SIMULASI KERUMUNAN NPC PADA GAME EDUKASI IBADAH UMROH MENGGUNAKAN METODE FLOCKING

SKRIPSI

Oleh :
A. MUHAMMAD IRHAM DJ
NIM. 210605110079

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025

SIMULASI KERUMUNAN NPC PADA GAME EDUKASI IBADAH UMROH MENGGUNAKAN METODE FLOCKING

SKRIPSI

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

Oleh :
A. MUHAMMAD IRHAM DJ
NIM. 210605110079

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2025

HALAMAN PERSETUJUAN

SIMULASI KERUMUNAN NPC PADA GAME EDUKASI IBADAH UMROH MENGGUNAKAN METODE FLOCKING

SKRIPSI

Oleh :
A. MUHAMMAD IRHAM DJ
NIM. 210605110079

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 6 Mei 2025

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Hani Nurhayati, M.T	Dr. M. Imamuddin, Lc., MA
NIP. 19780625 200801 2 006	NIP. 19740602 200901 1 010

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

Dipindai dengan CamScanner

HALAMAN PENGESAHAN

SIMULASI KERUMUNAN NPC PADA GAME EDUKASI IBADAH UMROH MENGGUNAKAN METODE FLOCKING

SKRIPSI

Oleh :
A. MUHAMMAD IRHAM DJ
NIM. 210605110079

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 20 Mei 2025

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	: Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M. T NIP. 19760613 200501 1 004	( )
Anggota Penguji I	: Ahmad Fahmi Karami, M. Kom NIP. 19870909 202012 1 001	( )
Anggota Penguji II	: Hani Nurhayati, M. T NIP. 19780625 200801 2 006	( )
Anggota Penguji III	: Dr. M. Imamuddin, Lc., MA NIP. 19740602 200901 1 010	( )

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

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: A. MUHAMMAD IRHAM DJ
NIM	: 210605110079
Fakultas / Program Studi	: Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi	: Simulasi Kerumunan NPC Pada Game Edukasi Ibadah Umroh Menggunakan Metode Flocking

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, 20 Mei 2025
Yang membuat pernyataan,

A. Muhammad Irham DJ
NIM.210605110079

MOTTO

"Makin susah, makin banyak EXP drop-nya"

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT atas
segala rahmat dan kemudahan-Nya, sehingga skripsi ini dapat
terselesaikan dengan baik. Karya ini penulis persembahkan kepada:

Ibu tercinta, Andi Nahira dan Ayah tercinta, Djunaedi Rahman,
Yang selalu mengalirkan kasih sayang, usaha terbaik, do'a-do'a tulus, dukungan
baik materi maupun non materi, dan nasehat yang tiada henti.

Kakak tercinta, Andi Jumrah Djunaedi Rahman,
dan Andi Muammar Djunaedi Rahmana
Yang menjadi salah satu motivasi dan dorongan untuk terus maju
hingga skripsi ini terselesaikan.

Segenap keluarga besar,
Yang selalu mengiringi perjalanan penulis dengan do'a dan dukungan.

Aster Teknik Informatika angkatan 2021,
Yang telah berjuang bersama dari awal hingga akhir.

Dan teruntuk diri sendiri,
GGWP.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbilalamin, segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala atas berkat Rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Simulasi Kerumuna NPC Pada *Game* Edukasi Ibadah Umroh Menggunakan Metode *Flocking*" dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman kebenaran yakni Islam dan zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan sebagaimana yang di rasakan pada saat ini. Dan semoga kita semua mendapat syafaatnya di hari akhir kelak, Aamiin.

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang begitu besar kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. 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 Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Hani Nurhayati, M.T, selaku dosen pembimbing I yang dengan penuh kesabaran dan ketulusan hati memberikan bimbingan, memberi

semangat, arahan, masukan, serta membantu penulis dalam mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini.

5. Dr. M. Imamudin Lc., M.A., selaku dosen pembimbing II penulis yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan untuk penulis dalam mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini.
6. Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M. T, selaku penguji I dan Ahmad Fahmi Karami, M. Kom selaku penguji II yang telah berkenan menguji, memberikan ilmu, kritik, saran, serta memberikan masukan yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
7. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU., selaku dosen wali yang senantiasa membantu serta turut memberikan ilmu dan saran untuk penulis selama menjalani masa studi pada Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Nia Faricha S, Si selaku admin Program Studi Teknik Informatika yang selalu sabar memberikan informasi, membantu, dan memberikan arahan selama perkuliahan dan proses penulisan skripsi ini.
9. Segenap dosen, laboran, dan jajaran staff Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, dan dukungan selama penulis menjalani studi.
10. Kedua orang tua tercinta, Bapak Djunaedi Rahman dan Ibu Andi Nahira yang selalu menjadi pilar kekuatan dalam hidup penulis. Tidak ada kata yang mampu menggambarkan betapa besar kasih sayang, pengorbanan,

dan doa yang senantiasa diberikan tanpa henti. Terima kasih karena dalam setiap langkah dan tantangan yang penulis hadapi, dukungan kalian selalu menjadi alasan untuk terus melangkah. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan lindungan, sehingga dapat selalu berada di setiap perjalanan dan pencapaian penulis.

11. Yaya, yang membantu membenarkan skripsi ini mulai dari heading, daftar isi.
12. Intan, yang selalu membantu selama arc skirpsi ini mulai dari memberikan template ppt dari sempro hingga sidang, semua info pendaftaran syaratnya apa aja, membantu mengajari tajwid buat kompre, dan masih banyak lagi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis menerima saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun dari berbagai pihak untuk meningkatkan kualitas dan pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini. Dan semoga penelitian ini berkontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan dapat bermanfaat untuk di masa yang akan datang.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 12 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

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 ..... **xiv**
ABSTRAK ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvi**
الملخص ..... **xvii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Batasan Masalah 7
1.4 Tujuan Penelitian 8
1.5 Manfaat Penelitian 8
BAB II STUDI PUSTAKA **9**
2.1 Penelitian Terdahulu 9
2.2 Simulasi 14
2.3 Game 15
2.4 Non-Player Character (NPC) 18
2.5 Usability Testing 19
2.6 System Usability Scale (SUS) 20
2.7 Flocking 22
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI **27**
3.1 Tahapan Penelitian 27
3.2 Story Board 28
3.3 Desain Sistem 29
3.4 Rancangan Pengujian Sistem 33
3.4.1 Perbandingan Waktu Kerumunan NPC Pada Tiga Bentuk Formasi Dalam Menyelesaikan Tawaf 33
3.4.2 Pengujian Usability Metode Flocking Pada Kerumunan NPC 35
3.5 Perhitungan Manual 39
3.5.1 Kekompakan (Cohesion) 39
3.5.2 Penyesuaian Arah (Alignment) 40
3.5.3 Pemisahan (Separation) 42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **44**
4.1 Implementasi Sistem 44
4.1.1 Arsitektur Sistem Formasi dan Pergerakan NPC 44
4.1.2 Prinsip Pergerakan Kelompok (Flocking) 46
4.2 Hasil pengujian efisiensi tiga formasi tawaf. 49

4.2.1 Pembahasan Hasil Formasi Panah 52
4.2.2 Pembahasan Hasil Formasi Lingkaran 54
4.2.3 Pembahasan Hasil Formasi Baris 55
4.3 Hasil Evaluasi Kemudahan Penggunaan Metode Flocking dalam Simulasi ..57
4.4 Analisis 62
4.4.1 Analisis Data Hasil Pengujian Efisiensi Tiga Formasi Tawaf.....62
4.4.2 Analisis Data Hasil Evaluasi Kemudahan Penggunaan Metode Flocking dalam Simulasi.....68
4.5 Integrasi Islam.....69
4.5.1 Muamalah Ma'a Allah.....70
4.5.2 Muamalah Ma'a An-nas 71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 System Usability Scale(SUS) 21
Gambar 2. 2 Pola *Cohesion* 23
Gambar 2. 3 Pola *Alignment* 24
Gambar 2. 4 Pola *Separation* 25
Gambar 3. 1 Tahapan Proses Penelitian 27
Gambar 3. 2 Desain Sistem 30
Gambar 3. 3 Mekanisme Kerja NPC 32
Gambar 3. 4 Visualisasi Alur Kerja Metode Flocking 32
Gambar 3. 5 Tahapan Pengujian System Usability Scale 35
Gambar 3. 6 Hasil penilaian total dari skor SUS yang diperoleh 38
Gambar 4. 1 Representasi Visual Formasi Lingkaran, Panah, dan Baris pada Sistem Pergerakan NPC 45
Gambar 4. 2 Penerapan *Cohesion* Pada Sistem 47
Gambar 4. 3 Penerapan *Alignment* Pada Sistem 48
Gambar 4. 4 Penerapan *Separation* Pada Sistem 49
Gambar 4. 5 Waktu penyelesaian tawaf berdasarkan jumlah NPC luar dan dalam kelompok (Formasi Panah) 53
Gambar 4. 6 Waktu penyelesaian tawaf berdasarkan jumlah NPC luar dan dalam kelompok (Formasi Lingkaran) 55
Gambar 4. 7 Waktu penyelesaian tawaf berdasarkan jumlah NPC luar dan dalam kelompok (Formasi Baris) 56
Gambar 4. 8 Diagram distribusi persentase responden terhadap aspek Efficiency 61
Gambar 4. 9 Diagram distribusi persentase responden terhadap aspek Effectiveness 61
Gambar 4. 10 Diagram distribusi persentase responden terhadap aspek Satisfaction 62
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 5 63
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 15 63
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 25 64
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 35 64
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 45 64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu..... 13
Tabel 3. 1 *Story Board* 28
Tabel 3. 2 Daftar pertanyaan SUS (*System Usability Scale*) 36
Tabel 3. 3 Posisi Agen 39
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran waktu penyelesaian tiga formasi..... 51
Tabel 4. 2 Hasil pengujian tingkat usability dari metode flocking dalam simulasi 57
Tabel 4. 3 rata-rata waktu penyelesaian dari seluruh scenario..... 66
Tabel 4. 4 Penilaian dari setiap responden terhadap tingkat kemudahan penggunaan metode flocking dihitung menggunakan metode System Usability Scale (SUS) 68

ABSTRAK

Dj, A. Muhammad Irham. 2025. **Simulasi Kerumunan NPC pada Game Edukasi Ibadah Umroh Menggunakan Metode Flocking**. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Hani Nurhayati, M.T (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA

.

Kata Kunci: *Game*, NPC, Flocking, Simulasi Kerumunan, Tawaf

Penelitian ini mengimplementasikan metode *flocking* untuk menciptakan simulasi kerumunan yang realistis dalam game edukatif *"Umroh Explorer"*, dengan fokus pada visualisasi ibadah tawaf. Metode ini memungkinkan pergerakan NPC yang terkoordinasi dan dinamis sehingga menciptakan interaksi yang harmonis serta menghindari tabrakan antar karakter. Pengujian dilakukan melalui perbandingan waktu tempuh pada tiga formasi tawaf serta evaluasi tingkat kenyamanan pengguna menggunakan metode *System Usability Scale (SUS)*. Hasilnya menunjukkan bahwa metode *flocking* efektif dalam merepresentasikan kerumunan yang menyerupai kondisi nyata dan meningkatkan *imers* pemain dalam memahami pelaksanaan ibadah tawaf.

ABSTRACT

Dj, A. Muhammad Irham. 2025. **Simulasi Kerumunan NPC pada Game Edukasi Ibadah Umroh Menggunakan Metode Flocking**. Thesis. Informatics Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Hani Nurhayati, M.T (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA

.

Kata Kunci: Game, NPC, flocking, crowd simulation, tawaf

This research implements the flocking method to create a realistic crowd simulation in the educational game "Umroh Explorer", with a focus on visualizing the tawaf ritual. This method enables coordinated and dynamic NPC movement, creating harmonious interaction and avoiding collisions between characters. Testing was conducted by comparing travel times across three tawaf formations and evaluating user comfort using the System Usability Scale (SUS) method. The results show that the flocking method is effective in representing a crowd that closely resembles real conditions and enhances player immersion in understanding the tawaf ritual.

الملخص

دج، أ. محمد إرحم. 2025.محاكاة الحشود غير القابلة للعب في لعبة تعليم عبادة العمرة باستخدام طريقة التدفق. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) هاني نورهاياتي، ماجستير (٢) الدكتور محمد إمام الدين ليسانس، ماجستير.

الكلمات المفتاحية: NPC، التدفق، محاكاة الحشود، الطواف

يطبق هذا البحث طريقة التدفق لخلق محاكاة واقعية للحشود في اللعبة التعليمية "مستكشف العمرة"، مع التركيز على تصور عبادة الطواف. تسمح هذه الطريقة بحركة منسقة وديناميكية للشخصيات غير القابلة للعبة، وذلك لخلق تفاعلات متناغمة وتجنب التصادم بين الشخصيات. تم إجراء الاختبار من خلال مقارنة وقت السفر في ثلاثة تشكيلات للطواف بالإضافة إلى تقييم مستوى راحة المستخدم باستخدام طريقة مقياس قابلية استخدام النظام (SUS). أظهرت النتائج أن طريقة التدافع فعالة في تمثيل الحشود التي تشبه الظروف الحقيقية وتزيد من انغماس اللاعب في فهم تنفيذ الطواف.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pengembangan *game* edukatif berbasis simulasi, pendekatan realistis memegang peranan penting dalam menciptakan pengalaman belajar yang efektif dan bermakna. *game* "Umroh Explorer" dirancang untuk mensimulasikan pengalaman ibadah umroh, dengan penekanan khusus pada ritual tawaf, guna memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang tata cara ibadah serta suasana yang menyertainya. Salah satu aspek utama yang ingin dihadirkan secara realistis adalah dinamika kerumunan jamaah yang mengelilingi Ka'bah.

Simulasi kerumunan yang akurat dan imersif tidak hanya bertujuan untuk menciptakan pengalaman visual yang mendekati kenyataan, tetapi juga untuk membantu pemain memahami kompleksitas dan etika berinteraksi dalam ruang ibadah yang padat. Dengan menghadirkan perilaku NPC (*non-player character*) yang dinamis, harmonis, dan interaktif, pemain dapat memperoleh gambaran tentang bagaimana menjaga adab dan kesabaran dalam kondisi yang ramai, sebagaimana terjadi pada ibadah umroh di dunia nyata.

Pentingnya simulasi dalam konteks ini tidak dapat diabaikan. Simulasi berfungsi sebagai media pembelajaran yang memungkinkan seseorang untuk mengalami suatu proses atau situasi tanpa harus berada langsung dalam kondisi tersebut. Ini sangat relevan untuk ibadah umroh, yang tidak dapat diakses secara mudah oleh semua orang karena keterbatasan finansial, fisik, geografis, maupun

administratif. Dengan simulasi, calon jamaah atau pelajar dapat memahami dan mempersiapkan diri secara mental dan teknis terhadap rangkaian ibadah, termasuk memahami urutan ritual, etika, serta potensi tantangan yang mungkin dihadapi.

Selain itu, simulasi juga penting dari perspektif pedagogis. Pembelajaran berbasis pengalaman (*experiential learning*) terbukti meningkatkan retensi pengetahuan dan pemahaman konseptual. Ketika pemain berinteraksi langsung dengan lingkungan virtual yang menyerupai kondisi nyata, mereka tidak hanya menghafal prosedur ibadah, tetapi juga menginternalisasi makna dan konteks dari setiap ritual yang dilakukan.

Dengan demikian, pengembangan sistem simulasi kerumunan dalam *game* "Umroh Explorer" merupakan upaya untuk menghadirkan pengalaman edukatif yang autentik, interaktif, dan reflektif. Penelitian dan penerapan metode simulasi kerumunan yang tepat diharapkan dapat memperkaya kualitas pembelajaran dan menjadikan game ini sebagai sarana persiapan ibadah yang efektif serta inklusif.

Simulasi adalah metode yang digunakan untuk melakukan eksperimen menggunakan representasi dari suatu sistem yang ada di dunia nyata (Siagian, 1987). Dalam *game* "Umroh Explorer", untuk menggambarkan situasi sebenarnya saat pelaksanaan ibadah Umroh, diperlukan sekelompok NPC yang bergerak secara berkelompok guna merepresentasikan jamaah yang sedang menjalankan ibadah tersebut.

Karakter Non-Pemain (NPC) adalah tokoh dalam permainan yang tidak dikontrol oleh pengguna, melainkan berjalan otomatis oleh sistem atau kecerdasan buatan. Tokoh semacam ini umum ditemui pada berbagai genre permainan, seperti

aksi petualangan, permainan peran (RPG), dan simulasi. Fungsi dari karakter ini sangat bervariasi, seperti menjadi penunjuk arah, karakter interaktif, atau penghubung tugas tertentu (Siswanto & Suni, 2021). Masing-masing NPC dirancang dengan perilaku otomatis yang menyesuaikan peran atau tujuan spesifiknya. Meski begitu, dalam simulasi kerumunan, muncul sejumlah tantangan terkait pengaturan perilaku NPC yang perlu diselesaikan.

Penempatan NPC dalam game "Umroh Explorer" bertujuan untuk merepresentasikan kerumunan jamaah yang sedang menjalankan ibadah di Masjidil Haram, khususnya saat melaksanakan tawaf. Dalam permainan ini, NPC dirancang untuk bergerak secara teratur dan selaras, mencerminkan tata cara ibadah umroh yang sesuai dengan ketentuan. Pengaturan perilaku NPC menjadi aspek krusial agar pola gerak yang ditampilkan mampu menggambarkan keteraturan dan keharmonisan sebagaimana yang terjadi dalam praktik ibadah sebenarnya. Dengan pendekatan ini, game mampu menyuguhkan pengalaman yang lebih nyata, di mana pemain tidak hanya menyaksikan kerumunan yang dinamis, tetapi juga dapat merasakan suasana tertib dan khusyuk dari pelaksanaan ibadah. Pergerakan NPC yang tersusun rapi turut berkontribusi dalam menciptakan nuansa simulasi yang mendekati kondisi sebenarnya saat menjalankan ibadah Umroh.

Dalam pemodelan pergerakan massa atau bisa kita sebut simulasi, aspek menghindari benturan antar agen non player character menjadi elemen krusial yang perlu diperhatikan. Beragam pendekatan telah diusulkan oleh para peneliti sebelumnya untuk merepresentasikan dinamika pergerakan karakter non-pemain (NPC) dalam skenario keramaian. Salah satu studi yang dilakukan oleh Sarmady

mengaplikasikan metode *cellular automata* untuk menirukan pola pergerakan jamaah saat tawaf, serta pendekatan berbasis *discrete-event* guna memetakan respons dan interaksi mereka dalam lingkungan simulasi (Sarmady et al., 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fadila (Fadila & Arif, 2020) digunakan metode *Reciprocal Velocity Obstacle* (RVO) untuk memungkinkan karakter non-pemain (NPC) melakukan navigasi sambil menghindari hambatan di lingkungan sekitarnya. Di sisi lain, (Fikri, 2023) memanfaatkan pendekatan *boids* dalam simulasi partikel guna menciptakan pola gerakan yang lebih natural serta meminimalkan potensi benturan antara partikel dan entitas dalam permainan. Temuan dari studi ini mengindikasikan bahwa pendekatan *boids* mampu memberikan solusi yang efektif dalam mencegah terjadinya benturan.Pada penelitian (Maulani, 2019) algoritma *boids* dimanfaatkan untuk merepresentasikan dinamika pergerakan kerumunan NPC dalam simulasi, dengan hasil menunjukkan bahwa agen tidak mengalami benturan satu sama lain. Selain itu, ditemukan bahwa meningkatnya jarak antar agen dapat memberikan peluang lebih besar bagi pemain untuk menghindari kepadatan tersebut. Sementara itu, (Kim et al., 2015) mengadopsi pendekatan berbasis kecepatan yang dipadukan dengan *finite state machine* (FSM), memungkinkan karakter virtual mengenali potensi tumbukan secara dini dan melakukan manuver penghindaran. (Djamaludin, 2016) mengintegrasikan pendekatan boids dengan algoritma *artificial bee colony* dalam model pergerakan massal jamaah yang mengitari Ka'bah.

Daniel Thalmann dalam karyanya menyebutkan bahwa terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk menyimulasikan pergerakan massa, khususnya

dalam aspek pencegahan tabrakan antar individu. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah metode *flocking* (Musse et al., 2013). Teknik ini merupakan simulasi dalam bidang grafika komputer yang meniru pola gerak kolektif hewan, seperti kawanan burung, yang bergerak secara harmonis dan terorganisir. Flocking didasarkan pada pengamatan terhadap dinamika gerak kelompok burung, dan melibatkan tiga prinsip utama dalam pengaturan gerakan kelompok. Yang pertama adalah prinsip kohesi (*cohesion*), yaitu perilaku di mana individu berusaha untuk tetap berada dekat dengan anggota kelompok lainnya, mendorong setiap agen (NPC) untuk tetap berada dalam kelompoknya dengan bergerak menuju pusat massa kelompok. Kedua, penyelarasan (*alignment*), di mana setiap agen menyesuaikan arah geraknya agar sejalan dengan arah gerak anggota kelompok lainnya. Ketiga, perilaku penghindaran (*avoidance*) berperan dalam menjaga jarak antar agen agar tidak saling bertabrakan. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Reynolds, yang juga menyertakan perilaku tambahan seperti leader following dan obstacle avoidance untuk memperkaya dinamika gerakan agen (Reynolds, 1987). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Meilany (Dewi et al., 2011) metode flocking digunakan untuk mensimulasikan arus pergerakan orang yang keluar dari pusat perbelanjaan melalui pintu utama. Teknik ini digunakan untuk mencegah tabrakan antar individu saat keluar dari gedung dengan memodelkan jarak antar manusia dalam kerumunan, sehingga pergerakan setiap individu tetap efisien dan mampu beradaptasi terhadap situasi dalam proses menuju tujuan berikutnya.

Merujuk pada berbagai kajian sebelumnya, teknik *flocking* terbukti efektif dalam mengatur pergerakan individu dalam sebuah kelompok besar, sekaligus

merepresentasikan interaksi sosial antar individu dengan menjaga batas aman untuk mencegah benturan. Dalam konteks pengembangan simulasi karakter non-pemain di *game* "Umroh Explorer", pendekatan ini digunakan untuk menciptakan dinamika gerakan kelompok yang realistis, sehingga karakter-karakter tersebut dapat berbaur dan bergerak harmonis layaknya kondisi nyata saat ibadah umrah berlangsung.

Dari perspektif Islam, ibadah Haji dan Umroh itu dijelaskan di dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah: 158 yang berbunyi:

اِنَّ الصَّفَا وَالْمَرْوَةَ مِنْ شَعَآىِٕرِ اللّٰهِۚ فَمَنْ حَجَّ الْبَيْتَ اَوِ اعْتَمَرَ فَلَا جُنَاحَ عَلَيْهِ اَنْ يَّطَّوَّفَ بِهِمَاۗ وَمَنْ تَطَوَّعَ خَيْرًاۙ فَاِنَّ اللّٰهَ شَاكِرٌ عَلِيْمٌ ﴿١٥٨﴾

"Sesungguhnya Safa dan Marwah merupakan sebagian syiar (agama) Allah. Maka, siapa beribadah haji ke Baitullah atau berumrah, tidak ada dosa baginya mengerjakan sai antara keduanya. Siapa yang dengan kerelaan hati mengerjakan kebajikan, maka sesungguhnya Allah Maha Mensyukuri, lagi Maha Mengetahui." (Q.S Al-Baqarah: 158).

Menurut tafsir Al-Mukhtashar dari Markaz Tafsir Riyadh yang berada di bawah bimbingan Syaikh Dr. Shalih bin Abdullah bin Humaid, Imam Masjidil Haram, Bukit Shafa dan Marwah dua bukit kecil yang terletak di sebelah timur Ka'bah merupakan bagian dari syiar-syiar agama Allah yang nyata. Allah memerintahkan hamba-Nya untuk beribadah dengan melakukan sa'i di antara kedua bukit tersebut. Bagi siapa pun yang berniat melaksanakan ibadah haji atau umrah, maka tidak ada kesalahan dalam melaksanakan sa'i antara Shafa dan Marwah; bahkan hal itu merupakan kewajiban. Siapa saja yang menjalankan amal kebaikan dengan niat yang tulus dan ikhlas karena Allah, maka Allah Yang Maha Mensyukuri akan memberikan ganjaran besar atas amal yang tampak kecil. Allah Maha Mengetahui segala perbuatan hamba-Nya, dan tidak akan pernah menyia-

nyiakan amal sekecil apa pun, bahkan yang seberat biji sawi (Markaz Tafsir Riyadh, n.d.).

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana menghasilkan simulasi kerumunan dalam konteks ibadah umroh, khususnya ibadah tawaf.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memastikan bahwa penelitian ini berjalan sesuai arah dan sasaran yang diinginkan, perlu dilakukan pembatasan ruang lingkup pembahasan agar tetap terfokus pada inti permasalahan. Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Karakter non-pemain atau kerap disebut NPC, yang tergabung dalam grup pemain merupakan satu-satunya yang menggunakan pendekatan flocking dalam penelitian ini.
2. Penelitian ini melibatkan variasi jumlah NPC untuk merepresentasikan perilaku kerumunan, yaitu sebanyak 35, 75, 125, 175, dan 245 NPC, yang merupakan gabungan dari NPC dalam kelompok (5, 15, 25, 35, dan 45) dan NPC luar kelompok (30, 60, 100, 140, dan 200), guna menciptakan kondisi kepadatan yang berbeda dan menguji efisiensi formasi dalam skenario yang lebih realistis.
3. Walaupun tema utama *game* ini adalah ibadah Umroh, ruang lingkup simulasi dalam penelitian dibatasi pada rukun Tawaf saja. Elemen ibadah lain seperti Sa'i, Tahallul, dan Miqat tidak disertakan dalam

sistem yang diuji guna mempertahankan fokus analisis pada dinamika kerumunan selama Tawaf.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang simulasi kerumunan yang realistis dan bersifat edukatif dalam konteks ibadah tawaf pada *game* "Umroh Explorer", serta menilai sejauh mana metode flocking mampu membentuk perilaku NPC yang mencerminkan dinamika jamaah saat melaksanakan ibadah.

1.5 Manfaat Penelitian

Peneliti berharap penelitian ini dapat bermanfaat dalam:

1. Memberikan kontribusi dalam meningkatkan mutu *game* "Umroh Explorer" melalui penyajian pengalaman bermain yang lebih imersif dan realistis, terutama saat melakukan ibadah tawaf.
2. Menawarkan pendekatan yang efektif untuk mengatasi tantangan dalam proses pembuatan game yang melibatkan simulasi kerumunan jamaah dalam skala besar dengan perilaku yang tertata secara sistematis.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berjudul "Simulasi kerumunan NPC pada *game* pengenalan uin malang" (Pratama, 2023), menggunakan pendekatan *flocking* serta FSM dalam mengatur aksi dan respons NPC. Dalam studi ini, NPC bergerak secara berkelompok dan secara adaptif menghindari hambatan yang ada di dalam lingkungan permainan. Kombinasi metode *flocking* dan FSM digunakan untuk memastikan bahwa NPC dapat berinteraksi secara realistis, mengikuti jalur yang ditentukan, dan mengubah perilaku mereka berdasarkan situasi di sekitar, sehingga menciptakan simulasi kerumunan yang alami dan responsif. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menilai tingkat kemudahan interaksi dalam penerapan pendekatan pergerakan kolektif (*flocking*) terhadap simulasi kelompok karakter non-pemain (NPC) dalam permainan "Pengenalan UIN Malang", dengan menggunakan metode evaluasi *System Usability Scale* (SUS).

Penelitian yang berjudul "*Simulation of Crowd Movement in Spiral Pattern during Tawaf* " (Nuhu Shuaibu, 2015), berfokus pada simulasi pergerakan massa dalam pola spiral saat pelaksanaan ibadah Tawaf. Studi ini menggunakan pendekatan pemodelan kerumunan untuk merepresentasikan dinamika jamaah di sekitar Ka'bah, termasuk pergerakan melingkar yang khas serta distribusi kepadatan. Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana struktur gerakan spiral dapat dioptimalkan guna menghindari kemacetan serta menjaga kelancaran

pergerakan jamaah. Dengan memanfaatkan pemodelan berbasis agen (*agent-based modeling*), studi ini memberikan wawasan teknis yang relevan dalam perancangan sistem simulasi yang merepresentasikan perilaku realistis selama tawaf.

Penelitian yang berjudul "*Modeling and Simulation of Tawaf and Sa'yee: A Survey of Recent Work in the Field*" (Kurdi et al., 2015) merupakan studi literatur yang mengulas berbagai pendekatan dan teknologi yang digunakan dalam pemodelan pergerakan jamaah saat melaksanakan Tawaf dan Sa'yee. Penelitian ini menyajikan beragam model, mulai dari *cellular automata*, *agent-based models*, hingga pendekatan fisika sosial (*social force models*) yang digunakan untuk menyimulasikan interaksi antar individu dalam skenario ibadah. Dengan menyajikan kelebihan dan keterbatasan dari masing-masing pendekatan, penelitian ini menjadi rujukan penting bagi pengembang sistem simulasi yang ingin meniru perilaku jamaah secara realistis dan efisien dalam lingkungan padat.

Penelitian yang berjudul "*From Crowd Dynamics to Crowd Safety: A Video-Based Analysis*" (Johansson et al., 2008) menyoroti pentingnya pemahaman dinamika kerumunan untuk mencegah kecelakaan massal dalam acara keagamaan besar seperti Haji dan Umroh. Studi ini memanfaatkan data video aktual dari kerumunan di Masjidil Haram untuk menganalisis pola pergerakan, titik kemacetan, dan kondisi yang berpotensi menimbulkan risiko keselamatan. Melalui analisis ini, peneliti mengembangkan model simulasi untuk memprediksi dan menghindari kepadatan berlebih. Penelitian ini memberikan landasan kuat bagi pengembangan sistem berbasis simulasi yang tidak hanya realistis secara visual, tetapi juga mempertimbangkan aspek keselamatan jamaah.

Penelitian yang berjudul "*Pilgrimage (Hajj) Crowd Management Using Agent-Based Method*" (Alazbah & Zafar, 2019), membahas penggunaan pendekatan *agent-based modeling* (ABM) untuk menganalisis dan mengelola kerumunan dalam pelaksanaan ibadah Haji. Studi ini secara khusus menyoroti bagaimana individu dalam kerumunan dapat dimodelkan sebagai agen otonom yang memiliki perilaku dan keputusan sendiri, namun tetap berinteraksi dengan agen lain di sekitarnya. Dengan memanfaatkan simulasi berbasis agen, peneliti mengevaluasi skenario kepadatan tinggi seperti di area Jamarat, serta mengidentifikasi potensi titik kemacetan dan pola pergerakan yang dapat menyebabkan risiko keselamatan. Melalui pendekatan ini, model yang dikembangkan dapat memberikan wawasan strategis dalam mengatur arus jamaah tanpa perlu mengubah struktur fisik tempat ibadah. Penelitian ini menjadi referensi penting dalam pengembangan sistem simulasi berbasis komputer, termasuk dalam konteks game edukatif seperti Umroh Explorer, karena memungkinkan penciptaan lingkungan virtual yang tidak hanya merepresentasikan perilaku kerumunan secara realistis, tetapi juga memperhitungkan efisiensi dan keamanan dalam pergerakan jamaah.

Dalam penelitian oleh (Kim et al., 2015) yang berjudul *"Velocity-based modeling of physical interactions in dense crowds"*, Penulis menggunakan pendekatan berbasis kecepatan dan menerapkan sistem automata hingga terbatas (*Finite State Machine*/FSM) guna merepresentasikan perilaku jamaah sebagai entitas yang berinteraksi secara fisik dengan lingkungan padat, termasuk menghadapi berbagai hambatan di sekelilingnya. Pendekatan ini memungkinkan setiap agen untuk tidak hanya merespons pergerakan jamaah lainnya, tetapi juga

mengantisipasi kemungkinan tabrakan. Dengan mengimplementasikan kekuatan fisik dalam model, agen dapat mengambil tindakan yang tepat untuk menghindari tabrakan, seperti mengubah arah atau memperlambat kecepatan. Selain itu, FSM akan mengatur perilaku agen berdasarkan kondisi lingkungan, memastikan bahwa respons mereka sesuai dengan dinamika kerumunan yang terus berubah. Dengan demikian, model ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan jamaah saat melakukan tawaf, serta menciptakan simulasi yang lebih realistis dan efektif.

Pada jurnal penelitian "*Modelling the flow of crowd furing tawaf ata masjid al-haram*" yang diteliti oleh (Haghighati & Hassan, 2018), Penelitian ini memodelkan kegiatan tawaf berdasarkan sistem antrian dengan menggunakan simulasi *discrete-event*. Model tawaf yang diusulkan dirancang untuk mengoptimalkan alur pergerakan jamaah dengan menerapkan pemisahan antara kelompok jamaah, jalur spiral yang efisien, serta penjadwalan waktu yang tepat saat jamaah memasuki area tawaf. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat mengurangi kemacetan dan meningkatkan pengalaman ibadah tawaf bagi para jamaah, serta memberikan gambaran yang lebih realistis tentang dinamika kerumunan di Masjid Al-Haram. Simulasi ini juga memungkinkan analisis berbagai skenario, seperti variasi jumlah jamaah dan waktu kedatangan, untuk mengevaluasi efektivitas strategi yang diterapkan dalam mengelola aliran jamaah selama ibadah tawaf.

Penelitian berjudul "Simulasi Perilaku Jama'ah Saat Mengelilingi Ka'bah Menggunakan Metode *Flocking* dan A*" karya (Karim et al., 2017), membahas

penerapan algoritma *flocking* untuk memodelkan pergerakan jamaah dalam proses mengelilingi Ka'bah. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya tabrakan antar individu dalam simulasi. Penelitian tersebut memaparkan bagaimana metode *flocking* dapat digunakan untuk merepresentasikan dinamika kerumunan jamaah secara realistis dalam konteks ibadah tawaf. Setiap agen *flocking* (jama'ah) dipandu oleh konsep pemimpin (*leader*) yang mengarahkan mereka menuju titik-titik rute tertentu. Hasil dari penerapan metode ini menunjukkan bahwa perilaku jama'ah menjadi lebih adaptif terhadap lingkungan sekitarnya, di mana jumlah agen yang terlibat dapat memengaruhi durasi penyelesaian tawaf oleh pemimpin beserta rombongannya. Dapat disimpulkan bahwa pendekatan flocking efektif diterapkan dalam pemodelan kerumunan berskala besar.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

Judul	Hasil	Persamaan	Perbedaan
Simulasi kerumunan NPC pada game "pengenalan uin malang" menggunakan metode *flocking* (2023)	Skor usability yang diperoleh adalah 68,0555.	Menggunakan metode *Flocking*	Jenis game
Velocity-based modeling of physical interactions in dense crowds (2015)	mampu mensimulasikan kerumunan yang sangat padat, seperti ritual Tawaf dengan sekitar 35.000 agen, pada tingkat interaktif.	Bertujuan untuk memahami dinamika kerumunan jamaah dalam ibadah tawaf	Menngunakan metode *velocity-based modeling*

Judul	Hasil	Persamaan	Perbedaan
Modelling the flow of crowd during tawaf at masjid al-haram (2018)	1. Perpindahan jalur (*switching*) dan ukuran kelompok berpengaruh besar terhadap peningkatan kepadatan kerumunan 2. Model Alternatif yang Diusulkan: - Membatasi jumlah jamaah yang masuk untuk menjaga kapasitas optimal. - Pemisahan jalur pria, wanita, dan kursi roda terbukti efektif mengurangi kepadatan. Jalur spiral di sekitar Ka'bah mencegah perpindahan jalur dan mengurangi risiko kecelakaan.	Bertujuan untuk memahami dinamika kerumunan jamaah dalam ibadah tawaf.	Metode yang digunakan yaitu Simulasi Peristiwa Diskrit (*Discrete-Event Simulation*) dengan Pendekatan Teori Antrian (*Queuing Theory*).
Simulasi Perilaku Jama'ah Saat Mengelilingi Ka'bah Menggunakan metode Flocking dan A* (2017)	Semakin banyak *leader*, meningkatkan tabrakan tapi memperbesar peluang jama'ah menyelesaikan tawaf. Waktu jeda lebih lama mempercepat penyelesaian tawaf.	Menggunakan metode *Flocking*.	Menggunakan konsep *leader* dengan tujuan mengarahkan mereka ke posisi tertentu

2.2 Simulasi

Berdasarkan pendapat dari (Siagian, 1987) simulasi merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menjalankan eksperimen terhadap representasi suatu sistem. Teknik ini memungkinkan pengguna untuk menyelidiki dan mengevaluasi cara kerja sistem melalui pemodelan, biasanya dibantu oleh komputer atau alat bantu lainnya. Dengan demikian, kita dapat memperoleh wawasan dan pemahaman mendalam tanpa perlu berinteraksi secara langsung

dengan sistem nyata. Metode ini banyak diterapkan dalam berbagai sektor seperti sains, teknologi, dunia usaha, serta bidang pertahanan, dan sangat berguna dalam mengevaluasi gagasan, memperkirakan hasil, mengidentifikasi kendala, serta mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih akurat. Dalam pelaksanaannya, sistem riil diubah menjadi model matematis atau digital yang fleksibel untuk dimodifikasi guna menelusuri beragam kemungkinan hasil. Terdapat berbagai pendekatan yang bisa digunakan dalam simulasi, misalnya pendekatan berbasis probabilistik seperti Monte Carlo, simulasi dengan kejadian diskrit, maupun pendekatan berbasis waktu kontinu. Pemilihan teknik tersebut disesuaikan dengan karakteristik sistem yang akan dimodelkan.

2.3 Game

Berdasarkan pandangan Clark.C yang dikutip oleh (Ellington, H. et al., 1982), permainan (*game*) dapat dipahami sebagai bentuk kompetisi antar individu yang berlangsung dengan mengikuti aturan-aturan tertentu, yang bertujuan untuk mencapai kemenangan atau mendapatkan imbalan. Sementara itu, Wahono dalam kutipan (Agustina & Chandra, 2017) mengemukakan bahwa permainan(*game*) merupakan suatu kegiatan yang bisa memiliki struktur yang jelas maupun tidak sepenuhnya terstruktur, dan biasanya dirancang untuk memberikan kesenangan atau mendukung proses pembelajaran. Permainan ini bisa dilakukan secara individu maupun bersama-sama, tergantung pada ketentuan yang berlaku. Dalam proses bermain, peserta umumnya harus menghadapi dan menyelesaikan tantangan-tantangan tertentu dengan mematuhi ketentuan serta menerapkan pendekatan yang sesuai.

Sejalan dengan pesatnya inovasi di bidang teknologi, industri permainan digital juga mengalami modernisasi dan menawarkan beragam jenis permainan. Berdasarkan pendapat (Santoso, E. et al., 2017) *game* dapat dikelompokkan ke dalam 10 jenis berdasarkan kategorinya, yaitu :

1. Pertarungan (*Fighting*): Jenis permainan ini menuntut kecepatan reaksi serta koordinasi antara mata dan tangan, dengan fokus utama pada penguasaan teknik bermain, pemahaman karakter, serta ketepatan dalam menentukan waktu serangan.
2. *Action-Shooting*: Jenis game ini berbasis action, menuntut refleks yang cepat, sinkronisasi visual dan gerakan, serta akurasi tinggi dalam pengambilan keputusan.
3. *Action-Adventure*: Genre ini telah berkembang menjadi perpaduan antara aksi dan *beat-em up*, biasanya menampilkan tampilan tiga dimensi dengan perspektif kamera dari belakang karakter.
4. Petualangan: Pada jenis permainan ini, elemen aksi seperti berlari, melompat, atau menembak bukanlah fokus utama. Permainan ini lebih mengedepankan alur naratif dan menguji keterampilan berpikir logis dari orang yang memainkannya.
5. Konstruksi serta pengelolaan: Genre ini berfokus pada penciptaan lingkungan virtual yang menyerupai dunia nyata, dengan memperhatikan berbagai aspek secara mendalam.
6. *Role Playing*: *Game* ini berbasis peran yang dimainkan pemain, dengan fokus utama pada karakter dan pengembangannya dalam dunia permainan.

7. Strategi: Seperti permainan catur, genre ini membutuhkan perencanaan matang dan kemampuan berpikir taktis. Jenis ini dibagi menjadi:
    a. *Real time Strategy*, Semua pemain bermain secara bersamaan, sehingga keputusan harus diambil secara langsung.
    b. *Turn based Strategy*, Pemain dan lawan bergantian mengambil gilirin untuk bergerak dan membuat keputusan.
8. *Puzzle*: *Game* ini berfokus pada pemecahan masalah atau teka-teki, seperti mencocokkan warna, menyusun objek, menyelesaikan soal logika, atau keluar dari labirin.
9. Simulasi kendaraan: genre ini menghadirkan sensasi mengendalikan kendaraan dengan nuansa realistis, meskipun terkadang kendaraan yang digunakan bersifat imajinatif atau masih dalam tahap konsep.
10. Olahraga: Permainan ini dirancang dengan pendekatan yang menyerupai kenyataan, menghadirkan simulasi olahraga di PC.

Permainan(*game*) digital kini tidak terbatas pada konsol dan komputer, melainkan juga dapat diakses melalui ponsel dan perangakat seluler lainnya. Di samping perannya sebagai media hiburan, permainan (*game*) juga dimanfaatkan sebagai dan pelatihan di berbagai bidang, termasuk pertahanan, medis, serta dunia usaha.

2.4 Non-Player Character (NPC)

Non-Player Character (NPC) adalah tokoh dalam permainan yang dijalankan oleh sistem atau algoritma, bukan oleh pemain secara langsung. Karakter ini biasanya menjadi elemen dunia permainan dan memiliki peran tertentu, seperti menyampaikan misi, memaparkan alur cerita, atau berinteraksi dengan pemain untuk meningkatkan imersi dalam permainan. istilah NPC sebenarnya sudah ada sebelum era game digital. Dalam permainan seperti RPG, petualangan, atau aksi, karakter NPC biasanya muncul untuk mendukung pemain, misalnya dengan memberi petunjuk, membantu menjalankan misi, menjadi tantangan, atau sekadar memperkaya suasana permainan. Karakter-karakter ini dijalankan oleh sistem komputer dan bisa menunjukkan berbagai tingkah laku serta bisa berinteraksi dengan pemain (Warpfelt, 2016).

Saat ini didalam *game*, karakter non-pemain (NPC) telah berkembang pesat dan kini bisa berinteraksi lebih canggih dengan pemain. Beberapa *game* bahkan memungkinkan pemain membangun hubungan dengan karakter tersebut, seperti yang terlihat pada *game* simulasi dan permainan peran. NPC yang lebih cerdas bisa merespons tindakan pemain dan ikut memengaruhi alur cerita. Kehadiran mereka yang terasa nyata membuat pengalaman bermain jadi lebih seru dan terasa hidup.

Dalam pengembangan *game* ini, karakter NPC berperan sebagai bagian dari kelompok yang bergerak bersama layaknya kerumunan. Setiap NPC memiliki tujuannya sendiri dan dapat bergerak dengan luwes untuk mencapainya bersama rekan-rekannya. Untuk menghindari saling bertabrakan, mereka menyesuaikan arah dan kecepatan geraknya berdasarkan prinsip gerakan bersama atau kerja sama

kelompok. Oleh karena itu, bagaimana NPC bergerak sangat dipengaruhi oleh teknik tersebut serta arah tujuan kelompok masing-masing.

2.5 Usability Testing

Konsep *usability* berhubungan dengan seberapa mudah dan nyaman suatu sistem atau aplikasi bisa digunakan. Sebuah sistem dianggap bekerja dengan baik jika dapat meminimalkan kesalahan atau hambatan dalam penggunaannya, sambil tetap memberikan keuntungan dan pengalaman yang memuaskan bagi orang yang menggunakannya (Matera et al., 2006).

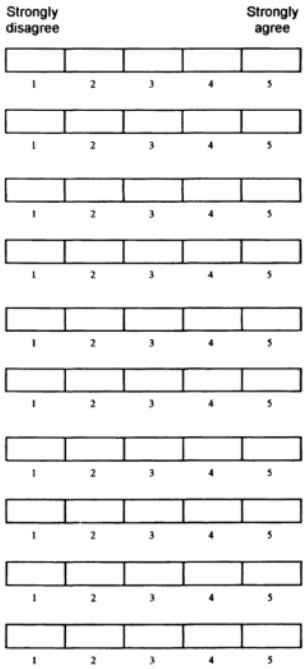
Menurut standar (ISO, 1994), ada tiga hal penting yang digunakan untuk menilai apakah sebuah aplikasi mudah digunakan dan bisa membantu pengguna mencapai tujuannya. Tiga hal tersebut meliputi: efektivitas, yaitu kemampuan pengguna dalam menyelesaikan tugas sesuai dengan tujuan dalam situasi tertentu, efisiensi, yaitu seberapa hemat penggunaan sumber daya seperti waktu dan tenaga untuk menyelesaikan tugas dengan benar, serta kepuasan, yaitu perasaan nyaman dan puas pengguna saat menggunakan aplikasi. Menurut (Beny et al., 2019) Untuk mengetahui apakah sebuah sistem atau produk sudah mudah digunakan, biasanya dilakukan pengujian yang disebut usability testing, yang bertujuan menemukan kendala atau masalah dalam penggunaannya.

Dalam studi ini, penilaian dilakukan dengan menggunakan metode *usability* testing untuk melihat seberapa mudah dan nyaman pemain berinteraksi dengan sistem pergerakan kerumunan NPC yang memakai pendekatan *flocking*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa efektif, efisien, dan

memuaskan pengalaman pemain saat berinteraksi dengan kerumunan karakter yang diatur menggunakan metode tersebut.

2.6 System Usability Scale (SUS)

Metode *System Usability Scale* (SUS) dibuat oleh John Brooke pada tahun 1986. Metode ini dirancang untuk membantu menilai kemudahan penggunaan suatu produk dengan cara yang cepat dan sederhana (Bangor et al., 2008). Selain mudah digunakan, SUS juga memiliki banyak kelebihan lain yang membuatnya menjadi pilihan yang baik. Salah satu nilai tambah utama dari metode ini adalah bahwa pertanyaannya tidak hanya terbatas pada aspek teknis saja, tetapi juga mencakup pengalaman pengguna secara keseluruhan. Selain itu, menurut (Brooke, 1996) metode survei ini memiliki mekanisme perhitungan yang sederhana, di mana hasil evaluasi disajikan dalam bentuk skor dengan rentang 0 hingga 100, sehingga memudahkan interpretasi oleh pengguna maupun peneliti. Kepraktisan ini semakin diperkuat oleh fakta bahwa SUS dapat diterapkan tanpa memerlukan biaya besar serta tetap efektif meskipun digunakan dengan jumlah responden yang relatif sedikit. Olsen dan timnya (Olsen et al., 2011) melakukan penelitian untuk mengevaluasi seberapa mudah digunakan, menyenangkan, dan efektif sebuah serious game. Penilaian dilakukan dengan mengacu pada sejumlah pernyataan yang terdapat dalam kerangka *System Usability Scale* (SUS).



Gambar 2. 1 System Usability Scale(SUS)

Pada gambar 2.1 menunjukkan bagaimana cara kerja skala penilaian pada metode *System Usability Scale* (SUS). Metode ini menggunakan kuesioner berisi 10 pernyataan. Setiap pernyataan dinilai dengan pilihan jawaban dari "sangat setuju" hingga "sangat tidak setuju," yang terdiri dari lima tingkat skala. Setengah dari pernyataan dibuat untuk mendapatkan jawaban positif, sementara sisanya diarahkan ke jawaban negatif. Jawaban dari seluruh pertanyaan kemudian diolah dengan rumus tertentu untuk menghasilkan nilai kemudahan penggunaan dari suatu sistem (Brooke, 1996). Berikut merupakan rumus menghitung SUS:

$$\text{Sus Score} = \text{Total Score} \times 2.5 \qquad (2.1)$$

2.7 Flocking

Menurut (Su et al., 2009), Kerumunan atau *flocking* adalah situasi di mana sekelompok besar agen (seperti karakter atau objek dalam *game*) dapat bergerak bersama secara selaras dengan hanya mengikuti aturan-aturan dasar dan informasi terbatas dari lingkungan sekitar. Dalam pengembangan *game*, teknik *flocking* digunakan untuk menciptakan perilaku kolektif dari beberapa objek atau karakter yang tampak alami dalam simulasi. Tujuan dari teknik ini adalah membuat sekelompok objek yang bergerak bersama secara alami, seolah-olah mereka hidup, seperti gerakan burung di udara atau ikan di laut. Flocking biasanya digunakan dalam simulasi, misalnya untuk menggambarkan pergerakan dalam penerbangan atau situasi kehidupan nyata lainnya.

Flocking adalah teknik yang dikembangkan dari konsep perilaku arah gerak (*steering behavior*) oleh Craig Reynolds. Teknik ini meniru pola pergerakan burung atau ikan yang saling mengikuti dalam kelompok secara teratur dan terkoordinasi. Dalam konteks pengembangan *game*, *flocking* dimanfaatkan untuk menghasilkan animasi gerak yang tampak alami pada karakter non-pemain (NPC) maupun objek lain seperti kendaraan atau burung yang terbang secara bersamaan. Inti dari metode ini adalah setiap karakter dalam kelompok akan berusaha menghindari tabrakan, mengikuti arah teman-temannya, dan tetap berada dalam kelompok.

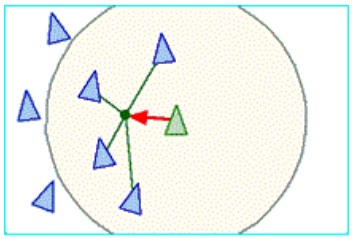
Menurut (Reynolds, 1987) perilaku gerakan kelompok atau *flocking* mengikuti tiga aturan dasar utama :

1. *Cohesion*: Agen harus bergerak menuju pusat massa dari agen-agen di sekitarnya, sehingga kelompok tetap bersama dan terkoordinasi.

2. *Alignment*: Agen perlu menyesuaikan gerakan dan arah pergerakan mereka dengan agen lain di sekitarnya agar seluruh kelompok bisa bergerak secara serasi.
3. *Separation:* Agen harus menjaga jarak tertentu dari agen lainnya untuk menghindari tabrakan dan mengurangi kepadatan kelompok.

Dalam (Bourg, D. M., & Seeman, 2004), Reynolds menetapkan tiga aturan utama, yaitu *Cohesion*, *Alignment*, dan *Separation*. Aturan-aturan ini mengarahkan setiap agen untuk tetap mendekat satu sama lain, menyesuaikan arah geraknya dengan yang lain, dan menjaga jarak agar tidak saling bertabrakan.

1. *Cohesion* (Kekompakan)



Gambar 2. 2 Pola *Cohesion*

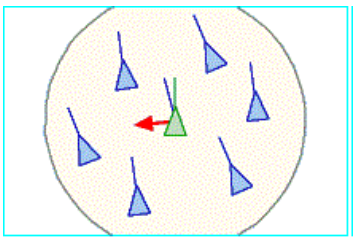
Pada Gambar 2.2, memperlihatkan bagaimana agen-agen dalam sistem flocking menjaga kebersamaan mereka. Salah satu caranya adalah dengan bergerak mendekati pusat kumpulan, sehingga kelompok tetap kompak. Jika ada agen yang terlalu jauh dari lainnya, mekanisme ini akan membuatnya mendekat lagi. Cara kerja ini dijelaskan secara matematis oleh Cui dan rekan-rekannya (Cui et al., 2006)

$$d(P_x, P_b) \leq d_1 \cap d(P_x, P_b) \geq d_2 \Rightarrow V_{cr} = \sum^{x} (P_x - P_b) \quad (2.2)$$

Pada Persamaan 2.2 merupakan nilai kecepatan ditentukan berdasarkan prinsip *cohesion*, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.2. Dan $d(P_x, P_b)$

ialah nilai tersebut mempertimbangkan jarak antara agen x dengan agen tetangganya, yaitu agen b. Adapun d1 dan d2 merepresentasikan batas jarak yang telah ditetapkan sebelumnya, sedangkan $(P_x \overrightarrow{-} P_b)$ diperoleh dari hasil kalkulasi arah vektor menuju target tujuan.

2. *Alignment* (Penyesuaian Arah)



Gambar 2. 3 Pola *Alignment*

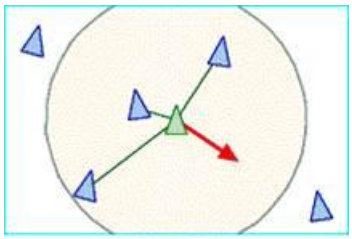
Pada gambar 2.3 memperlihatkan bagaimana agen dalam algoritma *flocking* mengikuti arah gerak yang sama. Dengan mengikuti perilaku *alignment*, setiap agen akan menyesuaikan arah dan kecepatannya berdasarkan pergerakan agen-agen di sekitarnya, sehingga semua bergerak dengan kecepatan yang serupa. Konsep ini dijelaskan dalam rumus yang dikembangkan oleh Cui dan rekan-rekannya (Cui et al., 2006)

$$\mathrm{d}(\mathrm{P_x}, \mathrm{P_b}) \leq \mathrm{d_1} \cap \quad d(Px, Pb) \geq d2 \Rightarrow V_{\mathrm{ar}} = \frac{1}{n} \sum_n^x \quad V_{\mathrm{x}} \tag{2.3}$$

Pada Persamaan 2.3, $\overrightarrow{V_{ar}}$ ialah laju dari agen x dipengaruhi oleh prinsip alignment, seperti yang terlihat di Gambar 2.3. Jarak antar agen x dan agen terdekatnya, yaitu agen b, dilambangkan sebagai d(Px, Pb). Simbol n menunjukkan total jumlah tetangga yang teridentifikasi, sedangkan $\overrightarrow{V_x}$ merupakan nilai laju agen

x serta jarak referensi yang telah ditetapkan sebelumnya (yakni d1 dan d2), turut berkontribusi dalam menentukan arah gerak agen tersebut.

3. *Separation* (Pemisahan)



Gambar 2. 4 Pola *Separation*

Pada gambar 2.4, terlihat bagaimana agen dalam simulasi menjaga jarak satu sama lain melalui perilaku yang disebut *separation* dalam algoritma *flocking*. Tujuan dari perilaku ini adalah agar setiap agen tidak terlalu dekat dengan agen lainnya, sehingga bisa menghindari berkumpul terlalu rapat. Hal ini membantu mencegah terjadinya tabrakan dan menjaga jarak yang aman antar agen. Konsep ini dijelaskan melalui rumus matematis menurut Cui (Cui et al., 2006)

$$d(P\ ,\ P\ ) \leq d \Rightarrow V = \sum^{x} \frac{(\mathrm{vx} + \mathrm{vb})}{d(Px\ ,Pb)} \qquad (2.4)$$

Kecepatan yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dipengaruhi oleh perilaku menjauh (*separation*), yang bergantung pada seberapa jauh agen x dari tetangga b, serta jarak batas yang telah ditentukan.

Selain itu, perilaku mendekat (*cohesion*), menyesuaikan arah (*alignment*), dan menjaga jarak (*separation*) hanya terjadi jika agen-agen di sekitarnya berada dalam jangkauan tertentu. Hal ini dijelaskan lebih lanjut dalam rumus ini:

$$d\ (P_x\ ,\ P_b\ ) \leq d_1 \cap \quad d\ (\ P_x,\ P_b\ ) \geq d_2 \qquad (2.5)$$

Rumus ini akan berlaku jika jarak antara agen x dan tetangganya b lebih kecil dari batas maksimum (d1), tetapi juga lebih besar dari batas minimum (d2).

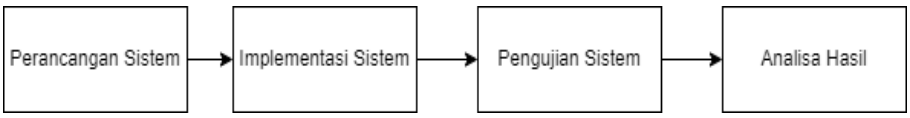
Menggunakan teknik pergerakan kelompok (*flocking*) dalam pembuatan *game* bisa memberikan banyak manfaat. Salah satunya adalah membuat tingkah laku karakter atau objek dalam game menjadi lebih beragam. Dengan mengatur berbagai parameter, setiap karakter dalam satu grup bisa bergerak atau bertindak dengan cara yang berbeda. Ini membuat permainan terasa lebih hidup dan tidak monoton. Selain itu, teknik ini juga membantu menciptakan gerakan kelompok yang terlihat lebih alami dan meyakinkan, sehingga pemain merasa pengalaman bermainnya lebih nyata dan menyenangkan.

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan Alur dari tahapan penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 3. 1 Tahapan Proses Penelitian

Langkah awal dalam studi ini adalah merancang konsep sistem yang akan diterapkan. Pada tahap ini, perancang menentukan mekanisme kerja sistem. Selanjutnya, konsep tersebut diuji melalui simulasi menggunakan karakter virtual (NPC) untuk mengamati pergerakan mereka dalam formasi kelompok dengan jumlah yang telah ditentukan.

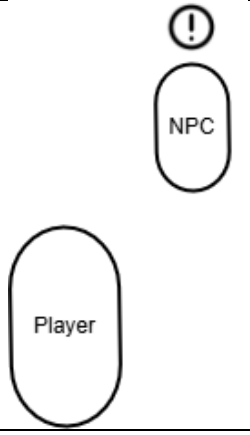
Setelah sistem berhasil dikembangkan, langkah berikutnya dalam proses penelitian ini adalah melakukan tahap pengujian. Di tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap kemudahan penggunaan sistem, khususnya terkait penerapan metode *flocking* dalam mengatur pergerakan kerumunan NPC selama simulasi tawaf di dalam *game* "Umroh Explorer". Pengujian dilakukan menggunakan SUS (*System Usability Scale*). Selain itu, dilakukan pula perbandingan durasi penyelesaian tawaf oleh NPC dalam tiga jenis pola formasi yang berbeda: pola melingkar, barisan sejajar (shaf), dan pola menyerupai panah, dengan tujuan mengidentifikasi pola formasi yang paling efektif. Pengamatan juga dilakukan terhadap interaksi kerumunan internal dan eksternal, khususnya pada situasi di mana NPC dalam

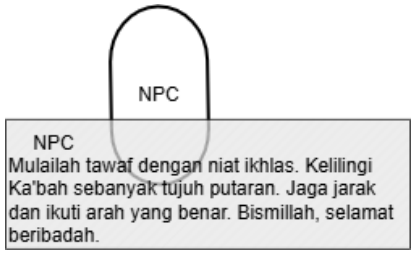
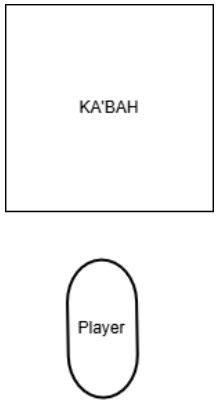
kelompok bersentuhan dengan NPC luar kelompok, yang memengaruhi kecepatan dan kestabilan formasi. Setelah seluruh pengujian selesai, tahap berikutnya adalah analisis data, di mana peneliti menganalisis hasil pengujian untuk menarik kesimpulan terhadap efektivitas dan *usability* metode *flocking* dalam mendukung simulasi edukatif ibadah tawaf.

3.2 Story Board

"Umroh Explorer" adalah *game* yang bertujuan untuk memperkenalkan pelaksanaan umroh khususnya ibadah tawaf kepada para pemain. Pemain akan berperan sebagai jamaah yang ditugaskan untuk menyelesaikan ibadah tawaf di Masjidil Haram, dengan tujuan memahami dan mengenal tata cara serta peraturan ibadah tawaf. Melalui simulasi ini, pemain akan belajar menghadapi situasi nyata di tengah kerumunan jamaah.

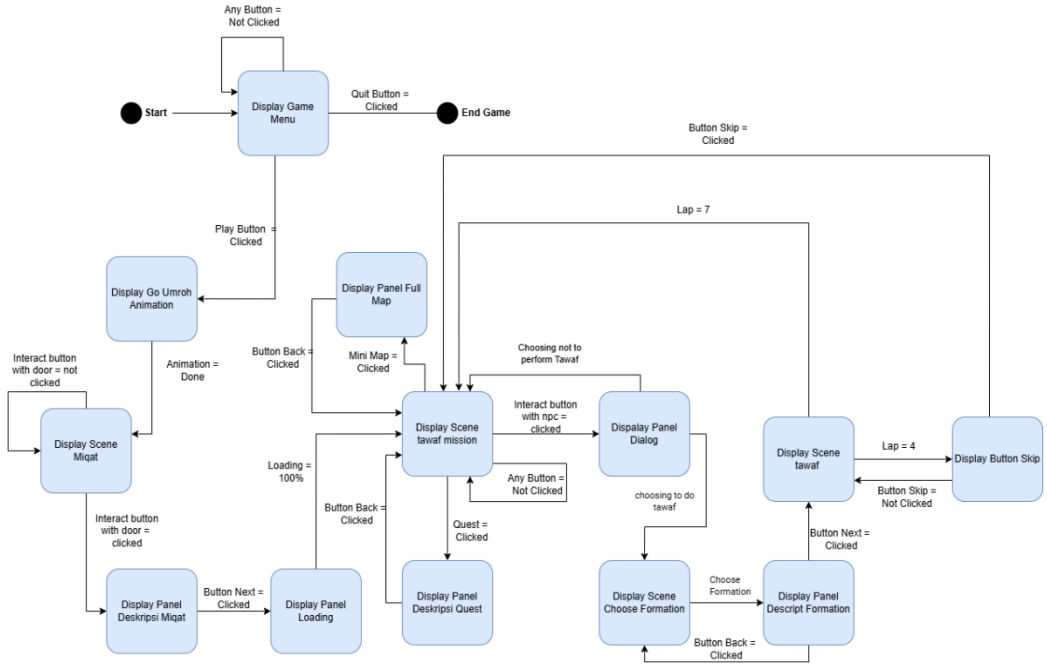
Tabel 3. 1 *Story Board*

Gambar	Penjelasan
	Ketika pemain pertama kali *spawn* di di dekat ka'bah maka akan muncul dialog seperti pada gamabr di samping.
	Pemain akan menjalani peran sebagai jamaah yang baru tiba di Masjidil Haram untuk melaksanakan ibadah umroh. Selama permainan, pemain bisa berbicara dan berkomunikasi dengan karakter lain dalam *game*, seperti pembimbing haji atau jamaah lain. Karakter-karakter ini akan memberikan petunjuk dan tugas yang berkaitan dengan tawaf, supaya pemain bisa memahami tata cara tawaf yang benar di sekitar Ka'bah.

	Saat pemain berbicara dengan NPC, akan muncul dialog di layar. Lewat dialog ini, pemain bisa mengetahui siapa karakter yang mereka mainkan sebagai jamaah umroh, apa tugas mereka dalam permainan (yaitu melaksanakan tawaf), serta mendapatkan penjelasan tentang misi yang harus diselesaikan dan berbagai informasi seputar Ka'bah dan area di sekitarnya.
	Setelah pemain memulai *quest* tawaf, mereka akan langsung berada di kerumunan jamaah yang sedang tawaf di sekitar Ka'bah. Di sana, pemain akan mengelilingi Ka'bah bersama NPC yang bergerak secara alami dengan metode *flocking*. Pemain harus mengikuti jalur tawaf yang ditentukan sambil beradaptasi dengan pergerakan NPC di sekelilingnya. Dengan cara ini, pemain dapat menyelesaikan tantangan tawaf dan menikmati pengalaman yang interaktif dan dinamis

3.3 Desain Sistem

Untuk menerapkan metode *flocking*, dilakukan simulasi kerumunan di area sekitar Ka'bah selama ibadah tawaf. Pada simulasi ini, terdapat seorang pemain dan karakter NPC yang berupa jamaah yang sedang melakukan tawaf mengelilingi Ka'bah. Karakter NPC tersebut menggunakan metode *flocking* yang melibatkan aturan *Cohesion*, *Alignment*, dan *Separation*. Penggunaan metode ini berfungsi agar setiap NPC dapat bergerak secara teratur dalam kerumunan, mengikuti arah tawaf sambil menjaga jarak dan menghindari tabrakan dengan jamaah lain, sehingga simulasi kerumunan menjadi realistis dan teratur ketika mereka bergerak menuju titik tujuan mereka, yakni menyelesaikan tujuh putaran tawaf.



Gambar 3. 2 Desain Sistem

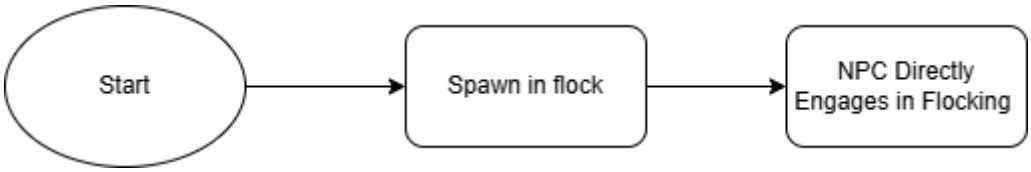
Mengacu pada ilustrasi atau desain sistem di Gambar 3.2, permainan dimulai ketika pemain melihat tampilan menu utama setelah masuk ke dalam *game*. Di tahap ini, pemain dapat memilih antara dua opsi: mulai bermain dengan menekan tombol *Play* atau keluar dari *game* dengan menekan *Quit*. Ketika pemain memilih *Play*, maka akan muncul animasi keberangkatan umroh melalui panel *Display Go Umroh Animation*. Setelah animasi selesai, sistem akan mengarahkan pemain ke *Scene Miqat*, yang dimana pemain akan spawn di kamar. Di *scene* ini, pemain dapat memilih untuk berinteraksi dengan pintu untuk membaca deskripsi miqat atau mengabaikannya. Jika memilih untuk membaca deskripsi, maka akan ditampilkan panel *Deskripsi Miqat*, dan setelah menekan tombol *Next*, sistem akan memuat *Scene Tawaf Mission* melalui panel *Loading*. Setelah loading selesai, pemain akan masuk ke *scene* misi tawaf.

Dalam *scene* misi tawaf, pemain dapat mengakses panel *quest* maupun peta penuh (*full map*) sesuai kebutuhan. Ketika pemain berinteraksi dengan NPC di sekitar Ka'bah, maka akan muncul panel dialog yang menanyakan apakah pemain siap melakukan tawaf. Jika pemain memilih untuk tidak melakukan tawaf, maka dialog akan berakhir dan tidak terjadi perubahan *scene*. Namun, jika pemain memilih untuk melakukan tawaf, sistem akan mengarahkan ke *scene* pemilihan formasi. Setelah formasi dipilih dan dijelaskan melalui panel deskripsi, pemain akan diarahkan masuk ke *scene* pelaksanaan tawaf. Dalam proses tawaf ini, sistem akan memantau jumlah putaran (*lap*) yang telah dilakukan. Ketika jumlah *lap* mencapai 4, sistem akan menampilkan tombol *Skip* agar pemain memiliki opsi untuk mempercepat proses. Jika tombol *Skip* ditekan atau jumlah *lap* mencapai 7, maka proses tawaf akan dianggap selesai dan pemain akan kembali ke *scene* misi tawaf.

Alur ini menggambarkan proses interaktif yang menggabungkan edukasi dan simulasi ibadah, mulai dari keberangkatan, niat di miqat, hingga pelaksanaan tawaf dengan sistem navigasi yang terstruktur. Interaksi yang diberikan kepada pemain melalui dialog, pemilihan formasi, dan kontrol terhadap alur *gameplay* menciptakan pengalaman yang mendalam dan terarah dalam memahami tata cara ibadah umroh.

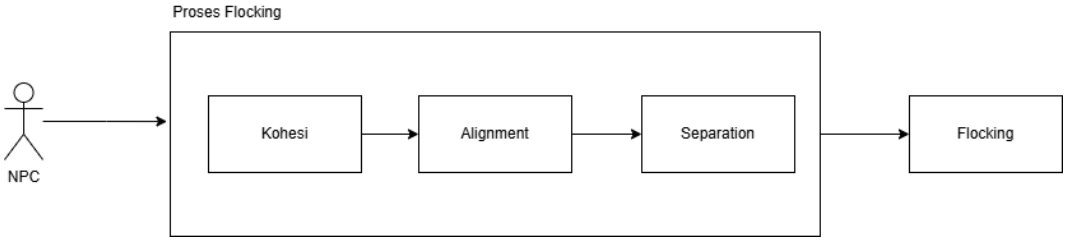
Setiap NPC bekerja berdasarkan metode *flocking*, yang berarti mereka muncul bersama dalam sebuah kelompok. Setelah itu, mereka akan menyesuaikan diri dengan lingkungan di sekitarnya dengan mendeteksi keberadaan NPC lain di dekatnya. Dengan informasi tersebut, NPC dapat mengatur arah gerak, kecepatan,

dan posisi mereka agar tetap menyatu dengan kerumunan. Saat berada di area tawaf, mereka bergerak mengikuti pola melingkar mengelilingi Ka'bah.



Gambar 3. 3 Mekanisme Kerja NPC

Ilustrasi pada Gambar 3.3 menunjukkan bagaimana mekanisme berjalan bagi karakter non-pemain (NPC) dalam *game*. Pada tahap awal, karakter ini langsung muncul sebagai bagian dari kumpulan yang telah terbentuk sebelumnya. Setelah itu, mereka otomatis mengikuti pola pergerakan bersama (*flocking*). Saat berada di adegan Tawaf, karakter akan bergerak mengelilingi Ka'bah secara melingkar. Dengan cara ini, kerumunan karakter dapat terlihat lebih alami dan sesuai dengan aktivitas pemain sejak permainan dimulai.



Gambar 3. 4 Visualisasi Alur Kerja Metode Flocking

Pada gambar 3.4 memperlihatkan cara kerja sistem *flocking* dalam *game* "Umroh Explorer". Algoritma ini digunakan untuk mengatur perilaku NPC yang bergerak bersama dalam kerumunan. Saat dijalankan, setiap NPC akan berusaha menyesuaikan arah dan lajunya agar selaras dengan NPC di sekitarnya. Perilaku ini dikendalikan oleh tiga prinsip utama, yaitu *Cohesion*, yang mendorong NPC untuk tetap dekat dengan kelompoknya. *Alignment*, yang membuat arah geraknya

mengikuti arah umum kelompok. Serta *separation*, yang menjaga jarak aman antar-NPC agar tidak terjadi tabrakan.

3.4 Rancangan Pengujian Sistem

3.4.1 Perbandingan Waktu Kerumunan NPC Pada Tiga Bentuk Formasi Dalam Menyelesaikan Tawaf

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis waktu tempuh yang dibutuhkan oleh kerumunan NPC dalam menyelesaikan ibadah Tawaf dengan menggunakan tiga jenis formasi yang berbeda: formasi lingkaran, formasi panah, dan formasi baris (shaf). Setiap kelompok NPC akan bergerak mengikuti *player* dengan pola formasi yang telah ditentukan untuk mengukur formasi mana yang paling efisien dalam menyelesaikan ibadah Tawaf.

1. Jenis NPC dalam Simulasi:

   Dalam simulasi ini digunakan dua jenis NPC, yaitu:

   a. NPC Dalam Kelompok

      NPC dalam kelompok adalah karakter virtual yang tergabung dalam satu formasi bersama *player*. Mereka menggunakan metode *flocking* untuk mengatur pergerakan secara kolektif dan mempertahankan formasi secara dinamis saat bergerak. Prinsip-prinsip flocking yang digunakan mencakup:

      - *Cohesion* (kekompakan): menjaga jarak agar tetap dekat dengan anggota kelompok.
      - *Alignment* (keselarasan): menyamakan arah gerak.
      - *Separation* (penghindaran): menghindari tabrakan antar-NPC.

NPC jenis ini mengikuti *Player* dengan membentuk formasi yang terstruktur seperti lingkaran, panah, atau shaf.

b. NPC Luar Kelompok

NPC luar kelompok adalah karakter virtual yang tidak tergabung dalam formasi dan tidak menggunakan metode *flocking*. Mereka bergerak secara individual menggunakan logika gerak sederhana untuk menyelesaikan Tawaf. NPC ini dirancang agar bisa membentuk kerumunan yang lebih alami dan dinamis, mirip jamaah yang Tawaf secara bebas.

2. Metode Pengujian:

Setiap kelompok NPC diuji dalam tiga jenis formasi yang berbeda:

a. Formasi Lingkaran: *Player* berada di tengah, NPC mengelilingi dalam bentuk lingkaran.

b. Formasi Panah: *Player* sebagai pemimpin di depan, NPC membentuk barisan menyerupai panah.

c. Formasi Shaf: *Player* di depan, NPC berbaris sejajar di belakang menyerupai barisan shalat.

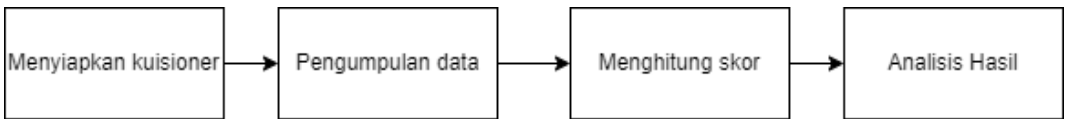
3. Proses Pengujian:

Pengujian dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan oleh setiap kelompok NPC dalam masing-masing formasi untuk menyelesaikan 7 putaran tawaf mengelilingi Ka'bah. Setiap formasi diuji sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata waktu tempuh.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas tiga jenis formasi pergerakan NPC dalam menyelesaikan ibadah Tawaf menggunakan metode *flocking* dalam *game* "Umroh Explorer". Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui formasi mana yang paling efisien dan cepat dalam menyelesaikan tujuh putaran tawaf dengan mempertimbangkan stabilitas formasi, kelancaran gerakan, dan waktu tempuh secara keseluruhan. Dengan menganalisis perbandingan antara formasi lingkaran, formasi panah, dan formasi shaf, diharapkan dapat ditemukan pola pergerakan yang paling optimal dalam konteks simulasi kerumunan ibadah. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga ditujukan untuk memberikan kontribusi terhadap pengembangan simulasi ibadah berbasis game edukatif yang realistis, interaktif, dan mampu merepresentasikan pengalaman ibadah secara efektif kepada pemain.

3.4.2 Pengujian Usability Metode Flocking Pada Kerumunan NPC

Langkah berikutnya yaitu menilai seberapa mudah penggunaan metode *flocking* dalam mengatur sekelompok NPC. Penilaian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur bernama *System Usability Scale* (SUS). Dalam prosesnya, terdapat beberapa langkah yang perlu dilakukan.



Gambar 3. 5 Tahapan Pengujian System Usability Scale

Pada Gambar 3.5 ditunjukkan proses uji kelayakan sistem menggunakan metode SUS. Langkah pertama dalam mengevaluasi kemudahan penggunaan sistem adalah menyusun daftar pertanyaan dan petunjuk yang jelas agar mudah

dimengerti oleh responden, terutama dalam konteks pengaturan pergerakan kelompok karakter virtual (NPC).

Tabel 3. 2 Daftar pertanyaan SUS (*System Usability Scale*)

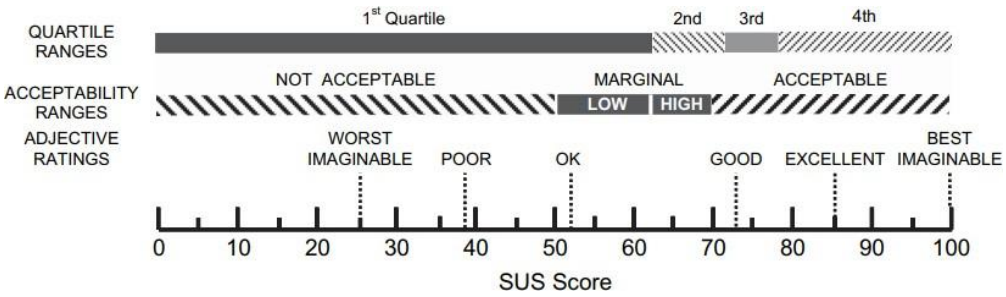
No	Pertanyaan	Aspek
1	Saya dapat memahami proses ibadah tawaf dengan mudah.	*effectiveness*
2	Saya merasa arah gerakan NPC cukup membingungkan.	*efficiency*
3	Saya merasa pergerakan NPC mencerminkan perilaku jamaah secara nyata.	*effectiveness*
4	Saya merasa formasi NPC sering tidak terjaga dengan baik.	*efficiency*
5	Pergerakan kerumunan NPC terasa lancar dan natural.	*efficiency*
6	Saya merasa NPC sering bergerak tidak efisien di area padat.	*efficiency*
7	Waktu tawaf dalam simulasi terasa realistis.	*effectiveness*
8	Saya merasa visual dan animasi pergerakan tidak cukup baik.	*satisfaction*
9	Metode flocking membuat simulasi terasa menyenangkan dan realistis.	*satisfaction*
10	Saya merasa tidak tertarik untuk merekomendasikan game ini.	*satisfaction*

Tabel 3.2 berisi daftar pertanyaan yang digunakan untuk menilai seberapa mudah dan nyaman metode *flocking* saat diterapkan dalam simulasi keramaian NPC di *game* "Umroh Explorer". Pertanyaan-pertanyaan ini dibuat berdasarkan tiga aspek utama dalam *usability*, yaitu *effectiveness*, *efficiency*, dan *satisfaction*. Aspek *effectiveness* menilai sejauh mana metode *flocking* membantu pemain memahami proses tawaf dan menciptakan simulasi yang realistis. Aspek *efficiency* mengukur kelancaran, keteraturan formasi, serta efisiensi pergerakan NPC, khususnya di area padat. Sementara itu, aspek *satisfaction* mengevaluasi kepuasan pemain terhadap visual, animasi, kenyamanan, serta ketertarikan mereka terhadap *game*. Tabel ini menjadi instrumen penting dalam pengujian karena mampu memberikan gambaran

menyeluruh tentang pengalaman pengguna dan performa metode *flocking* dalam simulasi kerumunan.

Tahap kedua dalam prosedur ini mencakup pengumpulan data dari hasil kuesioner. Pada tahap ketiga, data yang terkumpul dianalisis dengan cara menghitung hasil penilaian. Untuk mengetahui skor keseluruhan dari metode SUS, setiap jawaban pada kuesioner akan diolah terlebih dahulu. Setiap pertanyaan memiliki nilai antara 0 hingga 4. Khusus untuk pertanyaan nomor 1, 3, 5, 7, dan 9, nilai yang dipilih responden akan dikurangi dengan angka 1 terlebih dahulu sebelum dijumlahkan. Sementara itu, untuk pertanyaan nomor 2, 4, 6, 8, dan 10, skor dihitung dengan mengurangi angka tetap 5 dengan skor jawaban dari responden.

Setelah seluruh jawaban dari setiap pertanyaan dikalkulasi, nilai akhir dihitung menggunakan pendekatan khusus yang disebut SUS (*System Usability Scale*). Cara menghitungnya adalah dengan menjumlahkan seluruh nilai dari pertanyaan-pertanyaan yang ada, lalu hasilnya dikalikan dengan angka 2,5. Pengali ini digunakan untuk mengubah total skor yang semula berada di kisaran 0 sampai 40 menjadi skala 0 hingga 100, agar lebih mudah menggambarkan seberapa baik tingkat kemudahan penggunaan sistem yang diuji. (Bangor et.al, 2008) menjelaskan bahwa, hasil penilaian dari cara ini dibagi dalam beberapa kategori untuk menunjukkan seberapa baik sistem menurut pengguna. skor yang diperoleh melalui metode ini dapat diklasifikasikan dalam beberapa kategori tingkat usability, sebagai berikut:



Gambar 3. 6 Hasil penilaian total dari skor SUS yang diperoleh

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 3.6, penilaian menggunakan metode SUS (*System Usability Scale*) dibagi menjadi empat bagian. Skor antara 70 sampai 100 menunjukkan hasil yang positif. Jika sebuah produk mendapatkan nilai lebih dari 70, maka dapat dikatakan memiliki kemudahan penggunaan yang cukup baik. Sementara itu, nilai di atas 80 menunjukkan bahwa produk tersebut sangat unggul dalam hal kemudahan penggunaan.

Pertanyaan yang mendapatkan skor antara 60 sampai 70 termasuk dalam kategori cukup baik dalam hal kemudahan penggunaan (*usability*). Meski begitu, produk dalam rentang ini tetap memerlukan perhatian agar kualitasnya bisa terus ditingkatkan. Sementara itu, produk yang mendapat skor di bawah 60 dianggap belum memenuhi standar dan kurang layak digunakan. Dengan demikian, produk yang memperoleh skor SUS di atas 70 dapat dikatakan memiliki *usability* yang baik, sedangkan yang skornya di bawah 60 sebaiknya dievaluasi kembali dan ditingkatkan agar lebih mudah digunakan.

Setelah skor berhasil dihitung, langkah selanjutnya adalah meninjau dan mengevaluasi hasilnya. Di tahap ini, peneliti menilai serta menarik kesimpulan tentang seberapa baik metode *flocking* bekerja dalam mengatur kerumunan NPC, dengan mengacu pada nilai yang telah diperoleh.

3.5 Perhitungan Manual

Dalam perhitungan manual ini, peneliti menetapkan bahwa jarak maksimal antara agen dan posisi X-nya (PX) adalah 10. Nilai ini digunakan sebagai acuan agar agen-agen dapat membentuk kelompok (*flock*) sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Tabel 3. 3 Posisi Agen

NPC	**Posisi (x, y, z)**	**Kecepatan**
Posisi agen X (P_X)	(2, 1, 0)	(1,0,0)
Posisi agen A (P_A)	(4, 2, 0)	(0,1,0)
Posisi agen B (P_B)	(3, 3, 0)	(−1,0,0)
Posisi agen C (P_C)	(5, 1, 0)	(0,−1,0)

3.5.1 Kekompakan (Cohesion)

Untuk menjelaskan penerapan kohesi, kita akan menggunakan empat agen. Agen x sebagai acuan, dan tiga agen lain (a, b, c) dalam kelompok yang sama. Kita menghitung pusat massa agen-agen di sekitar Agen x, lalu menentukan arah gerak Agen x menuju pusat massa. Proses ini terdiri dari dua langkah utama:

1. Menghitung Pusat Massa Kelompok

Pusat massa dari kelompok agen dihitung sebagai rata-rata posisi dari semua agen yang berada dalam kelompok. Pusat massa dihitung dengan rata-rata posisi dari agen-agen dalam kelompok:

$$\mathrm{P}_{\mathrm{cohesion}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_{\mathrm{i}}$$

n = 3 (berarti ada 3 agen lain di sekitar agen x dalam kelompok (*flock*))

$$P_{cohesion} = \frac{1}{3}(P_a + P_b + P_c)$$

$$P_{cohesion} = \frac{1}{3}((4,2,0 + 3,3,0 + 5,1,0))$$

$$P_{cohesion} = \frac{1}{3}((12,6,0)) = (4,2,0)$$

2. Hitung Vektor Kohesi:

Vektor kohesi mengarahkan Agen x menuju pusat massa kelompok:

$$V_{cohesion} = P_{cohesion} - P_x$$

$$V_{cohesion} = (4,2,0) - (2,1,0) = (2,1,0)$$

Vektor kohesi menunjukkan arah dan jarak yang harus ditempuh Agen x untuk mendekati pusat massa kelompok. Dalam contoh ini, vektor kohesi (2,1,0) berarti Agen x harus bergerak dua unit ke arah x dan satu unit ke arah y untuk tetap berada dalam formasi yang kohesif dengan agen-agen lainnya. Kohesi ini membantu menjaga agar semua agen dalam kelompok bergerak secara bersamaan, mempertahankan koordinasi dan formasi yang stabil.

3.5.2 Penyesuaian Arah (Alignment)

Alignment dalam metode *flocking* memastikan agar semua agen menyesuaikan arah dan kecepatan dengan rata-rata kecepatan agen di sekitarnya, menciptakan koordinasi yang seragam dalam kelompok. Contohnya, Agen x adalah acuan, dengan Agen a, b, dan c sebagai bagian dari kelompoknya. *Alignment* menghitung rata-rata kecepatan agen-agen ini untuk menyesuaikan kecepatan Agen x. Langkah-langkah perhitungannya dijelaskan berikut:

1. *Alignment* menghitung arah rata-rata kecepatan agen-agen dalam kelompok untuk menyesuaikan kecepatan Agen x. Berikut adalah langkah-langkah perhitungannya:

$$V_{alignment} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} V_i$$

Di sini, n adalah jumlah agen dalam kelompok, yaitu 3 (agen a, agen b, dan agen c).

$$V_{alignment} = \frac{1}{3}(V_a+V_b+V_c)$$

$$V_{alignment} = \frac{1}{3}((0,1,0) + (-1,0,0) + (0,-1,0))$$

$$V_{alignment} = \frac{1}{3}((-1,0,0)) = \left(-\frac{1}{3}, 0, 0\right)$$

2. Hitung Vektor Penyelarasan:

Vektor penyelarasan ($V_{alignment}$) adalah arah yang harus ditempuh Agen x untuk menyesuaikan kecepatan dengan rata-rata kecepatan kelompok:

$$V_{alignment} = \left(-\frac{1}{3}, 0, 0\right)$$

Vektor alignment menunjukkan arah dan kecepatan rata-rata yang harus diadopsi Agen x untuk menyelaraskan gerakannya dengan kelompok. Dalam contoh ini, vektor *alignment* $V_{alignment} = \left(-\frac{1}{3}, 0, 0\right)$ berarti Agen x harus menyesuaikan kecepatannya ke arah yang sama dengan kecepatan rata-rata kelompok, yang sedikit mengarah ke negatif x. Alignment ini membantu menjaga agar semua agen dalam kelompok bergerak dalam arah yang seragam, menciptakan koordinasi yang efisien dalam pergerakan kelompok

3.5.3 Pemisahan (Separation)

Separation dalam perilaku *flocking* menjaga jarak aman antar agen untuk menghindari tabrakan. Agen x, sebagai acuan, menghitung jarak dari tiga agen lainnya (a, b, c) dalam kelompoknya. Jika jarak antar agen kurang dari 3, Agen x akan bergerak menjauh. Berikut adalah langkah-langkah perhitungannya:

1. Tentukan Jarak antara Agen x dan Agen Lainnya:

   Untuk setiap agen, kita menghitung jaraknya dari Agen x:

   - Jarak antara P_x dan P_a :

     $d(P_x,P_a)=\sqrt{(4-2)\text{^}2+(2-1)\text{^}2+(0-0)\text{^}2} = \sqrt{4+1} = \sqrt{5} \approx 2.24$

   - Jarak antara P_x dan P_b:

     $d(P_x,P_b)=\sqrt{(3-2)\text{^}2+(3-1)\text{^}2+(0-0)\text{^}2} = \sqrt{1+4} = \sqrt{5} \approx 2.24$

   - Jarak antara P_x dan P_c :

     $d(P_x,P_c)=\sqrt{(5-2)\text{^}2+(1-1)\text{^}2+(0-0)\text{^}2} = \sqrt{9+0} = \sqrt{9} \approx 3$

2. Hitung Vektor *Separation*:

Karena jarak antara Agen x dan Agen a, Agen b lebih kecil dari d_{min}, maka kita menghitung vektor *separation* yang menjauhkan Agen x dari mereka. Sementara jarak antara Agen x dan Agen c tepat 3, jadi tidak ada perubahan dari agen c.

Berikut cara langkah langkah menghitung separation:

$$V_{separation} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Px - Pi)$$

- Vektor *separation* dari P_x ke P_a :

$$V_{sep1} = P_x - P_a = (2,1,0) - (4,2,0) = (-2,-1,0)$$

- Vektor *separation* dari P_x ke P_b :

$$V_{sep2} = P_x - P_b = (2,1,0) - (3,3,0) = (-1,-2,0)$$

- Vektor separation dari P_x ke P_c :

Tidak ada vektor separation karena $d(P_x,P_c)=d_{min}$

3. Gabungkan Vektor *Separation*:

Total vektor separation adalah penjumlahan dari vektor *separation* yang telah dihitung:

$$V_{separation} = V_{sep1} + V_{sep2} = (-2,-1,0) + (-1,-2,0) = (-3,-3,0)$$

Vektor separation (−3,−3,0) menunjukkan bahwa Agen x harus bergerak menjauh dari Agen b1 dan Agen b2 ke arah vektor tersebut, menjaga jarak aman dari agen-agen lain. Separation ini memastikan bahwa agen tidak terlalu dekat satu sama lain, menghindari tabrakan, dan menjaga kelancaran pergerakan dalam kelompok.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Pada sub-bab ini dijelaskan bagaimana sistem simulasi tawaf diimplementasikan dalam *game* "Umroh Explorer", khususnya dalam hal pergerakan karakter NPC yang mengikuti pemain (*Player*) secara berkelompok. Sistem ini dirancang agar menyerupai perilaku gerombolan manusia yang bergerak secara terkoordinasi, selaras, dan responsif terhadap lingkungan sekitar. Pendekatan yang digunakan disebut dengan metode *flocking*, yaitu sebuah teknik yang meniru perilaku kawanan, seperti burung atau ikan, dalam bergerak bersama.

4.1.1 Arsitektur Sistem Formasi dan Pergerakan NPC

Sistem pergerakan dalam simulasi tawaf ini dirancang dengan membagi peran ke dalam tiga komponen utama yang saling mendukung. Meskipun *Player* bukan bagian dari NPC, posisinya menjadi pusat acuan bagi pergerakan formasi NPC di sekitarnya, baik dari segi arah maupun posisi. Pertama, pemain (*Player*) berperan sebagai pusat formasi, di mana pergerakannya menjadi acuan bagi seluruh karakter NPC di sekitarnya, baik dari segi arah maupun posisi. Kedua, terdapat pemimpin kelompok (*Leader*) yang bertugas untuk memantau kondisi umum formasi. Jika ada anggota kelompok yang terhambat, misalnya karena kepadatan atau interaksi dengan karakter lain di luar kelompok, pemimpin ini akan menyesuaikan kecepatan pergerakan seluruh kelompok agar formasi tetap stabil dan tidak terpecah. Terakhir, setiap anggota NPC beroperasi secara mandiri namun dengan tujuan yang sama,

yaitu menjaga posisinya dalam formasi, menyelaraskan arah pergerakan, serta menghindari tabrakan dengan NPC lain di sekitarnya. Ketiga peran ini saling berinteraksi dan membentuk sebuah sistem yang mampu mensimulasikan pergerakan kelompok secara terkoordinasi. Ilustrasi berikut memperlihatkan hubungan antar peran dalam sistem pergerakan NPC, serta tiga variasi formasi yang digunakan dalam simulasi: lingkaran, panah, dan baris. Masing-masing formasi dirancang untuk menggambarkan dinamika kelompok secara berbeda sesuai konteks ibadah tawaf.

Gambar 4. 1 Representasi Visual Formasi Lingkaran, Panah, dan Baris pada Sistem Pergerakan NPC

Pada Gambar 4.1 terdapat tiga jenis formasi yang diterapkan untuk mengatur pergerakan NPC, yaitu formasi lingkaran, panah, dan baris. Pada formasi lingkaran, *Player* ditempatkan di tengah sebagai pusat, sementara NPC mengelilinginya dalam susunan melingkar atau konsentris. Formasi ini menekankan nilai kebersamaan dan kekompakan saat mengelilingi Ka'bah. Sementara itu, formasi panah menempatkan *Player* di posisi paling depan, menyerupai ujung anak panah, dengan NPC tersusun membentuk pola segitiga yang meruncing ke arah gerakan. Formasi ini menonjolkan arah pergerakan dan peran kepemimpinan yang diemban oleh *Player*. Adapun pada formasi baris, *Player* juga berada di depan dan diikuti oleh NPC yang

tersusun dalam garis lurus layaknya saf shalat. Formasi ini mencerminkan keteraturan dan kedisiplinan dalam mengikuti gerakan kelompok secara tertib.

Meskipun memiliki visualisasi yang berbeda, ketiga formasi ini tetap mengikuti prinsip kerja yang sama, yaitu menjadikan *Player* sebagai titik acuan utama, sementara NPC secara mandiri menyesuaikan posisi dan arah geraknya. Di sisi lain, *Leader* berperan dalam menjaga stabilitas dan kekompakan formasi secara keseluruhan. Fleksibilitas dalam penerapan pola formasi ini tidak hanya memperkaya dinamika simulasi, tetapi juga memperkuat nilai edukatif yang ingin disampaikan melalui *game* "Umroh Explorer".

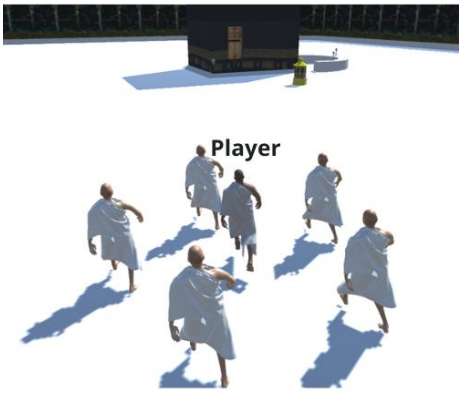
4.1.2 Prinsip Pergerakan Kelompok (Flocking)

Untuk menciptakan gerakan kelompok yang tampak alami dan terkoordinasi dalam simulasi tawaf, sistem ini menerapkan tiga prinsip utama dalam metode *flocking*, yaitu *cohesion*, *alignment*, dan *separation*. Ketiga prinsip ini diadaptasi dari perilaku alami kelompok hewan seperti burung atau ikan yang bergerak bersama dalam satu arah, namun telah disesuaikan dengan konteks ibadah manusia agar tetap relevan secara visual, teknis, dan nilai-nilai keagamaan.

1. Cohesion

Prinsip cohesion menekankan pentingnya kekompakan dalam susunan kelompok. Setiap NPC dirancang untuk mempertahankan posisi relatifnya terhadap pusat formasi, yaitu *Player*. Artinya, meskipun NPC bergerak dinamis mengikuti alur tawaf, mereka tetap menjaga jarak dan posisi agar formasi tetap utuh. Konsep ini penting agar visualisasi gerakan kelompok tetap rapi dan tidak terlihat acak.

Dalam konteks *game* “Umroh Explorer”, prinsip ini digunakan untuk membentuk berbagai jenis formasi seperti lingkaran, panah, atau baris, di mana setiap NPC memiliki slot tertentu yang harus diisi dalam susunan. Hal ini menciptakan kesan bahwa mereka bergerak bersama dengan tujuan dan ritme yang sama.



Gambar 4. 2 Penerapan *Cohesion* Pada Sistem

Gambar 4.2 memperlihatkan prinsip *cohesion* melalui formasi lingkaran, di mana *Player* berada di tengah sebagai titik pusat kelompok, sementara NPC mengelilinginya dalam susunan yang simetris. Posisi ini menegaskan peran *Player* sebagai acuan utama pergerakan, menjaga kekompakan dan kestabilan formasi selama simulasi tawaf berlangsung.

2. Alignment

Prinsip alignment berfokus pada keselarasan arah gerak antar anggota kelompok. Dalam praktiknya, setiap NPC tidak hanya memperhatikan posisinya, tetapi juga mengikuti arah gerakan yang ditunjukkan oleh *Player*. Ini membuat seluruh kelompok tampak seperti satu kesatuan yang kompak dan harmonis, bukan kumpulan individu yang bergerak sendiri-sendiri.

Visualisasi keselarasan ini sangat penting dalam simulasi ibadah seperti tawaf, karena mencerminkan nilai-nilai disiplin dan kebersamaan dalam ibadah berjamaah. Gerakan yang sinkron dan searah juga memberikan pengalaman visual yang lebih halus dan realistis.

Gambar 4. 3 Penerapan *Alignment* Pada Sistem

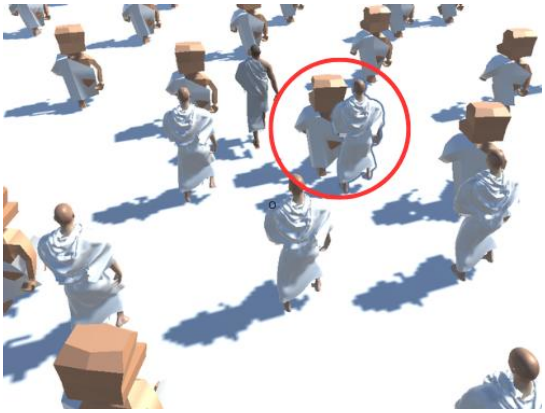
Gambar 4.3 memperlihatkan prinsip alignment melalui formasi baris, di mana Player menjadi acuan arah bagi seluruh NPC di belakangnya. Setiap NPC mengikuti arah pandang dan pergerakan *Player*, menciptakan keselarasan yang harmonis. Formasi ini menekankan keteraturan dan kesamaan orientasi gerak dalam satu barisan yang rapih.

3. Separation

Dalam kondisi keramaian, seperti di sekitar Ka'bah saat tawaf, tidak jarang NPC kelompok harus berinteraksi dengan NPC luar atau objek lain di lingkungan. Prinsip separation diterapkan untuk memungkinkan setiap NPC dalam kelompok menghindari potensi tabrakan tanpa merusak formasi secara keseluruhan.

Secara visual, NPC akan sedikit bergeser atau mengubah arah ketika mendeteksi hambatan di sekitarnya. Namun mereka akan tetap berusaha kembali ke posisinya semula agar tidak terpisah dari kelompok. Pendekatan ini membuat

sistem terasa lebih adaptif, fleksibel, dan alami, karena mampu merespons perubahan lingkungan tanpa kehilangan stabilitas formasi.



Gambar 4. 4 Penerapan *Separation* Pada Sistem

Gambar 4.4 memperlihatkan penerapan prinsip *separation*, yang ditunjukkan oleh NPC dalam lingkaran merah. NPC tersebut merupakan bagian dari kelompok, namun melakukan manuver kecil untuk menghindari NPC luar yang memasuki jarak deteksinya. Pergeseran arah ini bersifat sementara dan bertujuan untuk mencegah tabrakan serta menghindari penumpukan yang dapat menyebabkan *stuck* atau gangguan dalam formasi. Meskipun bergeser, NPC tetap menjaga kedekatannya dengan kelompok utama, menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan diri dengan kondisi sekitar tanpa kehilangan keteraturan formasi.

4.2 Hasil pengujian efisiensi tiga formasi tawaf.

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi dari tiga jenis formasi gerakan kelompok NPC (*Non-Playable Character*) dalam menyelesaikan ritual tawaf secara otomatis di dalam *game* “Umroh Explorer”. Tawaf, yang merupakan prosesi mengelilingi Ka'bah sebanyak tujuh kali, memiliki karakteristik

jalur melingkar yang padat oleh kerumunan. Oleh karena itu, diperlukan strategi formasi yang tidak hanya menjaga kohesi kelompok, tetapi juga mampu beradaptasi dengan kepadatan dan hambatan dari NPC luar kelompok.

Dalam eksperimen ini, tiga jenis formasi yang diuji adalah sebagai berikut:

- Formasi Lingkaran: NPC mengelilingi pemain dalam susunan melingkar, menjaga jarak seimbang secara radial terhadap pusat.
- Formasi Baris (Shaf): NPC berbaris sejajar di belakang pemain secara horizontal.
- Formasi Panah: NPC membentuk pola menyebar menyerupai segitiga atau kepala panah dengan pemain sebagai ujung depan.

Setiap formasi diuji dalam berbagai konfigurasi berdasarkan kombinasi dari dua variabel berikut:

- Jumlah NPC dalam kelompok: 5, 15, 25, 35, dan 45 NPC.
- Jumlah NPC luar kelompok (untuk menyimulasikan keramaian): 30, 60, 100, 140, dan 200 NPC.

Parameter utama yang diamati dalam pengujian ini adalah waktu penyelesaian tawaf oleh seluruh anggota kelompok, yang diukur dalam format menit:detik,milidetik. Setiap simulasi dijalankan hingga seluruh NPC dalam kelompok menyelesaikan tujuh putaran tawaf. Hasil pengukuran waktu penyelesaian untuk masing-masing kombinasi formasi dan kepadatan lingkungan dirangkum dalam Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran waktu penyelesaian tiga formasi

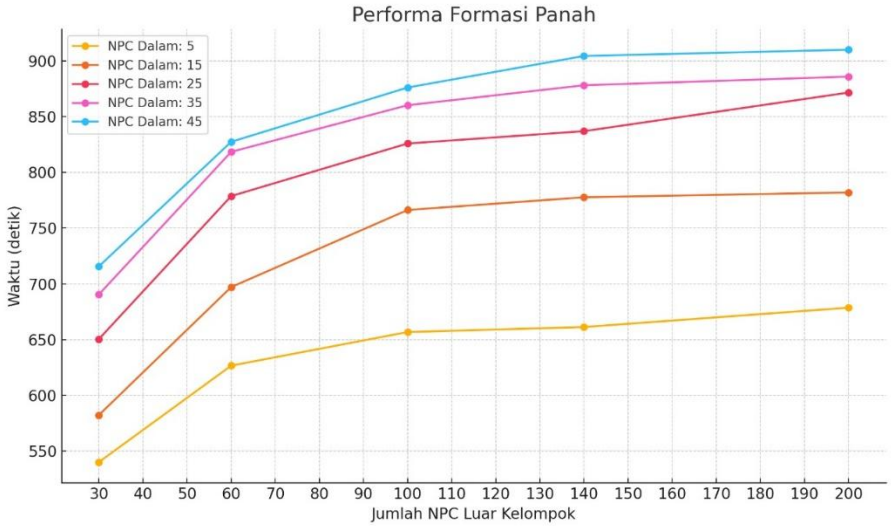
Formasi	NPC Dalam Kelompok	NPC Luar Kelompok	Waktu (M.D.MD)
Panah	5	30	09.00.119
		60	10.26.640
		100	10.56.760
		140	11.01.260
		200	11.18.599
	15	30	09.42.339
		60	11.37.079
		100	12.46.159
		140	12.57.599
		200	13.01.880
	25	30	10.50.440
		60	12.58.639
		100	13.45.779
		140	13.56.839
		200	14.31.459
	35	30	11.30.479
		60	13.38.299
		100	14.20.099
		140	14.38.00
		200	14.45.759
	45	30	11.55.619
		60	13.47.299
		100	14.35.959
		140	15.04.260
		200	15.09.859
Lingkaran	5	30	09.13.200
		60	10.52.799
		100	11.10.919
		140	11.29.239
		200	11.40.972
	15	30	11.39.539
		60	13.42.179
		100	13.47.940
		140	13.54.279
		200	14.01.539
	25	30	12.52.779
		60	14.01.239
		100	14.36.370
		140	14.45.559
		200	14.50.979
	35	30	13.16.679
		60	14.22.079
		100	15.03.019
		140	15.20.059
		200	15.23.695
	45	30	13.26.000
		60	14.41.940
		100	15.21.760
		140	15.47.399
		200	15.55.079

Baris	5	30	9.39.580
		60	10.56.760
		100	11.34.659
		140	11.59.359
		200	12.00.760
	15	30	11.52.940
		60	13.53.719
		100	14.07.279
		140	14.16.519
		200	14.20.725
	25	30	13.24.679
		60	14.38.219
		100	15.21.539
		140	15.27.299
		200	15.33.275
	35	30	13.50.979
		60	15.07.380
		100	15.43.779
		140	16.06.279
		200	16.10.880
	45	30	13.51.179
		60	15.09.000
		100	15.58.719
		140	16.55.619
		200	17..00.176

4.2.1 Pembahasan Hasil Formasi Panah

Formasi Panah menunjukkan karakteristik performa yang cenderung meningkat secara bertahap seiring dengan penambahan jumlah NPC dalam dan luar kelompok. Pada konfigurasi dengan jumlah NPC dalam yang lebih sedikit seperti 5 dan 15, peningkatan jumlah NPC luar dari 30 hingga 200 menghasilkan pertambahan waktu yang masih terkontrol dan tidak menunjukkan lonjakan yang drastis. Namun, mulai dari jumlah NPC dalam 25 ke atas, waktu eksekusi meningkat lebih signifikan, terutama saat digabungkan dengan NPC luar dalam jumlah besar. Hal ini dapat menggambarkan bahwa beban kerja sistem meningkat seiring dengan kompleksitas interaksi yang terjadi dalam formasi Panah ketika populasi yang harus diatur menjadi lebih besar. Meskipun begitu, pola peningkatan

waktu masih menunjukkan konsistensi dan tidak ada indikasi anomali atau hambatan besar dalam proses eksekusi. Ini menandakan bahwa formasi Panah tetap mampu dijalankan dengan baik dalam berbagai kondisi jumlah NPC yang diuji. Performa waktu dari setiap kombinasi jumlah NPC dalam dan luar dalam formasi ini dapat diamati secara visual melalui grafik berikut:



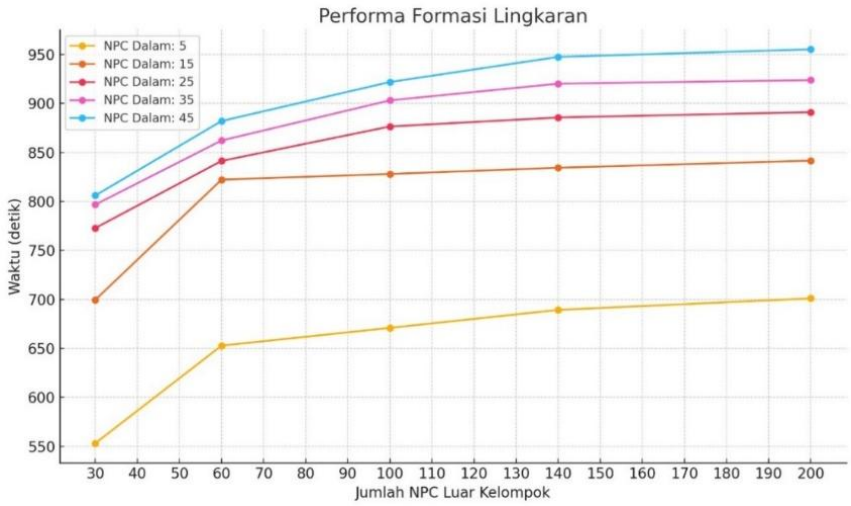
Gambar 4. 5 Waktu penyelesaian tawaf berdasarkan jumlah NPC luar dan dalam kelompok (Formasi Panah)

Pada gambar 4.5 menampilkan grafik garis yang memperlihatkan hubungan antara jumlah NPC luar dengan waktu eksekusi untuk masing-masing jumlah NPC dalam (5, 15, 25, 35, dan 45). Terlihat bahwa setiap kurva mengalami kenaikan waktu yang relatif konsisten seiring bertambahnya jumlah NPC luar dari 30 hingga 200. Pada NPC dalam 5 dan 15, kenaikan waktu masih tergolong landai, namun pada NPC dalam 25 ke atas, kurva menunjukkan kemiringan yang lebih tajam. Hal ini menandakan bahwa semakin besar jumlah NPC dalam, sistem memerlukan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan interaksi, terutama saat NPC luar juga berada pada jumlah yang tinggi. Grafik ini memperkuat hasil observasi sebelumnya

bahwa beban sistem meningkat secara signifikan pada konfigurasi NPC dalam yang tinggi, namun tetap menunjukkan pola yang terukur dan tidak acak.

4.2.2 Pembahasan Hasil Formasi Lingkaran

Formasi Lingkaran memperlihatkan performa yang cenderung konsisten dengan peningkatan waktu yang mengikuti pola bertahap saat jumlah NPC bertambah. Pada jumlah NPC dalam yang rendah hingga menengah, waktu eksekusi meningkat sesuai dengan penambahan NPC luar dari 30 hingga 200. Ketika jumlah NPC dalam mencapai 25, 35, dan 45, efek penambahan jumlah NPC luar terhadap waktu menjadi lebih jelas. Formasi Lingkaran memiliki pola interaksi yang khas karena susunan NPC dalam bentuk melingkar yang memerlukan pergerakan dan posisi yang lebih kompleks untuk dipertahankan. Meskipun demikian, waktu eksekusi tetap menunjukkan kecenderungan yang stabil di seluruh konfigurasi pengujian, tanpa lonjakan yang berlebihan. Ini menunjukkan bahwa formasi Lingkaran masih mampu menangani peningkatan jumlah karakter dalam dan luar kelompok secara berurutan. Pola performa berdasarkan data pengujian untuk formasi ini dapat dilihat melalui grafik berikut:



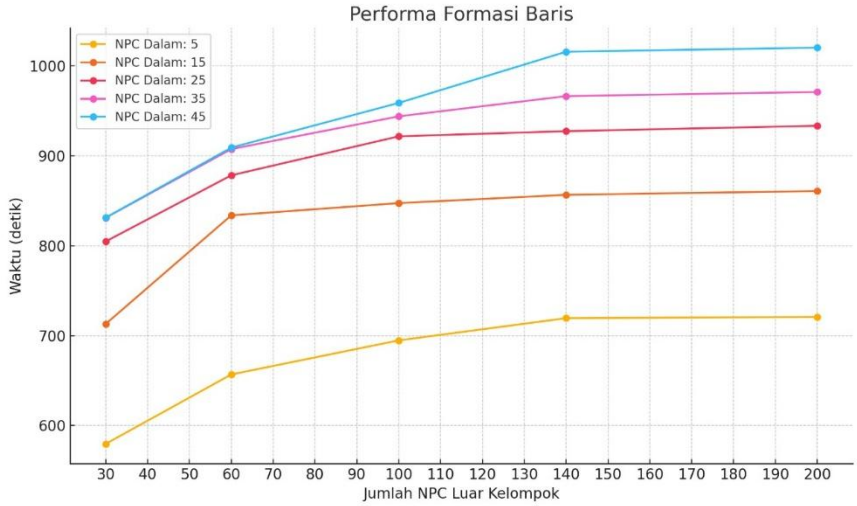
Gambar 4. 6 Waktu penyelesaian tawaf berdasarkan jumlah NPC luar dan dalam kelompok (Formasi Lingkaran)

Pada gambar 4.6 menampilkan grafik garis yang memperlihatkan hubungan antara jumlah NPC luar dengan waktu eksekusi untuk masing-masing jumlah NPC dalam (5, 15, 25, 35, dan 45). Terlihat bahwa setiap kurva mengalami kenaikan waktu yang relatif konsisten seiring bertambahnya jumlah NPC luar dari 30 hingga 200. Pada NPC dalam 5, kenaikan waktu masih tergolong landai, sementara pada NPC dalam 15 hingga 45, kurva menunjukkan kemiringan yang lebih tajam dan stabil. Hal ini menandakan bahwa semakin besar jumlah NPC dalam, sistem memerlukan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan formasi lingkaran, terutama saat jumlah NPC luar juga tinggi. Grafik ini memperkuat hasil observasi bahwa beban sistem bertambah seiring peningkatan jumlah NPC, namun tetap mengikuti pola yang terukur tanpa lonjakan yang tidak terduga.

4.2.3 Pembahasan Hasil Formasi Baris

Formasi Baris menunjukkan pola performa dengan peningkatan waktu yang cukup tajam seiring bertambahnya jumlah NPC, terutama ketika jumlah NPC dalam

mencapai angka 25 hingga 45 dan dipadukan dengan NPC luar berjumlah besar seperti 140 dan 200. Jika dibandingkan dengan kondisi awal saat NPC dalam berjumlah 5 atau 15, waktu eksekusi pada kondisi dengan jumlah tinggi menunjukkan selisih yang cukup besar. Ini mengindikasikan bahwa konfigurasi barisan mulai mengalami penambahan beban dalam mengelola interaksi dan pergerakan karakter pada saat skala populasi membesar. Formasi ini cenderung memiliki keteraturan posisi yang bergantung pada urutan NPC, sehingga semakin panjang barisan dan semakin banyak karakter yang harus diatur, semakin besar pula kemungkinan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan skenario. Walau begitu, tidak ditemukan kondisi yang menyebabkan kegagalan sistem, karena semua kombinasi berhasil menyelesaikan prosesnya. Visualisasi tren waktu eksekusi untuk seluruh kombinasi formasi Baris dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 7 Waktu penyelesaian tawaf berdasarkan jumlah NPC luar dan dalam kelompok (Formasi Baris)

4.3 Hasil Evaluasi Kemudahan Penggunaan Metode Flocking dalam Simulasi

Penilaian terhadap seberapa mudah metode *flocking* digunakan untuk mengatur pergerakan karakter non-pemain (NPC) dalam simulasi keramaian di *game* "Umroh Explorer" dilakukan dengan menggunakan kuesioner *System Usability Scale* (SUS). Sebanyak 30 orang ikut serta dalam pengujian ini, yang terdiri dari 27 orang (90%) yang belum pernah menjalankan ibadah umroh, dan 3 orang (10%) yang sudah memiliki pengalaman langsung melakukannya. Komposisi ini bertujuan untuk menggambarkan persepsi *usability* dari berbagai latar belakang pengguna, baik yang memiliki pengalaman nyata maupun yang baru akan mengenal proses ibadah melalui simulasi. Kuesioner SUS terdiri dari 10 butir pernyataan yang disusun secara selang-seling antara pernyataan positif dan negatif. Setiap pernyataan dijawab menggunakan skala Likert 1–5, yang kemudian dikonversi menjadi skor SUS pada rentang 0–100. Pernyataan ganjil (Q1, Q3, Q5, Q7, Q9) merupakan pernyataan positif, sedangkan pernyataan genap (Q2, Q4, Q6, Q8, Q10) adalah pernyataan negatif.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian tingkat usability dari metode flocking dalam simulasi

NO	Responden	Pernah Umroh	Skor Responden									
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1.	Responden 1	Belum	5	1	5	2	5	4	5	1	5	1
2.	Responden 2	Belum	4	4	5	3	5	4	3	2	4	1
3.	Responden 3	Belum	3	2	4	3	3	3	4	2	4	1
4.	Responden 4	Belum	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5.	Responden 5	Belum	3	2	5	4	4	1	5	1	5	1
6.	Responden 6	Belum	4	4	3	4	4	2	3	2	4	2
7.	Responden 7	Belum	3	4	3	4	4	2	3	3	3	2
8.	Responden 8	Belum	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
9.	Responden 9	Belum	5	2	4	2	5	2	4	2	4	1
10.	Responden 10	Belum	5	1	4	3	5	1	4	1	5	1
11.	Responden 11	Belum	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

12.	Responden 12	Belum	5	3	5	3	5	3	5	2	5	3
13.	Responden 13	Sudah	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
14.	Responden 14	Sudah	4	4	4	4	4	5	5	4	5	5
15.	Responden 15	Belum	5	1	4	2	4	4	5	1	5	1
16.	Responden 16	Belum	5	1	4	1	5	1	4	1	5	1
17.	Responden 17	Belum	5	5	5	1	5	1	5	1	5	1
18.	Responden 18	Belum	5	2	4	1	5	3	5	1	5	1
19.	Responden 19	Belum	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20.	Responden 20	Belum	3	4	4	4	3	3	4	3	5	1
21.	Responden 21	Belum	5	5	1	1	5	1	5	1	1	5
22.	Responden 22	Belum	4	3	4	3	5	2	4	2	3	2
23.	Responden 23	Belum	4	2	5	2	5	2	4	1	5	1
24.	Responden 24	Belum	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5
25.	Responden 25	Belum	5	2	4	1	5	2	4	1	5	1
26.	Responden 26	Belum	5	1	5	1	4	2	5	1	5	1
27.	Responden 27	Belum	5	1	5	3	5	2	4	1	5	2
28.	Responden 28	Belum	5	2	4	1	5	2	5	1	5	2
29.	Responden 29	Belum	5	1	5	1	4	2	4	2	5	1
30.	Responden 30	Belum	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 terdapat variasi skor SUS yang cukup signifikan antar responden. Skor SUS tertinggi sebesar 100 diperoleh oleh beberapa responden seperti Responden 13, 16, dan 26, sementara skor terendah tercatat sebesar 50, yang dialami oleh responden seperti Responden 4, 8, dan 11. Skor tinggi dicapai oleh responden yang memberikan nilai maksimal pada pernyataan positif dan nilai rendah (1 atau 2) pada pernyataan negatif, mencerminkan persepsi positif

terhadap aspek kemudahan penggunaan (*effectiveness*), efisiensi pergerakan NPC (*efficiency*), dan kepuasan secara umum *(satisfaction*). Contohnya, Responden 13 yang sudah pernah melaksanakan umroh menjawab seluruh pernyataan positif dengan skor 5 dan seluruh pernyataan negatif dengan skor 1, yang menghasilkan nilai SUS sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dinilai intuitif, gerakan NPC dirasakan realistis, dan simulasi dianggap memuaskan serta mudah dipahami oleh pengguna berpengalaman.

Jika ditinjau berdasarkan latar belakang pengalaman umroh, dari ketiga responden yang pernah melaksanakan ibadah umroh, dua di antaranya (Responden 13 dan 14) memberikan skor cukup tinggi (masing-masing 100 dan 87,5), sementara satu lainnya memberikan skor menengah. Hal ini menunjukkan bahwa pengguna dengan pengalaman nyata cenderung lebih kritis dalam mengevaluasi simulasi, namun tetap memberikan apresiasi ketika sistem dianggap mampu merepresentasikan pengalaman ibadah secara autentik. Sementara itu, sebagian besar responden yang belum pernah melaksanakan umroh menunjukkan skor yang bervariasi, dengan mayoritas berada pada rentang 70–90, yang mengindikasikan bahwa sistem cukup efektif dalam menyampaikan simulasi bagi pemula dan berhasil menghadirkan pengalaman yang mudah dipahami serta menarik secara umum.

Sebaliknya, skor rendah terlihat pada responden yang memberikan skor tinggi pada pernyataan negatif, yang mengindikasikan persepsi negatif terhadap sistem. Sebagai contoh, Responden 4, 8, dan 11 memberikan skor maksimum (5) pada seluruh item kuesioner, termasuk pada pernyataan negatif seperti Q2, Q4, Q6, Q8,

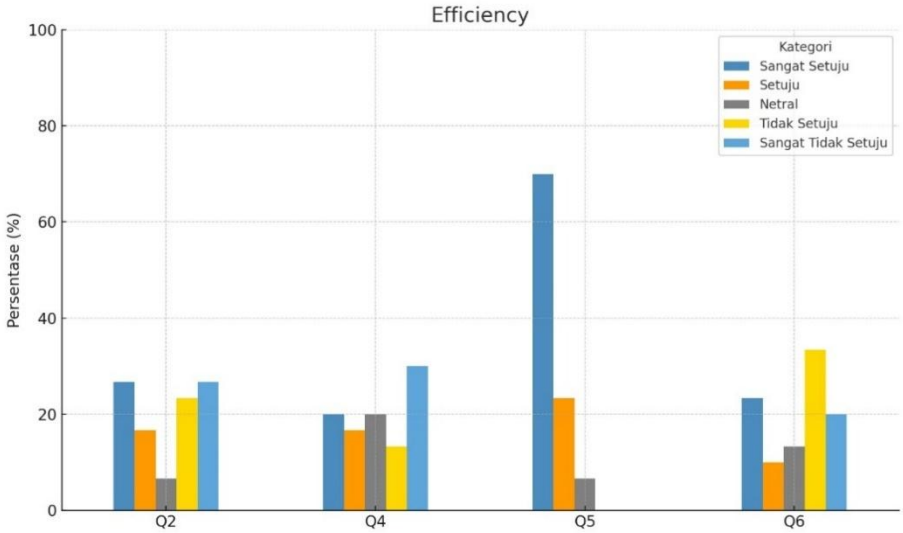
dan Q10. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan kesalahpahaman dalam pengisian kuesioner atau persepsi bahwa simulasi benar-benar tidak memenuhi ekspektasi secara menyeluruh, khususnya pada aspek visual, navigasi, dan stabilitas formasi NPC.

Sebagaimana telah dijelaskan pada Tabel 3.2 di Bab 3, setiap pernyataan dalam kuesioner telah dikelompokkan ke dalam tiga aspek *usability*, yaitu *Effectiveness*, *Efficiency*, dan *Satisfaction*. Untuk memperjelas distribusi hasil tanggapan responden, pada sub bab ini disajikan tiga diagram yang merepresentasikan nilai persentase dari masing-masing aspek usability tersebut.

1. Aspek *Efficiency*

Aspek *Efficiency* mencakup persepsi responden terkait efisiensi pergerakan NPC, kestabilan formasi, serta kelancaran simulasi dalam area padat. Aspek ini dianalisis berdasarkan hasil tanggapan untuk pernyataan yang masuk kategori *Efficiency* sesuai Tabel 3.2.

Diagram berikut menampilkan distribusi persentase responden terhadap aspek *Efficiency*:

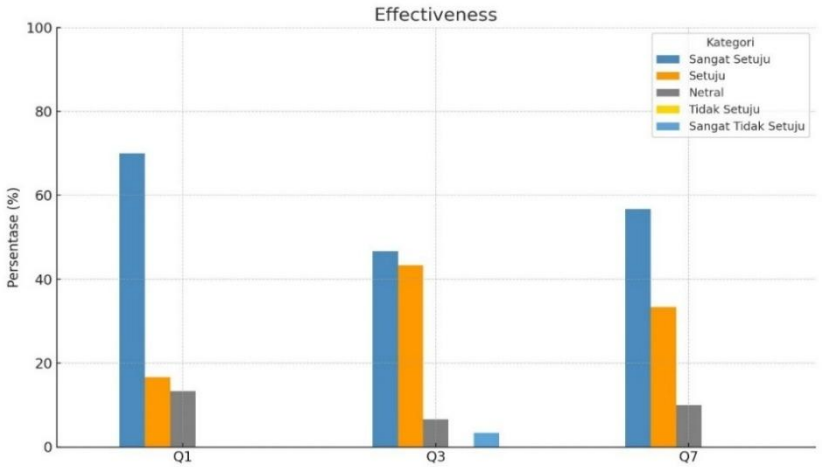


Gambar 4. 8 Diagram distribusi persentase responden terhadap aspek Efficiency

2. Aspek *Effectiveness*

Aspek *Effectiveness* menilai sejauh mana simulasi dapat membantu pemain memahami proses ibadah tawaf serta mencerminkan perilaku jamaah dengan realistis. Data untuk aspek ini diambil dari pernyataan-pernyataan yang masuk kategori Effectiveness dalam Tabel 3.2.

Distribusi hasil tanggapan responden terhadap aspek *Effectiveness* dapat dilihat pada diagram berikut:

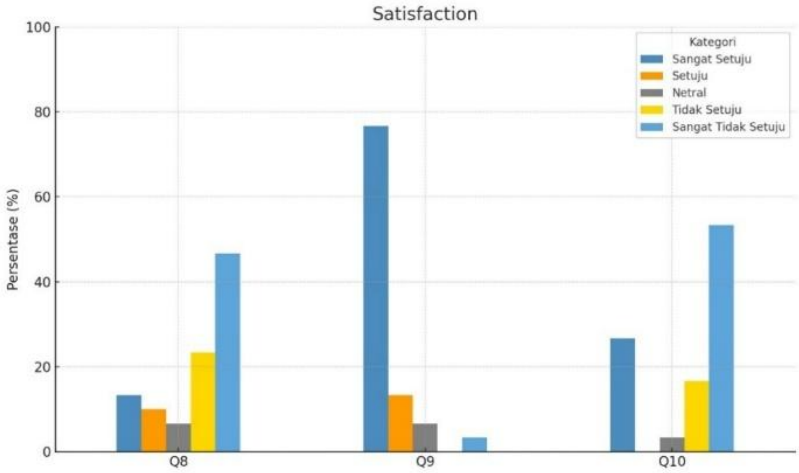


Gambar 4. 9 Diagram distribusi persentase responden terhadap aspek Effectiveness

3. Aspek *Satisfaction*

Aspek *Satisfaction* mengukur tingkat kepuasan pemain terhadap visual, animasi pergerakan NPC, kenyamanan bermain, serta keinginan untuk merekomendasikan permainan. Aspek ini dianalisis berdasarkan pernyataan-pernyataan yang masuk kategori Satisfaction pada Tabel 3.2.

Diagram berikut memperlihatkan distribusi persentase responden terhadap aspek *Satisfaction*:



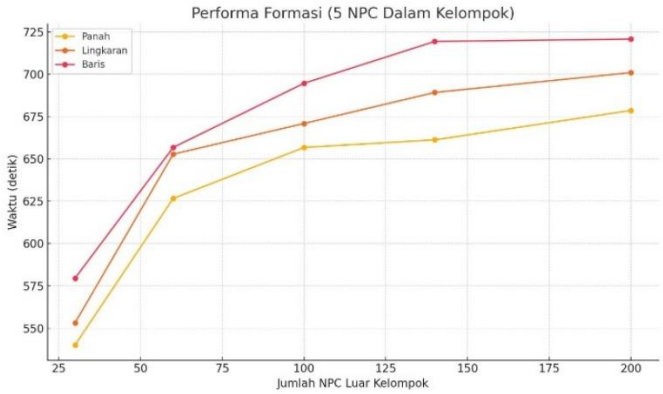
Gambar 4. 10 Diagram distribusi persentase responden terhadap aspek Satisfaction

4.4 Analisis

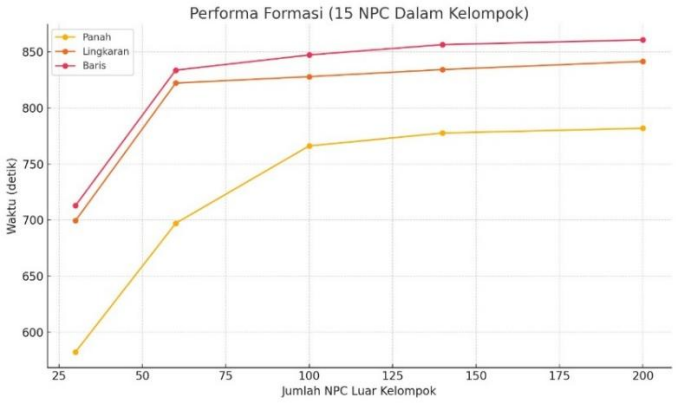
4.4.1 Analisis Data Hasil Pengujian Efisiensi Tiga Formasi Tawaf

Berdasarkan hasil pengujian terhadap tiga jenis formasi yaitu Panah, Lingkaran, dan Baris, ditemukan bahwa masing-masing formasi menunjukkan pola performa waktu tempuh yang berbeda-beda. Variasi performa ini dipengaruhi oleh jumlah NPC dalam kelompok serta kehadiran NPC luar yang bergerak secara dinamis di lingkungan simulasi. Secara umum, peningkatan jumlah NPC, baik dalam maupun luar kelompok, berbanding lurus dengan kenaikan waktu tempuh.

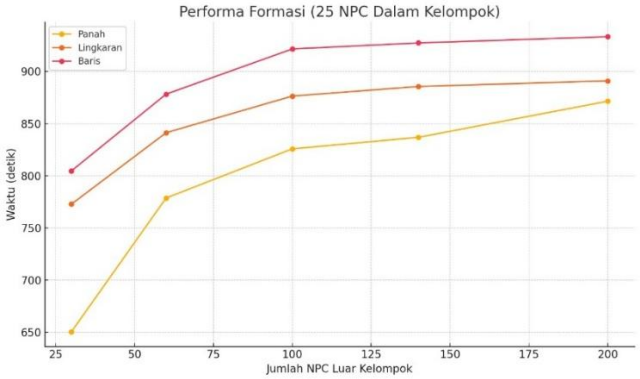
Untuk mendapatkan gambaran yang lebih terfokus, analisis performa pada grafik berikut disajikan secara terpisah berdasarkan jumlah NPC dalam kelompok. Grafik berikut menyajikan perbandingan waktu tempuh dari ketiga formasi dalam berbagai konfigurasi NPC, sehingga memudahkan untuk melihat karakteristik performa masing-masing formasi pada kondisi jumlah NPC dalam tertentu.



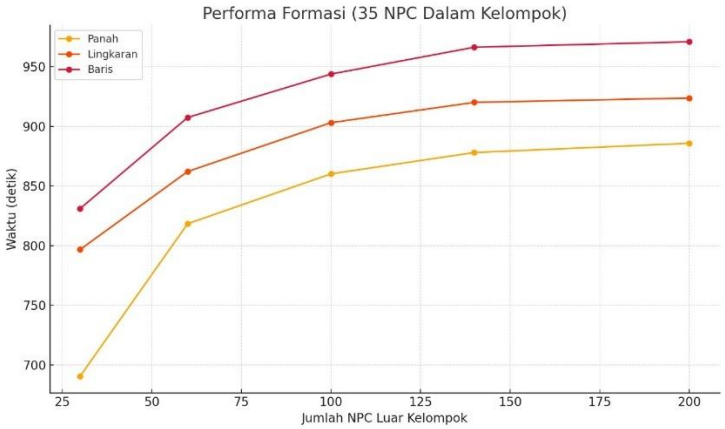
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 5



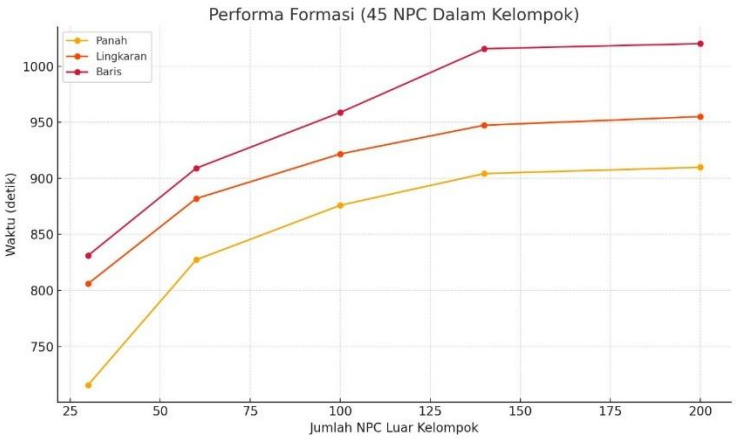
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 15



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 25



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 35



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Waktu Tempuh Formasi Panah, Lingkaran, dan Baris dengan Jumlah NPC Dalam Kelompok 45

Berdasarkan keseluruhan grafik di atas, terlihat bahwa ketiga formasi yaitu Panah, Lingkaran, dan Baris memiliki pola performa yang konsisten dalam merespon perubahan konfigurasi jumlah NPC luar, baik pada kondisi jumlah NPC dalam yang rendah maupun tinggi. Secara umum, peningkatan jumlah NPC luar selalu diikuti oleh kenaikan waktu tempuh pada ketiga formasi. Namun, laju kenaikan tersebut berbeda antar formasi dan semakin dipengaruhi oleh jumlah NPC dalam kelompok.

Formasi Panah secara konsisten menunjukkan waktu tempuh paling rendah pada hampir seluruh konfigurasi, dengan kenaikan yang relatif bertahap dan stabil. Formasi ini mampu mempertahankan keteraturan arah gerak antar NPC dalam kelompoknya meskipun kepadatan lingkungan bertambah, sehingga interaksi dengan NPC luar dapat diminimalisir. Bahkan pada kondisi NPC dalam kelompok mencapai 45 orang sekalipun, formasi Panah tetap mempertahankan kestabilannya dibandingkan formasi lain.

Formasi Lingkaran menempati posisi menengah di sebagian besar grafik. Kenaikan waktu tempuhnya cenderung lebih cepat dibandingkan Formasi Panah, khususnya saat jumlah NPC luar mencapai 100 hingga 200 orang. Hal ini disebabkan oleh pola koordinasi antar NPC dalam formasi ini yang harus menjaga posisi melingkar secara dinamis, sehingga saat lingkungan semakin padat, interaksi dengan NPC luar lebih sering terjadi dan memengaruhi kecepatan tempuh. Meski demikian, performa Formasi Lingkaran tergolong stabil dan tidak menunjukkan lonjakan ekstrem.

Sementara itu, Formasi Baris menjadi formasi dengan performa paling sensitif terhadap perubahan jumlah NPC luar, khususnya ketika jumlah NPC dalam mencapai 25 orang ke atas. Lonjakan waktu tempuh paling signifikan terjadi pada kondisi kepadatan tinggi, di mana formasi linear ini mulai sulit dipertahankan akibat interaksi dengan NPC luar yang tidak dapat dihindari. Peningkatan waktu tempuh pada Formasi Baris terlihat paling tajam pada grafik-grafik dengan NPC dalam kelompok 35 dan 45 orang, menandakan bahwa formasi ini kurang adaptif di lingkungan simulasi dengan tingkat kepadatan tinggi.

Untuk memberikan gambaran yang lebih ringkas tentang performa masing-masing formasi, berikut disajikan tabel rata-rata waktu tempuh untuk setiap jumlah NPC dalam

Tabel 4. 3 rata-rata waktu penyelesaian dari seluruh scenario

Formasi	**Jumlah Data**	**Total Waktu (detik)**	**Rata-rata (detik)**	**Rata-rata Waktu**
Panah	25	19088.83	763.55	12 menit 43 detik
Lingkaran	25	20481.10	819.24	13 menit 39 detik
Baris (Shaf)	25	21300.31	852.01	14 menit 12 detik

Dari tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa formasi panah memiliki rata-rata waktu tempuh tercepat, yaitu 763,55 detik atau sekitar 12 menit 43 detik. Hal ini menjadikannya formasi paling efisien dalam menyelesaikan proses tawaf. Performa formasi panah cenderung stabil pada konfigurasi dengan jumlah NPC rendah hingga menengah, namun mengalami sedikit peningkatan waktu saat jumlah NPC meningkat signifikan. Ini menunjukkan bahwa formasi panah cukup fleksibel dan efektif dalam berbagai skenario, terutama ketika tingkat kepadatan masih moderat.

Formasi lingkaran menempati posisi kedua dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 819,24 detik atau sekitar 13 menit 39 detik. Meskipun sedikit lebih lambat dari formasi panah, formasi ini unggul dalam hal kestabilan, terutama saat beroperasi dalam kepadatan tinggi. Pola formasi melingkar memberikan manuver baik di tengah interaksi padat antar NPC, menjadikannya lebih tahan terhadap gangguan dari jumlah NPC luar yang besar. Namun, waktu tempuhnya menunjukkan fluktuasi lebih besar dibanding formasi panah, menandakan sensitivitas terhadap perubahan kondisi eksternal.

Adapun formasi baris mencatat waktu tempuh terlama dengan rata-rata 852,01 detik atau sekitar 14 menit 12 detik. Meski demikian, formasi ini menunjukkan kestabilan performa terbaik. Peningkatan waktu tempuhnya bersifat konsisten dan tidak mengalami fluktuasi tajam. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kurang efisien dalam hal kecepatan, formasi baris dapat diandalkan dalam menjaga keteraturan dan kestabilan sistem, terutama pada kondisi sangat padat dan menuntut keteraturan tinggi.

Dengan demikian, formasi panah merupakan pilihan terbaik dalam hal efisiensi, terutama dalam kondisi normal hingga menengah. Sementara itu, formasi lingkaran menjadi alternatif unggul dalam skenario dengan kepadatan tinggi karena stabilitasnya meskipun sedikit lebih lambat. Formasi baris, meskipun paling lambat, merupakan pilihan tepat untuk kondisi yang menuntut kestabilan dan keteraturan maksimum, ideal dalam lingkungan sangat padat dan kompleks.

4.4.2 Analisis Data Hasil Evaluasi Kemudahan Penggunaan Metode Flocking dalam Simulasi

Dalam pengujian kemudahan penggunaan sistem menggunakan pendekatan SUS (*System Usability Scale*), pernyataan yang bersifat mendukung atau positif ditempatkan pada nomor ganjil, sedangkan pernyataan yang bersifat berlawanan atau negatif berada di nomor genap. Untuk pernyataan bernomor ganjil, skornya didapat dengan cara mengurangi nilai jawaban dari angka tertinggi, yaitu 5. Untuk nomor genap, skor didapat dengan mengurangi jawaban dari nilai minimum (1). Hasil perhitungan ini kemudian dikalikan dengan angka 2.5. Nilai akhir dari SUS dipakai untuk menilai apakah pengaturan NPC dengan metode flocking di game Umroh Explorer terasa mudah digunakan. Berikut adalah penilaian dari setiap responden dalam uji coba:

Tabel 4. 4 Penilaian dari setiap responden terhadap tingkat kemudahan penggunaan metode flocking dihitung menggunakan metode System Usability Scale (SUS)

Responden	Skor SUS
Responden 1	90
Responden 2	67,5
Responden 3	67,5
Responden 4	50
Responden 5	82,5
Responden 6	60
Responden 7	52.5
Responden 8	50
Responden 9	82.5
Responden 10	90
Responden 11	50
Responden 12	77.5
Responden 13	100
Responden 14	50
Responden 15	85
Responden 16	95
Responden 17	90
Responden 18	90
Responden 19	50
Responden 20	60
Responden 21	60
Responden 22	70
Responden 23	87.5

Responden 24	50
Responden 25	90
Responden 26	95
Responden 27	87.5
Responden 28	90
Responden 29	90
Responden 30	50
Rata Rata	73.67

Berdasarkan Tabel 4.4, rata-rata nilai dari seluruh responden adalah 73,67. Nilai ini menempatkan sistem dalam kategori kuartil ketiga menurut standar SUS (Bangor et al., 2009), yang berarti sistem pengaturan pergerakan karakter non-pemain (NPC) di game Umroh Explorer tergolong cukup mudah digunakan.

4.5 Integrasi Islam

Dalam *Ta'lim al-Muta'allim*, Syaikh Az-Zarnuji menegaskan pentingnya mencari ilmu sesuai kebutuhan dan kondisi zaman. Prinsip ini mendorong pengembangan pengetahuan, baik dalam aspek keagamaan maupun kehidupan sosial yang bermanfaat bagi umat. Penelitian ini merupakan implementasi semangat tersebut melalui pengembangan simulasi digital "Umroh Explorer", yang bertujuan memperkenalkan tata cara dan adab tawaf secara interaktif. Dengan metode *flocking* untuk mengatur pergerakan NPC, simulasi ini menyajikan gambaran realistis perilaku jamaah dalam tawaf sekaligus menjadi media edukasi. Pengembangan ini bukan sekadar aktivitas teknis, melainkan aktualisasi nilai keislaman dalam teknologi edukatif, sejalan dengan pesan Az-Zarnuji tentang pentingnya mengaplikasikan ilmu demi kemaslahatan umat.

4.5.1 Muamalah Ma'a Allah

Aspek Hubungan manusia dengan Allah (*muamalah ma'allah*) dalam penelitian ini terlihat dari niat dan tujuan dibuatnya simulasi, yaitu untuk membantu pemahaman tentang ibadah tawaf yang merupakan bagian dari rukun umrah. Simulasi ini tidak hanya menampilkan visual gerakan, tetapi juga berisi unsur pembelajaran yang bertujuan meningkatkan kesadaran beribadah dan memahami tata cara pelaksanaannya sesuai ajaran agama. Tujuan ini selaras dengan pesan yang terdapat dalam Surah Al-Baqarah ayat 158:

اِنَّ الصَّفَا وَالْمَرْوَةَ مِنْ شَعَآىِٕرِ اللّٰهِۚ فَمَنْ حَجَّ الْبَيْتَ اَوِ اعْتَمَرَ فَلَا جُنَاحَ عَلَيْهِ اَنْ يَّطَّوَّفَ بِهِمَاۗ وَمَنْ تَطَوَّعَ خَيْرًاۙ فَاِنَّ اللّٰهَ شَاكِرٌ عَلِيْمٌ ﴿١٥٨﴾

"Sesungguhnya Safa dan Marwah merupakan sebagian dari syiar (agama) Allah. Maka, siapa beribadah haji ke Baitullah atau berumrah, tidak ada dosa baginya mengerjakan sai antara keduanya. Siapa yang dengan kerelaan hati mengerjakan kebajikan, maka sesungguhnya Allah Maha Mensyukuri, lagi Maha Mengetahui." (Q.S. Al-Baqarah: 158)

Menurut Tafsir Al-Mukhtashar(Markaz Tafsir Riyadh, n.d.), ayat ini menekankan bahwa melaksanakan syiar Allah seperti sa'i dan tawaf merupakan bentuk ketaatan yang diperintahkan. Meski penelitian ini tidak menyimulasikan sa'i, pesan dalam ayat ini tetap relevan, karena tawaf juga merupakan syiar yang agung. Dengan menyimulasikan tawaf melalui pendekatan teknologi, penelitian ini menjadi bentuk penghormatan terhadap syiar tersebut, sekaligus sarana pembelajaran spiritual bagi umat Islam.

4.5.2 Muamalah Ma'a An-nas

Interaksi antar manusia dalam konteks penelitian ini ditunjukkan melalui kontribusi nyata dalam bidang pendidikan, khususnya dalam membantu umat Islam memahami ibadah tawaf dengan lebih mudah. *Game* "Umroh Explorer" tidak hanya berfungsi sebagai hiburan, tetapi juga sebagai media pembelajaran yang menarik dan interaktif. *Game* ini dirancang agar dapat digunakan oleh berbagai usia anak-anak, remaja, hingga orang dewasa yang ingin mempelajari tata cara ibadah umrah, khususnya tawaf, dengan pendekatan yang lebih menyenangkan dan tidak membingungkan.

Nilai penting dari game ini terletak pada dampak sosial dan pendidikan yang dapat dirasakan oleh masyarakat luas. Di era digital, banyak umat yang lebih responsif terhadap media visual dan interaktif. Dengan menghadirkan simulasi ibadah dalam bentuk *game*, pengguna dapat belajar tanpa tekanan, membentuk pemahaman yang lebih baik tentang adab, tata cara, serta nilai-nilai kesabaran dan kebersamaan yang penting saat melaksanakan ibadah di tengah kerumunan. Hal ini juga mendukung penyebaran ilmu syar'i dengan pendekatan yang relevan dan sesuai perkembangan zaman. Kontribusi ini mencerminkan ajaran Islam tentang pentingnya menebar manfaat bagi sesama, sebagaimana sabda Rasulullah ﷺ:

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

"Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lain." (HR. Ahmad, Ath-Thabrani, dan Ad-Daruquthni)

Dengan demikian, pengembangan *game* edukatif ini bukan hanya proyek teknologi, melainkan juga bentuk pelayanan kepada masyarakat Muslim agar

mereka dapat memahami dan mempersiapkan diri dalam menunaikan ibadah dengan benar. *Game* ini dapat digunakan oleh lembaga pendidikan, berbagai komunitas keagamaan, maupun individu sebagai media pembelajaran yang mudah diakses dan menarik. Dengan menyajikan informasi yang interaktif dan visualisasi yang menyerupai kondisi nyata, *game* ini membantu mengurangi kesalahpahaman atau kekeliruan dalam pelaksanaan ibadah tawaf, khususnya bagi mereka yang belum pernah menunaikan umrah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan pengamatan terhadap tiga jenis formasi gerakan NPC (yaitu formasi Panah, Lingkaran, dan Baris), serta penilaian kemudahan penggunaan metode *flocking* dalam simulasi tawaf di *game* "Umroh Explorer", ditemukan beberapa poin penting yang saling melengkapi.

Dari aspek kecepatan waktu tempuh, formasi Panah terbukti paling unggul. Struktur diagonalnya mendukung arah gerakan yang lebih terfokus dan terorganisir, sehingga memudahkan NPC menyelesaikan putaran tawaf dengan cepat, khususnya pada kondisi kepadatan rendah hingga menengah. Meski terjadi peningkatan waktu tempuh pada kepadatan tinggi, performa formasi ini tetap stabil dibandingkan formasi lain.

Formasi Lingkaran menempati posisi kedua dalam hal kecepatan waktu tempuh, namun menunjukkan keunggulan dari segi kestabilan interaksi antar-NPC di lingkungan padat. Pola melingkar memberikan ruang adaptif yang meminimalkan tabrakan, menjadikannya formasi yang cukup seimbang antara waktu tempuh dan fleksibilitas.

Sementara itu, formasi Baris memiliki waktu tempuh terlama, tetapi menunjukkan kestabilan paling konsisten. Keteraturan posisi antar-NPC sangat terjaga, menjadikannya pilihan yang cocok untuk kondisi keramaian tinggi yang

memerlukan kontrol formasi secara presisi, walaupun dengan konsekuensi efisiensi waktu yang lebih rendah.

Dari sisi *usability*, penerapan metode flocking dalam pengelolaan kerumunan NPC dinilai berhasil. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *System Usability Scale* (SUS) yang melibatkan 30 responden dari berbagai latar belakang pengalaman ibadah, diperoleh nilai rata-rata SUS sebesar 73,67. Skor ini tergolong dalam kategori "baik" (*acceptable*) menurut interpretasi standar SUS, yang berarti sistem dipandang cukup mudah digunakan, efisien, dan memberikan pengalaman yang memuaskan bagi sebagian besar pengguna. Pengguna yang pernah melakukan ibadah umroh memberikan skor tinggi apabila mereka menilai simulasi mampu merepresentasikan pengalaman ibadah secara autentik, sementara pengguna awam tetap dapat memahami dan merasakan manfaat dari simulasi secara intuitif.

Variasi skor SUS yang ditemukan mengindikasikan bahwa meskipun sistem telah memenuhi kebutuhan mayoritas pengguna, masih terdapat aspek-aspek yang perlu ditingkatkan, terutama dalam hal visualisasi, stabilitas formasi di area padat, dan kejelasan alur navigasi. Temuan ini menjadi dasar penting untuk pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan kualitas simulasi serta mendekatkan pengalaman pengguna terhadap kondisi riil ibadah tawaf.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode *flocking* secara umum efektif dan usable dalam mengelola simulasi pergerakan kerumunan NPC dalam *game* edukatif seperti “Umroh Explorer”, serta masing-masing formasi memiliki keunggulan tersendiri tergantung pada kondisi kepadatan dan kebutuhan kontrol formasi.

5.2 Saran

Merujuk pada temuan dari proses penelitian dan pengembangan *game* "Umroh Explorer", terdapat sejumlah saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan lebih lanjut, baik dari aspek teknis maupun konten edukatif:

1. Integrasi Fitur Edukasi yang Lebih Interaktif.

Game "Umroh Explorer" memiliki potensi besar sebagai media pembelajaran interaktif dalam mengenalkan ibadah umrah secara menyeluruh kepada pengguna, terutama generasi muda. Oleh karena itu, disarankan agar *game* ini dikembangkan lebih lanjut dengan menyertakan simulasi kegiatan ibadah umrah lainnya, tidak hanya terbatas pada tawaf. Penambahan tahapan seperti sa'i antara Bukit Shafa dan Marwah, *tahalul* (memotong rambut), serta *miqat* (pengambilan niat umrah) akan memberikan pengalaman yang lebih lengkap dan mendalam bagi pemain. Setiap tahapan ibadah dapat dirancang dengan alur yang realistis dan disertai petunjuk visual serta interaksi edukatif agar pemain memahami urutan dan makna di balik setiap ibadah. Dengan menambahkan fitur-fitur tersebut, "Umroh Explorer" tidak hanya menjadi sarana hiburan, tetapi juga sarana pembelajaran spiritual yang komprehensif dan bermanfaat bagi calon jamaah maupun generasi muda.

2. Implementasi *Multiplayer* atau Kolaborasi Virtual

Mengembangkan *game* ke arah simulasi multi-pemain (*multiplayer*), yang memungkinkan beberapa pengguna bermain secara bersamaan dalam satu sesi simulasi tawaf. Implementasi fitur ini tidak hanya akan meningkatkan aspek sosial dan interaktivitas antar pemain, tetapi juga dapat menjadi sarana pelatihan kelompok secara virtual, misalnya untuk keperluan manasik haji dan umrah secara

daring. Selain itu, mode *multiplayer* juga dapat menjadi peluang untuk menguji stabilitas formasi dan perilaku kerumunan dalam skenario keramaian yang lebih kompleks dan realistis. Dalam konteks penelitian atau simulasi perilaku manusia, fitur ini bisa membuka ruang eksplorasi baru terhadap dinamika kerumunan yang melibatkan interaksi antar pengguna nyata, bukan hanya NPC.

3. Penetapan Kriteria Responden dalam Uji Usability

Dalam pelaksanaan evaluasi usability menggunakan pendekatan *System Usability Scale (SUS)*, diperlukan penetapan kriteria responden yang lebih terperinci guna memperoleh hasil yang lebih fokus dan mencerminkan kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini, seluruh responden berasal dari berbagai rentang usia tanpa pembatasan tertentu. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pengujian dibagi berdasarkan kategori, seperti usia, latar belakang pendidikan, atau tingkat pengetahuan keislaman, sehingga analisis *usability* dapat mengidentifikasi kebutuhan dan tingkat pemahaman pengguna dari berbagai segmen. Dengan demikian, pengembangan fitur maupun antarmuka game dapat lebih disesuaikan dengan karakteristik pengguna yang dituju.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, R., & Chandra, A. (2017). Analisis Implementasi Game Edukasi "The Hero Diponegoro" Guna Meningkatkan Hasil Belajar Siswa di MTs. Attaroqie Malang. *Jurnal Teknologi Informasi*, 1–84. https://doi.org/10.36382/jti-tki.v8i1.248

Alazbah, A., & Zafar, B. (2019). Pilgrimage (HAJJ) Crowd Management Using Agent-Based Method. *International Journal in Foundations of Computer Science & Technology*, *09*(01), 01–17. https://doi.org/10.5121/ijfcst.2019.9101

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean; adding an adjective rating. *Journal of Usability Studies*, *4*(3), 114–123.

Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *24*(6), 574–594. https://doi.org/10.1080/10447310802205776

Beny, B., Yani, H., & Ningrum, G. M. (2019). Evaluasi Usability Situs Web Kemenkumham Kantor Wilayah Jambi dengan Metode Usability Test dan System Usability Scale. *RESEARCH : Computer, Information System & Technology Management*, *2*(1), 30. https://doi.org/10.25273/research.v2i1.4282

Bourg, D. M., & Seeman, G. (2004). *AI For Game Developers. O'Reilly Media Inc*.

Brooke, J. (1996). SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale. In *Usability Evaluation In Industry* (pp. 207–212). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781498710411-35

Cui, X., Gao, J., & Potok, T. E. (2006). A flocking based algorithm for document clustering analysis. *Journal of Systems Architecture*, *52*(8–9), 505–515. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2006.02.003

Dewi, M., Hariadi, M., & Purnomo, M. H. (2011). Simulating the movement of the crowd in an environment using flocking. *2011 2nd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering*, 186–191. https://doi.org/10.1109/ICICI-BME.2011.6108638

Djamaludin, H. S. (2016). *Pergerakan NPC menggunakan algoritma boids dan artificial bee colony pada simulasi mengelilingi Ka'bah (thawaf)*.

Ellington, H., Addinall, E., &, & Percival, F. (1982). *A handbook of game design*. Kagan Page Nichols.

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

Fikri, R. (2023). Pergerakan partikel untuk efek aura pada karakter berbasis algoritma boids. *Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*. http://etheses.uin-malang.ac.id/52755/

Haghighati, R., & Hassan, A. (2018). *Modelling the flow of crowd furing tawaf ata masjid al-haram*.

ISO. (1994). *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals. Part 11 : Guidance on usability. ISO No 924111, 2008 (February 9), 22.*

Johansson, A., Helbing, D., Al-Abideen, H. Z., & Al-Bosta, S. (2008). From crowd dynamics to crowd safety: A video-based analysis. *Advances in Complex Systems*, *11*(4), 497–527. https://doi.org/10.1142/S0219525908001854

Karim, S., Murti, D. H., & Kuswardayan, I. (2017). Simulasi Perilaku Jama'ah Saat Mengelilingi Ka'bah Menggunakan Algoritma Flocking dan A*. *Scan : Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, *12*(3). https://doi.org/10.33005/scan.v12i3.923

Kim, S., Guy, S. J., Hillesland, K., Zafar, B., Gutub, Gutub, Adnan A.-A., &, & Manocha, D. (2015). Velocity-based modeling of physical interactions in dense crowds. *The Visual Computer*, *31*(5), 541–555. https://doi.org/10.1007/s00371-014-0946-1

Kurdi, O., Stannett, M., & Romano, D. M. (2015). Modeling and simulation of tawaf and sa'yee: A survey of recent work in the field. *29th Annual European Simulation and Modelling Conference 2015, ESM 2015*, *October 2015*, 441–447.

Markaz Tafsir Riyadh. (n.d.). *Tafsir Surah Al-Baqarah Ayat 158*. Markaz Tafsir.

Matera, M., Rizzo, F., & Carughi, G. T. (2006). Web Usability: Principles and Evaluation Methods. In *Web Engineering* (pp. 143–180). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-28218-1_5

Maulani, M. (2019). Perilaku kelompok NPC dalam Game petualangan Bahasa Arab menggunakan algoritma boids. *(Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.

Musse, S. R., Thalman, D., &, & Raupp, S. (2013). *Crowd Simulation*.

Nuhu Shuaibu, A. (2015). Simulation of Crowd Movement in Spiral Pattern during Tawaf, in Makkah, Saudi Arabia. *Modern Applied Science*, *9*(11), 192. https://doi.org/10.5539/mas.v9n11p192

Olsen, T., Procci, K., & Bowers, C. (2011). *Serious Games Usability Testing: How to Ensure Proper Usability, Playability, and Effectiveness* (pp. 625–634). https://doi.org/10.1007/978-3-642-21708-1_70

Pratama, D. A. (2023). *Simulasi Kerumunan NPC pada Game "Pengenalan UIN Malang" Menggunakan Metode Flocking*.

Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, *21*(4), 25–34. https://doi.org/10.1145/37402.37406

Santoso, E., Budhi, G. S., &, & Intan, R. (2017). Pembuatan Game dengan Menerapkan Metode Decision Tree: UCB1, untuk Menentukan Pemilihan Strategy dalam AI. *Publication.Petra.Ac.Id*.

Sarmady, S., Haron, F., & Talib, A. Z. (2011). A cellular automata model for circular movements of pedestrians during Tawaf. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *19*(3), 969–985. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.12.004

Siagian, P. (1987). *Penelitian Operasional: Teori dan Praktek*. Jakarta: UI-Press, 1987.

Siswanto, E., & Suni, A. F. (2021). Aksi Penyerangan Non-Player Character (NPC) Menggunakan Metode Naive Bayes pada Shooter Game. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, *8*(6), 1187–1194. https://doi.org/10.25126/jtiik.2021863804

Su, H., Wang, X., & Lin, Z. (2009). Flocking of Multi-Agents With a Virtual Leader. *IEEE Transactions on Automatic Control*, *54*(2), 293–307. https://doi.org/10.1109/TAC.2008.2010897

Warpfelt, H. (2016). The Non-Player Character, Sockholm : Department of Computer and Systems Sciences. *S, Stockholm University*.