NIM. 200605110168**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 08 November 2024

Pembimbing I,



Ahmad Fahmi Karami, M.Kom
NIP. 19870909 202012 1 001

Pembimbing II,



Hani Nurhayati, M.T
NIP. 19780625 200801 2 006

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN PERILAKU NPC DALAM GAME SIMULASI EVAKUASI KEBAKARAN PADA GEDUNG SAINTEK UIN MALANG MENGUNAKAN ALGORITMA BOIDS

SKRIPSI

Oleh :
NANDA AFIQ MUKHDLOR
NIM. 200605110168

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 16 Desember 2024

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T
NIP. 19830616 201903 1 004

Anggota Penguji I : A'la Syauqi, M.Kom
NIP. 19771201 200801 1 007

Anggota Penguji II : Ahmad Fahmi Karami, M.Kom
NIP. 19870909 202012 1 001

Anggota Penguji III : Hani Nurhayati, M.T
NIP. 19780625 200801 2 006

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nanda Afiq Mukhdlor
NIM : 200605110168
Fakultas / Prodi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Perancangan Perilaku NPC dalam *Game* Simulasi Evakuasi Kebakaran pada Gedung Saintek UIN Malang Menggunakan Algoritma *Boids*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 Desember 2024
Yang membuat pernyataan,



Nanda Afiq Mukhdlor
NIM.200605110168

MOTTO

... A lifetime of proving your existence go beyond eternity ...

HALAMAN PERSEMBAHAN

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Skripsi ini dipersembahkan kepada kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan baik berupa doa, motivasi, maupun kasih sayang yang tiada henti serta seluruh anggota keluarga yang selalu memberikan semangat, serta teman-teman yang telah membantu dan mendukung selama proses penyelesaian skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berarti. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang berlipat dari Allah SWT. Skripsi ini diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang yang terkait.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di program Sarjana pada Universitas Islam Negeri (UIN) Malang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPU, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika.
4. Ahmad Fahmi Karami, M.Kom, selaku dosen pembimbing I dan Hani Nurhayati, M.T, selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta memberikan bantuan dan arahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T dan A'la Syauqi, M.Kom, selaku dosen penguji yang telah melimpahkan pengetahuan, nasihat dan saran yang membangun dalam proses penyusunan penelitian ini.
6. Segenap dosen dan jajaran staff Program Studi Teknik Informatika, atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Abdul jalil selaku Ayah saya, Nurul Khusniyah selaku ibu, serta Fitri, Reza, Kirom, Fenny selaku kakak saya, keluarga besar, dan kerabat yang telah memberikan dukungan, doa, materi dan motivasi, sehingga penulis bisa mengerjakan skripsi dengan lancar dan diberikan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada Zaky, Minoy(Alm), Khalid, Azhar, Imam, Apip dan Razaan yang turut serta memberikan saya bantuan berupa informasi yang berguna dalam proses penulisan skripsi ini. Serta tidak lupa juga terimakasih saya berikan kepada Rohim yang membantu meminjami saya laptop gamingnya untuk sidang karena laptop saya kentang.
9. Teman-teman serta sahabat baik, baik dari angkatan Integer maupun di luar lingkungan perkuliahan, yang telah memberikan dukungan dan motivasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam situasi suka maupun duka, menjadi bagian penting dalam perjalanan ini.
10. Oktavia yang terus bersabar dalam menemani dan menyemangati penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.

11. Saya selaku penulis yang telah terus berusaha dan tidak menyerah selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Malang, 08 November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGANTAR..... | ii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iv |
| PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN..... | v |
| MOTTO | vi |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vii |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| ABSTRAK | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| البحث مستخلص | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 6 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 7 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 7 |
| BAB II STUDI PUSTAKA..... | 8 |
| 2.1 Penelitian Terkait | 8 |
| 2.2 Landasan Teori..... | 10 |
| 2.2.1 Game | 10 |
| 2.2.2 Simulasi Kerumunan..... | 10 |
| 2.2.3 Non-Playable Character | 11 |
| 2.2.4 Algoritma Boids | 12 |
| BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI | 17 |
| 3.1 Deskripsi <i>Game</i> | 17 |
| 3.1.1 Skenario Game | 17 |
| 3.2 Desain Sistem..... | 19 |
| 3.2.1 Desain Tata Letak Peta <i>Game</i> | 21 |
| 3.2.1 Finite State Machine | 22 |
| 3.2.2 Implementasi Boids | 23 |
| 3.3.2 Implementasi Pathfinding | 29 |
| 3.3 Desain Pengujian Sistem..... | 33 |
| 3.3.1 Learning curves..... | 33 |
| 3.3.2 System Usability Scale (SUS) | 34 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 Implementasi Sistem..... | 37 |
| 4.1.1 Implementasi Antarmuka <i>Game</i> | 38 |
| 4.1.2 Implementasi Perhitungan <i>Boids</i> | 40 |
| 4.2 Pengujian Sistem..... | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1 Uji Coba Pergerakan Kelompok | 43 |
| 4.2.2 Uji Coba Algoritma Boids | 47 |
| 4.2.3 Pemilihan rute NPC | 49 |
| 4.2.4 Perbandingan pergerakan NPC | 53 |
| 4.2.5 Analisis pergerakan NPC | 54 |
| 4.3 Pengujian <i>User</i> | 56 |
| 4.3.1 Pengujian Learning curves | 57 |
| 4.3.2 Pengujian Usability | 59 |
| 4.3.3 Analisis Usability | 61 |
| 4.4 Integrasi Sains dalam Islam | 65 |
| 4.4.1 Muamalah Ma'a Allah SWT | 65 |
| 4.4.2 Muamalah Ma'a An-Nas | 67 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 69 |
| 5.1 Kesimpulan | 69 |
| 5.2 Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Alignment movement..... | 13 |
| Gambar 2. 2 Separation movement..... | 14 |
| Gambar 2. 3 Cohesion movement..... | 15 |
| Gambar 3. 1 flowchart Desain sistem | 20 |
| Gambar 3. 2 Peta lantai 1 FST UIN Malang..... | 21 |
| Gambar 3. 3 FSM NPC boid..... | 22 |
| Gambar 3. 4 Flowchart boids..... | 24 |
| Gambar 3. 5 Peta pesebaran NPC boid..... | 25 |
| Gambar 3. 6 Hasil perhitungan cohesion rule..... | 29 |
| Gambar 3. 7 Peta pathfinding | 30 |
| Gambar 3. 8 Tahap pertama pathfinding | 30 |
| Gambar 3. 9 Tahap kedua pathfinding..... | 31 |
| Gambar 3. 10 Tahap ketiga pathfinding..... | 31 |
| Gambar 3. 11 Tahap terakhir pathfinding..... | 32 |
| Gambar 3. 12 Hasil akhir pathfinding..... | 32 |
| Gambar 3. 13 Learning curve | 33 |
| Gambar 4. 1 Game object boids leader script | 37 |
| Gambar 4. 2 Tampilan menu utama..... | 38 |
| Gambar 4. 3 Tampilan misi..... | 39 |
| Gambar 4. 4 Tampilan HUD..... | 40 |
| Gambar 4. 5 Kondisi awal pengujian..... | 47 |
| Gambar 4. 6 Kondisi akhir pengujian | 48 |
| Gambar 4. 7 Debug log pengujian | 52 |
| Gambar 4. 8 Analisis skenario pergerakan realtime | 56 |
| Gambar 4. 9 Learning curves responden | 58 |
| Gambar 4. 10 Learning curves rata-rata responden | 59 |
| Gambar 4. 11 Penilaian SUS..... | 64 |
| Gambar 4. 12 Skor percentile rank SUS | 65 |
| Gambar 3. 1 flowchart Desain sistem | 20 |
| Gambar 3. 2 Peta lantai 1 FST UIN Malang..... | 21 |
| Gambar 3. 3 FSM NPC boid..... | 22 |
| Gambar 3. 4 Flowchart boids..... | 24 |
| Gambar 3. 5 Peta pesebaran NPC boid..... | 25 |
| Gambar 3. 6 Hasil perhitungan cohesion rule..... | 29 |
| Gambar 3. 7 Peta pathfinding | 30 |
| Gambar 3. 8 Tahap pertama pathfinding | 30 |
| Gambar 3. 9 Tahap kedua pathfinding..... | 31 |
| Gambar 3. 10 Tahap ketiga pathfinding..... | 31 |
| Gambar 3. 11 Tahap terakhir pathfinding..... | 32 |
| Gambar 3. 12 Hasil akhir pathfinding..... | 32 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 13 Learning curve | 33 |
| Gambar 3. 1 flowchart Desain sistem | 20 |
| Gambar 3. 2 Peta lantai 1 FST UIN Malang..... | 21 |
| Gambar 3. 3 FSM NPC boid..... | 22 |
| Gambar 3. 4 Flowchart boids | 24 |
| Gambar 3. 5 Peta pesebaran NPC boid..... | 25 |
| Gambar 3. 6 Hasil perhitungan cohesion rule..... | 29 |
| Gambar 3. 7 Peta pathfinding | 30 |
| Gambar 3. 8 Tahap pertama pathfinding | 30 |
| Gambar 3. 9 Tahap kedua pathfinding..... | 31 |
| Gambar 3. 10 Tahap ketiga pathfinding..... | 31 |
| Gambar 3. 11 Tahap terakhir pathfinding..... | 32 |
| Gambar 3. 12 Hasil akhir pathfinding..... | 32 |
| Gambar 3. 13 Learning curve | 33 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3. 1 Storyboard..... | 18 |
| Tabel 3. 2 Task..... | 34 |
| Tabel 3. 3 Rancangan pertanyaan SUS..... | 35 |
| Tabel 3. 4 Skala penilaian SUS..... | 36 |
| Tabel 4. 1 Skenario 1 pengujian NPC..... | 43 |
| Tabel 4. 2 Skenario 2 pengujian NPC..... | 45 |
| Tabel 4. 3 Skenario 3 pengujian NPC..... | 46 |
| Tabel 4. 4 Uji algoritma boids | 48 |
| Tabel 4. 5 Pemilihan rute NPC | 50 |
| Tabel 4. 6 Perbandingan pergerakan NPC | 53 |
| Tabel 4. 7 Demografi pesebaran NPC | 55 |
| Tabel 4. 8 Profil responden learning curves | 57 |
| Tabel 4. 9 Data pengujian learning curves..... | 57 |
| Tabel 4. 10 Profil responden usability | 60 |
| Tabel 4. 11 Pertanyaan usability untuk responden | 60 |
| Tabel 4. 12 Skor input responden | 61 |
| Tabel 4. 13 Konversi perhitungan SUS | 62 |

ABSTRAK

Mukhdlor, Nanda Afiq. 2024. **Perancangan Perilaku NPC dalam Game Simulasi Evakuasi Kebakaran pada Gedung Saintek UIN Malang Menggunakan Algoritma *Boids***. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Fahmi Karami, M.Kom (II) Hani Nurhayati, M.T.

Kata kunci: *game* simulasi, evakuasi kebakaran, NPC, *boids*.

Keberadaan perangkat elektronik dalam skala besar di gedung Fakultas Sains dan Teknologi (FST) UIN Malang meningkatkan risiko konsleting listrik yang dapat memicu bencana kebakaran. Penelitian ini bertujuan mengembangkan pergerakan NPC (*Non-Player Character*) yang mampu menghindari hambatan statis dan mencegah tabrakan antar NPC menggunakan algoritma *boids* pada *game* simulasi kebakaran di gedung FST UIN Malang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada 3 skenario pengujian sistem algoritma *boids* dapat mengoptimalkan pergerakan NPC, mempertimbangkan jarak antar individu, serta menghindari tabrakan dengan tingkat keberhasilan 90%. Sedangkan skenario pengujian lain memperlihatkan algoritma *boids* cenderung lebih lambat dalam menuju titik tujuan, akan tetapi memiliki tingkat pergerakan yang lebih realistis. Pengujian user dilakukan oleh responden menggunakan metode *learning curves* dan *System Usability Scale* (SUS). Hasil pengujian *learning curves* menunjukkan bahwa grafik *learning* cenderung mengalami penurunan, yang menandakan responden dapat dengan mudah memahami wawasan yang disampaikan dalam *game*. Sedangkan, hasil pengujian SUS mendapatkan skor pengujian sebesar 80 yang termasuk dalam kategori "*acceptable*" dengan *grade scale* B dan *percentile rank* sebesar 88.33. Penelitian ini menyimpulkan bahwa algoritma *boids* efektif dalam mensimulasikan pergerakan NPC yang fleksibel dan realistis untuk mendukung evakuasi kebakaran pada *game* simulasi kebakaran FST UIN Malang.

ABSTRACT

Mukhdlor, Nanda Afiq. 2024. **Designing NPC Behavior in a Fire Evacuation Simulation Game at the Saintek Building, UIN Malang Using the *Boids* Algorithm.** Thesis. Informatics Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Supervisor: (I) Ahmad Fahmi Karami, M.Kom (II) Hani Nurhayati, M.T.

The presence of large-scale electronic devices in the Faculty of Science and Technology (FST) building at UIN Malang increases the risk of electrical short circuits that may trigger fire disasters. This study aims to develop NPC (Non-Player Character) movements capable of avoiding static obstacles and preventing collisions between NPCs using the boids algorithm in a fire simulation game for the FST UIN Malang building. The results of the study show that in three testing scenarios, the boids algorithm system successfully optimized NPC movements, considering individual distances and avoiding collisions with a success rate of 90%. In other testing scenarios, the boids algorithm tended to be slower in reaching the destination point but exhibited more realistic movements. User testing was conducted with respondents using the learning curves and System Usability Scale (SUS) methods. The results of the learning curves testing indicated a downward trend, suggesting that respondents could easily understand the insights presented in the game. Meanwhile, the SUS testing results showed a score of 80, categorized as "acceptable," with a grade scale of B and a percentile rank of 88.33. This study concludes that the boids algorithm is effective in simulating flexible and realistic NPC movements to support fire evacuation in the fire simulation game for the FST UIN Malang building.

Key words: simulation *game*, fire evacuation, NPC, *boids*.

البحث مستخلص

موخدلور، ناندا أفيق. 2024. تصميم سلوكيات الشخصيات غير القابلة للعب في لعبة محاكاة الإخلاء من الحرائق في مبنى العلوم والتكنولوجيا في جامعة مالانج باستخدام خوارزمية Boids. الأطروحة. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم مالانج الإسلامية الحكومية. المشرف: (الأول) أحمد فهمي كرامي، م. ك. (الثاني) هاني نورهاياتي، م. ت.

الكلمات المفتاحية: لعبة محاكاة، إخلاء من الحرائق، لعبة محاكاة، لعبة إخلاء من الحرائق، لعبة القوارب

يزيد وجود الأجهزة الإلكترونية واسعة النطاق في مبنى كلية العلوم والتكنولوجيا (FST) في جامعة مالانج من خطر حدوث ماس كهربائي يمكن أن يؤدي إلى كارثة حريق. يهدف هذا البحث إلى تطوير حركة الشخصيات غير اللاعبة (NPC) القادرة على تجنب العوائق الثابتة ومنع التصادمات بين الشخصيات غير اللاعبة باستخدام خوارزمية البويدات في لعبة محاكاة الحريق في مبنى كلية العلوم والتكنولوجيا في مالانج. أظهرت النتائج أنه في 3 سيناريوهات اختبارية يمكن لنظام خوارزمية boids تحسين حركة الشخصيات غير اللاعبة، ومراعاة المسافة بين الأفراد، وتجنب التصادمات بمعدل نجاح 90%. في حين أظهرت سيناريوهات الاختبار الأخرى أن خوارزمية Boids تميل إلى أن تكون أبطأ في الوصول إلى نقطة الوجهة، ولكن بمعدل حركة أكثر واقعية. تم إجراء اختبار المستخدم من قبل المشاركين باستخدام طريقة منحنيات التعلم ومقياس قابلية استخدام النظام (SUS). تُظهر نتائج اختبار منحنيات التعلم أن الرسم البياني للتعلم يميل إلى الانخفاض، مما يشير إلى أن المستخدمين يمكنهم فهم الأفكار التي تنقلها الدال بسهولة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran adalah peristiwa yang melibatkan pembakaran tidak terkendali, akan tetapi apabila hal itu memiliki potensi untuk merusak, membahayakan manusia baik itu dari segi psikologis, ancaman nyawa, serta merugikan lingkungan fisik dan materi di sekitarnya yang dapat mempegaruhi cara kebakaran berkembang, maka dapat berpotensi menjadi sebuah bencana yang biasa disebut bencana kebakaran (Rita, 2017).

Bencana kebakaran disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kesalahan manusia misalnya kelalaian dalam penggunaan api, alat elektronik yang rusak, petir, ledakan gas, atau faktor alam lainnya seperti suhu panas ekstrem saat musim kemarau (Isyanto et al., 2021; Saharjo & Hasanah, 2023). Bencana kebakaran rentan terjadi pada berbagai macam tempat, seperti hunian pribadi, bangunan komersial, pabrik, hingga hutan(Umar et al., 2022).

Data laporan Badan Pusat Statistik pada 10 September 2021 mengatakan bahwa jumlah kebakaran di provinsi DKI Jakarta pada tahun 2020 terjadi sebanyak 1.505 kasus dengan penyebab terbesarnya adalah konsleting listrik sebanyak 938 kasus. Mengingat bahwa peristiwa kebakaran sering kali menimbulkan kerugian besar yang menyebabkan kerugian material atau bahkan korban jiwa. Data ini menunjukkan kita akan urgensi keselamatan terkait kebakaran, terutama di lingkungan yang banyak mengandalkan perangkat elektronik skala besar.

Gedung Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang (FST UIN Malang) memiliki banyak perangkat elektronik yang digunakan untuk menunjang kegiatan akademik dan penelitian. Keberadaan perangkat elektronik dengan skala besar dapat menambah resiko terjadinya kebakaran yang disebabkan oleh konsleting listrik (Rahardjo et al., 2019). Oleh karena itu, keselamatan pengguna gedung merupakan prioritas utama dalam penanganan kebakaran. Saat terjadi kebakaran, seringkali masyarakat mengalami kepanikan karena kurangnya pemahaman tindakan yang seharusnya diambil dan langkah-langkah yang tidak tepat selama proses evakuasi (Shofa & Sahrupi, 2021).

Hasil observasi melalui wawancara dan penelusuran dokukumen didapatkan bahwa, gedung FST UIN Malang memiliki jalur evakuasi dan prosedur keselamatan apabila terjadi bencana kebakaran, tetapi belum mempunyai/menerapkan simulasi sebagai media untuk edukasi akan pemahaman tindakan dan langkah langkah yang tepat apabila terjadi kebakaran. Simulasi sendiri dalam metode mengajar menurut (Mardiono & Mulyadi, 2017), didefinisikan sebagai metode penyampaian pengalaman belajar melalui skenario yang dibuat menyerupai kenyataan untuk mempelajari konsep, prinsip, atau keterampilan tertentu. Dengan demikian, simulasi adalah sebagai model yang terdiri dari berbagai variabel dan mencerminkan karakteristik utama dari dunia nyata.

Pada penelitian ini, simulasi diterapkan dengan model berbasis *safety induction*, dimana *safety induction* merupakan kegiatan sosialisasi keselamatan yang ditujukan pada tenaga kerja baru, tamu, atau pihak-pihak yang terlibat dalam kegiatan produksi perusahaan. Kegiatan ini bertujuan untuk menyampaikan

berbagai potensi bahaya yang mungkin terjadi selama bekerja atau berkunjung, serta memberikan pemahaman mengenai langkah-langkah pengendalian terhadap risiko, termasuk bahaya kebakaran. (Irvan Muhammad & Fuadi Yan, 2016). Keberhasilan *safety induction* yang efektif tidak hanya meningkatkan kesadaran individu terhadap keselamatan kerja saat menjalankan tugas atau perannya, tetapi juga memastikan keselamatan rekan kerja disekitarnya (Nabilul Fawaid, Abdul Hakim Zakkiy Fasya, 2024).

Dengan berkembang pesatnya teknologi saat ini, penyampaian edukasi akan lebih mudah tersampaikan dengan baik jika penyampaian informasinya dapat dengan mudah dimengerti dan menarik, salah satu pendekatan yang menarik adalah penggunaan teknologi permainan komputer (*game*) dan simulasi.

Firman Allah pada Alqur'an surah Al-Baqarah ayat 155 yang berbunyi:

وَلَنبَلُوَنَّكُمْ بِشَيْءٍ مِّنَ الْخَوْفِ وَالْجُوعِ وَنَقْصٍ مِّنَ الْأَمْوَالِ وَالْأَنْفُسِ وَالثَّمَرَاتِ ۗ وَبَشِّرِ الصَّابِرِينَ

“Kami pasti akan mengujimu dengan sedikit ketakutan dan kelaparan, kekurangan harta, jiwa, dan buah-buahan. Sampaikanlah (wahai Nabi Muhammad,) kabar gembira kepada orang-orang sabar,” (QS. Al-Baqarah :155).

Pada QS. Al-Baqarah :155 secara langsung memperingatkan bahwa manusia akan diuji dengan berbagai cobaan. Dalam penelitian ini QS. Al-Baqarah :155 mengingatkan kita untuk mempersiapkan diri dalam menghadapi segala macam cobaan seperti bencana kebakaran. Dengan persiapan yang baik maka kita dapat menghadapi segala macam cobaan yang diberikan oleh Allah SWT.

Skenario pada *game* simulasi ini dirancang untuk memberi informasi tanggap darurat bencana kebakaran dalam lingkungan gedung FST UIN Malang

dengan menggunakan perangkat virtual berupa *game* bagi mahasiswa baru, orang yang memiliki kepentingan, dan pengunjung di gedung FST UIN Malang. *Game* menurut (Bastian et al., 2019) didefinisikan sebagai aktifitas bermain yang dilakukan untuk mencari kesenangan dan kepuasan. Sedangkan pada penelitian ini, *game* merujuk pada sebuah media permainan yang dijalankan dalam lingkungan virtual atau simulasi, dimana pemain berinteraksi dengan perangkat elektronik berupa pc/laptop sebagai media perantaranya.

Penerapan algoritma pergerakan kerumunan yang digunakan untuk memvisualisasikan perilaku *non-playable character* (NPC) yang dapat bergerak secara berkelompok dapat menjadi solusi yang efektif dalam sosialisasi berbasis *safety induction* untuk bencana kebakaran di gedung FST UIN Malang (Fadila & Arif, 2020). Dengan memanfaatkan teknologi visualisasi komputer, *game* ini akan memberikan pengalaman interaktif kepada pemain, memberikan skenario kebakaran yang terlihat nyata, memudahkan untuk mengetahui apa yang harus dilakukan ketika terjebak dalam sebuah gedung yang mengalami bencana kebakaran, serta menavigasi rute optimal untuk dilalui ketika terjebak dalam gedung secara terstruktur pada suatu entitas dalam gedung, khususnya gedung FST UIN Malang.

Dalam situasi bencana kebakaran, perilaku yang terkoordinasi dan mematuhi aturan keselamatan sangat krusial untuk perlindungan baik diri sendiri maupun orang lain. Perilaku tersebut dapat berupa sikap tetap tenang dan tidak panik, sehingga keputusan yang tepat dan cepat dapat terbentuk (Adiyoso W. 2018), identifikasi titik api dan segera beri tahu orang disekitar, memicu peringatan

evakuasi, mengikuti arahan rute evakuasi yang telah ditetapkan, menghindari penggunaan lift karena dapat menjadi sumber resiko tambahan, serta mengikuti intruksi dari pihak berwenang. Langkah-langkah ini dapat meminimalkan resiko terhadap ancaman nyawa ataupun kerugian lingkungan fisik dan materi yang ada disekitarnya (Widyaningrum N H. 2013). Perilaku tersebut akan diterapkan pada *game* ini sehingga pemain dapat mendapatkan sosialisasi yang maksimal guna mengantisipasi kerugian yang ditimbulkan oleh bencana kebakaran.

Dalam pergerakan berkelompok, terdapat berbagai macam metode algoritma yang dapat digunakan pada *game* simulasi, diantaranya adalah algoritma *artificial bee colony* (Uhrowiyah et al., 2022), *reciprocal velocity obstacle* (Fadila & Arif, 2020), *boids* (Ginting et al., 2018). Simulasi evakuasi kebakaran untuk *game* ini menggunakan algoritma *boids* yang dikembangkan oleh Craig Reynolds. Algoritma *boids* memiliki karakteristik dasar yang dihasilkan berdasarkan tiga aturan, yaitu *cohesion*, *alignment*, dan *separation*, yang cocok untuk menggambarkan perilaku individu dalam situasi evakuasi kebakaran didalam gedung. Dengan menerapkan algoritma *boids* kedalam *game* simulasi kebakaran di gedung FST UIN Malang, perilaku realistik dan terkoordinasi individu yang berusaha untuk selamat dalam situasi bencana kebakaran dengan memperhatikan resiko kecelakaan dan kepanikan seminimum mungkin, serta dapat memvisualisasikan pergerakan kerumunan NPC dengan jelas.

Metode *boids* terinspirasi oleh perilaku gerombolan hewan. Metode ini memiliki pendekatan yang memungkinkan simulasi pergerakan kolektif dari entitas individu yang bergerak secara mandiri. Dengan menerapkan metode ini pada NPC

dalam *game* simulasi (Hirokawa et al., 2016), dapat tercipta NPC yang bergerak secara bergerombol yang akan berperan sebagai sekumpulan orang yang sedang mencari jalur efisien untuk mengevakuasi diri dari gedung. *Boids* akan mempertimbangkan rute yang akan dilewati agar jarak dan waktu yang ditempuh menjadi lebih efisien sehingga dapat mensimulasikan kepada pemain rute mana yang paling efektif dilewati ketika seseorang terjebak dalam gedung yang sedang mengalami bencana kebakaran.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat menciptakan *game* simulasi yang menarik, edukatif, dan efektif dalam pemahaman tindakan dan rute yang harus diambil ketika terjadi kebakaran dalam gedung FST UIN Malang. *Game* ini akan menjadi alat yang berguna untuk memfasilitasi masyarakat yang melakukan kegiatan di dalam gedung FST UIN Malang dalam mengetahui tindakan dan rute paling optimal dilalui ketika gedung mengalami bencana kebakaran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada uraian sebelumnya, didapatkan rumusan masalah yaitu bagaimana perilaku NPC pada *game* simulasi evakuasi kebakaran pada gedung FST UIN Malang dapat bergerak secara realistis menggunakan algoritma *boids*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pergerakan NPC yang dirancang untuk menghindari hambatan, baik berupa tabrakan dengan benda diam maupun dengan NPC lain, sehingga dapat dihasilkan NPC yang memiliki perilaku bersifat fleksibel dengan menggunakan algoritma *boids*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini mencakup:

1. Simulasi ini berfokus pada pembuatan pola pergerakan kerumunan yang realistik oleh NPC didalam gedung FST UIN Malang.
2. Sistem yang dibuat ditujukan untuk pembuatan simulasi bencana kebakaran.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangsih dalam pengembangan agen simulasi yang dapat menghindari tabrakan antar objek statis maupun dinamis melalui kerumunan NPC yang ditampilkan secara visual dalam komputer.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat penelitian yang berkaitan algoritma kerumunan dan *game* simulasi yang berkaitan telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Penelitian terkait akan digunakan sebagai referensi guna memperdalam pemahaman serta membandingkan dengan penelitian yang sedang dilakukan oleh penulis.

Penelitian dengan judul “*An evacuation simulation method base on an improved artificial bee colony algorithm and social force model*” yang diteliti oleh (Zhao et al., 2021) memiliki tujuan untuk mengembangkan model simulasi evakuasi menggunakan algoritma *artificial bee colony*(ABC) yang digunakan sebagai perencanaan jalur dinamis dan *Social Force Model* untuk simulasi pejalan kaki. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa pengembangan simulasi evakuasi dengan rute terpendek dapat berjalan secara efisien dengan memperhatikan tindak adanya tabrakan antar obstacle, baik itu obstacle statis maupun dinamis pada objek NPC kerumunan.

Penelitian selanjutnya berjudul “Pergerakan Otonom Pasukan Berbasis Algoritma *Boids* Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization*” yang diteliti (Mu'min et al., 2015). Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk optimalisasi koefisien nilai *vector* pergerakan guna meminimalisir *cost function* serta meningkatkan kualitas pergerakan kerumunan, sehingga dapat dihasilkan pergerakan pasukan yang lebih alami, menyerupai pergerakan yang sedang bersiap

bertempur di dunia nyata. Pada penelitian tersebut diterapkan model *boids* dan *particle swarm optimization* yang digunakan untuk mengatur pergerakan pasukan otonom yang didasari oleh pergerakan pasukan pada kehidupan nyata. Algoritma *boids* yang dikombinasikan dengan PSO menghasilkan model yang mampu mencapai posisi optimal, memungkinkan terciptanya jalur non-deterministik secara otomatis bagi pergerakan kerumunan pasukan dari suatu posisi tertentu.

Penelitian berjudul “Simulasi Pergerakan Evakuasi Bencana Tsunami Menggunakan Algoritma *Boids* dan *Pathfinding*” yang diteliti oleh (Mudhana et al., 2019). Penelitian tersebut membahas penerapan algoritma *boids* dengan memanfaatkan teknik *flocking*, *obstacle avoidance*, *collision detection*, dan *pathfinding* untuk mensimulasikan pergerakan manusia saat evakuasi bencana tsunami menuju titik evakuasi. Simulasi ini dirancang untuk menghindari hambatan statis maupun dinamis serta mengurangi jumlah tabrakan yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *boids* yang diintegrasikan dengan *pathfinding* berhasil digunakan untuk memenuhi batas waktu maksimum yang dibutuhkan dalam proses evakuasi, dengan catatan waktu kurang dari 59 menit, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan oleh masyarakat di area terdampak tsunami untuk menyelamatkan diri.

Penelitian selanjutnya berjudul “*Crowds Evacuation Simulation on Heterogeneous Agent Using Agent-Based Reciprocal Velocity Obstacle*” oleh (Muhammad et al., 2018) yang berisi tentang penerapan algoritma *reciprocal velocity obstacle* sehingga setiap agent virtual akan memiliki tingkah laku dan kemampuan yang berbeda-beda. Algoritma tersebut diterapkan pada ratusan agent

dalam tiga skenario pada percobaan simulasi evakuasi. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan pada objek agen simulasi sebanyak 300, dengan banyaknya tabrakan antar *agent* sebanyak 7781 kali, dan waktu simulasi terpanjang adalah 151 detik dengan FPS terkecil adalah 33 FPS.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Game

Kegiatan yang digunakan sebagai sarana hiburan atau sebagai hobi yang mempunyai tujuan tertentu, baik dalam media konvensional maupun modern seperti permainan pada perangkat *pc* ataupun *android* dapat disebut dengan *game* secara umum. Menurut (Kuswantoro et al., 2021) tujuan dari *game* yang dapat dicapai berupa pendidikan, hiburan, dan simulasi. Dalam tujuan tersebut pemain harus memiliki kontrol atas peristiwa yang terjadi di dalam *game* tersebut.

2.2.2 Simulasi Kerumunan

Simulasi kerumunan dapat mengacu pada simulasi yang didasarkan pada dinamika kelompok dan psikologi karakter yang berfokus pada perilaku kerumunan (Syarlianti & Hanan, 2021). Dalam simulasi kerumunan, terdapat entitas yang dikenal sebagai agen. Agen-agen ini memiliki tujuan utama untuk berinteraksi dengan entitas lain dan diatur dalam formasi tertentu.

Pada buku berjudul “*Crowd Simulation Second Edition*” oleh (Thalmann, D., & Musse, S. R., 2012), Simulasi kerumunan dapat diklasifikasikan menjadi dua bidang utama. Pada bidang pertama, berfokus pada aspek perilaku realistis dan pada visualisasi dengan kualitas tinggi, dengan hasil berupa visualisasi dua dimensi

seperti model kerumunan sosiologis, dinamika kerumunan, atau simulasi evakuasi. Perilaku simulasi sering kali dibatasi pada area yang telah ditentukan, seperti pergerakan keluar dari suatu tempat atau pembentukan pola kerumunan melingkar. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan pengamatan di dunia nyata pada situasi tertentu, sementara visualisasi berfungsi sebagai alat untuk mempermudah pemahaman terhadap hasil simulasi. Di bidang kedua, penekanan difokuskan penggunaan teknik animasi untuk menciptakan efek visual yang realistis dan kualitas visual yang tinggi. Pendekatan ini sering diimplementasikan dalam video game dan produksi film, dimana prioritas utama tidak ditekankan pada perilaku model yang sangat realistis.

2.2.3 Non-Playable Character

Non-Playable Character (NPC) adalah karakter yang ada dalam *game* dan tidak memungkinkan untuk dikendalikan oleh pemain secara langsung atau dikendalikan oleh komputer. NPC memiliki peran yang bervariasi tergantung pada jenis permainannya seperti pedagang, penjaga, penjahat, orang asing jalanan, dan makhluk hidup lainnya. Peran NPC nantinya akan berpengaruh dalam *game* sesuai karakter yang diimplementasikan pada NPC tersebut. Sebagai contoh ketika NPC diimplementasikan pada karakter pedagang, maka nantinya pemain dapat memberi item melalui NPC tersebut. Selain itu, NPC juga dapat diterapkan pada karakter musuh pemain sehingga NPC tersebut dapat menyerang pemain ketika dalam kondisi tertentu. Dalam dunia *game* NPC memiliki fungsi luas yang nantinya akan memberikan pengalaman bermain yang lebih menarik sehingga pemain dapat merasakan suasana yang hidup dalam *game* tersebut (Sulistyo et al., 2023).

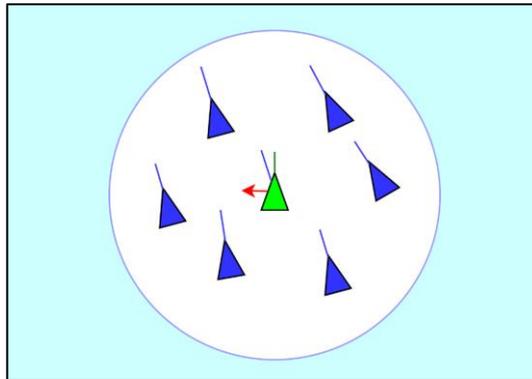
2.2.4 Algoritma Boids

Algoritma *boids* adalah algoritma hasil dari simulasi pergerakan berkelompok yang membentuk formasi dan pola pergerakan yang unik, algoritma *boids* hanya bereaksi pada *flockmates* yang berada di dalam lingkungannya. Lingkungan tersebut didefinisikan oleh jarak yang diukur dari pusat *boids* serta sudut yang diukur dari arah pergerakan *boids*, sedangkan *flockmates* yang berada di luar lingkungan akan diabaikan. Pada tahun 1980, Craig Reynolds menerapkan prinsip-prinsip “*A-Life*” untuk fenomena kawanan burung terbang yang terkoordinasi. Algoritma ini didasarkan pada tiga aturan utama yaitu *cohesion*, *alignment*, dan *separation* (Reynolds, 1987). Setiap *boids* dalam kelompok harus mengetahui posisi dan kecepatan *boids* tetangga (*neighbour*). Selama pergerakan kerumunan berlangsung, posisi setiap *boids* diperbarui secara dinamis, maka tiap *boids* perlu pembaruan data tentang *neighbour* saat sistem dijalankan. Jumlah *neighbour* yang dimiliki suatu *boids* akan mempengaruhi perilaku dari kerumunan yang disebut sebagai *flocking behaviour*.

Flocking behaviour adalah fenomena dimana suatu kelompok entitas atau partikel yang bergerak bersama dalam pola yang terorganisir, membentuk pola yang kompleks dan terkoordinasi tanpa pengendalian sentral. Fenomena ini dapat ditemukan pada kawanan hewan darat yang disebut sebagai *swarming*, serta pada kelompok ikan yang disebut *shoaling* (Andriyanto & Suyanto, 2017).

1. Alingment Rule

Aturan *alingment* didefinisikan sebagai koordinasi perilaku *boids* untuk memungkinkan dalam bergerak dengan kecepatan yang sama dengan *boids* disekitarnya.



Gambar 2. 1 *Alignment movement*

Pada gambar 2.1 perilaku komponen *alignment* ditunjukkan, yang mencerminkan sifat *boid* pada penyesuaian kecepatan dengan kelompok *boid* lainnya. *Alignment* dihitung menggunakan perkondisian pada rumus 2.1.

$$d(P_x, P_b) \leq d1 \cap d(P_x, P_b) \geq d2 \quad (2.1)$$

Keterangan:

| | |
|-------|---------------------|
| d | : jarak |
| P_x | : <i>boids</i> (i) |
| P_b | : tetangga terdekat |
| $d1$ | : jarak maksimum |
| $d2$ | : jarak minimum |

Jika *alignment* memenuhi perkondisian pada rumus 2.1, maka *alignment* dapat dihitung dengan rumus 2.2.

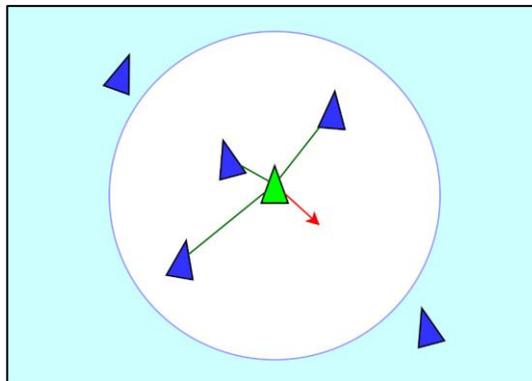
$$\overline{var} = \frac{1}{n} \sum_x^n \overline{v_x} \quad (2.2)$$

Keterangan:

\overrightarrow{Var} : nilai rata-rata dari perbedaan kecepatan antara *boids*.
 \overrightarrow{Vx} : kecepatan *boids* yang sedang diproses.
 n : jumlah tetangga *boids* dalam radius.

2. Separation Rule

Aturan *separation* diterapkan untuk mengatur kemampuan *booid* dalam menghindari tabrakan ketika dalam radius kerumunan dengan *booid* terdekat.



Gambar 2. 2 Separation movement

Pada gambar 2.2 perilaku *separation* digambarkan, menunjukkan *booid* yang memiliki kemampuan dalam menghindari terjadinya tabrakan dengan merubah arah pergerakan untuk menjauh dari tetangga terdekat serta mengatur kecepatan dengan tetangga terdekat. Untuk menghitung *separation* dilakukan dengan menggunakan perkondisian pada rumus 2.1.

Jika *separation* memenuhi perkondisian pada rumus 2.1, maka alignment dapat dihitung dengan rumus 2.2, maka *separation* dihitung dengan rumus 2.3.

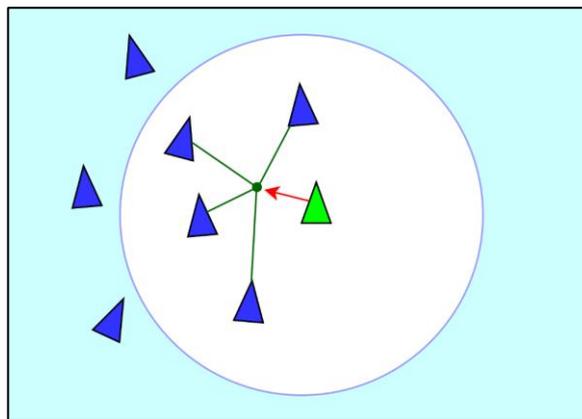
$$\overrightarrow{Vsr} = \sum_x^n \frac{\overrightarrow{Vx} + \overrightarrow{Vb}}{d(Px, Pb)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

| | |
|----------------|--|
| \vec{V}_{sr} | : kecepatan hasil perhitungan <i>separation</i> untuk <i>boi</i> Px. |
| \vec{V}_x | : kecepatan <i>boi</i> s yang sedang diproses. |
| P_x | : posisi <i>boi</i> s yang sedang diproses. |
| P_b | : tetangga terdekat dari <i>boi</i> s Px. |
| \vec{V}_b | : kecepatan <i>boi</i> s tetangga. |
| n | : jumlah tetangga <i>boi</i> s Px dalam radius. |

3. Cohesion Rule

Aturan *Cohesion* digunakan untuk mengarahkan *boi* agar bergerak menuju posisi rata-rata dari kelompok *boi* tetangga.



Gambar 2. 3 *Cohesion movement*

Gambar 2.3 menunjukkan perilaku *cohesion*, menggambarkan kapabilitas *boi* dalam bergerak menuju posisi rata-rata dari kelompok *boi* tetangga. *Cohesion* dihitung berdasarkan kondisi yang ditentukan pada rumus 2.1.

Jika *cohesion* memenuhi perkondisian pada rumus 2.1, maka alignment dapat dihitung dengan rumus 2.2, maka *cohesion* dihitung dengan rumus 2.4 (Dewi et al., 2020).

$$P_{avg} = \sum_x^n \frac{Px}{n} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_{avg} : posisi rata-rata dari kelompok *boids* tetangga.
 Px : *boids* yang sedang diproses.
 n : jumlah tetangga *boids* dalam radius.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Game

Pengembangan *Game* yang telah dilakukan berisikan simulasi berbasis *safety induction* bencana kebakaran bertipe *single player* dengan latar tempat pada *game* ini adalah gedung FST UIN Malang. Pengembangan *game* ini menggunakan konsep sistem bertipe *game* simulasi, dimana pemain mendemokan perilaku seseorang yang sedang menyelamatkan diri dari kebakaran di gedung FST UIN Malang, serta penerapan algoritma *boids* pada NPC agar NPC tersebut dapat berperilaku secara realistis dan tidak saling bertabrakan serta dapat menghindari segala bentuk *obstacle* atau rintangan. *Game* ini akan menerapkan sudut pandang pertama dimana pemain akan melihat dunia *game* melalui mata dari karakter yang sedang dimainkan.

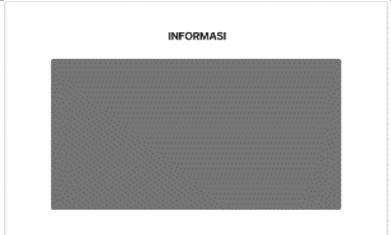
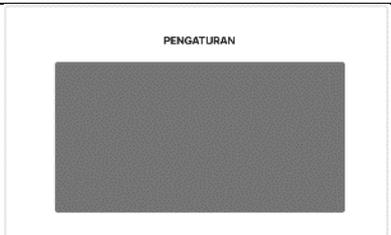
3.1.1 Skenario Game

Game yang dikembangkan dirancang dengan alur utama pada pemain memerankan pengunjung gedung FST UIN Malang yang sedang mencari tau akan apa saja yang harus dilakukan ketika terjadi bencana kebakaran pada gedung. Pemain diharuskan untuk menjelajah gedung guna mengetahui rute yang ada didalam gedung. Ketika skenario kebakaran dijalankan, pemain diberikan misi berupa keluar dari gedung dengan waktu yang telah ditentukan. Jika pemain kesulitan mencari jalan keluar, maka terdapat opsi dimana pemain dapat mengikuti NPC sebagai acuan untuk keluar dari gedung. *Game* ini memiliki karakter utama

dan karakter NPC, karakter utama akan dijalankan oleh pemain, sedangkan karakter NPC akan dijalankan oleh komputer dengan menggunakan algoritma *boids*. *Game* ini diperuntukan untuk orang yang belum mengenal gedung tersebut, seperti mahasiswa baru, calon mahasiswa, tamu maupun masyarakat yang kurang mengetahui akan penanganan yang harus dilakukan ketika terjadi kebakaran didalam gedung FST UIN Malang.

Storyboard pada tabel 3.1, digunakan untuk menggambarkan skenario *game* yang menampilkan rancangan skenario yang akan diimplementasikan. *Storyboard* terdiri dari rangkaian ilustrasi yang merepresentasikan adegan yang ada di dalam *game*.

Tabel 3. 1 *Storyboard*

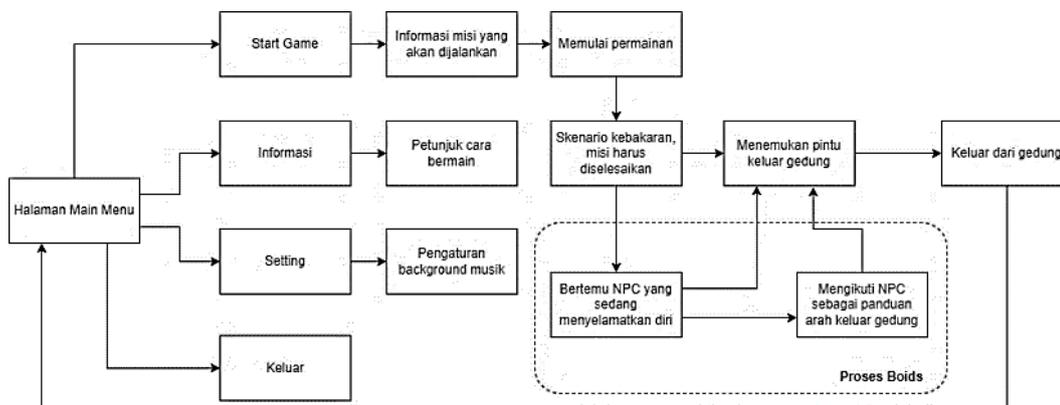
| Scene | Input | Audio | Ouput |
|-------|------------------|---|--|
| 1 | <i>Main menu</i> | Berisi tentang berbagai <i>main menu</i> untuk menuju ke <i>scene</i> memulai <i>game</i> , pengaturan, informasi dan keluar dari <i>game</i> . | Audio latar belakang musik  |
| 2 | Menu informasi | Berisi tentang tata cara bermain dan deskripsi singkat dari <i>game</i> . | Audio latar belakang musik  |
| 3 | Menu pengaturan | Berisi tentang pengaturan latarbelakang musik. | Audio latarbelakang musik  |

| Scene | Input | | Audio | Ouput |
|-------|-------------|--|--|--|
| 4 | Menu ingame | Berisi tentang tampilan didalam <i>game</i> , ketika menu ini dijalankan <i>game</i> dimulai dan pemain dapat berinteraksi dengan NPC serta pemain juga dapat menjalankan misi yang telah diberikan. | Audio latar belakang musik, audio efek suara <i>game</i> |  |
| 5 | Menu keluar | Berisi tentang tampilan informasi pemain ingin keluar dari <i>game</i> atau tidak. | - |  |

Pada tabel 3.1, menyajikan *input*, *audio*, dan *output* berupa *wireframe* yang merupakan komponen dari *storyboard* dari *game* yang akan diimplementasikan. Desain halaman dan menu disusun berdasarkan desain *storyboard* pada tabel 3.1.

3.2 Desain Sistem

Desain sistem dirancang untuk mengorganisasi dan merencanakan komponen-komponen yang akan digunakan dalam sistem yang dikembangkan. Proses perancangan ini melibatkan identifikasi elemen, komposisi, serta pengaturan keterkaitan antar elemen guna mewujudkan target yang diharapkan. *flowchart* yang menunjukkan rancangan sistem pada game simulasi kebakaran di gedung FST UIN Malang disajikan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *flowchart* Desain sistem

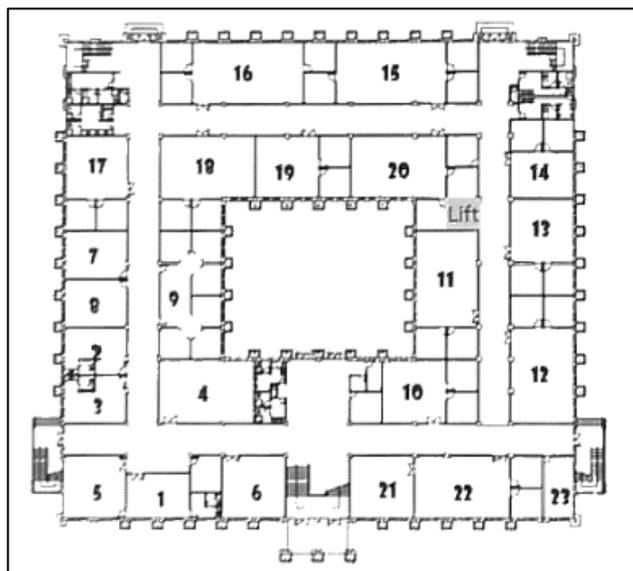
Mengacu pada *flowchart* desain sistem pada gambar 3.1, sistem dirancang dengan alur yang diawali dengan pemain ditugaskan untuk menjalankan salah satu dari menu yang ada berupa menu *start game*, informasi, setting, dan keluar. Jika tombol informasi dipilih, menu yang dijalankan adalah menu informasi yang berisi panduan mengenai tombol kontrol yang digunakan dalam game. Jika tombol pengaturan dipilih, pemain akan masuk ke menu pengaturan untuk mengatur musik game, seperti menghidupkan atau mematikan musik dan menyesuaikan volume musik dalam game. Apabila pemain memilih tombol keluar, sistem akan menutup game. Jika tombol *start game* dijalankan pemain akan diarahkan kedalam pendahuluan *game*, dimana pemain akan diberikan tampilan misi yang akan dihadapi. Selanjutnya pemain akan diarahkan kedalam *game* sehingga dapat memulai game dengan berkeliling di dalam dunia *game*.

Pada saat pemain selesai berkeliling, pemain akan diberikan misi dan keadaan gedung berubah kedalam kondisi sedang mengalami kebakaran. Ketika pemain menjalankan misi, terdapat kondisi dimana pemain jika kesulitan mencari jalan keluar, maka akan ada gerombolan NPC yang juga sedang menyelamatkan

diri dari kebakaran, menunggu pemain untuk mengikutinya, dan memandu pemain untuk keluar dari gedung secara bergerombol, penentuan pergerakan NPC secara bergerombol tersebut ditentukan berdasarkan penerapan algoritma *boids*.

3.2.1 Desain Tata Letak Peta *Game*

Desain peta *game* dirancang untuk merepresentasikan denah lantai 1 gedung FST UIN Malang dengan mencakup representasi visual dari elemen-elemen penting, seperti lab perkuliahan, ruang staff, kantor saintek, koridor, tangga darurat, tangga utama, pintu keluar, dan jalur evakuasi. Tata letak peta *game* dirancang seakurat mungkin dengan denah asli dari setiap ruangan dan fasilitas di lantai 1 gedung FST UIN Malang. Penerapan peta *game* yang secara langsung merefleksikan denah asli gedung FST UIN Malang bertujuan untuk memberikan pengalaman simulasi yang realistis kepada pemain, sehingga pemain dapat mengenali lokasi dan memahami jalur evakuasi dengan lebih mudah ketika terjadi bencana kebakaran. Desain peta *game* ditampilkan pada gambar



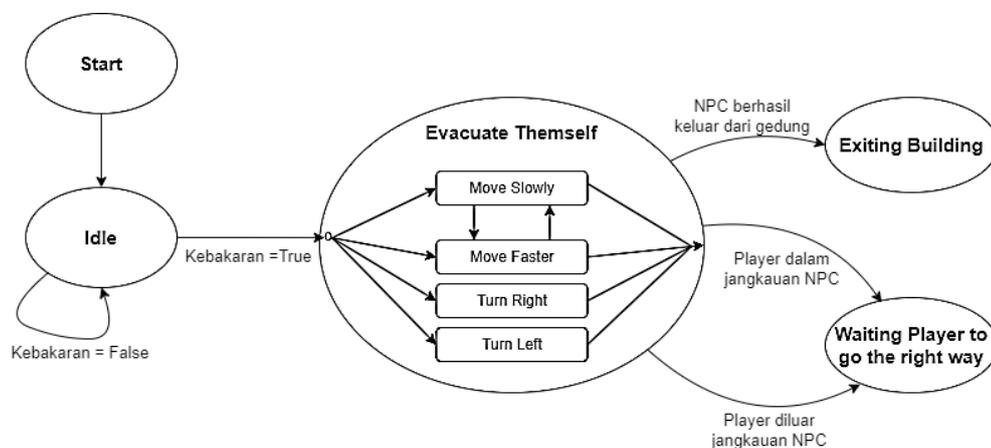
Gambar 3. 2 Peta lantai 1 FST UIN Malang

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Kantor Dekan fakultas | 13. Lab Fisiologi Hewan |
| 2. Kantor PD II dan Kalab | 14. Lab Biosistemik |
| 3. Kantor PD I dan II | 15. Lab Education Biologi |
| 4. Kantor Administrasi Fakultas | 16. Lab Biologi Dasar |
| 5. Ruang Sidang Fakultas | 17. Lab Biologi Utara |
| 6. Perpustakaan Fakultas | 18. Lab Biologi Molekuler |
| 7. Kantor Ketua Jurusan Biologi | 19. Lab Riset dan Genetik |
| 8. Kantor Administrasi Biologi | 20. Lab Ekologi |
| 9. Ruang Dosen Biologi | 21. Lab Komputasi Fisika |
| 10. Lab Biokimia Selatan | 22. Lab Elektronika Fisika |
| 11. Lab Mikrobiologi | 23. Lab Elektronika dan Instrumentasi |
| 12. Lab Kultur Jaringan dan Fisiologi | |

3.2.1 Finite State Machine

Finite state machine (FSM) adalah pemodelan dari perilaku sebuah sistem atau objek dengan beberapa kondisi atau mode yang didefinisikan dimana, mode transisi berubah sesuai dengan keadaan. Dalam penelitian ini, FSM digunakan untuk memodelkan perilaku aktivitas NPC dalam *game*. Perancangan FSM pada gambar 3.3 merupakan desain rancangan dari FSM pada *game* simulasi kebakaran di gedung FST UIN Malang. Desain FSM yang telah dibuat memiliki 3 state utama yaitu *idle*, *evacuate themselves*, *exiting building*, dan *waiting player to go the right way*.



Gambar 3. 3 FSM NPC *boid*

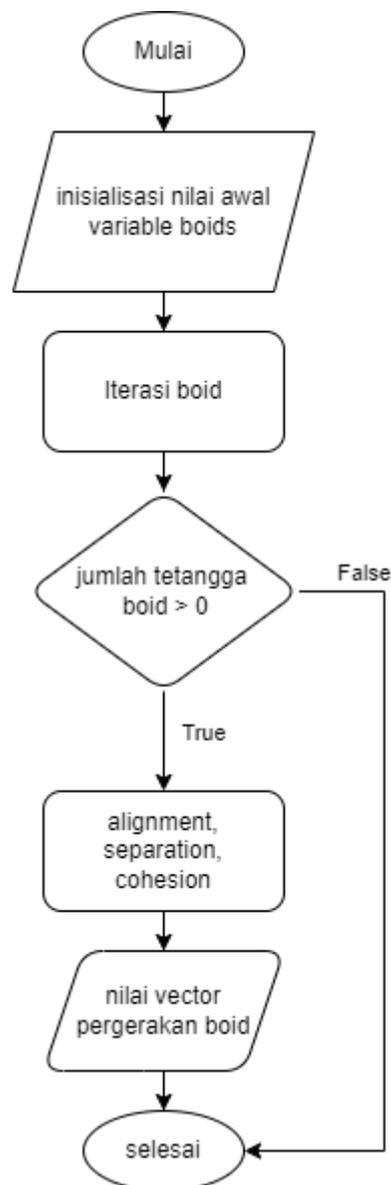
Pada gambar 3.3, rancangan FSM pada NPC akan menjalankan *state Evacuate Themselves* ketika kondisi gedung sedang terjadi kebakaran, dalam state tersebut NPC akan menjalankan state *Move slowly* jika NPC berdekatan dengan NPC tetangga, *output* yang akan diberikan berupa NPC akan berjalan pelan. *State Move faster* akan dijalankan ketika NPC jauh dari tetangga, menghasilkan *output* berupa NPC akan bergerak lebih cepat untuk menyesuaikan dengan kecepatan tetangga. Jika NPC terhalang oleh sebuah *obstacle*, NPC menjalankan *state Turn Right* untuk berbelok ke kanan, tetapi jika NPC tidak bisa berbelok ke kanan karena sudah mencapai batas jalan yang bisa dilalui, NPC menjalankan state *Turn Left* untuk belok ke kiri. Ketika gedung tidak terjadi kebakaran maka *state* yang dijalankan adalah *idle*. Ketika NPC sedang menjalankan *state Evacuate Themselves* dan pemain sedang diluar radius NPC, *state* yang dijalankan adalah *Waiting Player to go the right way*. Sedangkan ketika pemain sedang dalam radius NPC, *state* yang dijalankan adalah *run*.

3.2.2 Implementasi Boids

Algoritma *boids* dalam *game* simulasi kebakaran ini digunakan untuk mensimulasikan pergerakan berkelompok pada NPC penghuni gedung FST UIN Malang. Ketika *game* dimulai, NPC akan muncul pada posisi acak di berbagai ruangan gedung dengan nilai kecepatan yang berbeda-beda. Pergerakan NPC dipengaruhi oleh tiga aturan utama algoritma *boids* yaitu *separation*, *alignment*, dan *cohesion*.

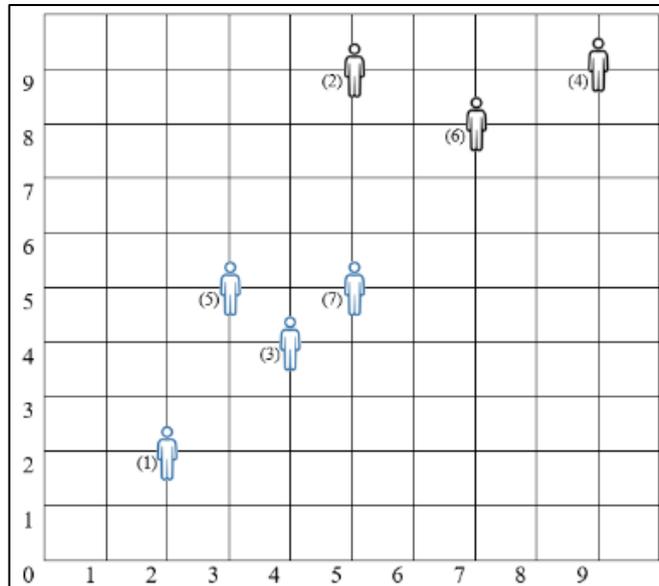
Berdasarkan *flowchart* pada gambar 3.4, *boids* diimplementasikan dengan proses pertama adalah memberikan nilai awal pada variabel-variabel *boids*.

Kemudian pada proses iterasi *boids*, untuk setiap *boids* yang berada dalam radius jarak tetangga akan mengakumulasi nilai posisi, tujuan, jumlah *boids*, dan jarak kedalam variable *boids*. Setelah itu terdapat kondisi dimana jika jumlah *boids* yang berada dalam radius jarak tetangga lebih dari nol maka nilai akumulasi posisi, tujuan, dan jarak akan dibagi dengan jumlah *boids*. Kemudian dari kondisi tersebut akan dihasilkan nilai vektor yang nantinya akan digunakan untuk pergerakan *boids*.



Gambar 3. 4 Flowchart *boids*

Berikut merupakan contoh kasus dari algoritma *boids*:



Gambar 3. 5 Peta pesebaran NPC *booid*

Peta pada gambar 3.5 merupakan contoh kasus bersebaran NPC saat pertamakali muncul dalam *game*, dimana pada peta tersebut terdapat 4 NPC dengan kecepatan bergerak yang berbeda, berikut adalah variable kecepatan pada setiap NPC:

Kecepatan :

NPC1 = 3 *px/s*

NPC4 = 2 *px/s*

NPC7 = 2 *px/s*

NPC2 = 2 *px/s*

NPC5 = 3 *px/s*

NPC3 = 3 *px/s*

NPC6 = 4 *px/s*

Dalam contoh kasus ini NPC 3 diambil sebagai fokus utama sebagai agen yang akan menyelaraskan dengan tetangganya, dikarenakan NPC 3 merupakan NPC yang paling memenuhi syarat untuk dilakukan proses *boids*. Dari variabel tersebut dapat diambil data untuk dilakukan perhitungan *boids* berikut adalah tahapannya.

Diketahui:

$$\begin{aligned} V1 &= 3 \text{ px/s} \\ V2 &= 2 \text{ px/s} \\ V3 &= 3 \text{ px/s} \\ V4 &= 2 \text{ px/s} \\ V5 &= 3 \text{ px/s} \\ V6 &= 4 \text{ px/s} \\ V7 &= 2 \text{ px/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(P1, P3) &= 4 \text{ px} \\ d(P2, P3) &= 6 \text{ px} \\ d(P4, P3) &= 7 \text{ px} \\ d(P5, P3) &= 2 \text{ px} \\ d(P6, P3) &= 7 \text{ px} \\ d(P7, P3) &= 2 \text{ px} \\ d1 &= 5 \text{ px} \\ d2 &= 0 \text{ px} \end{aligned}$$

1. *Alignment Rule*

Aturan *alignment* digunakan untuk mengkoordinasikan perilaku *boids* untuk memiliki kemampuan pergerakan dengan menyelaraskan kecepatan pada *boids* disekitarnya. Proses perhitungan *alignment* dilakukan pada NPC3 dikarenakan memiliki jumlah gerombolan paling banyak dengan tetangganya adalah NPC1, NPC5, dan NPC7 menggunakan rumus persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

$$d(Px, Pb) \leq d1 \cap d(Px, Pb) \geq d2 \rightarrow \overrightarrow{Var} = \frac{1}{n} \sum_x^n \overrightarrow{Vx}$$

Sehingga didapatkan:

$$d(Px, Pb) \leq d1 \cap d(Px, Pb) \geq d2$$

$$NPC 1 : 4px \leq 5px \cap 4px \geq 0px$$

$$NPC 5 : 2px \leq 5px \cap 2px \geq 0px$$

$$NPC 7 : 2px \leq 5px \cap 2px \geq 0px$$

$$\overrightarrow{Var} = \frac{1}{n} \sum_x^n \overrightarrow{Vx}$$

$$Var = \frac{1}{3} V1 + V5 + V7$$

$$Var = \frac{1}{3}3 + 3 + 2$$

$$Var = \frac{1}{3}8 = 2.67px/s$$

Maka kecepatan NPC 3 yang awalnya adalah 3px/s berubah menjadi 2.67px/s.

2. *Separation Rule*

Aturan *separation* digunakan agar NPC dapat menghindari tabrakan dengan NPC tetangga terdekat ketika berada dalam kerumunan. Perhitungan *separation* dilakukan pada NPC3 dikarenakan memiliki jumlah gerombolan paling banyak dengan tetangganya adalah NPC1, NPC5, dan NPC7 menggunakan rumus persamaan 2.1 dan 2.3 sebagai berikut:

$$d(Px, Pb) \leq d1 \cap d(Px, Pb) \geq d2 \rightarrow \overrightarrow{Vsr} = \sum_x^n \frac{\overrightarrow{Vx} + \overrightarrow{Vb}}{d(Px, Pb)}$$

Sehingga didapatkan:

$$d(Px, Pb) \leq d1 \cap d(Px, Pb) \geq d2$$

$$NPC\ 1 : 4px \leq 5px \cap 4px \geq 0px$$

$$NPC\ 5 : 2px \leq 5px \cap 2px \geq 0px$$

$$NPC\ 7 : 2px \leq 5px \cap 2px \geq 0px$$

$$\overrightarrow{Vsr} = \sum_x^n \frac{\overrightarrow{Vx} + \overrightarrow{Vb}}{d(Px, Pb)}$$

$$Vsr = \frac{V5 + V3}{d(P5, P3)} + \frac{V1 + V3}{d(P1, P3)} + \frac{V7 + V3}{d(P7, P3)}$$

$$Vsr = \frac{3 + 3}{2} + \frac{3 + 3}{4} + \frac{2 + 3}{2}$$

$$V_{sr} = \frac{6}{2} + \frac{6}{4} + \frac{5}{2}$$

$$V_{sr} = \frac{12}{4} + \frac{6}{4} + \frac{10}{4}$$

$$V_{sr} = \frac{28}{4} = 7px/s$$

Maka kecepatan NPC 3 yang awalnya adalah 3px/s berubah menjadi 7px/s.

3. Cohesion Rule

Aturan *cohesion* digunakan untuk menyesuaikan sifat *boids* untuk dapat berpindah ke arah titik rata-rata gerombolan terdekatnya. Perhitungan *cohesion* dilakukan pada NPC3 dikarenakan memiliki jumlah gerombolan paling banyak dengan tetangganya adalah NPC1, NPC5, dan NPC7 menggunakan rumus persamaan 2.1 dan 2.4 sebagai berikut:

$$d(Px, Pb) \leq d1 \cap d(Px, Pb) \geq d2 \rightarrow P_{avg} = \sum_x^n \frac{Px}{n}$$

Sehingga didapatkan:

$$d(Px, Pb) \leq d1 \cap d(Px, Pb) \geq d2$$

$$NPC 1 : 4px \leq 5px \cap 4px \geq 0px$$

$$NPC 5 : 2px \leq 5px \cap 2px \geq 0px$$

$$NPC 7 : 2px \leq 5px \cap 2px \geq 0px$$

$$P_{avg} = \sum_x^n \frac{Px}{n}$$

$$P_{avg} = \frac{P5}{n} + \frac{P1}{n} + \frac{P7}{n}$$

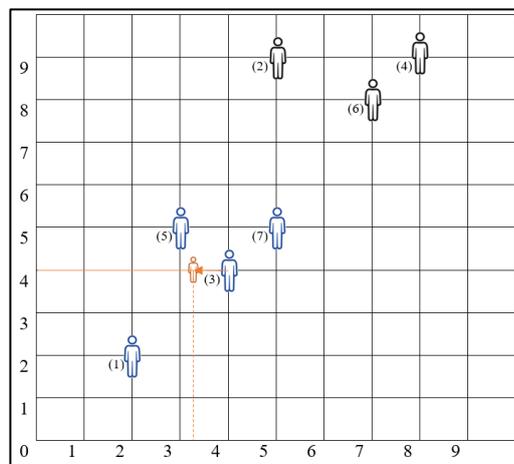
$$P_{avg} = \frac{(3,5)}{3} + \frac{(2,2)}{3} + \frac{(5,5)}{3}$$

$$P_{avg} = \frac{(10,12)}{3}$$

$$P_{avg} = (3.33,4)$$

Maka didapatkan NPC 3 akan berpindah menuju posisi rata-rata NPC tetangga terdekatnya yaitu ke titik (3.33,4), yang awalnya berada di titik (4,4).

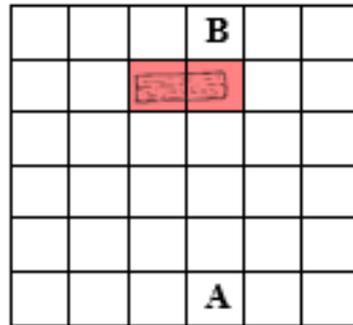
Berikut adalah visualisasi dari pergerakan NPC.



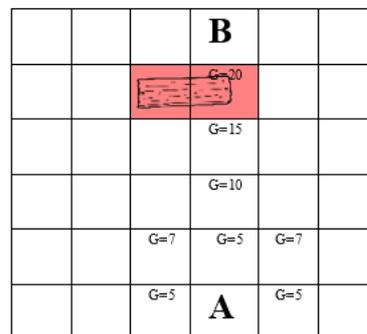
Gambar 3. 6 Hasil perhitungan *cohesion rule*

3.3.2 Implementasi Pathfinding

Pencari jalur atau yang lebih sering dikenal dengan *pathfinding*, digunakan sebagai penentu jalur NPC dengan rute terpendek dari posisi awal sampai posisi tujuan. Pada implementasinya *pathfinding* harus mengetahui wilayah untuk dilakukan proses identifikasi daerah yang dapat dilewati dan yang tidak dapat dilewati. Identifikasi wilayah tersebut dapat menggunakan *node*. Berikut adalah contoh kasus penerapan pencarian jalur:

Gambar 3. 7 Peta *pathfinding*

Peta pada Gambar 3.7 menunjukkan *node* yang berisi lokasi awal NPC berupa titik A, tujuan akhir NPC berupa titik B, serta hambatan berupa blok kayu. *Node* yang tidak dapat dilalui ditandai dengan warna merah. Dalam kasus ini, blok kayu dianggap sebagai hambatan sehingga diberi tanda merah pada *nodenya*. Setiap langkah yang dapat ditempuh oleh NPC diberi nilai G atau *cost*. Dalam kasus ini, setiap langkah vertikal dan horizontal diberi nilai 5, sedangkan langkah diagonal dihitung menggunakan rumus *Pythagoras* berdasarkan nilai horizontal dan vertikal, dengan hasil awal untuk langkah diagonal adalah: $\sqrt{(5^2 + 5^2)} = 7$. Hasil perhitungan nilai G ditampilkan pada gambar 3.8.

Gambar 3. 8 Tahap pertama *pathfinding*

Biaya estimasi perjalanan dari node ke tujuan akhir, yang dikenali sebagai *heuristic* dan disimbolkan sebagai "H", dihitung untuk beberapa node, hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.9.

| | | | | | |
|--|--|------|----------|------|--|
| | | | B | | |
| | | H=5 | | | |
| | | | H=10 | | |
| | | | H=15 | | |
| | | H=20 | H=20 | H=20 | |
| | | H=25 | A | H=25 | |

Gambar 3. 9 Tahap kedua *pathfinding*

Nilai total "F" pada setiap node diperoleh dari menjumlahkan nilai "G" dan "H". Hasil penjumlahan ini ditunjukkan pada gambar 3.10.

| | | | | | |
|--|--|------|----------|------|--|
| | | | B | | |
| | | F=25 | | | |
| | | | F=25 | | |
| | | | F=25 | | |
| | | F=27 | F=25 | F=27 | |
| | | F=30 | A | F=30 | |

Gambar 3. 10 Tahap ketiga *pathfinding*

Final cost yang dihasilkan oleh algoritma *pathfinding* digunakan untuk menentukan jalur optimal. Node dengan *final cost* terkecil ditandai sebagai *closed node*, sedangkan *final cost* untuk *node* yang akan diperiksa berasal dari *node* tetangga *close node*. Pada tahap inisiasi, hanya *node* tetangga yang diperiksa. *Node* yang dipilih sebagai *closed node* diberi tanda warna hijau. *Node* tetangga yang belum memiliki nilai "F" akan dihitung berdasarkan aturan algoritma *pathfinding*.

Proses ini kemudian mengulangi pencarian *node* dengan nilai "F" terkecil. *Node* yang sudah memiliki nilai "F" disebut *open node*.

| | | | | | |
|--|------|------|----------|------|------|
| | | | B | | |
| | F=33 | F=25 | F=25 | F=27 | F=33 |
| | F=32 | F=26 | F=25 | F=26 | F=32 |
| | F=32 | F=27 | F=25 | F=26 | F=32 |
| | F=33 | F=27 | F=25 | F=27 | F=33 |
| | F=50 | F=30 | A | F=30 | F=50 |

Gambar 3. 11 Tahap terakhir *pathfinding*

Seluruh *closed node* kemudian diseleksi untuk menentukan *path node* atau jalur. Penentuannya didasarkan pada nilai "F", "H", dan "G". Jika terdapat lebih dari satu tetangga *path node* dengan nilai "F" terkecil, maka nilai "H" dibandingkan. Jika nilai "H" juga sama, nilai "G" menjadi acuan. Apabila nilai "G" juga sama, maka *path node* akan bercabang. Jalur yang bercabang dihitung untuk total final cost-nya, kemudian dibandingkan untuk memilih nilai terkecil. Garis jalur yang dihasilkan dapat diilustrasikan sebagai berikut.

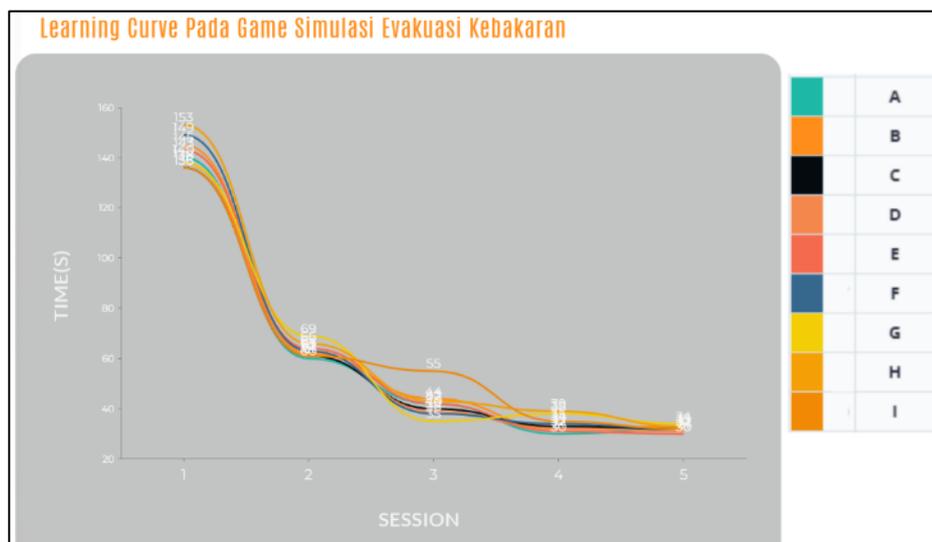
| | | | | | |
|--|------|------|----------|------|------|
| | | | B | | |
| | F=33 | F=25 | F=25 | F=27 | F=33 |
| | F=32 | F=26 | F=25 | F=26 | F=32 |
| | F=32 | F=27 | F=25 | F=26 | F=32 |
| | F=33 | F=27 | F=25 | F=27 | F=33 |
| | F=50 | F=30 | A | F=30 | F=50 |

Gambar 3. 12 Hasil akhir *pathfinding*

3.3 Desain Pengujian Sistem

3.3.1 Learning curves

Pada tahap ini, dilakukan pengujian menggunakan *learning curves* pada responden dengan kriteria merupakan orang yang belum mengenal gedung FST UIN Malang tersebut, seperti calon mahasiswa, tamu, maupun masyarakat yang kurang mengetahui akan penanganan yang harus dilakukan akan kebakaran di gedung khususnya gedung FST UIN Malang. Para responden diminta untuk menyelesaikan misi yang ada pada *game* dengan waktu tercepat. Responden juga diharuskan mengulangi permainan hingga 5 kali guna mendapatkan skor terbaik, skor tersebut akan dicatat pada *learning curves* sehingga menghasilkan kurva yang nantinya dapat dipakai sebagai pedoman apakah *game* tersebut layak untuk digunakan sebagai media simulasi yang efektif. Contoh dari hasil pengujian *learning curves* ditampilkan pada gambar 3.13 berikut:



Gambar 3. 13 *Learning curve*

3.3.2 System Usability Scale (SUS)

Pada tahap ini, dilakukan pengujian *usability testing* menggunakan SUS dilakukan pada responden dengan kriteria merupakan orang yang belum mengenal gedung FST UIN Malang tersebut seperti calon mahasiswa, tamu, maupun masyarakat yang kurang mengetahui akan penanganan yang harus dilakukan ketika terjadi kebakaran didalam gedung FST UIN Malang. Terdapat 5 skenario tugas yang ditampilkan dalam tabel 3.2.

Tabel 3. 2 *Task*

| No | Tugas |
|----|--|
| 1 | Menjalankan permainan |
| 2 | Menjelajahi gedung |
| 3 | Menjalankan misi |
| 4 | Mengikuti NPC untuk keluar dari gedung |
| 5 | Menghentikan permainan |

Penjelasan setiap tugas skenario yang telah dijabarkan pada tabel 3.2, secara terperinci dijabarkan sebagai berikut.

Tugas 1. Menjalankan permainan:

Responden diharuskan menekan tombol mulai permainan saat berada di dalam *scene main menu*. Setelah tombol mulai permainan diakifkan, tampilan utama *game* dapat dijalankan oleh responden.

Tugas 2. Menjelajah gedung:

Responden diminta untuk menjelajahi gedung FST UIN Malang dalam *game* untuk lebih mengenal denah yang ada pada gedung.

Tugas 3. Menjalankan misi:

Responden diminta untuk menjalankan misi yang ada pada *game* tersebut dimana misi tersebut adalah user harus keluar dari gedung dengan waktu yang ditentukan.

Tugas 4 mengikuti NPC untuk keluar dari gedung:

Responden diminta untuk mengikuti NPC yang bertujuan untuk memudahkan responden dalam menavigasi rute optimal untuk keluar dari gedung.

Tugas 5 menghentikan permainan:

Responden diminta untuk keluar dari program dengan menekan tombol *esc* pada keyboard atau menekan tombol keluar yang ada ketika berhasil keluar dari gedung.

Setelah responden menjalankan skenario tugas, Pertanyaan SUS diberikan pada responden dengan rincian pertanyaan ditampilkan pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Rancangan pertanyaan SUS

| No | Pertanyaan |
|-----|--|
| 1. | Saya pikir <i>game</i> ini mudah digunakan |
| 2. | Saya pikir <i>game</i> ini terlalu rumit |
| 3. | Saya menyukai <i>game</i> ini sehingga akan memainkannya berkali-kali |
| 4. | Saya menganggap tombol-tombol dari <i>game</i> ini berfungsi dengan baik |
| 5. | Menurut saya, <i>game</i> ini memiliki tampilan visual yang bagus |
| 6. | Saya bisa memahami pembelajaran yang ada pada <i>game</i> ini |
| 7. | Saya menganggap <i>game</i> ini rumit untuk dimainkan |
| 8. | Menurut saya kebanyakan orang akan belajar bermain <i>game</i> ini dengan sangat cepat |
| 9. | Saya merasa bisa memainkan <i>game</i> ini |
| 10. | Saya merasa perlu belajar banyak hal untuk dapat memainkan <i>game</i> ini |

Setiap pertanyaan SUS pada tabel 3.3 memiliki lima opsi nilai dengan skala penilaian terdiri dari 1 sampai 5. Skala penilaian tersebut dapat secara terperinci ditampilkan pada tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Skala penilaian SUS

| Nilai | Keterangan |
|-------|---------------------|
| 1 | Sangat Setuju |
| 2 | Setuju |
| 3 | Netral |
| 4 | Tidak Setuju |
| 5 | Sangat Tidak Setuju |

Kemudian ketika semua responden selesai menjawab semua pertanyaan maka akan dilakukan proses perhitungan skor SUS menggunakan rumus 3.1.

$$\begin{aligned}
 \text{skor SUS} = & ((Q1 - 1) + (5 - Q2) + (Q3 - 1) + (5 - Q4) \\
 & + (Q5 - 1) + (5 - Q6) + (Q7 - 1) + (5 - Q8) \quad (3.1) \\
 & + (Q9 - 1) + (5 - Q10)) * 2.5
 \end{aligned}$$

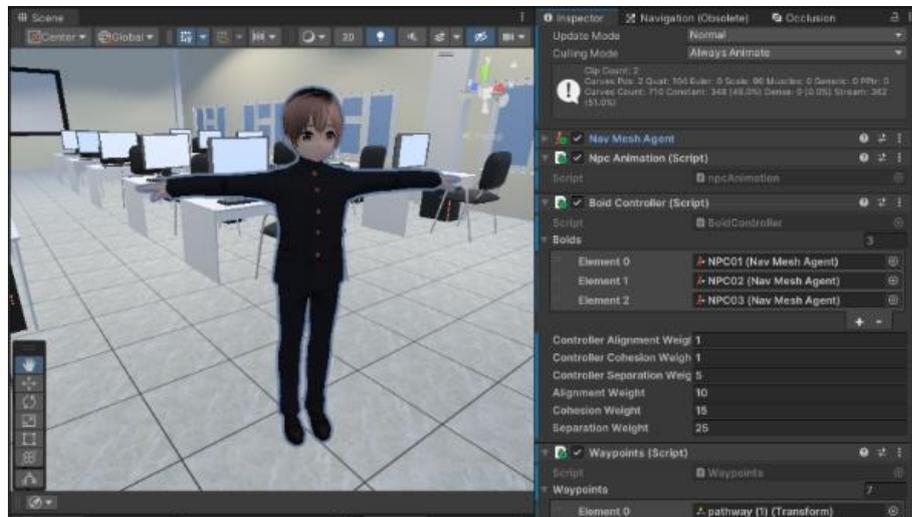
Setelah skor SUS didapatkan, hasil dari skor tersebut dapat direpresentasikan dalam bentuk huruf dengan skala F hingga A.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan pada NPC saat skenario kebakaran dijalankan dengan menggunakan algoritma *Boids* yang didukung dengan *Pathfinding*. Sistem dibangun sesuai dengan desain yang telah dirancang menggunakan bahasa pemrograman C#. Sistem yang telah dibuat pada penelitian ini dikembangkan pada *hardware* dengan spesifikasi sebagai berikut: prosessor *Ryzen 5 3500U*, *RAM 12 GB*. Sedangkan *software* yang digunakan sebagai berikut: sistem operasi *windows 11 64 Bit*, *Blender 3.6.0*, dan *Unity 2022.3.9f1*.



Gambar 4. 1 *Game object boids leader script*

Gambar 4.1 menunjukkan script *BoidsController*, ditambahkan pada *gameobject* NPC Leader yang diasumsikan sebagai NPC yang bertugas sebagai pemimpin dari gerombolan NPC *boids*. *Script* utama yang digunakan pada penelitian ini adalah *script Boids* dan *script BoidsController*, dimana *script Boids*

digunakan sebagai perhitungan dari algoritma *boids* dan script *BoidsController* digunakan untuk mengatur perilaku pergerakan NPC *boids*. Pergerakan NPC dipengaruhi oleh komponen algoritma *boids* berupa *alignment*, *cohesion*, dan *separation* yang ditentukan dengan mengatur tingkat bobot dari setiap komponen algoritma *boids* pada script *BoidsController*.

4.1.1 Implementasi Antarmuka *Game*

1. Tampilan menu utama

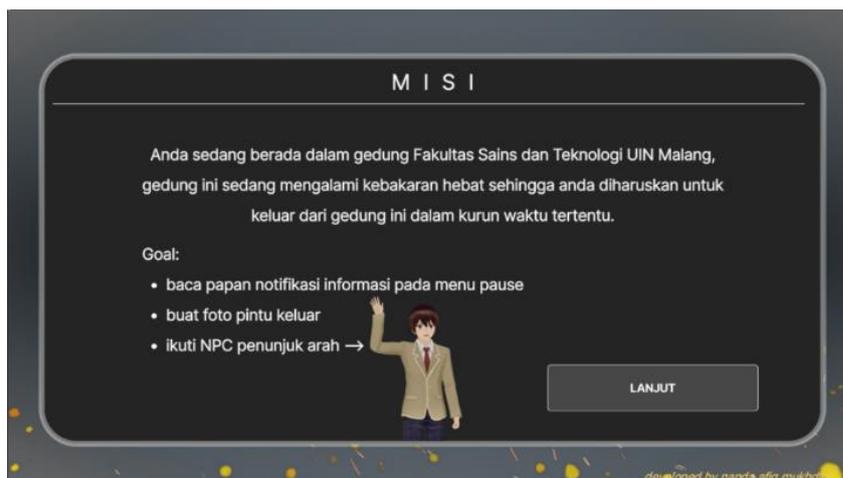
Ketika pertamakali permainan dijalankan, sistem menampilkan menu utama yang terdiri dari *Start Game*, *Informasi*, *Setting*, dan *Keluar*. Ketika pemain menekan tombol *Start Game* maka scene yang dijalankan adalah *scene inGame*. Tombol Informasi digunakan untuk menampilkan halaman informasi *game* yang diperlukan untuk mengetahui kontrol yang digunakan pada *game*. Kemudian menu *Setting* digunakan untuk mengatur volume music dan suara visual *effect* dalam *game*, sedangkan untuk tombol keluar digunakan untuk mengakhiri permainan. Hasil dari implementasi tampilan menu utama ditampilkan pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4. 2 Tampilan menu utama

2. Tampilan Misi

Tampilan misi akan dijalankan ketika pemain akan masuk pada tampilan bermain pada *game*. Tampilan misi pada gambar 4.3 menyajikan skenario perintah yang harus dilakukan pemain untuk dapat menyelesaikan *game*.



Gambar 4. 3 Tampilan misi

3. Tampilan *Gameplay*

Tampilan *HUD* atau tampilan *ingame* yang disajikan pada gambar 4.4, merupakan tampilan visual saat skenario permainan sedang berlangsung. Tampilan ini menggunakan sudut pandang pertama yang memungkinkan pemain untuk melihat lingkungan permainan secara langsung dari perspektif karakter yang dimainkan. Kontrol karakter yang dimainkan menggunakan tombol W,A,S,D untuk pergerakan, *Space* untuk melompat, dan *Shift* untuk berlari. Selain itu, tombol *Esc* dapat digunakan untuk menampilkan menu *ingame setting*. Ketika menu ini diaktifkan, permainan akan secara otomatis dijeda, sehingga dapat memberikan pemain waktu untuk melakukan penyesuaian tanpa gangguan.



Gambar 4. 4 Tampilan HUD

4.1.2 Implementasi Perhitungan *Boids*

Implementasi perhitungan *Boids*, dilakukan menggunakan bahasa pemrograman C# pada aplikasi *Unity*. Tahapan yang dilakukan adalah proses perhitungan *Cohesion*, *Separation*, *Alignment*, dan penggabungan ketiga komponen algoritma *Boids* tersebut. Berikut adalah proses perhitungannya :

1. *Cohesion*

Pseudocode 4.1 Cohesion

```

FUNCTION CalculateCohesion(boids, current_position):
    cohesion_vector = Vector3.zero
    FOR EACH boids IN boids:
        cohesion_vector = cohesion_vector + boids.position
    END FOR
    cohesion_vector = cohesion_vector / boids.length
    cohesion_vector = cohesion_vector - current_position
    RETURN ClampMagnitude(cohesion_vector, maxSpeed)
END FUNCTION

```

Pseudocode 4.1 digunakan untuk kalkulasi pergerakan NPC *boids* agar dapat bergerak menuju rata-rata kerumunannya. vektor *cohesion* diterapkan dengan menghitung posisi rata-rata dari semua NPC yang digunakan untuk menentukan pusat massa dari kelompok NPC. Dari data tersebut dilakukan kalkulasi untuk

mengarahkan NPC bergerak menuju pusat kelompok. Untuk mencegah NPC bergerak terlalu cepat menuju pusat massa, digunakan fungsi *ClampMagnitude* yang membatasi kecepatan maksimal NPC saat bergerak.

2. Separation

Pseudocode 4.2 Separation

```

FUNCTION CalculateSeparation(boids, current_position,
separationDistance):
    separation_vector = Vector3.zero
    separation_count = 0
    FOR EACH boids IN boids:
        distance = (current_position - boids.position).magnitude
        IF distance < separationDistance:
            separation_vector = separation_vector +
(current_position - boids.position) / distance
            separation_count = separation_count + 1
        END IF
    END FOR
    IF separation_count > 0:
        separation_vector = separation_vector / separation_count
    END IF
    RETURN ClampMagnitude(separation_vector, maxSpeed)
END FUNCTION

```

Perhitungan *separation* pada *pseudocode 4.2* bertujuan untuk menjaga jarak antar NPC *boids* guna menghindari tabrakan antar NPC lainnya. Proses perhitungan dilakukan dengan menghitung jarak antar posisi NPC saat ini dengan NPC tetangga terdekat. Jika jarak NPC tetangga terdekat terlalu dekat, maka dilakukan kalkulasi untuk mengarahkan NPC untuk menjauh. Pergerakan ini didistribusikan pada seluruh NPC *boids* secara proporsional. Fungsi *ClampMagnitude* juga diterapkan pada tahapan ini.

3. Alignment

Pseudocode 4.3 Alignment

```

FUNCTION CalculateAlignment(boids):
    alignment_vector = Vector3.zero
    FOR EACH boids IN boids:
        alignment_vector = alignment_vector + boids.velocity
    END FOR

```

```

alignment_vector = alignment_vector / boids.length
RETURN ClampMagnitude(alignment_vector, maxSpeed)
END FUNCTION

```

Tahapan *alignment* digunakan untuk mengarahkan NPC *boids* agar dapat menyesuaikan arah dan kecepatan dengan NPC tetangga yang ditunjukkan pada *pseudocode 4.3*. Proses perhitungan dilakukan dengan mencari vektor rata-rata kecepatan dari semua *boids*. Vektor tersebut akan mengarahkan NPC *boids* untuk menyesuaikan arah dan kecepatan mereka agar sesuai dengan NPC tetangga, sehingga menciptakan pergerakan yang lebih terkoordinasi dalam kelompok. Fungsi *ClampMagnitude* digunakan untuk membatasi kecepatan maksimum NPC.

4. Calculate Velocity

Pseudocode 4.4 Calculate Velocity

```

FUNCTION CalculateVelocity():
    velocity = Vector3.zero
    boids = Physics.OverlapSphere(transform.position,
    cohesionRadius)

    cohesion = CalculateCohesion(boids, transform.position)
    separation = CalculateSeparation(boids, transform.position,
    separationDistance)
    alignment = CalculateAlignment(boids)

    velocity = velocity + cohesion + separation * 10 + alignment
* 1.5
    velocity = ClampMagnitude(velocity, maxSpeed)
END FUNCTION

```

Kalkulasi *velocity* digunakan untuk menghitung vektor kecepatan akhir NPC *boids* berdasarkan interaksi dengan NPC tetangga. Fungsi ini dijalankan dengan memanggil semua vektor hasil kalkulasi *cohesion*, *separation*, dan *alignment*. Kemudian vektor tersebut digabungkan untuk menentukan seberapa besar pengaruh setiap aspek terhadap kecepatan akhir NPC *boids*.

4.2 Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari sistem yang telah dikembangkan. Pengujian ini dirancang untuk menguji sejauh mana implementasi *boids* pada NPC mampu mengatasi hambatan, tabrakan antar NPC waktu tempuh, tabrakan antar NPC, dan efektifitas sistem dalam memberikan pengenalan simulasi bencana kebakaran.

4.2.1 Uji Coba Pergerakan Kelompok

Pengujian tabrakan antar NPC dilakukan dengan menggunakan 3 skenario berbeda, dengan rentang waktu pengujian terhitung sejak NPC pertama kali bergerak hingga tiba pada titik terakhir pergerakan. Setiap skenario melibatkan jumlah NPC yang bervariasi, dengan salah satu NPC diantaranya ditugaskan sebagai *leader* atau pemimpin dari gerombolan NPC *boids*. Data koordinat NPC dicatat untuk mengevaluasi jarak antar NPC. Fungsi deteksi tabrakan diterapkan menggunakan komponen *rigidbody* dan *collider* pada setiap NPC untuk mengidentifikasi apakah terjadi tabrakan selama pengujian berlangsung.

1. Skenario 1 (3 NPC)

Tabel 4. 1 Skenario 1 pengujian NPC

| Detik ke- | <i>Leader</i> | | NPC1 | | NPC2 | | Tabrakan antar NPC |
|-----------|---------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------------------|
| | X | Z | X | Z | X | Z | |
| 1 | 35.29 | 16.55 | 14.68 | 18.12 | 42.86 | 30.44 | tidak ada |
| 2 | 37.26 | 12.92 | 18.2 | 16.34 | 42.3 | 26.56 | tidak ada |
| 3 | 39.04 | 9.01 | 27.68 | 12.09 | 40.64 | 16.6 | tidak ada |
| 4 | 40.24 | 1.25 | 37.73 | 9.46 | 43.79 | 7.96 | tidak ada |
| 5 | 42.09 | -10.68 | 42.82 | 10.63 | 43.75 | 4.77 | tidak ada |
| 6 | 43.93 | -22.51 | 43.66 | 5.9 | 41.27 | -3.41 | tidak ada |
| 7 | 45.77 | -34.35 | 43.89 | -5.36 | 42.45 | -15.27 | tidak ada |
| 8 | 47.62 | -46.25 | 44.81 | -17.37 | 44.24 | -27.18 | tidak ada |
| 9 | 49.45 | -58.09 | 46.08 | -29.28 | 46.15 | -39.01 | tidak ada |

| Detik ke- | Leader | | NPC1 | | NPC2 | | Tabrakan antar NPC |
|-----------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------------------|
| | X | Z | X | Z | X | Z | |
| 10 | 51.3 | -69.99 | 47.56 | -41.23 | 48.08 | -50.9 | tidak ada |
| 11 | 53.15 | -81.86 | 49.17 | -53.14 | 50 | -62.75 | tidak ada |
| 12 | 54.98 | -93.7 | 50.85 | -65 | 51.89 | -74.58 | tidak ada |
| 13 | 56.73 | -104.94 | 52.59 | -76.88 | 53.77 | -86.44 | tidak ada |
| 14 | 59.73 | -105.41 | 54.87 | -88.6 | 55.4 | -98.2 | tidak ada |
| 15 | 70.08 | -105.42 | 54.78 | -100.5 | 53.5 | -109.82 | tidak ada |
| 16 | 82.09 | -105.42 | 59.64 | -108.63 | 56.05 | -117.04 | tidak ada |
| 17 | 94.05 | -105.43 | 68.29 | -109.76 | 62.35 | -117.32 | tidak ada |
| 18 | 106 | -105.43 | 79.8 | -107.11 | 73.22 | -113.71 | tidak ada |
| 19 | 118 | -105.42 | 91.72 | -105.76 | 84.93 | -111.14 | tidak ada |
| 20 | 127.6 | -105.39 | 103.81 | -105.14 | 96.92 | -109.51 | tidak ada |
| 21 | 126.94 | -101.17 | 115.66 | -104.35 | 108.66 | -107.48 | tidak ada |
| 22 | 125.22 | -90.25 | 127.23 | -106.4 | 120.46 | -107.09 | tidak ada |
| 23 | 123.35 | -78.38 | 135.3 | -103.22 | 128.65 | -101.27 | tidak ada |
| 24 | 121.49 | -66.52 | 136.13 | -96.81 | 129.56 | -92.23 | tidak ada |
| 25 | 119.62 | -54.66 | 131.68 | -86.45 | 125.53 | -81.12 | tidak ada |
| 26 | 117.75 | -42.74 | 127.69 | -75.07 | 122.41 | -69.47 | tidak ada |
| 27 | 115.9 | -31.01 | 124.48 | -63.65 | 119.98 | -57.85 | tidak ada |
| 28 | 114.03 | -19.17 | 121.7 | -51.99 | 117.87 | -46.04 | tidak ada |
| 29 | 112.17 | -7.31 | 119.2 | -40.25 | 115.94 | -34.2 | tidak ada |

Pengujian sistem yang disajikan pada Tabel 4.1 dilakukan selama 29 detik yang berlangsung sejak pertamakali NPC bergerak hingga mencapai titik terakhir tujuan, pengujian dilakukan pada 3 NPC dengan 1 diantaranya ditugaskan sebagai pemimpin dari pergerakan kelompok. Hasil pengujian menggunakan deteksi tabrakan pada komponen *collider* NPC menunjukkan bahwa tidak ada tabrakan yang terjadi di antara NPC selama pengujian. Data titik koordinat mengindikasikan bahwa jarak antar NPC cukup aman dan tidak terlalu berdekatan, sehingga mendukung hasil pengujian tersebut.

2. Skenario 2 (5 NPC)

Tabel 4. 2 Skenario 2 pengujian NPC

| Detik ke - | Leader | | NPC1 | | NPC2 | | NPC3 | | NPC4 | | Tabrakan antar NPC |
|------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------------------|
| | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | |
| 1 | 35.29 | 16.55 | 14.68 | 18.12 | 42.86 | 30.44 | 28.73 | 23.98 | 41.19 | 18.59 | Tidak ada |
| 2 | 37.26 | 12.93 | 18.05 | 16.07 | 42.06 | 26.74 | 33.53 | 14.83 | 37.86 | 10.86 | Leader dengan NPC4 |
| 3 | 39.11 | 8.87 | 27 | 11.28 | 40.08 | 16.89 | 40.6 | 8.96 | 39.41 | 6.72 | Tidak ada |
| 4 | 40.37 | 1.2 | 37.1 | 9.12 | 43.8 | 7.41 | 44.73 | 6.8 | 38.89 | 5.66 | NPC 1 dengan NPC3 |
| 5 | 42.22 | -10.81 | 43.58 | 10.37 | 45.17 | 2.5 | 44.17 | -1.07 | 38.44 | -1.94 | Tidak ada |
| 6 | 44.04 | -22.62 | 45.22 | 5.77 | 43 | -7.08 | 44.34 | -13.14 | 40.64 | -13.79 | Tidak ada |
| 7 | 45.88 | -34.59 | 45.25 | -5.46 | 43.71 | -19.17 | 45.41 | -25.03 | 42.39 | -25.54 | Tidak ada |
| 8 | 47.71 | -46.44 | 45.87 | -17.42 | 45.22 | -31.06 | 46.94 | -36.9 | 44.18 | -37.3 | Tidak ada |
| 9 | 49.54 | -58.31 | 46.93 | -29.39 | 47.04 | -42.93 | 48.69 | -48.8 | 45.98 | -49.07 | Tidak ada |
| 10 | 51.38 | -70.21 | 48.26 | -41.35 | 48.93 | -54.82 | 50.49 | -60.49 | 47.78 | -60.68 | Tidak ada |
| 11 | 53.18 | -81.94 | 49.73 | -53.13 | 50.79 | -66.54 | 52.32 | -72.34 | 49.6 | -72.48 | Tidak ada |
| 12 | 55.02 | -93.85 | 51.33 | -65.07 | 52.67 | -78.44 | 54.16 | -84.15 | 51.42 | -84.24 | Tidak ada |
| 13 | 56.74 | -105.03 | 53 | -76.96 | 54.52 | -90.3 | 57.02 | -95.56 | 54.11 | -95.75 | Tidak ada |
| 14 | 59.83 | -105.41 | 55.99 | -88.39 | 56.8 | -101.78 | 57.1 | -106.99 | 54.2 | -107.29 | Tidak ada |
| 15 | 70.25 | -105.42 | 56.68 | -100.27 | 55.38 | -113.33 | 60.76 | -114.14 | 56.9 | -113.41 | Tidak ada |
| 16 | 70.25 | -105.42 | 61.94 | -108.27 | 57.25 | -119.79 | 67.35 | -114.09 | 64.34 | -113.15 | Tidak ada |
| 17 | 94.25 | -105.43 | 70.94 | -109.24 | 63.61 | -120 | 77.61 | -110.25 | 75.29 | -109.64 | Tidak ada |
| 18 | 106.36 | -105.43 | 82.66 | -106.56 | 74.62 | -116.13 | 85.69 | -106.62 | 76.24 | -104.77 | Tidak ada |
| 19 | 118.16 | -105.42 | 94.4 | -105.56 | 86.1 | -113.47 | 94.85 | -104.66 | 77.99 | -101.27 | Tidak ada |
| 20 | 127.6 | -105.38 | 106.53 | -105.26 | 98.1 | -111.71 | 103.55 | -101.13 | 79.01 | -95.54 | Tidak ada |
| 21 | 126.88 | -100.84 | 118.34 | -104.18 | 109.61 | -108.75 | 112.56 | -98.9 | 83.65 | -91.27 | Tidak ada |
| 22 | 125.13 | -89.7 | 130.1 | -104.78 | 121.25 | -106.26 | 122.39 | -92.44 | 93.68 | -85.32 | Tidak ada |
| 23 | 123.26 | -77.78 | 137.71 | -100.23 | 128.82 | -98.38 | 125.67 | -81.91 | 101.59 | -77.05 | Tidak ada |
| 24 | 121.41 | -66.01 | 138.02 | -92.74 | 128.92 | -87.9 | 123.18 | -70.1 | 108.65 | -67.98 | Tidak ada |
| 25 | 119.54 | -54.13 | 133.48 | -81.95 | 125.51 | -76.37 | 121.06 | -58.17 | 113.7 | -57.37 | Tidak ada |
| 26 | 117.67 | -42.27 | 129.41 | -70.66 | 122.82 | -64.67 | 119.21 | -46.31 | 114.68 | -45.25 | Tidak ada |
| 27 | 115.8 | -30.37 | 125.71 | -59.2 | 120.28 | -52.9 | 117.23 | -34.5 | 113.65 | -32.85 | Tidak ada |
| 28 | 113.93 | -18.5 | 122.44 | -47.64 | 117.98 | -41.11 | 114.96 | -22.63 | 111.91 | -20.36 | Tidak ada |
| 29 | 112.07 | -6.69 | 119.58 | -36.03 | 115.9 | -29.34 | 112.93 | -10.71 | 110.83 | -8.17 | Tidak ada |
| 30 | 110.2 | 5.12 | 117.01 | -24.36 | 113.94 | -17.54 | 111.17 | 0.8 | 108.39 | 3.62 | Tidak ada |

Pengujian sistem pada Tabel 4.2 dilakukan selama 30 detik yang berlangsung sejak pertamakali NPC bergerak, hingga tiba di titik terakhir tujuan. Pengujian dilakukan pada 5 NPC dengan 1 diantaranya ditugaskan sebagai pemimpin dari pergerakan kelompok. Hasil dari pengujian menggunakan deteksi tabrakan pada komponen *collider* NPC mengindikasikan terdapat tabrakan antar NPC terjadi sebanyak 2 kali. Data titik koordinat mengindikasikan bahwa jarak antar NPC cenderung berdekatan ketika dalam kondisi akan berbelok, sedangkan pada pergerakan statis jarak antar NPC tidak terlalu berdekatan.

3. Skenario 3 (7 NPC)

Tabel 4.3 Skenario 3 pengujian NPC

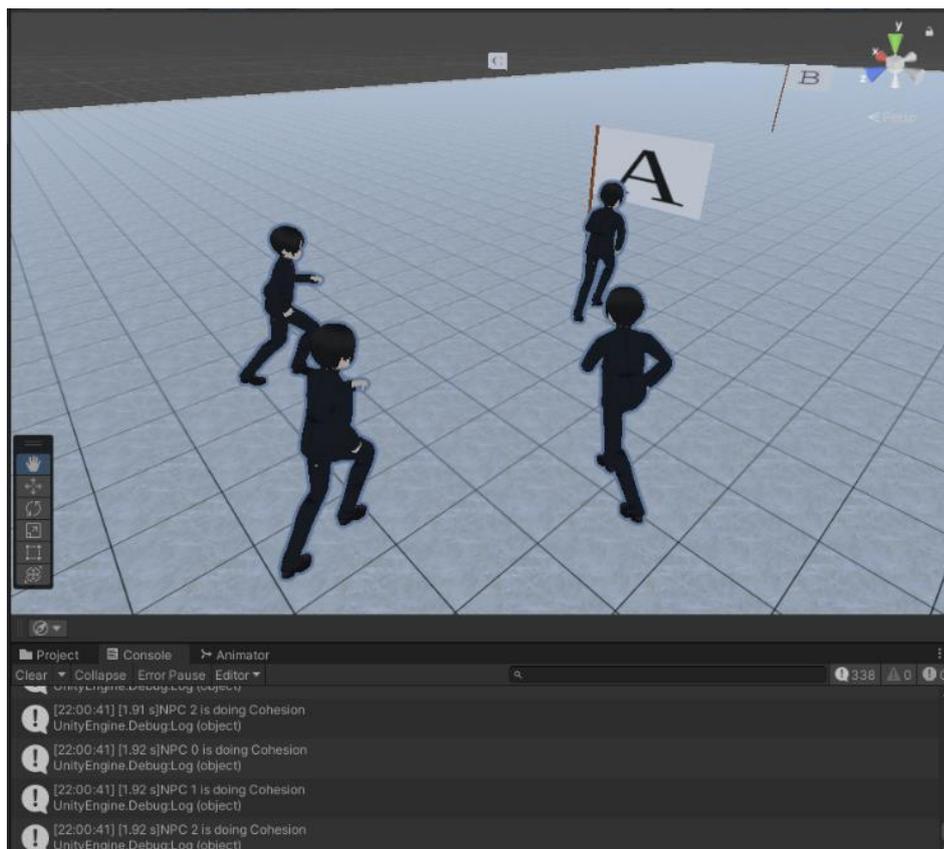
| Detik ke- | NPC Leader | | NPC1 | | ... | NPC6 | | Tabrakan antar NPC |
|-----------|------------|-------|--------|--------|-----|--------|--------|--------------------|
| | X | Z | X | Z | ... | X | Z | |
| 1 | 35.29 | 16.55 | 14.68 | 18.12 | ... | 22.92 | 31.35 | Tidak ada |
| 2 | 37.26 | 12.92 | 18.11 | 16.15 | ... | 28.34 | 22.25 | NPC4 dengan Leader |
| 3 | 39.23 | 8.59 | 27.51 | 11.63 | ... | 36.64 | 14.16 | Tidak ada |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | 112.03 | -6.45 | 117.45 | -35.75 | ... | 117.06 | -22.32 | Tidak ada |
| 30 | 110.16 | 5.39 | 115.2 | -24.06 | ... | 115.01 | -10.53 | Tidak ada |
| 31 | 109.7 | 8.3 | 113.02 | -12.36 | ... | 113.9 | 1.15 | Tidak ada |

Pengujian sistem pada Tabel 4.3, dilakukan selama 31 detik yang berlangsung sejak pertamakali NPC bergerak hingga tiba di titik terakhir tujuan. Pengujian dilakukan pada 3 NPC dengan 1 diantaranya ditugaskan sebagai pemimpin dari pergerakan kelompok. Hasil dari pengujian menggunakan deteksi tabrakan pada komponen NPC *collider* mengindikasikan tabrakan antar NPC terjadi sebanyak 8 kali. Analisis data titik koordinat menunjukkan bahwa jarak antar

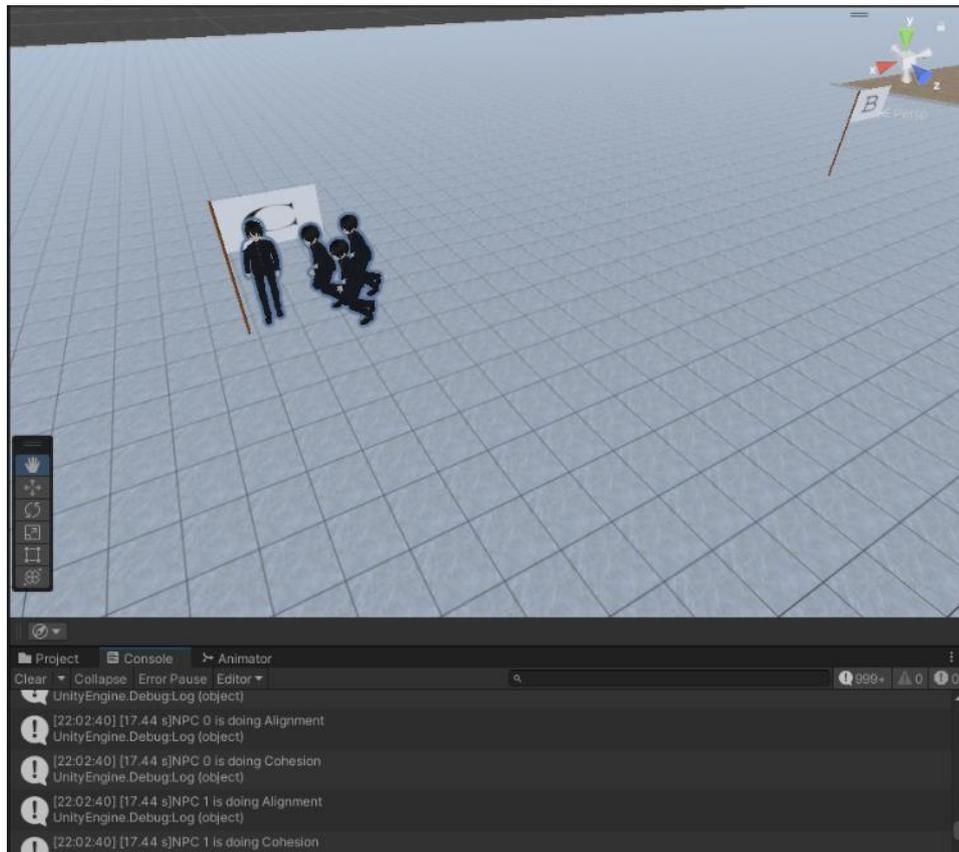
NPC cenderung berdekatan, terutama saat NPC berada di area belokan. Namun, setelah melewati belokan, jarak antar NPC cenderung tidak terlalu dekat.

4.2.2 Uji Coba Algoritma Boids

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah komponen *alignment*, *cohesion*, dan *separation* berfungsi sesuai dengan aturan yang ditetapkan dalam algoritma *boids*. Durasi pengujian ditentukan berdasarkan waktu pergerakan NPC, dimulai sejak awal pergerakan hingga mencapai titik tujuan akhir. Kondisi awal NPC saat memulai pergerakan ditampilkan pada gambar 4.5, sementara kondisi akhir NPC setelah mencapai tujuan ditampilkan pada gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Kondisi awal pengujian



Gambar 4. 6 Kondisi akhir pengujian

Terdapat 3 titik yang ditandai oleh bendera A, B, dan C. Bendera A merupakan titik awal pergerakan NPC, bendera B merupakan titik tujuan NPC yang pertama, dan bendera C merupakan titik tujuan akhir NPC. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Uji algoritma *boids*

| Detik ke- | Leader | | NPC1 | | | NPC2 | | | NPC3 | | |
|-----------|--------|--------|-------|--------|------|-------|--------|------|--------|--------|------|
| | X | Z | X | Z | Ket. | X | Z | Ket. | X | Z | Ket. |
| 1 | 36.45 | 22.48 | 21.36 | 26.91 | C | 47.89 | 36.56 | C | 31.62, | 40.29 | C |
| 2 | 38.52 | 11.86 | 30.54 | 22.18 | A | 43.16 | 27.38 | C | 34.55, | 29.97 | C |
| 3 | 39.40 | 7.85 | 37.17 | 12.88 | A | 42.28 | 16.37 | A | 36.26, | 17.88 | A |
| 4 | 41.68 | -1.47 | 37.29 | 2.96 | A | 40.99 | 7.27 | A | 36.12, | 7.26 | A |
| 5 | 44.53 | -13.1 | 39.49 | -1.46 | A | 41.41 | 3.25 | A | 37.75, | 1.96 | A |
| 6 | 47.29 | -24.35 | 43.98 | -9.8 | A | 44.52 | -5.5 | A | 41.66, | -7.47 | A |
| 7 | 50.24 | -36.42 | 46.82 | -21.89 | A | 47.04 | -17.49 | S | 44.90, | -19.47 | S |

| Detik ke- | Leader | | NPC1 | | | NPC2 | | | NPC3 | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|---------|--------|------|
| | X | Z | X | Z | Ket. | X | Z | Ket. | X | Z | Ket. |
| 8 | 53.07 | -47.99 | 49.62 | -33.47 | C | 49.67 | -28.91 | S | 47.87, | -30.97 | S |
| 9 | 55.95 | -59.74 | 52.48 | -45.22 | S | 52.42 | -40.47 | S | 50.83, | -42.63 | C |
| 10 | 57.96 | -63.2 | 55.40 | -56.46 | C | 55.89 | -51.59 | C | 53.79, | -53.83 | C |
| 11 | 66.00 | -63.21 | 55.50 | -67.67 | A | 55.55 | -62.78 | A | 53.75, | -65.19 | C |
| 12 | 78.26 | -63.22 | 55.15 | -74.82 | C | 53.90 | -71.46 | A | 52.40, | -73.78 | A |
| 13 | 90.19 | -63.22 | 59.95 | -75.72 | A | 57.53 | -73.89 | A | 55.92, | -76.24 | A |
| 14 | 102.29 | -63.22 | 70.38 | -72.2 | A | 67.03 | -71.19 | A | 65.40, | -74.52 | A |
| 15 | 114.32 | -63.22 | 82.00 | -69.14 | A | 78.66 | -68.13 | S | 77.06, | -71.59 | A |
| 16 | 126.14 | -63.2 | 93.72 | -67.09 | C | 90.37 | -66.05 | A | 88.79, | -69.58 | S |
| 17 | 127.60 | -63.2 | 105.5, | -65.07 | C | 102.15 | -63.78 | A | 100.62, | -67.59 | A |
| 18 | 127.60 | -63.2 | 117.33 | -63.04 | S | 114.00 | -61.82 | C | 112.47, | -65.5 | A |

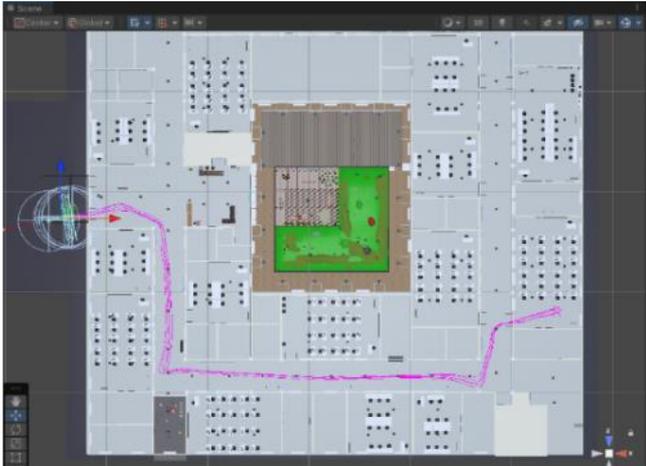
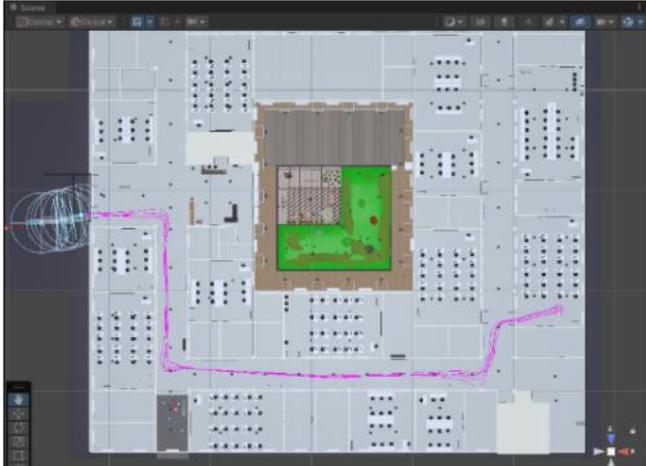
Pada tabel 4.4 terdapat 3 variabel pengujian yaitu variabel X merupakan koordinat sumbu X NPC, variabel Z merupakan koordinat sumbu Z NPC, dan variabel ket menjelaskan kondisi yang sedang dijalankan oleh NPC. Keterangan A merupakan *alignment*, C merupakan *cohesion*, dan S merupakan *separation*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap komponen algoritma *boids* berfungsi sesuai dengan kondisi yang dihadapi oleh NPC. Komponen *alignment* diaktifkan ketika NPC berada dalam rute tetap, dimana NPC menyelaraskan kecepatan dan arah gerakan dengan NPC disekitarnya, kemudian komponen *separation* bekerja ketika NPC terlalu dekat dengan NPC tetangga, maka rute pergerakan NPC secara otomatis berubah untuk menjauh, dan komponen *cohesion* berjalan ketika NPC terlalu jauh dari gerombolan dengan bergerak menuju gerombolan terdekat.

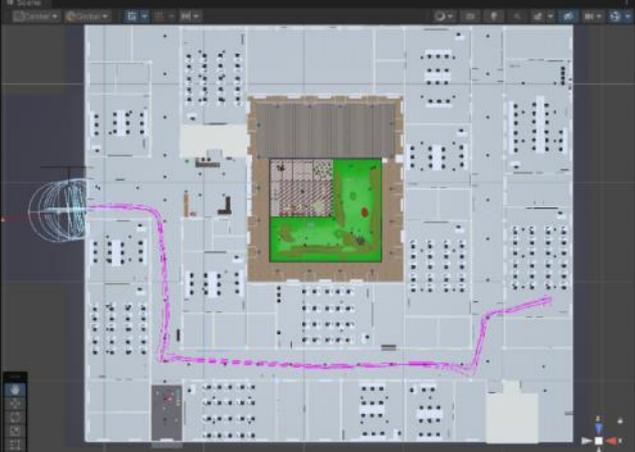
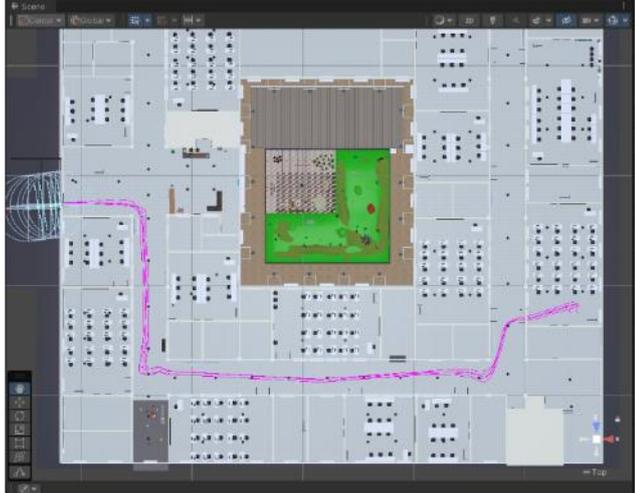
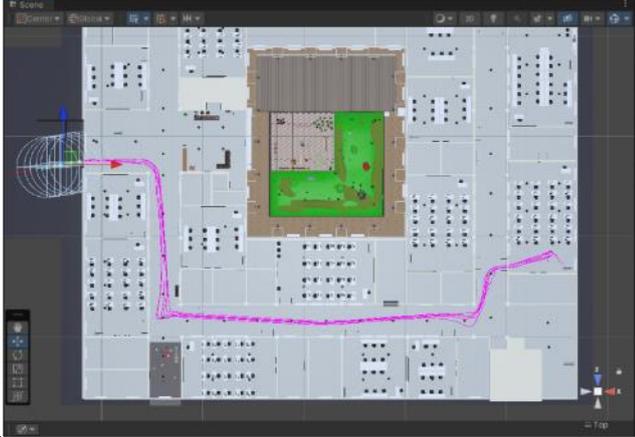
4.2.3 Pemilihan rute NPC

Penentuan rute NPC dijalankan berdasarkan komponen *pathfinding* yang telah diintegrasikan kedalam algoritma *boids*. Penentuan rute oleh *pathfinding*

ditujukan agar NPC dapat bergerak secara statis atau dinamis dalam memilih jalur evakuasi tercepat. Pathfinding diintegrasikan pada algoritma *boids* sehingga NPC diharapkan dapat mempertimbangkan untuk menghindari halangan, menyesuaikan arah, dan dapat berinteraksi dengan NPC tetangga untuk menghindari terjadinya tabrakan. Pengujian pemilihan rute dilakukan sebanyak 5 kali percobaan pada 6 NPC dengan 1 NPC diantaranya ditugaskan sebagai NPC pemandu, rute yang telah dilewati oleh NPC ditandai dengan adanya jejak berwarna magenta, hasil dari pengujian ditunjukkan pada tabel 4.5.

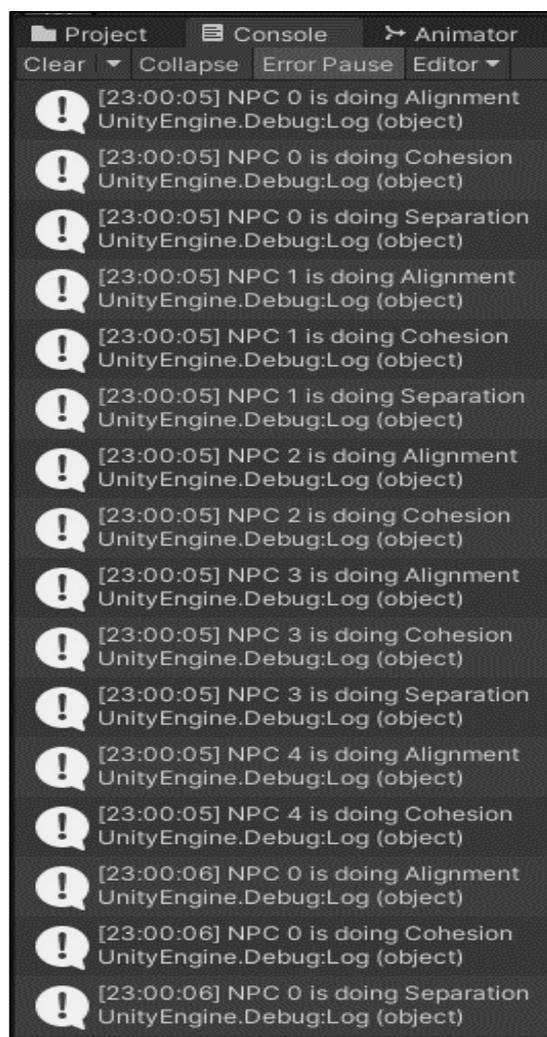
Tabel 4. 5 Pemilihan rute NPC

| Pengujian ke- | Hasil pengujian | Waktu tempuh |
|---------------|--|--------------|
| 1 |  | 71.05 detik |
| 2 |  | 72.25 detik |

| Pengujian ke- | Hasil pengujian | Waktu tempuh |
|---------------|--|--------------|
| 3 |  | 68.62 detik |
| 4 |  | 68.35 detik |
| 5 |  | 69.92 detik |

Berdasarkan pengujian pada tabel 4.5, pengujian menunjukkan bahwa NPC berhasil melalui jalur evakuasi tercepat dengan mempertimbangkan komponen

algoritma *boids* berupa *Cohesion*, *Alignment*, dan *separation*. Selama percobaan, setiap komponen algoritma *boids* diuji untuk memastikan fungsinya berjalan dengan semestinya. Pada skenario kebakaran dalam gedung, pengujian ditampilkan pada gambar 4.7 yang menampilkan debug log NPC sedang dalam kondisi menjalankan proses *alignment*, *cohesion*, atau *separation* sesuai dengan yang diharapkan.



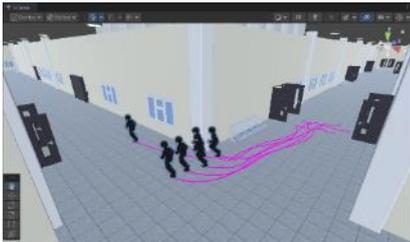
Gambar 4. 7 Debug log pengujian

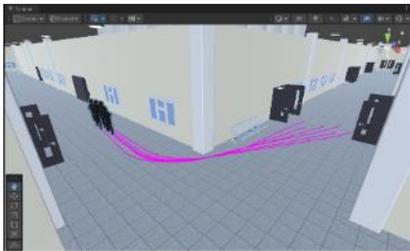
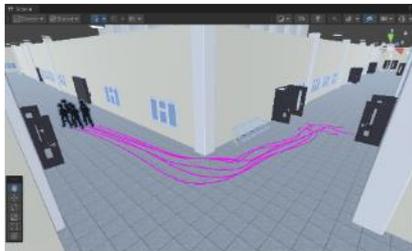
Berdasarkan pengujian pada tabel 4.5 dan gambar 4.7, dapat disimpulkan bahwa perilaku *alignment* pada gerombolan NPC cenderung terjadi saat mereka bergerak mengikuti rute statis. Sementara itu, perilaku *separation* rata rata terjadi saat NPC akan melewati rute berbelok, dimana NPC secara aktif menghindari tetangga terdekat. Sedangkan perilaku *cohesion* rata-rata muncul ketika NPC selesai melewati rute berbelok dengan kembali menuju kelompok terdekat.

4.2.4 Perbandingan pergerakan NPC

Pada tahapan ini pengujian dilakukan untuk membandingkan pergerakan NPC dengan dan tanpa algoritma *boids*, pengujian dilakukan dalam 2 tahap. Pada tahapan pertama, pergerakan NPC diuji dengan menggunakan *pathfinding*. Pada tahap kedua, algoritma *boids* ditambahkan dengan mengintegrasikan *pathfinding* kedalam *boids*. Dari kedua tahapan tersebut hasil pergerakan NPC dibandingkan.

Tabel 4. 6 Perbandingan pergerakan NPC

| Kondisi | <i>Pathfinding</i> | <i>Pathfinding + Boids</i> |
|--------------|--|--|
| NPC start | -  | -  |
| NPC berbelok | NPC berbelok dengan merebutkan jalur tercepat  | NPC berbelok dengan mempertimbangkan NPC tetangga disekitarnya  |

| Kondisi | <i>Pathfinding</i> | <i>Pathfinding + Boids</i> |
|--------------------|---|--|
| Titik terakhir NPC | Tingkat kepadatan NPC terpusat di area yang sempit  | Tingkat kepadatan NPC tidak terpusat di area yang sempit  |

Pada tabel 4.6, hasil pengujian pergerakan NPC menggunakan pathfinding, menunjukkan bahwa gerombolan NPC bergerak secara tidak teratur yang menyebabkan tingkat kepadatan tinggi di area yang sempit. Sedangkan, pada penambahan komponen *boids*, gerombolan NPC menunjukkan pola pergerakan yang lebih teratur yang dibuktikan dari kemampuan NPC untuk berbelok dengan memperhatikan jarak antar NPC tetangganya. Dengan adanya komponen *boids*, distribusi kepadatan NPC menjadi lebih merata di area yang lebih luas sehingga, potensi tabrakan akan berkurang.

4.2.5 Analisis pergerakan NPC

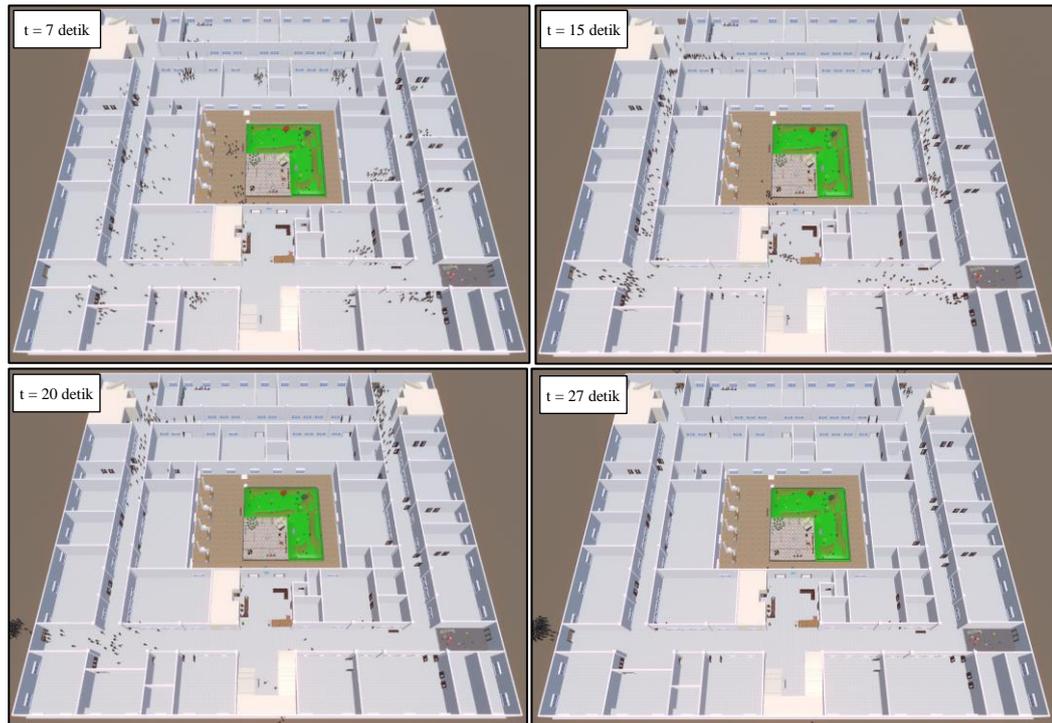
Untuk menguji performa pergerakan NPC dalam skenario evakuasi, dilakukan pengujian dengan kondisi kepadatan penghuni gedung yang mendekati situasi sebenarnya. Berdasarkan hasil observasi melalui wawancara dan penelusuran dokumen, diketahui bahwa jumlah penghuni ruang lab berkisar antara 15–25 orang, ruang staff dan dosen sebanyak 2–10 orang, sedangkan area kantin sebanyak 30–40 orang. Berdasarkan data tersebut, skenario pengujian dirancang dengan jumlah NPC yang merepresentasi penghuni setiap ruangan pada kondisi

dilapangan guna mendapatkan hasil sekenario kepadatan penghuni gedung yang mendekati keadaan sebenarnya dengan detail rincian jumlah NPC disetiap ruangan dijelaskan pada tabel

Tabel 4. 7 Demografi pesebaran NPC

| No | Area | Jumlah NPC |
|-------|-----------------------------------|------------|
| 1 | Kantor Dekan fakultas | 10 |
| 2 | Kantor PD II dan Kalab | 15 |
| 3 | Kantor PD I dan II | 15 |
| 4 | Kantor Administrasi Fakultas | 15 |
| 5 | Ruang Sidang Fakultas | 10 |
| 6 | Perpustakaan Fakultas | 15 |
| 7 | Kantor Ketua Jurusan Biologi | 10 |
| 8 | Kantor Administrasi Biologi | 10 |
| 9 | Ruang Dosen Biologi | 15 |
| 10 | Lab Biokimia Selatan | 15 |
| 11 | Lab Mikrobiologi | 20 |
| 12 | Lab Kultur Jaringan dan Fisiologi | 25 |
| 13 | Lab Fisiologi Hewan | 20 |
| 14 | Lab Biosistematik | 20 |
| 15 | Lab Biologi Dasar | 25 |
| 16 | Lab Biologi Utara | 25 |
| 17 | Lab Biologi Molekuler | 20 |
| 18 | Lab Riset dan Genetik | 25 |
| 19 | Lab Ekologi | 20 |
| 20 | Lab Ekologi | 25 |
| 21 | Lab Komputasi Fisika | 15 |
| 22 | Lab Elektronika Fisika | 20 |
| 23 | Lab Elektronika dan Instrumentasi | 5 |
| 24 | Area Kantin | 40 |
| Total | | 435 |

Berdasarkan tabel 4.7, pesebaran NPC pada pengujian performa pergerakan NPC dalam skenario evakuasi kebakaran pada ruang kantor berkisar antara 10-15 NPC, ruang sidang 10 NPC, ruang perpustakaan 15 NPC, ruang dosen 15 NPC, ruang laboriorium 15-25 NPC. Area kantin 40 NPC. Total dari NPC yang telah disebar pada peta lantai 1 FST UIN Malang sebanyak 435 NPC dengan hasil pengujian ditampilkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Analisis skenario pergerakan *realtime*

Berdasarkan gambar 4.8 pengujian dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk seluruh NPC keluar dari gedung, dengan catatan t adalah waktu. Hasil dari pengujian didapatkan NPC mulai keluar dari ruangan asal pada detik ke-7 hingga detik ke-15. Selanjutnya, pada detik ke-20 hingga detik ke-27, NPC secara keseluruhan berada pada lorong gedung, dan bergerak menuju pintu keluar terdekat. Seluruh NPC berhasil keluar dari gedung dengan total waktu selama 29 detik.

4.3 Pengujian *User*

Pada penelitian ini, pengujian *user* digunakan untuk mengukur nilai *usability* pada *game* simulasi kebakaran FST UIN Malang. Pengujian user dilakukan menggunakan *learning curves* dan SUS. *Learning curves* digunakan untuk mengukur performa game berdasarkan interaksi responden berdasarkan aspek *learnability*, sedangkan SUS digunakan untuk mengukur keseluruhan tingkat

usability NPC yang telah diimplementasikan dengan algoritma *boids*.

4.3.1 Pengujian Learning curves

Pengujian menggunakan *learning curves*, dilakukan guna mengetahui tingkat *learnability* oleh responden dengan kriteria merupakan orang yang belum mengenal gedung FST UIN dan kurang mengetahui akan penanganan yang harus dilakukan akan kebakaran di gedung FST UIN Malang. Demografi responden *learning curves* ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Profil responden *learning curves*

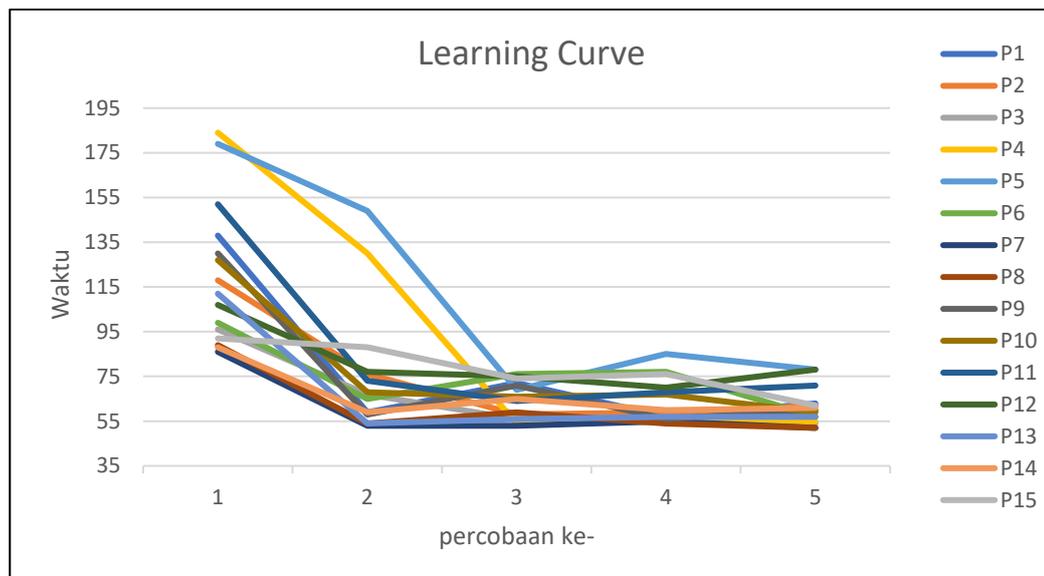
| Profesi | Jumlah |
|----------------------------------|--------|
| Mahasiswa non UIN Malang | 8 |
| Mahasiswa baru UIN Malang | 1 |
| Mahasiswa UIN Malang non saintek | 1 |
| <i>Freelancer</i> | 3 |
| Wiraswasta | 1 |

Dalam pengujian ini, Responden diminta untuk memainkan *game* sebanyak 5 kali dengan waktu seminimal mungkin. Pengujian *learning curves* dilakukan dengan membandingkan variabel X yang merepresentasikan jumlah percobaan dengan variabel Y yang menunjukkan catatan waktu yang didapatkan untuk menyelesaikan *game* simulasi kebakaran FST UIN Malang. Tabel 4.9 menunjukkan Data yang didapat berdasarkan pengujian *learning curves* oleh responden.

Tabel 4. 9 Data pengujian *learning curves*

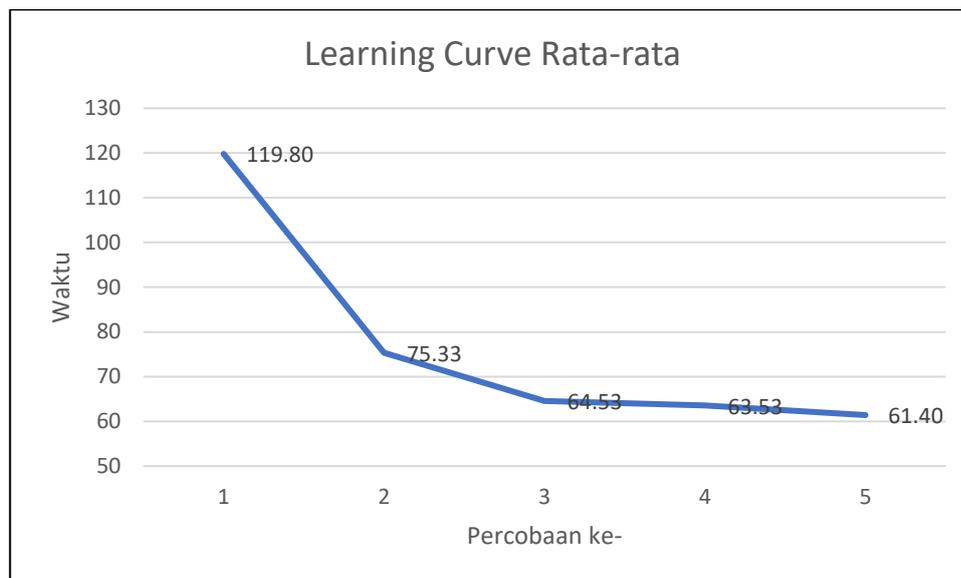
| Pemain /percobaan ke- | Waktu (detik) | | | | |
|--------------------------|---------------|-----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| P1 | 138 | 59 | 72 | 57 | 63 |
| P2 | 118 | 76 | 58 | 59 | 62 |
| P3 | 96 | 67 | 56 | 57 | 54 |
| P4 | 184 | 130 | 54 | 55 | 55 |
| P5 | 179 | 149 | 69 | 85 | 78 |
| P6 | 99 | 65 | 76 | 77 | 57 |

| Pemain /percobaan ke- | Waktu (detik) | | | | |
|--------------------------|---------------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| P7 | 86 | 53 | 53 | 55 | 52 |
| P8 | 89 | 54 | 59 | 54 | 52 |
| P9 | 130 | 58 | 71 | 56 | 60 |
| P10 | 127 | 68 | 66 | 67 | 59 |
| P11 | 152 | 73 | 64 | 68 | 71 |
| P12 | 107 | 77 | 75 | 70 | 78 |
| P13 | 112 | 54 | 56 | 57 | 57 |
| P14 | 88 | 59 | 65 | 60 | 61 |
| P15 | 92 | 88 | 74 | 76 | 62 |
| Rata-rata | 119.8 | 75.3 | 64.5 | 63.5 | 61.4 |



Gambar 4. 9 *Learning curves* responden

Dari data pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.8, kemudian ditampilkan pada grafik *learning curves* pada gambar 4.9. Grafik *learning curves* mengindikasikan adanya penurunan dari percobaan pertama ke percobaan berikutnya. Analisis *learning curves* secara keseluruhan dihitung berdasarkan nilai rata-rata dari hasil *learning curves* sebelumnya sehingga didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 10 *Learning curves* rata-rata responden

Grafik *learning curves* rata-rata pada gambar 4.10 menunjukkan penurunan signifikan pada pengujian kedua dengan catatan waktu rata-rata 75,33 detik, dibandingkan dengan pengujian pertama dengan catatan waktu rata-rata selama 119.8 detik, hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh (Peniche et al., 2011) yang menyimpulkan bahwa grafik *learning curves* mengalami penurunan pada percobaan kedua setelah melakukan 7 kali percobaan, yang mengindikasikan bahwa pengguna dapat mengembangkan keterampilan dengan lebih cepat. Sehubungan dengan penelitian yang telah diuji, dapat dikatakan responden cenderung lebih cepat dalam memperoleh keterampilan yang diperlukan untuk mengambil keputusan dalam melewati jalur paling efisien pada simulasi evakuasi kebakaran.

4.3.2 Pengujian Usability

Pengujian *usability*, dilakukan untuk mengukur tingkat *usability* dan mengidentifikasi masalah dan kesulitan yang mungkin ada pada algoritma *boids*.

Pengujian *usability* diujikan oleh responden dengan kriteria merupakan penghuni gedung FST UIN Malang, demografi responden *usability* ditampilkan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Profil responden *usability*

| Profesi | Jumlah |
|-------------------------------|--------|
| Mahasiswa FST UIN Malang | 15 |
| Staff FST UIN Malang | 1 |
| Satpam FST UIN Malang | 2 |
| Petugas kantin FST UIN Malang | 3 |

Berdasarkan tabel 4.9 responden *usability* yang didapatkan berjumlah 21 orang dengan rincian 15 orang merupakan Mahasiswa, 1 staff, 2 satpam, dan 3 petugas kantin FST UIN Malang. Pengujian *usability* dilakukan menggunakan instrumen SUS yang dikembangkan oleh Brooke dengan rincian pertanyaan *usability* ditampilkan pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Pertanyaan *usability* untuk responden

| No | Pertanyaan | Kategori |
|----|--|-----------------------------------|
| 1. | Saya pikir saya ingin menggunakan sistem ini dalam simulasi evakuasi kebakaran | <i>Satisfaction</i> |
| 2. | Saya merasa terdapat bagian dari sistem yang kompleks dan tidak diperlukan | <i>Efficiency</i> |
| 3. | Saya pikir sistem ini mudah digunakan. | <i>Learnability</i> |
| 4. | Saya pikir saya memerlukan dukungan teknisi untuk dapat menjalankan sistem ini. | <i>Learnability</i> |
| 5. | Saya menemukan berbagai fungsi dalam sistem ini berjalan dengan baik. | <i>Satisfaction</i> |
| 6. | Saya pikir ada terlalu banyak ketidakkonsistenan dalam sistem ini. | <i>Error</i> |
| 7. | Saya membayangkan kebanyakan orang akan mudah menggunakan sistem untuk mengarahkan jalur evakuasi. | <i>Memorability</i> |
| 8. | Saya merasa sistem ini sangat rumit untuk digunakan. | <i>Learnability</i> |
| 9. | Saya merasa sangat yakin menggunakan sistem ini. | <i>Satisfaction, Memorability</i> |
| 10 | Saya perlu mempelajari banyak hal sebelum dapat menjalankan/memahami sistem ini. | <i>Learnability</i> |

Pertanyaan *usability* ditampilkan pada tabel 4.10 yang diujikan sebanyak 10 pertanyaan, dengan setiap pertanyaan memiliki aspek *usability* yang berbeda. Pertanyaan dengan urutan ganjil akan ditempatkan pertanyaan bertipe positif, sedangkan pertanyaan dengan urutan genap akan ditempatkan pertanyaan bertipe negatif.

4.3.3 Analisis Usability

Analisis *usability* dilakukan dengan mencatat hasil penilaian yang didapatkan dari 21 responden yang mengacu pada pertanyaan *usability* pada tabel 4.10. Setiap pertanyaan dinilai berdasarkan skala *usability* yang memungkinkan responden memberikan evaluasi terhadap tingkat kepuasan atau efektivitas algoritma boids berdasarkan pengalaman penggunaan responden. Skala penilaian memiliki rentang nilai 1-5 yang merujuk pada tabel 3.4, hasil dari skala penilaian *usability* yang diberikan oleh responden ditampilkan pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Skor *input* responden

| Responden | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| R1 | 4 | 2 | 5 | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 |
| R2 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| R3 | 5 | 2 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 1 |
| R4 | 4 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 2 | 5 | 2 |
| R5 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| R6 | 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 5 | 1 | 5 | 2 |
| R7 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 1 | 3 | 3 |
| R8 | 4 | 3 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 4 | 2 |
| R9 | 5 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| R10 | 5 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| R11 | 5 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| R12 | 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| R13 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 |
| R14 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 |
| R15 | 3 | 2 | 5 | 2 | 5 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| R16 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 |
| R17 | 4 | 2 | 4 | 3 | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| R18 | 5 | 3 | 5 | 1 | 5 | 2 | 5 | 1 | 5 | 2 |
| R19 | 3 | 2 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 |
| R20 | 4 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 |
| R21 | 4 | 2 | 5 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 |

Perhitungan SUS merujuk pada persamaan 3.1, bobot untuk setiap pertanyaan mempunyai aturan yaitu; pertanyaan dengan urutan ganjil, nilai dari setiap pertanyaan dihitung dari nilai jawaban yang dipilih dikurangi 1, sedangkan untuk pertanyaan dengan urutan genap, skor didapatkan dengan pengurangan nilai 5 dengan skor jawaban oleh responden.

Untuk mendapatkan hasil akhir, skor SUS dijumlahkan dan dikalikan dengan 2,5. Kemudian dilakukan penjumlahan seluruh skor SUS setiap responden dan membaginya dengan jumlah seluruh responden untuk mencari nilai rata-rata menggunakan rumus 4.1, dengan keterangan \bar{x} adalah skor rata-rata, $\sum x$ adalah jumlah skor SUS, dan n merupakan jumlah seluruh responden.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (4.1)$$

Hasil perhitungan skor akhir SUS diperoleh dengan mengalikan setiap hasil skor SUS dengan 2.5, dari hasil tersebut nilai rata-rata dihitung. Berdasarkan perhitungan akhir skor SUS didapatkan sebesar 83.6 yang ditampilkan pada tabel 4.13.

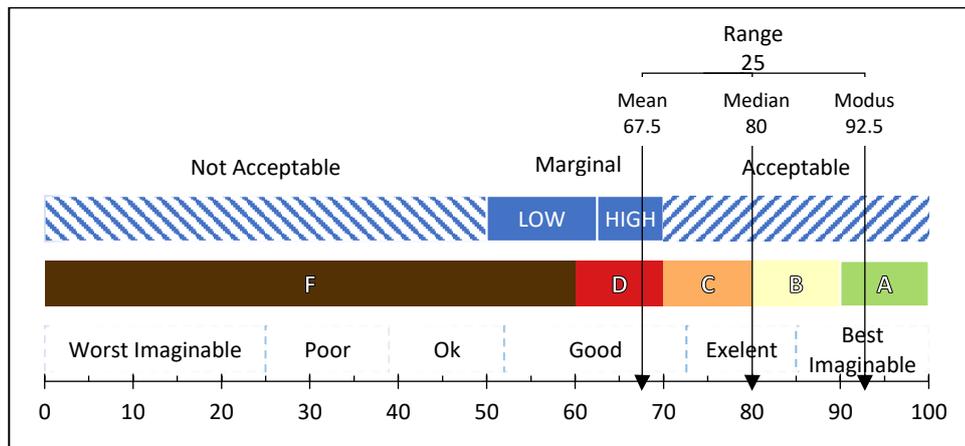
Tabel 4. 13 Konversi perhitungan SUS

| Responden | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Total | SUS (*2.5) |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-------|------------|
| R1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 35 | 87.5 |
| R2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 31 | 77.5 |
| R3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 35 | 87.5 |
| R4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 31 | 77.5 |
| R5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 30 | 75 |
| R6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 35 | 87.5 |
| R7 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 28 | 70 |
| R8 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 32 | 80 |
| R9 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 35 | 87.5 |
| R10 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 35 | 87.5 |
| R11 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 32 | 80 |
| R12 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 33 | 82.5 |
| R13 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 27 | 67.5 |
| R14 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 36 | 90 |
| R15 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 32 | 80 |

| Responden | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Total | SUS (*2.5) |
|-----------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------------|
| R16 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 27 | 67.5 |
| R17 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 30 | 90 |
| R18 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 36 | 80 |
| R19 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 30 | 75 |
| R20 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 | 30 | 75 |
| R21 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 32 | 80 |
| Rata-rata | 3.1 | 3 | 3.3 | 2.9 | 3.3 | 3.1 | 3.5 | 3.1 | 3.2 | 3 | 32 | 80 |

Hasil perhitungan menggunakan SUS pada tabel 4.13, yang mengacu pada tabel pertanyaan 4.11, menunjukkan bahwa rata-rata pertanyaan yang memiliki skor terendah adalah Q4 dengan nilai rata-rata 2.9. Skor tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar responden menyadari perlunya dukungan teknisi untuk memahami sistem pada algoritma *boids* yang diimplementasikan pada NPC. Sedangkan untuk pertanyaan dengan rata-rata skor tertinggi adalah Q7, dengan nilai rata-rata 3.5, menandakan bahwa kebanyakan pemain merasa terbantu oleh NPC *boids* untuk mengambil keputusan terkait jalur yang seharusnya dilewati (Karami et al., 2024).

Penentuan *grade* hasil penilaian dilakukan menggunakan dua cara, pertama *Acceptability ranges*, *Adjective ratings*, dan *Grade scale*. *Grade scale* terdiri dari 5 skala yaitu A, B, C, D, F dengan keterangan skala tertinggi adalah A, sedangkan untuk skala terendah adalah F. Untuk *acceptability ranges* merupakan tingkat penerimaan terhadap sistem terdiri dari tiga kategori, yaitu *not acceptable*, *marginal* dan *acceptable*, *Adjective ratings* merupakan penentuan tingkat *usability* yang digambarkan kedalam kata sifat yang terdiri dari *worst imaginable*, *poor*, *ok*, *good*, *excellent*, dan *best imaginable*. Skor tersebut ditampilkan pada gambar 4.10 sebagai berikut:

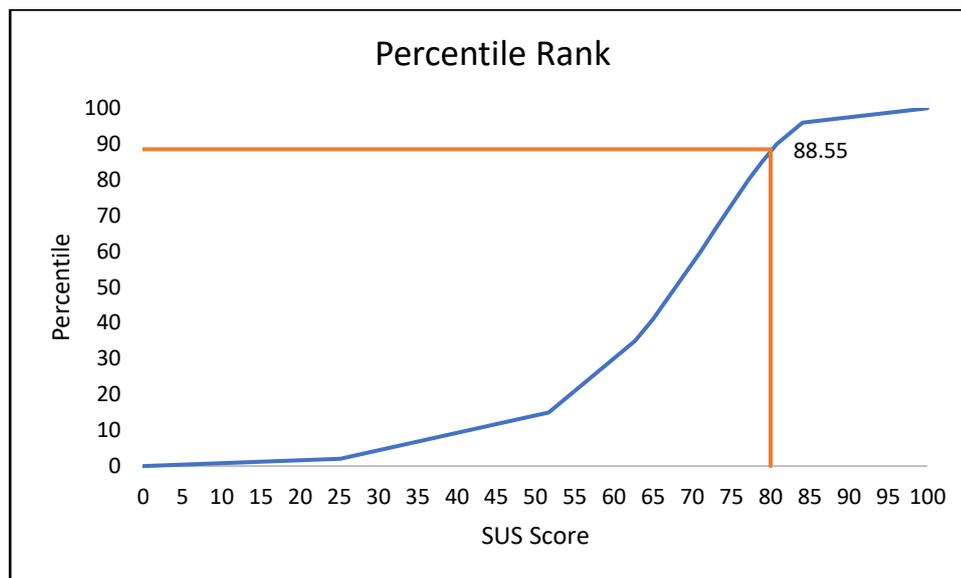


Gambar 4. 11 Penilaian SUS

Berdasarkan gambar 4.11 didapatkan hasil penilaian sebagai berikut:

1. Hasil akhir skor SUS berdasarkan skala nilai termasuk ke dalam *grade B*, dikarenakan skor SUS-nya sebesar 80.
2. Hasil akhir skor yang didapatkan berdasarkan skala penerimaan, *game* yang dibuat termasuk ke dalam kategori *Acceptable*, yang mana *game* simulasi kebakaran FST UIN Malang ini dapat diterima secara umum oleh masyarakat.
3. Hasil akhir skor berdasarkan skala peringkat, *game* yang dibuat termasuk dalam kategori *Exelent*.

Kemudian tahapan terakhir adalah penentuan skor *Percentile rank*, yang menunjukkan skor SUS kedalam bentuk peringkat dengan format presentase pada grafik kurva *sauro*. Hasil skor SUS untuk peringkat *percentile rank* yang disajikan pada gambar 4.11.



Gambar 4. 12 Skor *percentile rank* SUS

Berdasarkan gambar 4.12, hasil yang diperoleh dari *percentile rank* sebesar 88.33%, menandakan bahwa produk dapat diterima dengan baik oleh responden. Hasil skor SUS sebesar 80, menandakan bahwa sistem tergolong layak untuk digunakan sebagai media edukasi evakuasi bencana kebakaran di gedung FST UIN Malang. Hal ini, sesuai dengan penelitian oleh (Vlachogianni & Tselios, 2022) yang menyatakan skor SUS rata-rata untuk kategori Multimedia adalah 76,43. Sehingga, dapat dikatakan pengujian usability pada NPC *boids* mendapatkan skor diatas rata-rata pengujian pada kategori multimedia.

4.4 Integrasi Sains dalam Islam

4.4.1 Muamalah Ma'a Allah SWT

Penelitian ini berfokus pada perilaku NPC dalam menghadapi situasi bencana kebakaran di dalam gedung pada *game* simulasi kebakaran FST UIN Malang. Dalam *game* ini, pemain diajarkan untuk mempersiapkan diri dan

melakukan muhasabah dalam mengambil langkah-langkah yang diambil saat menghadapi situasi bencana kebakaran. Imam An-Nawawi menjelaskan kepada manusia tentang nilai kesabaran dan keteguhan iman dalam menghadapi ujian hidup. Kesabaran tersebut harus disertai dengan keikhlasan menerima takdir Allah dan keyakinan bahwa setiap ujian memiliki hikmah yang bermanfaat bagi seorang mukmin. Hal tersebut disebutkan pada hadist riwayat Al-Bukhari dan muslim yang berbunyi:

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: مَا يُصِيبُ الْمُسْلِمَ مِنْ نَصَبٍ وَلَا وَصَبٍ وَلَا هَمٍّ وَلَا حُزْنٍ وَلَا أَذَى وَلَا غَمٍّ حَتَّى الشُّوْكَةِ يُشَاكُّهَا إِلَّا كَفَرَ اللَّهُ بِهَا مِنْ خَطَايَاهُ

“Tidaklah seorang muslim itu ditimpa musibah baik berupa rasa lelah, rasa sakit, rasa khawatir, rasa sedih, gangguan atau rasa gelisah sampaipun duri yang melukainya melainkan dengannya Allah akan mengampuni dosa-dosanya” (HR. Al-Bukhari, dan Muslim)

Hadis diatas memiliki salah satu ajaran akan ujian dan cobaan yang menimpa hamba Allah itu beraneka ragam jenisnya baik itu berkaitan dengan psikis maupun hati, sehingga kita harus senantiasa siap untuk menghadapi cobaan yang diberikan oleh Allah, termasuk cobaan bencana kebakaran. Selain itu, Allah SWT juga menegaskan pentingnya sikap sabar dan kesiapsiagaan dalam menghadapi berbagai cobaan, sebagaimana dalam firman Allah SWT dalam surah Al-Imran ayat 200 yang berbunyi.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اصْبِرُوا وَصَابِرُوا وَرَابِطُوا ۗ وَاتَّقُوا اللَّهَ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ

“Wahai orang-orang yang beriman! Bersabarlah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu dan tetaplah bersiap-siaga dan bertaqwalah kepada Allah agar kamu beruntung” (Q.S. Al-Imran: 200)

Sehubungan dengan hadis dan firman Allah yang telah disebutkan, *game* simulasi evakuasi kebakaran pada gedung FST UIN Malang dapat menjadi salah satu sarana untuk mempersiapkan diri dalam menghadapi situasi bencana kebakaran yang sewaktu-waktu dapat terjadi pada gedung FST UIN Malang.

4.4.2 Muamalah Ma'a An-Nas

Untuk mencapai tujuan akhir dari *game* ini yaitu keberhasilan pemain dalam keluar dari gedung dengan waktu secepat mungkin, pemain disarankan untuk mengikuti NPC pemandu. Apabila pemain mengikuti NPC pemandu maka NPC akan menolong pemain dalam menemukan jalur tercepat yang dapat dilalui untuk keluar dari gedung, hal tersebut sehubungan dengan hadis riwayat dari Muslim dari Abu Musa al-Asy'ari yang berbunyi.

الْمُؤْمِنُ لِلْمُؤْمِنِ كَالْبَيْتَانِ يَشُدُّ بَعْضُهُمَا بَعْضًا (رواه مسلم)

“Seorang mu'min dengan mu'min yang lain ibarat sebuah bangunan, satu bagian menguatkan bagian yang lain” (HR. Muslim).

Hadis ini mengajarkan kita akan pentingnya sikap tolong-menolong pada sesama muslim. Pada skenario kebakaran yang diujikan kepada responden, ketika dalam gedung yang sedang mengalami bencana kebakaran, maka akan ada NPC yang membantu untuk berusaha keluar dari gedung dengan selamat. Pentingnya untuk tolong menolong juga ditegaskan pada potongan ayat ke-2 surah Al-Maidah yang berbunyi.

وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ ۚ وَاتَّقُوا اللَّهَ ۚ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ

“Tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah sangat berat siksaan-Nya.”(Q.S. Al-Maidah: 2)

Tafsir Ibnu Katsir berpendapat, kita dianjurkan untuk tidak saling membantu dalam hal kemungkar, melainkan selalu tolong-menolong dalam kebaikan. Ketika kita menyaksikan seseorang melakukan kezaliman, kita sebagai sesama manusia yang mengetahui hal tersebut harus berusaha untuk mencegahnya agar kezaliman itu tidak terus berlanjut. Kezaliman dalam penelitian ini dimaksudkan pada keadaan pemain yang tersesat dalam mencari jalan keluar dari gedung yang sedang mengalami kebakaran, sehingga ketika pemain mengalami keadaan tersebut maka akan ada NPC yang senantiasa menolong pemain untuk mencari jalur keluar dari gedung.

Pembuatan *game* simulasi kebakaran pada gedung FST UIN Malang dalam penelitian ini, peneliti berharap dapat membantu mengedukasi masyarakat khususnya yang belum mengenali gedung FST UIN Malang untuk mengambil rute evakuasi serta bersikap tetap tenang dan berhati hati dalam memilih jalur agar tidak tersesat sehingga masyarakat dapat menyelamatkan diri dari bencana kebakaran yang dapat terjadi dengan resiko seminimal mungkin.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dibuat mengenai simulasi evakuasi kebakaran di gedung FST UIN Malang, implementasi algoritma *boids* berhasil dilakukan pada gerombolan NPC yang sedang berusaha keluar dari gedung dalam situasi bencana kebakaran pada *game* simulasi kebakaran di gedung FST UIN Malang. Berdasarkan dari keseluruhan pengujian sistem menunjukkan bahwa NPC dapat bergerak secara statis maupun dinamis dengan memperhatikan tidak adanya tabrakan antar NPC tetangga serta memiliki pola pergerakan yang lebih realistis dengan memperhitungkan jarak pada NPC disekitarnya. Dari 3 skenario yang diujikan, persentase keberhasilan NPC tidak bertabrakan satu dengan lainnya adalah sebesar 90%.

Sistem yang telah dibuat diujikan pada responden menggunakan *learning curves* dan SUS. Berdasarkan pengujian *learning curves* didapatkan bahwa kurva *learning* cenderung mengalami penurunan yang menandakan *user* dapat memahami wawasan yang disampaikan pada *game*, sedangkan pada pengujian SUS secara keseluruhan skor yang didapatkan sebesar 80 dengan nilai *grade scale* B, *acceptability ranges* adalah *acceptable*, *adjective ratings* termasuk dalam *acceptable*, dan *percentile rank* mendapatkan skor sebesar 88.55.

5.2 Saran

Setelah menyelesaikan proses pengujian dan menarik kesimpulan, peneliti menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan. Oleh karena itu, peneliti ingin memberikan beberapa saran bagi peneliti selanjutnya, adapun beberapa saran yang diberikan adalah:

1. Dalam penelitian ini, simulasi kebakaran diterapkan pada lantai 1 gedung FST UIN Malang, sehingga disarankan pembuatan *game* simulasi kebakaran untuk mencakup lantai 2,3, dan 4 pada gedung FST UIN Malang sehingga wawasan akan jalur evakuasi kebakaran dapat ditingkatkan secara menyeluruh.
2. Peneliti berharap untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan algoritma pergerakan kerumunan lainnya, yang bertujuan sebagai pembandingan tingkat kesesuaian pola pergerakan NPC dalam representasi pergerakan kerumunan yang lebih realistis.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, S., & Suyanto, M. (2017). Simulasi Kerumunan Bebek Menggunakan Metode Reynolds. *Journal Speed-Sentra Penelitian Engineering Dan Edukasi*, 9(2), 16–25.
- Bastian, A., Zaliluddin, D., & Sukrisna, D. (2019). Treasure Hunter Game Buah Maja Menggunakan Scirra Construct 2. *SMARTICS Journal*, 5(2), 67–74. <https://doi.org/10.21067/smartics.v5i2.3683>
- Dewi, A. S., Hidayat, E. W., & Sulastrri, H. (2020). Modified Flocking Algorithm for Optimizing Non Player Character Movements. *International Journal of Engineering and Emerging Technology*, 5(2), 3–7.
- Fadila, J. N., & Arif, Y. M. (2020). Implementasi Algoritma RVO sebagai Sistem Kendali Gerombolan NPC pada Permainan Action RPG. *Matics*, 12(1), 87. <https://doi.org/10.18860/mat.v12i1.8959>
- Ginting, L. M., Siahaan, B., Situmorang, B., Manik, R., & Del, I. T. (2018). *Kajian Algoritma Craig Raynold Pada Kerumunan (Flocking)*. 3(1), 22–32.
- Hirokawa, Y., Nishikawa, N., Asano, T., Terai, M., & Matsuzawa, T. (2016). A study of real-time and 100 billion agents simulation using the Boids model. *Artificial Life and Robotics*, 21(4), 525–530. <https://doi.org/10.1007/s10015-016-0308-3>
- Irvan Muhammad, & Fuadi Yan. (2016). Analisis Keefektivan Induksi Keselamatan Dengan Metode Konvensional Di Pt Bhumi Phala Perkasa Balikpapan. *Jurnal Kesehatan*, 1(1), 1–11.
- Isyanto, H., Almanda, D., & Fahmiansyah, H. (2021). Perancangan IoT Deteksi Dini Kebakaran dengan Notifikasi Panggilan Telepon dan Share Location. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 18(1), 1–16. <https://doi.org/10.25105/jetri.v18i1.7089>
- Karami, A. F., Nurhayati, H., & Arif, Y. M. (2024). Design and Evaluation of Maliki V-Lab: A Metaverse-Based Virtual Laboratory for Computer Assembly Learning in Higher Education. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(6), 814–821. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.6.2106>
- Kuswantoro, E. N. T., Rahman, T., & Munadzar, A. F. (2021). Game “Roro Jonggrang” Sebagai Media Belajar Untuk Mengenalkan Cerita Rakyat. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 5(1), 33–38. <https://doi.org/10.36040/jati.v5i1.3379>
- Mardiono, M., & Mulyadi, M. (2017). Simulasi Pemesanan Desain Kemasan Berbasis Animasi 3d Untuk Meningkatkan Efektifitas Pelayanan Pada Dinas Perindustrian Dan Perdagangan Upt Bptsi Provinsi Banten.

ProTekInfo(Pengembangan Riset Dan Observasi Teknik Informatika), 1(September), 45–47. <https://doi.org/10.30656/protekinfo.v1i0.29>

Mu'min, S., Hariadi, M., Mardi, D. S., Nugroho, S., Elekto, J. T., & Industri, T. (2015). Pergerakan Otonom Pasukan Berbasis Algoritma Boids Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization. *Journal of Animation and Games Studies*, 1(1), 1–16.

Mudhana, P., Hery Purnomo, M., Mardi, S., & Nugroho, S. (2019). Simulasi Pergerakan Evakuasi Bencana Tsunami Menggunakan Algoritma Boids dan Pathfinding Movement of the Tsunami Evacuation Simulation Using Boids and Pathfinding Algorithm. *Seminar Nasional Ke*, 9, 198–204.

Muhammad, F., Juniastuti, S., Nugroho, S. M. S., & Hariadi, M. (2018). Crowds Evacuation Simulation on Heterogeneous Agent Using Agent-Based Reciprocal Velocity Obstacle. *Proceeding - 2018 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, ISITIA 2018*, 275–280. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2018.8711117>

Nabilul Fawaid, Abdul Hakim Zakkuy Fasya, G. D. (2024). *Implementasi Safety Induction untuk Meningkatkan Kesadaran Keselamatan Kerja di Lingkungan ULP Gedangan Sidoarjo*. 1(2), 57–60.

Peniche, A., Diaz, C., Trefftz, H., & Paramo, G. (2011). An immersive virtual reality training system for mechanical assembly. *International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems, MEQAPS - Proceedings, June 2014*, 109–113.

Rahardjo, H. A., Hafizh, N., & Prihanton, M. (2019). Manajemen Resiko Kebakaran Untuk Keberlangsungan Fungsi Bangunan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2019 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 1–10.

Reynolds, C. W. (1987). Flocks, Herds, and Schools: a Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics (ACM)*, 21(4), 25–34. <https://doi.org/10.1145/37402.37406>

Rita, R. N. (2017). *Analisis Manajemen Krisis Pemerintah Provinsi Riau dalam Menghadapi Bencana Kabut Asap Tahun 2015*.

Saharjo, B. H., & Hasanah, U. (2023). Analisis Faktor Penyebab Terjadinya Kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. *Journal of Tropical Silviculture*, 14(01), 25–29. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.01.25-29>

Shofa, M. J., & Sahrupi, S. (2021). Perilaku Evakuasi Bencana dengan Pendekatan Simulasi: Studi Literatur. *Jurnal Teknik Industri*, 7(2). <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/jti/article/view/14157%0Ahttp://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/jti/article/download/14157/7120>

Sulistyo, A. P. A., Darukusuma, P., & ... (2023). Perancangan Perilaku Pemandu

Pada Game Jelajah Nusantara Menggunakan Intelligent Agent. *EProceedings* ..., 10(1), 699–702.
<https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/19424%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/19424/18789>

Syarlianti, D., & Hanan, H. (2021). Ragam Metode Pemodelan Perilaku Evakuasi Kebakaran di dalam Bangunan. *Archvisual: Jurnal Arsitektur Dan Perencanaan*, 1(1), 21–32. <https://doi.org/10.55300/archvisual.v1i1.675>

Uhrowiyah, adatul, Aris Widodo, A., & Hariyanto, R. (2022). *Simulasi Thawaf Dengan Metode Algoritma Artificial Bee Colony (ABC)*. 208–214.

Umar, Arifin, M., & Sastrawati, I. (2022). Jurnal Mitigasi Bencana Kebakaran Skala Lingkungan Permukiman Padat Di Kecamatan Tamalate (Studi Kasus: Kelurahan Jongaya, Kota Makassar)Umar (D101181014). *Jurnal Wilayah Dan Kota Maritim, Edisi*, 1–14.

Vlachogianni, P., & Tselios, N. (2022). Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(3), 392–409. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1867938>

Zhao, Y., Liu, H., & Gao, K. (2021). An evacuation simulation method based on an improved artificial bee colony algorithm and a social force model. *Applied Intelligence*, 51(1), 100–123. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01711-6>

LAMPIRAN

Skenario 3 pengujian NPC

| Detik ke- | Leader | | NPC1 | | NPC2 | | NPC3 | | NPC4 | | NPC5 | | NPC6 | | Tabrakan antar NPC |
|-----------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|--------------------|
| | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | |
| 1 | 35.29 | 16.55 | 14.68 | 18.12 | 42.86 | 30.44 | 28.76 | 23.97 | 41.11 | 18.58 | 34.23 | 26.32 | 22.92 | 31.35 | Tidak ada |
| 2 | 37.26 | 12.92 | 18.11 | 16.15 | 42 | 26.74 | 33.2 | 15.33 | 37.71 | 10.38 | 35.86 | 17.29 | 28.34 | 22.25 | Leader dengan NPC4 |
| 3 | 39.23 | 8.59 | 27.51 | 11.63 | 40.41 | 16.6 | 38.71 | 9.47 | 39.62 | 5.05 | 42.01 | 8.71 | 36.64 | 14.16 | Tidak ada |
| 4 | 40.56 | 0.58 | 35.77 | 7.28 | 44.87 | 6.02 | 44.96 | 6.24 | 41.47 | 2.62 | 47.02 | 3.12 | 43.98 | 8.44 | NPC1 dengan NPC4 |
| 5 | 42.37 | -11.23 | 41.52 | 5.42 | 47.59 | -0.27 | 45.73 | -1.88 | 40.45 | -6.05 | 45.44 | -5.77 | 44.07 | 1.79 | Tidak ada |
| 6 | 44.18 | -23.09 | 42.34 | -1.79 | 44.23 | -8.98 | 45.3 | -14.27 | 41.46 | -17.86 | 44.88 | -17.76 | 43.83 | -9.5 | Tidak ada |
| 7 | 46.01 | -34.98 | 42.34 | -13.42 | 44.08 | -20.96 | 46.27 | -26.7 | 43.18 | -29.32 | 45.96 | -29.69 | 44.77 | -20.97 | Tidak ada |
| 8 | 47.82 | -46.83 | 43.66 | -25 | 45.59 | -32.85 | 47.68 | -38.91 | 44.98 | -40.84 | 47.59 | -41.65 | 46.22 | -32.73 | Tidak ada |
| 9 | 49.65 | -58.78 | 45.69 | -36.89 | 47.44 | -44.8 | 49.23 | -50.73 | 46.76 | -52.19 | 49.29 | -53.4 | 47.85 | -44.5 | Tidak ada |
| 10 | 51.46 | -70.56 | 47.64 | -48.57 | 49.29 | -56.57 | 50.92 | -62.56 | 48.52 | -63.63 | 51.02 | -65.24 | 49.55 | -56.31 | Tidak ada |
| 11 | 53.28 | -82.41 | 49.56 | -60.28 | 51.13 | -68.41 | 50.92 | -62.56 | 50.22 | -75.11 | 52.76 | -77.13 | 51.29 | -68.15 | Tidak ada |
| 12 | 55.1 | -94.29 | 51.46 | -72.04 | 52.97 | -80.29 | 54.48 | -86.16 | 51.88 | -86.46 | 54.51 | -88.88 | 53.05 | -79.86 | Tidak ada |
| 13 | 56.76 | -105.16 | 53.34 | -83.67 | 54.79 | -92.02 | 57.22 | -97.74 | 54.29 | -98.09 | 56.72 | -100.55 | 55.84 | -91.54 | Tidak ada |
| 14 | 60.11 | -105.41 | 55.84 | -95.27 | 56.89 | -103.62 | 58.17 | -109.28 | 55.16 | -109.28 | 56.7 | -112.12 | 57.25 | -103.24 | NPC1 dengan NPC4 |
| 15 | 70.78 | -105.42 | 57.02 | -106.88 | 56.37 | -115.04 | 63.57 | -116.13 | 58.52 | -114.17 | 59.58 | -117.74 | 63.45 | -110.09 | Tidak ada |
| 16 | 82.82 | -105.42 | 62.62 | -113.58 | 59.13 | -120.55 | 72.59 | -115.96 | 66.4 | -112.52 | 66.66 | -117.05 | 72.64 | -109.57 | Tidak ada |
| 17 | 94.76 | -105.43 | 69.25 | -113.11 | 66.86 | -120.38 | 81.16 | -114.65 | 77.62 | -108.76 | 77.6 | -112.96 | 84.18 | -106.42 | NPC2 dengan NPC5 |
| 18 | 106.77 | -105.42 | 80.26 | -109.41 | 77.81 | -115.89 | 88.02 | -117.67 | 89.39 | -106.65 | 83.12 | -115.8 | 96.13 | -105 | NPC2 dengan NPC3 |
| 19 | 118.82 | -105.42 | 92.09 | -107.15 | 89.05 | -112.46 | 94.59 | -120.76 | 101.13 | -105.35 | 88.69 | -118.88 | 107.97 | -104.31 | Tidak ada |
| 20 | 127.59 | -105.36 | 103.9 | -105.83 | 100.68 | -110.06 | 104.54 | -116.21 | 112.8 | -102.8 | 98.59 | -114.51 | 119.82 | -103.1 | Tidak ada |

| Detik ke- | Leader | | NPC1 | | NPC2 | | NPC3 | | NPC4 | | NPC5 | | NPC6 | | Tabrakan antar NPC |
|-----------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------------------|
| | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | X | Z | |
| 21 | 126.85 | -100.59 | 115.66 | -103.66 | 112.14 | -106.78 | 114.76 | -110.45 | 124.48 | -101.96 | 109.02 | -109.18 | 131.43 | -103.5 | Tidak ada |
| 22 | 125.09 | -89.39 | 127.41 | -103.14 | 123.36 | -104.99 | 119.9 | -99.96 | 132.29 | -95.93 | 115.28 | -99.19 | 138.78 | -98.27 | Tidak ada |
| 23 | 123.2 | -77.43 | 134.67 | -98.58 | 130.13 | -98.09 | 121.05 | -88.53 | 132.64 | -86.99 | 117.71 | -87.77 | 138.94 | -90.11 | Tidak ada |
| 24 | 121.35 | -65.64 | 134.51 | -92.17 | 129.5 | -88.26 | 120.66 | -77.28 | 128.28 | -76.42 | 117.61 | -64.04 | 133.6 | -79.89 | Tidak ada |
| 25 | 119.5 | -53.89 | 130 | -81.64 | 125.39 | -77.11 | 119.06 | -66.17 | 124.99 | -65.22 | 117.61 | -64.04 | 128.87 | -68.72 | NPC2 dengan NPC4 |
| 26 | 117.62 | -41.95 | 126.07 | -70.21 | 122.26 | -65.44 | 117.2 | -55.13 | 122.47 | -53.96 | 116.58 | -52.27 | 125.13 | -57.31 | NPC1 dengan NPC6 |
| 27 | 115.76 | -30.15 | 122.85 | -58.76 | 119.79 | -53.77 | 115.34 | -44.12 | 120.32 | -42.7 | 115.3 | -40.59 | 122.1 | -45.84 | NPC2 dengan NPC5 |
| 28 | 113.92 | -18.42 | 119.94 | -47.42 | 117.68 | -42.32 | 113.49 | -32.76 | 118.28 | -30.88 | 113.98 | -28.58 | 119.44 | -34.04 | Tidak ada |
| 29 | 112.03 | -6.45 | 117.45 | -35.75 | 115.77 | -31.05 | 111.81 | -21.26 | 116.35 | -19.07 | 112.44 | -16.77 | 117.06 | -22.32 | Tidak ada |
| 30 | 110.16 | 5.39 | 115.2 | -24.06 | 113.84 | -19.23 | 109.94 | -9.64 | 114.51 | -7.26 | 110.53 | -5.07 | 115.01 | -10.53 | Tidak ada |
| 31 | 109.7 | 8.3 | 113.02 | -12.36 | 111.92 | -7.48 | 108.06 | 1.9 | 112.76 | 4.36 | 107.7 | 6.15 | 113.9 | 1.15 | Tidak ada |