



**PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI
DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL
REALITY DI GEDUNG PUT PNJ MENGGUNAKAN
FSM DAN NAVMESH**

SKRIPSI

TUBAGUS FARREL FADILLAH 2207431041

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DIGITAL
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI
DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL
REALITY DI GEDUNG PUT PNJ MENGGUNAKAN
FSM DAN NAVMESH**

SKRIPSI

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang Diperlukan untuk
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

**TUBAGUS FARREL FADILLAH
2207431041**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DIGITAL
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer - Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tubagus Farrel Fadillah
NIM : 2207431041
Jurusan/Program Studi : T.Informatika dan Komputer/T.Multimedia Digital
Judul Skripsi : PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI
DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL
REALITY DI GEDUNG PUT PNJ
MENGUNAKAN FSM DAN NAVMESH

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Jakarta, 23 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Tubagus Farrel Fadillah
NIM. 2207431041



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh

Nama : Tubagus Farrel Fadillah

NIM : 2207431041

Program Studi : Teknik Multimedia Digital

Judul Skripsi : PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI

DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL REALITY DI GEDUNG PUT
PNJ MENGGUNAKAN FSM DAN NAVMESH

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Rabu,
Tanggal 01, Bulan Juli, Tahun 2026 dan dinyatakan LULUS.

Disahkan oleh

Pembimbing I : Noorlela Marcheta, S.Kom., M.Kom

Penguji I : Ade Rahma Yuly, S.Kom., M.Ds.

Penguji II : Iwan Sonjaya, ST, MT

Penguji III : Mira Rosalina, S.Pd., MT

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua



Dr. Anita Hidayati, S.Kom, M.Kom

NIP. 197908032003122003



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL REALITY DI GEDUNG PUT PNJ MENGGUNAKAN FSM DAN NAVMESH”. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Noorlela Marcheta, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Seluruh dosen Program Studi Teknik Multimedia Digital Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
3. Saudari Talitha Luthfia Zaki, S.K.K.K. selaku narasumber ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang telah meluangkan waktu untuk penelitian ini.
4. Orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama proses penyusunan skripsi.
5. Rekan kelompok skripsi, Putri Suna dan Pradipta Daffa Adiwangsa yang telah bekerja bersama dalam merancang hingga menyelesaikan skripsi ini.
6. Dea Luthfina Azzahra atas dukungan, semangat, serta kebersamaan selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan kebersamaan selama masa perkuliahan.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta pengembangan ilmu pengetahuan di masa mendatang.

Jakarta, 23 Juni 2026

Tubagus Farrel Fadillah

NIM.2207431041



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tubagus Farrel Fadillah
NIM : 2207431041
Jurusan/Program Studi : T.Informatika dan Komputer/T.Multimedia Digital

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL REALITY DI GEDUNG PUT PNJ MENGUNAKAN FSM DAN NAVMESH

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 23 Juni 2026

Yang Menyatakan



Tubagus Farrel Fadillah

NIM. 2207431041



PENGEMBANGAN SIMULASI EVAKUASI DARURAT BENCANA BERBASIS VIRTUAL REALITY DI GEDUNG PUT PNJ MENGUNAKAN FSM DAN NAVMESH

Abstrak

Indonesia merupakan negara dengan risiko bencana yang tinggi sehingga edukasi mitigasi dan kesiapsiagaan menjadi penting. Metode edukasi konvensional seperti penyuluhan dan simulasi fisik memiliki keterbatasan berupa biaya yang tinggi, logistik yang rumit, risiko keselamatan, serta sifatnya yang cenderung pasif sehingga retensi pemahaman prosedur keselamatan menjadi rendah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan game edukasi simulasi bencana berbasis Virtual Reality menggunakan game engine Unity yang memvisualisasikan lingkungan Gedung Pusat Unggulan Teknologi (PUT), untuk skenario kebakaran dan gempa bumi. Metode pengembangan yang digunakan adalah Multimedia Development Life Cycle (MDLC). Implementasi mencakup integrasi Virtual Reality dengan skenario bencana kebakaran dan gempa, interaksi objek seperti Alat Pemadam Api Ringan (APAR), navigasi Non-Playable Character (NPC) menggunakan Finite State Machine dan NavMesh, serta penyusunan antarmuka pengguna. Pengujian dan validasi dengan ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dan ahli Virtual Reality secara kualitatif, serta pengujian kepada 36 responden secara kuantitatif. Hasil alpha testing menunjukkan seluruh fungsi berjalan sesuai rancangan. Hasil beta testing mahasiswa memperoleh skor persentase sebesar 88,43% dan termasuk dalam kategori sangat layak. Berdasarkan hasil tersebut, game edukasi simulasi bencana yang dikembangkan dinilai layak digunakan sebagai media edukasi mitigasi bencana yang interaktif dan imersif di lingkungan Gedung PUT PNJ.

Kata kunci: simulasi, mitigasi bencana, NPC, Unity, virtual reality

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Bencana.....	6
2.3 Virtual Reality (VR).....	6
2.4 Game Simulasi.....	7
2.5 Unity.....	7
2.6 Non-Playable Character (NPC).....	7
2.6.1 Pathfinding.....	8
2.6.2 Navigation Mesh.....	8
2.6.3 Finite State Machine.....	8
2.7 MDLC.....	10
2.8 Skala Likert.....	11
BAB III	
METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Rancangan Penelitian.....	13
3.2 Tahapan Penelitian.....	13
3.3 Objek Penelitian.....	14
3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data.....	14
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Analisis Kebutuhan (Concept).....	16
4.1.1 Hasil Pengumpulan Data.....	16

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.2 Analisis Permasalahan.....	18
4.1.3 Konsep Aplikasi.....	19
4.1.4 Analisis Fungsional.....	20
4.2 Perancangan Aplikasi (Design).....	21
4.2.1 Flowchart Aplikasi.....	22
4.2.2 Perancangan Skenario Permainan.....	24
4.2.3 Perancangan Lingkungan 3D.....	25
4.2.4 Perancangan Logika NPC.....	25
4.3 Pengumpulan Bahan (Material Collecting).....	28
4.3.1 Aset User Interface (UI).....	28
4.3.2 Aset 3D.....	30
4.3.3 Aset Animasi.....	36
4.3.4 Aset Visual dan Audio.....	39
4.4 Perakitan (Assembly).....	40
4.4.1 Proyek Unity.....	40
4.4.2 Struktur Scene.....	42
4.4.3 Penyusunan Simulasi.....	43
4.4.4 Sistem Kebakaran.....	48
4.4.5 Sistem Gempa Bumi.....	55
4.4.6 Sistem Latihan.....	58
4.4.7 Logika NPC.....	61
4.4.8 Interaksi Pintu.....	71
4.4.9 Sistem Akhir Evakuasi.....	73
4.4.10 Penyusunan Antarmuka.....	82
4.4.11 Optimisasi Performa.....	97
4.5 Pengujian (Testing).....	99
4.5.1 Deskripsi Pengujian.....	99
4.5.2 Prosedur Pengujian.....	100
4.5.3 Hasil Pengujian.....	101
4.6 Distribusi (Distribution).....	114
BAB V	
PENUTUP.....	116
5.1 Kesimpulan.....	116
5.2 Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA.....	117
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	120
LAMPIRAN.....	121



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simple FSM.....	8
Gambar 2.2 Tahapan MDLC.....	10
Gambar 4.1 Perancangan Flowchart Aplikasi.....	23
Gambar 4.2 Diagram FSM.....	26
Gambar 4.3 Build Profiles Unity.....	41
Gambar 4.4 Skrip AppBootstrapper.....	42
Gambar 4.5 Skrip GameManager.....	43
Gambar 4.6 Komponen skrip SimulationSpawnManager.....	44
Gambar 4.7 Komponen Inspector SimulationSpawnManager.....	45
Gambar 4.8 Komponen GameObject SpawnPoints.....	45
Gambar 4.9 Komponen skrip SimulationModeController.....	46
Gambar 4.10 Komponen skrip SimulationEventRouter.....	47
Gambar 4.11 Komponen skrip SimulationEventRouter.....	47
Gambar 4.12 Komponen skrip FireSpawner.....	49
Gambar 4.13 Komponen skrip FireObject.....	50
Gambar 4.14 Jenis-jenis prefab api.....	50
Gambar 4.15 Inspector FireSpawner.....	51
Gambar 4.16 Visualisasi titik-titik FireSpawnPoints.....	52
Gambar 4.17 Komponen skrip FireExtinguisher.....	53
Gambar 4.18 Pengaturan Partikel APAR.....	54
Gambar 4.19 Visualisasi Hydrant.....	54
Gambar 4.20 Komponen skrip Hydrant.....	55
Gambar 4.21 Komponen skrip EarthquakeController.....	56
Gambar 4.22 Tampilan EarthquakeController pada Inspector.....	57
Gambar 4.23 Tampilan berbagai komponen skrip pada EarthquakeController.....	58
Gambar 4.24 Komponen skrip GameManager.....	59
Gambar 4.25 Komponen skrip EvacuationRouteIndicator.....	60
Gambar 4.26 Tampilan inspector skrip EvacuationRouteIndicator.....	60
Gambar 4.27 Visualisasi garis penunjuk arah evakuasi.....	61
Gambar 4.28 Komponen skrip NPCSpawner.....	62
Gambar 4.29 Inspector NPCSpawner.....	62
Gambar 4.30 Struktur NPCSpawnPoints.....	63
Gambar 4.31 Titik EvacuationTarget.....	64
Gambar 4.32 Prefab NPC.....	64
Gambar 4.33 Animator controller NPC.....	65
Gambar 4.34 Visualisasi NPC Idle.....	65
Gambar 4.35 Visualisasi NPC Evacuating.....	66
Gambar 4.36 Visualisasi NPC Evacuated.....	67
Gambar 4.37 Komponen skrip NPCAgent.....	68
Gambar 4.38 Tampilan Inspector skrip NPCAgent.....	69

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.39 Komponen skrip NPCInteractable.....	70
Gambar 4.40 Visualisasi NavMesh Surface.....	71
Gambar 4.41 Tampilan Inspector NavMesh Surface.....	71
Gambar 4.42 Komponen Skrip DoorInteractable.....	72
Gambar 4.43 Visualisasi penempatan pivot pada aset pintu.....	73
Gambar 4.44 Tampilan inspector DoorInteractable.....	73
Gambar 4.45 Visualisasi titik EvacuationZone.....	74
Gambar 4.46 Komponen skrip EvacuationZone.....	75
Gambar 4.47 Tampilan Inspector EvacuationZone.....	76
Gambar 4.48 Tampilan antarmuka panel timer.....	77
Gambar 4.49 Komponen skrip SimulationTimer.....	78
Gambar 4.50 Komponen skrip SimulationStateManager.....	79
Gambar 4.51 Tampilan inspector SimulationStateManager.....	80
Gambar 4.52 Komponen skrip SimulationResultUI.....	81
Gambar 4.53 Tampilan inspector skrip SimulationResultUI.....	82
Gambar 4.54 Tampilan Menu Utama pada VR.....	85
Gambar 4.55 Komponen skrip MainMenuController.....	85
Gambar 4.56 Tampilan inspector MainMenuController.....	86
Gambar 4.57 Tampilan Menu Pilihan Simulasi.....	87
Gambar 4.58 Komponen skrip LayoutSelectionController.....	87
Gambar 4.59 Tampilan inspector LayoutSelectionController.....	88
Gambar 4.60 Tampilan Panel Konfirmasi.....	88
Gambar 4.61 Komponen skrip ConfirmationPanelController.....	89
Gambar 4.62 Komponen skrip VideoPanelController.....	90
Gambar 4.63 Tampilan panel video animasi.....	91
Gambar 4.64 Tampilan panel panduan.....	91
Gambar 4.65 Komponen skrip InstructionPanelController.....	92
Gambar 4.66 Tampilan panel pengaturan.....	93
Gambar 4.67 Tampilan panel kredit.....	93
Gambar 4.68 Tampilan panel peringatan kebakaran.....	94
Gambar 4.69 Tampilan panel peringatan gempa bumi.....	94
Gambar 4.70 Tampilan panel menu jeda.....	95
Gambar 4.71 Komponen skrip PauseMenuController.....	95
Gambar 4.72 Tampilan inspector PauseMenuController.....	96
Gambar 4.73 Tampilan panel hasil.....	97
Gambar 4.74 Tampilan overlay pengukuran frame rate.....	98



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel penelitian terdahulu.....	5
Tabel 2.2 Kriteria Kelayakan Skala Likert.....	11
Tabel 4.1 Kuesioner Survei Riset Edukasi Mahasiswa.....	15
Tabel 4.2 Wawancara dengan Ahli K3.....	17
Tabel 4.3 Konsep Aplikasi.....	18
Tabel 4.4 Analisis Fungsional.....	19
Tabel 4.5 Kondisi Akhir Permainan.....	23
Tabel 4.6 Komponen Laporan Evakuasi.....	23
Tabel 4.7 State dan Transisi NPC.....	25
Tabel 4.8 Perbandingan Logika NPC.....	26
Tabel 4.9 Daftar Aset User Interface.....	27
Tabel 4.10 Daftar Aset 3D.....	28
Tabel 4.11 Daftar Aset Animasi.....	35
Tabel 4.12 Daftar Aset Visual dan Audio.....	37
Tabel 4.13 Spesifikasi dan Paket Unity.....	38
Tabel 4.14 Sambungan Event dan Fungsi Skrip.....	46
Tabel 4.15 Daftar panel antarmuka.....	81
Tabel 4.16 Teknik Optimisasi.....	95
Tabel 4.17 Perbandingan frame rate.....	97
Tabel 4.18 Pengujian Alpha Testing Antarmuka dan Menu.....	99
Tabel 4.19 Pengujian Fungsional FSM.....	102
Tabel 4.20 Pengujian NavMesh.....	103
Tabel 4.21 Validasi ahli K3.....	104
Tabel 4.22 Validasi dengan ahli media VR.....	106
Tabel 4.23 Wawancara dengan ahli media VR.....	107
Tabel 4.24 Pengujian Beta Testing.....	109
Tabel 4.25 Spesifikasi Hasil Build Aplikasi.....	112

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Wawancara dengan ahli K3.....	121
Lampiran 2. Kuesioner Beta Testing dengan Mahasiswa.....	123
Lampiran 3. Pelaksanaan Beta Testing dengan Mahasiswa.....	128
Lampiran 4. Wawancara validasi dengan ahli K3.....	129
Lampiran 5. Kuesioner validasi dengan ahli media VR.....	130
Lampiran 6. Curriculum Vitae ahli K3.....	137
Lampiran 7. Curriculum Vitae ahli media VR.....	138



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan karakter geografis yang rentan terhadap bencana sehingga menempati peringkat kedua dari 193 negara dengan risiko bencana tertinggi di dunia. Kerentanan sosial, ekonomi, fisik, dan lingkungan turut memperparah kondisi penanggulangan bencana di Indonesia. Urgensi pengelolaan risiko ini terlihat jelas dari data kejadian bencana tahun 2024 yang mencapai 3.472 peristiwa, mengakibatkan 540 korban jiwa, lebih dari 8,1 juta orang menderita dan mengungsi, serta kerusakan pada 81.947 unit infrastruktur, di mana bencana kebakaran memiliki prevalensi risiko tertinggi dengan 93,97% kabupaten/kota berada pada kelas risiko tinggi (BNPB, 2025). Tingginya potensi bencana ini menjadikan kemampuan menghadapi keadaan darurat sebagai keterampilan penting untuk dipelajari, khususnya di lingkungan pendidikan yang berpenduduk padat. Selain itu, Permendikbud Nomor 33 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Program Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB) mengamanatkan perlunya penyelenggaraan penanggulangan bencana di satuan pendidikan.

Apabila kesiapsiagaan tersebut tidak dipelajari, penghuni gedung berisiko mengalami kepanikan, kesalahan dalam mengambil keputusan, serta keterlambatan saat melakukan evakuasi, yang pada akhirnya memperbesar potensi jatuhnya korban. Risiko ini diperberat oleh metode edukasi mitigasi konvensional seperti penyuluhan dan simulasi fisik yang cenderung pasif sehingga retensi pemahaman prosedur keselamatan menjadi rendah (Feng et al., 2021).

Penyelenggaraan pelatihan mitigasi secara konvensional umumnya membutuhkan biaya yang besar dan logistik yang rumit. Mulai dari penyediaan peralatan, kebutuhan instruktur, hingga upaya mereplikasi situasi bahaya yang justru berisiko bagi keselamatan peserta. Website resmi Politeknik Negeri Jakarta mencatat jumlah mahasiswa aktif pada periode 2025/2026 mencapai 9.454 orang. Beban ini akan semakin terasa apabila seluruh mahasiswa Politeknik Negeri



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Jakarta secara fisik memerlukan pelatihan dan simulasi bencana. Oleh karena itu, diperlukan media pelatihan yang mampu menjangkau banyak pengguna dengan biaya rendah, aman, dan dapat digunakan berulang kali.

Seiring perkembangan teknologi, *Virtual Reality* (VR) dapat menjadi solusi atas keterbatasan tersebut. VR menawarkan lingkungan imersif yang memungkinkan pengguna merasakan skenario berbahaya secara realistis namun tetap dalam kondisi fisik yang aman, serta terbukti meningkatkan perolehan pengetahuan dan perilaku keselamatan secara signifikan dibandingkan metode tradisional (Feng et al., 2021). Integrasi elemen visual dan audio yang realistis pada simulasi evakuasi juga terbukti meningkatkan responsivitas pengguna sehingga proses pelatihan menjadi lebih efektif dan efisien (Siregar & Theresia, 2023).

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada Gedung Pusat Unggulan Teknologi (PUT) Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) yang memiliki mobilitas sivitas akademika yang tinggi. Hasil analisis kebutuhan memperkuat relevansi fokus ini, survei terhadap 34 mahasiswa menunjukkan 97,1% responden belum pernah mengikuti pelatihan atau simulasi bencana, dengan 62,9% tertarik menggunakan VR dan 71,4% memilih format *game* sebagai media yang paling menarik dan sesuai. Maka, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *game* edukasi simulasi bencana berbasis *Virtual Reality* menggunakan *game engine* Unity yang memvisualisasikan lingkungan Gedung PUT PNJ, guna menyediakan edukasi mitigasi bencana yang interaktif, imersif, aman, dan dapat diakses berulang oleh banyak mahasiswa.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, berikut adalah perumusan masalah yang muncul dalam penelitian ini:

1. Bagaimana mengembangkan media simulasi bencana kebakaran dan gempa bumi berbasis *Virtual Reality* yang merepresentasikan prosedur evakuasi darurat sesuai standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada lingkungan Gedung PUT PNJ menggunakan FSM dan NavMesh?
2. Bagaimana tingkat kelayakan aplikasi yang dikembangkan berdasarkan hasil validasi ahli dan uji coba pengguna?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian terarah dan tidak meluas dari topik pembahasan, maka dibuat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengembangan lingkungan virtual Gedung Pusat Unggulan Teknologi (PUT).
2. Ruangan gedung dibatasi pada ruang dosen, ruang kelas, toilet, dan laboratorium atau bengkel.
3. Skenario permainan simulasi dikhususkan pada bencana gempa bumi dan kebakaran.
4. Pemain dapat menggunakan kontroler untuk memadamkan api dengan APAR, membuka pintu, dan berinteraksi dengan NPC dalam evakuasi.
5. NPC menggunakan *pathfinding* dengan sistem NavMesh untuk menuju titik kumpul, beserta respon terhadap kondisi (*state machine*).
6. Jenis NPC hanya mencakup karakter pada umumnya tanpa kondisi khusus.
7. Aspek edukasi pada video animasi prosedur evakuasi mengacu pada hasil wawancara dengan ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).
8. Aplikasi dikembangkan menggunakan *game engine* Unity dan dioptimalkan untuk perangkat *Virtual Reality* Meta Quest 3S.
9. Target pengguna aplikasi adalah sivitas akademika PNJ yang mencakup mahasiswa, dosen, dan staf, serta tamu umum yang berkunjung ke Gedung PUT.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan game simulasi evakuasi bencana di Gedung PUT PNJ menggunakan FSM dan NavMesh.
2. Menguji tingkat kelayakan aplikasi melalui validasi ahli dan uji coba pengguna.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Memberikan pelatihan mengenai jalur evakuasi dan prosedur keselamatan diri di lingkungan Gedung PUT PNJ.
2. Mendukung terwujudnya Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB) sesuai Permendikbud No. 33 Tahun 2019 dengan menyediakan media edukasi mitigasi bencana di lingkungan pendidikan yang modern dan efektif.
3. Menghasilkan media pembelajaran interaktif berbasis *Virtual Reality* dengan *game engine* Unity yang mampu memvisualisasikan kondisi darurat.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang yang menjadi alasan dilakukannya penelitian, diikuti dengan identifikasi masalah yang akan diselesaikan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini dilakukan telaah terhadap referensi dan literatur yang mendukung topik pembahasan. Penulis memaparkan perbandingan dengan penelitian sebelumnya serta teori-teori pendukung.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian yang akan digunakan, seperti metode pengembangan sistem, tahapan pengumpulan data aset, tahapan pembuatan aplikasi, dan objek penelitian yang akan dituju.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan analisis kebutuhan yang menjadi dasar spesifikasi teknis dan tujuan dibuatnya aplikasi ini, kemudian memaparkan proses pembuatan serta hasil pengujian aplikasi.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian aplikasi yang telah dilakukan penulis dan rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebagai landasan dan pembandingan dalam penelitian ini, penulis melakukan studi terhadap sejumlah penelitian terdahulu yang relevan dengan pemanfaatan teknologi imersif dan media digital untuk edukasi kebencanaan. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode, teknologi, serta pendekatan yang telah digunakan, sekaligus menemukan celah penelitian (*research gap*) yang belum terpenuhi oleh penelitian sebelumnya.

Tabel 2.1 Tabel penelitian terdahulu

Peneliti	Jenis Bencana	Teknologi	Pendekatan	Evaluasi
Sari et al. (2025)	Gempa bumi	VR Imersif	Pelatihan prosedur K3 & simulasi tanggap darurat	Peningkatan pengetahuan bertambah
Isnanda et al. (2025)	Kebakaran (pemilihan APAR)	Game 3D, Unreal Engine	Game simulasi (timer 5 menit, sistem health)	Pengujian ketepatan pemain memilih APAR
Saputra et al. (2024)	Hidrometeorologi (banjir, kebakaran hutan, gempa)	Game 3D, Unity	Gamifikasi edukasi (sistem skor & timer)	Pengujian fungsional dan gamifikasi
Penelitian ini	Kebakaran & gempa bumi	VR, Unity, FSM dan NavMesh	Game simulasi evakuasi	Validasi ahli & uji coba pengguna

Berdasarkan Tabel 2.1, ketiga penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas media 3D dan VR untuk edukasi kebencanaan, namun masih terdapat celah yang belum terisi. Penelitian Sari et al. (2025) telah memanfaatkan VR imersif untuk kesiapsiagaan gempa, tetapi belum melibatkan NPC maupun pemodelan bangunan yang spesifik. Sementara itu, penelitian Isnanda et al. (2025) dan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Saputra et al. (2024) masih menggunakan platform desktop dan pendekatan berbasis permainan, sehingga lebih menekankan aspek tantangan permainan dibandingkan kesesuaian prosedur evakuasi. Selain itu, belum ada penelitian yang secara khusus memodelkan bangunan pendidikan tertentu dengan NPC yang perilakunya dikendalikan oleh Finite State Machine (FSM) dan navigasi NavMesh. Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan simulasi evakuasi bencana berbasis VR imersif yang memodelkan Gedung PUT PNJ secara spesifik, menerapkan NPC berbasis FSM dan NavMesh, serta menekankan kesesuaian prosedur evakuasi sesuai standar K3 dan divalidasi melalui evaluasi ahli.

2.2 Bencana

Menurut UU No. 24 Tahun 2007, bencana didefinisikan sebagai peristiwa yang mampu mengganggu tata kehidupan dan mengancam keselamatan masyarakat. Dampak yang ditimbulkannya sangat luas, tidak hanya berupa jatuhnya korban jiwa, kerusakan lingkungan, harta benda, serta trauma psikologis. Bencana sendiri terbagi atas faktor alam maupun non-alam. Oleh karena itu, siklus penanganannya sangat penting, dimulai dari mitigasi untuk meminimalisir dampak dan kesiapsiagaan untuk mengantisipasi ancaman. Ketika bencana melanda, prioritas beralih ke tanggap darurat, yakni evakuasi dan penyelamatan korban sesegera mungkin.

2.3 Virtual Reality (VR)

Virtual Reality (VR) didefinisikan sebagai pengalaman maya yang diwujudkan melalui simulasi komputer. Secara umum, teknologi ini diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu *non-immersive* VR dan *immersive* VR. *Non-immersive* VR, atau yang sering disebut VR berbasis desktop, menyajikan simulasi melalui layar monitor standar dengan tingkat imersi yang terbatas. Sebaliknya, *Immersive* VR (IVR) memfasilitasi pengguna untuk merasa seolah-olah hadir secara fisik dan melebur sepenuhnya ke dalam lingkungan simulasi. Pengalaman imersif ini dicapai melalui penggunaan perangkat khusus seperti *Head-Mounted Display* (HMD) atau sistem proyeksi visual yang dipakai dan digunakan pengguna (Feng et al., 2021).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.4 Game Simulasi

Game simulasi merupakan *genre* permainan video yang dirancang untuk meniru aktivitas dunia nyata seakurat mungkin. Dalam penggunaannya, *game* simulasi dapat dikategorikan sebagai *serious games*, yaitu permainan yang dirancang dengan fokus utama melampaui sekadar hiburan, melainkan edukasi, pelatihan, dan penyampaian informasi melalui pengalaman interaktif. Konsep ini memanfaatkan mekanisme permainan (*game mechanics*) untuk meningkatkan motivasi pemain dalam menyerap pengetahuan baru, mengasah keterampilan, atau mendorong perubahan perilaku positif. Dalam perkembangannya di era digital, penerapan *serious games* telah meluas ke berbagai sektor strategis, termasuk pelatihan militer, layanan kesehatan, dan pendidikan, dengan memanfaatkan teknologi simulasi untuk menciptakan lingkungan pembelajaran yang efektif (Damianova & Berrezueta-Guzman, 2025).

2.5 Unity

Unity adalah *game engine* yang digunakan sebagai pengembangan media interaktif. Perangkat lunak ini berfungsi sebagai kerangka kerja teknologi yang mengelola seluruh aspek teknis dalam aplikasi, mulai dari *rendering* grafis, pemrosesan audio, simulasi fisika, hingga sistem interaksi pengguna. Keunggulan utama Unity terletak pada efisiensinya dalam proses pembuatan *prototype* secara cepat serta fleksibilitasnya yang mendukung publikasi aplikasi ke berbagai platform (Haas, 2014).

2.6 Non-Playable Character (NPC)

Non-Playable Character (NPC) adalah entitas di dalam permainan yang tidak dikendalikan oleh pemain, melainkan dioperasikan secara otonom oleh sistem komputasi atau algoritma kecerdasan buatan. Entitas ini dapat merepresentasikan berbagai bentuk, mulai dari karakter manusia, hewan, hingga objek robotik. Perilaku NPC umumnya dirancang mengikuti pola logika tertentu, meliputi kemampuan persepsi terhadap lingkungan sekitar serta adaptasi visual berdasarkan kondisi permainan (Arnoldi et al., 2025).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

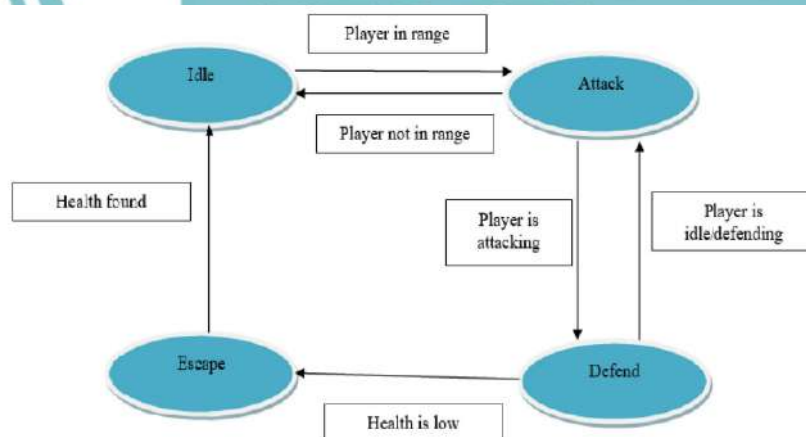
2.6.1 Pathfinding

Pathfinding merupakan salah satu mekanisme fundamental dalam pengembangan kecerdasan buatan pada *video game*. Proses ini melibatkan kalkulasi untuk menavigasi lingkungan dengan kemampuan menghindari rintangan dan beradaptasi dengan berbagai jenis medan guna menghasilkan pergerakan yang efisien dan realistis (Arnoldi et al., 2025).

2.6.2 Navigation Mesh

Navigation Mesh merupakan teknologi yang dapat memetakan area yang dapat dilalui (*walkable areas*) dalam lingkungan virtual ke dalam bentuk poligon. Dalam *game engine* Unity, NavMesh tersedia sebagai fitur terintegrasi yang memungkinkan pengembang untuk menerapkan algoritma pencarian jalur (*pathfinding*) dan penghindaran rintangan secara otomatis tanpa perlu membangun algoritma dari awal. Penggunaan NavMesh pada Unity memiliki efisiensi komputasi dan presisi yang tinggi, khususnya dalam menentukan rute evakuasi pada struktur bangunan yang kompleks. Namun, sistem ini memiliki batasan struktural di mana area navigasi bersifat statis (*pre-baked*), sehingga kurang responsif terhadap perubahan lingkungan yang terjadi (Lee & Kim, 2025).

2.6.3 Finite State Machine



Gambar 2.1 Simple FSM

Sumber: Jagdale, 2021



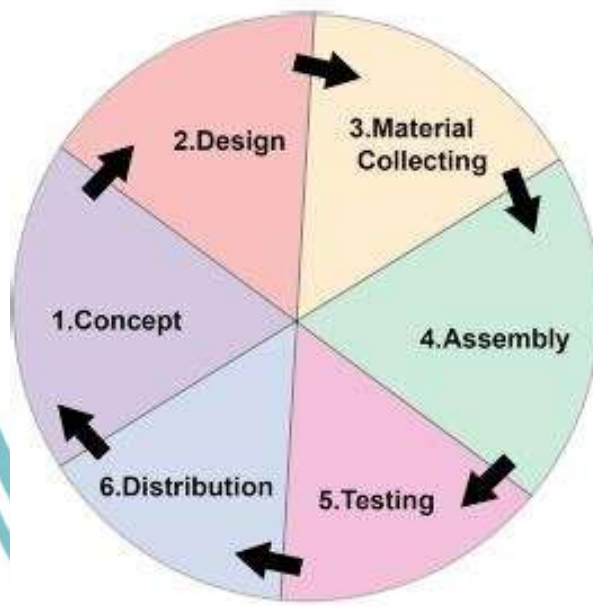
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Finite State Machine (FSM) merupakan metode kecerdasan buatan yang digunakan dalam industri *game* untuk mengontrol perilaku NPC. FSM bekerja sebagai sebuah sistem yang terdiri dari sejumlah keadaan (*states*) yang saling terhubung. Gambar 2.1 menunjukkan visualisasi desain *Finite State Machine* (FSM) ke dalam bentuk data yang lebih terstruktur. Diagram tersebut memperlihatkan state NPC dengan status saat ini, tindakan atau peristiwa yang terjadi, dan status akhir yang dihasilkan (Jagdale, 2021).

2.7 MDLC

Metode pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC), metode ini terdiri dari enam tahap yang dirancang untuk pengembangan aplikasi media interaktif secara sistematis (Mustaghfaroh et al., 2021). Adapun keenam tahapan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Tahapan MDLC

Sumber: Muhammad & Rusindiyanto, 2024

1. Concept

Tahap ini merupakan langkah awal untuk merumuskan dasar-dasar proyek, termasuk menentukan tujuan aplikasi, identifikasi pengguna, serta analisis kebutuhan visualisasi yang akan dikembangkan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. *Design*

Pada tahap ini, dilakukan penyusunan spesifikasi rinci mengenai arsitektur media, gaya visual, dan kebutuhan material.

3. *Material Collecting*

Tahap ini berfokus pada pengumpulan aset dan bahan yang diperlukan untuk pembangunan aplikasi. Bahan-bahan tersebut meliputi aset yang disesuaikan dengan rancangan kebutuhan.

4. *Assembly*

Tahap assembly adalah proses integrasi di mana seluruh aset multimedia dan bahan yang telah dikumpulkan disusun dan dirangkai menggunakan perangkat lunak utama.

5. *Testing*

Setelah aplikasi selesai dirangkai, tahap pengujian dilakukan dengan memastikan aplikasi berjalan sesuai dengan rencana dan spesifikasi awal.

6. *Distribution*

Tahap akhir adalah penyimpanan dan penyebaran aplikasi. Setelah dinyatakan layak dan lolos uji, aplikasi diekspor ke dalam format yang dapat dijalankan pada perangkat target agar dapat diakses oleh pengguna akhir.

2.8 Skala Likert

Skala Likert merupakan skala pengukuran yang dikembangkan oleh Likert pada tahun 1932 dan menjadi skala yang paling banyak digunakan oleh peneliti karena kemudahan penyusunannya (Budiaji, 2013). Skala ini menggunakan sejumlah butir pernyataan untuk mengukur sifat individu, seperti pengetahuan, sikap, atau perilaku, dengan lima titik respon pada setiap butir, yaitu sangat setuju, setuju, tidak memutuskan (netral), tidak setuju, dan sangat tidak setuju (Budiaji, 2013).

Untuk memperoleh hasil yang dapat diukur secara kuantitatif, jawaban responden diberi bobot atau skor. Selanjutnya, hasil jawaban dihitung menggunakan rumus indeks persentase berikut (Pranatawijaya et al., 2019):

$$\text{Indeks (\%)} = (\text{Total Skor} / \text{Skor Maksimum}) \times 100\%$$



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dengan jumlah skor maksimum diperoleh dari perkalian antara skor tertinggi, jumlah pernyataan, dan jumlah responden. Hasil perhitungan tersebut kemudian diinterpretasikan menggunakan kriteria kelayakan sebagaimana disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kriteria Kelayakan Skala Likert

Interval	Kategori Kelayakan
81% - 100%	Sangat Setuju
61% - 80%	Setuju
41% - 60%	Cukup Setuju
21% - 40%	Tidak Setuju
0% - 20%	Sangat Tidak Setuju

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan media edukasi mitigasi bencana yang menggabungkan teknologi *Virtual Reality* dengan elemen *game* simulasi. Aplikasi ini bertugas memvisualisasikan lingkungan Gedung PUT PNJ secara realistis, mensimulasikan skenario darurat gempa bumi dan kebakaran, serta melatih pengguna melakukan prosedur evakuasi yang tepat melalui interaksi dengan sistem dan *Non-Playable Character* (NPC).

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara sistematis untuk memberikan panduan yang terstruktur selama proses pengembangan berlangsung. Dalam penelitian ini, pengembangan aplikasi simulasi evakuasi bencana berbasis *Virtual Reality* menerapkan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Adapun rincian pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. *Concept*

Tahap ini merupakan langkah awal untuk merumuskan visi dan ruang lingkup aplikasi. Dilakukan identifikasi target pengguna serta analisis kebutuhan sistem agar simulasi dapat berjalan optimal pada perangkat Meta Quest 3S.

2. *Design*

Kegiatan yang dilakukan meliputi perancangan tata letak lingkungan virtual Gedung PUT, pembuatan alur skenario evakuasi, perancangan *user interface*, serta perancangan logika untuk navigasi NPC.

3. *Material Collecting*

Proses ini mencakup pengumpulan segala aset yang akan digunakan dalam aplikasi, seperti model 3D, aset audio dan juga aset-aset pendukung lainnya.

4. *Assembly*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tahap assembly merupakan proses integrasi seluruh bahan yang telah dikumpulkan ke dalam *game engine* Unity. Adapun tahap-tahapnya adalah sebagai berikut:

- a. Implementasi UI
 - b. Perancangan scene environment gedung
 - c. Pembuatan efek bencana
 - d. Pembuatan mekanisme dan interaksi utama permainan
 - e. Integrasi VR
5. *Testing*
- Setelah aplikasi selesai dirakit, dilakukan tahap pengujian untuk memastikan fungsionalitas sistem. Pengujian dilaksanakan dengan dua tahap Alpha dan Beta.
6. *Distribution*
- Aplikasi diekspor ke Meta Quest 3S yang kemudian siap digunakan sebagai media simulasi dan diuji cobakan kepada pengguna.

3.3 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah pengembangan aplikasi simulasi evakuasi bencana gempa bumi dan kebakaran berbasis *Virtual Reality* yang memvisualisasikan lingkungan Gedung Pusat Unggulan Teknologi (PUT) dengan penerapan kecerdasan buatan pada NPC menggunakan *game engine* Unity. Gedung PUT digunakan oleh sivitas akademika PNJ (mahasiswa, dosen, dan staf) untuk kegiatan perkuliahan dan praktikum.

3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis menerapkan serangkaian metode pengumpulan dan analisis data. Hal ini bertujuan untuk memastikan validitas kebutuhan sistem serta mengukur kelayakan aplikasi simulasi evakuasi bencana yang dikembangkan. Berikut adalah penjelasan mengenai langkah dan metode yang digunakan:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

a. Studi Literatur

Metode ini dilaksanakan melalui penelusuran dan pengkajian berbagai literatur ilmiah, buku, serta dokumen regulasi yang relevan dengan topik mitigasi bencana dan pengembangan game. Penelitian ini terletak pada integrasi simulasi evakuasi yang spesifik pada denah Gedung PUT PNJ menggunakan teknologi VR serta penerapan logika NPC sebagai elemen simulasi yang interaktif dengan metode MDLC.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan mengajukan pertanyaan kepada pihak terkait seperti ketua jurusan JTIK PNJ, mahasiswa, serta staf terkait berlaku guna mendapatkan informasi yang diperlukan dalam penelitian.

c. Observasi

Metode observasi dilakukan melalui peninjauan langsung ke lokasi penelitian, Gedung PUT.

3.4.1. Analisis Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed-methods, dengan mengumpulkan dan menganalisis data kualitatif, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data kuantitatif pada tahap berikutnya. Desain ini dipilih karena pengembangan aplikasi memerlukan pemahaman mendalam terhadap kebutuhan pengguna dan prosedur evakuasi terlebih dahulu, sebelum efektivitas dan kelayakannya dapat diukur secara terukur.

Tahap kualitatif dilakukan pada awal penelitian melalui wawancara dengan pihak terkait untuk menggali kebutuhan sistem serta prosedur evakuasi yang sesuai dengan standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Gedung PUT PNJ. Hasil wawancara ini menjadi landasan utama dalam menyusun spesifikasi kebutuhan sistem dan merancang skenario simulasi. Tahap kuantitatif dilakukan setelah aplikasi selesai dikembangkan, melalui penyebaran kuesioner untuk mengukur tingkat kelayakan aplikasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan (*Concept*)

Tahap analisis kebutuhan merupakan langkah pertama dalam metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang bertujuan merumuskan dasar pengembangan aplikasi. Pada tahap ini penulis mengidentifikasi permasalahan, menetapkan tujuan serta target pengguna, dan menghimpun kebutuhan yang menjadi acuan teknis pengembangan game edukasi simulasi bencana. Data dikumpulkan melalui tiga metode, yaitu wawancara, penyebaran kuesioner, dan observasi langsung di lokasi penelitian.

4.1.1 Hasil Pengumpulan Data

Wawancara dilakukan dengan Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Dr. Anita Hidayati, untuk menetapkan ruang lingkup dan objek penelitian. Berdasarkan hasil wawancara, objek penelitian diarahkan pada Gedung Pusat Unggulan Teknologi (PUT), pemilihan gedung ini didasari oleh mobilitas sivitas akademika yang tinggi serta kebutuhan akan media kesiapsiagaan bencana di lingkungan tersebut.

Selain itu, dilakukan kuesioner yang ditujukan kepada 34 mahasiswa untuk mengukur pengalaman pelatihan mitigasi bencana serta preferensi terhadap media edukasi. Ringkasan hasil kuesioner disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kuesioner Survei Riset Edukasi Mahasiswa

No	Aspek	Jawaban	Jumlah	Persentase
1	Pengalaman mengikuti simulasi bencana (kebakaran/gempa) sebelumnya	Pernah	21	60,0%
		Belum pernah	14	40,0%
2	Pengalaman mengikuti pelatihan/simulasi bencana di lingkungan PNJ	Belum pernah	34	97,1%
		Pernah	1	2,9%



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3	Pemahaman tata cara evakuasi bencana di gedung PNJ	Kurang paham	25	71,4%
		Paham	10	28,6%
4	Tingkat kepentingan pelatihan bencana di lingkungan PNJ	Sangat penting	22	62,9%
		Penting	12	34,3%
		Kurang penting	1	2,9%
5	Media yang dinilai paling membantu pemahaman simulasi evakuasi	Virtual Reality (VR)	22	62,9%
		Video edukasi (animasi/motion grafis)	10	28,6%
		Website naratif	2	5,7%
		Augmented Reality (AR)	1	2,9%
6	Bentuk penyampaian yang dinilai paling menarik dan efektif	Game	25	71,4%
		Narasi	8	22,9%
		Pedoman	2	5,7%
7	Kebutuhan akan adanya simulasi bencana di PNJ	Sangat perlu	34	97,1%
		Tidak perlu	1	2,9%

Berdasarkan Tabel 4.1, sebanyak 97,1% responden belum pernah mengikuti pelatihan atau simulasi bencana di lingkungan PNJ, dan 71,4% menyatakan kurang memahami tata cara evakuasi di gedung PNJ. Di sisi lain, 97,1% responden menilai simulasi bencana sangat perlu diadakan. Terkait media, 62,9% responden memilih *virtual reality* sebagai media yang paling membantu, sedangkan 71,4% memilih format game sebagai bentuk penyampaian yang paling



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menarik dan efektif. Temuan ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan kesiapsiagaan dengan ketersediaan pelatihan, sekaligus memperkuat dasar pengembangan media edukasi berbasis *virtual reality* dengan pendekatan permainan.

Wawancara dengan ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), Talitha Luthfia Zaki, S.K.K.K., dilakukan melalui aplikasi WhatsApp dan menjadi landasan dalam menyusun aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam pembuatan animasi maupun game. Rangkuman pertanyaan dan jawaban disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Wawancara dengan Ahli K3

No	Aspek	Gempa Bumi	Kebakaran
1	Tindakan yang perlu dilakukan	Tetap berada di dalam ruangan dan berlindung di tempat aman, dan tidak bergerak saat keadaan guncangan tinggi	Segera bergerak menuju jalur keluar untuk melakukan evakuasi
2	Proses evakuasi	Segera dilakukan setelah guncangan berhenti	Dilakukan segera, namun tetap tertib dan tidak terburu-buru
3	Prioritas keselamatan	Mengutamakan prosedur yang aman dan menghindari kepanikan	Mengutamakan prosedur yang aman, agar tidak terjadi penumpukan di jalur evakuasi
4	Jalur dan tujuan evakuasi	Mengikuti jalur serta rambu evakuasi, menuju tangga darurat, lalu berkumpul di titik kumpul	Mengikuti jalur serta rambu evakuasi, menuju tangga darurat, lalu berkumpul di titik kumpul
5	Kondisi terhalang	Bila akses terhalang, tetap tenang dan berpindah sementara ke area yang paling aman	Bila visibilitas rendah akibat asap, bergerak menunduk dan mengikuti rambu

4.1.2 Analisis Permasalahan

Indonesia merupakan negara dengan tingkat risiko bencana yang tinggi, di mana kebakaran tercatat sebagai jenis bencana dengan prevalensi risiko tertinggi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(BNPB, 2025). Kondisi ini menuntut kesiapsiagaan yang matang, termasuk di lingkungan pendidikan sebagaimana diamanatkan dalam Permendikbud Nomor 33 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Program Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB). Namun, metode edukasi mitigasi konvensional seperti penyuluhan dan simulasi fisik menghadapi kendala biaya, logistik, serta risiko keselamatan, dan cenderung pasif sehingga retensi pemahaman prosedur keselamatan rendah.

Permasalahan tersebut juga tercermin di lingkungan Gedung PUT PNJ. Hasil kuesioner menunjukkan 97,1% responden belum pernah mengikuti pelatihan mitigasi bencana, padahal Gedung PUT memiliki mobilitas sivitas akademika yang tinggi. Di sisi lain, terdapat minat yang besar terhadap teknologi *Virtual Reality* (62,9%) dan format *game* (71,4%) sebagai media pembelajaran.

Berdasarkan analisis di atas, dibutuhkan media edukasi mitigasi bencana yang aman, interaktif, dan imersif untuk lingkungan Gedung PUT. Teknologi *Virtual Reality* dipilih karena mampu menghadirkan lingkungan simulasi yang realistis tanpa risiko fisik, sedangkan pendekatan *game* digunakan untuk meningkatkan keterlibatan pengguna. Dengan demikian, solusi yang dikembangkan adalah *game* edukasi simulasi bencana gempa bumi dan kebakaran berbasis *Virtual Reality* yang memvisualisasikan lingkungan Gedung PUT.

4.1.3 Konsep Aplikasi

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan analisis permasalahan, disusun kerangka konsep aplikasi yang menjadi acuan pengembangan. Konsep tersebut disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Konsep Aplikasi

No	Elemen	Keterangan
1	Nama Aplikasi	TIK Safety Induction



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	Tujuan Aplikasi	Menyediakan media edukasi mitigasi bencana gempa bumi dan kebakaran di Gedung PUT secara imersif dan interaktif.
3	Genre	Game simulasi edukasi berbasis <i>virtual reality</i> .
4	Platform	Aplikasi VR berformat APK.
5	Elemen Visual	Model 3D lingkungan gedung, elemen 2D/antarmuka, efek partikel dan audio.
6	Fitur Aplikasi	Menu utama, simulasi gempa, simulasi kebakaran, panel panduan, NPC evakuasi, dan timer.
7	Skenario Bencana	Gempa bumi dan kebakaran.
8	Target Pengguna	Sivitas akademika PNJ (mahasiswa, dosen, staf) dan tamu.
9	Output Produk	Aplikasi <i>virtual reality</i> .

4.1.4 Analisis Fungsional

Analisis kebutuhan fungsional menjelaskan layanan dan mekanisme yang harus disediakan oleh aplikasi. Kebutuhan ini menjadi acuan utama pada tahap implementasi menggunakan game engine Unity. Daftar kebutuhan fungsional disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Analisis Fungsional

No	Kebutuhan	Deskripsi
1	Visualisasi lingkungan	Sistem menampilkan lingkungan Gedung PUT dalam bentuk 3D yang dapat dijelajahi secara di dalam media Virtual Reality



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	Pergerakan dan interaksi VR	Pengguna dapat menggerakkan karakter dan berinteraksi menggunakan <i>controller</i> perangkat VR
3	Interaksi objek	Pengguna dapat mengoperasikan objek yang berkaitan dengan prosedur keselamatan, seperti APAR, pintu, dan alarm
4	Skenario bencana	Sistem menjalankan skenario gempa bumi dan kebakaran serta efek visual dan audio pendukungnya
5	Navigasi NPC	NPC mampu melakukan navigasi menggunakan <i>pathfinding</i> untuk mengikuti pemain atau menuju titik kumpul
6	Perilaku NPC	NPC merespons kondisi permainan melalui <i>Finite State Machine</i> (FSM)
7	Panduan pengguna	Sistem menyediakan panel panduan untuk membantu pemain memahami prosedur evakuasi
8	Sistem penilaian	Sistem menghitung laporan evakuasi berdasarkan ketepatan pelaksanaan prosedur keselamatan
9	Timer dan kondisi berakhir	Sistem membatasi waktu evakuasi serta menentukan kondisi akhir simulasi sesuai capaian pemain

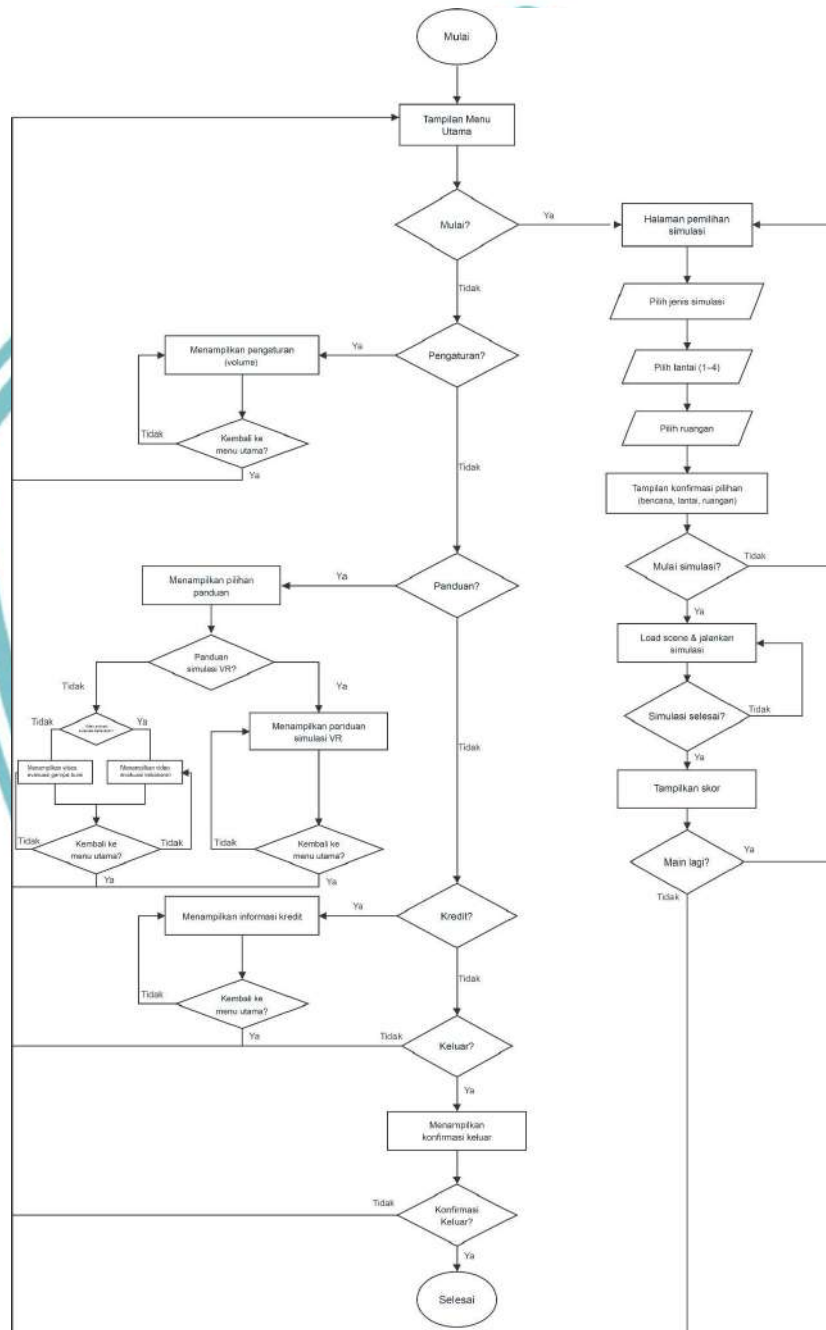
4.2 Perancangan Aplikasi (*Design*)

Tahap perancangan menjabarkan rancangan aplikasi sebelum proses pembangunan pada game engine Unity. Perancangan mencakup alur aplikasi, skenario dan mekanika permainan, lingkungan virtual, logika *Non-Playable Character* (NPC), serta antarmuka pengguna. Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem dan logika yang diimplementasikan menggunakan Unity.



4.2.1 Flowchart Aplikasi

Alur aplikasi dirancang dalam bentuk flowchart yang menggambarkan jalannya program dari awal dijalankan hingga selesai. Flowchart aplikasi ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perancangan Flowchart Aplikasi

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Aplikasi dimulai Menu Utama. Pada Menu Utama, pengguna dapat memilih beberapa menu, yaitu memulai simulasi, melihat panel panduan yang berisi panduan VR atau video animasi, mengakses pengaturan, melihat kredit, atau keluar dari aplikasi. Apabila pengguna memilih memulai simulasi, pengguna terlebih dahulu memilih jenis simulasi, kemudian memilih lantai dan ruangan sebagai titik awal, lalu mengkonfirmasi pilihan. Setelah konfirmasi, aplikasi masuk ke *scene* Simulasi. Pada *scene* tersebut sistem menempatkan pemain pada ruangan yang dipilih dan kemudian menjalankan rangkaian kejadian simulasi.

Permainan berlangsung hingga tercapai salah satu kondisi akhir, pemain berhasil mencapai titik evakuasi atau waktu habis maupun pemain menyentuh api. Setelah itu sistem menghitung laporan evakuasi dan menampilkan layar hasil. Dari layar hasil, pengguna dapat mengulang simulasi atau kembali ke menu utama.

4.2.2 Perancangan Skenario Permainan

Aplikasi menyediakan dua skenario simulasi, yaitu kebakaran dan gempa bumi, yang divisualisasikan pada lingkungan Gedung PUT berlantai empat. Sebelum memulai, pemain memilih lantai dan ruangan sebagai titik awal sehingga posisi awal pemain dapat bervariasi.

Pada skenario kebakaran, api dimunculkan pada satu ruangan yang dipilih secara acak di lantai awal pemain, dengan jumlah titik api dari titik yang tersedia pada ruangan tersebut. Pemain diarahkan melakukan evakuasi menuju titik kumpul, dan dapat memadamkan api menggunakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) maupun menekan tombol alarm hydrant. Pada skenario gempa bumi, guncangan dirancang dalam dua fase, yaitu fase guncangan utama selama 15 detik dan fase gempa susulan yang lebih ringan selama 45 detik. Guncangan divisualisasikan melalui efek getaran kamera serta diperkuat dengan audio dan getaran pada *controller*. Pemain diarahkan melakukan evakuasi menuju titik kumpul.

Kondisi akhir permainan dikelola secara terpusat dan hanya dapat terjadi satu kali per sesi. Rincian kondisi disajikan pada Tabel 4.5.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.5 Kondisi Akhir Permainan

Kondisi	Pemicu	Keterangan
Simulasi Selesai	Pemain mencapai titik kumpul	Memadamkan api dan menyelamatkan NPC bukan syarat simulasi selesai
Simulasi Belum Tuntas	Waktu habis	Durasi <i>timer</i> habis

Laporan akhir evakuasi ditampilkan berdasarkan sisa waktu dan tindakan-tindakan keselamatan. Komponen tersebut disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Komponen Laporan Evakuasi

Komponen	Satuan	Keterangan
Status evakuasi	Berhasil / Belum tuntas	Menunjukkan apakah pemain berhasil mencapai titik kumpul evakuasi.
Sisa waktu	menit:detik	Waktu yang tersisa saat pemain mencapai titik kumpul.
Mengikuti jalur evakuasi	persen (%)	Persentase pemain berada pada jalur evakuasi, dihitung dari perbandingan posisi pemain pada jalur tersebut.
Paparan bahaya	detik	Total durasi pemain berada dalam kondisi berbahaya, misalnya terlalu dekat dengan api, atau bergerak saat guncangan gempa.
NPC selamat	jumlah / total	Banyaknya NPC yang berhasil mencapai titik kumpul (mencapai state Evacuated) dibandingkan total NPC dalam simulasi.

4.2.3 Perancangan Lingkungan 3D

Lingkungan virtual dirancang menyerupai Gedung PUT yang terdiri atas empat lantai. Setiap lantai memiliki sejumlah ruangan yang berfungsi sebagai titik awal pemain maupun lokasi kemunculan api, serta sebuah titik kumpul yang umumnya ditempatkan di luar gedung sebagai tujuan akhir evakuasi. Pengerjaan pemodelan 3D Gedung PUT dikerjakan oleh rekan penulis, Pradipta Daffa Adiwangsa.

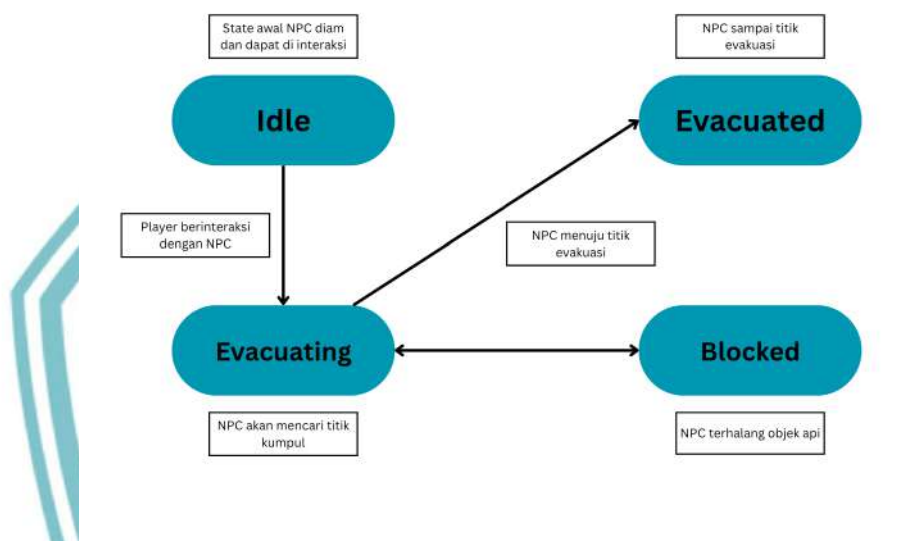


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.4 Perancangan Logika NPC

NPC dirancang sebagai entitas yang dapat dievakuasi oleh pemain. Perilaku NPC dikendalikan menggunakan *Finite State Machine* (FSM) dengan empat *state*, yaitu *Idle*, *Evacuating*, dan *Evacuated*. Navigasi NPC menuju titik evakuasi menggunakan pathfinding di atas NavMesh. Diagram FSM ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram FSM

Perancangan FSM membagi perilaku NPC menjadi empat state yang membentuk satu siklus evakuasi yang utuh. Setiap NPC selalu berada pada tepat satu state pada satu waktu, dan perpindahan hanya terjadi melalui transisi yang terdefinisi secara eksplisit. Struktur transisinya terdiri atas satu alur utama dan satu percabangan. FSM tidak sekadar mengatur perilaku otonom NPC, tetapi juga menjadikan perilaku NPC responsif terhadap tindakan pemain, sehingga tercipta interaksi yang relevan dengan prosedur evakuasi. Keuntungan FSM Penggunaan FSM memberikan sejumlah keuntungan pada penelitian ini:

1. Karena NPC selalu berada pada tepat satu state dengan transisi yang terdefinisi, perilaku NPC dapat diprediksi dan diverifikasi, serta terhindar dari kondisi tidak valid.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Penambahan perilaku baru dapat dilakukan tanpa merombak logika yang ada, sebagaimana adanya *state* Blocked dapat ditambahkan ke tiga *state* awal tanpa mengubah struktur *state* lainnya.
3. FSM ringan sehingga sesuai untuk menjalankan banyak NPC secara bersamaan pada perangkat Virtual Reality mandiri Meta Quest yang terbatas sumber dayanya.
4. Setiap perpindahan *state* dapat dicatat, sehingga perilaku sejumlah besar NPC tetap mudah diverifikasi.

Penjelasan tiap *state* disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 State dan Transisi NPC

State	Perilaku	Transisi
<i>Idle</i>	NPC diam di tempat dan memainkan animasi diam; NavMeshAgent berhenti	Berpindah ke <i>Evacuating</i> ketika diperintahkan pemain
<i>Evacuating</i>	NPC bergerak menuju titik evakuasi melalui NavMesh sambil memainkan animasi berlari	Berpindah ke <i>Evacuated</i> ketika NPC mencapai titik kumpul evakuasi, atau <i>Blocked</i> saat terhalang.
<i>Blocked</i>	NPC terhalang oleh api yang membutuhkan pemain untuk memadamkannya terlebih dahulu menggunakan APAR	Berpindah kembali ke <i>Evacuating</i> jika sudah tidak terhalang.
<i>Evacuated</i>	NPC berhenti di titik evakuasi	State akhir.

NPC dimunculkan secara acak sebanyak 5 sampai 10 entitas pada titik-titik kemunculan yang tersedia di setiap lantai. Selain itu, sistem *crowding* akan juga memunculkan 20-30 NPC di sekitar pemain, yang otomatis langsung muncul dengan *state* *Evacuating*. Pemain memerintahkan NPC untuk evakuasi dengan cara berinteraksi langsung NPC tersebut, yang kemudian mengubah *state* NPC dari *Idle* menjadi *Evacuating*. Ketika NPC mencapai titik evakuasi, sistem merubah *state* menjadi *Evacuated*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Untuk empat state sederhana, FSM dipilih dengan mempertimbangkan arah pengembangan perilaku NPC yang realistis dan jumlahnya yang banyak. Pada pendekatan if-else, penambahan perilaku menuntut pengelolaan gabungan kondisi yang rawan menghasilkan kombinasi kondisi tidak valid, sedangkan FSM tumbuh secara linear, cukup menambah satu state beserta transisinya. Perbandingan FSM terhadap pendekatan lain disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan Logika NPC

Pendekatan	Beban Komputasi	Determinisme	Pemeliharaan
If-else (hardcoded)	Rendah	Rendah	Buruk saat logika bertambah
Finite State Machine	Rendah	Tinggi	Baik untuk pemilihan <i>state</i> dan perubahan transisi
Behavior Tree	Sedang	Tinggi	Baik untuk perilaku kompleks
GOAP	Tinggi	Rendah-sedang	Rendah, hanya untuk agen dinamis

4.3 Pengumpulan Bahan (*Material Collecting*)

Tahap pengumpulan bahan merupakan proses menghimpun seluruh aset yang dibutuhkan untuk membangun aplikasi sesuai rancangan pada tahap sebelumnya. Aset dikelompokkan menjadi aset tiga dimensi, aset antarmuka, aset audio, aset partikel dan efek visual, serta aset animasi. Berdasarkan sumbernya, aset terbagi atas aset yang dibuat oleh anggota tim penulis dan aset yang dikumpulkan dari sumber terbuka.

4.3.1 Aset *User Interface* (UI)

Aset *User Interface* mencakup elemen dua dimensi yang digunakan pada menu dan tampilan dalam simulasi. Aset tersebut berjenis file .png dan akan digunakan sebagai background elemen-elemen di Unity. Desain antarmuka tersebut dikerjakan oleh Pradipta Daffa Adiwangsa, sebagai rekan penulis yang bertanggung jawab atas aset antarmuka. Daftar aset antarmuka disajikan pada Tabel 4.9.



Tabel 4.9 Daftar Aset *User Interface*

No	Aset	Visualisasi	Jenis	Sumber
1	Logo		.png	Rekan penulis
2	Background		.png	Rekan penulis
3	Bottom Bar		.png	Rekan penulis
4	Tombol Simulasi		.png	Rekan penulis
5	Tombol Biru		.png	Rekan penulis
6	Tombol Lantai		.png	Rekan penulis
7	Tombol Hijau		.png	Rekan penulis
8	Tombol Merah		.png	Rekan penulis

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

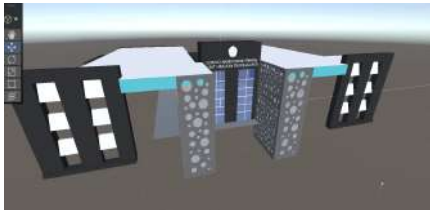
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

9	Tombol Konfirmasi		.png	Rekan penulis
10	Notifikasi Gempa		.png	Rekan penulis
11	Notifikasi Kebakaran		.png	Rekan penulis
12	Montserrat		.otf	Google Fonts
13	Mohave		.otf	Google Fonts

4.3.2 Aset 3D

Aset 3D digunakan untuk membangun lingkungan gedung, objek yang dapat berinteraksi dengan pemain, serta karakter dalam simulasi. Pemodelan 3D dikerjakan oleh rekan penulis, Pradipta Daffa Adiwangsa. Daftar aset tiga dimensi disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Daftar Aset 3D

No	Aset	Visualisasi	Sumber
1	Outdoor.fbx		Rekan penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	Lantai_1.fbx		Rekan penulis
3	Lantai_2.fbx		Rekan penulis
4	Lantai_3.fbx		Rekan penulis
5	Lantai_4.fbx		Rekan penulis
6	Pintu_1.fbx		Rekan penulis
7	Pintu_2.fbx		Rekan penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8	Pintu_3.fbx		Rekan penulis
9	Pintu_exit.fbx		Rekan penulis
10	Pintu_toilet.fbx		Rekan penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

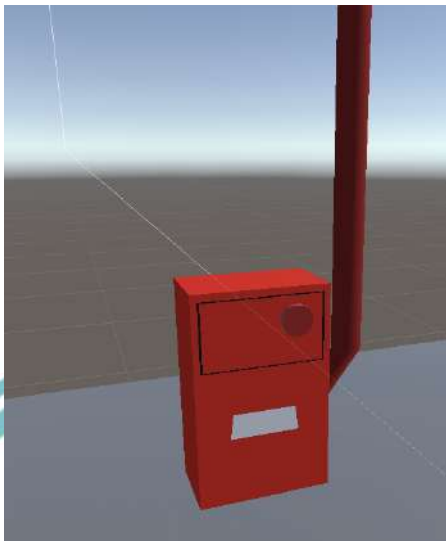
11	Kursi.fbx		Rekan penulis
12	Meja.fbx		Rekan penulis
13	Kursi_Meja_Dosen.fbx		Rekan penulis
13	Papan_tulis.fbx		Rekan penulis
14	APAR.fbx		Rekan penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

15	Hydrant.fbx		Rekan penulis
16	TV.fbx		Rekan penulis
17	NPC_1.fbx		Rekan penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

18	NPC_2.fbx		Rekan penulis
19	NPC_3.fbx		Rekan penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

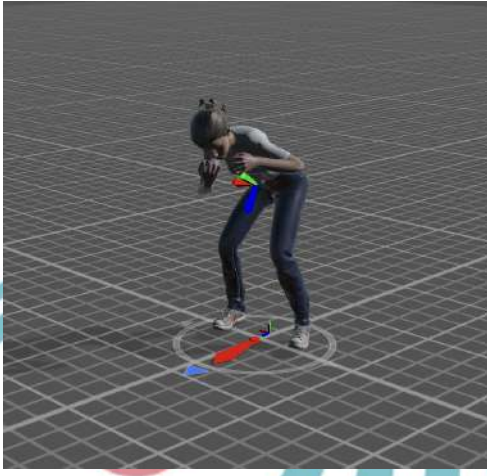
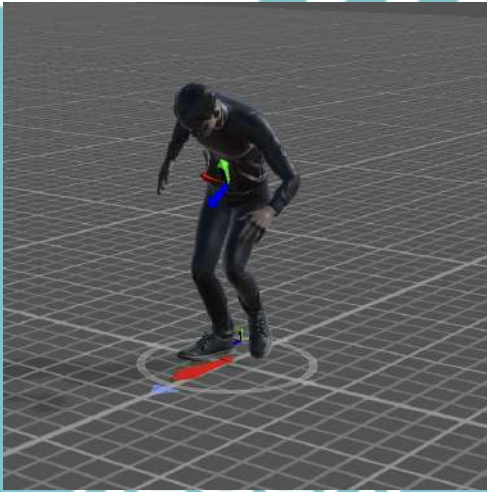
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

20	NPC_4.fbx		Rekan penulis
21	NPC_5.fbx		Rekan penulis

4.3.3 Aset Animasi

Aset animasi mencakup animasi karakter serta video animasi edukasi prosedur evakuasi gedung. Aset animasi beserta model bersumber dari rekan penulis, Putri Suna. Daftar aset animasi disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Daftar Aset Animasi

No	Aset	Visualisasi	Sumber
1	Takut		Rekan penulis
2	Evacuating		Rekan penulis

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

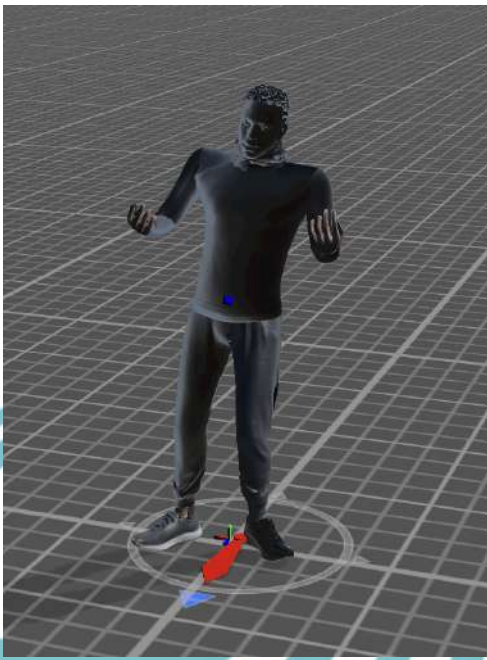
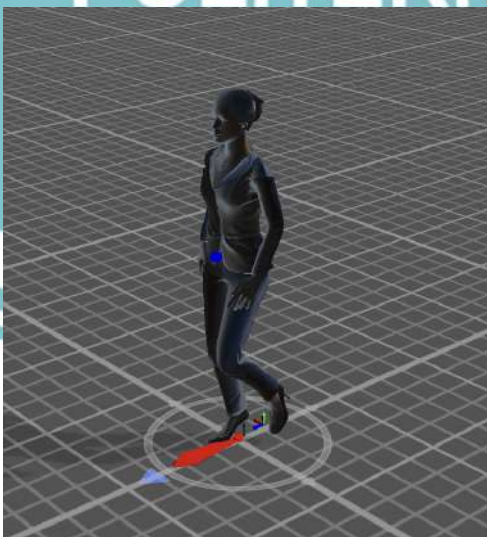
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3	Talking		Rekan penulis
4	Fallen		Rekan penulis
5	Walking		Rekan penulis



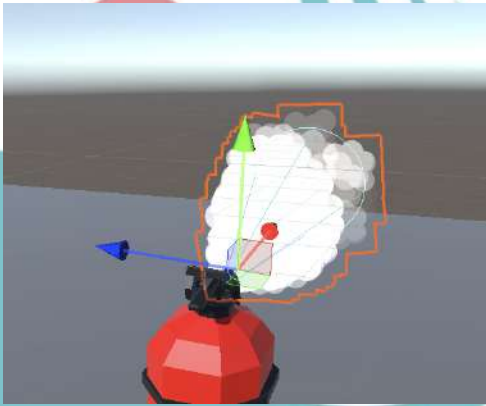
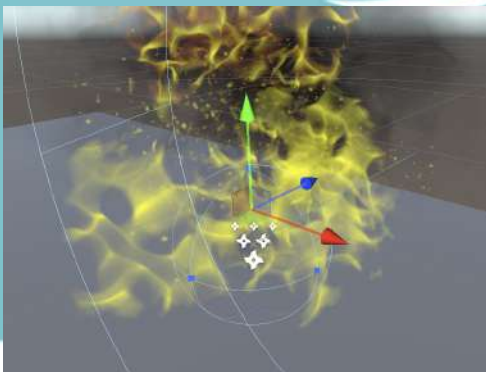
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.4 Aset Visual dan Audio

Aset partikel digunakan untuk memvisualisasikan efek bencana dan interaksi. Sedangkan aset audio digunakan sebagai umpan balik dan penguat suasana pada simulasi. Video animasi prosedur keselamatan bencana dikerjakan oleh Putri Suna, sebagai rekan penulis. Daftar aset efek visual dan audio disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Daftar Aset Visual dan Audio

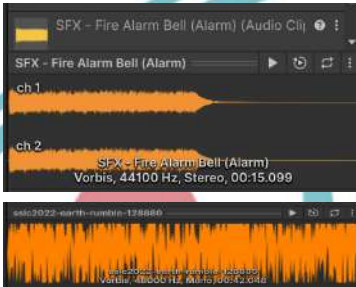
No	Aset	Visualisasi	Sumber
1	Asap		Free Stylized Smoke Effects Pack - Miami Studio - Unity Asset Store Tipe: Package Manager
2	Api		Free Fire VFX - Vefects - Unity Asset Store Tipe: Package Manager
3	Video Animasi Gempa Bumi		Rekan penulis Tipe: .mp4 Resolusi: 1920x1080



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4	Video Animasi Kebakaran		Rekan penulis Tipe: .mp4 Resolusi: 1920x1080
5	Audio Ambience (Alarm, Gempa, NPC)		Rekan penulis Tipe: .mp3

4.4 Perakitan (*Assembly*)

Tahap perakitan merupakan proses integrasi seluruh aset dan logika ke dalam game engine Unity hingga menjadi aplikasi yang dapat dijalankan. Pembahasan difokuskan pada perakitan sistem dan logika permainan yang diimplementasikan dengan bahasa C#. Arsitektur aplikasi bersifat *event-driven*, yaitu antar-komponen dihubungkan melalui *UnityEvent* sehingga satu komponen dapat memicu fungsi komponen lain tanpa keterikatan langsung pada kode.

4.4.1 Proyek Unity

Aplikasi dibangun menggunakan Unity versi 6000.3.8f1 dengan Universal Render Pipeline (URP). Dukungan *virtual reality* diperoleh dari paket-paket XR yang diintegrasikan ke dalam proyek. Daftar paket Unity yang digunakan disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Spesifikasi dan Paket Unity

No	Nama	Versi	Kegunaan
1	Unity Editor	6000.3.8f1	Game engine utama
2	Universal Render Pipeline (URP)	17.3.0	Grafis render
3	XR Interaction Toolkit	3.3.1	Sistem interaksi VR



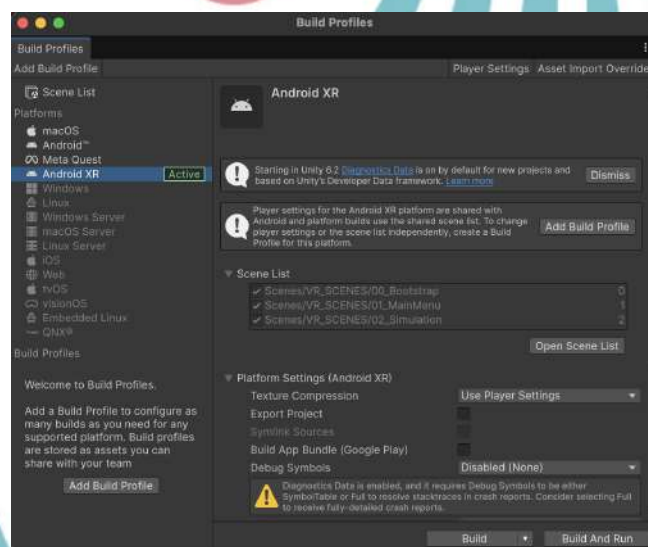
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4	OpenXR Plugin	1.16.1	Standar <i>runtime</i> perangkat VR
5	XR Hands	1.7.3	Dukungan input tangan
6	XR Plugin Management	4.5.3	Manajemen plugin XR
7	AI Navigation (NavMesh)	2.0.5	Navigasi NPC
8	Input System	1.18.0	Sistem input

Pengaturan target build aplikasi diarahkan ke platform Android XR untuk penggunaan utama di perangkat Meta Quest 3S. Tampilan *Build Profiles* ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Build Profiles Unity

Integrasi VR menggunakan kerangka XR Origin sebagai representasi pemain dengan kepala dan kedua *controller*. Interaksi objek memanfaatkan komponen XR Interaction Toolkit, yaitu *XRGrabInteractable* untuk objek yang dapat digenggam seperti APAR dan *XRSimpleInteractable* untuk objek yang dapat dipilih, misalnya pintu, tombol alarm, dan NPC. Metode pergerakan pemain menggunakan locomotion bawaan XR Interaction Toolkit, yaitu *continuous movement* dan *teleportation* serta gerakan kepala dengan menggerakkan headset VR atau juga menggunakan sistem *snap turn*.



4.4.2 Struktur Scene

Aplikasi terdiri atas tiga scene, yaitu 0_Bootstrap, 01_MainMenu, dan 02_Simulation. Scene 0_Bootstrap menjadi titik masuk yang menginisialisasi sistem dan state permainan sebelum memuat menu utama.

Skrip AppBootstrapper menerapkan pola *singleton* dan dipertahankan antar-scene melalui DontDestroyOnLoad. Skrip ini menampilkan splash screen selama durasi tertentu, kemudian memuat scene 01_MainMenu. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.4.

```
public class AppBootstrapper : MonoBehaviour
{
    public static AppBootstrapper Instance;

    [Header("Settings")]
    public string nextSceneName = "01_MainMenu";
    public float splashScreenDuration = 2.0f;

    void Awake()
    {
        if (Instance == null)
        {
            Instance = this;
            DontDestroyOnLoad(gameObject);
        }
        else
        {
            Destroy(gameObject);
            return;
        }
    }

    void Start()
    {
        StartCoroutine(BootSequence());
    }

    IEnumerator BootSequence()
    {
        Debug.Log("Booting Systems...");
        yield return new WaitForSeconds(splashScreenDuration);
        Debug.Log("Loading Main Menu...");
        SceneManager.LoadScene(nextSceneName);
    }
}
```

Gambar 4.4 Skrip AppBootstrapper

Skrip GameManager menyimpan state permainan yang harus bertahan ketika berpindah scene, yaitu jenis sesi, lokasi awal pemain (lantai dan ruangan), serta penanda mode latihan. Pemilihan simulasi dirancang dua fase. Jenis bencana

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dipilih lebih dahulu di menu utama, kemudian titik awal ditentukan, baru scene simulasi dimuat. Skrip ini juga menyediakan jalur khusus untuk mode latihan dan untuk sesi video.

```
public class GameManager : MonoBehaviour
{
    public static GameManager Instance;

    [Header("Current Session Data")]
    public SessionType currentSession = SessionType.None;
    public SimulationStartLocation currentStartLocation;

    public bool isPracticeMode = false;

    [Header("Pending Simulation")]
    [SerializeField] private SessionType pendingSessionType = SessionType.None;
    [SerializeField] private string pendingSceneName = string.Empty;
    [SerializeField] private bool hasPendingSimulation;

    public SessionType PendingSession => pendingSessionType;

    void Awake()
    {
        if (Instance == null) Instance = this;
        else
        {
            Destroy(gameObject);
            return;
        }

        DontDestroyOnLoad(gameObject);
    }

    public void LoadSession(SessionType session, string sceneName)
    {
        currentSession = session;
        isPracticeMode = false;
        hasPendingSimulation = false;
        pendingSessionType = SessionType.None;
        pendingSceneName = string.Empty;

        Debug.Log($"GameManager: Saving state as {session}. Loading scene: {sceneName}")
        SceneManager.LoadScene(sceneName);
    }
}
```

Gambar 4.5 Skrip GameManager

Gambar 4.5 menunjukkan komponen skrip GameManager, fungsi awal skrip akan menyimpan sesi simulasi yang telah dipilih oleh pemain. LoadSession() akan menyimpan *state* session tersebut dan menggunakan fungsi Unity SceneManager.LoadScene() untuk memulai scene simulasi selanjutnya yakni scene 02_Simulation.

4.4.3 Penyusunan Simulasi

Setelah jenis simulasi, rantai, dan ruangan dipilih, scene 02_Simulation dimuat. Pada saat scene dimuat, tiga skrip berjalan untuk menyiapkan kondisi awal. Skrip SimulationSpawnManager menempatkan pemain (XR Origin) pada titik awal



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang dipilih, atau pada titik acak bila mode latihan. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.6.

```
public class SimulationSpawnManager : MonoBehaviour
{
    [Header("Player Rig")]
    [SerializeField] private Transform playerRig;
    [Header("Spawn Points")]
    [SerializeField] private Transform spawnPointsRoot;
    [SerializeField] private Transform defaultSpawnPoint;

    void Start()
    {
        if (playerRig == null)
        {
            return;
        }

        if (GameManager.Instance == null)
        {
            return;
        }

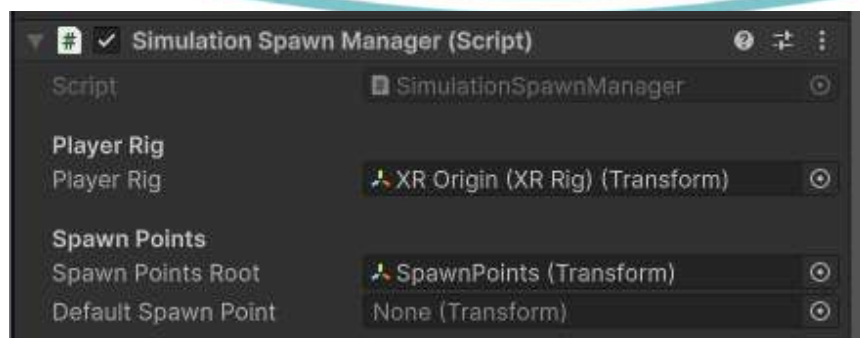
        string spawnName = GameManager.Instance.currentStartLocation.roomId;
        Transform spawnPoint;
        if (string.IsNullOrEmpty(spawnName))
        {
            spawnPoint = PickRandomSpawnPoint();
            if (spawnPoint != null)
            {
                return;
            }
        }
        else
        {
            spawnPoint = FindSpawnByName(spawnName);
        }

        if (spawnPoint == null)
        {
            spawnPoint = defaultSpawnPoint;
        }

        if (spawnPoint == null)
        {
            return;
        }

        playerRig.SetPositionAndRotation(spawnPoint.position, spawnPoint.rotation);
    }
}
```

Gambar 4.6 Komponen skrip SimulationSpawnManager



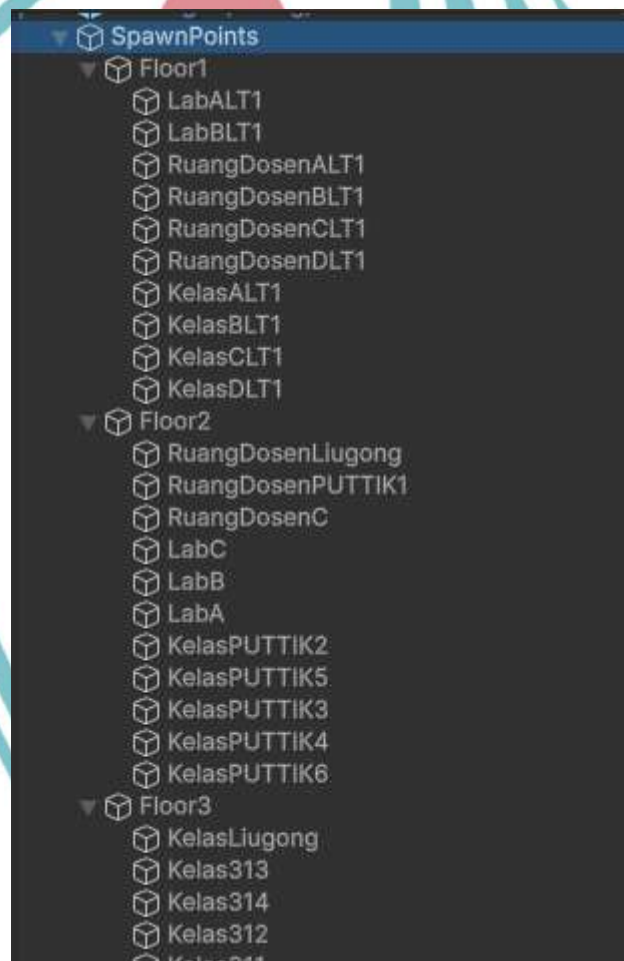


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.7 Komponen Inspector SimulationSpawnManager

Gambar 4.7 menunjukkan komponen SimulationSpawnManager, komponen tersebut akan menampilkan beberapa pilihan input komponen yang dapat dilakukan di dalam Inspector Unity. Player Rig membutuhkan input Transform dari pemain yang berada pada XR Origin (XR Rig), sedangkan SpawnPoints menerima input Transform SpawnPoints yang merupakan komponen *GameObject* berisi titik-titik munculnya pemain yang telah disesuaikan dengan titik setiap kelas yang berada di gedung. Struktur komponen SpawnPoints dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Komponen *GameObject* SpawnPoints

Skrip SimulationModeController mengaktifkan kumpulan objek kebakaran atau gempa sesuai jenis sesi, dan menonaktifkan yang lain. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class SimulationModeController : MonoBehaviour
{
    [Header("Fire Simulation Objects")]
    [SerializeField] private GameObject[] fireObjects;

    [Header("Earthquake Simulation Objects")]
    [SerializeField] private GameObject[] earthquakeObjects;

    void Start()
    {
        if (GameManager.Instance == null)
        {
            Debug.LogWarning("SimulationModeController: No GameManager instance found.");
            return;
        }

        var mode = GameManager.Instance.currentSession;
        Debug.Log($"SimulationModeController: Applying mode {mode}");
        ApplyMode(mode);
    }

    void ApplyMode(SessionType sessionType)
    {
        var isFire = sessionType == SessionType.FireSimulation;
        var isEarthquake = sessionType == SessionType.EarthquakeSimulation;

        SetActiveArray(fireObjects, isFire);
        SetActiveArray(earthquakeObjects, isEarthquake);
    }

    void SetActiveArray(GameObject[] objects, bool active)
    {
        if (objects == null) return;

        for (int i = 0; i < objects.Length; i++)
        {
            if (objects[i] != null)
            {
                objects[i].SetActive(active);
            }
        }
    }
}
```

Gambar 4.9 Komponen skrip SimulationModeController

Skrip SimulationEventRouter menjadi pusat pemicu kejadian. Skrip ini membaca jenis sesi, memicu UnityEvent yang sesuai seperti kebakaran atau gempa, serta menampilkan panel peringatan yang di awal sesi. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.10.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class SimulationEventRouter : MonoBehaviour
{
    [System.Serializable]
    public class SessionUnityEvent : UnityEvent { }

    [Header("Session events")]
    public SessionUnityEvent onFireSimulationStarted;
    public SessionUnityEvent onEarthquakeSimulationStarted;
    public SessionUnityEvent onSafetyVideoStarted;
    public SessionUnityEvent onVRTutorialStarted;

    [Header("Warning panels (optional - assign the ones you want shown)")]
    [SerializeField] private CanvasGroup fireWarningPanel;
    [SerializeField] private CanvasGroup earthquakeWarningPanel;
    [Header("Warning timing")]
    [SerializeField, Min(0f)] private float warningHoldSeconds = 2f;
    [SerializeField, Min(0f)] private float warningFadeSeconds = 0.5f;

    void Start()
    {
        HidePanelImmediate(fireWarningPanel);
        HidePanelImmediate(earthquakeWarningPanel);

        if (GameManager.Instance == null)
        {
            Debug.LogWarning("SimulationEventRouter: No GameManager instance found.");
            return;
        }

        var session = GameManager.Instance.currentSession;
        Debug.Log($"SimulationEventRouter: Session started with type = {session}");

        switch (session)
        {
            case SessionType.FireSimulation:
                Debug.Log("SimulationEventRouter: FIRE simulation started.");
                onFireSimulationStarted?.Invoke();
                ShowWarning(fireWarningPanel);
                break;

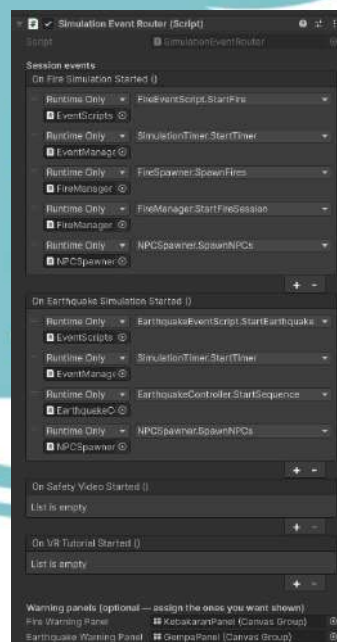
            case SessionType.EarthquakeSimulation:
                Debug.Log("SimulationEventRouter: EARTHQUAKE simulation started.");
                onEarthquakeSimulationStarted?.Invoke();
                ShowWarning(earthquakeWarningPanel);
                break;

            case SessionType.SafetyVideo:
                Debug.Log("SimulationEventRouter: SAFETY VIDEO started.");
                onSafetyVideoStarted?.Invoke();
                break;

            case SessionType.VRTutorial:
                Debug.Log("SimulationEventRouter: VR TUTORIAL started.");
                onVRTutorialStarted?.Invoke();
                break;

            default:
                Debug.Log("SimulationEventRouter: No active session type.");
                break;
        }
    }
}
```

Gambar 4.10 Komponen skrip SimulationEventRouter



Gambar 4.11 Komponen skrip SimulationEventRouter

Gambar 4.11 menunjukkan komponen SimulationEventRouter pada Inspector. OnFireSimulationStarted dan OnEarthquakeSimulationStarted merupakan UnityEvent yang disambungkan ke fungsi-fungsi yang dijalankan saat Jurusan Teknik Informatika dan Komputer - Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

masing-masing skenario dimulai. FireWarningPanel dan EarthquakeWarningPanel menerima input CanvasGroup panel peringatan. Fungsi-fungsi yang ada disambungkan ke berbagai sumber *event*. Rangkaian penyambungan utama disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Sambungan Event dan Fungsi Skrip

Sumber Event	Fungsi yang Dipanggil
SimulationEventRouter.onFireSimulationStarted	FireSpawner.SpawnFires(), FireManager.StartFireSession(), NPCSpawner.SpawnNPCs(), SimulationTimer.StartTimer()
SimulationEventRouter.onEarthquakeSimulationStarted	EarthquakeController.StartSequence(), NPCSpawner.SpawnNPCs(), SimulationTimer.StartTimer()
SimulationTimer.onTick	SimulationResultUI.UpdateTimerDisplay(int)
SimulationTimer.onTimeUp	SimulationStateManager.TriggerGameOver()
EvacuationZone.onEvacuationCompleted	SimulationStateManager.TriggerWin()
SimulationStateManager.onWin	SimulationResultUI.ShowWin()
SimulationStateManager.onGameOver	SimulationResultUI.ShowGameOver()

4.4.4 Sistem Kebakaran

Skrip FireSpawner memunculkan api saat simulasi kebakaran dimulai. Skrip memilih satu ruangan acak pada lantai awal pemain, lalu menyalakan sekitar 70%-90% titik api ruangan tersebut dengan prefab api yang dipilih acak. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class FireSpawner : MonoBehaviour
{
    public enum FloorSelectionMode
    {
        PlayerStartingFloor, Random,
    }

    [Header("Prefabs (must have FireObject + Collider)")]
    [SerializeField] private FireObject[] firePrefabs;
    [Header("Floor groups")]
    [SerializeField] private FloorFires[] floors;
    [Header("Floor selection")]
    [SerializeField] private FloorSelectionMode floorMode = FloorSelectionMode.PlayerStartingFloor;
    [Header("Point selection - fraction of the chosen room's fire points to light")]
    [SerializeField, Range(0f, 1f)] private float minFillFraction = 0.7f;
    [SerializeField, Range(0f, 1f)] private float maxFillFraction = 0.9f;
    [Header("Hierarchy")]
    [SerializeField] private Transform spawnedFiresParent;

    readonly List<FireObject> _spawned = new();

    public void SpawnFires()
    {
        if (firePrefabs == null || firePrefabs.Length == 0)
        {
            Debug.LogWarning("FireSpawner: No fire prefabs assigned.");
            return;
        }
        if (floors == null || floors.Length == 0)
        {
            Debug.LogWarning("FireSpawner: No floor groups configured.");
            return;
        }

        FloorFires chosenFloor = PickFloor();
        if (chosenFloor == null || chosenFloor.roomsRoot == null)
        {
            Debug.LogWarning("FireSpawner: Chosen floor has no roomsRoot assigned.");
            return;
        }

        Debug.Log($"FireSpawner: chosen floor = {chosenFloor.floor} (mode = {floorMode}).");

        List<Transform> allRooms = CollectActiveChildren(chosenFloor.roomsRoot);
        if (allRooms.Count == 0)
        {
            Debug.LogWarning($"FireSpawner: floor '{chosenFloor.floor}' has no active rooms under '{chosenFloor.roomsRoot.name}'.");
            return;
        }

        Transform room = allRooms[UnityEngine.Random.Range(0, allRooms.Count)];

        List<Transform> allPoints = CollectActiveChildren(room);
        if (allPoints.Count == 0)
        {
            Debug.LogWarning($"FireSpawner: room '{room.name}' has no fire points; nothing spawned.");
            return;
        }
    }
}
```

Gambar 4.12 Komponen skrip FireSpawner

Skrip FireObject dipasang pada tiap objek api. Skrip menyediakan fungsi memadamkan api serta mendeteksi sentuhan pemain untuk memicu event yang dihubungkan ke kondisi simulasi berakhir. Komponen skrip FireObject ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class FireObject : MonoBehaviour
{
    [Header("Events")]
    public UnityEvent onExtinguished;
    public UnityEvent onPlayerTouched;
    [Header("Player detection")]
    [SerializeField] private string playerTag = "Player";

    bool _extinguished;
    bool _touched;

    public void Extinguish()
    {
        if (_extinguished) return;
        _extinguished = true;

        onExtinguished.Invoke();
        gameObject.SetActive(false);
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        if (_extinguished || _touched) return;
        if (!string.IsNullOrEmpty(playerTag) && !other.CompareTag(playerTag)) return;

        _touched = true;
        Debug.Log($"FireObject: player touched '{name}' - raising onPlayerTouched.");
        onPlayerTouched?.Invoke();
    }
}
```

Gambar 4.13 Komponen skrip FireObject

Skrip FireObject tersebut akan dipasangkan ke dalam setiap api yang ada didalam scene, api yang dimunculkan pada FireSpawner merupakan sebuah prefab yang berisi sistem partikel api berserta Collider yang akan mendeteksi pemain. Terdapat tiga jenis prefab api yang digunakan. Jenis-jenis prefab api dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Jenis-jenis prefab api

Komponen skrip FireSpawner yang sebelumnya dijelaskan akan dimasukkan kedalam *GameObject* FireManager. Setiap input FireSpawner akan diisi sesuai dengan kebutuhan, seperti prefab api, serta titik muncul api pada setiap lantai. Inspector FireSpawner dapat dilihat pada Gambar 4.15.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.15 Inspector FireSpawner

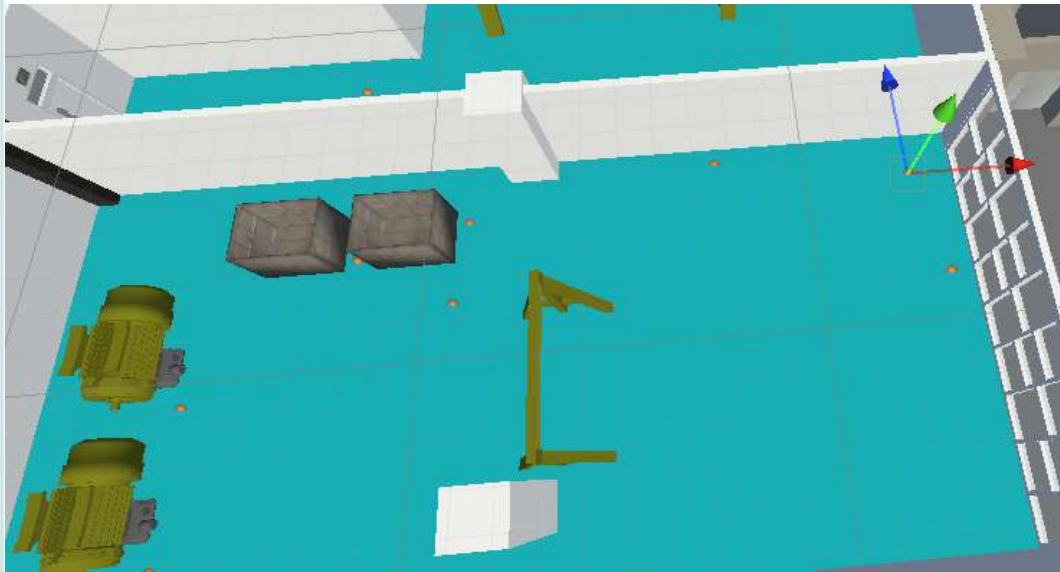
Titik-titik muncul api dikelompokkan pada *GameObject* FireSpawnPoints, mirip dengan titik muncul player (SpawnPoints), titik-titik muncul api disebar di setiap lantai dan di beberapa titik utama, seperti ujung koridor, tangga, serta beberapa komponen elektronik yang mungkin dapat terbakar api. Visualisasi titik-titik api dapat dilihat pada Gambar 4.16.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.16 Visualisasi titik-titik FireSpawnPoints

Skrip FireExtinguisher mengatur penggunaan APAR yang digenggam melalui XRGrabInteractable. Saat tombol trigger ditekan, status menyemprot aktif dan efek partikel diputar, kemudian saat dilepas, semprotan dan partikel dihentikan. Selama menyemprot, dilakukan SphereCast dari ujung nozzle ke depan, dan bila mengenai objek api maka api tersebut dipadamkan. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.17.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
> Scripts > Interaction > FireExtinguisher.cs
public class FireExtinguisher : MonoBehaviour
{
    [Header("Nozzle")]
    [SerializeField] private Transform nozzleTransform;
    [Header("Spray settings")]
    [SerializeField] private float sprayRange = 3f;
    [SerializeField] private float sprayRadius = 0.25f;
    [Header("VFX (optional)")]
    [SerializeField] private ParticleSystem sprayParticles;

    XRGrabInteractable _grab;
    bool _isSpraying;

    void Awake()
    {
        _grab = GetComponent<XRGrabInteractable>();

        if (nozzleTransform == null)
        {
            nozzleTransform = transform;
        }
    }

    void OnEnable()
    {
        _grab.activated.AddListener(OnActivate);
        _grab.deactivated.AddListener(OnDeactivate);
        _grab.selectExited.AddListener(OnDropped);
    }

    void OnDisable()
    {
        _grab.activated.RemoveListener(OnActivate);
        _grab.deactivated.RemoveListener(OnDeactivate);
        _grab.selectExited.RemoveListener(OnDropped);
    }

    void OnActivate(ActivateEventArgs args)
    {
        _isSpraying = true;
        Debug.Log("FireExtinguisher: activate (trigger pressed) - spraying ON.");

        if (sprayParticles != null && !sprayParticles.isPlaying)
        {
            sprayParticles.Play();
        }
    }

    void OnDeactivate(DeactivateEventArgs args)
    {
        StopSpray();
    }

    void OnDropped(SelectExitEventArgs args)
    {
        StopSpray();
    }

    void StopSpray()
    {
        _isSpraying = false;

        if (sprayParticles != null && sprayParticles.isPlaying)
        {
            sprayParticles.Stop();
        }
    }
}
```

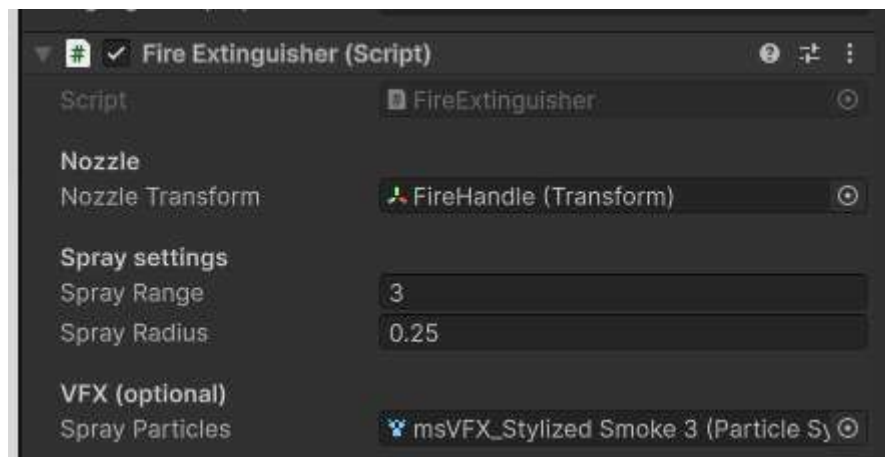
Gambar 4.17 Komponen skrip FireExtinguisher

Efek partikel pada APAR diterapkan dengan menambahkan komponen ParticleSystem sebagai komponen *child* objek APAR di posisi ujung nozzle, lalu mereferensikannya pada kolom partikel di Inspector. Partikel diatur agar tidak otomatis berputar saat mulai, sehingga pemutarannya dikendalikan kode. Animasi partikel diputar saat trigger ditekan, dihentikan saat dilepas. Pengaturan partikel pada APAR ditunjukkan pada Gambar 4.18.



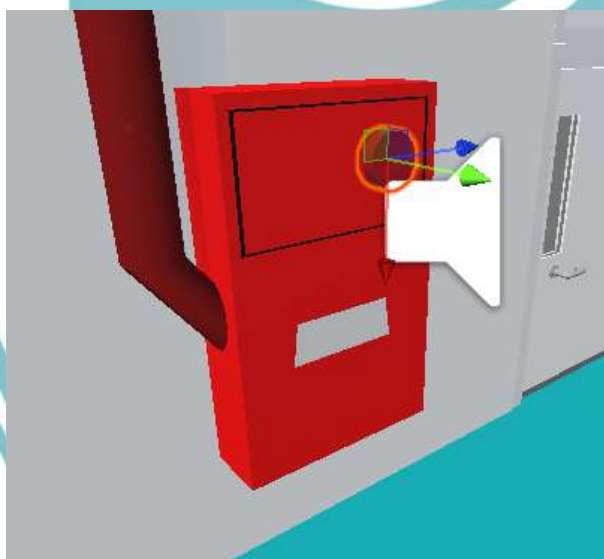
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.18 Pengaturan Partikel APAR

Selain APAR, terdapat tombol *hydrant* yang ketika dipilih membunyikan alarm pada seluruh hydrant. Penggunaan tombol *hydrant* menggunakan `XRSimpleInteractable` yang dapat memungkinkan pemain untuk berinteraksi dengan tombol hydrant tersebut. Visualisasi Hydrant beserta tombol dan suara dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Visualisasi Hydrant

Skrip Hydrant menginisiasi suara alarm yang diposisikan pada hydrant tersebut agar dapat didengar oleh pemain. Komponen skrip Hydrant dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class Hydrant : MonoBehaviour
{
    [Header("Alarm audio")]
    [SerializeField] private AudioSource[] alarmAudios;
    [SerializeField] private bool includeChildAudioSources = false;
    [SerializeField] private Light[] alarmLights;
    [SerializeField] private Color alarmLightColor = Color.red;

    static readonly List<Hydrant> _all = new();
    static bool _alarmActive;

    void Awake()
    {
        if (includeChildAudioSources)
        {
            var found = GetComponentsInChildren<AudioSource>(includeInactive: true);
            alarmAudios = alarmAudios == null || alarmAudios.Length == 0
                ? found
                : MergeUnique(alarmAudios, found);
        }
    }

    void OnEnable() => _all.Add(this);
    void OnDisable() => _all.Remove(this);
    static AudioSource[] MergeUnique(AudioSource[] a, AudioSource[] b)
    {
        var set = new HashSet<AudioSource>(a);
        foreach (var s in b) set.Add(s);
        var arr = new AudioSource[set.Count];
        set.CopyTo(arr);
        return arr;
    }

    public static void TriggerAlarmGlobal()
    {
        if (_alarmActive)
        {
            Debug.Log("Hydrant: alarm already active - button press ignored.");
            return;
        }

        _alarmActive = true;
        Debug.Log($"Hydrant: alarm triggered - activating on {_all.Count} hydrant(s).");

        foreach (Hydrant h in _all)
        {
            h.StartLocalAlarm();
        }
    }

    public static void StopAlarmGlobal()
    {
        if (!_alarmActive) return;
        _alarmActive = false;

        foreach (Hydrant h in _all)
        {
            h.StopLocalAlarm();
        }
    }

    public static bool IsAlarmActive => _alarmActive;
}
```

Gambar 4.20 Komponen skrip Hydrant

4.4.5 Sistem Gempa Bumi

Skrip EarthquakeController mengatur urutan guncangan dalam dua fase, yaitu guncangan utama dan gempa susulan, dengan menggerakkan komponen CameraShake. Isi skrip ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class EarthquakeController : MonoBehaviour
{
    public enum Phase { Idle, Shaking, Aftershock, Resolved }

    [Header("References")]
    [SerializeField] private CameraShake cameraShake;
    [Header("Phase 1 - Shaking")]
    [SerializeField] private float shakeDuration = 15f;
    [SerializeField, Range(0f, 1f)] private float shakeIntensity = 0.85f;
    [SerializeField] private float shakeFrequency = 14f;
    [Header("Phase 2 - Aftershock")]
    [SerializeField] private float aftershockDuration = 30f;
    [SerializeField, Range(0f, 1f)] private float aftershockIntensity = 0.25f;
    [SerializeField] private float aftershockFrequency = 8f;
    [Header("Events")]
    public UnityEvent onShakingStarted;
    public UnityEvent onAftershockStarted;
    public UnityEvent onShakeSequenceEnded;
    Phase _phase = Phase.Idle;
    public Phase CurrentPhase => _phase;
    void Awake()
    {
        Debug.Log($"EarthquakeController: Awake on '{gameObject.name}' " +
            $"(cameraShake ref = {(cameraShake == null ? "NULL" : cameraShake.gameObject.name)}).");
    }
    void Start()
    {
        Debug.Log("EarthquakeController: Start - component is active and waiting for StartSequence().");
    }
    public void StartSequence()
    {
        Debug.Log("EarthquakeController: StartSequence() invoked.");

        if (_phase != Phase.Idle)
        {
            Debug.LogWarning($"EarthquakeController: StartSequence called while phase = {_phase} - ignoring.");
            return;
        }

        if (cameraShake == null)
        {
            Debug.LogWarning("EarthquakeController: cameraShake reference is NULL. " +
                "The sequence will run but no shake will be visible. " +
                "Drag a CameraShake component into the inspector field.");
        }

        StartCoroutine(RunSequence());
    }
}
```

Gambar 4.21 Komponen skrip EarthquakeController

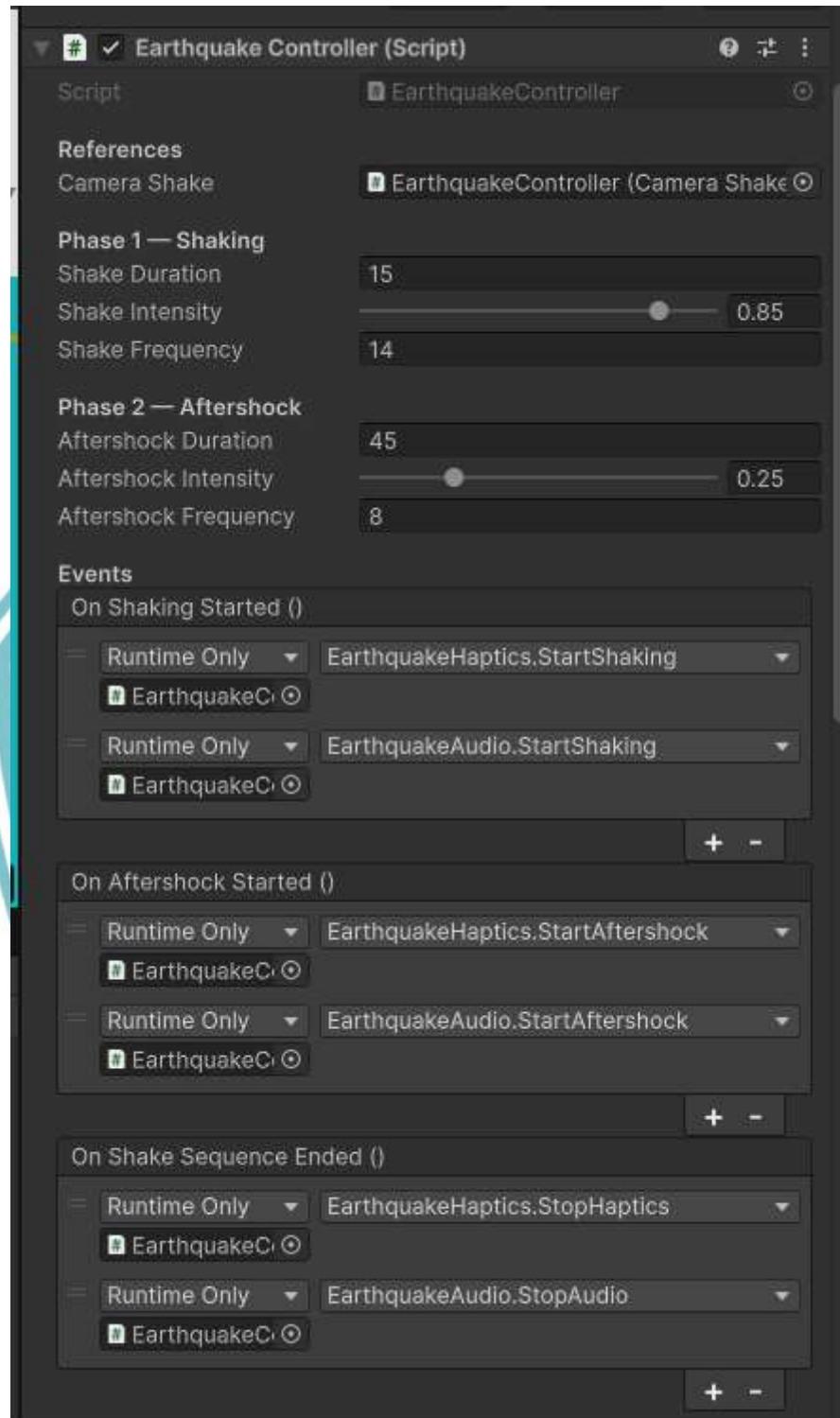
CameraShake menerima input komponen CameraShake yang menggerakkan getaran kamera. ShakeDuration, ShakeIntensity, dan ShakeFrequency mengatur fase guncangan utama, sedangkan AftershockDuration, AftershockIntensity, dan AftershockFrequency mengatur fase gempa susulan. OnShakingStarted, OnAftershockStarted, dan OnShakeSequenceEnded merupakan UnityEvent yang dapat disambungkan ke isyarat audio dan getaran controller. Gambar 4.22 menunjukkan komponen EarthquakeController pada Inspector.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.22 Tampilan EarthquakeController pada Inspector

Input-input komponen yang diterima EarthquakeController juga diatur oleh skrip masing masing. Skrip tersebut juga dimasukkan kepada *GameObject* EarthquakeController yang sama dengan struktur dan tampilan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Tampilan berbagai komponen skrip pada EarthquakeController

4.4.6 Sistem Latihan

Mode latihan diimplementasikan dengan memanfaatkan beberapa skrip yang saling terkait di dalam sistem simulasi. Titik masuk mode latihan berada pada method `OnClick_Practice()` pada skrip `MainMenuController`, yang dipanggil ketika pemain menekan tombol "Latihan" di menu utama. Method tersebut kemudian memicu method `StartPracticeRun()` pada skrip `GameManager`. Method `StartPracticeRun()` melakukan tiga konfigurasi utama, mengaktifkan penanda `isPracticeMode = true` yang akan diperiksa oleh komponen-komponen lain di dalam scene simulasi, memilih jenis skenario bencana secara acak dengan peluang 50% untuk skenario kebakaran (`FireSimulation`) dan 50% untuk skenario gempa bumi (`EarthquakeSimulation`) menggunakan fungsi `Random.Range(0, 2)`, serta menyetel `currentStartLocation` dengan `roomId` kosong sebagai penanda agar titik

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer - Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

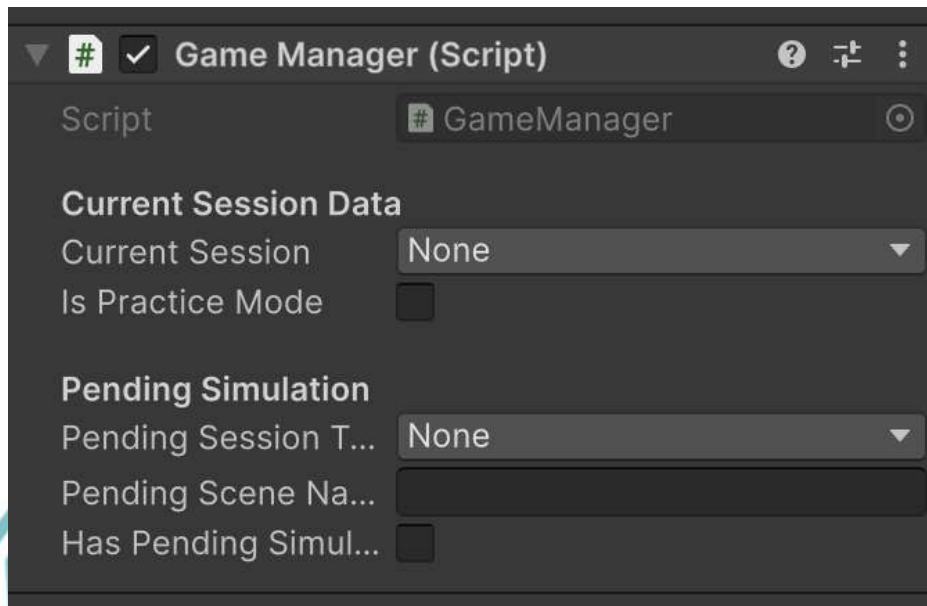
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

spawn dipilih secara acak oleh `SimulationSpawnManager`. Komponen skrip `GameManager` pada *Inspector* ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Komponen skrip GameManager

Pemilihan titik spawn acak ditangani oleh skrip `SimulationSpawnManager`. `PickRandomSpawnPoint()` dipanggil untuk memilih satu titik secara acak dari kumpulan transform child di bawah `spawnPointsRoot`. Posisi dan rotasi pemain kemudian diatur sesuai titik spawn yang terpilih. Pada mode latihan, simulasi dirancang agar pemain dapat beradaptasi dan mempelajari lingkungan tanpa adanya tekanan waktu. Oleh karena itu, komponen pengatur waktu `SimulationTimer` dinonaktifkan selama mode latihan aktif. Implementasi penonaktifan ini berada pada method `StartTimer()` yang memeriksa nilai `GameManager.Instance.isPracticeMode`; apabila bernilai true, eksekusi method dihentikan lebih awal sehingga timer countdown tidak pernah berjalan.

Untuk mempermudah pemain dalam mempelajari rute keselamatan, simulasi akan memunculkan suatu garis penunjuk arah menuju titik evakuasi. Skrip `EvacuationRouteIndicator` memanfaatkan komponen `LineRenderer` dan fungsi `NavMesh.CalculatePath` dari Unity AI Navigation untuk menggambar jalur visual secara dinamis dari posisi pemain menuju titik evakuasi terdekat. Komponen skrip `EvacuationRouteIndicator` serta tampilan pada *inspector* dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
void Start()
{
    bool inPracticeMode = GameManager.Instance != null && GameManager.Instance.isPracticeMode;
    _active = !practiceModeOnly || inPracticeMode;

    if (!_active)
    {
        _line.enabled = false;
        Debug.Log("EvacuationRouteIndicator: not active (practice mode required, but not running in practice).");
        return;
    }

    if (player == null || evacuationTarget == null)
    {
        Debug.LogWarning("EvacuationRouteIndicator: player or evacuationTarget not assigned - disabling.");
        _line.enabled = false;
        _active = false;
        return;
    }

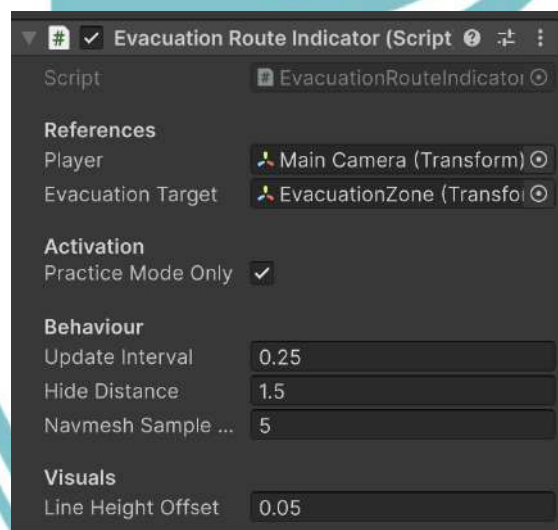
    _line.enabled = true;
    _line.positionCount = 0;
}

void Update()
{
    if (!_active) return;
    if (Time.time < _nextUpdateTime) return;
    _nextUpdateTime = Time.time + updateInterval;

    RecomputePath();
}

void RecomputePath()
{
    // Snap both endpoints to the nearest navmesh point.
    if (!NavMesh.SamplePosition(player.position, out NavMeshHit startHit, navmeshSampleRadius, NavMesh.AllAreas))
    {
        Debug.LogWarning($"EvacuationRouteIndicator: player at {player.position} is NOT within " +
            $"${navmeshSampleRadius}m of any NavMesh. Bake doesn't cover player spawn, " +
            $"or sample radius too small.");
        _line.positionCount = 0;
        return;
    }
}
```

Gambar 4.25 Komponen skrip EvacuationRouteIndicator



Gambar 4.26 Tampilan *inspector* skrip EvacuationRouteIndicator

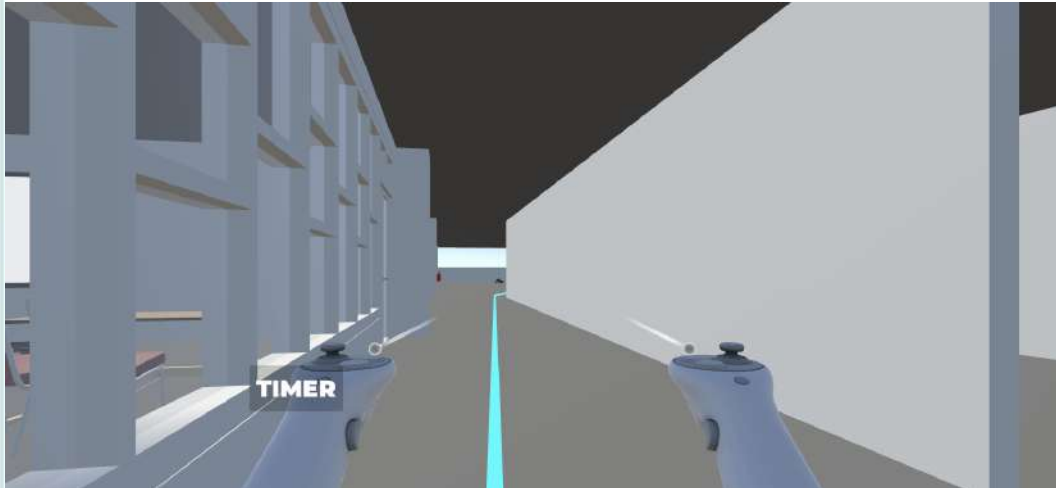
Karena perhitungan jalur dilakukan berdasarkan NavMesh yang telah di-bake, garis penunjuk secara otomatis mengikuti jalur yang dapat dilewati pemain. Skrip ini hanya aktif ketika isPracticeMode bernilai true, sehingga pada mode simulasi nyata garis penunjuk tidak ditampilkan untuk menjaga tantangan edukatif bagi pemain. Visualisasi garis penunjuk arah evakuasi dapat dilihat pada Gambar 4.27.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.27 Visualisasi garis penunjuk arah evakuasi

4.4.7 Logika NPC

Skrip NPCSpawner memunculkan 5-10 NPC secara acak pada titik-titik yang tersedia saat simulasi dimulai. Pada tiap NPC yang muncul, titik tujuan evakuasi dimasukkan sehingga NPC mengetahui lokasi titik kumpul yang harus dituju. NPC dimunculkan dalam kondisi Idle dan dapat didampingi pemain untuk memulai evakuasinya. Komponen skrip ditunjukkan pada Gambar 4.28.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class NPCSpawner : MonoBehaviour
{
    [Header("Prefabs (each must have NPCAgent + NavMeshAgent + child Interactable)")]
    [SerializeField] private NPCAgent[] npcPrefabs;
    [Header("Spawn points")]
    [SerializeField] private Transform spawnPointsRoot;
    [Header("Count")]
    [SerializeField, Min(0)] private int minNpcs = 5;
    [SerializeField, Min(1)] private int maxNpcs = 10;
    [Header("References injected into each spawned NPC")]
    [SerializeField] private Transform evacuationTarget;
    [SerializeField] private SimulationResultUI simulationResultUI;
    [Header("Hierarchy")]
    [SerializeField] private Transform spawnedNpcsParent;
    [Header("Orientation")]
    [SerializeField] private bool randomYRotation = true;
    readonly List<NPCAgent> _spawned = new();
    public void SpawnNPCs()
    {
        if (npcPrefabs == null || npcPrefabs.Length == 0)
        {
            return;
        }
        if (spawnPointsRoot == null)
        {
            return;
        }
        if (evacuationTarget == null)
        {
            Debug.LogWarning("NPCSpawner: simulationResultUI not assigned - saved NPCs won't increment the score.");
        }
        List<Transform> leafPoints = CollectLeafTransforms(spawnPointsRoot);
        if (leafPoints.Count == 0)
        {
            return;
        }
        int lo = Mathf.Min(minNpcs, maxNpcs);
        int hi = Mathf.Max(minNpcs, maxNpcs);
        int target = Random.Range(lo, hi + 1);
        int spawnCount = Mathf.Min(target, leafPoints.Count);
        List<Transform> chosen = PickRandom(leafPoints, spawnCount);
        foreach (Transform sp in chosen)
        {
            NPCAgent prefab = npcPrefabs[Random.Range(0, npcPrefabs.Length)];
            if (prefab == null) continue;

            Quaternion rot = randomRotation
                ? Quaternion.Euler(0f, Random.Range(0f, 360f), 0f)
                : sp.rotation;

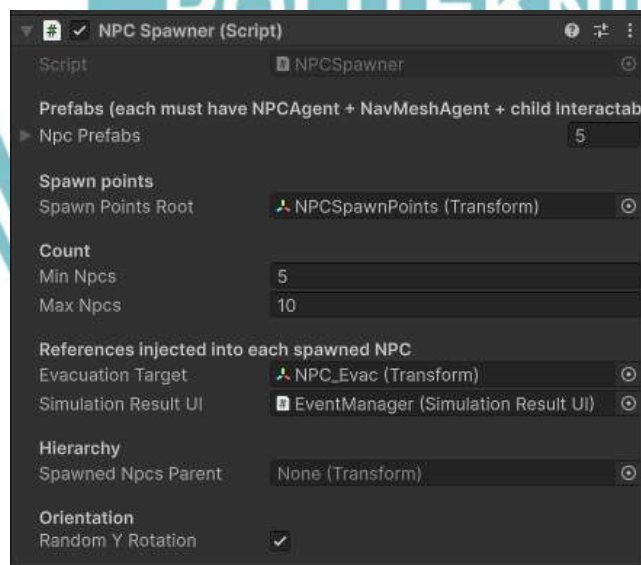
            NPCAgent npc = Instantiate(prefab, sp.position, rot, spawnedNpcsParent);

            if (evacuationTarget != null)
            {
                npc.SetEvacuationTarget(evacuationTarget);
            }

            if (simulationResultUI != null)
            {
                npc.onEvacuated.AddListener(simulationResultUI.AddNpcSaved);
            }

            _spawned.Add(npc);
        }
        Debug.Log($"NPCSpawner: spawned { _spawned.Count } NPC(s) across {leafPoints.Count} available point(s).");
    }
}
```

Gambar 4.28 Komponen skrip NPCSpawner



Gambar 4.29 Inspector NPCSpawner



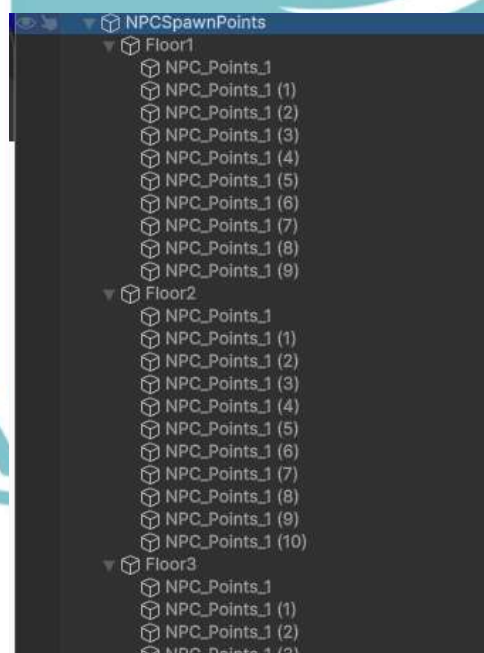
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.29 menunjukkan tampilan komponen *Inspector* skrip NPCSpawner yang bertugas sebagai pengontrol utama yang menerima beberapa parameter input krusial guna mengatur mekanisme kemunculan *Non-Player Character* (NPC) di dalam lingkungan simulasi. Konfigurasi parameter ini sangat penting untuk memastikan bahwa distribusi, pergerakan, dan perilaku NPC saat proses evakuasi dapat berjalan secara realistis dan terstruktur.

Parameter pertama yang dibutuhkan adalah *SpawnPointsRoot*, yang berfungsi sebagai hierarki induk (*parent container*) untuk menerima komponen *Transform* dari titik-titik lokasi kemunculan awal NPC. Titik-titik ini telah dipetakan dan disusun secara sistematis agar tersebar secara proporsional di setiap lantai gedung simulasi. Pengelompokan titik kemunculan di bawah satu objek *root* ini bertujuan untuk memudahkan pengorganisasian tata letak ruangan, sekaligus memastikan bahwa seluruh NPC dimunculkan pada area yang dapat diakses. Struktur dari pemetaan titik-titik kemunculan tersebut di dalam area simulasi dapat dilihat secara lebih detail pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 Struktur NPCSpawnPoints

Parameter selanjutnya adalah *EvacuationTarget*, yang diisi dengan sebuah *GameObject* kosong. Objek ini ditempatkan secara spesifik pada koordinat yang

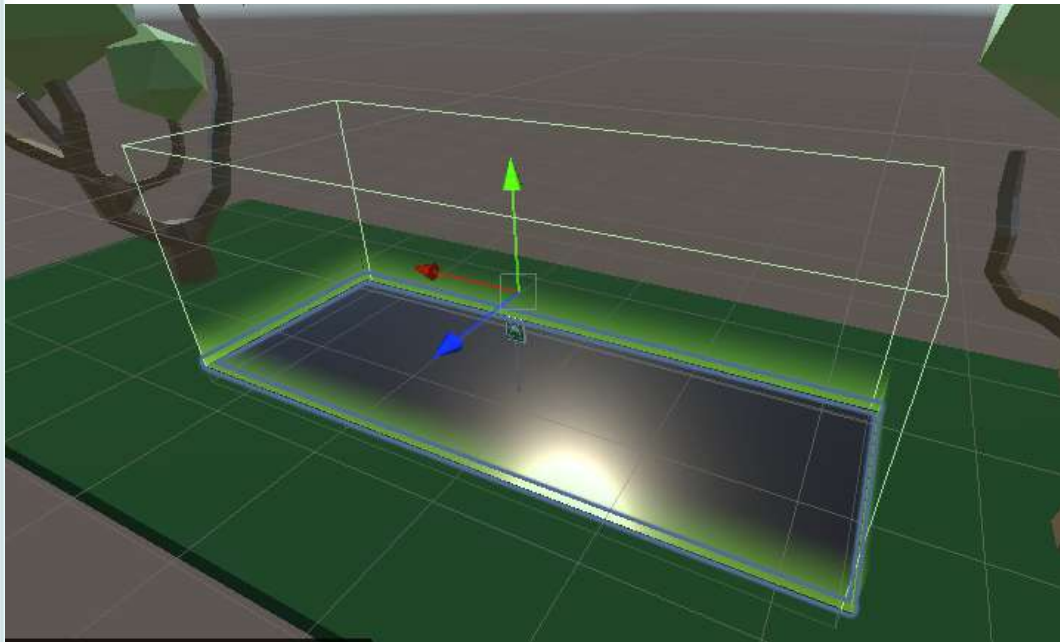


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

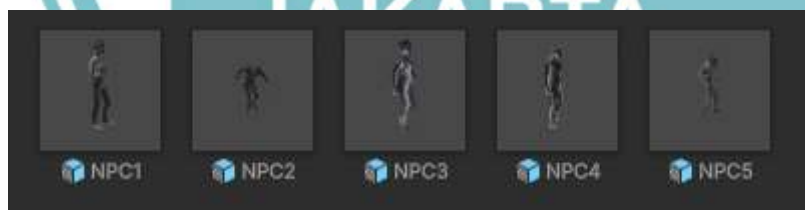
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

merepresentasikan area titik kumpul evakuasi yang aman di luar gedung. Visualisasi penempatan EvacuationTarget ini dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Titik EvacuationTarget

Parameter NPCPrefabs menampung lima jenis variasi *prefab* NPC yang telah dirancang dan dikonfigurasi sebelumnya. Penggunaan berbagai jenis *prefab* ini ditujukan untuk menciptakan representasi kerumunan yang lebih dinamis dan realistis dalam menghadapi situasi bencana. Visualisasi bentuk komponen *prefab* yang diimplementasikan dalam proyek ini juga turut disajikan pada Gambar 4.32.



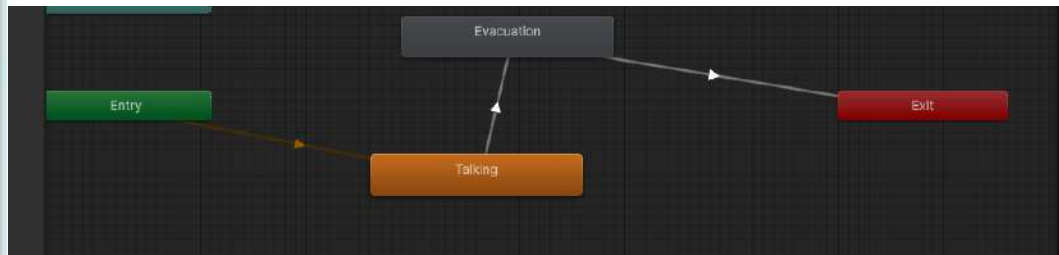
Gambar 4.32 Prefab NPC

Setiap NPC memiliki *controller* yang berisi jenis-jenis animasi yang telah dipilih dan disambungkan ke NPC tersebut. Terdapat lima jenis controller yang berbeda. Visualisasi dan struktur *controller* dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.33 Animator controller NPC

Komponen skrip NPCAgent dirancang menggunakan arsitektur *Finite State Machine* (FSM) untuk mengelola perilaku dan logika pengambilan keputusan *Non-Player Character* (NPC) secara terstruktur. Implementasi logika FSM ini membagi siklus tindakan NPC ke dalam empat *state* (kondisi) utama yang bertransisi secara sekuensial.

State pertama adalah Idle, di mana NPC berada dalam kondisi pasif. Pada fase ini, pergerakan komponen NavMeshAgent dihentikan, sehingga agen tetap berdiam di posisinya sambil menunggu pemicu interaksi dari pemain. Visualisasi NPC Idle dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Visualisasi NPC Idle



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

State kedua adalah Evacuating, yaitu fase aktif dimana NPC diperintahkan untuk bergerak menuju titik evakuasi. Pada kondisi ini, sistem navigasi menghitung dan mengeksekusi jalur pergerakan melalui NavMeshAgent menuju koordinat target. Visualisasi NPC Evacuating dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 Visualisasi NPC Evacuating

State ketiga adalah Blocked, yaitu kondisi ketika NPC menghentikan pergerakannya karena terdapat api pada jalur evakuasi di depannya. Pada fase ini komponen NavMeshAgent dihentikan dan NPC memainkan animasi diam sebagai perilaku menunggu. NPC akan tetap berada pada *state* ini hingga api di depannya padam, kemudian kembali ke *state* Evacuating untuk melanjutkan evakuasi. *State* ini menghubungkan perilaku NPC dengan aksi pemain, sebab kelanjutan evakuasi NPC bergantung pada keberhasilan pemain memadamkan api tersebut menggunakan APAR.

State terakhir adalah Evacuated, yang secara otomatis terpicu ketika jarak antara NPC dan titik evakuasi telah mencapai batas toleransi minimum. Begitu memasuki *state* ini, pergerakan agen akan dihentikan sepenuhnya, dan skrip akan memicu event keberhasilan evakuasi (onEvacuated), yaitu pencatatan bahwa NPC tersebut telah berhasil mencapai titik kumpul. Jumlah NPC yang berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dievakuasi kemudian ditampilkan sebagai salah satu metrik pada laporan evakuasi. Visualisasi NPC Evacuated dapat dilihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36 Visualisasi NPC Evacuated

Komponen fungsi pada skrip NPCAgent dapat dilihat pada Gambar 4.37.

```
public void SetEvacuationTarget(Transform target)
{
    evacuationTarget = target;
}

void TransitionTo(State next)
{
    if (next == _currentState) return;

    Debug.Log($"NPCAgent: {name} { _currentState} -> {next}");
    _currentState = next;
    EnterState(next);
}

void EnterState(State s)
{
    switch (s)
    {
        case State.Idle:
            if (navAgent != null) navAgent.isStopped = true;
            PlayAnimation(IdleAnimationState);
            break;

        case State.Evacuating:
            if (navAgent != null && evacuationTarget != null)
            {
                navAgent.isStopped = false;
                navAgent.SetDestination(evacuationTarget.position);
            }
            else
            {
                Debug.LogWarning($"NPCAgent: {name} entering Evacuating but navAgent or evacuationTarget is null.");
            }
            PlayAnimation(evacuatingAnimationState);
            break;

        case State.Evacuated:
            if (navAgent != null) navAgent.isStopped = true;
            PlayAnimation(evacuatedAnimationState);
            onEvacuated?.Invoke();
            break;
    }
}

void PlayAnimation(string stateName)
{
    if (animator == null || string.IsNullOrEmpty(stateName)) return;
    animator.Play(stateName);
}
```

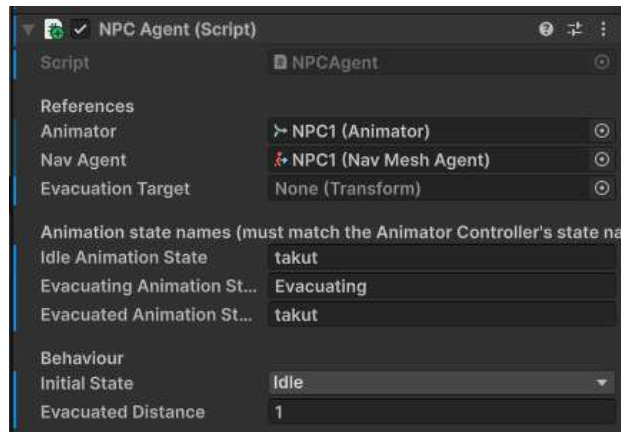
Gambar 4.37 Komponen skrip NPCAgent

Implementasi logika pergerakan dan perilaku *Non-Player Character* (NPC) diatur menggunakan arsitektur *Finite State Machine* (FSM) yang dikendalikan melalui fungsi *TransitionTo()*. Secara prosedural, ketika agen berada pada *state* *Idle*, fungsi *EnterState()* akan menghentikan komponen navigasi dengan mengatur parameter *navAgent.isStopped = true* dan memutar animasi diam. Saat instruksi evakuasi diberikan, sistem bertransisi ke *state* *Evacuating*, yang secara otomatis mengaktifkan kembali komponen navigasi (*isStopped = false*) dan menetapkan koordinat titik kumpul melalui metode *SetDestination()*. Selama proses pergerakan ini berlangsung, skrip melakukan evaluasi posisi NPC secara kontinu pada fungsi *Update()*. Apabila selama pergerakan terdeteksi api pada jalur di depan NPC, sistem bertransisi ke *state* *Blocked* melalui pemanggilan *Block()* yang menghentikan pergerakan agen; NPC akan kembali ke *state* *Evacuating* melalui *Unblock()* begitu api tersebut padam, dan *SetDestination()* kembali dijalankan untuk meneruskan jalur menuju titik kumpul. Saat *navAgent.remainingDistance* menunjukkan bahwa agen telah berada di dalam radius titik evakuasi, sistem akan mengeksekusi perintah *TransitionTo(State.Evacuated)*. Memasuki tahapan akhir ini, pergerakan NPC akan dihentikan secara permanen, animasi penyelesaian dimainkan, dan *event* *onEvacuated* dipanggil untuk mencatat keberhasilan evakuasi pada sistem utama.

Skrip NPCAgent menerima input *animator* setiap NPC, *NavMeshAgent*, beserta nama-nama animasi *state* yang telah diatur pada *controller* sebelumnya. Visualisasi komponen skrip NPCAgent pada antarmuka *Inspector* dapat diamati pada Gambar 4.38.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.38 Tampilan Inspector skrip NPCAgent

Untuk menjembatani interaksi antara pemain dan NPC di dalam ruang simulasi, diimplementasikan komponen skrip `NPCInteractable` yang disematkan langsung pada `GameObject` NPC. Skrip ini bertindak sebagai *event listener* yang memantau interaksi *input* dari pemain. Mengacu pada mekanisme kontrol simulasi, ketika pemain melakukan aksi genggaman pada karakter NPC, skrip `NPCInteractable` akan menangkap *event* tersebut dan mengirimkan instruksi ke komponen `NPCAgent`. Instruksi mengubah *state* NPC dari *Idle* menjadi *Evacuating*, yang menandakan dimulainya proses evakuasi agen tersebut secara mandiri. Skrip `NPCInteractable` ditunjukkan pada Gambar 4.39.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class NPCInteractable : MonoBehaviour
{
    [SerializeField] private NPCAgent agent;
    XRBaseInteractable _interactable;

    void Awake()
    {
        _interactable = GetComponent<XRBaseInteractable>();
        if (agent == null) agent = GetComponentInParent<NPCAgent>();

        if (agent == null)
            Debug.LogWarning("NPCInteractable: No NPCAgent found on self or parents.", this);
    }

    void OnEnable()
    {
        if (_interactable != null)
            _interactable.selectEntered.AddListener(OnGrabbed);
    }

    void OnDisable()
    {
        if (_interactable != null)
            _interactable.selectEntered.RemoveListener(OnGrabbed);
    }

    void OnGrabbed(SelectEnterEventArgs args)
    {
        agent?.TellToEvacuate();
    }
}
```

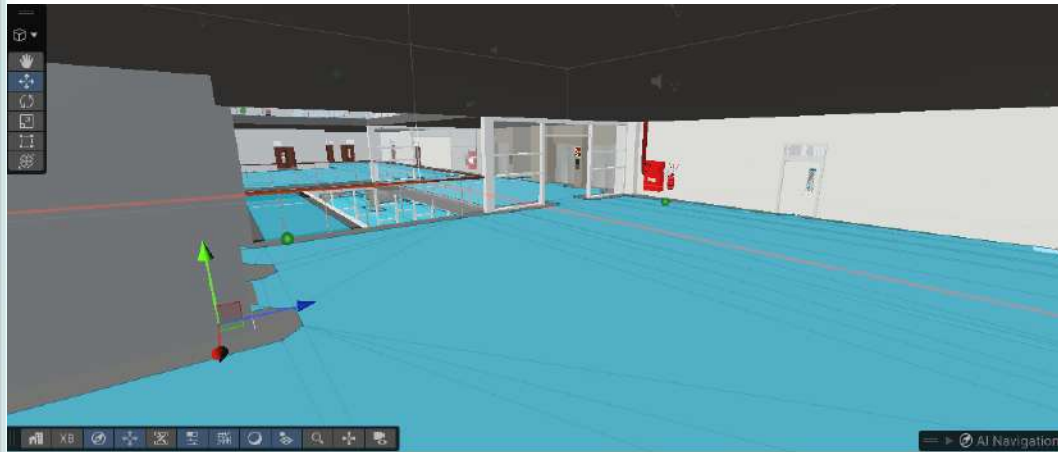
Gambar 4.39 Komponen skrip NPCInteractable

Sistem navigasi agen sepenuhnya diimplementasikan menggunakan fitur *Navigation Mesh (NavMesh)* yang terintegrasi melalui paket *AI Navigation* pada Unity. Lingkungan simulasi fisik gedung telah melalui proses komputasi statis (*baking*) untuk menghasilkan data area yang dapat dilalui. Berkat proses ini, komponen NavMeshAgent pada setiap NPC dapat secara otomatis mengkalkulasi algoritma pencarian jalur terpendek (*pathfinding*) menuju titik kumpul evakuasi. Lebih lanjut, implementasi *NavMesh* ini memungkinkan agen NPC untuk bergerak secara adaptif, termasuk menghindari dinding gedung maupun menghindari tabrakan antar agen secara *real-time* selama proses simulasi berlangsung.



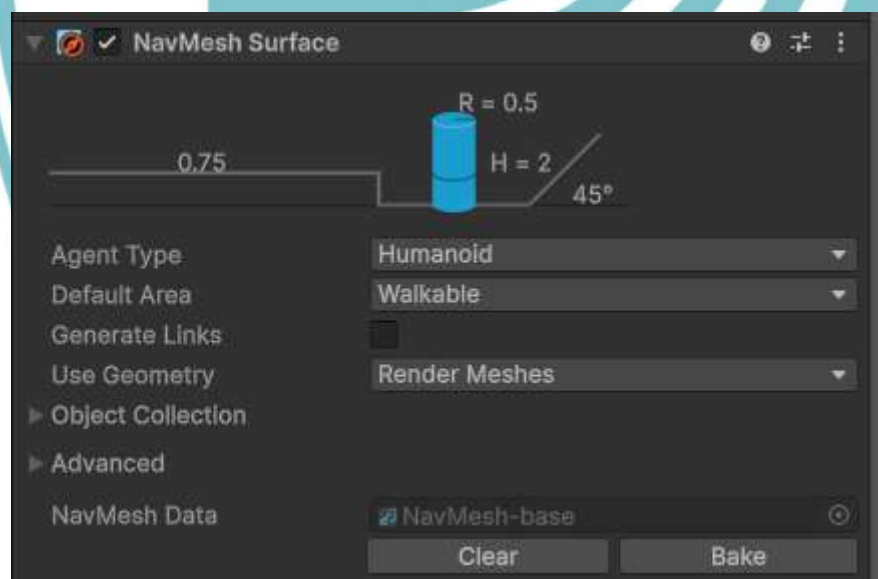
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.40 Visualisasi NavMesh Surface

Gambar 4.40 menunjukkan hasil *NavMesh Surface* yang telah dikomputasi pada jalan yang akan dilalui oleh NPC. Hasil dari proses *baking* inilah yang akan digunakan NPC sebagai area untuk jalan dan menemukan titik kumpul evakuasi. Tampilan inspector *NavMesh Surface* dapat dilihat pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41 Tampilan Inspector NavMesh Surface

4.4.8 Interaksi Pintu

Komponen skrip *DoorInteractable* dirancang khusus untuk mengelola mekanisme interaksi objek pintu di dalam ruang virtual, dengan menggunakan *XRSimpleInteractable*. Melalui *XRSimpleInteractable*, skrip ini secara otomatis memiliki kemampuan untuk menangkap berbagai *event* interaksi dari kontroler VR pemain tanpa memerlukan komputasi fisik yang kompleks. Ketika interaktor



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada kontroler VR pemain mengarah pada area pintu dan mendeteksi adanya masukan berupa aksi seleksi (*select entered* atau *activated*), skrip ini akan memicu fungsi internal untuk mengubah status (*toggle state*) objek secara sekuensial, yaitu dari kondisi tertutup menjadi terbuka, atau sebaliknya. Skrip DoorInteractable dapat dilihat pada Gambar 4.42.

```
public void ToggleDoor()
{
    _isOpen = !_isOpen;
    if (_animateCoroutine != null)
    {
        StopCoroutine(_animateCoroutine);
    }
    _animateCoroutine = StartCoroutine(AnimateDoor(_isOpen ? _openRotation : _closedRotation));
}

IEnumerator AnimateDoor(Quaternion targetRotation)
{
    var startRotation = hingeTransform.localRotation;
    float t = 0f;

    while (t < 1f)
    {
        t += Time.deltaTime * openSpeed;
        hingeTransform.localRotation = Quaternion.Slerp(startRotation, targetRotation, t);
        yield return null;
    }

    hingeTransform.localRotation = targetRotation;
    _animateCoroutine = null;
}
```

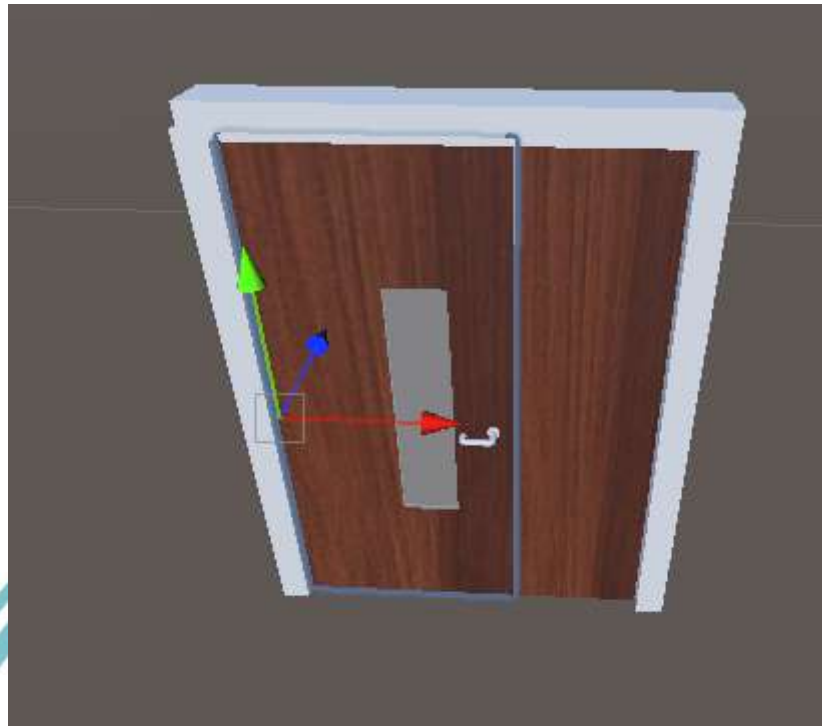
Gambar 4.42 Komponen Skrip DoorInteractable

Secara mekanis, simulasi gerak buka-tutup pada aplikasi ini mengandalkan manipulasi transformasi rotasi lokal objek terhadap titik engsel (*hinge*). Dalam implementasinya di Unity, penentuan posisi engsel (*hinge position*) dilakukan dengan menggeser titik pusat koordinat (*pivot point*) dari *GameObject* pintu. Dengan meletakkan *pivot* di tepi, objek pintu dapat mengayun pada sumbu Y. Penempatan *pivot* ini akan diberlakukan yang sama pada setiap aset pintu. Visualisasi penempatan *pivot* dapat dilihat pada Gambar 4.43.



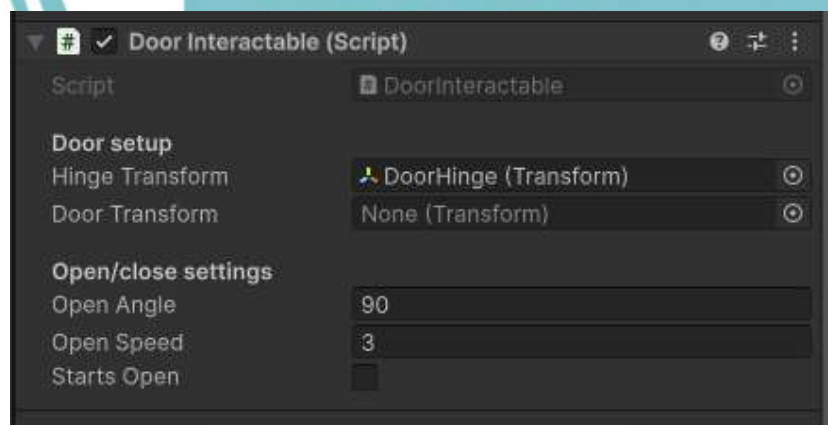
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.43 Visualisasi penempatan pivot pada aset pintu

Pada antarmuka Inspector Unity, komponen skrip DoorInteractive mengekspos beberapa parameter konfigurasi utama yang dapat disesuaikan untuk mengatur perilaku kinematik pintu. Konfigurasi komponen skrip DoorInteractive pada *Inspector* ditunjukkan pada Gambar 4.44.



Gambar 4.44 Tampilan inspector DoorInteractive

4.4.9 Sistem Akhir Evakuasi

Komponen skrip EvacuationZone dirancang secara spesifik sebagai area pemicu (*trigger*) untuk mengeksekusi kondisi penyelesaian simulasi dengan status keberhasilan (menang). Logika deteksi pada skrip ini bergantung sepenuhnya

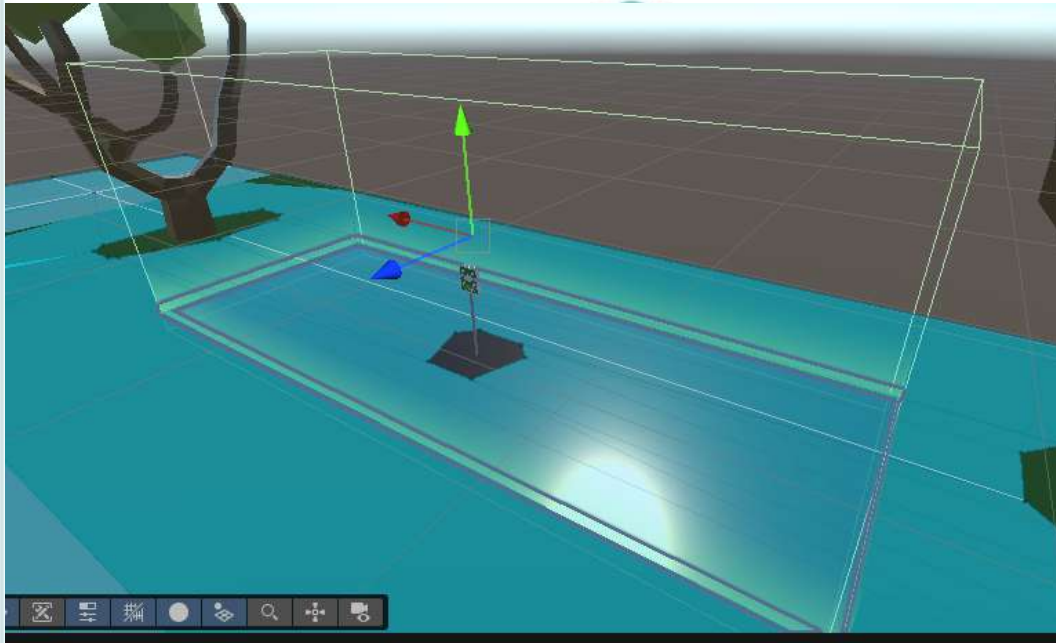


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada interaksi komponen fisik (*collider*). *Collider* ini terdapat pada GameObject *EvacuationZone* yang diletakkan pada titik kumpul evakuasi diluar gedung. Titik ini lah yang menjadi posisi tujuan pemain saat melakukan evakuasi. Visualisasi titik *EvacuationZone* pada *scene* dapat dilihat pada Gambar 4.45.



Gambar 4.45 Visualisasi titik *EvacuationZone*

Saat *collider* yang merepresentasikan entitas pemain terdeteksi memasuki dan bersinggungan dengan batas area zona evakuasi tersebut, komponen akan menangkap persinggungan ini untuk memicu penyelesaian tingkat. Guna memastikan stabilitas alur logika permainan dan mencegah pengekskusi fungsi yang berulang-ulang akibat pergerakan pemain di dalam area, skrip ini memuat pembatasan ketat yang mengunci eksekusi sehingga *event* simulasi berakhir hanya dipicu tepat satu kali. Rincian komponen skrip ini ditunjukkan pada Gambar 4.46.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class EvacuationZone : MonoBehaviour
{
    [Header("Detection")]
    [SerializeField] private string playerTag = "Player";

    [Header("Gating")]
    [SerializeField] private bool allowEvacuation = true;

    [Header("Events")]
    public UnityEvent onEvacuationCompleted;
    public UnityEvent onEvacuationBlocked;

    bool _completed;
    public bool Completed => _completed;
    public bool AllowEvacuation => allowEvacuation;

    void Reset()
    {
        var col = GetComponent<Collider>();
        if (col != null) col.isTrigger = true;
    }

    public void SetAllowEvacuation(bool allowed)
    {
        allowEvacuation = allowed;
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        if (_completed) return;
        if (!other.CompareTag(playerTag)) return;

        if (!allowEvacuation)
        {
            Debug.Log("EvacuationZone: player entered while evacuation is blocked.");
            onEvacuationBlocked?.Invoke();
            return;
        }

        _completed = true;
        Debug.Log("EvacuationZone: player evacuated - WIN.");
        onEvacuationCompleted?.Invoke();
    }
}
```

Gambar 4.46 Komponen skrip EvacuationZone

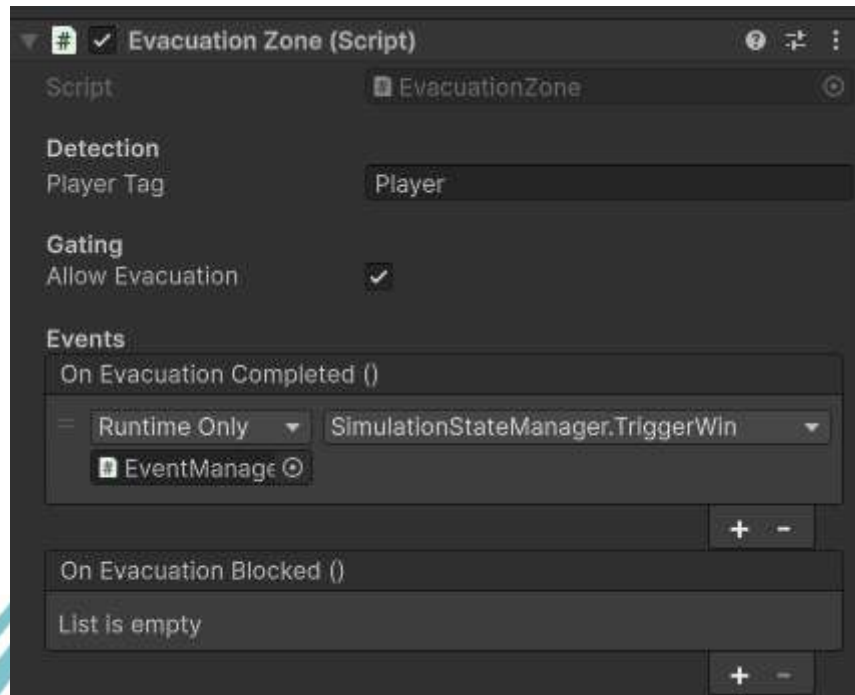
Komponen skrip EvacuationZone akan menerima berbagai input sesuai dengan skrip. PlayerTag menerima tag Player yang sudah diaplikasikan di GameObject pemain, berada di XR Origin. PlayerTag akan mendeteksi jika pemain sudah berada di titik kumpul evakuasi. Pada input Events, skrip EvacuationZone menerima event TriggerWin pada skrip SimulationStateManager untuk mengeksekusi kondisi simulasi selesai. Tampilan EvacuationZone pada *inspector* dapat dilihat pada Gambar 4.47.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.47 Tampilan Inspector EvacuationZone

Sistem durasi di dalam lingkungan virtual dikendalikan oleh komponen skrip *SimulationTimer*. Skrip ini dirancang untuk menghitung durasi simulasi secara dinamis berdasarkan posisi awal pemain dan jarak menuju titik evakuasi. Hal ini bertujuan agar tingkat tantangan tetap proporsional terhadap lokasi awal pemain yang muncul di lantai terjauh tidak akan mendapatkan waktu yang terlalu singkat, sementara pemain yang muncul di dekat titik evakuasi tidak akan mendapatkan waktu yang berlebihan. Perhitungan durasi dilakukan menggunakan komponen *NavMesh* dari *Unity AI Navigation*. Pada saat sesi simulasi dimulai, skrip menghitung panjang lintasan terpendek yang dapat dilalui pemain (mengikuti dinding, koridor, dan pintu) dari posisi awal menuju titik evakuasi. Durasi kemudian dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{\text{lintasan}}{\text{kecepatan}}$$

di mana *lintasan* adalah panjang lintasan *NavMesh* dalam meter, dan *kecepatan* = 0,5 m/s adalah kecepatan evakuasi efektif yang sudah mencakup waktu berjalan, mempelajari lingkungan, serta berinteraksi dengan peralatan keselamatan. Nilai ini dipilih untuk mengakomodasi konteks pengguna sebagai pemula dalam



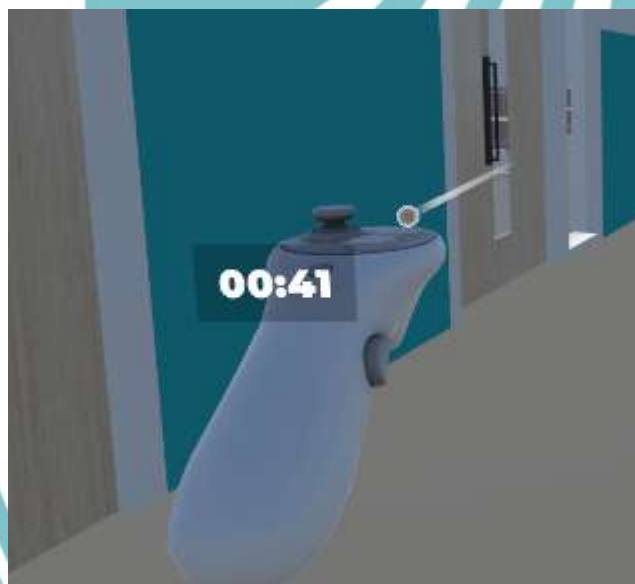
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lingkungan simulasi VR. Hasil perhitungan kemudian dibatasi dalam rentang minimum 60 detik hingga maksimum 300 detik (5 menit), untuk mencegah durasi terlalu pendek pada spawn point dekat titik evakuasi atau terlalu panjang pada lintasan yang sangat jauh.

Selama proses penghitungan waktu berjalan, skrip ini secara aktif mengirimkan pembaruan data secara periodik setiap satu detik untuk menyinkronkan tampilan angka pada antarmuka *Head-Up Display* (HUD) pemain. Tampilan waktu tersebut diletakkan pada tangan kiri *controller* pemain, menggunakan kanvas dengan pengaturan *World Space* agar posisi antarmuka tersebut dapat terlihat secara langsung di sisi kiri tangan pemain. Tampilan antarmuka *timer* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.48.



Gambar 4.48 Tampilan antarmuka panel *timer*

Apabila alokasi waktu yang telah dihitung habis sebelum pemain mencapai zona aman, skrip secara otomatis memicu eksekusi kondisi simulasi berakhir dengan status belum tuntas. Komponen perhitungan di *SimulationTimer* ini dapat diamati pada Gambar 4.49.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
float ComputeDynamicDuration()
{
    if (player == null || evacuationTarget == null)
    {
        return 0f;
    }

    if (!NavMesh.SamplePosition(player.position, out NavMeshHit startHit, navmeshSampleRadius, NavMesh.AllAreas))
    {
        return 0f;
    }

    if (!NavMesh.SamplePosition(evacuationTarget.position, out NavMeshHit endHit, navmeshSampleRadius, NavMesh.AllAreas))
    {
        return 0f;
    }

    var path = new NavMeshPath();
    if (!NavMesh.CalculatePath(startHit.position, endHit.position, NavMesh.AllAreas, path) ||
        path.status != NavMeshPathStatus.PathComplete)
    {
        return 0f;
    }

    float pathLength = 0f;
    for (int i = 1; i < path.corners.Length; i++)
    {
        pathLength += Vector3.Distance(path.corners[i - 1], path.corners[i]);
    }

    float raw = pathLength / evacuationSpeed;
    float clamped = Mathf.Clamp(raw, minDuration, maxDuration);

    return clamped;
}

public void StopTimer()
{
    _running = false;
}
```

Gambar 4.49 Komponen skrip SimulationTimer

Komponen skrip SimulationStateManager beroperasi sebagai pengontrol pusat yang bertugas manajemen status dari permainan. Skrip ini didesain hanya menerima dan menetapkan satu jenis hasil akhir untuk setiap sesi yang berlangsung, guna mencegah terjadinya tumpang tindih status ganda. Setelah salah satu status akhir tersebut ditetapkan, skrip ini mengirimkan perintah untuk menghentikan proses komputasi penghitungan waktu pada SimulationTimer. Selain itu, skrip ini melakukan intervensi langsung terhadap laju waktu global di sistem mesin Unity dengan menetapkan nilai `Time.timeScale = 0`. Manipulasi nilai ini membekukan seluruh pergerakan dan animasi di dalam simulasi, namun dikonfigurasi agar tidak mengganggu sistem pelacakan sensor perangkat *Virtual Reality (VR tracking)*. Hal ini memastikan tampilan visual pemain tetap responsif terhadap pergerakan kepala meskipun simulasi telah dihentikan. Struktur skrip pengontrol ini ditunjukkan pada Gambar 4.50.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class SimulationStateManager : MonoBehaviour
{
    public enum SimulationResult { None, Win, GameOver }

    [Header("Events")]
    public UnityEvent onWin;

    public UnityEvent onGameOver;

    SimulationResult _result = SimulationResult.None;
    public SimulationResult Result => _result;

    [Header("References")]
    [SerializeField] private SimulationTimer simulationTimer;

    [Header("Freeze settings")]
    [SerializeField] private bool freezeOnWin = false;

    public void TriggerWin()
    {
        if (_result != SimulationResult.None) return;
        _result = SimulationResult.Win;

        simulationTimer?.StopTimer();

        if (freezeOnWin) FreezeSimulation();

        Debug.Log("SimulationStateManager: WIN");
        onWin.Invoke();
    }

    public void TriggerGameOver()
    {
        if (_result != SimulationResult.None) return;
        _result = SimulationResult.GameOver;

        simulationTimer?.StopTimer();
        FreezeSimulation();

        Debug.Log("SimulationStateManager: GAME OVER");
        onGameOver.Invoke();
    }

    void FreezeSimulation()
    {
        Time.timeScale = 0f;
    }
}
```

Gambar 4.50 Komponen skrip SimulationStateManager

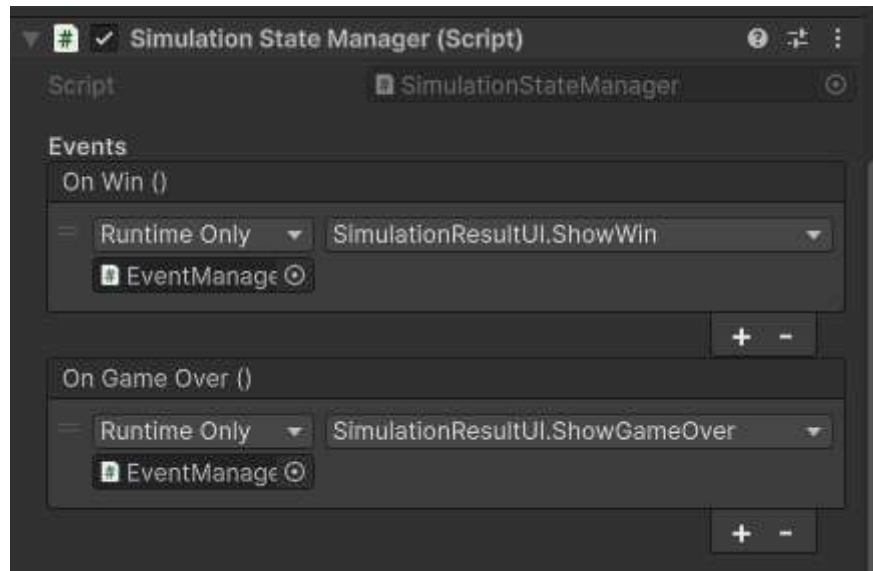
SimulationStateManager akan menerima dua kondisi *events*, OnWin() dan juga OnGameOver(), kedua fungsi akan dihubungkan ke SimulationResultUI dengan ShowWin untuk kondisi simulasi sukses, dan juga ShowGameOver untuk kondisi simulasi belum tuntas. Tampilan *inspector* SimulationStateManager dapat dilihat pada Gambar 4.51.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.51 Tampilan *inspector* SimulationStateManager

Untuk aspek presentasi visual informasi dan metrik permainan, diimplementasikan komponen skrip SimulationResultUI. Skrip ini memiliki fungsi untuk merender elemen antarmuka yang memuat informasi akhir simulasi serta menampilkan panel layar hasil akhir ketika sesi simulasi dihentikan. Panel hasil tersebut menyajikan rincian data komprehensif yang memuat status penyelesaian serta kalkulasi detail laporan evakuasi akhir pemain. Komponen skrip SimulationResultUI dapat dilihat pada Gambar 4.52.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

public void ShowWin()
{
    ShowResult(winMessage);
}

public void ShowGameOver()
{
    ShowResult(gameOverMessage);
}

void ShowResult(string message)
{
    int score = CalculateScore();

    if (resultPanel != null)
    {
        EnsureXRRaycaster(resultPanel);
        PlaceInFrontOfCamera(resultPanel);
        resultPanel.SetActive(true);
    }

    if (resultText != null)
        resultText.text = message;

    if (timeRemainingText != null)
    {
        int m = _lastTimeRemaining / 60;
        int s = _lastTimeRemaining % 60;
        timeRemainingText.text = $"{m:00}:{s:00}";
    }

    if (npcSavedText != null)
        npcSavedText.text = _npcsSaved.ToString();

    if (scoreText != null)
        scoreText.text = score.ToString("N0"); // e.g. "3,500"

    if (bonusScoreText != null)
        bonusScoreText.text = _bonusScore.ToString("N0");
    }

    int CalculateScore()
    {
        return (_npcsSaved * npcScoreValue)
            + (_lastTimeRemaining * timeScoreMultiplier)
            + _bonusScore;
    }
}

```

Gambar 4.52 Komponen skrip SimulationResultUI

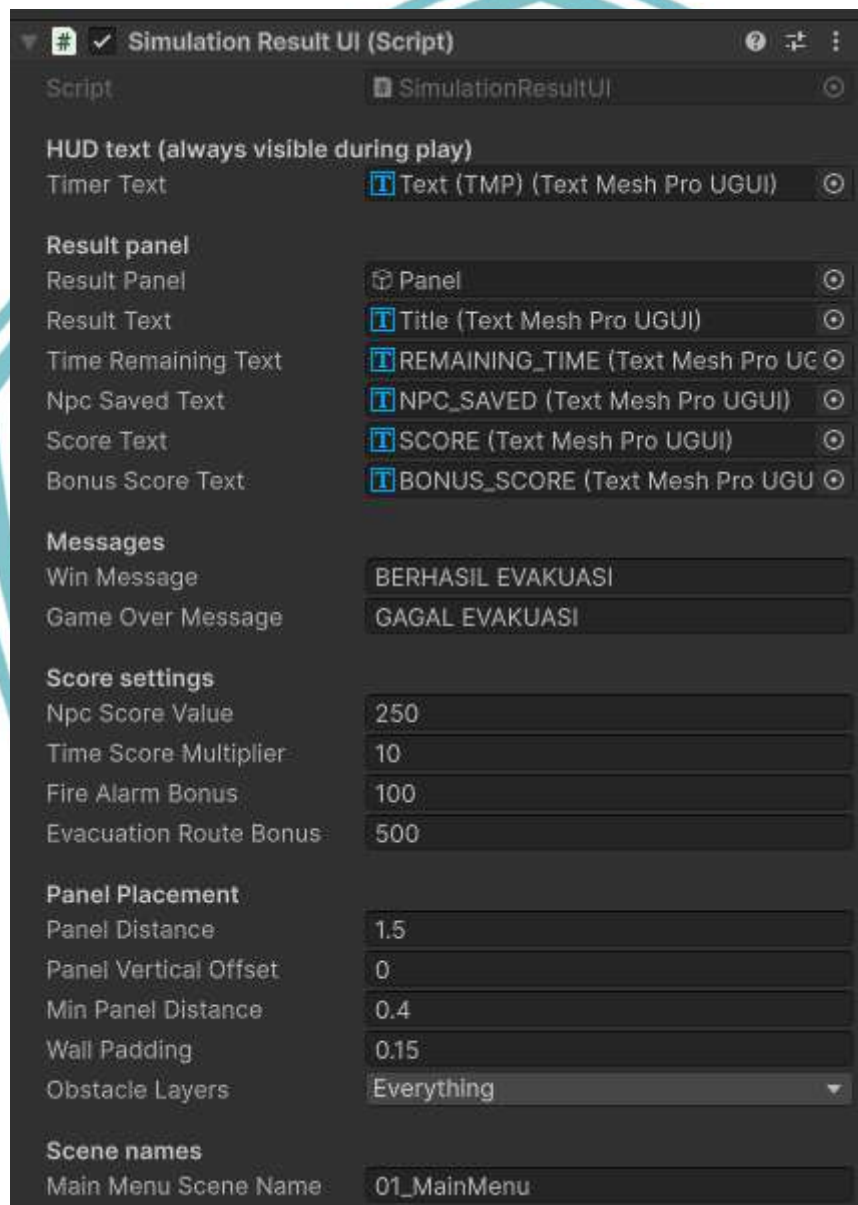
Skrip SimulationResultUI menyusun laporan evakuasi dengan mengumpulkan metrik dari berbagai komponen yang telah berjalan selama simulasi. Sisa waktu diambil dari SimulationTimer, persentase kepatuhan jalur dari komponen deteksi keluar-jalur, durasi paparan bahaya dari komponen HazardExposure, serta jumlah



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

penghuni yang berhasil dievakuasi dihitung dari NPC yang telah mencapai state Evacuated. Seluruh metrik tersebut kemudian ditampilkan pada panel hasil di akhir sesi sebagai bentuk penilaian proses evakuasi pemain, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.6. Konfigurasi panel antarmuka skrip ini disajikan pada Gambar 4.53.



Gambar 4.53 Tampilan *inspector* skrip SimulationResultUI

4.4.10 Penyusunan Antarmuka

Antarmuka aplikasi disusun sebagian besar dalam bentuk *world-space* agar dapat dioperasikan menggunakan controller VR melalui interaksi dan tombol *controller*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penerbitan laporan, penerbitan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Antarmuka tersebar pada dua scene, yaitu menu utama 01_MainMenu yang memuat navigasi awal serta panel pendukung, dan scene simulasi 02_Simulation yang memuat tampilan selama permainan berlangsung. Perancangan visual antarmuka dikerjakan oleh anggota tim, sedangkan pada sub-bab ini dijelaskan penyusunan struktur panel beserta skrip pengendalinya. Daftar panel disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Daftar panel antarmuka

No	Panel	Scene	Fungsi	Skrip Pengendali
1	Menu Utama	01_MainMenu	Navigasi awal aplikasi	MainMenuController
2	Panel Pilih Simulasi	01_MainMenu	Memilih simulasi dan lantai	MainMenuController
3	Pemilihan Lantai & Ruang	01_MainMenu	Memilih titik awal pemain	LayoutSelectionController
4	Panel Konfirmasi	01_MainMenu	Menampilkan ringkasan pilihan sebelum mulai	ConfirmationPanelController
5	Panel Video Animasi	01_MainMenu	Memutar video induksi keselamatan	VideoPanelController
6	Panel Panduan/Instruksi	01_MainMenu	Menampilkan instruksi dan panduan	InstructionPanelController, SubPanelSwitcher
7	Panel Kredit	01_MainMenu	Informasi penulis dan rekan	MainMenuController
8	Panel Pengaturan	01_MainMenu	Mengatur volume	MainMenuController, VolumeSlider
9	Panel Konfirmasi Keluar	01_MainMenu	Konfirmasi keluar dari aplikasi	MainMenuController



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

10	Tampilan Simulasi	02_Simulation	Menampilkan penghitung waktu	SimulationResultUI
11	Panel Peringatan	02_Simulation	Peringatan di awal sesi bencana	SimulationEventRouter
12	Menu Jeda	02_Simulation	Menjeda simulasi	PauseMenuController
13	Panel Hasil	02_Simulation	Menampilkan laporan evakuasi	SimulationResultUI

Menu Utama merupakan tampilan pertama dan menjadi pusat navigasi aplikasi. Skrip MainMenuController mengatur perpindahan antar panel dengan mengaktifkan dan menonaktifkan GameObject panel, serta memanggil aksi seperti memulai simulasi, membuka video, panduan, pengaturan, kredit, dan keluar. Pada Inspector, skrip ini menerima input GameObject untuk tiap panel (Main Menu Panel, Play Panel, Credits Panel, Settings Panel, Instructions Panel, Evacuation Tutorial Panel, Simulation Tutorial Panel, dan Quit Confirm Panel), serta referensi LayoutSelectionController. Tampilan Menu Utama ditunjukkan pada Gambar 4.54, komponen skripnya pada Gambar 4.55 dan tampilan *inspector* pada Gambar 4.56.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.54 Tampilan Menu Utama pada VR

```

void ShowPanel(GameObject target)
{
    if (LayoutSelectionController != null)
        LayoutSelectionController.HideLayout();

    if (MainMenuPanel != null)        MainMenuPanel.SetActive(target == MainMenuPanel);
    if (PlayPanel != null)            PlayPanel.SetActive(target == PlayPanel);
    if (CreditsPanel != null)         CreditsPanel.SetActive(target == CreditsPanel);
    if (SettingsPanel != null)        SettingsPanel.SetActive(target == SettingsPanel);
    if (InstructionsPanel != null)     InstructionsPanel.SetActive(target == InstructionsPanel);
    if (EvacuationTutorialPanel != null) EvacuationTutorialPanel.SetActive(target == EvacuationTutorialPanel);
    if (SimulationTutorialPanel != null) SimulationTutorialPanel.SetActive(target == SimulationTutorialPanel);
    if (QuitConfirmPanel != null)     QuitConfirmPanel.SetActive(target == QuitConfirmPanel);
}

public void OnClick_FireSimulation()
{
    if (GameManager.Instance == null)
    {
        Debug.LogWarning("Main Menu Controller: No GameManager instance found.");
        return;
    }

    GameManager.Instance.SetPendingSimulation(SessionType.FireSimulation, simulationScene);

    if (LayoutSelectionController != null)
    {
        LayoutSelectionController.ShowLayout();
    }
    else
    {
        Debug.LogWarning("Main Menu Controller: LayoutSelectionController reference is not set.");
    }
}

public void OnClick_EarthquakeSimulation()
{
    if (GameManager.Instance == null)
    {
        Debug.LogWarning("Main Menu Controller: No GameManager instance found.");
        return;
    }

    GameManager.Instance.SetPendingSimulation(SessionType.EarthquakeSimulation, simulationScene);

    if (LayoutSelectionController != null)
    {
        LayoutSelectionController.ShowLayout();
    }
    else
    {
        Debug.LogWarning("Main Menu Controller: LayoutSelectionController reference is not set.");
    }
}

```

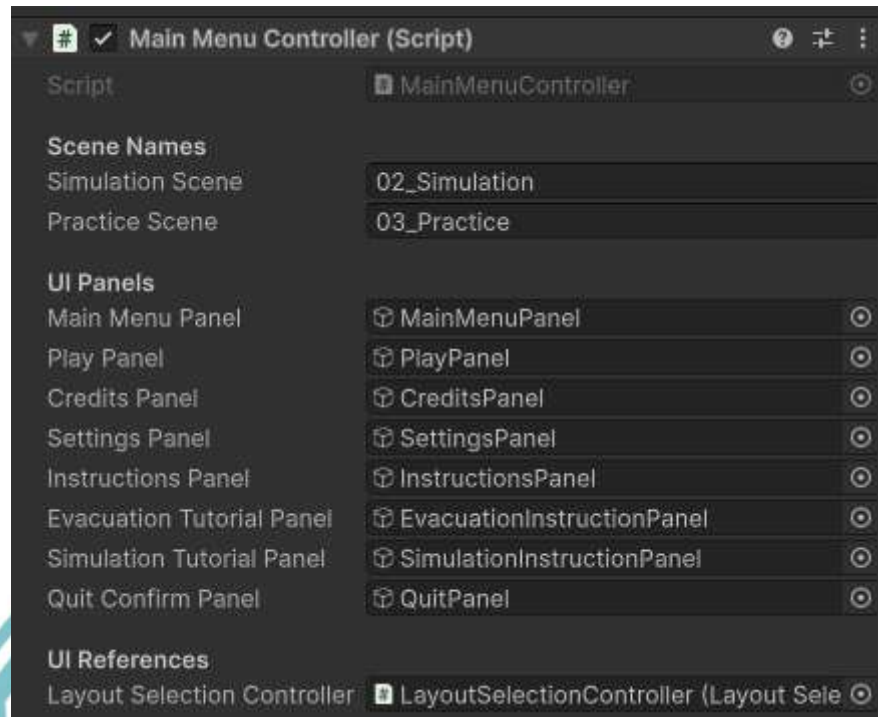
Gambar 4.55 Komponen skrip MainMenuController



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.56 Tampilan *inspector* MainMenuController

Panel Pilih Simulasi menampilkan pilihan untuk memulai simulasi kebakaran atau gempa, mode latihan, video, dan tutorial. Ketika pemain memilih simulasi, ditampilkan panel pemilihan lantai dan ruangan yang dikendalikan skrip LayoutSelectionController. Skrip ini mengatur panel pemilihan lantai dan menampilkan panel ruangan sesuai lantai yang dipilih. Pada *Inspector*, skrip menerima input GameObject Layout Selection Panel, Floor Selection Panel, panel tiap lantai, dan Main Menu Panel. Tampilan pemilihan ditunjukkan pada Gambar 4.57, komponen skrip pada Gambar 4.58, dan tampilan *inspector* pada Gambar 4.59.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.57 Tampilan Menu Pilihan Simulasi

```

public void ShowFloor1() => ShowFloor(StartFloor.Floor1);
public void ShowFloor2() => ShowFloor(StartFloor.Floor2);
public void ShowFloor3() => ShowFloor(StartFloor.Floor3);
public void ShowFloor4() => ShowFloor(StartFloor.Floor4);

void SetAllFloorPanelActive(bool active)
{
    if (floor1Panel != null) floor1Panel.SetActive(active);
    if (floor2Panel != null) floor2Panel.SetActive(active);
    if (floor3Panel != null) floor3Panel.SetActive(active);
    if (floor4Panel != null) floor4Panel.SetActive(active);
}

public void ShowFloor(StartFloor floor)
{
    if (floorSelectionPanel != null) floorSelectionPanel.SetActive(false);
    SetAllFloorPanelActive(false);
    switch (floor)
    {
        case StartFloor.Floor1: if (floor1Panel != null) floor1Panel.SetActive(true); break;
        case StartFloor.Floor2: if (floor2Panel != null) floor2Panel.SetActive(true); break;
        case StartFloor.Floor3: if (floor3Panel != null) floor3Panel.SetActive(true); break;
        case StartFloor.Floor4: if (floor4Panel != null) floor4Panel.SetActive(true); break;
    }
}

public void OnClick_BackToFloorSelection()
{
    SetAllFloorPanelActive(false);
    if (floorSelectionPanel != null) floorSelectionPanel.SetActive(true);
}

public void StartFromSpawnPoint(string input)
{
    string spawnPointName;
    string displayName;

    int pipeIdx = input.IndexOf('|');
    if (pipeIdx >= 0)
    {
        spawnPointName = input.Substring(0, pipeIdx).Trim();
        displayName = input.Substring(pipeIdx + 1).Trim();
    }
    else
    {
        spawnPointName = input.Trim();
        displayName = input.Trim();
    }

    StartFloor currentFloor = GetCurrentFloor();

```

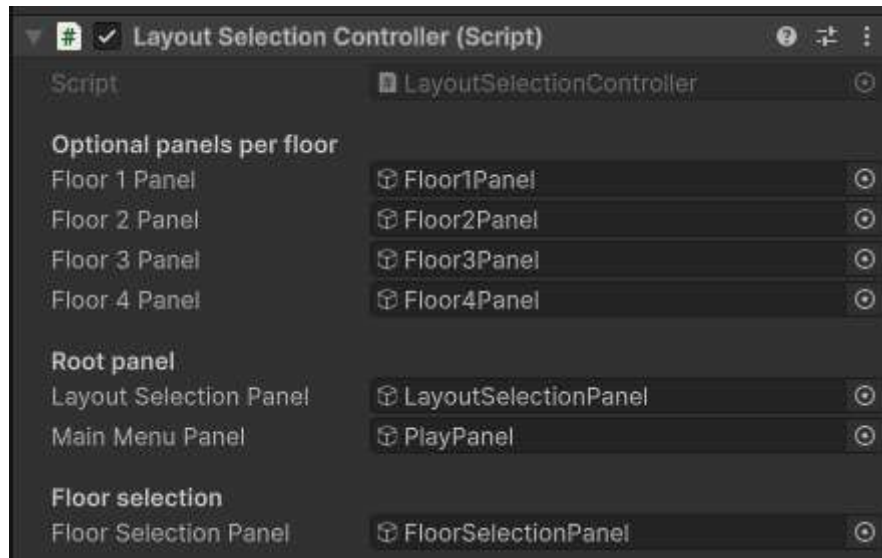
Gambar 4.58 Komponen skrip LayoutSelectionController



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.59 Tampilan *inspector* LayoutSelectionController

Setelah ruangan dipilih, ditampilkan Panel Konfirmasi yang merangkum pilihan pemain sebelum simulasi dimulai. Skrip ConfirmationPanelController menampilkan ikon bencana yang sesuai serta teks lantai dan ruangan yang dipilih. Tampilan panel ditunjukkan pada Gambar 4.60 dan komponen skripnya pada Gambar 4.61.



Gambar 4.60 Tampilan Panel Konfirmasi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public void ShowConfirmation(StartFloor floor, string spawnName, string displayName)
{
    _floor = floor;
    _spawnName = spawnName;

    SessionType session = GameManager.Instance != null
        ? GameManager.Instance.PendingSession
        : SessionType.None;

    if (fireImage != null)
        fireImage.SetActive(session == SessionType.FireSimulation);
    if (earthquakeImage != null)
        earthquakeImage.SetActive(session == SessionType.EarthquakeSimulation);

    if (floorText != null)
        floorText.text = FloorDisplayName(floor);

    if (roomText != null)
        roomText.text = string.IsNullOrEmpty(displayName) ? spawnName : displayName;

    if (confirmationPanel != null)
        confirmationPanel.SetActive(true);
}

public void OnClick_Start()
{
    if (GameManager.Instance == null)
    {
        Debug.LogWarning("ConfirmationPanelController: No GameManager instance found.");
        return;
    }

    var location = new SimulationStartLocation(_floor, _spawnName);
    GameManager.Instance.StartPendingSimulation(location);
}
```

Gambar 4.61 Komponen skrip ConfirmationPanelController

Skrip VideoPanelController memutar video induksi keselamatan pada menu utama menggunakan komponen VideoPlayer. Komponen skrip VideoPanelController dapat dilihat pada Gambar 4.62.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

void Start()
{
    if (videoPlayer == null) return;

    videoPlayer.playOnAwake = false;
    videoPlayer.isLooping = videoPlayer.isLooping; // preserve user's choice

    if (seekSlider != null)
    {
        seekSlider.minValue = 0f;
        seekSlider.maxValue = 1f;
        seekSlider.SetValueWithoutNotify(0f);
        seekSlider.onValueChanged.AddListener(OnSliderValueChanged);
    }

    if (playPauseButton != null)
        playPauseButton.onClick.AddListener(TogglePlayPause);

    UpdateIcon();
    UpdateTimeLabel();

    if (playOnStart)
        videoPlayer.Play();
}

void Update()
{
    if (videoPlayer == null) return;

    // Sync slider to video time, except while the user is scrubbing.
    if (!_userIsScrubbing && seekSlider != null && videoPlayer.length > 0d)
    {
        float t = (float)(videoPlayer.time / videoPlayer.length);
        seekSlider.SetValueWithoutNotify(Mathf.Clamp01(t));
    }

    UpdateTimeLabel();
    UpdateIcon();
}

public void TogglePlayPause()
{
    if (videoPlayer == null) return;

    if (videoPlayer.isPlaying)
        videoPlayer.Pause();
    else
        videoPlayer.Play();

    UpdateIcon();
}

```

Gambar 4.62 Komponen skrip VideoPanelController

Panel video ini terdapat pada panel panduan yang akan menampilkan video animasi panduan prosedur evakuasi gedung. Video animasi tersebut diproduksi dan didapatkan dari rekan penulis. Tampilan panel video dapat dilihat pada Gambar 4.63.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.63 Tampilan panel video animasi

Panel Panduan menampilkan instruksi penggunaan dan prosedur evakuasi dalam bentuk tab. Skrip `InstructionPanelController` mengatur perpindahan antar tab menggunakan `ToggleGroup` dan array tab instruksi. Tampilan panel panduan ditunjukkan pada Gambar 4.64 dan komponen skripnya pada Gambar 4.65.



Gambar 4.64 Tampilan panel panduan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class InstructionPanelController : MonoBehaviour
{
    [System.Serializable]
    public struct InstructionTab
    {
        public Toggle toggle;
        public GameObject panel;
    }

    [SerializeField] private ToggleGroup toggleGroup;
    [SerializeField] private InstructionTab[] tabs;

    void Start()
    {
        for (int i = 0; i < tabs.Length; i++)
        {
            int index = i;

            if (tabs[i].toggle != null)
            {
                tabs[i].toggle.group = toggleGroup;
                tabs[i].toggle.onValueChanged.AddListener(isOn =>
                {
                    if (isOn) ShowTab(index);
                });
            }
        }
    }

    void OnEnable()
    {
        bool anyActive = false;
        for (int i = 0; i < tabs.Length; i++)
        {
            if (tabs[i].toggle != null && tabs[i].toggle.isOn)
            {
                ShowTab(i);
                anyActive = true;
                break;
            }
        }

        if (!anyActive && tabs.Length > 0)
        {
            // Force the first tab on if nothing is selected
            if (tabs[0].toggle != null)
                tabs[0].toggle.isOn = true;

            ShowTab(0);
        }
    }

    void ShowTab(int index)
    {
        for (int i = 0; i < tabs.Length; i++)
        {
            if (tabs[i].panel != null)
                tabs[i].panel.SetActive(i == index);
        }
    }
}
```

Gambar 4.65 Komponen skrip InstructionPanelController

Panel Pengaturan menyediakan opsi seperti pengaturan volume yang dikendalikan skrip VolumeSlider, sedangkan Panel Kredit menampilkan informasi penulis. Kedua panel diaktifkan melalui MainMenuController. Tampilan panel pengaturan ditunjukkan pada Gambar 4.66 dan panel kredit pada Gambar 4.67.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penerbitan laporan, penerbitan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.66 Tampilan panel pengaturan



Gambar 4.67 Tampilan panel kredit

Pada awal sesi, ditampilkan Panel Peringatan sesuai jenis bencana yang dikendalikan skrip SimulationEventRouter melalui CanvasGroup dengan efek fade. Tampilan HUD dan panel peringatan kebakaran ditunjukkan pada Gambar 4.68 dan peringatan gempa pada Gambar 4.69.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.68 Tampilan panel peringatan kebakaran



Gambar 4.69 Tampilan panel peringatan gempa bumi

Menu Jeda memungkinkan pemain menghentikan sementara simulasi. Skrip `PauseMenuController` menampilkan panel jeda world-space di depan kamera dan mengatur `Time.timeScale = 0`. Tampilan menu jeda ditunjukkan pada Gambar 4.70 dan komponen skripnya pada Gambar 4.71.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.70 Tampilan panel menu jeda

```

void OnEnable()
{
    if (pauseInputAction != null)
    {
        pauseInputAction.action.Enable();
        pauseInputAction.action.performed += OnPausePressed;
    }
}

void OnDisable()
{
    if (pauseInputAction != null)
    {
        pauseInputAction.action.performed -= OnPausePressed;
    }
}

void Update()
{
    var kb = Keyboard.current;
    if (kb == null) return;

    bool keyDown = kb[simulatorPauseKey].isPressed || kb[fallbackPauseKey].isPressed;

    // edge-detect so one physical press = one toggle
    if (keyDown && !_keyWasDown)
    {
        TogglePause();
    }
    _keyWasDown = keyDown;
}

void OnPausePressed(InputAction.CallbackContext ctx)
{
    Debug.Log($"PauseMenuController: pause input '{ctx.action.name}' performed.");
    TogglePause();
}

public void TogglePause()
{
    if (SimulationHasEnded()) return;

    if (_isPaused)
    {
        Resume();
    }
    else
    {
        Pause();
    }
}

public void Pause()
{
    if (SimulationHasEnded()) return;

    _isPaused = true;
    Time.timeScale = 0f;
    if (pausePanel != null)
    {
        EnsureXRRaycaster(pausePanel);
        PlaceInFrontOfCamera(pausePanel);
        pausePanel.SetActive(true);
    }
}

```

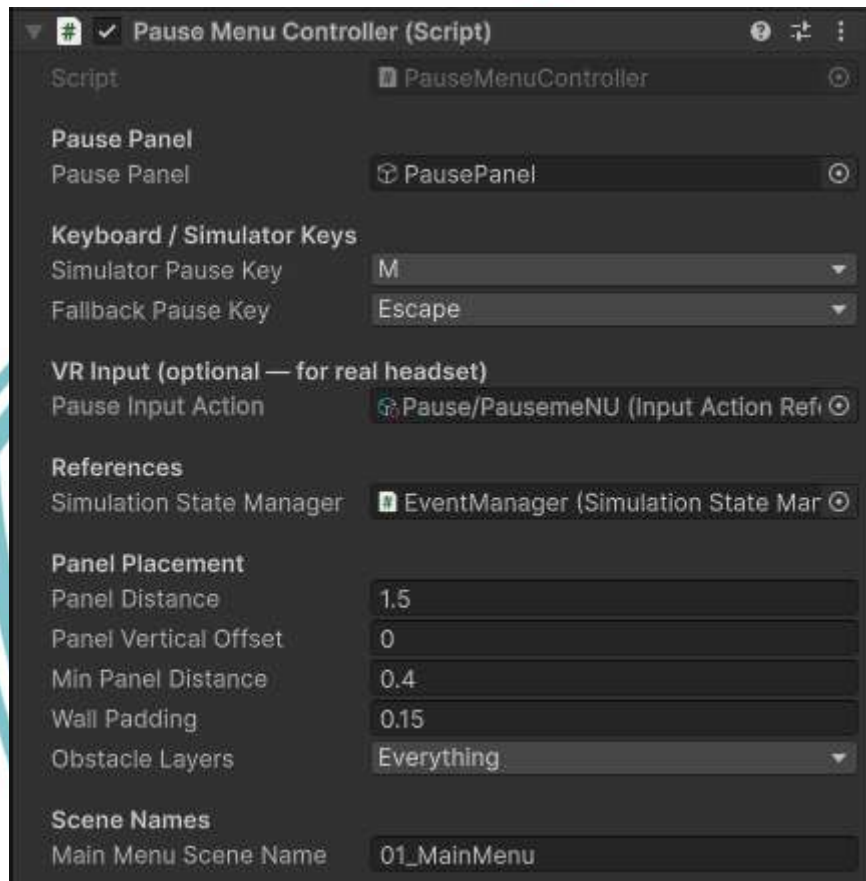
Gambar 4.71 Komponen skrip PauseMenuController



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada Inspector, skrip menerima input GameObject Pause Panel, tombol pemicu jeda, referensi aksi *input controller* VR, serta *SimulationStateManager* untuk mencegah jeda setelah permainan berakhir. Tampilan *inspector* *PauseMenuController* dapat dilihat pada Gambar 4.72.



Gambar 4.72 Tampilan *inspector* *PauseMenuController*

Panel Hasil ditampilkan ketika permainan berakhir, memuat laporan akhir evakuasi pemain. Panel ini dikendalikan skrip *SimulationResultUI* sebagaimana telah dijelaskan pada sub-bab 4.4.8. Tampilan panel hasil ditunjukkan pada Gambar 4.73.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.73 Tampilan panel hasil

4.4.11 Optimisasi Performa

Frame rate merupakan aspek kritis pada aplikasi Virtual Reality, karena *frame rate* yang rendah tidak hanya menurunkan kenyamanan visual tetapi juga dapat menimbulkan *motion sickness* (mual dan pusing) pada pengguna. Perangkat Meta Quest 3S memiliki refresh rate sebesar 72 Hz, sehingga *frame rate* ideal aplikasi adalah mendekati 72 FPS (frame per second); nilai ini sekaligus menjadi batas maksimum yang dapat dicapai karena laju render dikunci pada refresh rate perangkat. Pengukuran dilakukan langsung pada perangkat Meta Quest 3S, agar hasilnya merepresentasikan performa aktual. Diterapkan beberapa teknik optimisasi yang dirangkum pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Teknik Opitimisasi

Teknik	Penjelasan
Baked lighting	Pencahayaan statis dikomputasi terlebih dahulu ke dalam lightmap, sehingga beban pencahayaan saat runtime jauh berkurang dibandingkan pencahayaan realtime.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penandaan objek Static	Geometri gedung yang tidak bergerak ditandai sebagai Static, memungkinkan static batching, occlusion culling, dan proses lightmapping.
Occlusion & culling	Objek yang tidak terlihat oleh kamera tidak dirender, mengurangi rendering.
Pembatasan realtime light	Lampu interior menggunakan No Shadows dan jangkauan terbatas, karena bayangan realtime merupakan beban terberat pada GPU perangkat.
Pengurangan draw call	Pemanfaatan batching dan penyederhanaan material menekan jumlah pemanggilan render per bingkai.
Pembatasan jumlah agen NPC	Jumlah NPC dan pergerakan NavMeshAgent diatur pada batas yang menjaga kestabilan <i>frame rate</i> .

Setelah optimisasi diterapkan, dilakukan pengukuran *frame rate* aplikasi menggunakan aplikasi “OVR Metrics Tool”, tampilan pengukuran *frame rate* muncul sebagai *overlay* di aplikasi dapat dilihat pada Gambar 4.74.



Gambar 4.74 Tampilan overlay pengukuran *frame rate*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

frame rate aplikasi meningkat ke kisaran 50–72 FPS, dengan nilai maksimum menyentuh batas refresh rate perangkat (72 FPS). Perbandingan sebelum dan sesudah optimisasi disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perbandingan *frame rate*

Metrik FPS	Sebelum Optimisasi	Sesudah Optimisasi
Minimum	30 FPS	50 FPS
Rata-rata	± 40 FPS	± 62 FPS
Maksimum	50 FPS	72 FPS (batas refresh rate)

Berdasarkan Tabel 4.17, optimisasi meningkatkan *frame rate* secara signifikan, dari kisaran 30–50 FPS menjadi 50–72 FPS. Tercapainya nilai 72 FPS menunjukkan bahwa aplikasi telah mampu berjalan pada refresh rate penuh perangkat Meta Quest 3S, yang merupakan kondisi optimal untuk kenyamanan pengguna.

4.5 Pengujian (Testing)

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan aplikasi berjalan sesuai rancangan dan untuk mengukur kelayakannya. Pengujian dibagi menjadi dua tahap, yaitu *Alpha Testing* dan *Beta Testing*. *Alpha Testing* menguji fungsionalitas dan performa aplikasi oleh tim pengembang. *Beta Testing* terdiri atas dua bagian, yaitu validasi oleh ahli yang dianalisis secara kualitatif, dan pengujian oleh pengguna menggunakan skala Likert yang dianalisis secara kuantitatif.

4.5.1 Deskripsi Pengujian

Alpha Testing difokuskan pada pengujian fungsi-fungsi utama aplikasi, mencakup tombol dan navigasi antarmuka, jalannya skenario simulasi, interaksi objek, perilaku NPC, laporan evakuasi, serta performa pada perangkat Meta Quest 3S. Pengujian ini bertujuan memastikan aplikasi berjalan stabil dan sesuai fungsi sebelum diuji oleh pihak luar.

Beta Testing bertujuan memperoleh umpan balik mengenai kelayakan aplikasi melalui dua kelompok responden:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Validasi Ahli

Pengujian ini melibatkan ahli K3 dan ahli *Virtual Reality*. Ahli K3 menilai kesesuaian dan kebenaran prosedur evakuasi serta skenario bencana, sedangkan ahli VR menilai aspek teknis dan pengalaman penggunaan *Virtual Reality*. Instrumen berupa kuesioner dengan pertanyaan tertutup dan pertanyaan terbuka, dan hasilnya dianalisis secara kualitatif.

2. Pengujian Pengguna

Pengujian ini melibatkan 36 responden (35 mahasiswa + 1 dosen). Instrumen berupa kuesioner berskala Likert lima poin, dan hasilnya dianalisis secara kuantitatif.

4.5.2 Prosedur Pengujian

a. *Alpha Testing*

Alpha Testing difokuskan pada pengujian fungsi-fungsi utama aplikasi, mencakup tombol dan navigasi antarmuka, jalannya skenario simulasi, interaksi objek, perilaku NPC, laporan evakuasi, serta performa pada perangkat Meta Quest 3S. Pengujian ini bertujuan memastikan aplikasi berjalan stabil dan sesuai fungsi sebelum diuji oleh pihak luar. Pengujian dilakukan secara mandiri oleh penulis bersama rekan tim menggunakan metode black-box, yaitu menguji fungsi aplikasi berdasarkan skenario tertentu tanpa melihat struktur kode internal, lalu membandingkan hasil yang diperoleh dengan hasil yang diharapkan.

b. Validasi Ahli

Tahap pengujian kedua merupakan validasi ahli yang dilakukan dengan ahli K3 dan ahli media *Virtual Reality*. Pada tahap ini, dilakukan wawancara untuk mengetahui saran serta masukan dari aplikasi, selain itu dilaksanakan juga kuesioner kepada ahli media *Virtual Reality* untuk menilai aplikasi secara objektif.

Prosedur pengujian yang dilakukan oleh para ahli adalah sebagai berikut:

1. Para ahli diperlihatkan video demo *gameplay* dari game secara lengkap dan menyeluruh.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Para ahli diberikan pertanyaan terbuka untuk memberikan penilaian, saran, dan masukan.
3. Para ahli mengisi kuesioner mengenai kelayakan game melalui Google Form.

c. Beta Testing

Tahap pengujian terakhir adalah *Beta Testing* yang dilakukan kepada mahasiswa dan dosen. Pengujian ini bertujuan mengumpulkan respons secara objektif, mengukur persentase teknis, termasuk tingkat kenyamanan pengguna, terhadap aplikasi game yang telah selesai dirancang dan dikembangkan. Pengukuran hasil uji menggunakan skala Likert rentang 1-5 dengan pilihan Sangat Tidak Setuju (1), Tidak Setuju (2), Cukup Setuju (3), Setuju (4), dan Sangat Setuju (5).

Prosedur pengujian yang dilakukan oleh mahasiswa adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa diberikan pemahaman mengenai simulasi kebencanaan dan penggunaan *Virtual Reality*.
2. Mahasiswa memainkan aplikasi game ini secara penuh dan teliti.
3. Mahasiswa mengisi kuesioner mengenai kelayakan game melalui Google Form.

4.5.3 Hasil Pengujian

a. Alpha Testing

Pengujian ini dilakukan melalui verifikasi teknis internal oleh penulis. Hasil pengujian internal dirangkum ke dalam Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Pengujian *Alpha Testing* Antarmuka dan Menu

No	Deskripsi	Hasil yang Diharapkan	Hasil yang Dicapai	Kesimpulan
1	Tombol dan navigasi antarmuka	Tiap tombol berfungsi sesuai perintahnya	Seluruh tombol dan navigasi antarmuka	Sesuai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

			bekerja sebagaimana mestinya	
2	Pemilihan dan pemuatan simulasi	Jenis, lantai, dan ruangan tersimpan; scene termuat sesuai pilihan	Pengguna dapat memilih jenis simulasi, lantai, dan ruangan, lalu scene termuat sesuai pilihan	Sesuai
3	Skenario kebakaran	Api muncul pada ruangan acak di lantai pemain	Api muncul pada ruangan acak di lantai pemain saat skenario kebakaran dijalankan	Sesuai
4	Skenario gempa	Guncangan berjalan dua fase (utama dan susulan)	Guncangan berjalan dua fase, yaitu guncangan utama dan gempa susulan	Sesuai
5	Interaksi APAR	Semprotan memadamkan api dan efek partikel tampil	APAR dapat memadamkan api dan efek partikel tampil saat disemprotkan	Sesuai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6	Tombol alarm hydrant	Alarm berbunyi	Alarm berbunyi saat tombol ditekan	Sesuai
7	Interaksi pintu	Pintu dapat dibuka dan ditutup	Pintu dapat dibuka dan ditutup oleh pemain	Sesuai
8	Kemunculan dan perilaku NPC	NPC muncul dan berperilaku sesuai FSM (Idle, Evacuating, Evacuated, Blocked)	NPC muncul dan berperilaku sesuai FSM (Idle, Evacuating, Evacuated, Blocked)	Sesuai
9	Evakuasi NPC ke titik kumpul	NPC yang tiba di titik kumpul	NPC yang mencapai titik kumpul	Sesuai
10	Penghitung waktu (timer)	Waktu berkurang	Timer berkurang dan kondisi berakhir saat waktu habis	Sesuai
11	Kondisi selesai	Pemain mencapai titik evakuasi mengakhiri simulasi	Simulasi berakhir saat pemain mencapai titik evakuasi	Sesuai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

12	Perhitungan laporan	Laporan evakuasi dihitung sisa waktu, kesesuaian rute, jumlah NPC	Laporan evakuasi dihitung sisa waktu, kesesuaian rute, jumlah NPC	Sesuai
13	Kontrol VR	Locomotion, grab, dan haptic berfungsi melalui controller	Locomotion, grab, dan haptic berfungsi melalui controller	Sesuai
14	Performa pada Meta Quest 3S	FPS stabil dan aplikasi berjalan tanpa berhenti paksa	Aplikasi berjalan dengan FPS yang stabil tanpa berhenti paksa	Sesuai

Dilakukan pula pengujian teknis terhadap implementasi *Finite State Machine* (FSM) dan navigasi NavMesh untuk memastikan kedua sistem berfungsi dengan benar serta menilai performanya. Pengujian ini dilakukan melalui verifikasi teknis internal oleh penulis dan pengukuran langsung pada perangkat Meta Quest 3S. Pengujian fungsional FSM dilakukan dengan menjalankan tiap kondisi pemicu transisi, lalu mengamati perpindahan state NPC. Hasilnya dirangkum pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Pengujian Fungsional FSM

No	Deskripsi (Transisi)	Hasil yang Dicapai	Kesimpulan
1	Idle ke Evacuating	NPC berpindah dari Idle ke Evacuating dan bergerak menuju titik kumpul	Sesuai



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	Evacuating ke Blocked	NPC berhenti dan menunggu ketika terhalang api	Sesuai
3	Blocked ke Evacuating	NPC kembali bergerak setelah api di depannya padam	Sesuai
4	Evacuating ke Evacuated	NPC berhenti di titik kumpul dan event evakuasi terpicu	Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.17, seluruh transisi FSM terpicu sesuai rancangan, menunjukkan bahwa implementasi FSM pada perilaku NPC berfungsi dengan benar. Pengujian fungsional NavMesh dilakukan dengan menjalankan simulasi beberapa kali dan menghitung jumlah NPC yang berhasil mencapai titik kumpul (state Evacuated) tanpa tersangkut. Hasilnya disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Pengujian NavMesh

No	Jumlah NPC	NPC Berhasil Sampai	Tingkat Keberhasilan (%)
1	10	10	100%
2	20	19	95%
3	30	29	97%

Berdasarkan Tabel 4.18, mayoritas NPC berhasil mencapai titik kumpul, dengan rata-rata keberhasilan navigasi sebesar 97%. NPC mampu menghindari dinding gedung dan tidak saling bertabrakan berkat local avoidance, sehingga *pathfinding* NavMesh dinilai berjalan dengan baik.

b. Validasi Ahli

Validasi dilakukan melalui wawancara bersama ahli K3, yaitu Talitha Luthfia Zaki, S.K.K.K. pada tanggal 9 Juni 2026. Hasil kualitatif dirangkum pada Tabel 4.21.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.21 Validasi ahli K3

No	Aspek	Jawaban
1	Apakah informasi keselamatan yang disampaikan sudah jelas dan mudah dipahami?	Informasi keselamatan sudah dapat disajikan dengan jelas dan akan mudah dipahami oleh pengguna awam.
2	Apakah jalur evakuasi yang ditampilkan sudah sesuai dengan prosedur evakuasi gedung bertingkat?	Jalur evakuasi dan titik kumpul sudah sesuai dengan prosedur, sesuaikan juga dengan titik kumpul atau evakuasi yang sebenarnya ada di gedung tersebut
3	Apakah penggunaan teknologi VR ini dapat menjadi hal yang menarik untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap bencana?	Penggunaan teknologi VR dapat menjadi sarana alternatif yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap bencana.
4	Apa yang dapat ditingkatkan dalam aplikasi VR? (Misalnya, lebih baik jika aplikasi game lebih edukatif, dibanding gamifikasi)	Hal-hal yang dapat dipertimbangkan untuk ditambah: 1. Menambahkan edukasi penggunaan APAR (teknik PASS) pada simulasi kebakaran, sehingga pengguna tidak hanya memahami prosedur evakuasi tetapi juga cara penanganan awal kebakaran skala kecil.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

		2. Memperbanyak dan memperjelas rambu jalur evakuasi, seperti petunjuk tangga darurat dan pintu keluar, agar pengguna lebih mudah menemukan rute evakuasi dan tidak mengalami kebingungan saat keadaan darurat.
5	Secara keseluruhan, apakah simulasi bencana berbasis VR seperti ini layak dipertimbangkan sebagai metode alternatif pendamping dari simulasi evakuasi fisik (konvensional)?	Secara keseluruhan sangat menarik & layak dipertimbangkan.

Berdasarkan hasil wawancara validasi dengan ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), dapat disimpulkan bahwa aplikasi simulasi evakuasi bencana berbasis *Virtual Reality* (VR) ini dinilai sangat layak untuk dipertimbangkan sebagai metode alternatif pendamping dari simulasi evakuasi fisik konvensional. Secara keseluruhan, informasi keselamatan yang disajikan dalam aplikasi sudah terstruktur dengan jelas dan mudah dipahami oleh pengguna awam. Selain itu, perancangan jalur evakuasi beserta penempatan titik kumpul di dalam ruang virtual telah memenuhi standar prosedur evakuasi gedung bertingkat, sehingga teknologi VR ini memiliki daya tarik dan potensi yang kuat untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap mitigasi bencana secara interaktif.

Validasi ahli selanjutnya dilakukan melalui kuesioner terhadap ahli media VR, melibatkan Bu Indah Sari Mukarramah, S.Tr., B.ICT (Hons)., M.T.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penilaian menggunakan skala 1-5 terhadap 18 pernyataan yang mencakup aspek visual dan aset, simulasi dan skenario, animasi, audio, serta kelayakan media, ditambah tiga pertanyaan terbuka. Hasil penilaian disajikan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Validasi dengan ahli media VR

No	Pernyataan	Skor
1	Lingkungan virtual menggambarkan kondisi gedung dengan jelas	4
2	Detail aset 3D cukup jelas dan mudah dikenali	3
3	Penempatan objek mendukung jalannya simulasi	4
4	Efek visual (api dan asap) mendukung kondisi simulasi	4
5	Kualitas visual secara keseluruhan baik dan menarik	4
6	Alur simulasi mudah dipahami	3
7	Skenario sesuai tujuan simulasi keselamatan	4
8	Simulasi menggambarkan kondisi darurat secara realistis	3
9	Fitur mendukung tujuan Safety Induction	4
10	Animasi karakter terlihat natural dan sesuai aktivitas	3
11	Gerakan karakter sesuai prosedur keselamatan	4
12	Transisi antar animasi berjalan baik dan tidak kaku	3
13	Pergerakan kamera berjalan baik dan halus	3
14	Animasi menerapkan prinsip-prinsip animasi dengan baik	3
15	Narasi terdengar jelas dan mudah dipahami	4



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

16	Efek suara sesuai dengan kondisi simulasi	4
17	Sinkronisasi audio dan animasi sudah sesuai	4
18	Media VR layak digunakan sebagai media edukasi keselamatan	4

Berdasarkan penilaian ahli pada Tabel 4.19, media memperoleh skor total 65 dari skor maksimum 90 dengan indeks 72,22%, sehingga termasuk dalam kategori layak. Penilaian dengan skor tertinggi (4) terdapat pada aspek visual lingkungan, efek visual api dan asap, kesesuaian skenario, fitur Safety Induction, kualitas audio dan narasi, serta kelayakan media. Sementara itu, beberapa aspek dinilai cukup (skor 3), terutama detail aset 3D, realisme simulasi, kehalusan animasi karakter, transisi antar animasi, pergerakan kamera, dan penerapan prinsip animasi.

Tabel 4.23 Wawancara dengan ahli media VR

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Kelebihan media yang dikembangkan	Penggabungan animasi dengan media VR yg interaktif memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif.
2	Kekurangan media yang perlu diperbaiki	Pengembangan lingkungan aset 3D masih belum menyeluruh (masih ada beberapa spot 3D yang seharusnya tidak kosong sehingga terlihat lebih natural dan menarik). Beberapa detail aset objek 3D jg bisa ditingkatkan, termasuk komposisi, material, lighting dsb. Animasi bisa dibuat lebih variatif dan lebih halus.
3	Saran pengembangan	<i>Virtual Reality</i> merupakan teknologi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lebih lanjut	yang bisa dimanfaatkan sebagai media pembelajaran yang imersif. Untuk menciptakan dunia virtual imersif diperlukan aset konten didalamnya yang mirip dengan aslinya bahkan lebih baik dan lebih menarik. Karena tidak ada keterbatasan di dunia virtual reality, hal seperti ini yang justru harus dimanfaatkan, seperti simulasi yang tidak memungkinkan diadakan di dunia nyata, buat skenario nya di VR. Agar proses simulasi terasa nyata namun tetap aman, petunjuk/pembelajaran mengenai keselamatan pun bisa tersampaikan dengan sangat baik.
--------------	--

Tabel 4.23 menunjukkan pertanyaan-pertanyaan terbuka. Ahli menilai kelebihan utama media terletak pada penggabungan animasi dengan media VR yang interaktif sehingga memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif. Adapun kekurangan yang perlu diperbaiki mencakup pengembangan aset 3D lingkungan yang belum menyeluruh, di mana masih terdapat area kosong sehingga kurang terlihat natural, serta detail objek 3D seperti komposisi, material, dan pencahayaan yang masih dapat ditingkatkan. Selain itu, animasi disarankan dibuat lebih variatif dan halus.

Sebagai saran, ahli menekankan bahwa *Virtual Reality* dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran imersif, sehingga aset konten di dalamnya perlu dibuat menyerupai kondisi nyata atau bahkan lebih baik dan lebih menarik. Ahli juga menyarankan pemanfaatan VR untuk menghadirkan skenario yang sulit dilakukan di dunia nyata, agar simulasi terasa nyata namun tetap aman dan pesan keselamatan tetap tersampaikan dengan baik. Secara keseluruhan, meskipun terdapat sejumlah catatan perbaikan pada



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

aspek aset dan animasi, ahli menilai TIK Safety Induction yang dikembangkan layak digunakan sebagai media edukasi keselamatan.

c. Beta Testing

Selanjutnya, pengujian dilakukan kepada 36 responden. Hasil tiap pernyataan disajikan berikut pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Pengujian *Beta Testing*

No	Pertanyaan					
1	Controller VR berfungsi dengan baik selama simulasi.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			4	12	20
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			12	48	100
	Indeks (%)	160/180 x 100% = 89%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
2	Interaksi dengan objek berjalan lancar.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			4	17	15
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			12	84	75
	Indeks (%)	155/180 x 100% = 86%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
3	Navigasi dalam lingkungan VR mudah dilakukan.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			4	20	12
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			12	80	60
	Indeks (%)	152/180 x 100% = 84%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
4	Saya tidak mengalami kendala berarti saat menggunakan aplikasi VR.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	Jumlah Responden			6	16	14
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			18	64	70
	Indeks (%)	152/180 x 100% = 84%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
5	Informasi keselamatan yang disampaikan mudah dipahami.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			3	17	16
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			9	68	80
	Indeks (%)	157/180 x 100% = 87%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
6	Simulasi membantu saya memahami jalur evakuasi.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			4	16	16
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			12	64	80
	Indeks (%)	156/180 x 100% = 87%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
7	Simulasi membantu saya memahami prosedur keselamatan saat bencana.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			1	19	16
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			3	76	80
	Indeks (%)	159/180 x 100% = 88%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
8	Aplikasi VR menarik digunakan sebagai media pembelajaran.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			1	9	26
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			3	36	130
	Indeks (%)	169/180 x 100% = 94%				



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	Keterangan	Sangat Setuju				
9	Aplikasi VR memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			1	11	24
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			3	44	120
	Indeks (%)	167/180 x 100% = 93%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
10	Aplikasi VR layak digunakan sebagai media Safety Induction di Gedung PUT.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden				14	22
	Hasil = Skala x Jumlah Responden				56	110
	Indeks (%)	166/180 x 100% = 92%				
	Keterangan	Sangat Setuju				
11	Saya puas dengan pengalaman menggunakan aplikasi VR ini.					
	Jawaban	STS (1)	TS (2)	CS (3)	S (4)	SS (5)
	Jumlah Responden			2	18	16
	Hasil = Skala x Jumlah Responden			6	72	80
	Indeks (%)	158/180 x 100% = 88%				
	Keterangan	Sangat Setuju				

Berdasarkan hasil evaluasi yang diberikan kepada 36 responden, yaitu 35 mahasiswa dan 1 dosen Jurusan Teknik Informatika dan Komputer PNJ, aplikasi game simulasi bencana berbasis *Virtual Reality* secara umum memperoleh respons yang sangat positif. Indeks persentase tiap pernyataan berkisar antara 84% hingga 94%, dengan rata-rata 88,43%. Hal ini menunjukkan bahwa persepsi mayoritas responden berada pada kategori "Sangat Setuju".

Aspek yang memperoleh indeks tertinggi meliputi ketertarikan terhadap aplikasi VR sebagai media pembelajaran (94%), pengalaman belajar yang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lebih interaktif (93%), serta kelayakan aplikasi sebagai media Safety Induction di Gedung PUT (92%). Selain itu, responden menilai controller VR berfungsi dengan baik (89%) dan simulasi membantu memahami jalur evakuasi (87%) maupun prosedur keselamatan saat bencana (88%), yang mencerminkan tercapainya tujuan edukatif aplikasi.

Dengan indeks yang konsisten tinggi pada berbagai indikator, mulai dari kemudahan kontrol, kelancaran interaksi, kejelasan informasi keselamatan, hingga kepuasan pengguna, dapat disimpulkan bahwa aplikasi telah mampu menyampaikan edukasi mitigasi bencana secara efektif dan layak digunakan sebagai media Safety Induction di lingkungan Gedung PUT.

4.6 Distribusi (*Distribution*)

Tahap distribusi merupakan tahap akhir dalam metode MDLC, yaitu proses membangun aplikasi dan menyalurkannya agar dapat digunakan oleh pengguna. Pada tahap ini, aplikasi yang telah dirakit dan diuji diekspor ke dalam format yang dapat dijalankan pada perangkat target.

Aplikasi dibangun melalui menu *Build Profiles* pada Unity dengan platform target Android XR, sehingga menghasilkan berkas berformat .apk. Format ini dipilih karena perangkat *Virtual Reality* mandiri yang menjadi sasaran aplikasi berbasis sistem operasi Android. Hasil build berupa satu berkas .apk yang siap dipasang pada perangkat. Spesifikasi hasil build aplikasi disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Spesifikasi Hasil Build Aplikasi

No	Atribut	Keterangan
1	Nama Aplikasi	TIK Safety Induction
2	Format Berkas	.apk
3	Platform Target	Android (XR)
4	Ukuran Berkas	774,4 MB
5	Versi Aplikasi	1.0.0
6	Game Engine	Unity 6000.3.8f1



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7	Render Pipeline	Universal Render Pipeline (URP) 17.3.0
8	Plugin XR	OpenXR melalui XR Plugin Management
9	Perangkat Sasaran	Semua Perangkat VR (OpenXR kompatibel)
10	Metode Distribusi	Sideload (SideQuest / Meta Quest Developer Hub / ADB)

Pemasangan dilakukan dengan menyalin berkas .apk ke perangkat VR, kemudian memasangnya pada perangkat tersebut. Proses ini dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak bantu seperti SideQuest, Meta Quest Developer Hub, atau *Android Debug Bridge* (ADB). Setelah terpasang, aplikasi dapat dijalankan langsung dari perangkat tanpa memerlukan koneksi tambahan.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dengan demikian, terdapat dua kesimpulan utama yang dapat ditarik dari penelitian ini:

1. Penelitian ini menghasilkan *game* edukasi simulasi bencana berbasis *Virtual Reality* bernama "TIK Safety Induction" yang memvisualisasikan lingkungan Gedung Pusat Unggulan Teknologi (PUT) PNJ untuk skenario gempa bumi dan kebakaran, dikembangkan menggunakan *game engine* Unity dengan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC).
2. Hasil evaluasi menunjukkan aplikasi layak digunakan, dengan ahli K3 menilai aplikasi layak dipertimbangkan sebagai pendamping simulasi evakuasi konvensional, ahli media VR memberikan indeks 72,22% (kategori layak), dan uji coba terhadap 36 responden memperoleh 88,43% (kategori sangat layak).

5.2 Saran

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan, sehingga terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan selanjutnya, yaitu:

1. Menambahkan modul edukasi penggunaan APAR dengan teknik PASS (Pull, Aim, Squeeze, Sweep).
2. Memperbanyak dan memperjelas rambu jalur evakuasi, seperti petunjuk tangga darurat dan pintu keluar.
3. Menambah ragam skenario bencana maupun variasi kondisi simulasi, misalnya skenario dengan visibilitas rendah akibat asap atau evakuasi pada situasi yang sulit direplikasi di dunia nyata.
4. Memperluas cakupan pengujian dengan menguji kompatibilitas aplikasi pada beberapa jenis perangkat *Virtual Reality* yang berbeda.
5. Menyempurnakan mekanisme penilaian agar dapat terukur secara objektif berdasarkan perilaku yang dipilih pemain.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Arnoldi, N., & Matthew Saputra, D. (2025). *IMPLEMENTATION OF PATHFINDING ON NPC USING A* ALGORITHM INTO GAME PLATFORMER APPLICATION*.
- BNPB. (2025). *INDEKS RISIKO BENCANA INDONESIA 2024*.
- Budiaji, W. (2013). Skala pengukuran dan jumlah respon skala likert. *Jurnal ilmu pertanian dan perikanan*, 2(2), 127-133.
- Chou, Y. (2019). *Actionable Gamification: Beyond Points, Badges, and Leaderboards*. Packt Publishing.
<https://books.google.co.id/books?id=9ZfBDwAAQBAJ>
- Damianova, N., & Berrezueta-Guzman, S. (2025). Serious Games Supported by Virtual Reality—Literature Review. In *IEEE Access* (Vol. 13, pp. 38548–38561). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3544022>
- Feng, Y., Duives, D. C., & Hoogendoorn, S. P. (2021). Using virtual reality to study pedestrian exit choice behaviour during evacuations. *Safety Science*, 137.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105158>
- Feng, Z., González, V. A., Mutch, C., Amor, R., & Cabrera-Guerrero, G. (2021). Instructional mechanisms in immersive virtual reality serious games: Earthquake emergency training for children. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(2), 542–556. <https://doi.org/10.1111/jcal.12507>
- Haas, J. (2014). *A History of the Unity Game Engine An Interactive Qualifying Project Submitted to the Faculty of WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE in partial fulfillment of the requirements for graduation*.
- Hardi Saputra, P., Azrino Gustalika, M., & Wandala Putra, A. (2024). Game Edukasi Simulasi Mitigasi Bencana Hidrometeorologi Dengan Metode Game Development Life Cycle. *JATISI*, 11(3).
<https://doi.org/10.35957/jatisi.v11i3.8112>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Giga Isnanda, R., Fauzi, A., Prakoso, G., Fajar, R., Fahmi, N., Kurnianti, A., & Setyawan, H. (2025). *Game 3D Simulasi Sebagai Media Pembelajaran Cara Memadamkan Kebakaran Menggunakan APAR*.

Jagdale, D. (2021). Finite State Machine in Game Development. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*, 384–390. <https://doi.org/10.48175/IJARST-2062>

Lee, C.-H., & Kim, J.-Y. (2025). Evaluating Escape AI Strategies: A Performance Comparison Between NavMesh and ML-Agents in Unity. *International Journal of Internet, Broadcasting and Communication*, 17, 30–41. <https://doi.org/10.7236/IJIBC.2025.17.4.30>

Muhammad Yafi D, & Rusindiyanto Rusindiyanto. (2024). Perancangan Mesin Analisa Potongan Pellet Otomatis Menggunakan Software Blender Dengan Metode MDLC. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro Dan Informatika*, 3(1), 128–138. <https://doi.org/10.61132/jupiter.v3i1.672>

Mustaghfaroh, K. S., Putra, F. N., & Ananingtyas, R. S. A. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif dengan MDLC Interactive learning media development with MDLC for subject material and change in nature. In *JACIS : Journal Automation Computer Information System* (Vol. 1, Issue 2).

Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Program Satuan Pendidikan Aman Bencana. (2019). Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

Pranatawijaya, V. H., Widiatry, W., Priskila, R., & Putra, P. B. A. A. (2019). Penerapan skala Likert dan skala dikotomi pada kuesioner online. *Jurnal sains dan informatika*, 5(2), 128-137.

Sari, R. N., Islami, M. P. C., Dirama, R. P., Firmansyah, A., Astutik, R. L., & Saputra, D. R. (2025). Virtual Reality-Based Immersive Learning untuk Kesiapsiagaan Darurat Gempa dalam Meningkatkan Safety Awareness serta Mendukung SDGs Good Health & Well-Being Pada Pendidikan Vokasi.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengabdian Kepada Masyarakat, 5(6), 1221–1227.
<https://doi.org/10.59395/altifani.v5i6.879>

Siregar, A. A. I., & Theresia, C. (2023). Perancangan Simulasi Prosedur Evakuasi Darurat Gempa Bumi di Gedung X Berbasis Virtual Reality. *Journal of Integrated System*, 6(2), 144–163. <https://doi.org/10.28932/jis.v6i2.7696>

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. (2007). Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 66.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Tubagus Farrel Fadillah

Lahir di Jakarta, 11 Agustus 2004. Lulus dari SD Al-Imam Islamic School tahun 2016, SMP Al-Imam Islamic School tahun 2019, dan SMA Negeri 59 Jakarta tahun 2022. Pada tahun 2022 menjadi mahasiswa Program Studi D4 Teknik Multimedia Digital Jurusan Teknik Informatika dan Komputer di Politeknik Negeri Jakarta.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Wawancara dengan ahli K3

Thu, 2 Apr

Messages and calls are end-to-end encrypted. Only people in this chat can read, listen to, or share them. [Click to learn more.](#)

Selamat sore Kak Talitha,

Perkenalkan nama saya Tubagus Farrel Fadillah, mahasiswa semester akhir Politeknik Negeri Jakarta. Saat ini saya bersama rekan kelompok skripsi saya:

1. Putri Suna
2. Pradipta Daffa Adiwangsa
3. Tubagus Farrel Fadillah

Sedang mengerjakan proyek pengembangan game berbasis VR untuk simulasi keadaan darurat yang berjudul "Pengembangan Game Edukasi Simulasi Bencana Pada Gedung JTIK PNJ Berbasis Virtual Reality".

Berhubungan dengan pengalaman Kak Talitha di bidang K3, kami bermaksud memohon kesediaan Kakak untuk menjadi narasumber guna memperkuat materi dalam proyek ini. Saat ini kami berada pad...

[Read more](#) 15.54 ✓

Haloo, selamat sore Farrel 16.07

Boleh-boleh, nanti jawabannya aku kirim menyusul yaa. InsyaAllah ASAP 16.08

1. Kalau bicara memenuhi/engga, mungkin sebenarnya kurang ideal yaa. Tp kembali lagi bagaimana cara kita memaksimalkan sumber daya yg ada dengan memenuhi syarat keselamatan tangga darurat lainnya (kapasitas, akses mudah, ada rambu keselamatan, penerangan darurat, dll)

2. Sumber bahaya disini gak hanya Api dari kebakaran saja, tapi potensi bahaya yang lain (penyebaran asap, potensi runtuh, kepadatan orangnya, dll) jg bisa dipertimbangkan. Kalau dalam situasi normal (risiko runtuh, akumulasi asap, dll itu rendah) mungkin memang pertimbangannya masih bisa sebatas "jarak" evakuasi terdekat & penyebaran orangnya aja yaa.

3. Sependeck pengetahuan saya, semuanya bergantung dgn jenis bencananya ya. Untuk kebakaran, memang disarankan untuk SEGERA KELUAR & SECEPAT MUNGKIN.

Nah, sebaliknya untuk gempa, tetap di dalam ruangan & cari tempat aman seperti bawah meja, hindari jendela, dan pilih posisi dekat tembok permanen atau struktur kolom/tiang bangunan (krm lebih kokoh, menghindari runtuh). Kalau sudah berhenti, baru disarankan untuk evakuasi sesuai arahan floor warden.

Untuk urutan evakuasi, sependek pengetahuan saya, diutamakan yg lantai atas dulu karena lantai baw...

[Read more](#) Edited 20.15

Maaf yaa malam? 20.15

5. Tetap tenang, pindah ke area paling aman/tertutup, tutup celah pintu/jendela untuk menghambat asap, hubungi bantuan, beri sinyal lokasi (pakai cahaya atau buat suara), dan hindari memecahkan kaca atau lompat kecuali kondisi sangat kritis.

20.27

6. Evakuasi saat visibilitas rendah karena asap bisa dilakukan dengan bantuan:

- adanya emergency lighting
- sign "jalur evakuasi" & "arah evakuasi" yang glow in the dark
- mengikuti dinding sebagai panduan arah
- diarahkan untuk bergerak secara merunduk karena udara lebih bersih di bawah & asap cenderung berada di atas. Jika memungkinkan, gunakan jg kain yg diberi air untuk menutup mulut & hidung
- kalau visibilitas sangat buruk, bisa memanfaatkan penggunaan alarm atau buat sumber suara lainnya untuk mengarahkan evakuasi.

20.33

7. Kalau prioritasnya hanya kecepatan evakuasi tanpa mempertimbangkan prosedur aman, bisa menimbulkan potensi adanya penumpukan /desak'an di jalur evakuasi. Nanti malah bisa jadi evakuasinya kurang efektif & terhambat karena ada orang² yg jatuh, terinjak, stuck, dsb.

Jadi prosedur aman tetap harus menjadi prioritas. Dan penghuni gedung harus mengikuti arahan floor warden atau Emergency Response Team.

Edited 20.38

4. Mungkin gamenya bisa disederhanakan. Fokus kepada prosedur/hal² penting yg menjadi highlight dalam prosedur keselamatan, seperti:

- menghindari lift

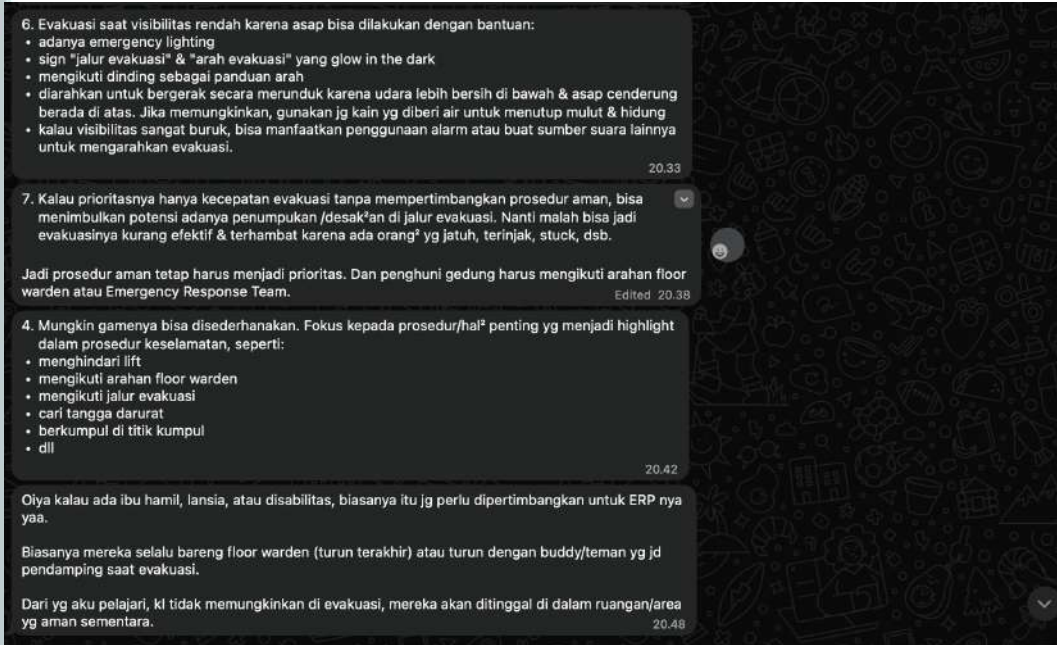
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

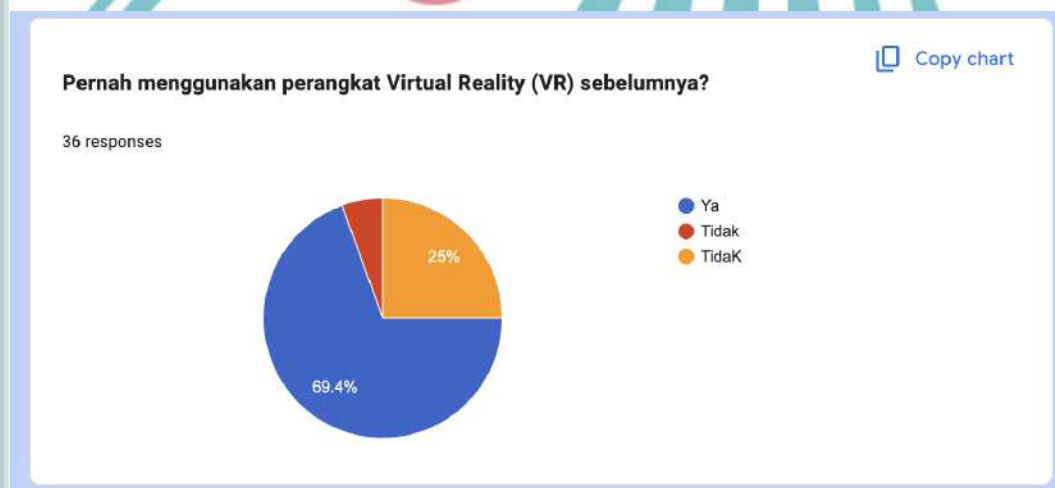
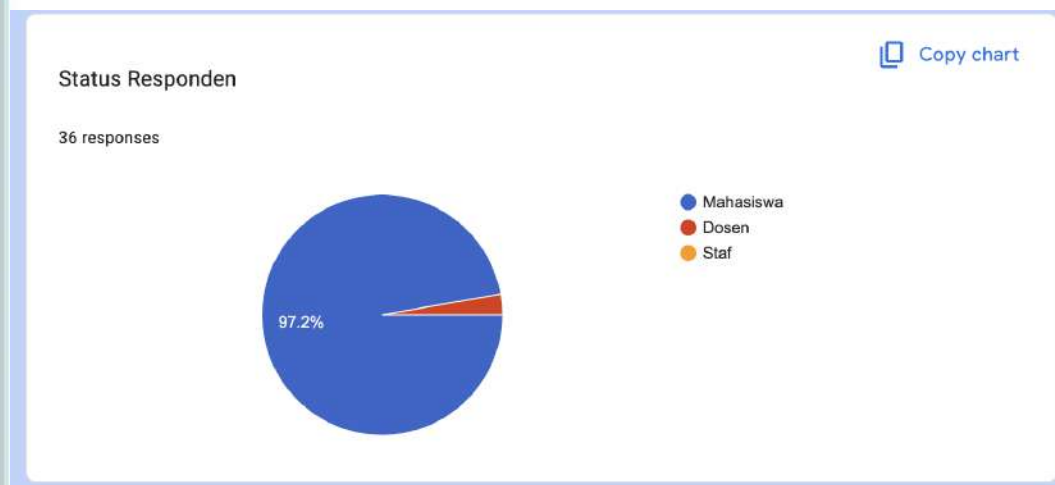


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

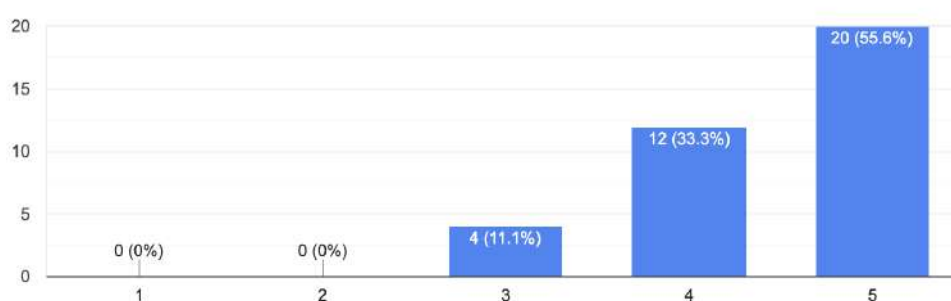
Lampiran 2. Kuesioner *Beta Testing* dengan Mahasiswa



Aspek Virtual Reality

Controller VR berfungsi dengan baik selama simulasi.

36 responses





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

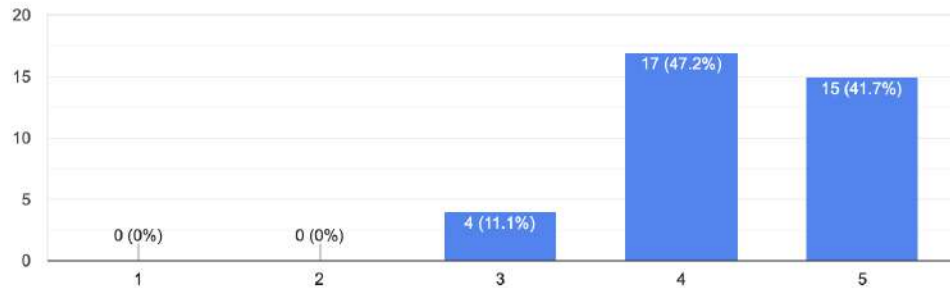
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Lanjutan)

Interaksi dengan objek berjalan lancar.

Copy chart

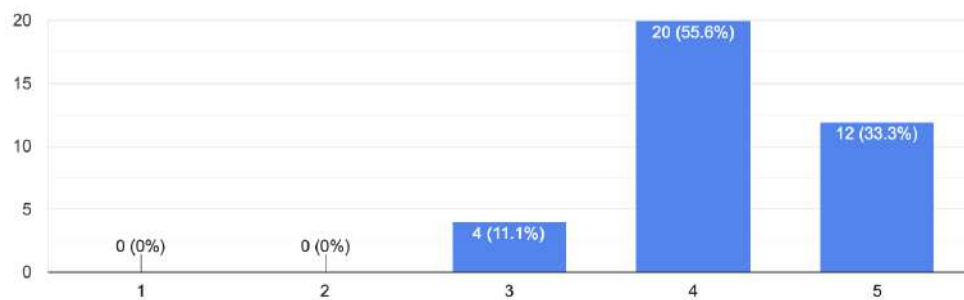
36 responses



Navigasi dalam lingkungan VR mudah dilakukan.

Copy chart

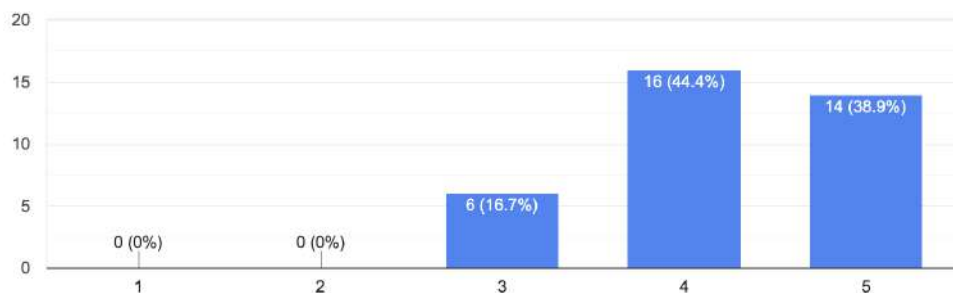
36 responses



Saya tidak mengalami kendala berarti saat menggunakan aplikasi VR.

Copy chart

36 responses





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

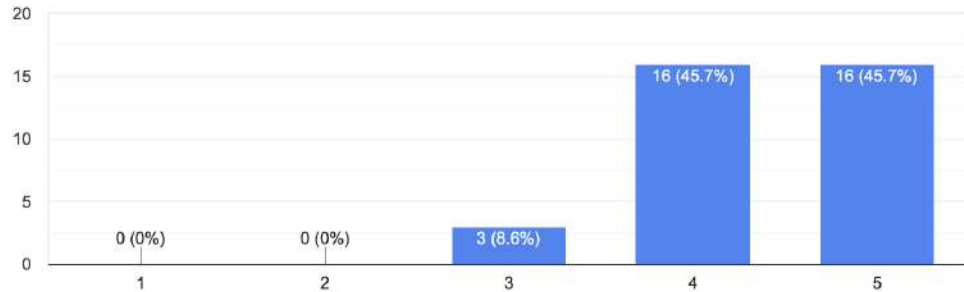
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Lanjutan)

Informasi keselamatan yang disampaikan mudah dipahami.

[Copy chart](#)

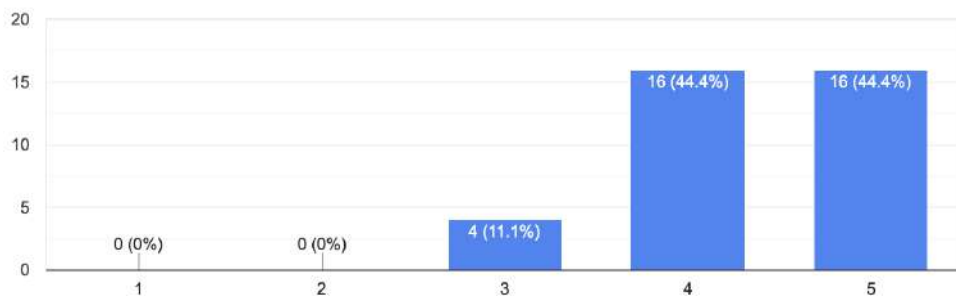
35 responses



Simulasi membantu saya memahami jalur evakuasi.

[Copy chart](#)

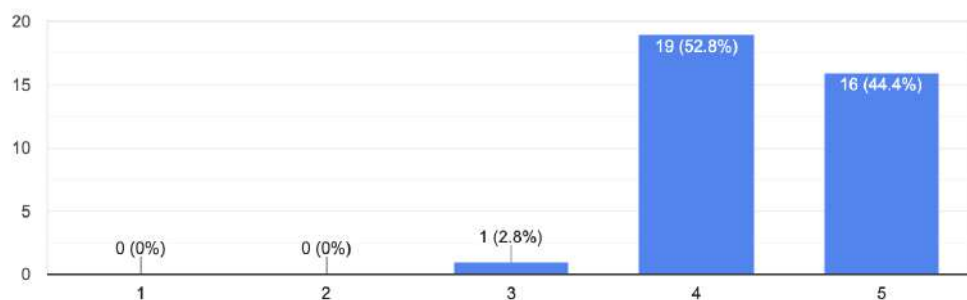
36 responses



Simulasi membantu saya memahami prosedur keselamatan saat bencana.

[Copy chart](#)

36 responses





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

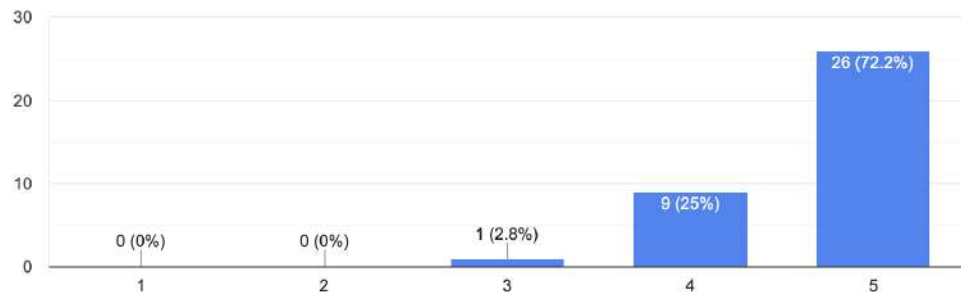
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Lanjutan)

Aplikasi VR menarik digunakan sebagai media pembelajaran.

Copy chart

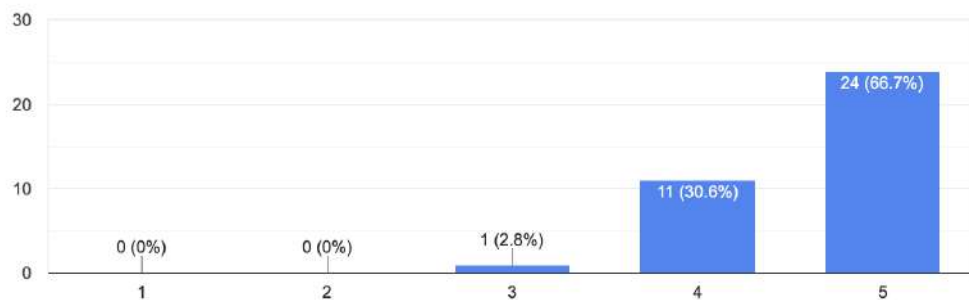
36 responses



Aplikasi VR memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif.

Copy chart

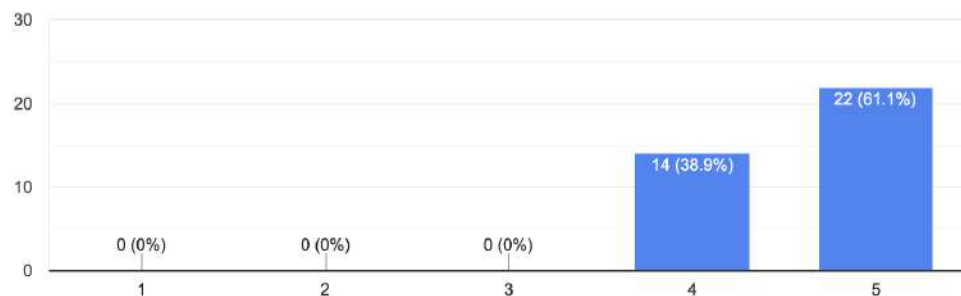
36 responses



Aplikasi VR layak digunakan sebagai media Safety Induction di Gedung PUT.

Copy chart

36 responses

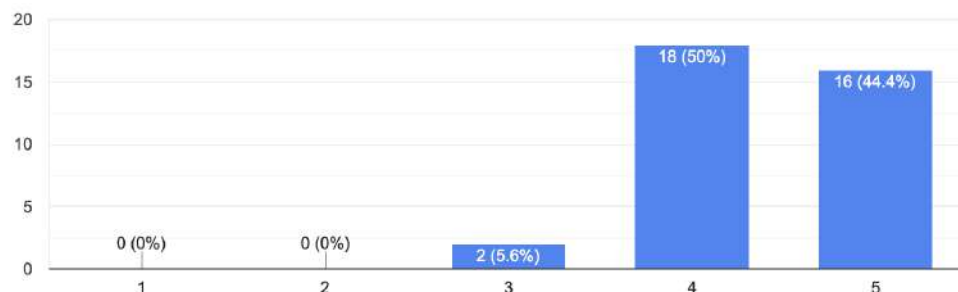


(Lanjutan)

 Copy chart

Saya puas dengan pengalaman menggunakan aplikasi VR ini.

36 responses



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3. Pelaksanaan *Beta Testing* dengan Mahasiswa

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

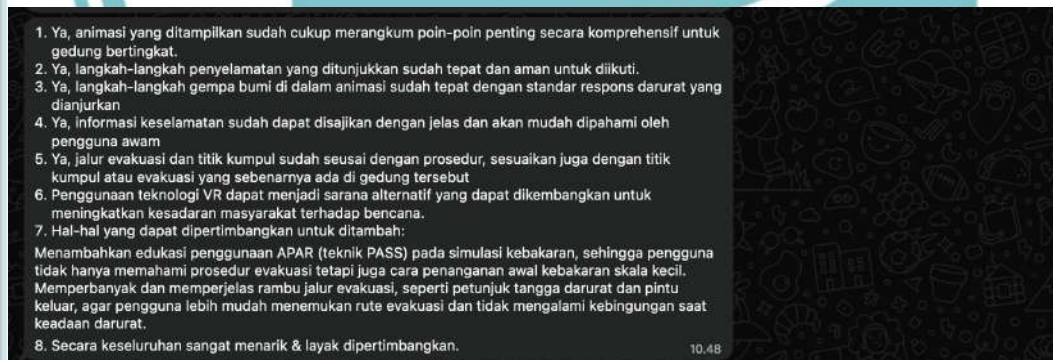
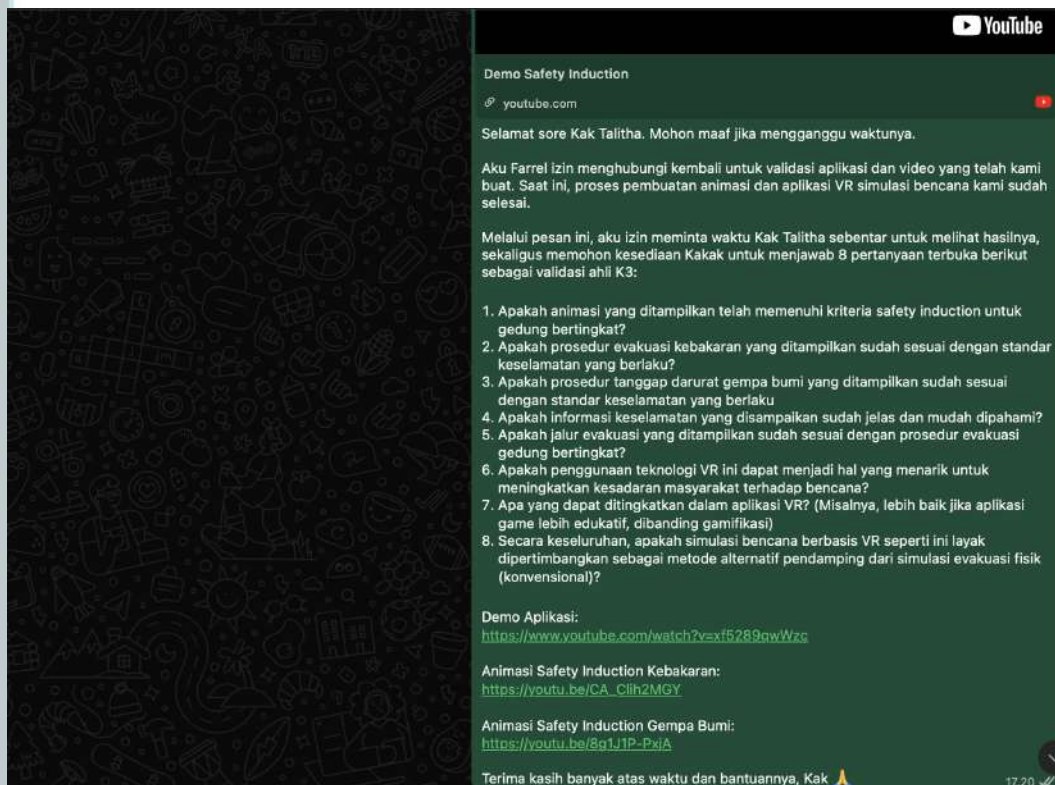


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4. Wawancara validasi dengan ahli K3





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

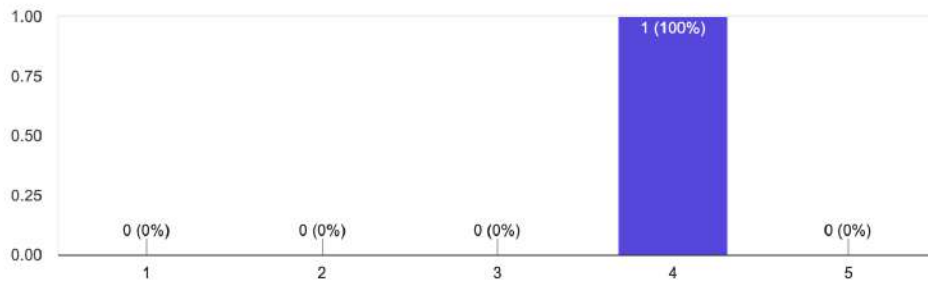
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5. Kuesioner validasi dengan ahli media VR

Lingkungan virtual yang ditampilkan mampu menggambarkan kondisi gedung dengan jelas.

[Copy chart](#)

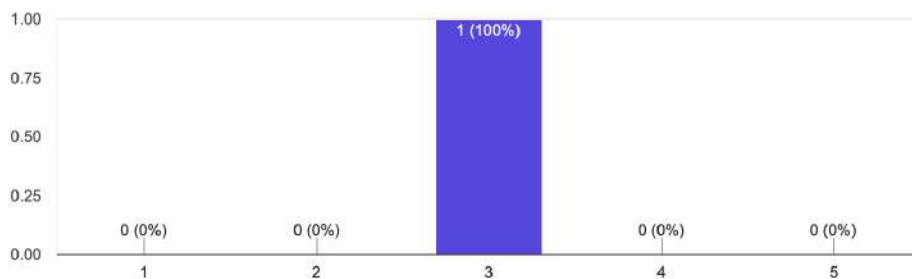
1 response



Detail aset 3D yang digunakan sudah cukup jelas dan mudah dikenali.

[Copy chart](#)

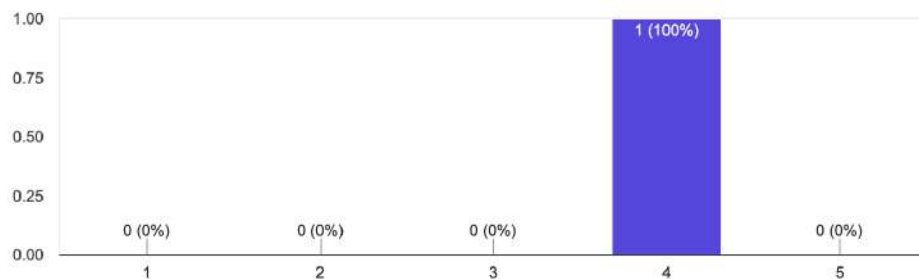
1 response



Penempatan objek dalam lingkungan virtual mendukung jalannya simulasi.

[Copy chart](#)

1 response



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

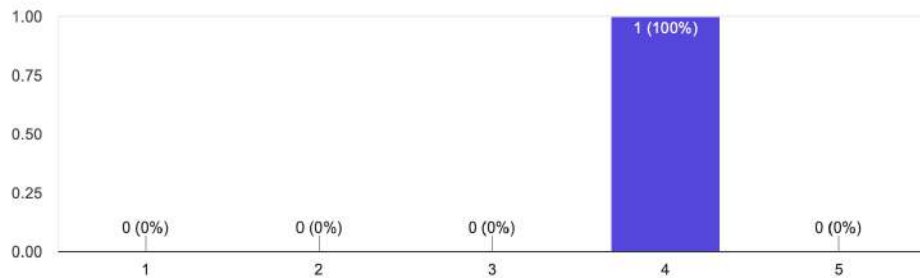
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Efek visual yang digunakan (api dan asap) mendukung kondisi simulasi yang ditampilkan.

[Copy chart](#)

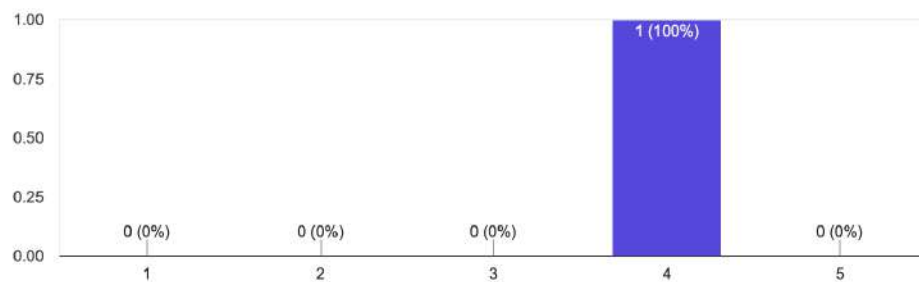
1 response



Kualitas visual secara keseluruhan sudah baik dan menarik.

[Copy chart](#)

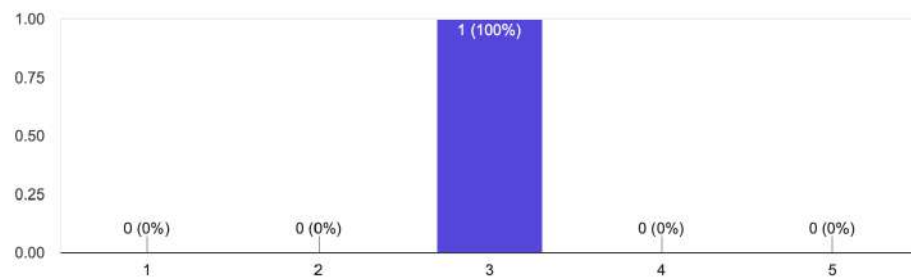
1 response



Alur simulasi yang ditampilkan mudah dipahami.

[Copy chart](#)

1 response



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

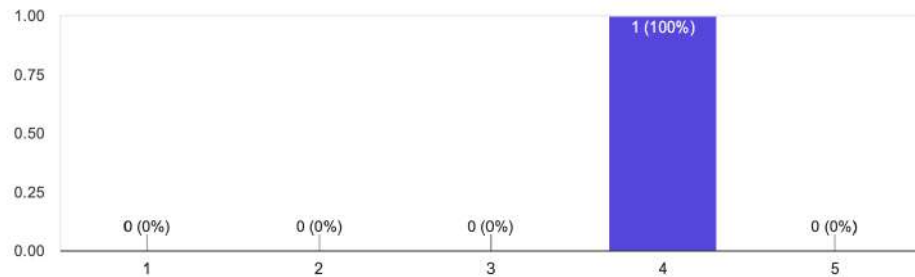
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Skenario yang disajikan telah sesuai dengan tujuan simulasi keselamatan.

[Copy chart](#)

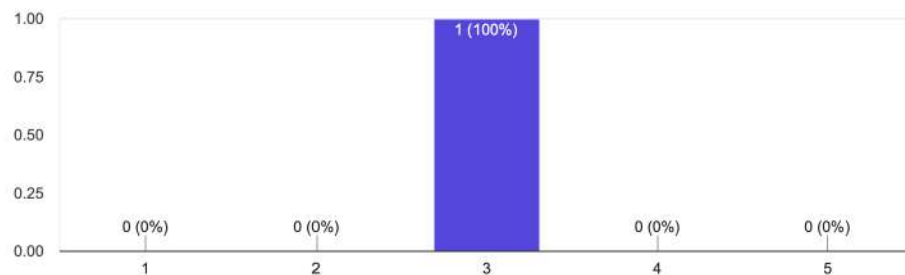
1 response



Simulasi mampu menggambarkan kondisi darurat secara realistis.

[Copy chart](#)

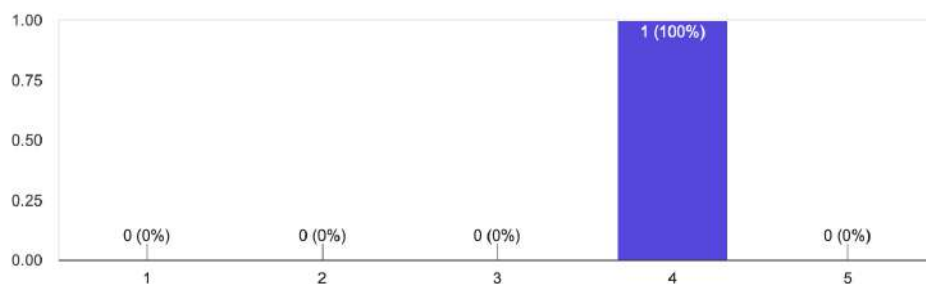
1 response



Fitur-fitur yang ditampilkan telah mendukung tujuan Safety Induction.

[Copy chart](#)

1 response





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

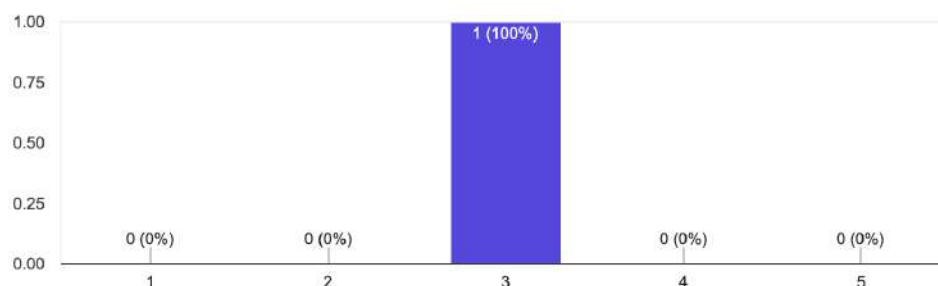
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Lanjutan)

Animasi karakter yang ditampilkan terlihat natural dan sesuai dengan aktivitas yang dilakukan.

[Copy chart](#)

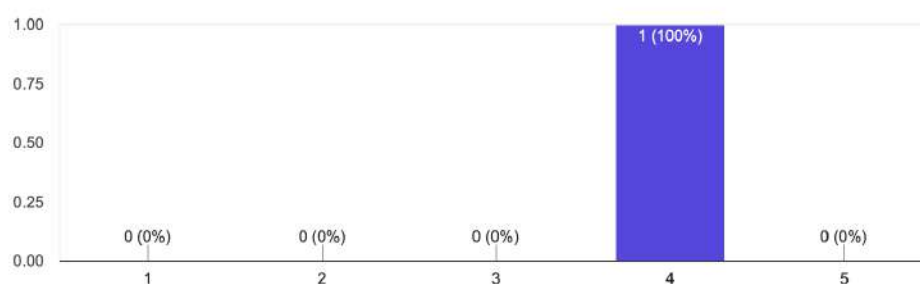
1 response



Gerakan karakter sudah sesuai dengan prosedur keselamatan yang diperagakan.

[Copy chart](#)

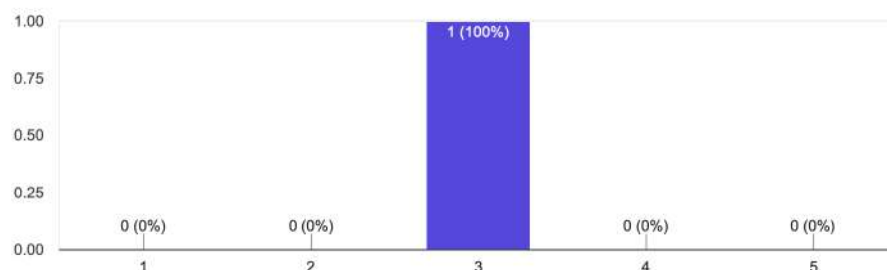
1 response



Transisi antar animasi berjalan dengan baik dan tidak terlihat kaku.

[Copy chart](#)

1 response





(Lanjutan)

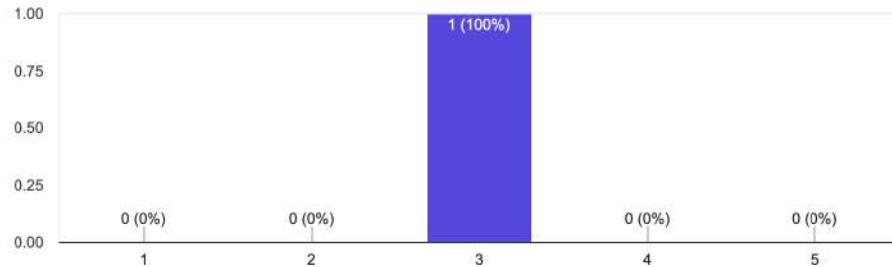
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pergerakan kamera pada animasi sudah berjalan dengan baik dan halus.

[Copy chart](#)

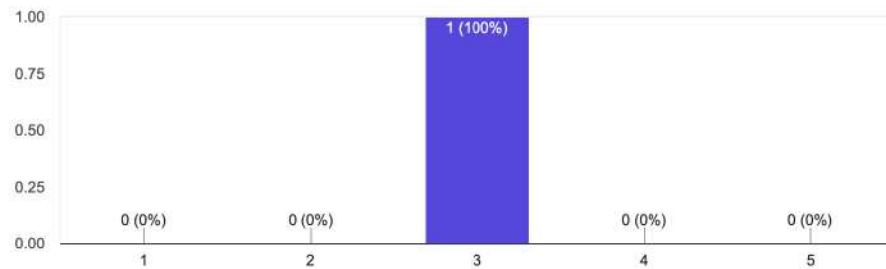
1 response



Animasi yang ditampilkan telah menerapkan prinsip-prinsip animasi dengan baik.

[Copy chart](#)

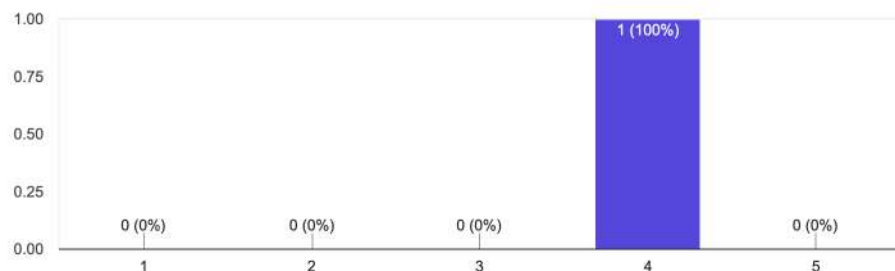
1 response



Narasi yang disampaikan terdengar jelas dan mudah dipahami.

[Copy chart](#)

1 response





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

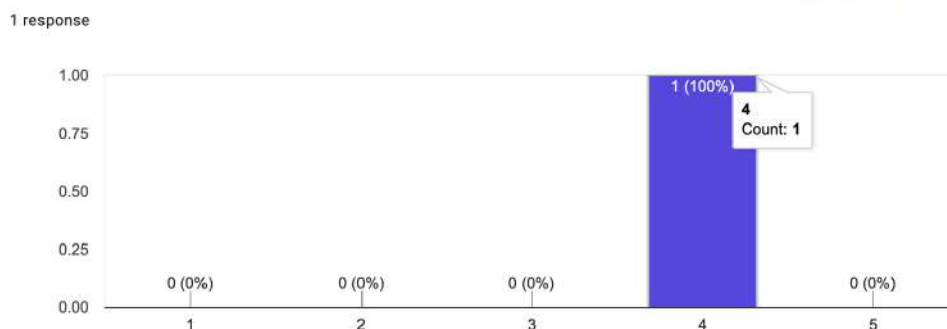
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Lanjutan)

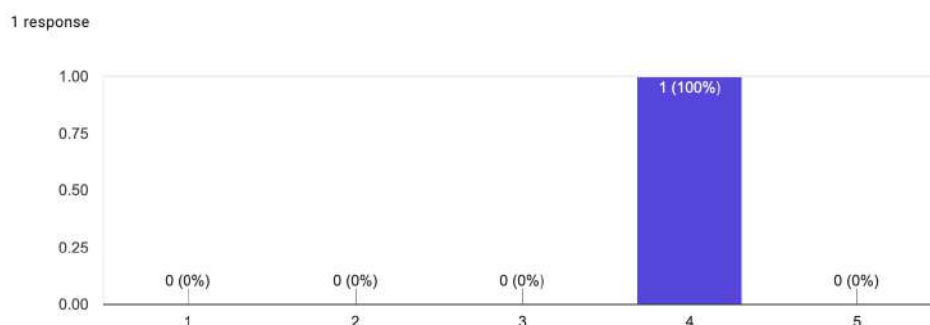
Efek suara yang digunakan sesuai dengan kondisi simulasi.

Copy chart



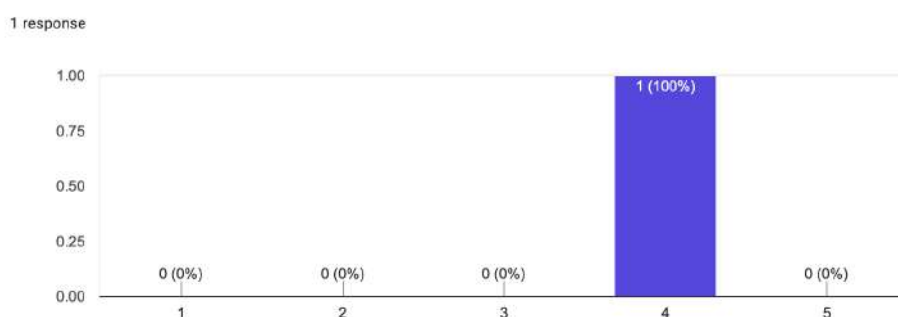
Sinkronisasi antara audio dan animasi sudah sesuai.

Copy chart



Media VR Safety Induction yang dikembangkan layak digunakan sebagai media edukasi keselamatan.

Copy chart



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kelebihan media yang dikembangkan

1 response

Penggabungan animasi dengan media VR yg interaktif memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif.

Kekurangan media yang perlu diperbaiki

1 response

Pengembangan lingkungan aset 3D masih belum menyeluruh (masih ada beberapa spot 3D yang seharusnya tidak kosong sehingga terlihat lebih natural dan menarik). Beberapa detail aset objek 3D jg bisa ditingkatkan, termasuk komposisi, material, lighting dsb. Animasi bisa dibuat lebih variatif dan lebih halus.

Saran pengembangan lebih lanjut

1 response

Virtual Reality merupakan teknologi yang bisa dimanfaatkan sebagai media pembelajaran yang imersif. Untuk menciptakan dunia virtual imersif diperlukan aset konten didalamnya yang mirip dengan aslinya bahkan lebih baik dan lebih menarik. Karna tidak ada keterbatasan di dunia virtual reality, hal seperti ini yang justru harus dimanfaatkan, seperti simulasi2 yang tidak memungkinkan di adakan di dunia nyata, buat skenario nya di VR. Agar proses simulasi terasa nyata namun tetap aman, petunjuk/pembelajaran mengenai keselamatan pun bisa tersampaikan dengan sangat baik.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Talitha Luthfia Zaki

0853 8521 0834 | talitha.luthfia@gmail.com | linkedin.com/in/talitha

South Jakarta, Indonesia, 12620

ABOUT ME

Detailed-oriented and passionate AKRU-certified Occupational Health and Safety (OHS) graduate from Universitas Indonesia (GPA 3.79/4.00) with hands-on experience supporting HSSE functions in oil & gas, aviation, mining, and energy companies. Experienced in HSSE performance monitoring, incident investigation, incident and inspection reporting, safety inspection, risk assessment (HIRA/JSA), and emergency preparedness. Skilled in maintaining HSSE documentation, supporting safety training and awareness programs, conducting safety briefings, supporting audit preparation, and developing engaging safety campaigns to strengthen workplace safety culture. Possess strong analytical, organizational, and communication skills with the ability to support data-driven safety performance improvement and contribute effectively to dynamic operational environments.

EDUCATION

Universitas Indonesia

Bachelor of Occupational Health and Safety, GPA 3.79/4.00

2021 – 2025

SMAN 34 Jakarta

Natural Science

2018 – 2021

SKILLS

Technical Skills

HIRA, JSA, Inspection, Safety Campaign, Incident and Inspection Reporting, Emergency Preparedness, Permit to Work, Safety Briefing, ISO 45001 & ISO 14001 Audit Preparation Support, Document Control, Event Management

Soft Skill

Communication, Detail-oriented, Team Collaboration and Coordination, Critical and Analytical Thinking, Interpersonal Skill, Leadership, Time Management, Problem Solving, Adaptability

Tools

Microsoft Office, Google Workspace, Canva

Languages

Bahasa Indonesia (Native), English (Professional Working Proficiency)

WORK EXPERIENCE

PT Garuda Indonesia (Persero) Tbk – Incoming Corporate (Quality, Safety, and Sustainability) Intern

Nov 2025 – May 2026

- Designed 5 safety campaign posters to increase employee safety awareness.
- Supported corporate-level OSH inspections and compliance monitoring.
- Assisted in the development of the Safety Permit Digital system.
- Supported 50+ hazard report closing by monitoring corrective actions and follow-up status.
- Assisted in the incident investigation process, documentation, and reporting to ensure timely case tracking.
- Reviewed risk registers and proposed mitigation actions to reduce operational risk exposure.
- Developed fatigue risk assessment for cabin and flight crew to strengthen operational safety control.

PT Adaro Andalan Indonesia Tbk – Kintungan, South Jakarta

Apr 2025 – Jul 2025

OSI Intern

- Recorded inspection and incident reports accurately into the database system, supporting data-driven safety improvements.
- Designed 10 safety campaign posters to effectively promote workplace safety awareness and engagement.

Developed a Safety Maturity Level (SML) assessment rubric to evaluate and enhance organizational safety performance.

Received internal training on Power BI at Adaro, enhancing data visualization and analytics capabilities.

PLN Ikon Plus – Kintungan, South Jakarta

Oct 2024 – Jan 2025

HSSE Intern

- Conducted monthly inspections of 155 fire extinguishers and 37 first aid kits across 3 operational sites.
- Conducted 100+ daily safety briefings and safety patrols (on-site & online), ensuring effective communication of safety protocols.
- Recorded, analyzed, and summarized safety briefing and patrol reports to support continuous improvement in workplace safety.
- Developed and delivered safety training materials for housekeeping and driver personnel to strengthen hazard awareness, safe work practices, and operational safety compliance.
- Collected, compiled, and analyzed safety training pre- and post-test results to measure learning outcomes and support continuous improvement of HSSE training programs.
- Designed 8 creative visual materials for HSSE Big Day and ongoing 4 safety campaigns, increasing employee engagement and awareness.
- Developed HIRA and detailed hazard mapping for office operations to support risk control planning.
- Assisted in the preparation of external audits for ISO 14001, ISO 45001, and SMK3 PP-50/2012 compliance, contributing to successful certification processes.

Pertamina Hulu Rokan – Pekanbaru, Riau

Jul 2024 – Aug 2024

OHS Intern

- Performed Job Safety Analysis (JSA) during Survey & Inventory activities across 3 drilling sites (Duri, Minas, and Kota Bangk).
- Monitored 50+ high-risk personnel under Fit-to-Work program to ensure operational readiness.
- Supported Traffic Safety Enforcement Program (TSEP) implementation and managed related documentation including Fit to Work assessments, Permit to Work, Pre-Trip Inspection, Fatigue Checklist, and Behavior-Based Safety Observations.
- Contributed to fire emergency response training and socialization activities.
- Assisted in the preparation of external audits for ISO 14001, ISO 45001, and SMK3 PP-50/2012 compliance, contributing to successful certification processes.

ORGANIZATION & VOLUNTEER EXPERIENCES

FKM UI Paduli 19 Intervention Volunteer

Jun 2023 – Jul 2023

- Delivered health education sessions on hygiene and nutrition to 150+ participants.
- Designed and distributed 19+ health promotion materials to support outreach efforts.

BEM IM FKM UI The Kolombogues Staff

Feb 2022 – Dec 2022

- Led and coordinated 8 monthly inter-organization (12 student associations) meetings.
- Prepared and distributed Minutes-of-Moving (MoM) and developed 3-Event Calendars.
- Evaluated work programs and performance of 12 student associations to ensure accountability and continuous improvement.

OHS Expo 12 FKM UI OHS in Action Volunteer

Aug 2022 – Oct 2022

- Delivered an ergonomic hazard and risk awareness session to 40 students majoring in Electrical Industry at SMKN 29 Jakarta, strengthening their knowledge of safe practices in study and future workplace environments.
- Developed and presented interactive intervention materials (posters, presentations, and demonstrations) during the on-site program, boosting student engagement and understanding.

PROJECT EXPERIENCES

Increasing SMAN 1 Depok's Emergency Responsiveness – Group Project

Mar 2024 – May 2024

Secretary and Master of Ceremony

- Awarded as one of the addressor Hibah PPM UI 2024 and secured IDR 10M grant funding.
- Organized a school-wide emergency program with 500+ participants.
- Coordinated training with local fire department and Earthquake Emergency Response with K3L UI, prepared evacuation routes, and delivered safety education.
- Produced HIRA report with actionable recommendations for sustainability.

Wardah Campus Roadshow Jakarta x Parano – Group Project

Jun 2023 – Aug 2023

Project Leader

- Managed a team of 10+ and coordinated with multiple stakeholders.
- Successfully led a multi-campus event and surpassed event goals (3 out of 1 location target).
- Conducted collaborative hearings with the relevant Student Association.

CERTIFICATIONS

TOEFL EPT – English VIT

June 2026 – Now

Toefl Score: 557 | [E-certificate](#)

Ahli K3 Umum – PT. Indisches Magna Persada Kementerian Ketenagakerjaan RI | [E-certificate](#)

Jan 2026

Chemical Hazards: Toxicology and Reactivity – Coursera University of California | [E-certificate](#)

May 2025

Utilities, Safety & Environmental Care in Oil & Gas Industry – Coursera L&T EduTech | [E-certificate](#)

May 2025

Become an EMT Specialization – Coursera University of Colorado System | [E-certificate](#)

Apr 2025

Fire and Life Safety Systems Specialization – Coursera L&T EduTech | [E-certificate](#)

Oct 2024

TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER

Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



CONTACT

☎ +62 85718145181

✉ indahsm0609@gmail.com
indah.sarimukarramah@tik.pnj.ac.id

📍 Depok City, West Java

SOFT SKILLS

- Communication Involment
- Classroom Management
- Design Thinking
- Experiential learning
- Curriculum Development
- Project Development

TECHNICAL SKILLS

- UI/UX Design
- 3D Modelling
- 2D / 3D Animation
- Video Editing
- Audio Editing
- Motion Graphic
- VR / AR / Mixed Reality

PROJECTS

- Jet Fighter 3D Asset for Mobile Phone Game.
- Ekterior and Interior PGN Building.
- Augmented Reality mobile learning for high school student.
- Virtual Reality chemistry laboratory and practicum for high school student in Jakarta.

LANGUAGE

Indonesia

English

INDAH SARI MUKARRAMAH

DIGITAL MEDIA EXPERT & LECTURER

ABOUT ME

Dedicated and dependable lecturer with 5 years of experience delivering educational assistance and instruction to various levels of learners and various courses in the multimedia digital technology department of Jakarta State Polytechnic. Committed to providing students with necessary tools to achieve academic goals and to prepare them for personal and professional success in today's world. Adept in creating powerful curriculum in the fields of Digital Media, Visual Communication, and 2D/3D Design. A committed faculty member, passionate about working to further enhance the educational offerings of an institution.

WORK EXPERIENCE

► 3D Designer

Polargate Studio

April '15 - Present

Work on a project (part time) by building several 3D-based design element based on project requirements from several clients such as PT. PCN and several 3D game developments in Indonesia.

► Lecturer

Jakarta State Polytechnic

Feb '18 - Present

Proficient in most multimedia and digital media knowledge both theoretically and practically. Created powerful and compelling curricula for my Multimedia and Digital Media students. Promoted an open and interactive classroom environment for enhanced learning.

► Training Instructor

State University of Jakarta

Jan '23 - Present

Provide knowledge, expertise and skills to selected participants for the basic 3D Modelling and animation, Augmented Reality and Virtual Reality training scheme with the aim of producing human resources who are ready to face the professional industry with the provision of official national standard certificates.

EDUCATION

► BACHELOR'S DEGREE

Asia e-University (Kuala Lumpur)

Sept '11 - Sept'15

Bachelor of Information Communication and Technology (Multimedia Engineering Study Program), (CGPA : 3.50)

► MASTER'S DEGREE

Institute of Technology Bandung

Sept '18 - Jan '20

Magister of Electro and Informatics Department, Digital Media and Game Technology Concentration, Institute of Technology Bandung (CGPA = 3.42).