



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI
MEKANISME SIMULASI INTERAKTIF BERBASIS
MULTI-LAYER SYSTEM PADA WEB 3D UNTUK
PELATIHAN PENGAWAS KONSTRUKSI PT BUMI
MADANI**

SKRIPSI

RADIFAN AL FATH ISNANDAR

2207431025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DIGITAL
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN
KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI
MEKANISME SIMULASI INTERAKTIF BERBASIS
MULTI-LAYER SYSTEM PADA WEB 3D UNTUK
PELATIHAN PENGAWAS KONSTRUKSI PT BUMI
MADANI**

SKRIPSI

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

RADIFAN AL FATH ISNANDAR

2207431025

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DIGITAL
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN
KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Radifan Al Fath Isnandar
NIM : 2207431025
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer / Teknik Multimedia Digital
Judul Skripsi : Perancangan dan Implementasi Mekanisme Simulasi Interaktif Berbasis Multi-Layer System pada Web 3D untuk Pelatihan Pengawas Konstruksi PT Bumi Madani

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya 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.

Depok, 09 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Radifan Al Fath Isnandar

2207431025



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

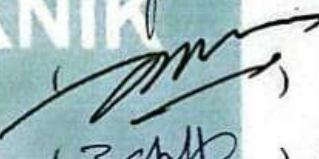
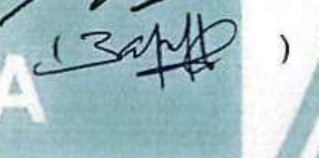
LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Radifan Al Fath Isnandar
NIM : 2207431025
Program Studi : Teknik Multimedia Digital
Judul Skripsi : Perancangan dan Implementasi Mekanisme Simulasi Interaktif Berbasis Multi-Layer System pada Web 3D untuk Pelatihan Pengawas Konstruksi PT Bumi Madani

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

Disahkan oleh

Pembimbing I : Hata Maulana, S.Si., M.T.I. ()
Penguji I : Asep Taufik Muharram, S.Kom., ()
M.Kom.
Penguji II : Iwan Sonjaya, S.T., M.T. ()
Penguji III : Bambang Warsuta, S.Kom., M.T.I. ()

Mengetahui :

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua



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

NIP. 197903082003122003



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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perancangan dan Implementasi Mekanisme Simulasi Interaktif Berbasis *Multi-Layer System* pada Web 3D untuk Pelatihan Pengawas Konstruksi PT Bumi Madani”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Multimedia Digital, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer.
2. Hata Maulana, S.Si., M.T.I., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan.
3. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Informatika dan Komputer.
4. Pihak PT Bumi Madani yang telah membantu proses pengumpulan data penelitian.
5. Orang tua, keluarga, rekan satu tim, dan teman-teman yang telah memberikan doa, dukungan, serta bantuan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Depok, 07 Juni 2026

Radifan Al Fath Isnandar

NIM. 2207431025



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Radifan Al Fath Isnandar
NIM : 2207431025
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer / Teknik Multimedia Digital

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

Perancangan dan Implementasi Mekanisme Simulasi Interaktif Berbasis *Multi-Layer System* pada *Web 3D* untuk Pelatihan Pengawas Konstruksi PT Bumi Madani

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

Depok, 09 Juli 2026
Yang menyatakan



31F04AOX077314708

Radifan Al Fath Isnandar
NIM. 2207431025



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Pembentukan kompetensi pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani dilakukan melalui *on-the-job training (OJT)* berbasis lapangan, namun belum didukung instrumen pelatihan terstruktur sehingga bergantung pada arahan verbal yang situasional dan tidak terukur. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada *web 3D* sebagai media pelatihan terstruktur dalam mekanisme *OJT* pengawas pelaksana baru. Penelitian menggunakan metode *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan *mixed methods* yang didominasi deskriptif kualitatif, di mana data kebutuhan diperoleh melalui wawancara, observasi, dan studi dokumentasi, kemudian dirancang menjadi tiga skenario simulasi (*K3*, material, dan audit lapangan) yang merepresentasikan lima aspek pengawasan konstruksi. Simulator dibangun dengan arsitektur *multi-layer system*, *environment* tiga dimensi di-render oleh *Unity WebGL* sementara antarmuka interaktif dibangun sebagai lapisan *HTML overlay*. Pengujian fungsional melalui *alpha testing* menunjukkan seluruh mekanisme berfungsi sesuai rancangan, dengan 18 dari 22 aspek sesuai sejak awal dan empat aspek sisanya telah diperbaiki. Pengujian *usability* melalui *beta testing* kepada tiga perwakilan pengguna memperoleh *task completion rate* sebesar 81,25%, melampaui ambang 78%. Dengan demikian, mekanisme yang dikembangkan terbukti layak secara fungsional dan dapat digunakan sebagai media pelatihan terstruktur untuk mendukung *OJT* pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani.

Kata kunci: *multi-layer system*, pengawasan konstruksi, *Research and Development*, simulasi interaktif, *web 3D*



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	5
1.4.1 Tujuan Penelitian	5
1.4.2 Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Simulasi Interaktif.....	7
2.2 Web 3D	8
2.3 Unity WebGL.....	9
2.4 Multi-Layer System Architecture	10
2.5 Web Overlay Layer.....	12
2.6 On-the-Job Training pada Konstruksi.....	14
2.7 Kurva S	15
2.8 Alpha Beta Testing	16
2.9 Usability Testing.....	16
2.10 Research & Development	18
2.11 Penelitian Terdahulu	20
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Rancangan Penelitian.....	24
3.2 Tahapan Penelitian.....	25



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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

3.3 Objek Penelitian.....	28
3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data.....	28
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data.....	28
3.4.2 Teknik Analisis Data.....	29
BAB 4 PEMBAHASAN.....	31
4.1 Analisis Kebutuhan.....	31
4.2 Perancangan Produk.....	32
4.2.1 Perancangan Awal Simulasi	32
4.2.2 Validasi Desain Oleh Ahli	33
4.2.3 Rancangan Skenario Simulasi.....	35
4.2.3.1 Skenario Simulasi K3	36
4.2.3.2 Skenario Simulasi Material.....	42
4.2.3.3 Skenario Simulasi Audit Lapangan	46
4.2.4 Perancangan Mekanisme Simulasi	55
4.2.5 Perancangan Arsitektur Sistem	60
4.2.6 Perancangan Arsitektur Overlay	62
4.3 Implementasi Produk	64
4.3.1 Implementasi Layer Unity WebGL.....	65
4.3.1.1 Manajemen Sesi	65
4.3.1.2 Kontrol dan Pergerakan Pemain	70
4.3.1.3 Sistem Marker Interaktif	72
4.3.1.4 Manajemen Popup	74
4.3.1.5 Actual Case System	76
4.3.1.6 Peta Navigasi	80
4.3.2 Implementasi Layer HTML Overlay	81
4.3.2.1 Implementasi Kerangka dan Komunikasi Overlay	81
4.3.2.2 Rendering Form Inspeksi	83
4.3.2.3 Full Page Inspection 360°	85
4.3.2.4 Tools Inspeksi Interaktif	87
4.3.2.5 Komponen Pendukung Alur Simulasi.....	95
4.3.2.6 Antarmuka HUD	97
4.3.3 Implementasi Bridge dan Integrasi Validator	99
4.4 Pengujian.....	102
4.4.1 Deskripsi Pengujian	102



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.4.2 Prosedur Pengujian	102
4.4.2.1 Alpha Testing	102
4.4.2.2 Beta Testing	105
4.4.3 Data Hasil Pengujian.....	109
4.4.3.1 Data Hasil Alpha Testing	109
4.4.3.2 Data Hasil Beta Testing	113
4.4.4 Analisis Data/Evaluasi Pengujian	116
4.4.4.1 Analisis Data Alpha Testing	116
4.4.4.2 Analisis Data <i>Beta Testing</i>	116
BAB 5 PENUTUP	121
5.1 Kesimpulan	121
5.2 Saran	122
DAFTAR PUSTAKA	123
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	127
LAMPIRAN.....	128

**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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi Nilai <i>Task Completion Rate</i>	17
Tabel 2.2 Penelitian terdahulu	20
Tabel 4.1 Analisis Kebutuhan Simulator	31
Tabel 4.2 Rangkuman Hasil Validasi Desain oleh Ahli	34
Tabel 4.3 Pemetaan Area, Zona, dan Tugas Pengguna pada Skenario K3	36
Tabel 4.4 Storyboard Skenario K3.....	37
Tabel 4.5 Pemetaan Material dan Objek Inspeksi pada Skenario Material	42
Tabel 4.6 Storyboard Skenario Material	42
Tabel 4.7 Pemetaan Tahap Pekerjaan dan Tugas Pengguna Per Minggu	46
Tabel 4.8 Storyboard Skenario Audit Lapangan.....	47
Tabel 4.9 Metadata Sesi pada SessionManager	66
Tabel 4.10 Lapisan Persistensi Data Sesi.....	68
Tabel 4.11 Mode kontrol pada FirstPersonController	71
Tabel 4.12 Tipe <i>Marker</i> dan Kegunaannya	72
Tabel 4.13 Field Utama pada PopupData	74
Tabel 4.14 Field actualCase per Tipe Marker.....	76
Tabel 4.15 Field Kondisi Aktual per Kategori Material	78
Tabel 4.16 Field Kondisi Aktual per Tipe Pekerjaan.....	79
Tabel 4.17 Pemetaan <i>Tools</i> Inspeksi per Kategori Material	87
Tabel 4.18 Pemetaan <i>Tools</i> Inspeksi Per Tipe Pekerjaan	91
Tabel 4.19 Prosedur Pengujian Fungsional Simulator	103
Tabel 4.20 Prosedur Pengujian Integrasi Simulator–Rule Validator	105
Tabel 4.21 Skenario Tugas UT Skenario K3	106
Tabel 4.22 Skenario Tugas UT Skenario Material	107
Tabel 4.23 Skenario Tugas UT Skenario Audit Lapangan	108
Tabel 4.24 Kategori Observasi UT	109
Tabel 4.25 Hasil Uji Fungsional Skenario K3	110
Tabel 4.26 Hasil Uji Fungsional Skenario Material	111



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.27 Hasil Uji Fungsional Skenario Audit Lapangan	112
Tabel 4.28 Hasil Uji Integrasi Simulator–Rule Validator.....	113
Tabel 4.29 Data Responden Beta Testing.....	114
Tabel 4.30 Rekapitulasi Hasil Penyelesaian Tugas per Responden	114
Tabel 4.31 Rekapitulasi Task Completion Rate Usability Testing.....	115
Tabel 4.32 Catatan Observasi Usability Testing.....	116



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep <i>open layer</i> dan alur <i>request</i>	11
Gambar 2.2 Grafik Kurva S	15
Gambar 2.3 Model Tahapan R&D Borg & Gall.....	18
Gambar 3.1 Alur Penelitian	25
Gambar 4.1 Flowchart Alur Simulasi Keseluruhan	57
Gambar 4.2 Flowchart Siklus Interaksi Marker	59
Gambar 4.3 Diagram Arsitektur.....	60
Gambar 4.4 Flowchart Alur Komunikasi Antar-Layer.....	62
Gambar 4.5 Arsitektur Penumpukan <i>Layer Overlay</i>	63
Gambar 4.6 <i>Letterbox Scaling</i>	64
Gambar 4.7 Tampilan Scene Masuk dan Pemilihan Skenario	66
Gambar 4.8 Popup Pemulihan Sesi dan Mode Pemulihan pada Scene Masuk	69
Gambar 4.9 Tampilan Tangan Pemain dalam Simulasi.....	71
Gambar 4.10 Tampilan Marker pada Tiga State.....	73
Gambar 4.11 Payload PopupData saat Membuka Formulir	75
Gambar 4.12 Contoh actualCase pada Marker Material.....	78
Gambar 4.13 Peta Navigasi Skenario K3 dan Audit Lapangan.....	81
Gambar 4.14 Fungsi <i>Letterbox Scaling</i>	82
Gambar 4.15 <i>Routing</i> Formulir Berdasarkan markerType	83
Gambar 4.16 Form Inspeksi NPC dan Zona K3	84
Gambar 4.17 Popup Inspeksi Material.....	85
Gambar 4.18 Full Page Inspection 360°	86
Gambar 4.19 Tampilan <i>Planned Brief</i>	96
Gambar 4.20 Tampilan <i>Dashboard</i> Kurva S	97
Gambar 4.21 Tampilan Task Panel.....	98
Gambar 4.22 Tampilan Keybind HUD	98
Gambar 4.23 Payload Per Jawaban ke Validator	100
Gambar 4.24 Payload Akhir Sesi ke Validator	101



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.25 Fallback Klasifikasi UNKNOWN.....101



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Transkrip Wawancara.....	128
Lampiran 2 Catatan Observasi Lapangan	131
Lampiran 3 Berita Acara Penyerahan Dokumen dan Formulir Ekstraksi Data ...	132
Lampiran 4 Rancangan serta Konsep Awal Simulasi dan Validasi Ahli.....	133
Lampiran 5 Rancangan Awal Dan Validasi Ahli Skenario Audit Lapangan	134
Lampiran 6 Hasil Pengujian & Observasi UT	135
Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian.....	139





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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi web 3D memungkinkan konten tiga dimensi interaktif ditampilkan langsung di *browser* tanpa instalasi perangkat lunak tambahan (Popovici, Ratoiu and Anghelut, 2023). Web 3D merupakan istilah umum yang mencakup berbagai teknologi *rendering* berbasis web, dengan WebGL, Three.js, dan Babylon.js sebagai teknologi utama yang menyediakan cara berbeda untuk merender grafis 3D secara *real-time* di lingkungan browser. Teknologi ini telah dimanfaatkan di berbagai sektor industri sebagai platform simulasi pelatihan, seperti di bidang kesehatan untuk *onboarding* staf medis di lingkungan rumah sakit (Gobron *et al.*, 2025). Di sektor konstruksi, pemanfaatan simulasi untuk pelatihan juga telah dilakukan, seperti penggunaan *game engine* sebagai wadah simulasi operasi konstruksi (Osorio-Sandoval *et al.*, 2022) dan *serious game* sebagai media pelatihan perencanaan proyek (Martinez *et al.*, 2023), namun pendekatan tersebut belum memanfaatkan keunggulan web 3D yang dapat diakses langsung melalui browser tanpa instalasi. Alzarrad *et al.* (2024) menunjukkan bahwa simulasi interaktif dalam lingkungan virtual terbukti meningkatkan pemahaman peserta pelatihan terhadap kondisi dan risiko di lapangan dibandingkan metode konvensional. Potensi ini menjadikan web 3D sebagai platform yang relevan untuk menyampaikan simulasi pelatihan berbasis skenario di bidang yang memerlukan pengambilan keputusan kontekstual, termasuk pengawasan konstruksi.

Pengawas pelaksana merupakan personel dari perusahaan konsultan pengawas yang bertugas memastikan pekerjaan fisik kontraktor sesuai dengan dokumen kontrak, mencakup gambar kerja, RAB, RKS, serta ketentuan mutu dan waktu. Pembentukan kompetensi pengawas baru umumnya dilakukan melalui *on-the-job training* (OJT) berbasis lapangan, namun minimnya umpan balik terstruktur menjadi hambatan utama efektivitasnya (Razak dan Zahidi, 2024). Kondisi ini ditemukan di PT Bumi Madani, sebuah perusahaan konsultan pengawas konstruksi.



Berdasarkan wawancara dengan pengawas pelaksana, pendampingan pengawas baru tidak didukung oleh mekanisme formal seperti *form* penilaian, *checklist* kompetensi, maupun *milestone* terstruktur. Koreksi terhadap kesalahan dilakukan secara verbal langsung di lapangan tanpa dokumentasi yang memungkinkan pelacakan kelemahan. Kesalahan utama yang teridentifikasi adalah ketidakakuratan pengawas baru dalam menilai kondisi realisasi pekerjaan di lapangan. Narasumber menyampaikan bahwa sekitar 30% pengawas baru membutuhkan waktu adaptasi yang lebih lama. Observasi lapangan memvalidasi temuan ini: tidak teramati adanya *checklist* evaluasi, lembar penilaian, maupun media dokumentasi perkembangan selama proses pendampingan. Kondisi ini diperparah oleh beban kerja pengawas senior yang harus membagi waktu antara mengawasi proyeknya sendiri dan mendampingi pengawas baru, sehingga proses adaptasi menjadi kurang efisien. Jadallah *et al.* (2021) menemukan bahwa industri konstruksi secara umum masih kekurangan metode *assessment* terstruktur untuk mengukur efektivitas pelatihan tenaga kerjanya. Intinya, PT Bumi Madani belum memiliki instrumen pelatihan terstruktur dalam mekanisme OJT-nya, sehingga seluruh proses pembentukan kompetensi pengawas baru bergantung pada arahan verbal yang bersifat situasional dan tidak terukur.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, belum ditemukan penelitian yang mengembangkan simulator pelatihan pengawas konstruksi berbasis web 3D yang menerapkan arsitektur *multi-layer system* untuk mendukung mekanisme *on-the-job training* secara terstruktur. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada visualisasi operasi konstruksi, *serious game*, maupun simulasi berbasis *virtual reality* (Osorio-Sandoval *et al.*, 2022; Martinez *et al.*, 2023; Alzarrad *et al.*, 2024), tetapi belum mengintegrasikan mekanisme evaluasi keputusan dan umpan balik edukatif dalam konteks pelatihan pengawas pelaksana. Dari kajian tersebut teridentifikasi tiga celah penelitian: pertama, belum tersedia simulator pelatihan pengawas konstruksi yang berjalan langsung di *browser* tanpa instalasi; kedua, belum adanya mekanisme *on-the-job training* pengawas konstruksi yang terstruktur dan terukur; dan ketiga, belum diterapkannya arsitektur *multi-layer system* pada simulator pengawasan konstruksi. Ketiga celah inilah yang menjadi dasar posisi penelitian ini.

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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kebutuhan lapangan sekaligus celah penelitian tersebut menunjukkan perlunya media simulasi yang dapat merepresentasikan situasi lapangan secara visual untuk latihan pengawas baru sebelum penugasan. Penelitian ini mengusulkan simulator interaktif berbasis web 3D sebagai media pelatihan terstruktur yang diintegrasikan ke dalam mekanisme OJT pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani. Simulator dirancang agar pengawas baru dapat menjalani skenario inspeksi lapangan dalam lingkungan virtual. Setiap keputusan yang diambil pengguna kemudian dievaluasi oleh sistem dan ditindaklanjuti dengan umpan balik edukatif. Simulator dibangun menggunakan Unity dengan WebGL *build*, salah satu *output* teknologi web 3D yang memungkinkan konten 3D interaktif diakses melalui *browser* (Popovici, Ratoiu and Anghelut, 2023). Namun, konten Unity WebGL berjalan sepenuhnya di dalam *browser* dengan memori yang terbatas, sehingga kemampuan *me-render* antarmuka interaktif yang kompleks secara native juga terbatas (Boutsi, Ioannidis and Verykokou, 2023; Unity Documentation, 2023). Untuk mengatasi keterbatasan ini, simulator menerapkan arsitektur *multi-layer system: environment* 3D di-*render* oleh Unity, sementara komponen antarmuka interaktif dibangun sebagai lapisan HTML *overlay* yang ditumpuk di atas *canvas* Unity. Pendekatan arsitektur berlapis ini mendistribusikan beban *rendering* dan meningkatkan modularitas sistem (Rivas *et al.*, 2025).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D sebagai media pelatihan terstruktur dalam mekanisme OJT pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani. Dengan media ini, proses OJT yang sebelumnya bergantung pada arahan verbal tanpa evaluasi terukur dilengkapi dengan skenario inspeksi, umpan balik terstruktur, dan rekap evaluasi, sehingga pengawas baru memiliki kerangka prosedural dan pengalaman pengambilan keputusan awal sebelum ditugaskan ke proyek aktif.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:



1. Bagaimana merancang mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D untuk pelatihan pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani?
2. Bagaimana mengimplementasikan mekanisme simulasi tersebut ke dalam simulator berbasis web?
3. Bagaimana tingkat kelayakan simulator berdasarkan pengujian fungsional dan *usability*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi mekanisme simulasi interaktif, dan belum mencakup evaluasi dampak pelatihan atau pengukuran peningkatan kompetensi secara empiris.
2. Simulator tidak menampilkan konsekuensi keputusan pengguna secara visual di dalam environment 3D. Umpan balik disajikan melalui mekanisme terstruktur berupa klasifikasi hasil, penjelasan, serta deskripsi dampak dari setiap keputusan yang diambil.
3. Simulator dikembangkan khusus untuk pengawas pelaksana, sehingga belum mencakup kebutuhan peran lain seperti manajer proyek atau *quantity surveyor*.
4. Studi kasus dibatasi pada lingkup kerja dan standar pengawasan PT Bumi Madani, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasikan ke perusahaan konsultan lainnya.
5. Simulator diposisikan sebagai media pelatihan terstruktur yang diintegrasikan ke dalam mekanisme OJT untuk memberikan paparan prosedural dan umpan balik evaluatif sebelum penugasan lapangan, bukan sebagai pengganti pengalaman kerja langsung di proyek aktif, serta belum dirancang untuk menilai kesiapan kerja secara formal
6. Simulator dibangun menggunakan arsitektur *multi-layer system*, di mana environment 3D dijalankan pada Unity WebGL sementara komponen antarmuka interaktif dibangun sebagai HTML *overlay* yang ditumpuk di atas canvas Unity. Platform diakses melalui browser desktop, sehingga belum dioptimalkan untuk perangkat mobile.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

7. Pengembangan aset 3D disajikan di dalam simulator ini, namun proses pembuatannya dibahas pada penelitian lain yang dikerjakan oleh tim.
8. Validasi jawaban dilakukan melalui *rule engine* berbasis *forward chaining* pada server Node.js yang dikembangkan oleh penelitian tim lain. Fokus penelitian ini terbatas pada integrasi validator dengan alur simulasi.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

Merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D sebagai media pelatihan terstruktur untuk pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan media pelatihan terstruktur berbasis simulasi yang terintegrasi dalam mekanisme OJT, sehingga pengawas pelaksana baru memperoleh paparan prosedural dan umpan balik evaluatif sebelum penugasan lapangan pertama.
2. Menghasilkan artefak simulator interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D yang merepresentasikan lima aspek pengawasan proyek konstruksi (K3, material, metode pelaksanaan, kualitas pekerjaan, dan progres) dalam tiga skenario simulasi.
3. Memperkaya referensi perancangan sistem simulasi pelatihan berbasis web 3D untuk konteks pengawasan konstruksi, khususnya di perusahaan konsultan pengawas di Indonesia.
4. Melengkapi mekanisme OJT PT Bumi Madani yang sebelumnya tidak memiliki media pelatihan formal, dengan menyediakan media latihan dan evaluasi terstruktur yang dapat diakses kapan pun sebelum penugasan lapangan, sehingga mempercepat proses adaptasi pengawas baru.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

1. Bab I Pendahuluan memuat latar belakang penelitian mengenai kebutuhan media simulasi sebagai pendukung mekanisme OJT pengawas pelaksana pada proyek pembangunan, rumusan dan batasan masalah, tujuan serta manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka membahas teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian, meliputi simulasi interaktif, Unity WebGL, arsitektur *multi-layer system*, *web overlay layer*, *On-the-Job Training* pada konstruksi, *alpha beta testing*, *usability testing*, *Research & Development*, serta penelitian terdahulu.
3. Bab III Metode Penelitian menjelaskan rancangan dan tahapan penelitian, objek penelitian berupa studi kasus di PT Bumi Madani, serta teknik pengumpulan dan analisis data yang digunakan dalam penelitian.
4. Bab IV Pembahasan mencakup analisis kebutuhan, perancangan produk meliputi perancangan awal simulasi, validasi desain oleh ahli, desain final skenario, perancangan mekanisme simulasi dan arsitektur sistem, implementasi produk pada *layer* Unity WebGL, *layer* HTML *overlay*, serta *bridge* dan integrasi *rule engine*, dan pengujian sistem.
5. Bab V Penutup memuat kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

**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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Simulasi Interaktif

Simulasi merupakan representasi digital dari suatu sistem nyata atau konseptual yang memungkinkan pengamatan perilaku sistem dalam kondisi (Elendu *et al.*, 2024). Dalam pelatihan profesional, simulasi mereproduksi situasi kerja nyata ke dalam lingkungan digital sehingga peserta dapat merespons skenario tanpa risiko terhadap keselamatan atau aset fisik (Alzarrad *et al.*, 2024). *Simulator* merujuk pada perangkat lunak yang menjalankan simulasi tersebut dan menyediakan antarmuka interaksi bagi pengguna. Sardar *et al.* (2022) mendefinisikan *simulator fidelity* sebagai tingkat kedekatan simulator dalam mereplikasi realitas, dan menegaskan bahwa kualitas simulasi bergantung pada kemampuan simulator mereproduksi interaksi manusia-sistem secara realistis.

Simulasi interaktif membedakan dirinya dari simulasi pasif melalui pelibatan pengguna sebagai aktor aktif dalam sistem. Martinez *et al.* (2023) menerapkan konsep ini dalam *serious roleplaying game* untuk pelatihan perencana produksi konstruksi dan menemukan korelasi positif antara kualitas aliran informasi yang melibatkan keputusan aktif peserta dengan kualitas alur kerja konstruksi. Alzarrad *et al.* (2024) turut membuktikan efektivitas pendekatan ini: kelompok pekerja yang menjalani pelatihan berbasis simulasi VR interaktif menunjukkan peningkatan pengetahuan yang secara statistik signifikan dibandingkan kelompok pelatihan konvensional.

Lingkungan virtual 3D menjadi wadah spasial bagi simulasi interaktif. Keil *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa lingkungan virtual dibangun dengan memperhatikan relasi posisi antarobjek, struktur ruang, dan keterkaitan spasial tiga dimensi, sehingga pengguna memahami kondisi sistem secara kontekstual melalui eksplorasi visual. Osorio-Sandoval *et al.* (2022) menunjukkan bahwa *game engine* dapat mengintegrasikan model bangunan, simulasi operasi konstruksi, dan animasi berbasis hasil simulasi dalam satu lingkungan virtual, menempatkannya bukan



sekadar representasi visual melainkan ruang skenario terkontrol yang mendukung interaksi prosedural.

Aspek penting lainnya adalah perspektif yang diadopsi pengguna. *First-person perspective* menempatkan pengguna langsung pada sudut pandang karakter yang disimulasikan. Mühling *et al.* (2023) menemukan bahwa partisipan dengan perspektif orang pertama mempersepsikan tingkat imersi serta estimasi keberhasilan belajar yang lebih tinggi, dan mengidentifikasi hubungan antara *sense of control* dengan nilai didaktik yang dipersepsikan. Sperandeo *x`et al.*, (2023) melaporkan temuan serupa dimana perspektif orang pertama secara efektif mereplikasi tekanan situasional di lapangan sehingga membangun kesiapan prosedural sebelum penugasan nyata.

Dalam penelitian ini, konsep-konsep tersebut diterapkan secara integratif. Simulator menempatkan pengguna pada peran pengawas pelaksana yang menelusuri environment proyek pembangunan gedung SDN Duren Seribu 4 menggunakan perspektif orang pertama. Pengguna menginspeksi objek-objek di lapangan mulai dari NPC pekerja, item K3, material, hingga kondisi pekerjaan dan menerima evaluasi terstruktur atas setiap keputusan yang diambil. Environment 3D berubah sesuai progres mingguan pada skenario audit lapangan, mencakup area kerja, NPC pekerja, material, dan kondisi lapangan yang merepresentasikan kondisi aktual proyek pada minggu tertentu. Dengan demikian, lingkungan virtual berfungsi sebagai ruang skenario terkontrol yang memfasilitasi siklus pengambilan keputusan, evaluasi, dan refleksi dalam konteks pengawasan konstruksi.

2.2 Web 3D

Web 3D merupakan teknologi yang memungkinkan konten tiga dimensi interaktif ditampilkan langsung di *browser* tanpa instalasi perangkat lunak tambahan (Popovici, Ratoiu dan Anghelut, 2023). Berbagai pendekatan tersedia untuk menghadirkan konten 3D di *web*, mulai dari *library* JavaScript seperti Three.js dan Babylon.js, standar deklaratif seperti X3D, hingga *output build* dari *game engine* seperti Unity WebGL dan Godot (Seboka and Gidebo, 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Fondasi utama yang mendasari sebagian besar implementasi *web 3D* saat ini adalah *Web Graphics Library* (WebGL), yaitu JavaScript API yang memungkinkan *rendering* grafis 2D dan 3D secara *real-time* dengan memanfaatkan kemampuan GPU perangkat pengguna (MDN, 2025). WebGL merupakan API *cross-platform* dan *royalty-free* berbasis spesifikasi OpenGL ES yang berjalan langsung di *browser* tanpa *plugin* tambahan (Fransson, Hermansson and Hu, 2024). Karakteristik ini menjadikan WebGL sebagai lapisan *rendering* dasar yang digunakan baik secara langsung maupun melalui abstraksi *library* dan *engine* di atasnya.

Dalam penelitian ini, teknologi *web 3D* digunakan sebagai platform penyampaian simulator pelatihan yang dapat diakses melalui *browser*. Implementasi spesifik yang dipilih adalah Unity dengan *target build* WebGL.

2.3 Unity WebGL

Unity merupakan *game engine* lintas platform yang banyak digunakan untuk pengembangan aplikasi interaktif, termasuk simulasi pelatihan dan visualisasi 3D. Zheng *et al.* (2023) menunjukkan bahwa Unity bersama Unreal Engine merupakan salah satu dari dua platform dominan untuk pengembangan aplikasi visualisasi dan interaksi 3D berbasis BIM. Salah satu fitur yang menjadikan Unity relevan dalam konteks aplikasi berbasis web adalah dukungannya terhadap *target build* WebGL, yang memungkinkan aplikasi 3D dijalankan langsung di peramban tanpa instalasi tambahan maupun *plugin* pihak ketiga (Järvilä, 2021). Teknologi WebGL sendiri merupakan JavaScript API yang mendukung *rendering* grafis 2D dan 3D secara *real-time* dengan memanfaatkan kemampuan GPU perangkat pengguna (MDN, 2025).

Secara teknis, Unity mengompilasi kode C# menjadi WebAssembly melalui toolchain Emscripten, sementara *rendering* grafis ditangani melalui WebGL API berbasis spesifikasi OpenGL ES (Unity Documentation, 2026). Zheng *et al.* (2023) menekankan bahwa keunggulan pendekatan *game engine* dibandingkan WebGL murni terletak pada ketersediaan *workflow* pengembangan yang lebih matang, termasuk editor visual, sistem *scripting*, dan manajemen aset terintegrasi. (Järvilä, 2021) menambahkan bahwa pendekatan berbasis browser mendukung distribusi



aplikasi yang lebih mudah karena pengguna cukup mengakses URL tanpa proses instalasi.

Meskipun demikian, Unity WebGL memiliki sejumlah keterbatasan teknis yang perlu diperhitungkan dalam perancangan sistem:

1. Alokasi memori bergantung pada browser : Konten berjalan sepenuhnya di dalam browser dengan memori yang dialokasikan dari ruang memori browser itu sendiri, membatasi kompleksitas konten terutama pada perangkat dengan memori terbatas (Boutsis, Ioannidis and Verykokou, 2023; Unity Documentation, 2024).
2. Keterbatasan rendering UI kompleks : Sistem UI bawaan Unity (Canvas-based UI) pada build WebGL membebani *rendering pipeline* yang sama dengan environment 3D, sehingga kurang efisien untuk antarmuka interaktif kompleks (Unity Documentation, 2026).
3. Keterbatasan *threading* : Unity WebGL tidak mendukung multi-threading pada level C# karena keterbatasan model eksekusi WebAssembly di browser (Unity Documentation, 2023).
4. Kompatibilitas terbatas pada perangkat mobile. Unity Documentation (2023) secara eksplisit menyatakan bahwa WebGL build belum mendukung perangkat mobile secara resmi.

Dalam simulator ini, Unity WebGL berperan sebagai layer inti yang menangani rendering environment 3D proyek konstruksi, navigasi pemain dengan perspektif orang pertama, sistem marker interaktif untuk objek inspeksi, logika *actual case* yang menyimpan kondisi faktual setiap objek, serta komunikasi dengan layer lainnya. Keterbatasan Unity WebGL, khususnya dalam hal rendering UI kompleks dan alokasi memori menjadi salah satu dasar diterapkannya arsitektur multi-layer, di mana komponen antarmuka interaktif dipisahkan ke layer tersendiri yang dibangun dengan teknologi web standar.

2.4 Multi-Layer System Architecture

Arsitektur berlapis (*layered architecture*) merupakan pola perancangan perangkat lunak yang mengorganisasi komponen ke dalam lapisan-lapisan horizontal, di mana

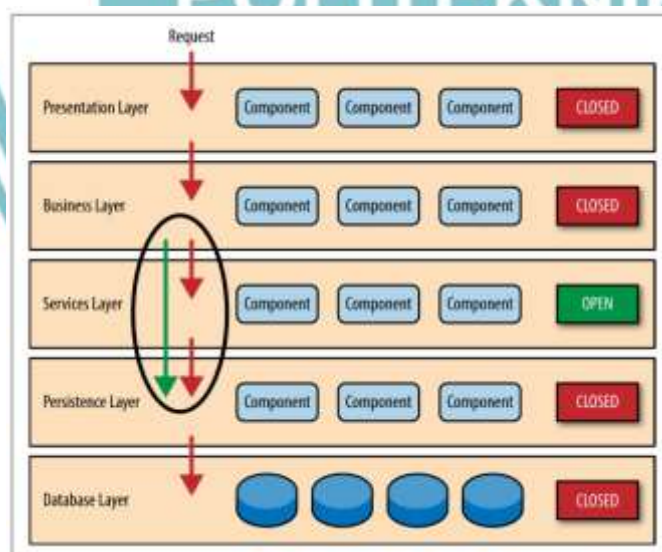


Hak Cipta :

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

setiap lapisan memiliki peran dan tanggung jawab spesifik (Richards, 2015). Prinsip utamanya adalah pemisahan kepentingan (*separation of concerns*), yang memastikan setiap lapisan hanya menangani aspek fungsional tertentu dan berkomunikasi dengan lapisan lain melalui antarmuka yang terdefinisi. Thakare dan Kiwelekar, 2021) memperkuat konsep ini dengan prinsip *layer isolation*, di mana lapisan tidak boleh bergantung pada detail implementasi lapisan lain. Evaluasi mereka terhadap lima sistem perangkat lunak menunjukkan bahwa tingkat kepatuhan terhadap prinsip berlapis berkorelasi dengan kemudahan pemeliharaan dan modularitas sistem. Rivas *et al.* (2025) menerapkan pendekatan ini pada sistem *mobile* terdistribusi untuk manajemen keadaan darurat di institusi pendidikan tinggi, dan menunjukkan bahwa arsitektur berlapis menyediakan dukungan arsitektural yang memadai untuk sistem terdistribusi yang kompleks.

Richards (2015) membedakan dua jenis lapisan dalam arsitektur berlapis berdasarkan aksesibilitasnya: *closed layer* dan *open layer*. Pada *closed layer*, *request* harus melewati setiap lapisan secara berurutan tanpa melewati lapisan mana pun. Sebaliknya, *open layer* memperbolehkan *request* untuk melewati lapisan tertentu dan langsung mengakses lapisan di bawahnya apabila lapisan yang dilewati tidak diperlukan dalam alur tersebut



Gambar 2.1 Konsep *open layer* dan alur *request*

Sumber: Richards (2015)



Pendekatan arsitektur berlapis memberikan sejumlah keuntungan yang relevan bagi pengembangan simulator interaktif (Richards, 2015; Thakare dan Kiwelekar, 2021):

1. Modularitas: setiap lapisan dapat dikembangkan oleh tim dengan keahlian berbeda secara paralel.
2. Isolasi masalah: *debugging* dipermudah karena masalah dapat diisolasi pada lapisan tertentu tanpa menelusuri seluruh sistem.
3. Skalabilitas: lapisan tertentu dapat diperbarui atau diganti tanpa memerlukan perubahan pada lapisan lain selama kontrak antarmuka dipertahankan.

Dalam penelitian ini, arsitektur *multi-layer* diterapkan dengan membagi sistem ke dalam tiga lapisan: *layer* Unity WebGL yang menangani *environment* 3D dan logika simulasi, *layer* HTML *overlay* yang menyajikan komponen antarmuka interaktif di atas *canvas* Unity, serta *layer* validator (Node.js) yang memproses evaluasi jawaban melalui *rule engine*. *Layer* HTML *overlay* bersifat *open*: untuk alur validasi, Unity mengirim *request* langsung ke validator melalui HTTP tanpa melalui *overlay*, sedangkan komunikasi Unity–*overlay* berlangsung dua arah melalui *bridge*. Selain pola *request-response* yang menuruni tumpukan lapisan, arsitektur ini menyediakan jalur notifikasi satu arah dari validator ke *overlay* untuk menampilkan hasil evaluasi tanpa melewati Unity. Jalur ini bersifat *event-driven* dan berbeda dari konsep *open layer* yang mengatur arah *request* menuruni lapisan, bukan komunikasi yang diinisiasi dari lapisan bawah (Richards, 2015). Pembagian ini mendistribusikan beban *rendering* dan memisahkan domain fungsional tiap lapisan, sejalan dengan prinsip *layer isolation* (Thakare dan Kiwelekar, 2021).

2.5 Web Overlay Layer

Dalam aplikasi WebGL, HTML *overlay* merupakan teknik yang lazim digunakan untuk menambahkan komponen antarmuka di atas konten grafis 3D. Pendekatan ini memanfaatkan CSS *z-index* dan *position: absolute* sehingga elemen HTML ditampilkan di atas *canvas* WebGL tanpa mengganggu *rendering* 3D (MDN, 2025). Wang, Xu and Li (2025) menggunakan pendekatan serupa dalam framework visualisasi seismik berbasis WebGL, memisahkan logika visualisasi dari logika interaksi antarmuka. Keuntungan utamanya adalah pemanfaatan kemampuan



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

rendering HTML/CSS yang sudah dioptimalkan browser untuk komponen UI, sementara canvas tetap fokus pada rendering grafis 3D.

Komunikasi antara kode C# di Unity dan JavaScript di browser dimungkinkan melalui mekanisme *jslib*. File *.jslib* dikompilasi bersama build WebGL sehingga fungsi JavaScript dapat dipanggil dari C# melalui atribut `DllImport("__Internal")` (Unity Technologies, 2024d). Untuk arah sebaliknya, JavaScript memanggil method pada `GameObject` di Unity menggunakan `unityInstance.SendMessage()`. Kombinasi kedua mekanisme ini membentuk *bridge* dua arah antara layer Unity dan layer HTML overlay.

Three.js yang merupakan library JavaScript open-source yang menyediakan abstraksi tingkat tinggi di atas WebGL API digunakan untuk menyederhanakan pembuatan konten 3D di lapisan overlay. Boutsis, Ioannidis, dan Verykokou (2023) menunjukkan bahwa library ini mampu menangani rendering model 3D beresolusi tinggi secara efisien melalui *view-dependent rendering* dan *geometric instancing*. Aspek penting lainnya adalah konsistensi tampilan lintas resolusi: teknik CSS transform scaling dengan pendekatan *letterbox* mengunci resolusi antarmuka pada dimensi tetap kemudian melakukan scaling proporsional, memastikan tata letak tetap konsisten tanpa distorsi di berbagai ukuran layar (Wang, Xu, & Li, 2025).

Dalam simulator ini, seluruh komponen UI interaktif dibangun sebagai elemen HTML di atas canvas Unity. Layer overlay dikunci pada resolusi 1920×1080 piksel dan di-scale dengan pendekatan *letterbox*. Mekanisme *jslib* menjadi jembatan dua arah: dari Unity, fungsi C# memanggil JavaScript melalui `DllImport`, sementara dari HTML, data dikirim kembali ke Unity melalui `SendMessage`. Three.js digunakan secara spesifik pada preview 3D model material dan scene inspeksi material 360° yang memungkinkan pengguna merotasi dan memeriksa model dari berbagai sudut. Dengan demikian, lapisan web overlay berfungsi sebagai komponen antarmuka yang mandiri secara rendering namun terintegrasi secara fungsional dengan layer Unity melalui protokol komunikasi yang terdefinisi.



2.6 On-the-Job Training pada Konstruksi

On-the-job training (OJT) merupakan pendekatan pembelajaran berbasis pengalaman yang menempatkan peserta langsung dalam lingkungan kerja nyata untuk memperoleh kompetensi melalui pelaksanaan tugas aktual (Carranza, 2025). Dalam industri konstruksi, OJT menjadi pendekatan utama pengembangan kompetensi karena sifat pekerjaan yang sangat kontekstual, keterampilan seperti pembacaan gambar kerja, pemantauan kualitas pekerjaan, dan pengambilan keputusan di lapangan sulit ditransfer sepenuhnya melalui pelatihan kelas konvensional. Manoharan *et al.* (2024) mengidentifikasi bahwa kompetensi kognitif dalam perencanaan konstruksi dan material merupakan kompetensi pengawas lapangan dengan dampak tertinggi terhadap efektivitas operasi proyek, menegaskan pentingnya paparan langsung terhadap konteks kerja. Jadallah *et al.*, (2021) dalam kerangka asesmen pelatihan konstruksi berbasis Kirkpatrick Model menekankan bahwa efektivitas pelatihan konstruksi bergantung pada kemampuannya mengubah perilaku kerja peserta di lapangan (*Level 3: Behavior*), bukan sekadar meningkatkan pengetahuan di ruang kelas.

Meskipun efektif dalam kontekstualisasi belajar, OJT memiliki sejumlah keterbatasan. (Carranza, 2025) menjelaskan bahwa OJT berkontribusi memperpendek *learning curve* melalui pengalaman langsung yang disertai supervisi, namun terdapat variasi adaptasi awal antarindividu yang dipengaruhi oleh kualitas pendampingan dan struktur mentoring. Abd Razak dan Zahidi (2024) mengidentifikasi bahwa keberhasilan transfer pelatihan ke kinerja kerja dipengaruhi oleh faktor individual, lingkungan kerja, dan desain pelatihan itu sendiri. Dalam konteks konstruksi secara spesifik, Jadallah *et al.* (2021) menemukan bahwa hanya sebagian kecil dari literatur pelatihan konstruksi yang mengukur perubahan perilaku atau dampak organisasional mayoritas hanya mengandalkan survei kepuasan. Selain itu, minimnya umpan balik terstruktur selama OJT menyulitkan peserta mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan secara sistematis, terutama bagi pengawas baru yang belum memiliki kerangka acuan berpikir yang memadai.

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 mengumuk dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Simulator diposisikan sebagai media pelatihan terstruktur yang diintegrasikan ke dalam mekanisme OJT untuk memberikan paparan prosedural dan umpan balik evaluatif sebelum penugasan lapangan, bukan sebagai pengganti pengalaman kerja langsung di proyek aktif, serta belum dirancang untuk menilai kesiapan kerja secara formal.

2.7 Kurva S

Kurva S merupakan grafik pengendalian proyek yang menggambarkan hubungan antara waktu pelaksanaan dan progres kumulatif pekerjaan. Dalam proyek konstruksi, Kurva S digunakan untuk membandingkan progres rencana dengan progres aktual sehingga keterlambatan atau deviasi pelaksanaan dapat diketahui secara visual. (Irawan *et al.*, 2023) menjelaskan bahwa Kurva S dapat digunakan dalam sistem pemantauan proyek untuk menampilkan perbandingan antara rencana pekerjaan dan realisasi progres proyek. Contoh tampilan Kurva S ditunjukkan pada Gambar 2.2, yang memperlihatkan perbandingan antara kurva rencana dan kurva realisasi dalam periode mingguan.



Gambar 2.2 Grafik Kurva S

Sumber Irawan et al. (2023)

Pada penelitian ini, Kurva S digunakan sebagai acuan visual dalam skenario audit lapangan untuk melatih pengguna membaca kesesuaian antara progres rencana dan kondisi aktual proyek. Pengguna tidak diminta menyusun Kurva S dari awal, melainkan menggunakan informasi progres mingguan sebagai dasar dalam



mengambil keputusan inspeksi. Dengan demikian, Kurva S diposisikan sebagai komponen pendukung simulasi yang membantu pengguna memahami deviasi progres, indikasi keterlambatan, dan kebutuhan tindak lanjut dalam pengawasan proyek konstruksi.

2.8 Alpha Beta Testing

Alpha testing merupakan pengujian internal yang dilakukan oleh tim pengembang dalam lingkungan terkendali sebelum produk diujikan kepada pihak eksternal. Pengujian ini berfokus pada verifikasi fungsionalitas sistem, yaitu memastikan bahwa setiap fitur dan mekanisme produk berjalan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Temuan yang diperoleh selama alpha testing berupa identifikasi bug, ketidaksesuaian alur, serta kesalahan tampilan yang kemudian diperbaiki sebelum produk memasuki fase pengujian berikutnya (Menora et al., 2023).

Beta testing merupakan pengujian eksternal yang dilakukan setelah produk dinyatakan lolos alpha testing. Pada fase ini, produk diujikan kepada perwakilan pengguna sesungguhnya untuk memperoleh umpan balik terkait pengalaman penggunaan secara langsung. Berbeda dengan alpha testing yang berfokus pada kesesuaian fungsional dari perspektif pengembang, beta testing berfokus pada penilaian dari perspektif pengguna akhir, mencakup kemudahan penggunaan, efektivitas penyampaian konten, serta kenyamanan interaksi dengan produk (Menora et al., 2023). Instrumen yang digunakan pada fase beta testing tidak terbatas pada satu metode tertentu, melainkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan evaluasi produk yang dikembangkan.

2.9 Usability Testing

Usability testing merupakan metode evaluasi berbasis tugas yang mengukur kemudahan penggunaan suatu produk melalui pelibatan langsung perwakilan pengguna sasaran. Dalam usability testing, responden diminta mengerjakan serangkaian skenario tugas yang merepresentasikan aktivitas nyata saat menggunakan produk, sementara pengamat mengidentifikasi permasalahan yang dialami pengguna selama proses pengerjaan. Jelonek et al. (2022) menerapkan usability testing pada evaluasi simulasi virtual reality untuk pelatihan keselamatan konstruksi, di mana responden mengerjakan skenario tugas pengoperasian alat

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dalam lingkungan virtual, kemudian dievaluasi berdasarkan aspek usability, user experience, dan efektivitas pembelajaran.

Data yang dikumpulkan selama usability testing mencakup keberhasilan penyelesaian tugas (task completion rate), pencatatan kesalahan atau hambatan yang dialami pengguna, serta umpan balik subjektif pengguna terhadap pengalaman penggunaan produk (Jelonek et al., 2022). Hasil evaluasi ini memberikan gambaran konkret mengenai permasalahan kegunaan yang dihadapi pengguna dan menjadi dasar perbaikan desain produk.

Task completion rate merupakan salah satu metrik *usability* yang paling mendasar dan dikumpulkan sebagai ukuran biner, yaitu nilai 1 apabila responden berhasil menyelesaikan tugas dan nilai 0 apabila gagal (Sauro and Lewis, 2012). Nilai *task completion rate* diperoleh melalui persamaan berikut.

$$\text{Task Completion Rate} = \frac{\text{Success Task}}{\text{Total task}} \times 100\%$$

Untuk menafsirkan nilai yang diperoleh, Sauro (2011) melaporkan bahwa rata-rata *task completion rate* dari analisis terhadap hampir 1.200 tugas pengujian *usability* adalah 78%, sehingga nilai tersebut dijadikan acuan batas rata-rata antara hasil yang tergolong baik dan kurang baik. Berdasarkan distribusi yang sama, posisi suatu nilai *task completion rate* dapat diinterpretasikan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Interpretasi Nilai *Task Completion Rate*

Sumber : (Sauro, 2011)

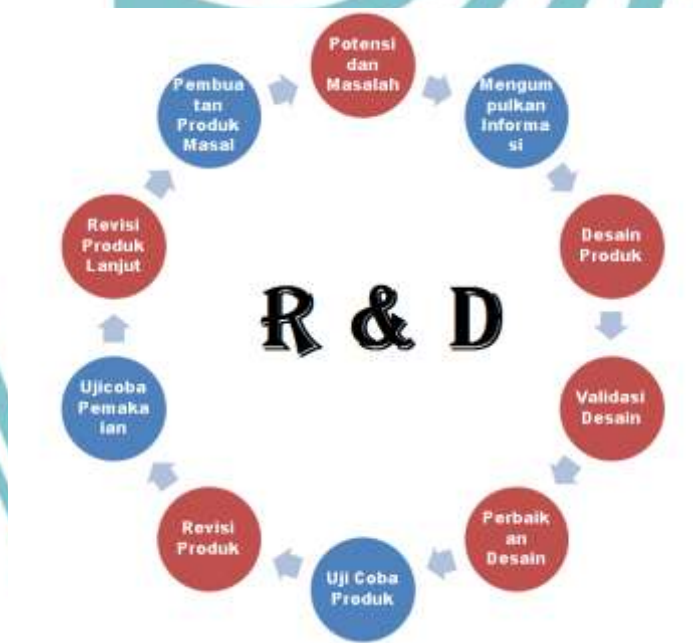
Rentang Nilai	Interpretasi
> 92%	Kuartil teratas
78% – 92%	Di atas rata-rata
49% – 78%	Di bawah rata-rata
< 49%	Kuartil terbawah

Acuan ini bersifat bergantung konteks. Untuk aplikasi yang bersifat *walk-up-and-use*, ambang penerimaan 70% lazim digunakan, sedangkan untuk sistem dengan konsekuensi kegagalan tinggi target idealnya mendekati 100% (Sauro, 2011).

Penggunaan ambang 78% sebagai dasar penentuan kategori efektivitas juga diterapkan oleh Amini, Pradnyana dan Wirawan, (2019) dalam evaluasi *usability* berbasis ISO 9241-11, di mana nilai rata-rata *completion rate* yang berada di atas ambang tersebut dikategorikan efektif.

Dalam penelitian ini, *usability testing* diposisikan sebagai instrumen evaluasi yang digunakan pada fase beta testing. Pengawas pelaksana dari PT Bumi Madani sebagai perwakilan pengguna sasaran akan menjalankan simulator melalui skenario tugas inspeksi yang telah dirancang. Hasil *usability testing* menjadi dasar keputusan dalam siklus R&D: apabila hasil evaluasi menunjukkan permasalahan *usability* yang signifikan, maka dilakukan perbaikan pada simulator dan evaluasi diulang hingga mencapai tingkat kegunaan yang memadai.

2.10 Research & Development



Gambar 2.3 Model Tahapan R&D Borg & Gall

Sumber: Husnayayin, Gustina, dan Dewi (2024)

Research and Development (R&D) merupakan metode penelitian yang berorientasi pada pengembangan produk melalui proses pengujian dan penyempurnaan secara bertahap. Husnayayin, Gustina dan Dewi (2024) menjelaskan bahwa metode R&D mengadaptasi model Borg dan Gall yang menempatkan produk sebagai pusat



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

penelitian, sehingga proses penelitian tidak berhenti pada perancangan, tetapi dilanjutkan dengan uji coba dan revisi hingga produk dinyatakan layak digunakan. Inti metode R&D terletak pada siklus pengembangan, pengujian, dan perbaikan produk secara sistematis.

Menurut Husnayayin, Gustina, dan Dewi (2024), tahapan utama dalam metode *Research and Development* meliputi:

1. Identifikasi potensi dan masalah, yaitu tahap awal untuk menentukan kebutuhan dan permasalahan yang menjadi dasar pengembangan produk.
2. Pengumpulan informasi, yaitu proses pengumpulan data pendukung sebagai bahan perancangan produk.
3. Perancangan produk, yaitu penyusunan konsep dan rancangan awal produk yang akan dikembangkan.
4. Validasi desain, yaitu penilaian ahli terhadap rancangan produk untuk memastikan kesesuaiannya dengan kebutuhan pengguna.
5. Perbaikan desain, yaitu penyempurnaan rancangan berdasarkan hasil validasi.
6. Uji coba produk, yaitu pengujian produk untuk mengetahui kinerja dan fungsinya.
7. Revisi produk, yaitu perbaikan produk berdasarkan hasil uji coba.
8. Uji coba pemakaian, yaitu pengujian produk dalam konteks penggunaan yang lebih luas.
9. Revisi produk lanjutan, yaitu penyempurnaan produk berdasarkan hasil uji coba pemakaian.
10. Penyempurnaan produk akhir, yaitu tahap finalisasi produk agar siap digunakan.

Setiap tahapan tersebut saling berkaitan dan membentuk siklus pengembangan produk yang berkelanjutan. Karakteristik utama metode R&D terletak pada keberadaan tahapan validasi, uji coba, dan revisi sebagai mekanisme pengendalian mutu produk. Husnayayin, Gustina, dan Dewi (2024) menegaskan bahwa produk hasil R&D tidak hanya dinilai dari aspek fungsi, tetapi juga dari kesesuaian terhadap kebutuhan pengguna serta efektivitas penerapannya. Dalam penelitian ini, metode R&D digunakan karena fokus penelitian adalah perancangan dan



implementasi mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D sebagai media pelatihan terstruktur untuk OJT pengawas pelaksana baru. Tahapan uji coba dan revisi menjadi relevan untuk memastikan setiap mekanisme yang dirancang, mulai dari sistem interaksi *marker*, *popup form* pada HTML *overlay*, penerimaan hasil klasifikasi, hingga tampilan umpan balik yang dimana berfungsi sebagaimana dirancang melalui *Black Box Testing* dengan teknik *Equivalence Partitioning*, serta dapat digunakan oleh target pengguna melalui evaluasi *usability* menggunakan *System Usability Scale* (SUS).

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang relevan dengan perancangan dan implementasi mekanisme simulasi interaktif berbasis web 3D untuk konteks pelatihan konstruksi ditinjau untuk memahami pendekatan, temuan, serta keterbatasan yang telah ada. Penelitian yang dipilih memiliki keterkaitan dengan aspek lingkungan virtual 3D, mekanisme interaksi pengguna, validasi berbasis aturan, dan simulasi sebagai media latihan. Tinjauan ini digunakan untuk memetakan posisi penelitian yang dilakukan sekaligus menegaskan celah penelitian yang menjadi dasar pengembangan mekanisme simulasi interaktif pada penelitian ini.

Tabel 2.2 Penelitian terdahulu

Peneliti & Tahun	Objek / Konteks	Pendekatan	Temuan Utama	Gap Penelitian	Posisi Penelitian Ini
(Osorio-Sandova l et al., 2022)	Simulasi operasi konstruksi berbasis BIM	<i>Framework</i> integrasi BIM dan <i>game engine</i> untuk simulasi operasi konstruksi	<i>Game engine</i> mampu mengintegrasikan model bangunan, simulasi operasi, dan animasi dalam satu lingkungan virtual sebagai ruang	Simulasi berfokus pada visualisasi operasi konstruksi dan belum menyediakan mekanisme interaksi di mana pengguna	Penelitian ini mengadaptasi konsep <i>game engine</i> sebagai wadah simulasi konstruksi, namun menambahkan siklus

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Peneliti & Tahun	Objek / Konteks	Pendekatan	Temuan Utama	Gap Penelitian	Posisi Penelitian Ini
			skenario terkontrol	mengambil keputusan pengawasan dan menerima evaluasi atas keputusan tersebut	interaksi keputusan-evaluasi-umpan balik yang dijalankan melalui arsitektur <i>multi-layer system</i> pada web 3D
(Martinez et al., 2023)	Pelatihan konstruksi berbasis <i>serious game</i>	Eksperimen simulasi terkontrol untuk mengukur <i>situational awareness</i> dan kualitas <i>workflow</i>	Simulasi terkontrol dapat meningkatkan pemahaman dan performa kerja, dengan mempertimbangkan efek <i>learning curve</i>	Simulasi dibangun sebagai aplikasi mandiri tanpa arsitektur berlapis yang memisahkan <i>environment 3D</i> dan antarmuka interaksi, serta tidak ditujukan untuk konteks pengawasan konstruksi	Penelitian ini menerapkan arsitektur <i>multi-layer system</i> yang memisahkan <i>rendering environment 3D</i> (Unity WebGL) dan komponen antarmuka interaktif (HTML overlay), difokuskan sebagai media pelatihan terstruktur untuk OJT

**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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Peneliti & Tahun	Objek / Konteks	Pendekatan	Temuan Utama	Gap Penelitian	Posisi Penelitian Ini
					pengawas pelaksana
(Alzarra d <i>et al.</i> , 2024)	Pelatihan keselamatan pekerja konstruksi	Simulasi VR interaktif untuk mitigasi risiko jatuh, dengan evaluasi komparatif terhadap pelatihan konvensional	Kelompok pelatihan VR menunjukkan peningkatan pengetahuan yang signifikan secara statistik ($p = 0,0016$) dibandingkan kelompok pelatihan konvensional	Simulasi berbasis VR <i>desktop</i> yang memerlukan instalasi aplikasi khusus, belum memanfaatkan platform web 3D yang dapat diakses melalui <i>browser</i> , serta berfokus pada keselamatan kerja bukan pengawasan mutu dan progres	Penelitian ini menggunakan platform web 3D berbasis <i>browser</i> tanpa instalasi tambahan, mencakup lima aspek pengawasan konstruksi (bukan hanya keselamatan), dan menerapkan arsitektur <i>multi-layer system</i> untuk memisahkan <i>environmen</i> t 3D dari antarmuka interaktif
(Gobron <i>et al.</i> , 2025)	<i>Onboarding</i> staf medis di unit gawat	Simulasi web 3D berbasis <i>browser</i> dengan <i>gamified</i>	90% penguji menilai <i>tool</i> membantu memahami struktur	Simulasi berfokus pada pengenalan lingkungan	Penelitian ini mengadaptasi konsep simulasi



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Peneliti & Tahun	Objek / Konteks	Pendekatan	Temuan Utama	Gap Penelitian	Posisi Penelitian Ini
	darurat rumah sakit	quest dan editor konten	departemen, dan 81% menilai berguna untuk staf baru; <i>quest editor</i> dinilai positif oleh 91% pengguna	fisik dan prosedur umum rumah sakit, tanpa mekanisme evaluasi keputusan pengguna maupun umpan balik klasifikasi terhadap tindakan yang diambil	<i>web 3D</i> berbasis <i>browser</i> untuk konteks yang berbeda (pengawasan konstruksi), dan menambahkan mekanisme evaluasi keputusan melalui <i>rule engine</i> eksternal yang hasilnya disajikan sebagai umpan balik edukatif melalui arsitektur <i>multi-layer system</i>



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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D sebagai media pelatihan terstruktur bagi pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D). Mengingat produk yang dikembangkan berupa perangkat lunak, tahapan R&D Borg and Gall diadaptasi secara terbatas sesuai kebutuhan pengembangan produk, sehingga alur penelitian disederhanakan menjadi identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan, implementasi, pengujian, dan revisi.

Pendekatan yang digunakan adalah *mixed methods* dengan dominasi deskriptif kualitatif. Komponen kualitatif menjadi tulang punggung penelitian: data kebutuhan sistem, kondisi OJT, dan aspek pengawasan diperoleh melalui wawancara, observasi, dan studi dokumentasi, lalu dianalisis secara deskriptif sebagai dasar perancangan dan penyempurnaan produk. Komponen kuantitatif berperan sebagai pendukung, yaitu pengukuran *task completion rate* pada tahap *beta testing* untuk mengukur tingkat keberhasilan penggunaan simulator secara terukur.

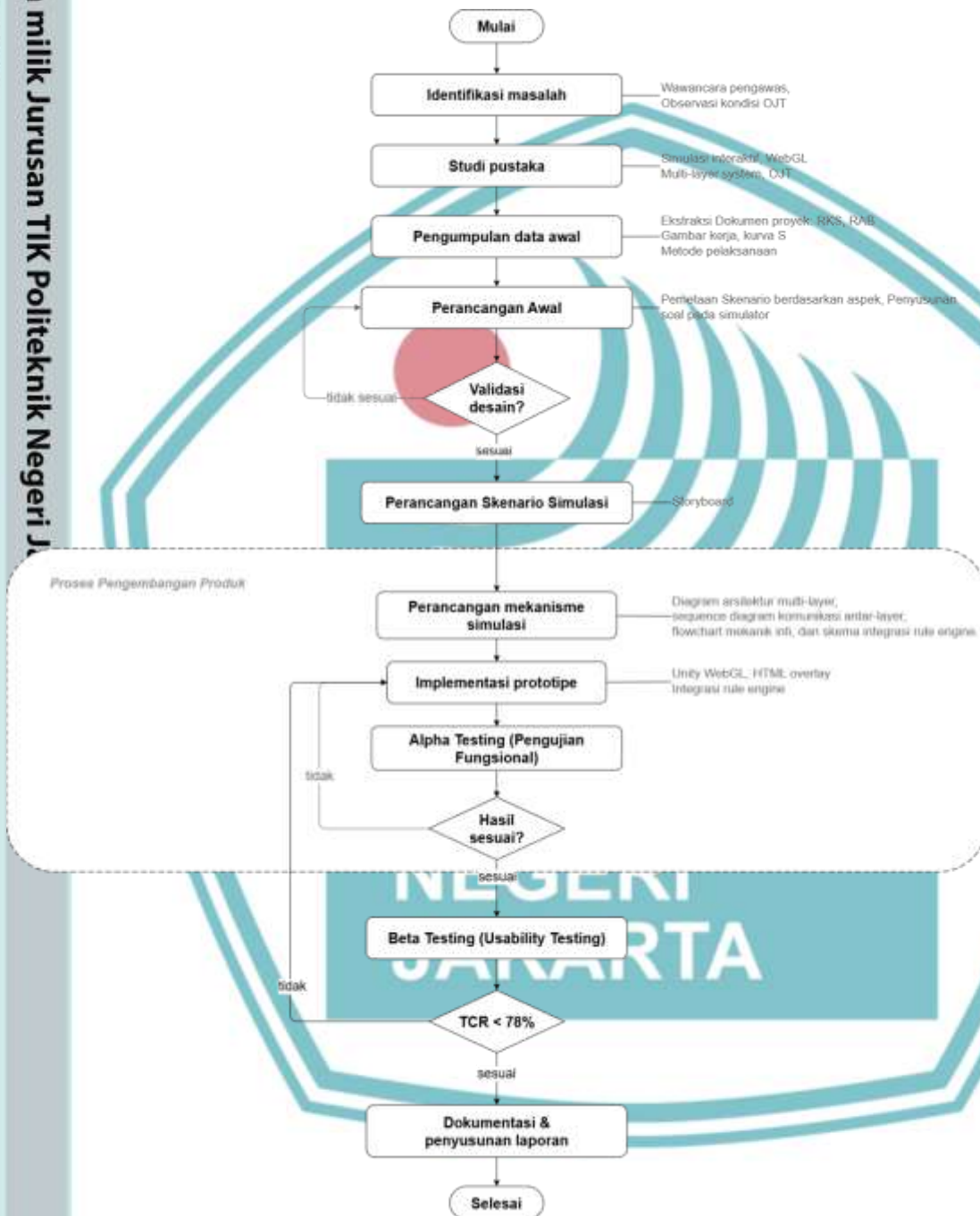
Evaluasi produk dilakukan melalui dua tahap pengujian yang saling melengkapi. *Alpha testing* dipilih sebagai pengujian fungsional internal untuk memverifikasi kesesuaian setiap mekanisme simulator dengan rancangan sebelum diujikan ke pengguna, sehingga kesalahan teknis dapat ditemukan dan diperbaiki lebih dulu. Setelahnya, *beta testing* melalui *usability testing* berbasis tugas dipilih untuk menilai kelayakan simulator dari sisi pengguna akhir, dengan *task completion rate* sebagai metrik keberhasilan tugas dan catatan observasi sebagai dasar identifikasi permasalahan kegunaan. Kombinasi keduanya memungkinkan simulator dievaluasi dari sisi kesesuaian fungsional sekaligus kemudahan penggunaan sebagai media pelatihan terstruktur.



3.2 Tahapan Penelitian

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian yang mengadaptasi metode *Research and Development* (R&D) untuk pengembangan simulator interaktif berbasis web 3D. Simulator ini dibangun dengan arsitektur *multi-layer system* sebagai media



pelatihan terstruktur untuk *on-the-job training* bagi pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani. Berdasarkan alur pada Gambar 3.1, tahapan penelitian dijabarkan sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah: Mengidentifikasi kebutuhan sistem melalui wawancara dan observasi lapangan untuk memahami mekanisme pendampingan pengawas baru yang berjalan di PT Bumi Madani.
2. Studi Pustaka: Mengkaji literatur terkait simulasi interaktif, *virtual environment* 3D, Unity WebGL, arsitektur *multi-layer system*, *web overlay layer*, *on-the-job training* pada konstruksi, serta aspek-aspek pengawasan lapangan sebagai landasan konseptual dan teknis penelitian.
3. Pengumpulan Data: Mengumpulkan data pendukung melalui metode studi dokumentasi dengan teknik ekstraksi data pada dokumen proyek yang meliputi RKS, RAB, gambar kerja, metode pelaksanaan, kurva S, serta standar pengawasan yang berlaku di PT Bumi Madani.
4. Perancangan awal: Menyusun konsep awal simulasi yang mencakup pemetaan skenario berdasarkan aspek pengawasan, pemetaan area dan objek inspeksi, serta penyusunan soal simulasi beserta mekanisme interaksi pengguna sebagai rancangan konsep produk.
5. Validasi Desain: Melakukan peninjauan kesesuaian konsep simulasi terhadap kebutuhan studi kasus dan tujuan penelitian melalui form validasi ahli. Apabila konsep belum sesuai, dilakukan revisi terhadap rancangan konsep dan ditinjau kembali hingga memenuhi kesesuaian.
6. Perancangan Skenario Simulasi: Menyusun rancangan skenario simulasi berdasarkan konsep yang telah divalidasi dan direvisi. Rancangan ini mencakup pemetaan objek atau tugas inspeksi serta storyboard untuk setiap skenario sebagai acuan implementasi prototipe.
7. Perancangan Mekanisme Simulasi: Merancang arsitektur teknis dan logika sistem yang mendasari jalannya simulasi, mencakup pembagian tanggung jawab antar-layer, alur komunikasi antar-komponen, logika mekanik inti simulator, serta integrasi dengan *rule engine*, yang diformalisasikan dalam diagram arsitektur *multi-layer*, *sequence diagram*, *flowchart* mekanik inti, dan skema integrasi *rule engine*.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

8. Implementasi Prototipe: Mengimplementasikan arsitektur *multi-layer system*, mekanisme simulasi, serta mekanik inti yang telah dirancang ke dalam Unity WebGL dan HTML *overlay*, termasuk integrasi dengan *rule engine* sebagai komponen validasi eksternal yang menerima jawaban pengguna dan mengembalikan hasil klasifikasi untuk ditampilkan sebagai umpan balik edukatif.
9. Pengujian Fungsional (*Alpha Testing*): Melakukan pengujian fungsional menggunakan metode *Alpha Testing* untuk memastikan setiap mekanisme simulasi beserta integrasinya dengan *rule engine* berjalan sesuai rancangan. Apabila hasil pengujian belum sesuai, dilakukan perbaikan pada prototipe dan pengujian diulang hingga seluruh mekanisme berfungsi sebagaimana dirancang.
10. Beta Testing (*Usability Testing*): Mengevaluasi simulator melalui *usability testing* berbasis tugas yang melibatkan pengguna akhir dari PT Bumi Madani. Responden menjalankan skenario tugas inspeksi yang telah dirancang, sementara pengamat mencatat keberhasilan penyelesaian tugas (*task completion rate*), hambatan yang dialami, serta umpan balik subjektif pengguna. Apabila *task completion rate* yang diperoleh kurang dari 78%, dilakukan perbaikan pada mekanisme simulasi dan pengujian diulang; apabila telah mencapai 78% atau lebih, simulator dinyatakan memenuhi tingkat kegunaan yang memadai.
11. Dokumentasi dan Penyusunan Laporan: Menyusun dokumentasi teknis dan laporan penelitian berdasarkan seluruh proses pengembangan, pengujian, dan evaluasi yang telah dilakukan.

Tahapan validasi desain, pengujian fungsional, dan evaluasi pengguna masing-masing memiliki siklus perbaikan yang memungkinkan proses kembali ke tahapan sebelumnya apabila hasil belum memenuhi kriteria. Mekanisme iteratif ini merupakan inti adaptasi metode R&D dalam penelitian ini, yang memastikan bahwa simulator tidak berhenti pada implementasi teknis tetapi melalui penyempurnaan bertahap hingga menghasilkan prototipe dengan kesesuaian fungsional dan tingkat *usability* yang memadai sebagai media pelatihan terstruktur untuk OJT pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani.



3.3 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D yang dikembangkan sebagai media pelatihan terstruktur untuk OJT pengawas pelaksana baru. Mekanisme tersebut mencakup alur interaksi pengguna dengan objek inspeksi di dalam *environment* 3D, komunikasi antar-layer melalui *bridge*, penyajian *popup form* inspeksi pada *HTML overlay*, penerimaan hasil klasifikasi dari *rule engine*, serta tampilan *feedback* edukatif yang dihasilkan dari setiap keputusan pengguna.

Studi kasus penelitian ini dilaksanakan pada PT Bumi Madani, sebuah perusahaan konsultan pengawas konstruksi yang berlokasi di Depok, Jawa Barat. Proyek yang dijadikan acuan dalam pemodelan skenario simulasi adalah proyek pembangunan gedung SDN Duren Seribu 4 yang diawasi oleh PT Bumi Madani. Data pengawasan dari proyek tersebut, meliputi RKS, RAB, gambar kerja, metode pelaksanaan, dan kurva S, digunakan sebagai dasar penyusunan skenario simulasi dan parameter evaluasi di dalam simulator.

3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari wawancara, observasi lapangan, studi dokumentasi, validasi ahli, *alpha testing*, dan *beta testing*.

1. Wawancara, dilakukan kepada pihak PT Bumi Madani dalam tiga sesi untuk memperoleh informasi mengenai kondisi *on-the-job training* (OJT), ruang lingkup pengawasan, kesalahan umum pengawas baru, aspek pengawasan lapangan, serta kebutuhan simulator sebagai media pelatihan. Hasil wawancara dianalisis untuk merumuskan aspek pengawasan dan kebutuhan awal simulator. Transkrip, topik, dan pedoman pertanyaan wawancara disajikan pada lampiran.
2. Observasi lapangan, dilakukan untuk memvalidasi hasil wawancara dengan melihat langsung pola pengawasan, dinamika kerja konsultan dan kontraktor, serta pola pendampingan pengawas baru di proyek aktif PT Bumi Madani. Hasil observasi digunakan untuk membandingkan temuan wawancara dengan kondisi

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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

lapangan, serta menjadi bahan pendukung dalam penyusunan kebutuhan simulator. Catatan observasi dan dokumentasi foto disajikan pada lampiran.

3. Studi dokumentasi, dilakukan terhadap dokumen proyek yang menjadi acuan pengawasan, seperti RKS, RAB, gambar kerja, kurva S, metode pelaksanaan, dan regulasi pendukung. Data dari dokumen tersebut diekstraksi untuk memperoleh parameter teknis yang digunakan dalam penyusunan skenario simulasi. Formulir dan hasil ekstraksi dokumen disajikan pada lampiran.
4. Validasi ahli, dilakukan untuk menilai kesesuaian rancangan awal simulator sebelum masuk ke tahap implementasi. Rancangan awal berupa konsep skenario, daftar soal, dan mekanisme interaksi awal disusun berdasarkan hasil wawancara, observasi, dan studi dokumentasi. Hasil validasi digunakan sebagai dasar revisi rancangan hingga diperoleh desain final simulator.
5. *Alpha testing*, dilakukan oleh pengembang untuk menguji kesesuaian fungsi sistem dengan rancangan, seperti alur simulasi, interaksi marker, tampilan form inspeksi, pengiriman jawaban, penerimaan hasil klasifikasi, dan tampilan umpan balik. Temuan pada tahap ini digunakan sebagai dasar perbaikan teknis sebelum produk diuji kepada pengguna.
6. *Beta testing* dilakukan kepada responden dari PT Bumi Madani melalui *usability testing* berbasis tugas. Jumlah responden mengacu pada rekomendasi bahwa 3–5 partisipan telah mampu mengidentifikasi mayoritas permasalahan kegunaan pada tahap evaluasi formatif (Nielsen, 1993). Responden menjalankan skenario tugas yang telah dirancang, sementara pengamat mencatat keberhasilan tugas dalam kategori Berhasil (B) dan Tidak Berhasil (TB).

3.4.2 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara deskriptif berdasarkan jenis data yang diperoleh pada tahap pengumpulan data, yaitu sebagai berikut:

1. Data wawancara dianalisis melalui transkrip untuk mengidentifikasi kondisi *on-the-job training* (OJT), ruang lingkup pengawasan, kesalahan umum pengawas baru, serta kebutuhan simulator. Hasil analisis wawancara digunakan sebagai



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dasar awal dalam merumuskan aspek pengawasan dan kebutuhan rancangan awal simulator.

2. Data observasi lapangan dianalisis untuk memvalidasi temuan wawancara dengan kondisi nyata di proyek. Catatan observasi digunakan untuk melihat kesesuaian antara informasi dari narasumber dengan praktik pengawasan di lapangan, khususnya terkait aspek pengawasan, dinamika kerja konsultan dan kontraktor, serta pola pendampingan pengawas baru.
3. Data studi dokumentasi dianalisis melalui proses ekstraksi dokumen proyek, seperti RKS, RAB, gambar kerja, kurva S, metode pelaksanaan, dan regulasi pendukung. Hasil ekstraksi digunakan untuk memperoleh parameter teknis yang dibutuhkan dalam penyusunan skenario, daftar soal, urutan pekerjaan, dan acuan penilaian dalam simulator.
4. Hasil analisis wawancara, observasi, dan studi dokumentasi disintesis menjadi rancangan awal simulator. Rancangan awal tersebut mencakup konsep skenario, daftar soal, dan mekanisme interaksi awal pada setiap skenario.
5. Data validasi ahli dianalisis untuk menilai kesesuaian rancangan awal simulator dengan kebutuhan pengawasan di PT Bumi Madani. Masukan dari ahli digunakan sebagai dasar revisi hingga menghasilkan desain final simulator yang dibahas pada Bab 4.
6. Data *alpha testing* dianalisis dengan mengelompokkan hasil pengujian ke dalam kategori Sesuai dan Belum Sesuai. Temuan yang masuk kategori Belum Sesuai digunakan sebagai dasar perbaikan fungsi sistem sebelum dilakukan *beta testing*.
7. Data *beta testing* dianalisis secara deskriptif berdasarkan *task completion rate* dan catatan observasi selama pengujian. *Task completion rate* digunakan untuk mengukur persentase tugas yang berhasil diselesaikan responden, sedangkan catatan observasi dianalisis untuk menelusuri penyebab kesulitan yang dialami dan mengidentifikasi bagian simulator yang perlu diperbaiki. Rincian rumus perhitungan *task completion rate* dan dasar interpretasinya dibahas pada sub-bab 4.4.2.2, sedangkan kategori observasi disajikan pada Tabel 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan pada simulator ini dilakukan melalui dua proses utama yang diadaptasi dari tahapan R&D pada penelitian ini, yaitu Identifikasi masalah dan P. Pertama, identifikasi masalah melalui tiga sesi wawancara semi-terstruktur dengan Konsultan dan Pengawas Pelaksana PT Bumi Madani serta satu sesi observasi lapangan non-partisipan pada proyek aktif perusahaan. Kedua, analisis terhadap lima jenis dokumen proyek SDN Duren Seribu untuk mengekstraksi parameter yang menjadi acuan konten simulator. Berdasarkan sintesis temuan tersebut, disusun kebutuhan simulator yang dirangkum pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Analisis Kebutuhan Simulator

Jenis Produk	Simulator Interaktif Berbasis Web 3D
Nama Produk	Simulator Pelatihan Pengawas Pelaksana Proyek Pembangunan
Target Audiens	Pengawas pelaksana baru di PT Bumi Madani yang akan menjalani fase pra-OJT sebelum penugasan ke proyek aktif
Tujuan Produk	Menyediakan media pelatihan terstruktur yang memberikan paparan prosedural dan umpan balik evaluatif terhadap aspek-aspek pengawasan lapangan, sehingga pengawas baru memiliki kerangka acuan sebelum ditugaskan ke proyek aktif
Konten	Aspek pengawasan lapangan yang menjadi ruang lingkup pelatihan meliputi K3, material, metode pelaksanaan, kualitas pekerjaan, dan progres. Acuan konten bersumber dari dokumen proyek SDN Duren Seribu 4 (RKS, RAB, gambar kerja, kurva S, metode pelaksanaan) serta regulasi terkait (Permenaker No.8/2010, Permen PUPR No.10/2021, SNI)
Fitur Utama	Lingkungan virtual 3D yang dapat ditelusuri menggunakan perspektif orang pertama; interaksi dengan objek inspeksi

**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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

	(NPC pekerja, item K3, material, kondisi pekerjaan); form inspeksi dengan opsi penilaian berdasarkan parameter dokumen proyek; evaluasi otomatis terhadap keputusan pengguna dengan klasifikasi hasil; umpan balik edukatif beserta rujukan dokumen acuan; lingkungan virtual yang merepresentasikan kondisi proyek pada periode waktu tertentu sesuai kurva S; estimasi progres berdasarkan kondisi visual; rekap evaluasi performa per aspek pengawasan
Output Produk	Aplikasi web yang diakses melalui browser desktop tanpa instalasi tambahan
Platform	Website
Kriteria Usability	<i>Task completion rate</i> minimal 78%
Kriteria Fungsionalitas	Seluruh mekanisme simulasi lolos alpha testing tanpa temuan berkategori Sedang atau Berat
Kesesuaian Konten	Parameter evaluasi dalam simulator sesuai dengan dokumen proyek SDN Duren Seribu 4 dan regulasi yang berlaku, divalidasi melalui form validasi ahli

4.2 Perancangan Produk

Sejalan dengan tahapan R&D yang diadaptasi pada penelitian ini, proses perancangan produk mencakup tiga fase utama yang dilaksanakan secara sekuensial, yaitu penyusunan konsep awal simulasi, validasi desain oleh ahli beserta revisi yang dihasilkan, serta penyusunan desain final yang menjadi acuan implementasi prototipe.

4.2.1 Perancangan Awal Simulasi

Pada tahap ini disusun konsep awal simulator yang mencakup pemetaan skenario berdasarkan aspek pengawasan, pemetaan area dan objek inspeksi, serta penyusunan soal simulasi beserta mekanisme interaksi pengguna. Konsep awal terdiri dari empat skenario yang merepresentasikan lima aspek pengawasan lapangan. Aspek administrasi proyek tidak dicakup karena sifatnya dokumentatif



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dan tidak melibatkan inspeksi lapangan secara langsung, sehingga simulator difokuskan pada aspek yang representatif terhadap aktivitas di lapangan. Keempat skenario tersebut adalah:

1. Skenario K3: merepresentasikan aspek keselamatan dan kesehatan kerja. Pengguna menginspeksi kelengkapan APD pekerja berdasarkan jenis pekerjaan dan perannya, serta mengevaluasi kesesuaian fasilitas K3 di setiap zona berdasarkan tingkat risikonya.
2. Skenario Material: merepresentasikan aspek pemeriksaan material. Pengguna memverifikasi kesesuaian spesifikasi material terhadap acuan dokumen proyek (RKS dan SNI).
3. Skenario Metode dan Mutu Pekerjaan: merepresentasikan aspek metode pelaksanaan dan kualitas pekerjaan secara terintegrasi. Pengguna mengamati kesesuaian tahapan kerja dengan metode pelaksanaan yang direncanakan serta mengidentifikasi cacat (*defect*) pada hasil pekerjaan.
4. Skenario Progres dan Deviasi: merepresentasikan aspek pengendalian progres pekerjaan. Pengguna mengevaluasi kesesuaian kondisi fisik lapangan terhadap bobot rencana pada kurva S serta menganalisis deviasi progres proyek.

Dari pemetaan keempat skenario di atas, disusun dokumen soal simulasi yang memuat kondisi lapangan, opsi interaksi, klasifikasi respons pengguna sebagai spesifikasi bagi rule-based validator (dikerjakan pada subjudul penelitian terpisah), serta dasar regulasi untuk setiap soal. Dokumen soal simulasi masing-masing skenario disajikan pada Lampiran 4. Penjabaran konsep secara rinci beserta storyboard dibahas pada sub bab desain final setelah melalui proses validasi oleh ahli.

4.2.2 Validasi Desain Oleh Ahli

Konsep awal keempat skenario simulasi yang telah disusun selanjutnya divalidasi oleh ahli untuk meninjau kesesuaiannya terhadap praktik pengawasan di lapangan. Validator yang dilibatkan adalah Konsultan PT Bumi Madani selaku praktisi pengawasan konstruksi yang juga menjadi narasumber pada tahap pengumpulan data awal. Penilaian dilakukan menggunakan formulir validasi ahli yang memuat

**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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

lima aspek penilaian sebagaimana ditetapkan pada instrumen penelitian di Bab 3. Formulir validasi yang telah diisi secara lengkap disajikan pada Lampiran 4.

Berdasarkan hasil validasi, empat dari lima aspek penilaian memperoleh status "Layak", yaitu kelengkapan aspek pengawasan, kesesuaian alur interaksi, kesesuaian parameter evaluasi, dan kecukupan mekanisme umpan balik. Satu aspek, yaitu kesesuaian skenario simulasi, memperoleh status "Layak dengan Revisi" yang secara spesifik mengarah pada dua skenario terakhir. Rangkuman masukan validator beserta implikasi perubahannya per skenario disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rangkuman Hasil Validasi Desain oleh Ahli

Skenario	Masukan Validator	Perubahan
K3	-	Tidak ada perubahan.
Material	-	Tidak ada perubahan.
Metode dan Mutu Pekerjaan	Perlu digabung dengan skenario Progres dan Deviasi. Validator menegaskan bahwa orientasi utama pengawas di lapangan adalah hasil pekerjaan yang dicek di setiap tahapan, bukan metode pelaksanaan. Metode merupakan ranah kontraktor dan baru ditelaah apabila hasil pekerjaan ditemukan tidak sesuai. Selain itu, pemisahan kedua skenario memutuskan rantai kerja pengawas yang di lapangan bersifat satu kesatuan, yaitu dari inspeksi kualitas per tahapan, akumulasi temuan kondisi fisik, estimasi bobot progres, perbandingan dengan kurva S, hingga	Digabung menjadi satu skenario baru (Skenario Simulasi Audit Lapangan) yang mengintegrasikan pengecekan kualitas hasil pekerjaan per tahapan dengan evaluasi progres terhadap kurva S dalam satu alur simulasi yang utuh.



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 mengumuk dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Skenario	Masukan Validator	Perubahan
	pengambilan tindakan berdasarkan deviasi.	
Progres dan Deviasi	Pada skenario ini pengguna diminta mengevaluasi bobot progres berdasarkan kondisi visual bangunan, namun <i>input</i> kondisi fisik yang menjadi dasar estimasi tersebut justru berada di skenario Metode dan Mutu yang terpisah, sehingga pengguna mengevaluasi progres tanpa terlebih dahulu melakukan inspeksi fisik sendiri.	

Berdasarkan catatan validasi tersebut, skenario K3 dan Material dapat dilanjutkan ke tahap penyusunan desain final tanpa perubahan konsep, sementara skenario Metode dan Mutu Pekerjaan serta Progres dan Deviasi memerlukan penggabungan terlebih dahulu. Proses penyusunan desain final untuk seluruh skenario, termasuk hasil penggabungan, dibahas pada sub bab berikutnya

4.2.3 Rancangan Skenario Simulasi

Rancangan skenario simulasi disusun berdasarkan analisis kebutuhan, rancangan awal, dan masukan dari proses validasi desain. Skenario dibagi menjadi tiga jenis, yaitu K3, Material, dan Audit lapangan, yang masing-masing merepresentasikan bentuk latihan inspeksi berbeda dalam konteks pengawasan proyek.

Setiap skenario disajikan melalui pemetaan objek atau tugas inspeksi serta storyboard. Pemetaan digunakan untuk menunjukkan cakupan pemeriksaan, sedangkan storyboard menjadi acuan tampilan dan interaksi pengguna dalam simulator.



4.2.3.1 Skenario Simulasi K3

Skenario K3 dirancang untuk melatih inspeksi keselamatan kerja pada area proyek. Pemeriksaan difokuskan pada kelengkapan APD pekerja, kesesuaian zona kerja, rambu dan pembatas area, serta fasilitas K3 seperti APAR dan kotak P3K. Pemetaan area, zona, objek inspeksi, dan tugas pengguna disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pemetaan Area, Zona, dan Tugas Pengguna pada Skenario K3

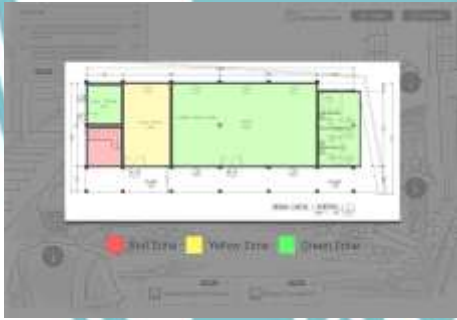
Kode Area	Nama Area	Zona	Pekerjaan Aktif	Pekerja / Objek di Area	Tugas Pengguna
A-TGG	Area Tangga	Merah	Pengecoran struktur tangga (bekisting, pembersian, dan pengecoran)	Tukang Beton, Tukang Besi	Inspeksi APD 2 pekerja dan Evaluasi zona
A-KPS	Ruang Kepala Sekolah	Kuning	Pemasangan rangka plafon gypsum (pekerjaan di ketinggian)	Tukang Plafon, Helper	Inspeksi APD 2 pekerja dan Evaluasi zona
A-KTR	Ruang Kantor	Hijau	Plester dan aci dinding (finishing dinding)	Tukang Finishing Dinding	Inspeksi APD 1 pekerja dan Evaluasi zona
A-KMD	Kamar Mandi	Hijau	Persiapan instalasi plumbing awal	Tukang Plumbing	Inspeksi APD 1 pekerja dan Evaluasi zona
A-PJG	Ruang Penjaga	Hijau	Tidak ada pekerjaan aktif (area relatif selesai)	APAR dan Kotak P3K (tanpa pekerja)	Inspeksi kondisi APAR dan P3K serta Evaluasi zona

Berdasarkan pemetaan tersebut, rancangan tampilan dan interaksi pengguna disusun ke dalam *storyboard* pada Tabel 4.4.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.4 Storyboard Skenario K3

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
1		Spawn dan Membaca Briefing Pengenalan Tugas	Pengguna spawn di titik awal area proyek. Terdapat <i>Task Panel</i> yang berisikan tugas yang harus dilakukan oleh pengguna.
2		Membuka Peta Area	Pengguna membuka peta proyek yang menampilkan lima zona inspeksi beserta kode warna tingkat risiko: merah (A-TGG), kuning (A-KPS), dan hijau (A-KTR, A-KMD, A-PJG). Pengguna bebas menentukan urutan area yang dikunjungi.
3		Navigasi ke Area Tangga (A-TGG)	Pengguna memasuki area pengecoran struktur tangga. Terdapat 2 marker Pekerja (Tukang Beton dan Tukang Besi) serta 1 marker evaluasi zona merah. Pada setiap marker Pekerja, pengguna

© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

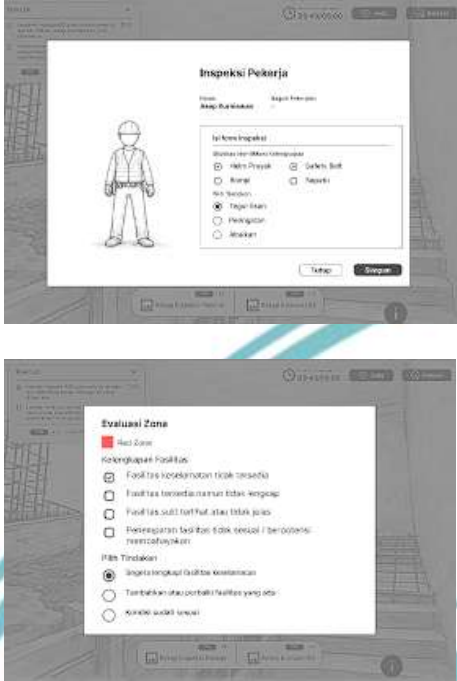
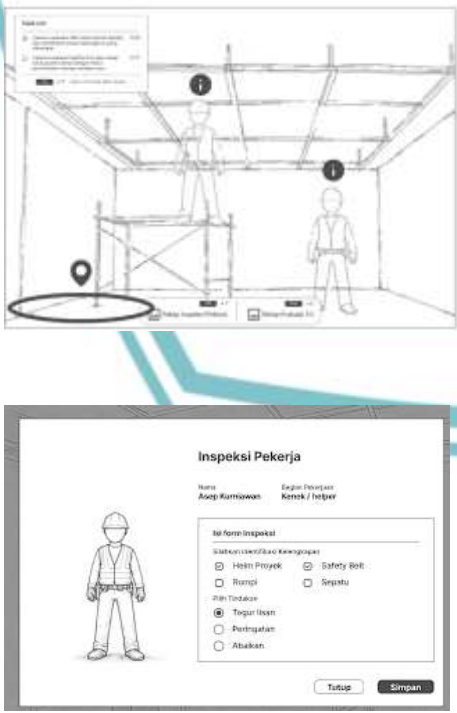
Hak Cipta :

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 dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			membuka formulir inspeksi APD yang menampilkan model 3D pekerja yang dapat diputar, disertai checklist kelengkapan APD dan pilihan tindakan. Pada marker evaluasi zona, pengguna membuka formulir evaluasi kondisi fasilitas keselamatan beserta pilihan tindakan. Setiap formulir yang di-submit menghasilkan umpan balik berupa klasifikasi hasil beserta penjelasan edukatif.
4		Navigasi ke R. Kepala Sekolah (A-KPS)	Pengguna memasuki area pemasangan rangka plafon gypsum di ketinggian. Terdapat 2 marker Pekerja (Tukang Plafon dan Helper) serta 1 marker evaluasi zona kuning. Formulir inspeksi APD dan formulir evaluasi zona mengikuti format yang sama seperti pada Scene 3 dengan konten yang disesuaikan terhadap kondisi area ini.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
5		Navigasi ke R. Kantor (A-KTR)	Pengguna memasuki area pekerjaan plester dan aci dinding. Terdapat 1 <i>marker</i> Pekerja (Tukang <i>Finishing</i> Dinding) serta 1 <i>marker</i> evaluasi zona hijau. Formulir inspeksi APD dan formulir evaluasi zona mengikuti format yang sama seperti pada Scene 3.
6		Navigasi ke Kamar Mandi (A-KMD)	Pengguna memasuki area persiapan instalasi <i>plumbing</i> . Terdapat 1 <i>marker</i> Pekerja (Tukang <i>Plumbing</i>) serta 1 <i>marker</i> evaluasi zona hijau.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

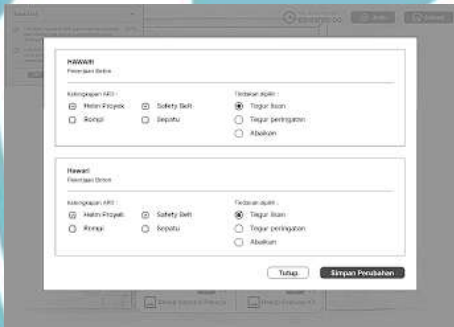
No	Scene	Keterangan	Deskripsi
	 		Formulir inspeksi APD dan formulir evaluasi zona mengikuti format yang sama seperti pada Scene 3.
7	 	Navigasi ke R. Penjaga (A-PJG)	Pengguna memasuki area tanpa pekerjaan aktif. Terdapat 2 marker item K3 (Kotak P3K dan APAR) serta 1 marker evaluasi zona hijau. Pada marker Kotak P3K, pengguna membuka formulir inspeksi yang menampilkan model 3D Kotak P3K yang dapat diputar, disertai pilihan status kondisi; apabila ditemukan ketidaksesuaian.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			muncul checklist jenis temuan dan pilihan tindakan. Pada marker APAR, formulir inspeksi mengikuti format yang sama dengan checklist jenis temuan yang disesuaikan terhadap kondisi APAR. Formulir evaluasi zona mengikuti format yang sama seperti pada Scene 3.
8		Membuka Panel Rekap	Pengguna membuka panel rekap yang menampilkan seluruh jawaban beserta klasifikasi hasil dari setiap titik inspeksi yang telah diselesaikan, baik secara kronologis maupun dikelompokkan berdasarkan tipe klasifikasi.
9		Konfirmasi dan Selesai	Pengguna menekan tombol <i>submit</i> yang memunculkan <i>pop-up</i> konfirmasi. Setelah dikonfirmasi, data jawaban dikirim ke server untuk disimpan dan pengguna kembali ke menu utama.

Storyboard tersebut menggambarkan alur inspeksi K3 secara menyeluruh, dari pengarahan awal, eksplorasi area berdasarkan tingkat risiko, inspeksi pada tiap marker, hingga rekap dan pengiriman hasil di akhir sesi.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.2.3.2 Skenario Simulasi Material

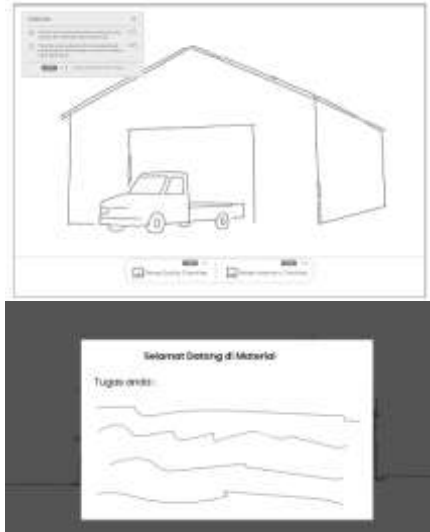
Skenario Material dirancang untuk melatih pemeriksaan kesesuaian spesifikasi material yang masuk ke proyek. Pemeriksaan difokuskan pada material struktural dan material *finishing* yang mengacu pada dokumen proyek, yaitu semen Portland, baja tulangan, pasir dan batu split, keramik lantai, serta plafon gypsum. Setiap jenis material direpresentasikan oleh dua objek dengan kondisi berbeda, sehingga total terdapat sepuluh objek inspeksi. Pemetaan material dan objek inspeksi disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pemetaan Material dan Objek Inspeksi pada Skenario Material

No	Jenis Material	Kategori	Jumlah Objek
1	Semen Portland	Struktural	2
2	Baja Tulangan	Struktural	2
3	Pasir dan Batu Split (Agregat)	Struktural	2
4	Keramik 60×60 cm	Finishing	2
5	Plafon Gypsum 9 mm	Finishing	2

Berdasarkan pemetaan tersebut, rancangan tampilan dan interaksi pengguna disusun ke dalam *storyboard* pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Storyboard Skenario Material

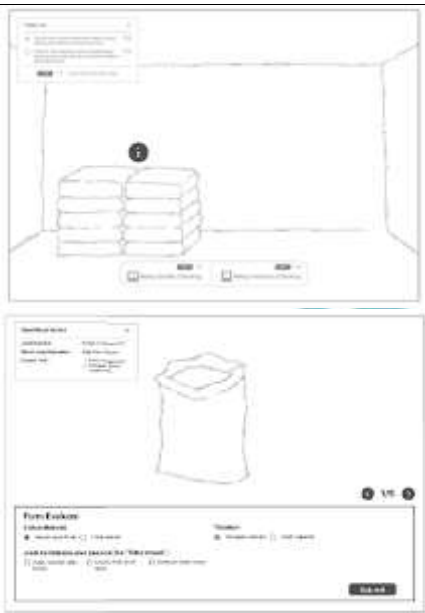
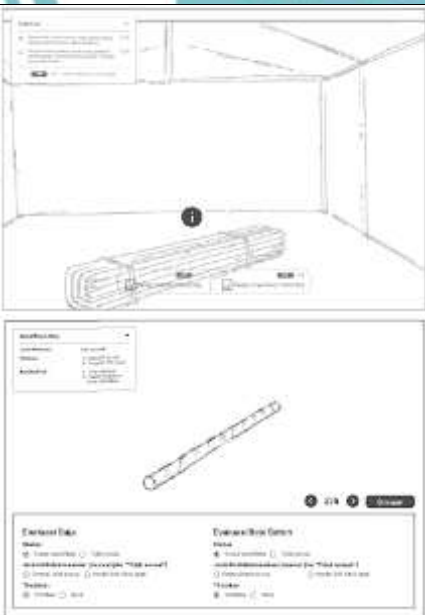
No	Scene	Keterangan	Deskripsi
1		Spawn dan Membaca Brief Tugas Pengecekan	Pengguna <i>spawn</i> di area Gudang dan membaca tugas dalam pengecekan material skenario ini.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

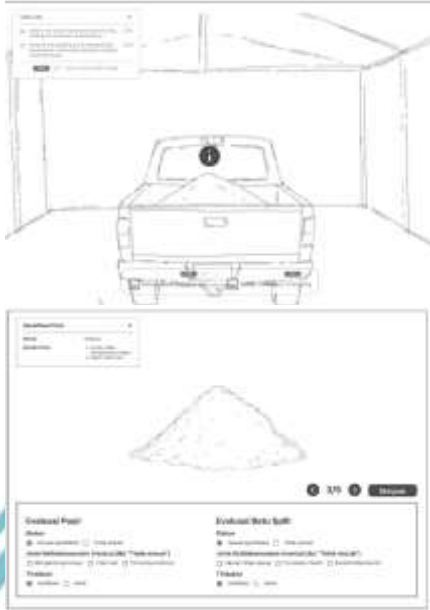
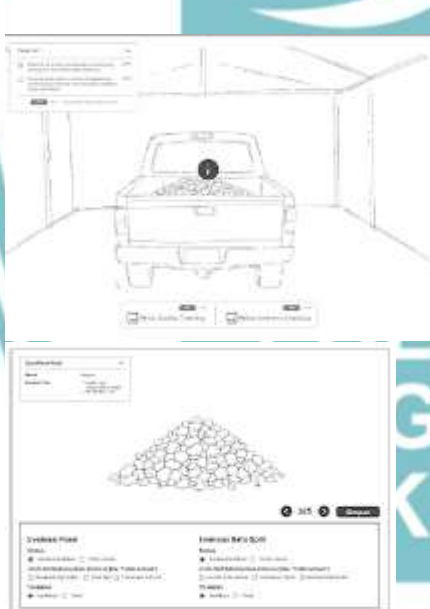
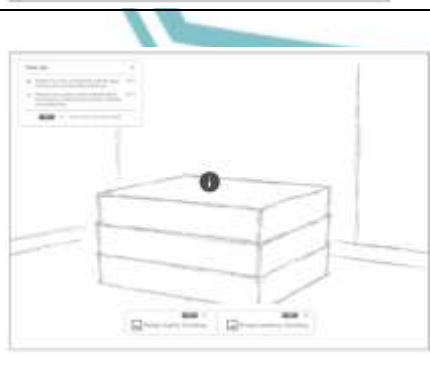
Hak Cipta :

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
2		Inspeksi Semen Portland	Pengguna menekan tombol interaksi pada marker tumpukan semen untuk membuka <i>popup</i> formulir inspeksi 360°. <i>Popup</i> menampilkan model 3D sampel semen untuk pengecekan yang dapat diputar dan diperbesar beserta panel spesifikasi acuan di sisi kiri. Pengguna mengisi formulir evaluasi berupa status kesesuaian material; apabila ditemukan ketidaksesuaian, muncul checklist jenis temuan dan pilihan tindakan. Setelah di- <i>submit</i> , pengguna menerima hasil klasifikasi beserta keterangan dari validator.
3		Inspeksi Baja Tulangan	Pengguna menekan marker tumpukan baja untuk membuka <i>popup</i> formulir inspeksi 360° dengan panel spesifikasi acuan yang sesuai. Formulir evaluasi mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap material ini.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
4		Inspeksi Pasir	Pengguna menekan marker tumpukan pasir yang berada di dalam truk untuk membuka <i>popup</i> formulir inspeksi 360° dengan panel spesifikasi acuan yang sesuai. Formulir evaluasi mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap material ini.
5		Inspeksi Batu Split	Pengguna menekan marker tumpukan batu split untuk membuka <i>popup</i> formulir inspeksi 360° dengan panel spesifikasi acuan yang sesuai. Formulir evaluasi mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap material ini.
6		Inspeksi Keramik 60×60 cm	Pengguna menekan marker tumpukan keramik untuk membuka <i>popup</i> formulir inspeksi 360° dengan panel spesifikasi acuan yang sesuai. Formulir evaluasi mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			disesuaikan terhadap material ini.
7		Inspeksi Plafon Gypsum 9 mm	Pengguna menekan marker tumpukan gypsum untuk membuka <i>popup</i> formulir inspeksi 360° dengan panel spesifikasi acuan yang sesuai. Formulir evaluasi mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap material ini.
8		Membuka Panel Rekap	Pengguna membuka panel rekap yang menampilkan seluruh jawaban beserta klasifikasi hasil dari setiap objek material yang telah dievaluasi, baik secara kronologis maupun dikelompokkan berdasarkan tipe klasifikasi.
9		Konfirmasi dan Selesai	Pengguna menekan tombol <i>submit</i> yang memunculkan <i>pop-up</i> konfirmasi. Setelah dikonfirmasi, data jawaban dikirim ke

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			server untuk disimpan dan pengguna kembali ke menu utama.

Storyboard tersebut menggambarkan alur inspeksi material secara menyeluruh, dari pengarahan awal, inspeksi tiap tumpukan material melalui *popup* 360°, hingga rekap dan pengiriman hasil di akhir sesi.

4.2.3.3 Skenario Simulasi Audit Lapangan

Skenario audit lapangan dirancang untuk menggabungkan inspeksi kualitas pekerjaan dan evaluasi progres proyek dalam satu rangkaian simulasi. Skenario ini merepresentasikan perkembangan fisik Gedung A pada Minggu ke-4 sampai Minggu ke-7 berdasarkan Kurva S Adjusted, sehingga pengguna dapat memeriksa kondisi pekerjaan sekaligus menilai kesesuaian progres terhadap rencana.

Pemetaan tahap pekerjaan, target progres, dan tugas pengguna per minggu disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pemetaan Tahap Pekerjaan dan Tugas Pengguna Per Minggu

Minggu	Periode	Tahap Pekerjaan Aktif	Objek Pengecekan Kualitas	Jumlah Soal	Status Deviasi
W4	14–20 Okt	Finalisasi pasangan bata Lt.1; pembesian kolom struktur Lt.2	Dinding bata Lt.1 (6 sampel); pembesian kolom Lt.2 (5 sampel)	11	–4,05% (Terlambat)
W5	21–27 Okt	Pengecoran kolom Lt.2; rangka plafon Lt.1; pembesian tangga	Kolom hasil cor Lt.2 (8 sampel); rangka plafon Lt.1 (3 ruangan); pembesian tangga (1)	12	–9,85% (Kritis)



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Minggu	Periode	Tahap Pekerjaan Aktif	Objek Pengecekan Kualitas	Jumlah Soal	Status Deviasi
W6	28 Okt–3 Nov	Plester dinding Lt.1; panel plafon Lt.1; hasil cor tangga; kusen Lt.1; rangka atap Lt.2; pasangan bata Lt.2	Plester dinding (4); panel plafon (3); hasil cor tangga (1); kusen (2); rangka atap (2); dinding bata Lt.2 (2)	14	–2,18% (Pemulihan)
W7	4–10 Nov	Plester Lt.1 selesai; pasangan bata Lt.2 selesai; penutup atap UPVC Lt.2; kusen Lt.2	Plester dinding Lt.1 (3); dinding bata Lt.2 (3); kusen Lt.2 (2)	8	+5,14% (Lebih Cepat)

Berdasarkan pemetaan tersebut, rancangan tampilan dan interaksi pengguna disusun ke dalam *storyboard* pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Storyboard Skenario Audit Lapangan

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
1		Briefing W4	Pengguna memasuki <i>environment</i> Gedung A pada kondisi Minggu ke-4. <i>Planned brief</i> menampilkan target pekerjaan minggu berjalan: pasangan bata Lt.1 berlanjut merata, bekisting dan pembesian tangga mulai, serta kusen Lt.1 mulai disiapkan.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

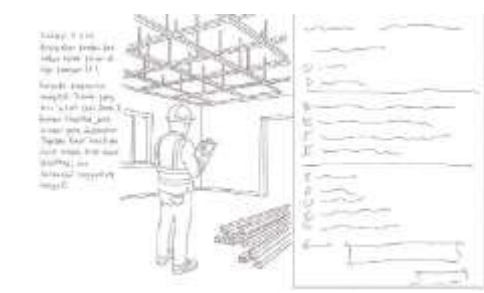
No	Scene	Keterangan	Deskripsi
2		Pengecekan Dinding Bata Lt.1	Terdapat 6 titik pengecekan dinding bata di area Lt.1. Pada setiap titik, pengguna membuka formulir pengecekan lapangan berupa penilaian status kondisi; apabila ditemukan ketidaksesuaian, muncul checklist jenis temuan dan pilihan tindakan. Setiap formulir yang di-submit menghasilkan umpan balik berupa klasifikasi hasil beserta penjelasan edukatif.
3		Pengecekan Pembesian Kolom Lt.2	Terdapat 5 titik pengecekan pembesian kolom struktur di Lt.2. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
4		Dashboard Kurva S dan Evaluasi Progres W4	Setelah seluruh titik pengecekan W4 diselesaikan, pengguna membuka Dashboard Kurva S yang menampilkan garis rencana dan



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			realisasi dengan deviasi kumulatif -4,05%. Pengguna mengisi formulir evaluasi progres berupa klasifikasi status dan pilihan tindakan.
5		Transisi dan Briefing W5	Environment berubah ke kondisi Minggu ke-5. Planned brief menampilkan target: pasangan bata Lt.1 lanjut, rangka awal atap dan plafon Lt.1 mulai, tangga lanjut, serta kusen Lt.1 sebagian terpasang.
6		Pengecekan Kolom Cor Lt.2	Terdapat 8 titik pengecekan kolom struktur Lt.2 yang telah dicor dan bekisting dibuka. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
7		Pengecekan Rangka Plafon Lt.1	Terdapat 3 titik pengecekan rangka besi hollow untuk plafon di tiga ruangan Lt.1. Formulir pengecekan mengikuti format

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
8		Pengecekan Pembesian Tangga	Terdapat 1 titik pengecekan tulangan tangga yang telah dirakit di dalam bekisting. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
9		Dashboard Kurva S dan Evaluasi Progres W5	Dashboard Kurva S menampilkan garis realisasi turun signifikan di bawah garis rencana. Deviasi kumulatif: -9,85%. Formulir evaluasi progres mengikuti format yang sama seperti pada Scene 4.
10		Transisi dan Briefing W6	Environment berubah ke kondisi Minggu ke-6. <i>Planned brief</i> menampilkan target: atap dan plafon Lt.1 lanjut, kusen Lt.1 lanjut, pasangan bata Lt.2 mulai aktif, serta rangka atap dan plafon Lt.2 mulai.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

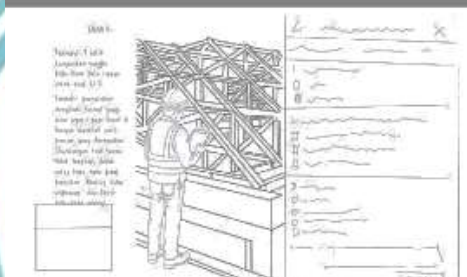
Hak Cipta :

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
11		Pengecekan Plester Lt.1	Terdapat 4 titik pengecekan plester dinding yang telah selesai di Lt.1. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
12		Pengecekan Panel Plafon Lt.1	Terdapat 3 titik pengecekan panel gypsum yang dipasang ke rangka besi hollow di tiga ruangan Lt.1. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
13		Pengecekan Hasil Cor Tangga	Terdapat 1 titik pengecekan tangga yang telah dicor dan bekisting dibongkar. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
14		Pengecekan Kusen Lt.1	Terdapat 2 titik pengecekan kusen aluminium yang telah dipasang di bukaan jendela Lt.1. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
15		Pengecekan Rangka Atap Lt.2	Terdapat 2 titik pengecekan rangka kuda-kuda baja ringan untuk atap Lt.2. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten yang disesuaikan terhadap objek ini.
16		Pengecekan Dinding Bata Lt.2	Terdapat 2 titik pengecekan dinding bata baru di Lt.2. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2.
17		Dashboard Kurva S dan Evaluasi Progres W6	Dashboard Kurva S menampilkan <i>recovery</i> signifikan dari deviasi sebelumnya. Deviasi kumulatif: -2,18%. Formulir evaluasi progres mengikuti format



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

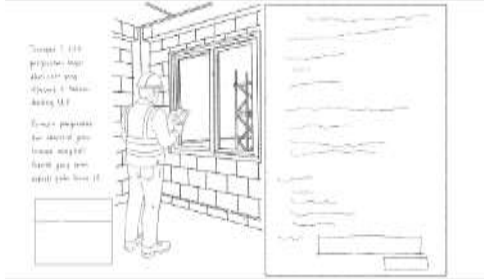
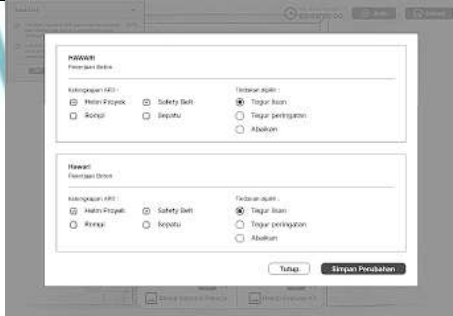
Hak Cipta :

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			yang sama seperti pada Scene 4.
18		Transisi dan Briefing W7	<i>Environment</i> berubah ke kondisi Minggu ke-7. <i>Planned brief</i> menampilkan target: pasangan bata Lt.2 lanjut, atap dan plafon dua lantai lanjut, kusen Lt.1 hampir selesai, serta pengecatan Lt.1 mulai.
19		Pengecekan Plester Lt.1	Terdapat 3 titik pengecekan plester dinding Lt.1 yang telah selesai. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 11.
20		Pengecekan Dinding Bata Lt.2	Terdapat 3 titik pengecekan dinding bata Lt.2. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2.
21		Pengecekan Penutup Atap UPVC Lt.2	Terdapat 2 titik pengecekan lembaran penutup atap UPVC yang dipasang di atas rangka baja ringan Lt.2. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 2 dengan konten

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
			yang disesuaikan terhadap objek ini.
22		Pengecekan Kusen Lt.2	Terdapat 2 titik pengecekan kusen aluminium yang dipasang di bukaan dinding Lt.2. Formulir pengecekan mengikuti format yang sama seperti pada Scene 14.
23		Dashboard Kurva S dan Evaluasi Progres W7	Dashboard Kurva S menampilkan garis realisasi telah melampaui garis rencana. Deviasi kumulatif: +5,14%. Formulir evaluasi progres mengikuti format yang sama seperti pada Scene 4.
24		Panel Rekap Final	Pengguna membuka panel rekap yang menampilkan akumulasi seluruh jawaban dari W4 hingga W7 beserta klasifikasi hasil dari setiap titik pengecekan, baik secara kronologis maupun dikelompokkan berdasarkan tipe klasifikasi.



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No	Scene	Keterangan	Deskripsi
25		Konfirmasi dan Selesai	Pengguna menekan tombol <i>submit</i> yang memunculkan <i>pop-up</i> konfirmasi. Setelah dikonfirmasi, seluruh data jawaban W4–W7 dikirim ke <i>server</i> untuk disimpan dan pengguna kembali ke menu utama.

Storyboard tersebut menggambarkan alur audit lapangan lintas empat minggu simulasi, dari pengarahan tiap minggu, pengecekan kualitas per titik, evaluasi progres melalui Dashboard Kurva S, hingga rekap akhir yang mengakumulasi seluruh hasil pengecekan.

4.2.4 Perancangan Mekanisme Simulasi

Berdasarkan desain skenario yang telah disusun pada sub-bab sebelumnya, perancangan mekanisme simulasi dilakukan untuk menentukan alur kerja utama yang mengatur jalannya interaksi pengguna di dalam simulator. Mekanisme ini dirancang agar setiap skenario memiliki pola penggunaan yang terstruktur, mulai dari pemilihan skenario, pelaksanaan inspeksi, pengisian formulir penilaian, validasi jawaban, hingga penyelesaian sesi simulasi. Perancangan mekanisme simulasi divisualisasikan melalui dua *flowchart*, yaitu *flowchart* alur simulasi keseluruhan dan *flowchart* siklus interaksi *marker*.

Flowchart pertama menggambarkan alur simulasi secara umum dari tahap pengguna melakukan login hingga kembali ke layar pemilihan skenario. Satu kali *login* dianggap sebagai satu sesi simulasi yang dapat mencakup lebih dari satu skenario. Setelah memilih skenario, sistem menjalankan alur sesuai jenis skenario yang dipilih. Skenario K3 dan skenario Material berjalan dalam satu scene, sedangkan skenario Audit Lapangan berjalan melalui empat *scene* berurutan yang merepresentasikan progres pekerjaan dari Minggu ke-4 sampai Minggu ke-7,



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dengan jawaban pengguna dipertahankan antar-scene. Pada setiap interaksi, jawaban divalidasi secara langsung oleh server untuk memberikan umpan balik klasifikasi kepada pengguna. Ketika sebuah skenario diselesaikan, pengguna dikembalikan ke layar pemilihan skenario dan skenario tersebut ditandai selesai, tanpa data langsung dikirimkan. Seluruh jawaban dari skenario-skenario yang telah dikerjakan dalam satu sesi baru dikirimkan sekali ke server saat pengguna menekan tombol "Selesai Sesi". Alur simulasi keseluruhan disajikan pada Gambar 4.1.



Hak Cipta :

- [illegible]

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer – Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

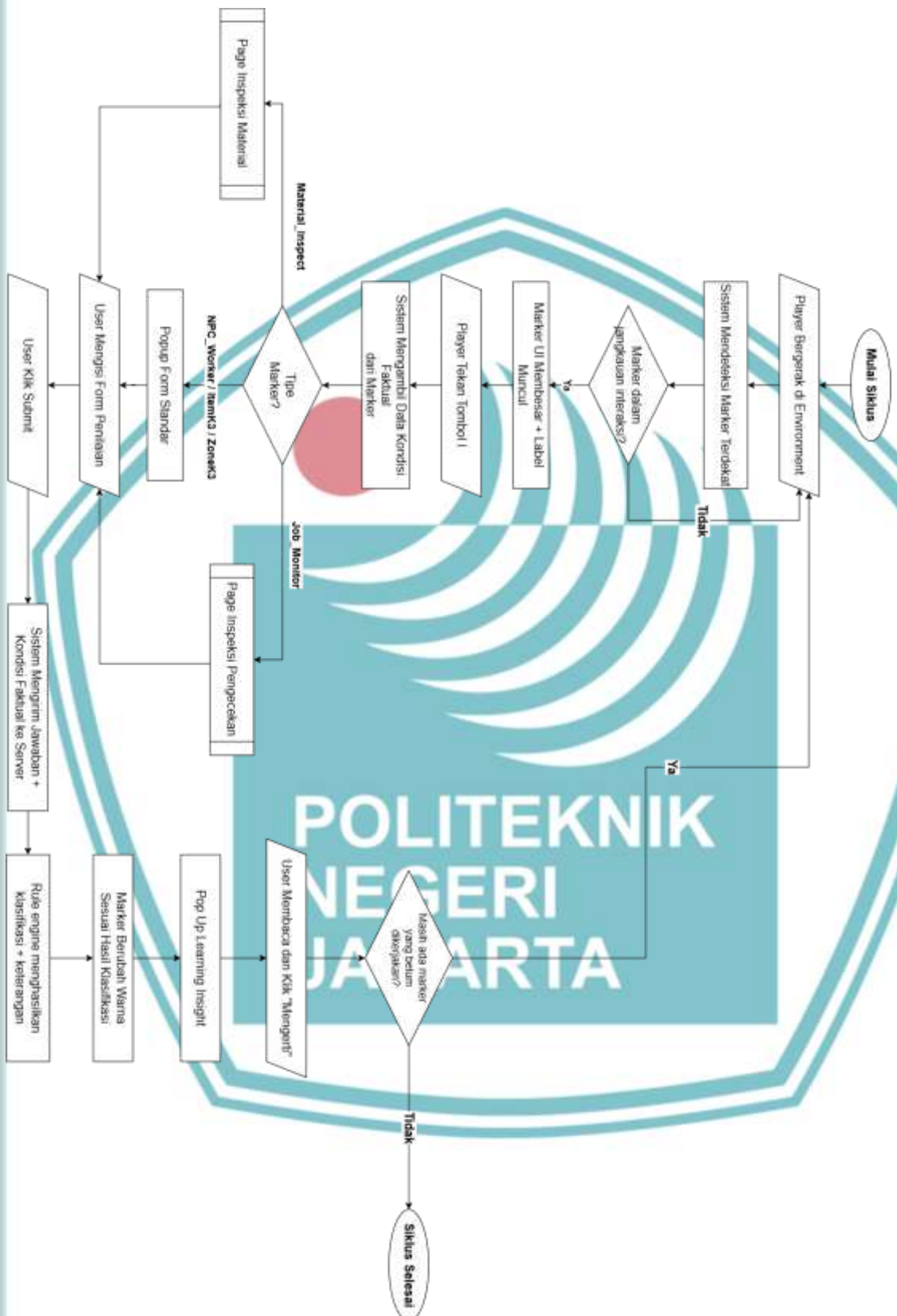
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Flowchart kedua menggambarkan siklus interaksi *marker* yang berlaku pada setiap titik inspeksi di dalam simulasi. Siklus ini dimulai ketika pengguna mendekati *marker* pada objek inspeksi tertentu. Setelah *marker* diaktifkan, sistem menampilkan formulir penilaian sesuai tipe inspeksi yang sedang dilakukan. Jawaban yang diberikan pengguna kemudian dikirimkan untuk divalidasi berdasarkan kondisi faktual objek dan aturan penilaian yang telah ditentukan pada sistem eksternal. Hasil klasifikasi dari proses validasi tersebut digunakan oleh simulator untuk menandai status interaksi, memperbarui progres inspeksi, dan memicu komponen umpan balik yang terintegrasi dalam alur simulasi.

Meskipun setiap skenario memiliki objek dan tugas inspeksi yang berbeda, pola interaksi dasarnya tetap menggunakan siklus yang sama. Perbedaan mekanik pada masing-masing skenario, seperti *visibility marker* berbasis zona pada skenario K3, inspeksi *multi-item* pada skenario Material, serta transisi mingguan pada skenario audit lapangan, telah dijelaskan melalui *storyboard* pada sub-bab 4.2.3. Dengan demikian, *flowchart* siklus interaksi *marker* pada bagian ini berfungsi sebagai rancangan umum mekanisme interaksi yang menghubungkan seluruh skenario simulasi. Siklus interaksi *marker* disajikan pada Gambar 4.2.



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Gambar 4.2 Flowchart Siklus Interaksi Marker

© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



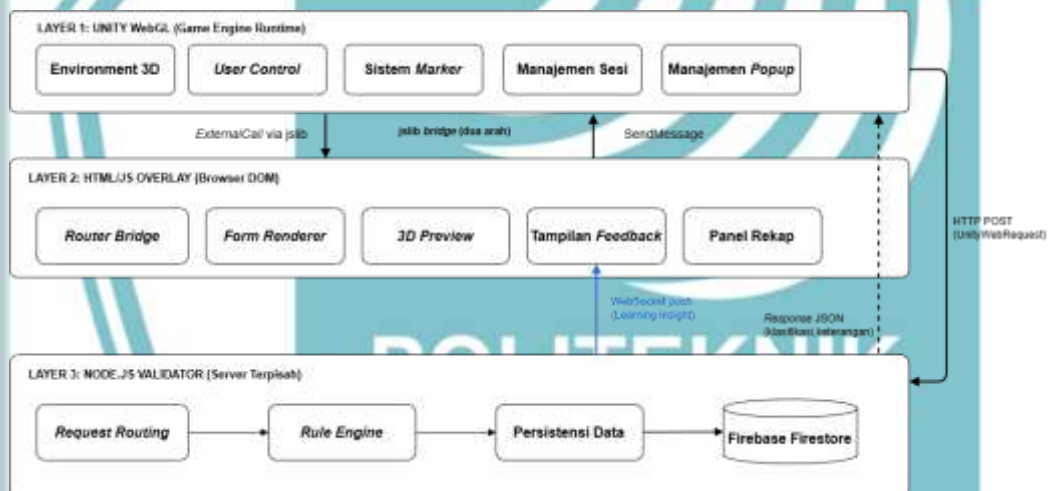
Hak Cipta :

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kedua *flowchart* tersebut menjadi acuan dasar mekanisme simulasi yang diterapkan pada seluruh skenario, yaitu alur sesi secara keseluruhan dan siklus interaksi pada tiap titik inspeksi. Acuan ini menjadi landasan bagi perancangan arsitektur sistem yang membagi peran antarkomponen dalam menjalankan mekanisme tersebut.

4.2.5 Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem dilakukan untuk menggambarkan pembagian peran antarkomponen dalam simulator. Sistem dirancang menggunakan pendekatan *multi-layer system* yang terdiri atas tiga *layer*, yaitu Unity WebGL, HTML/JS *overlay*, dan validator Node.js. Pembagian ini bertujuan agar visualisasi 3D, antarmuka interaktif, dan proses validasi jawaban dapat berjalan pada komponen yang berbeda sesuai fungsinya. Arsitektur sistem disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram Arsitektur

Layer Unity WebGL berperan sebagai pusat mekanisme simulasi. Komponen ini mengatur *environment* 3D, navigasi pengguna, interaksi dengan *marker*, pengelolaan sesi, serta perubahan status objek setelah tugas inspeksi diselesaikan. Sementara itu, *layer* HTML/JS *overlay* digunakan untuk menampilkan antarmuka interaktif di atas *canvas* Unity, seperti formulir inspeksi dan tampilan inspeksi 360 derajat. Pemisahan ini membuat Unity tetap berfokus pada simulasi 3D, sedangkan kebutuhan antarmuka ditangani oleh teknologi web.

Layer validator Node.js berperan sebagai komponen eksternal yang menerima jawaban pengguna dan mengembalikan hasil klasifikasi. Dalam penelitian ini,



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

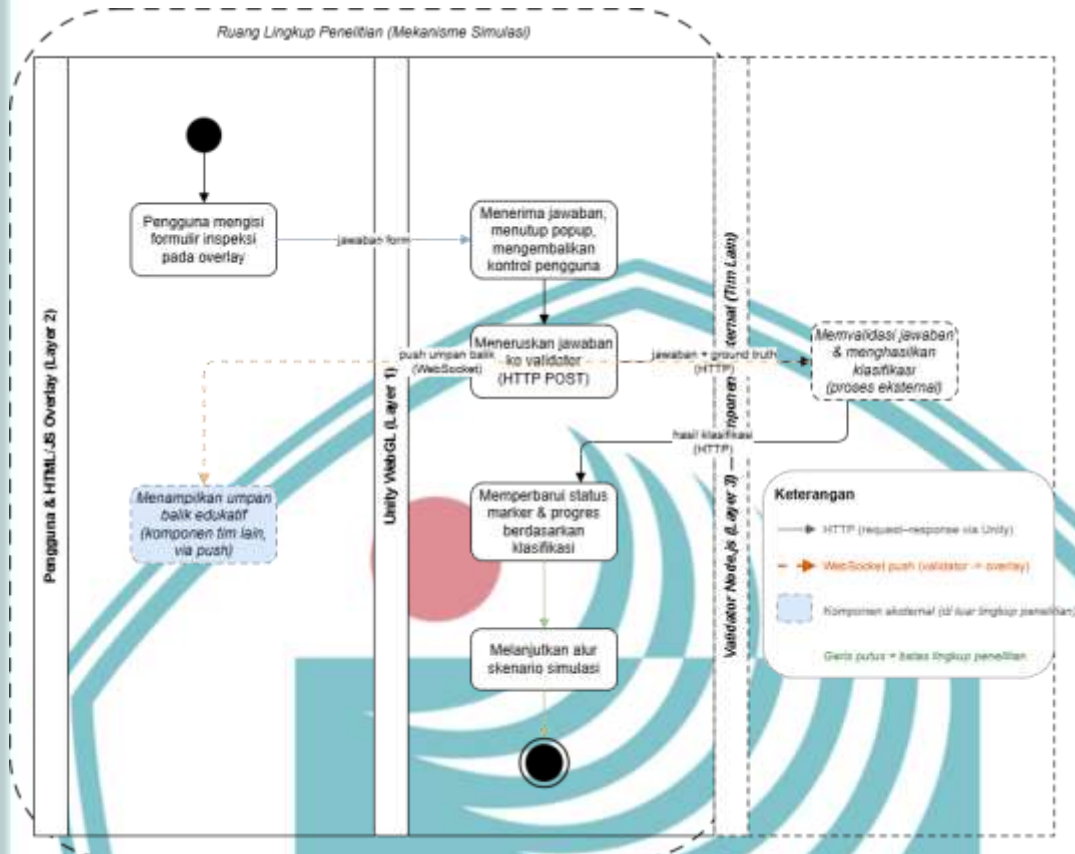
validator tidak dibahas sebagai komponen yang dirancang oleh penulis, melainkan sebagai sistem terintegrasi dari penelitian anggota tim lain. Hasil klasifikasi dari validator digunakan oleh simulator untuk memperbarui status *marker*, menandai penyelesaian tugas, dan melanjutkan alur skenario.

Komunikasi antar-layer divisualisasikan melalui *flowchart* beranotasi layer pada Gambar 4.4. Diagram tersebut membagi alur ke dalam tiga jalur yang merepresentasikan tanggung jawab masing-masing komponen, yaitu Pengguna dan HTML/JS overlay (Layer 2), Unity WebGL (Layer 1), serta validator Node.js (Layer 3) sebagai komponen eksternal. Alur dimulai ketika pengguna mengisi formulir inspeksi pada overlay, lalu jawaban dikirim ke Unity, popup ditutup, dan kontrol pengguna dikembalikan. Unity kemudian meneruskan jawaban beserta kondisi faktual objek ke validator melalui HTTP dan menerima hasil klasifikasi untuk memperbarui status *marker* serta melanjutkan alur skenario.

Selain jalur tersebut, terdapat kanal terpisah berupa *push* dari validator langsung ke overlay melalui WebSocket untuk menampilkan umpan balik edukatif. Berbeda dengan jalur jawaban yang bersifat permintaan–tanggapan dan selalu diinisiasi oleh Unity, kanal ini bersifat *event-driven* dan diinisiasi oleh validator pada lapisan bawah, sehingga penyajian umpan balik tidak perlu transit melalui Unity. Proses internal validasi maupun penyusunan dan penyajian umpan balik tersebut merupakan bagian dari komponen penelitian anggota tim lain dan berada di luar mekanisme simulasi yang dibahas pada penelitian ini.

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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.4 Flowchart Alur Komunikasi Antar-Layer

Pembagian jalur komunikasi tersebut menegaskan batas tanggung jawab tiap *layer*, yaitu *overlay* sebagai antarmuka, Unity WebGL sebagai pengendali mekanisme simulasi, dan validator sebagai pemroses jawaban. Rancangan arsitektur ini menjadi dasar bagi implementasi produk yang diuraikan pada sub-bab berikutnya.

4.2.6 Perancangan Arsitektur Overlay

Layer HTML/JS overlay perlu menumpangkan komponen antarmuka di atas *canvas* Unity tanpa mengganggu interaksi dunia 3D di belakangnya. Karakteristik penumpukan elemen DOM serta kebutuhan konsistensi tampilan lintas-resolusi inilah yang menjadikan arsitektur *overlay* dirancang secara eksplisit, mencakup prioritas penumpukan komponen dan mekanisme penskalaan.

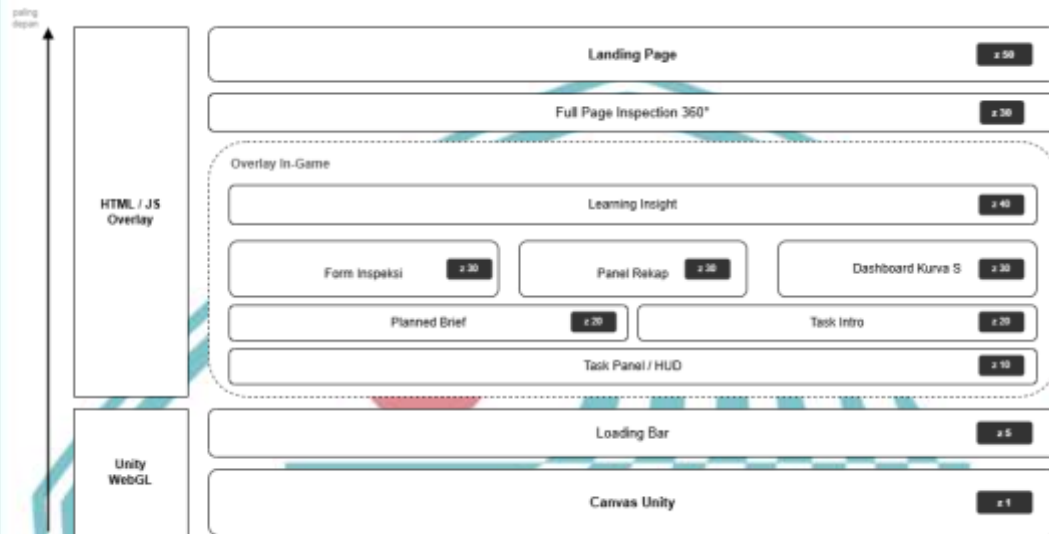
Susunan penumpukan *layer overlay* disajikan pada Gambar 4.5, dirancang dalam dua tingkat. Tingkat pertama merupakan *layer level* dokumen, yaitu *canvas* Unity sebagai lapisan dasar, *loading bar*, *root overlay* sebagai wadah seluruh antarmuka *in-game*, mode inspeksi 360° pengecekan, dan *landing page* pada lapisan terdepan.



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tingkat kedua merupakan komponen di dalam *root overlay*, meliputi *Task Panel* dan HUD, *briefing* dan intro skenario, formulir inspeksi, *Dashboard Kurva S*, *Recap*, serta *Learning Insight*.



Gambar 4.5 Arsitektur Penumpukan *Layer Overlay*

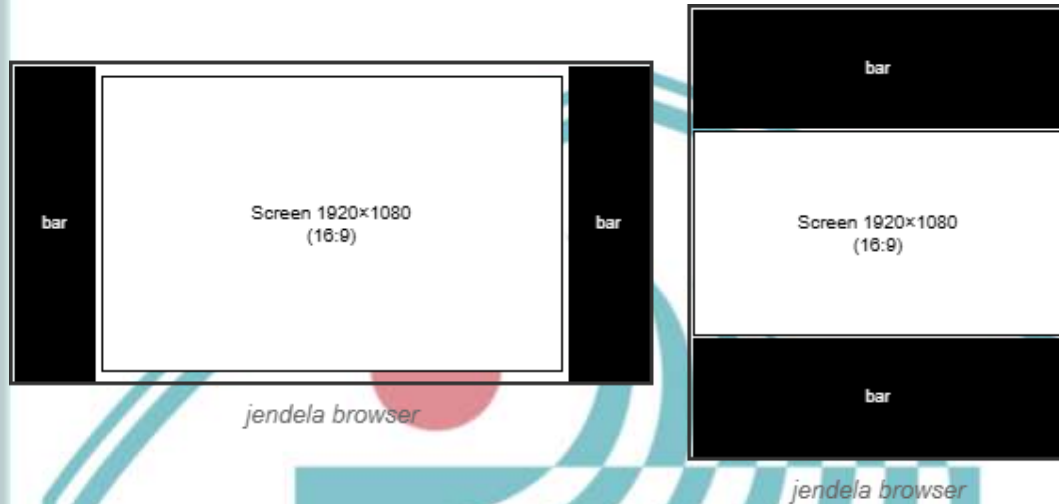
Prioritas tampilan ditentukan melalui *z-index*. *Root overlay* dirancang membentuk *stacking context* tersendiri, sehingga komponen di dalamnya hanya bertumpuk relatif terhadap sesama anak *root* dan tetap berada pada satu *band* terhadap dokumen. Karena itu mode *Full Page Inspection 360°* yang dirancang tampil penuh sengaja ditempatkan sebagai *layer level* dokumen di luar *root* agar selalu mengambang di atas seluruh isi *root* saat aktif, berbeda dengan inspeksi 360° material yang berupa *frame* di dalam *popup* formulir. Secara bawaan, area *overlay* meneruskan interaksi *pointer* ke *canvas* Unity agar pengguna tetap dapat bergerak, dan *pointer* hanya diaktifkan ketika sebuah komponen sedang ditampilkan.

Aspek kedua adalah penskalaan melalui *letterbox scaling* dengan resolusi acuan 1920×1080 piksel (16:9), sebagaimana disajikan pada Gambar 4.6. Seluruh tampilan disusun pada *stage* tetap 1920×1080, lalu diskalakan proporsional mengikuti jendela *browser* dengan faktor terkecil di antara rasio lebar dan tingginya sehingga tampilan selalu termuat utuh tanpa terpotong. Bila rasio jendela tidak 16:9, sistem menyisakan area hitam berupa *bar* kiri–kanan (*pillarbox*) saat jendela lebih lebar atau *bar* atas–bawah (*letterbox*) saat lebih tinggi. *Canvas* Unity dan setiap

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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

komponen *overlay* diskalakan dengan faktor yang sama sehingga seluruh tumpukan *layer* tetap selaras dengan dunia 3D di belakangnya, dan penskalaan diperbarui setiap kali ukuran jendela berubah.



Gambar 4.6 Letterbox Scaling

Penghubung antara komponen *overlay* dan *layer* Unity dirancang berupa satu titik masuk tunggal yang berperan sebagai *entry point* sekaligus *router*. Saat Unity memicu interaksi, penghubung ini menentukan modul antarmuka tujuan berdasarkan tipe interaksinya dan menampilkannya pada *layer* yang sesuai; setelah pengguna menyelesaikan interaksi, hasilnya dilaporkan kembali ke Unity untuk diteruskan ke *validator*. Rincian realisasinya diuraikan pada sub-bab implementasi.

4.3 Implementasi Produk

Sejalan dengan tahapan Research and Development (R&D), implementasi produk merupakan realisasi dari rancangan pada sub-bab 4.2. Mekanisme simulasi diwujudkan ke dalam sistem berbasis web yang tersusun atas tiga *layer*, yaitu Unity WebGL sebagai penjalan *environment* 3D dan logika simulasi, HTML/JS *overlay* sebagai lapisan antarmuka, serta validator eksternal sebagai pemroses jawaban. Pembahasan diuraikan berurutan dari *layer* Unity WebGL hingga integrasi validator, mengikuti satu alur interaksi inti yang dipakai ketiga skenario. Proses validasi di dalam validator merupakan bagian penelitian anggota tim lain sehingga tidak dibahas secara rinci.



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1 Implementasi Layer Unity WebGL

Layer Unity WebGL menjalankan *environment* 3D sekaligus mengendalikan logika simulasi. Implementasinya mencakup pengelolaan sesi, kontrol dan pergerakan pemain, sistem *marker* interaktif, manajemen *popup* dan pengiriman jawaban, Actual Case System, serta peta navigasi dan panel tugas. Komponen-komponen tersebut bersifat umum bagi ketiga skenario, sehingga satu rangkaian mekanisme yang sama digunakan kembali pada skenario K3, Material, dan Audit Lapangan dengan konten yang menyesuaikan.

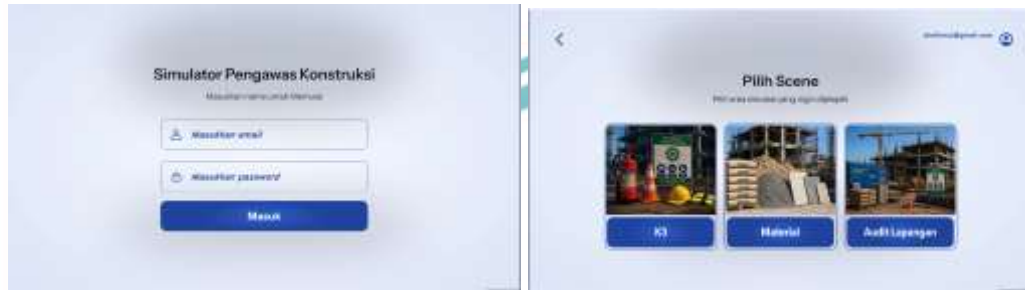
4.3.1.1 Manajemen Sesi

Manajemen sesi diimplementasikan melalui SessionManager, komponen yang menyimpan identitas dan data pengguna selama simulasi berlangsung. Komponen ini diterapkan sebagai objek tunggal menggunakan pola *singleton* dengan *DontDestroyOnLoad*, sehingga objeknya tidak dihancurkan saat scene berganti dan objek duplikat dihapus agar hanya terdapat satu pengelola sesi yang aktif. Mekanisme ini dibutuhkan terutama pada skenario Audit Lapangan yang tersusun atas empat scene terpisah (Minggu ke-4 sampai Minggu ke-7), sehingga data sesi tetap konsisten meskipun terjadi perpindahan scene.

Sebelum sesi simulasi dimulai, pengguna terlebih dahulu melakukan proses masuk melalui scene awal. Tampilan masuk dirancang sederhana agar pengguna mudah mengisi email dan kata sandi pada formulir, serta menggunakan tombol masuk untuk melanjutkan ke tahap berikutnya. Fitur ini diimplementasikan melalui LoginController yang menerima data masuk pengguna, kemudian meneruskannya ke server untuk divalidasi. Apabila data yang dimasukkan sesuai, server mengembalikan identitas pengguna yang digunakan untuk melanjutkan alur simulasi ke scene pemilihan skenario. Bentuk tampilan masuk dan pemilihan skenario ditunjukkan pada Gambar 4.7.

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.7 Tampilan Scene Masuk dan Pemilihan Skenario

Setelah respons berhasil diterima, LoginController memanggil fungsi *SetLoginUser* pada SessionManager untuk menyimpan identitas pengguna sekaligus membuka sesi. Pada tahap ini, SessionManager membentuk satu *sessionId* unik yang berlaku sepanjang pengguna masuk, sehingga seluruh skenario yang dikerjakan dalam satu kali masuk terikat pada sesi yang sama. Identitas yang disimpan mencakup *userId*, nama, email, dan peran pengguna. Server hanya menerima pengguna dengan peran peserta, sehingga peran pada sesi praktis selalu bernilai peserta. Identitas ini dipertahankan agar tetap tersedia ketika terjadi perpindahan scene, terutama pada skenario Audit Lapangan yang terdiri atas beberapa scene berbeda.

Identitas sesi tersebut kemudian dilengkapi dengan jenis skenario yang dipilih pada scene pemilihan. Pada tahap inilah SessionManager mencatat skenario yang dipilih sebagai skenario aktif dan menyimpan waktu mulai pengerjaan, serta melacak minggu aktif khusus pada skenario Audit Lapangan. Selain itu, SessionManager menjaga daftar skenario yang telah diselesaikan agar setiap skenario hanya dapat dikerjakan satu kali dalam satu sesi. Daftar metadata sesi yang dijaga SessionManager disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Metadata Sesi pada SessionManager

Field	Tipe	Keterangan
sessionId	string	UUID unik per sesi, dibentuk satu kali saat pengguna masuk



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 mengumuk dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Field	Tipe	Keterangan
userId	string	ID pengguna dari hasil autentikasi server
userName	string	Nama pengguna
email	string	Email pengguna
role	string	Peran pengguna; server hanya menerima peserta sehingga nilainya selalu "peserta"
currentScenario	string	Skenario aktif: "K3", "Material", atau "Audit Lapangan"
startTime	DateTime	Waktu mulai pengerjaan skenario
currentWeek	int	Khusus skenario Audit Lapangan: minggu aktif (4–7), 0 jika belum mulai
completedScenarios	HashSet	Daftar skenario yang telah diselesaikan dalam sesi

Setiap skenario memiliki kontrol keluar yang menandai penyelesaiannya tanpa langsung mengakhiri sesi. Peran ini dijalankan `ScenarioExitController` pada skenario K3 dan Material, serta `WeekTransitionController` pada skenario Audit Lapangan setelah minggu terakhir diselesaikan. Ketika pengguna mengonfirmasi penyelesaian, kontrol tersebut menambahkan skenario ke daftar skenario selesai, lalu meminta `SessionManager` memuat kembali scene pemilihan skenario. Perpindahan scene ini (termasuk pergantian antarminggu pada Audit Lapangan) dieksekusi oleh `SessionManager` melalui satu rutin pemuatan scene yang sekaligus membebaskan memori yang tidak terpakai, sehingga penggunaan memori tetap stabil sepanjang sesi multi-scene. Berdasarkan daftar tersebut, scene pemilihan menonaktifkan tombol skenario yang telah diselesaikan agar tidak dikerjakan ulang.

Secara internal, `SessionManager` dipecah menjadi empat script yang saling melengkapi agar tanggung jawabnya tidak menumpuk di satu tempat: script utama menangani identitas serta alur masuk dan pemilihan skenario, script akumulasi menampung jawaban, hasil klasifikasi, dan entri rekap lintas skenario, script perpindahan minggu mengatur pergantian scene sekaligus pembersihan memori, dan script persistensi menangani penyimpanan serta pemulihan *snapshot* sesi. Pemisahan ini membuat setiap bagian lebih mudah dipahami dan dirawat tanpa mengubah cara komponennya dipakai dari luar.

**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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

State sesi pada simulator berjalan di memori selama aplikasi aktif melalui *SessionManager* (*singleton*, *DontDestroyOnLoad*), sehingga identitas login, jawaban, skenario yang telah diselesaikan, dan progres minggu Audit Lapangan bersifat sementara terhadap penutupan atau pemuatan ulang halaman. Untuk itu, *SessionManager* dilengkapi mekanisme persistensi data sesi agar *state* tetap terjaga dan dapat dipulihkan meskipun halaman ditutup atau di-*refresh*.

Mekanisme persistensi dirancang dalam dua lapisan yang saling melengkapi, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.10. Lapisan pertama adalah penyimpanan sisi klien menggunakan *localStorage* pada *browser* yang diakses melalui berkas *jslib*. Setiap kali terjadi perubahan *state*, yaitu ketika pengguna berhasil masuk, memilih skenario, mengirim jawaban, berpindah minggu, atau menyelesaikan skenario, *SessionManager* langsung menyimpan *snapshot* lengkap *state* sesi ke *localStorage*. Penyimpanan dilakukan secara langsung setiap ada perubahan (*eager*), bukan menunggu momen tertentu, sehingga data selalu berada dalam kondisi terbaru sebelum pengguna sempat menutup halaman. Lapisan ini berfungsi sebagai mekanisme pemulihan sesi (*resume*) pada *browser* yang sama.

Lapisan kedua adalah penyimpanan sisi server menggunakan *Firestore* yang ditulis melalui validator. Setiap jawaban yang dikirim ke *endpoint* validasi turut dicatat ke *Firestore* secara bertahap (*incremental*) di bawah dokumen sesi, sehingga data sesi aman di sisi server sejak jawaban pertama dikirim, bukan hanya saat sesi diakhiri. Lapisan ini berperan sebagai cadangan permanen, sehingga data tetap utuh bahkan apabila *localStorage* terhapus atau perangkat mati sebelum sesi selesai.

Tabel 4.10 Lapisan Persistensi Data Sesi

Aspek	Lapisan Klien (<i>localStorage</i>)	Lapisan Server (<i>Firestore</i>)
Media penyimpanan	<i>localStorage browser</i> via <i>jslib</i>	<i>Firestore</i> melalui validator
Waktu penyimpanan	Setiap perubahan <i>state</i> (<i>eager</i>)	Setiap jawaban dikirim (<i>incremental</i>)
Data yang disimpan	<i>Snapshot</i> lengkap <i>state</i> sesi	Jawaban dan metadata sesi
Fungsi utama	Pemulihan sesi (<i>resume</i>) di <i>browser</i> yang sama	Cadangan permanen sisi server



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Aspek	Lapisan Klien (<i>localStorage</i>)	Lapisan Server (<i>Firestore</i>)
Sifat penyimpanan	Sinkron; persisten lokal per <i>browser</i> , dihapus saat sesi diakhiri	Asinkron; persisten permanen di server

Penyimpanan *localStorage* dipilih dibandingkan *PlayerPrefs* bawaan Unity karena pada platform WebGL, *PlayerPrefs* disimpan melalui IndexedDB dengan sinkronisasi asinkron, sehingga terdapat kemungkinan data belum tersimpan ketika halaman dimuat ulang secara mendadak. Sebaliknya, penyimpanan *localStorage* melalui *jslib* bersifat sinkron, sehingga data dipastikan tersimpan begitu perintah penyimpanan dipanggil.

Ketika pengguna membuka kembali aplikasi setelah menutup atau memuat ulang halaman, scene masuk membaca *snapshot* dari *localStorage*. Apabila *snapshot* ditemukan, sistem menampilkan popup pemberitahuan sesi yang belum selesai dengan dua pilihan, yaitu Abaikan untuk kembali ke proses masuk normal tanpa menghapus *snapshot*, atau Lanjutkan Sesi untuk mengalihkan formulir ke mode pemulihan. Pada mode pemulihan, email pemilik sesi terkunci dan pengguna diminta memasukkan kata sandi, serta tersedia tombol Mulai Sesi Baru yang menghapus *snapshot* lama apabila pengguna memilih memulai dari awal. Tampilan popup pemberitahuan dan mode pemulihan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Popup Pemulihan Sesi dan Mode Pemulihan pada Scene Masuk

Setelah kata sandi diverifikasi, sistem mencocokkan identitas akun dengan pemilik *snapshot* sebagai gerbang otorisasi, sehingga hanya pemilik sesi yang dapat melanjutkannya. Apabila identitas cocok, *SessionManager* dipulihkan dari *snapshot* dan pengguna diarahkan langsung ke scene terakhir tempat sesi terputus, atau ke scene pemilihan skenario apabila tidak ada skenario yang sedang berjalan.



Pada scene tersebut, seluruh marker yang telah dijawab otomatis ditandai selesai, panel rekap terisi kembali, serta progres tugas dan status minggu ditampilkan sesuai kondisi terakhir sebelum sesi terputus. Verifikasi kepemilikan sesi diperlukan karena beberapa pengguna dapat mengakses simulator dari perangkat yang sama, sehingga sesi yang belum selesai milik seorang pengguna tidak dapat dilanjutkan oleh pengguna lain.

4.3.1.2 Kontrol dan Pergerakan Pemain

Kontrol dan pergerakan pemain dibuat agar pengguna dapat menjelajahi *environment* proyek dari sudut pandang orang pertama. Bagian ini ditangani oleh beberapa *script* yang saling bekerja sama. *StarterAssetsInputs* bertugas membaca masukan dari pengguna, *FirstPersonController* mengatur gerak pemain dan arah kamera, *PopupHandController* mengatur perpindahan tampilan tangan saat popup dibuka atau ditutup, sedangkan *LadderClimber* dan *StairClimber* mengatur perpindahan posisi pemain ketika menaiki tangga maupun naik-turun anak tangga.

StarterAssetsInputs membaca masukan dari pengguna melalui *Input System*, yaitu sistem masukan bawaan Unity, lalu meneruskannya ke *FirstPersonController*. Masukan yang dibaca mencakup gerak (WASD), arah pandang (*mouse*), lompat, dan lari. Khusus pada platform WebGL, *script* ini memakai berkas *jslib*, yaitu potongan kode JavaScript yang dipanggil dari dalam Unity, untuk mengatur *pointer lock* atau penguncian kursor. Penguncian ini diperlukan agar gerak *mouse* terbaca sebagai arah pandang kamera dan kursor tidak keluar dari area simulasi. Penanganan khusus dibutuhkan karena pada *browser*, kursor cenderung otomatis terkunci kembali setiap kali jendela simulasi kembali aktif. Untuk mencegahnya, berkas *jslib* mengambil alih perintah penguncian kursor bawaan *browser*, dan *FirstPersonController* menggunakan sebuah penanda agar kursor tidak ikut terkunci ulang selama popup sedang terbuka.

Setelah masukan diterima, *FirstPersonController* mengatur pergerakan pemain melalui tiga mode yang menyesuaikan kondisi interaksi. Ketiga mode tersebut memungkinkan kontrol pengguna menyesuaikan keadaan, baik saat menjelajah bebas, saat menaiki tangga, maupun saat tampilan beralih ke *overlay* seperti formulir inspeksi. Rincian ketiga mode disajikan pada Tabel 4.11.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.11 Mode kontrol pada FirstPersonController

Mode	Kondisi	Efek
Normal	<i>Default</i>	WASD untuk bergerak, mouse untuk memutar kamera, serta lompat dan lari aktif
<i>Climbing</i>	Pemain sedang menaiki tangga atau anak tangga	Pengaruh gravitasi ditiadakan dan gerak normal dilewati; posisi pemain dipindahkan mengikuti jalur tangga oleh LadderClimber atau StairClimber
<i>Full Lock</i>	Transisi animasi berlangsung	Seluruh masukan dibekukan; pemain diam dan kamera tidak dapat digerakkan

ketiga mode tersebut memungkinkan FirstPersonController menyesuaikan kontrol pengguna interaksi yang dilakukan, baik saat eksplorasi bebas maupun saat tampilan beralih ke formulir inspeksi.

Untuk memperkuat tampilan FPP, model tangan pemain ditampilkan melalui HandCamera yang hanya me-render layer Hands sebagai kamera *overlay* pada camera stack URP. PopupHandController mengatur transisi tangan ketika pengguna membuka atau menutup *popup*, sehingga perpindahan dari eksplorasi ke pengisian formulir terasa menyatu dengan alur simulasi. Perbedaan tampilan tangan pada mode normal dan saat *popup* terbuka ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Tampilan Tangan Pemain dalam Simulasi

Pada skenario Audit Lapangan, pengguna perlu berpindah antarlantai untuk menyelesaikan inspeksi. Mekanisme ini diimplementasikan melalui LadderClimber yang dipasang pada objek tangga. Ketika pengguna berada pada zona tangga, sistem

**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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



mengalihkan kontrol dari pergerakan biasa ke pergerakan vertikal berdasarkan titik bawah dan titik atas tangga.

4.3.1.3 Sistem Marker Interaktif

Sistem *marker* interaktif dibuat sebagai titik inspeksi yang tersebar pada *environment* 3D. Setiap *marker* mewakili objek atau kondisi yang perlu diperiksa, seperti pekerja, item K3, zona kerja, material, dan pekerjaan konstruksi. Tipe *marker* menentukan formulir inspeksi yang muncul saat pengguna berinteraksi, sehingga satu sistem *marker* yang sama dapat dipakai pada ketiga skenario. Pengaturan tiap *marker* dilakukan melalui Unity Inspector pada komponen *InteractableMarker*, dengan dua pengaturan utama, yaitu *markerType* sebagai penentu jenis inspeksi dan *commandText* sebagai teks perintah yang ditampilkan kepada pengguna. Daftar tipe *marker* dan kegunaannya disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Tipe *Marker* dan Kegunaannya

Nilai	Kegunaan
Worker	Inspeksi APD pekerja pada skenario K3
APAR	Inspeksi APAR pada skenario K3
P3K	Inspeksi kotak P3K pada skenario K3
Zone	Evaluasi zona (rambu dan garis pembatas) pada skenario K3
Material	Inspeksi 360° material per <i>marker</i> tumpukan pada skenario Material
Job	Pengecekan pekerjaan pada skenario Audit Lapangan

Keenam tipe *marker* tersebut memungkinkan satu mekanisme *marker* yang sama digunakan lintas skenario, dengan jenis inspeksi yang ditentukan oleh *markerType* pada tiap titik.

Setiap *marker* memiliki tiga *state*, yaitu *idle*, *active*, dan *done*. *State idle* merupakan kondisi awal ketika pengguna belum berada dalam jangkauan *marker*. *State active* terjadi ketika pengguna berada dalam jangkauan dan menghadap *marker*, sehingga perintah interaksi muncul. Setelah inspeksi selesai dan hasil validasi diterima, *marker* berubah ke *state done* sebagai tanda titik inspeksi telah dikerjakan. Pada *state done*, warna *marker* mengikuti klasifikasi hasil validasi, kecuali pada *marker* material yang memakai ikon selesai tanpa label klasifikasi. Selain ketiga *state*

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

tersebut, *marker* yang masih dalam jarak tetapi terhalang objek lain ditampilkan semi-transparan sebagai penanda bahwa *marker* sedang tidak terjangkau pandangan. Perbandingan tampilan *marker* pada ketiga *state* ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Tampilan Marker pada Tiga State

Penentuan *marker* yang aktif dilakukan oleh InteractionDetector berdasarkan jarak pengguna, arah pandang kamera, dan *line of sight* atau garis pandang ke objek. Pemeriksaan *line of sight* dipakai agar *marker* tidak aktif ketika terhalang objek lain. Pengecekan dilakukan menggunakan dua *ray* atau garis uji untuk menyesuaikan variasi bentuk penghalang, yaitu *ray* penuh dari kamera ke *marker* untuk penghalang umum, dan *ray* horizontal yang mengabaikan ketinggian untuk penghalang seperti dinding atau kolom. *Marker* dinyatakan terlihat hanya jika kedua *ray* tidak terhalang.

Agar tidak ada lebih dari satu *marker* aktif bersamaan, dari seluruh *marker* yang berada dalam jangkauan dan dihadapi pengguna, sistem memilih satu *marker* dengan skor tertinggi sebagai *marker* aktif. Sebagai pelengkap, *marker* selain pekerja akan tetap aktif tanpa perlu dihadapi apabila pengguna berada sangat dekat, sedangkan *marker* pekerja selalu mensyaratkan pengguna menghadap ke arahnya. Secara visual, *marker* menggunakan Canvas bertipe *world space*, yaitu kanvas yang diposisikan langsung di dalam ruang 3D, yang ditampilkan oleh MarkerCamera sebagai kamera *overlay* paling akhir pada susunan kamera agar *marker* tetap tampil di atas geometri lingkungan.



4.3.1.4 Manajemen Popup

Manajemen popup ditangani oleh `PopupFormManager`, komponen yang menjadi penghubung antara *marker* pada Unity, formulir inspeksi pada *overlay* HTML/JS, dan *validator* di luar Unity. Melalui komponen ini, Unity membuka formulir sesuai tipe *marker*, menerima jawaban pengguna dari *overlay*, mengirimkannya untuk diperiksa kebenarannya, lalu memperbarui status interaksi setelah hasil pemeriksaan diterima.

`PopupFormManager` dipasang pada *GameObject* bernama `PopupBridge` di setiap *scene*. Nama inilah yang menjadi tujuan saat *overlay* memanggil Unity. Komunikasi dari Unity ke *overlay* dilakukan melalui *jslib*, sedangkan dari *overlay* kembali ke Unity dilakukan melalui mekanisme `SendMessage` bawaan Unity. Dengan pola ini, formulir dapat ditampilkan pada *overlay*, tetapi alur simulasi tetap dikendalikan oleh Unity. Karena `PopupFormManager` dibuat sebagai *singleton*, yaitu komponen yang hanya memiliki satu salinan aktif, seluruh pembukaan formulir dan pencatatan jawaban dalam satu *scene* tertangani melalui satu titik kendali yang sama.

Agar data antar-layer tetap konsisten, `PopupFormManager` memakai `PopupData` sebagai kontrak data, yaitu kesepakatan bentuk data antara Unity dan *overlay*. `PopupData` memuat informasi inti yang dikirim Unity saat membuka formulir, yaitu penentu jenis formulir, identitas soal, serta kondisi faktual objek yang menjadi *ground truth* atau acuan kebenaran bagi pemeriksaan jawaban. Untuk objek yang memiliki bentuk 3D, disertakan pula data *preview* yang mengatur tampilan model pada *overlay*. Seluruh konteks deskriptif objek dirangkum di dalam `actualCase`, sehingga data yang dikirim tetap ramping. Field utama pada `PopupData` disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Field Utama pada `PopupData`

Field	Tipe	Keterangan
<code>markerType</code>	string	Penentu jenis formulir yang ditampilkan di HTML
<code>kodeInteraksi</code>	string	ID unik per soal, menjadi key di seluruh penyimpanan jawaban



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

actualCase	string	Teks JSON kondisi faktual dari Inspector, dikirim ke validator sebagai ground truth
preview3d	string	Teks JSON berisi parameter yang dipakai logika Three.js pada overlay untuk menyiapkan tampilan model 3D objek; disertakan hanya pada objek inspeksi yang memiliki preview 3D

Keempat field tersebut membentuk satu *payload* JSON yang dikirim Unity ke *overlay* setiap kali formulir dibuka. Wujud konkret *payload* tersebut pada inspeksi pekerja ditunjukkan pada Gambar 4.11, yang memuat penentu jenis formulir, identitas soal, kondisi faktual pada *actualCase*, serta data *preview* 3D yang menentukan bagian model mana yang disembunyikan agar pengguna mengamati kelengkapan APD secara langsung.

```
{
  "markerType": "Worker",
  "kodeInteraksi": "TGG-APD-01",
  "actualCase": {
    "namaRole": "Tukang Beton",
    "apdTerpasang": ["Sepatu", "Sarung Tangan", "Kacamata"]
  },
  "preview3d": {
    "hideObjects": ["Ch17_Helmet", "Harness"],
    "swapMaterialObjects": ["Ch17_Vest"]
  }
}
```

Gambar 4.11 Payload PopupData saat Membuka Formulir

Alur pengiriman jawaban dimulai ketika pengguna berinteraksi dengan *marker* aktif. *PopupFormManager* mengambil kondisi faktual dari komponen *ActualCase* sesuai tipe *marker*, lalu mengirimkannya ke *overlay* untuk ditampilkan sebagai formulir. Pada saat yang sama, Unity menyimpan konteks soal yang sedang aktif, yaitu identitas soal, kondisi faktual, dan tipe *marker*-nya. Setelah pengguna mengisi formulir dan menekan *submit*, *overlay* cukup mengirim kembali jawaban yang ramping berisi keputusan pengguna saja, sedangkan konteks soal dan kondisi faktual tetap dipegang Unity. Unity kemudian menggabungkan kembali jawaban tadi dengan konteks yang tersimpan, menyimpannya, dan meneruskannya ke proses validasi yang dibahas pada sub-bab 4.3.3.



4.3.1.5 Actual Case System

Actual Case System diimplementasikan untuk menyimpan kondisi aktual objek inspeksi di dalam *scene* sebagai penyedia kondisi sebenarnya (*ground truth*) saat pengguna memeriksa sebuah *marker*. Kondisi objek tidak ditulis langsung di kode validasi, melainkan diatur lewat panel *Inspector* di Unity sesuai kebutuhan tiap skenario. Komponen *ActualCase* tidak menilai benar-salahnya jawaban; tugasnya hanya merakit kondisi objek menjadi teks JSON yang disusun manual, sehingga Unity sekadar mengemas data sedangkan yang menyimpulkannya adalah *validator*. Sistem ini memiliki lima komponen utama yang masing-masing menangani satu jenis objek inspeksi: *NpcActualCase* untuk APD pekerja, *ItemK3ActualCase* untuk APAR dan kotak P3K, *AreaK3* untuk zona K3, *MaterialInspectActualCase* untuk material, dan *JobActualCase* untuk pekerjaan pada skenario Audit Lapangan. Di antara kelimanya, *AreaK3* berperan lebih luas sebagai koordinator zona: selain mengatur kode interaksi dan kemunculan *marker* per area, komponen ini merakit kondisi zona dari dua sub-komponen, yaitu *RambuActualCase* dan *GarisPembatasActualCase*.

Saat pengguna berinteraksi dengan *marker*, *PopupFormManager* tidak menyusun sendiri kondisi aktualnya, melainkan memilih komponen *ActualCase* yang sesuai lalu memanggil fungsi *GetPopupData()* milik komponen tersebut, sehingga setiap komponen merakit datanya sendiri. Tiap komponen membentuk kondisi aktual dengan *field* berbeda sesuai aspek yang diperiksa, dan *field* ini hanya memuat kondisi yang dievaluasi *validator*, tanpa data deskriptif maupun tampilan 3D. Sebagai contoh, pada *marker Worker*, data tampilan 3D justru sengaja dipisah ke *field* tersendiri bernama *preview3d* yang berisi daftar objek APD untuk disembunyikan, sehingga kondisi aktual benar-benar bersih dari urusan tampilan. Sebagian besar tipe *marker* menyimpan *field* secara datar, sedangkan *marker Material* bertingkat karena satu *marker* dapat memuat beberapa soal sekaligus. Rincian *field* per tipe *marker* disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Field *actualCase* per Tipe Marker

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tipe Marker	Field	Keterangan
Worker	namaRole	Peran pekerja, menentukan acuan kelengkapan APD
	apdTerpasang	Daftar APD yang terpasang pada pekerja
APAR	masaBerlaku	Tahun masa berlaku APAR
	tekanan	Status tekanan tabung (normal/tidak)
	kondisiFisik	Kondisi fisik tabung (baik/rusak)
P3K	labelP3k	Status label/penanda pada kotak P3K (ada/tidak)
	isiTersedia	Daftar isi P3K yang tersedia
Zone	tipeZona	Tingkat risiko zona ("Merah", "Kuning", "Hijau")
	kondisiRambu	Kondisi rambu keselamatan
	kondisiGaris	Kondisi garis pembatas area
Material	jenisMaterial	Nama kelompok material yang diperiksa pada marker
	soal	Daftar soal material pada marker; tiap elemen memuat field di bawah
	soal[].kodeInteraksi	ID unik per soal material
	soal[].aktual	Sekumpulan fakta mentah per aspek material (mis. kemasan, tekstur), berbeda isinya menurut jenis material
Job	kodeInteraksi	ID unik per soal pekerjaan
	tipePekerjaan	Jenis pekerjaan yang diinspeksi
	isNormal	Status kesesuaian hasil pekerjaan
	aktual	Sekumpulan fakta mentah per aspek pekerjaan, bernilai benar/salah

Field tersebut menyesuaikan aspek yang diperiksa pada tiap tipe *marker*, sehingga *validator* menerima kondisi yang relevan dengan objeknya. Pada sebagian besar *marker*, *field* tersusun datar. Khusus *marker* Material, *field* tersusun bertingkat: satu



jenisMaterial sebagai kelompok material yang membawahi sejumlah soal, sehingga satu *marker* tumpukan dapat memuat beberapa soal inspeksi sekaligus. Bentuk bertingkat tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.12, dengan tiap soal memuat kode interaksi beserta kondisi aktualnya. Berdasarkan data ini, *validator* mengevaluasi kesesuaian tiap soal terhadap jawaban pengguna.

```
{
  "jenisMaterial": "Semen Portland",
  "soal": [
    {
      "kodeInteraksi": "MAT-SPC-SEMEN-A",
      "aktual": {
        "tipe": "PCC",
        "merek": "Tiga Roda",
        "labelStandar": "terbaca",
        "kemasan": "rusak",
        "tekstur": "menggumpal"
      }
    },
    {
      "kodeInteraksi": "MAT-SPC-SEMEN-B",
      "aktual": {
        "tipe": "PCC",
        "merek": "Tiga Roda",
        "labelStandar": "terbaca",
        "kemasan": "utuh",
        "tekstur": "normal"
      }
    }
  ]
}
```

Gambar 4.12 Contoh actualCase pada Marker Material

Isi *field* aktual berbeda untuk tiap kategori material, mengikuti aspek fisik yang relevan diperiksa. Pemetaan kategori material terhadap *field* yang diperiksa disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Field Kondisi Aktual per Kategori Material

Kategori Material	Field Kondisi Aktual
Semen Portland	tipe (PCC/PPC), merek, labelStandar (terbaca/tidak terbaca), kemasan (utuh/rusak/basah), tekstur (normal/menggumpal)
Baja Tulangan	tipe (ulir/polos), merek, bentuk (lurus/bengkok), diameter (mm), berkarat (ya/tidak), retak (ya/tidak)
Pasir	tipe (beton/pasang), gradasi (normal/terlalu halus/kasar), kebersihan (bersih/berlumpur)

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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Batu Split	jenis (daftar pilihan: split/karang/gamping), kebersihan (bersih/berlumpur)
Keramik	merek, tipe, kualitas (kw1/kw2/kw3), keutuhan (utuh/retak), kerataan (rata/cekung-cembung), sisi (lurus/tidak lurus), glasir (mulus/cacat), dimensi (cm)
Plafon Gypsum	merek, ketebalan (mm), panjang (mm), lebar (mm), keutuhan (utuh/retak), tepi (siku/cacat), permukaan (halus/sobek)

Pada skenario Audit Lapangan, *field* aktual disesuaikan dengan tiap jenis pekerjaan yang diinspeksi, sebagaimana dipetakan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Field Kondisi Aktual per Tipe Pekerjaan

Tipe Pekerjaan	Field Kondisi Aktual
Bata	ketegakan (tegak/miring), permukaan (rata/tidak rata), bondingPattern (sesuai/tidak sesuai)
Pembesian Kolom	jarakSpasi (cm), dimensi (cm), ikatanKawat (kuat/tidak)
Kolom Cor	dimensi (cm), kepadatan (padat/keropos), ketegakan (tegak/miring), permukaan (rata/tidak rata)
Rangka Plafon	jarak (cm), level (rata/tidak rata), sambungan (rapat renggang)
Pembesian Tangga	jarakTulangan (cm), tinggiTanjakan (cm), ikatan (kuat/tidak)
Plester	permukaan (daftar penanda: permukaan tidak rata/retak rambut/retak lebar)
Panel Plafon	sambungan (rapat renggang), permukaan (rata/tidak rata), keutuhan (utuh/cacat)
Tangga Cor	tinggiAnakTangga (cm), lebarInjakan (cm), permukaan (rata/tidak rata), kepadatan (padat/keropos)
Kusen	level (tegak/miring), gap (merata/tidak merata), profil (mulus/cacat)
Rangka Atap	jarak (cm), sambungan (lengkap/tidak lengkap), bracing (terpasang/tidak terpasang), posisi (tegak/miring)

Baik skenario Material maupun Audit Lapangan memakai *field* aktual berupa pilihan tetap, seperti kemasan material (utuh/rusak/basah) atau ketegakan pasangan bata (tegak/miring), dilengkapi *field* ukur untuk aspek yang menuntut pengukuran, seperti diameter baja atau jarak antar-tulangan. Pada *field* ukur tersebut, nilai yang disimpan hanya angka hasil pengukuran tanpa target maupun toleransi, karena ambang kesesuaiannya disimpan di sisi *validator*, bukan di Unity. Di luar pola umum itu, terdapat dua pengecualian. Pada material batu split, *field* jenis berupa daftar pilihan, sehingga jika berisi lebih dari satu nilai, butiran dianggap tercampur. Pada pekerjaan plester, *field* permukaan juga berupa daftar dan bersifat kebalikan,

**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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

yaitu daftar yang terisi berarti ada cacat sedangkan daftar kosong berarti normal. Selebihnya, penilaian sesuai-tidaknya tetap diserahkan ke *validator*.

Penurunan kode interaksi tiap soal juga tidak ditulis manual, melainkan dibentuk otomatis dengan pola berbeda per tipe. Pada skenario K3, AreaK3 menetapkan kode per area saat *scene* dimuat: inspeksi APD pekerja, item K3, dan zona masing-masing memiliki pola tersendiri yang diawali kode area. Pada skenario Material, kode diturunkan dari nama material, ditambah akhiran urutan bila satu *marker* memuat lebih dari satu soal. Pada skenario Audit Lapangan, kode mengikuti minggu aktif yang diambil dari *SessionManager*. Pola ini menegaskan peran AreaK3 sebagai pengatur kode interaksi berdasarkan area.

Data yang dirakit tiap komponen *ActualCase* kemudian disusun *PopupFormManager* menjadi *PopupData*, lalu dikirim ke *overlay* HTML/JS untuk menampilkan formulir sekaligus ke *validator* sebagai acuan validasi. Dengan demikian, *Actual Case System* berperan sebagai penyedia kondisi aktual pada layer *Unity WebGL*, bukan komponen pengambil keputusan.

4.3.1.6 Peta Navigasi

Peta navigasi diimplementasikan untuk membantu pengguna memahami posisinya di dalam *environment* proyek selama menjalankan inspeksi. Peta ditampilkan sebagai tablet di tangan pemain dan dapat dibuka melalui tombol M. Secara teknis, peta menggunakan *Canvas* bertipe *world space* yang ditempatkan pada model tablet dan di-*render* oleh *HandCamera* pada layer *Hands*, sehingga tampil menyatu dengan perspektif orang pertama.

Konten peta menyesuaikan skenario yang dijalankan. Pada skenario K3, peta menampilkan posisi dan arah hadap pemain, zona risiko berdasarkan kode warna, serta titik evaluasi zona. Pada skenario Audit Lapangan, peta menampilkan dua lantai bangunan beserta posisi pemain pada lantai aktif, serta status *marker* pekerjaan yang berubah setelah tugas pada titik tersebut diselesaikan. Perbandingan tampilan peta navigasi pada kedua skenario 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.13 Peta Navigasi Skenario K3 dan Audit Lapangan

Peta navigasi tersebut melengkapi komponen Layer Unity WebGL dengan menyediakan orientasi spasial bagi pengguna selama inspeksi, baik dalam menelusuri zona pada skenario K3 maupun memantau progres antar-lantai pada skenario Audit Lapangan. Dengan demikian, seluruh mekanisme inti pada layer ini telah terbentuk, sehingga pembahasan dilanjutkan ke implementasi *layer* antarmuka pada *overlay*.

4.3.2 Implementasi Layer HTML Overlay

Layer HTML/JS overlay merupakan lapisan antarmuka yang berjalan di *browser* sebagai elemen DOM di atas Canvas Unity. Ketika Unity memicu sebuah formulir inspeksi, kendali tampilan berpindah ke *overlay*, sedangkan alur simulasi tetap dikendalikan Unity. Pada penelitian ini, *overlay* digunakan untuk menampilkan komponen antarmuka yang mendukung mekanisme simulasi, meliputi struktur dan *scaling overlay*, formulir inspeksi, inspeksi 360 derajat, *tools* inspeksi, serta komponen pendukung alur simulasi. Komponen evaluatif seperti Learning Insight dan Panel Rekap merupakan komponen terintegrasi dari penelitian anggota tim lain, sehingga pembahasan difokuskan pada antarmuka *overlay* yang menjadi bagian dari mekanisme simulasi.

4.3.2.1 Implementasi Kerangka dan Komunikasi Overlay

Rancangan arsitektur *overlay* pada sub-bab 4.2.6 direalisasikan menjadi kerangka antarmuka pada *index.html* dan jalur komunikasi dua arah dengan Unity yang dikelola melalui *main.js*. Setiap komponen *overlay* dibangun mengikuti pola berlapis yang seragam, yaitu pembungkus penuh layar, kotak antarmuka berukuran acuan yang diskalakan, dan wadah konten di dalamnya. Seluruh komponen antarmuka *in-game* ditempatkan di dalam satu induk *overlay*, sedangkan inspeksi



360° Pengecekan disiapkan terpisah di luar induk agar dapat tampil penuh menutupi seluruh antarmuka saat diaktifkan.

Secara *default*, area *overlay* tidak menerima interaksi *pointer* agar klik tetap diteruskan ke Unity dan pengguna dapat bergerak bebas, lalu interaksi diaktifkan hanya ketika sebuah komponen sedang ditampilkan. Untuk menjaga konsistensi tampilan, seluruh antarmuka dikunci pada resolusi acuan dan diskalakan secara proporsional mengikuti ukuran jendela melalui fungsi `applyLetterbox`, yang dijalankan saat halaman dimuat dan setiap kali ukuran jendela berubah. Implementasi fungsi penskalaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.14.

```
const NATIVE_W = 1920;
const NATIVE_H = 1080;

function applyLetterbox() {
    var scale = Math.min(window.innerWidth / NATIVE_W,
                        window.innerHeight / NATIVE_H);

    document.getElementById('unity-canvas')
        .style.transform = 'scale(' + scale + ')';

    document.getElementById('popup-overlay')
        .style.transform = 'translate(-50%, -50%) scale(' + scale + ')';
}

applyLetterbox();
window.addEventListener('resize', applyLetterbox);
```

Gambar 4.14 Fungsi *Letterbox Scaling*

Komunikasi dari Unity ke *overlay* berlangsung melalui sekumpulan fungsi pada `main.js` yang dipanggil Unity saat sebuah interaksi dipicu, dengan menyertakan data kondisi *marker*. Salah satu fungsi berperan sebagai *router* yang membaca tipe *marker* pada data tersebut, kemudian mengarahkannya ke modul yang sesuai, yaitu inspeksi Material, inspeksi Pengecekan, atau formulir K3 standar. Logika pengarahannya tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.15.

```
function openPopup(jsonPayload) {
    const data = JSON.parse(jsonPayload);
    taskPanel?.peek();
```



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```

if (data.markerType === "Material") {
    materialInspection.open(data);
    return;
}
if (data.markerType === "Job")
    pengecekanInspection.open(data);
    return;
}
popupManager.open(data);
}
  
```

Gambar 4.15 *Routing* Formulir Berdasarkan *markerType*

Setelah pengguna menyelesaikan atau menutup sebuah interaksi, hasilnya dilaporkan kembali ke Unity melalui `SendMessage`. Sebagian besar pesan diarahkan ke satu *GameObject* jembatan, sedangkan hanya *Dashboard Kurva S* yang memiliki pengendali tersendiri. Penargetan ini perlu dijaga karena pesan ke nama *GameObject* yang keliru akan gagal tanpa peringatan pada lingkungan WebGL. Adapun pemetaan rinci tiap modul *overlay* ke metode penerimanya di Unity dibahas pada masing-masing sub-bab komponen, sedangkan penanganan lanjutan di sisi Unity hingga *validator* diuraikan pada sub-bab 4.3.3.

4.3.2.2 Rendering Form Inspeksi

Penyajian formulir inspeksi diimplementasikan melalui `popupManager.js`. Modul ini menerima data JSON dari Unity, membaca `markerType`, menampilkan formulir sesuai jenis *marker*, mengumpulkan input pengguna, lalu mengirim jawaban kembali ke Unity melalui `SendMessage`. Validasi jawaban tetap dilakukan validator eksternal melalui alur yang diinisiasi dari Unity.

Konten setiap formulir, seperti opsi *checkbox* dan *radio button* beserta nilai jawabannya, tidak ditulis langsung pada HTML maupun JS, melainkan dipusatkan pada satu *file* konfigurasi `FORM_CONFIG`. Konfigurasi ini berfungsi sebagai referensi tunggal yang mendefinisikan opsi yang ditampilkan dan nilai yang dikirim saat *submit*. Karena nilai jawaban harus konsisten dengan yang diharapkan *rule*



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

engine, FORM_CONFIG di-maintain oleh penelitian anggota tim lain selaku penyusun aturan validasi, sedangkan Layer 2 berperan meng-consume konfigurasi tersebut untuk me-render formulir ke dalam container kosong yang telah disediakan pada HTML. Pemisahan ini menjaga konten form tetap terstruktur pada satu sumber dan menghindari *hardcode* yang tersebar antar-file.

Jenis formulir ditentukan oleh markerType. Tipe NPC dan ItemK3 menggunakan *layout split* dengan *preview* model 3D pada panel kiri melalui *preview3d.js*, sedangkan tipe Zona menggunakan *layout full* tanpa *preview*. Tiap formulir memiliki input sesuai objek inspeksi, seperti *checkbox* APD, *radio button* kondisi, dan *checkboxlist* temuan. Tampilan formulir inspeksi NPC dan zona K3 ditunjukkan pada Gambar 4.16.



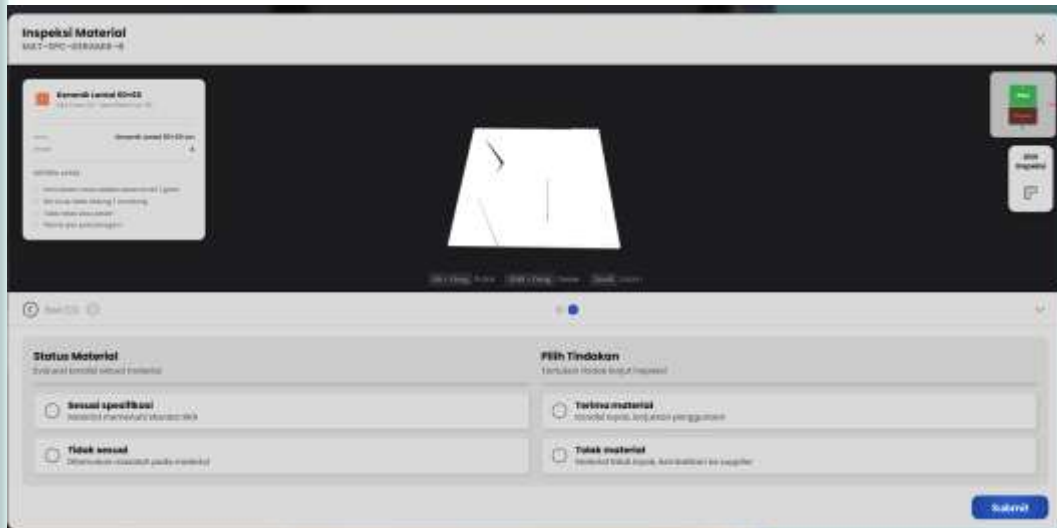
Gambar 4.16 Form Inspeksi NPC dan Zona K3

Pada skenario Material, formulir diimplementasikan melalui *materialInspection.js* dengan pola yang sama, namun berbentuk *popup frame* lebih besar yang memuat 3D canvas. Berbeda dari *preview* statis pada form K3, *popup* material menampilkan *scene* Three.js berisi model 3D material yang dapat diputar dan diperbesar untuk pengamatan dari berbagai sudut. Satu *marker* mewakili satu tumpukan material yang dapat memuat lebih dari satu soal, sehingga soal disajikan satu per satu melalui mode *slide* dengan navigasi antar-soal. Panel spesifikasi acuan tampil berdampingan dengan *canvas*, sedangkan formulir penilaian berada di bagian bawah *popup*. Setelah seluruh soal pada satu *marker* dinilai, *marker* ditandai selesai dan klasifikasi tiap soal ditampilkan pada posisi tumpukan. Tampilan *popup* inspeksi material ditunjukkan pada Gambar 4.17.



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.17 Popup Inspeksi Material

Saat pengguna menekan *submit*, input yang dikumpulkan dari formulir disusun menjadi objek jawaban yang ramping, hanya memuat keputusan pengguna sesuai jenis formulir, seperti daftar temuan dan tindakan yang dipilih. Konteks soal seperti *kodeInteraksi*, *markerType*, dan *actualCase* tidak disertakan kembali oleh Layer 2, karena telah dipegang Unity sejak formulir dibuka. Jawaban kemudian diubah ke format JSON dan dikirim kembali ke Unity melalui *SendMessage* untuk dilanjutkan ke proses validasi.

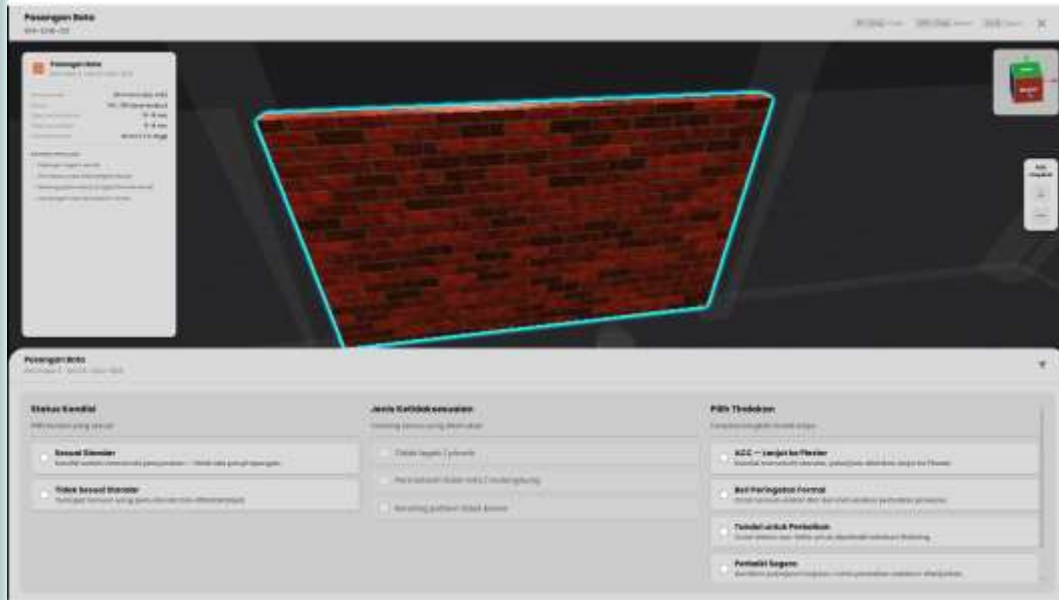
4.3.2.3 Full Page Inspection 360°

Full Page Inspection 360° Pengecekan diimplementasikan melalui *pengecekanInspection.js* dan digunakan pada skenario Audit Lapangan untuk memeriksa kualitas hasil pekerjaan konstruksi per tahapan. Komponen ini diaktifkan ketika pengguna berinteraksi dengan *marker* bertipe *Job_Monitor* pada titik pekerjaan tertentu. Berbeda dari formulir standar, inspeksi ini menampilkan *scene Three.js* berisi model 3D hasil pekerjaan, sehingga pengguna dapat memutar, memperbesar, dan mengamati kondisi pekerjaan dari berbagai sudut sebelum memberikan penilaian.

Satu *marker* pekerjaan dapat memuat lebih dari satu soal sesuai tahapan yang diperiksa, sehingga soal disajikan satu per satu melalui mode *slide* dengan navigasi antar-soal. Setiap soal memfokuskan kamera pada objek pekerjaan yang diperiksa, menampilkan panel spesifikasi acuan di sisi kiri, dan menyediakan formulir



penilaian pada bagian bawah *overlay*. Judul dan konteks tiap soal ditentukan berdasarkan tipe pekerjaan, sehingga tampilan menyesuaikan jenis pekerjaan yang sedang diinspeksi. Tampilan inspeksi 360° Pengecekan ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Full Page Inspection 360°

Formulir penilaian memuat pilihan status, jenis temuan, dan tindakan, dengan bagian temuan hanya ditampilkan ketika pengguna memilih kondisi tidak sesuai. Sebagaimana formulir inspeksi lainnya, opsi dan nilai jawaban pada formulir ini juga di-render dari FORM_CONFIG, sehingga konten form tetap bersumber dari konfigurasi terpusat. Setelah pengguna menekan *submit*, jawaban dikirim kembali ke Unity melalui SendMessage, lalu soal yang telah dinilai ditandai selesai. Setelah seluruh soal pada *marker* tersebut selesai, *marker* ditandai selesai dan kendali dikembalikan ke Unity.

Untuk menjaga konsistensi tampilan antar-objek, pengecekanInspection.js melakukan *auto-scale* dan *centering* agar setiap model pekerjaan tampil dalam proporsi yang stabil pada *scene* Three.js, meskipun berasal dari model dengan ukuran asli yang berbeda.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.3.2.4 Tools Inspeksi Interaktif

Pada inspeksi Material, *toolbar* ditampilkan sesuai kategori material yang sedang diperiksa. Setiap kategori memiliki *tools* yang berbeda sesuai aspek fisik yang perlu diamati. Sebagai contoh, semen menggunakan *tool* transparansi kemasan untuk melihat kondisi isi di dalam karung, baja tulangan menggunakan garis lurus dan *macro lens*, pasir menggunakan *macro lens*, sedangkan keramik dan *gypsum* menggunakan pengukuran berbasis *tape ruler*. Beberapa *tools* bekerja sebagai *slider* untuk mengatur tampilan secara *real-time*, sementara yang lain bekerja sebagai *toggle* untuk mengaktifkan atau menonaktifkan bantuan visual, dan sebagian lagi sebagai *tape* untuk pengukuran interaktif. Pemetaan *tools* inspeksi material disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Pemetaan *Tools* Inspeksi per Kategori Material

Kategori Material	Tool	Mekanisme	Tampilan
Semen Portland	Transparansi Kemasan	Mengatur <i>opacity mesh</i> kemasan dari 10% hingga 100% agar pengguna dapat melihat kondisi isi di	



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kategori Material	Tool	Mekanisme	Tampilan
		dalam kemasan.	
Baja Tulangan	Garis Lurus	Menampilkan tiga garis horizontal putus-putus sebagai referensi visual di atas <i>canvas</i> untuk membantu mendeteksi bengkok pada batang baja.	
Baja Tulangan	Macro Lens	Lensa bulat 140 piksel mengambang mengikuti kursor, menampilkan perbesaran 4× dari area <i>canvas</i> di bawahnya untuk memeriksa permukaan batang secara detail.	



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kategori Material	Tool	Mekanisme	Tampilan
Pasir	Macro Lens	Kursor berubah menjadi lensa bulat 140 piksel yang menampilkan perbesaran 4× dari area di bawahnya untuk memeriksa butiran pasir secara detail.	
Batu Split	Macro Lens	Lensa bulat 140 piksel mengambang mengikuti kursor, menampilkan perbesaran 4× dari area canvas di bawahnya untuk memeriksa tekstur dan bentuk butiran batu secara detail.	



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kategori Material	Tool	Mekanisme	Tampilan
Keramik	Tape Ruler	Pengguna men- <i>drag</i> dari satu titik ke titik lain pada permukaan model untuk mengukur dimensi. Hasil ukur dibandingkan terhadap <i>spec</i> 60 cm dengan toleransi $\pm 10\%$, lalu ditampilkan sebagai label hijau bila sesuai atau oranye bila menyimpang.	
Plafon Gypsum	Tape Ruler	Kamera di- <i>snap</i> ke <i>side view</i> dan pengukuran dikunci pada sumbu vertikal, sehingga pengguna hanya	



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kategori Material	Tool	Mekanisme	Tampilan
		mengukur ketebalan papan. Hasil ukur dibandingkan terhadap <i>spec</i> ketebalan dengan toleransi $\pm 10\%$.	

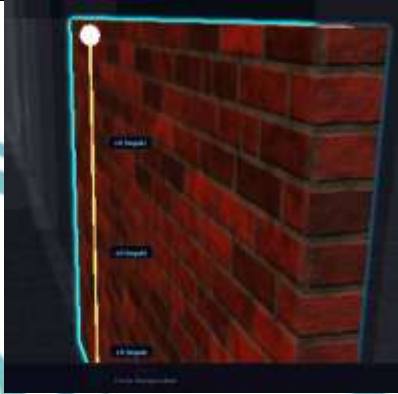
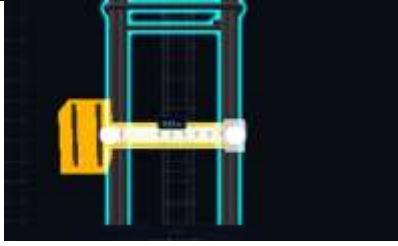
Pemetaan tersebut memastikan setiap kategori material hanya menampilkan alat bantu yang relevan dengan aspek fisik yang diperiksa, sehingga pengguna terarah pada objek pengamatan yang sesuai.

Pada inspeksi Pengecekan, *tools* digunakan untuk membantu pemeriksaan kualitas pekerjaan konstruksi. *Tools* yang tersedia meliputi unting-unting untuk mengecek vertikalitas, benang kelurusan untuk mengecek kelurusan pasangan bata, meteran untuk pengukuran jarak atau dimensi, siku besi untuk memeriksa sudut kolom, tes ketuk untuk mendukung pengecekan indikasi beton keropos, dan *laser level* untuk mengecek kerataan rangka atau panel plafon. Setiap *tool* ditampilkan secara kontekstual berdasarkan jenis pekerjaan yang sedang diperiksa, sehingga pengguna hanya melihat alat bantu yang relevan dengan objek inspeksi. Pemetaan *tools* inspeksi pengecekan disajikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Pemetaan *Tools* Inspeksi Per Tipe Pekerjaan

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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tipe Pekerjaan	Tool	Mekanisme	Tampilan
Bata	Unting-unting	Satu klik menempatkan tali dan bandul yang menggantung dari titik klik ke arah gravitasi. Label deviasi menunjukkan penyimpangan permukaan dari garis vertikal sempurna.	
Bata	Benang Kelurusan	Dua klik menentukan dua titik referensi. Garis horizontal ditarik antara kedua titik, dan deviasi kelurusan diukur pada beberapa titik sampel. Label menampilkan celah maksimum atau "✓ lurus".	
Pembesian Kolom, KolomCor, Pembesian Tangga,	Meteran	Pengguna menekan, menarik, dan melepas untuk menentukan dua titik pengukuran	



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tipe Pekerjaan	Tool	Mekanisme	Tampilan
TanggaCor, RangkaPlafon, RangkaAtap		dengan label jarak <i>real-time</i> . Meteran final divisualisasikan sebagai <i>blade</i> datar dengan <i>texture tick marks</i> , <i>housing reel</i> , dan <i>end hook</i> . Kamera di- <i>snap</i> otomatis sesuai konteks: horizontal untuk kolom, <i>top-down</i> untuk tangga, dan <i>bottom-up</i> untuk plafon.	
KolomCor	Siku Besi	Keempat <i>edge</i> vertikal kolom ditampilkan dengan garis <i>outline</i> sebagai panduan. Pengguna mengeklik salah satu <i>edge</i> , kemudian model siku besi berbentuk L ditempatkan di <i>corner</i> dan kamera <i>snap top-down</i>	



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tipe Pekerjaan	Tool	Mekanisme	Tampilan
		untuk penilaian visual presisi sudut 90°.	
KolomCor	Tes Ketuk	Klik pada permukaan kolom memainkan efek suara ketukan yang berbeda berdasarkan data <i>actualCase</i>: ketukan padat untuk beton normal atau ketukan berongga untuk <i>honeycomb</i>. <i>Overlay waveform</i> memvisualisasikan pola gelombang suara di sisi kiri <i>toolbar</i>.	
RangkaPlafon, PanelPlafon	<i>Laser Level</i>	Satu klik menempatkan <i>beam</i> laser vertikal dari lantai ke ketinggian titik klik, dilanjutkan garis silang horizontal. Deviasi setiap <i>mesh</i> rangka terhadap bidang	



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tipe Pekerjaan	Tool	Mekanisme	Tampilan
		laser dihitung dan ditampilkan sebagai label per mesh.	

Pemetaan tersebut menghubungkan tiap jenis pekerjaan dengan alat bantu yang sesuai, sehingga pemeriksaan kualitas dapat dilakukan menggunakan *tool* yang tepat untuk tiap aspek pekerjaan.

Secara teknis, *tools* inspeksi menggunakan kombinasi objek Three.js dan elemen HTML. Bantuan visual berbasis model atau garis pengukuran, seperti *ruler*, meteran, unting-unting, dan *laser level*, ditampilkan langsung pada *scene* Three.js. Sementara itu, bantuan visual berbasis tampilan layar, seperti garis referensi, legenda warna, dan *macro lens*, ditampilkan sebagai elemen HTML di atas Canvas. Hasil penggunaan *tools* tidak dikirim sebagai nilai penilaian otomatis, melainkan menjadi acuan visual bagi pengguna sebelum mengisi formulir inspeksi.

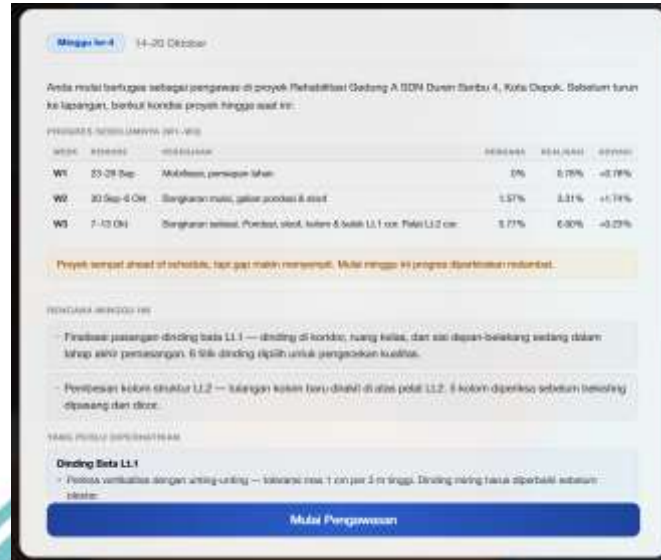
4.3.2.5 Komponen Pendukung Alur Simulasi

Selain komponen inspeksi inti, *layer* HTML/JS *overlay* juga menyediakan komponen pendukung yang membantu kelancaran alur simulasi. Komponen tersebut meliputi *planned brief* sebagai pengarah awal, Panel Rekap sebagai komponen terintegrasi untuk menampilkan ringkasan jawaban, dan *dashboard* Kurva S sebagai antarmuka evaluasi progres pada skenario Audit Lapangan.

Planned brief diimplementasikan melalui *plannedBriefManager.js*. Komponen ini menampilkan pengarah awal saat *scene* dimuat, berisi informasi minggu, rencana pekerjaan, hal yang perlu diperhatikan, dan tugas pengguna. Konten *briefing* diambil dari konfigurasi pada *data.js* berdasarkan skenario atau minggu yang sedang aktif. Pada skenario K3 dan Material, *briefing* muncul satu kali di awal skenario, sedangkan pada skenario Audit Lapangan *briefing* muncul setiap memasuki minggu baru. Setelah pengguna menutup *briefing*, notifikasi dikirim kembali ke Unity agar alur simulasi dapat dimulai. Tampilan *planned brief* ditunjukkan pada Gambar 4.19.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.19 Tampilan *Planned Brief*

Panel Rekap digunakan sebagai komponen terintegrasi untuk menampilkan ringkasan jawaban selama sesi berlangsung. Akses menuju Panel Rekap dipicu dari HUD pada Unity, sedangkan tampilannya berada pada HTML/JS *overlay*. Dalam penelitian ini, Panel Rekap tidak dibahas sebagai komponen utama yang dirancang oleh penulis, melainkan sebagai komponen pendukung yang terhubung dengan alur simulator.

Dashboard Kurva S diimplementasikan melalui *kurvaSManager.js* dan digunakan khusus pada skenario Audit Lapangan. Komponen ini menampilkan grafik rencana dan realisasi progres per minggu, kartu deviasi, serta formulir evaluasi progres. Formulir evaluasi baru dapat digunakan setelah seluruh tugas inspeksi lapangan pada minggu aktif selesai. Setelah evaluasi dikirim, jawaban dikembalikan ke Unity untuk diproses dalam alur validasi dan transisi minggu berikutnya. Tampilan *dashboard* Kurva S ditunjukkan 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.20 Tampilan *Dashboard* Kurva S

Dengan adanya komponen pendukung ini, layer HTML/JS *overlay* tidak hanya berfungsi sebagai tempat pengisian formulir inspeksi, tetapi juga menampung pengarah awal, akses menuju komponen rekap, dan evaluasi progres mingguan. Seluruh input pengguna tetap dikembalikan ke Unity, sedangkan proses validasi jawaban dilakukan melalui validator eksternal sesuai rancangan arsitektur sistem.

4.3.2.6 Antarmuka HUD

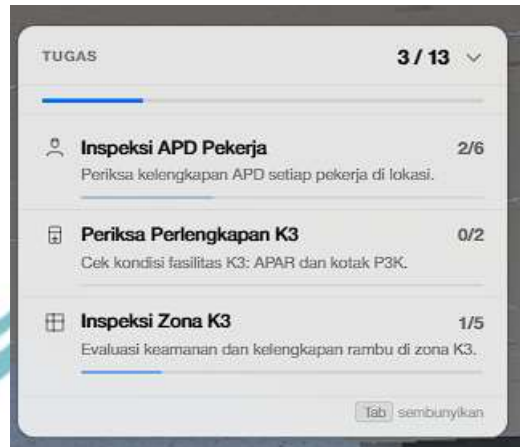
Antarmuka *head-up display* (HUD) diimplementasikan sebagai elemen HTML pada *overlay* untuk menampilkan informasi pendukung selama pengguna menjelajahi *environment*. HUD terdiri atas dua komponen, yaitu *task panel* yang menampilkan progres tugas dan *keybind HUD* yang menampilkan petunjuk *shortcut* keyboard. Keduanya dikunci pada resolusi 1920×1080 dan di-scale dengan pendekatan *letterbox* mengikuti komponen *overlay* lainnya, sehingga tata letaknya konsisten di berbagai ukuran layar.

Task panel berada di sudut kiri atas dan berfungsi sebagai pelacak progres inspeksi per jenis tugas. Setiap entri menampilkan label tugas beserta jumlah tugas yang telah diselesaikan terhadap totalnya, dilengkapi *progress bar* agregat untuk seluruh tugas. Panel baru muncul ketika skenario dimulai, yaitu saat Unity mengirimkan pembaruan data progres pertama. Data progres dikirim dari Unity ke *overlay* dalam

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

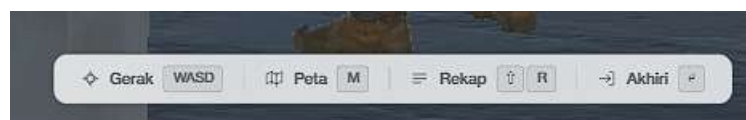
format JSON melalui *bridge*, kemudian *task panel* memperbarui tampilannya sesuai data terkini. Tampilan *task panel* ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Tampilan Task Panel

Task panel dapat disembunyikan oleh pengguna melalui tombol Tab atau dengan menekan header panel. Selain itu, panel disembunyikan secara otomatis ketika *overlay* lain sedang terbuka, seperti *popup* formulir, *planned brief*, atau panel rekap, agar tidak menutupi tampilan utama. Setelah *overlay* tersebut ditutup, panel kembali ditampilkan selama pengguna tidak menyembunyikannya secara manual.

Keybind HUD berada di bagian bawah tengah layar dan menampilkan petunjuk *shortcut* untuk aksi utama, seperti pergerakan (WASD), membuka peta (M), membuka rekap (Shift+R), dan mengakhiri simulasi. Petunjuk yang ditampilkan menyesuaikan skenario yang sedang berjalan: petunjuk peta tidak ditampilkan pada skenario Material, sedangkan petunjuk *dashboard* Kurva S (E) hanya ditampilkan pada skenario Gabungan. *Keybind HUD* mengikuti visibilitas *task panel*, sehingga ikut tersembunyi ketika panel disembunyikan atau *overlay* lain terbuka. Tampilan *keybind HUD* ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Tampilan Keybind HUD

Task panel dan *keybind HUD* tersebut melengkapi *layer* antarmuka dengan menyajikan progres inspeksi dan petunjuk kontrol secara ringkas tanpa



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

mengganggu tampilan utama simulasi. Dengan terbentuknya seluruh komponen *overlay* ini, pembahasan dilanjutkan ke mekanisme yang menghubungkan antarmuka dengan proses validasi pada *bridge* dan integrasi validator.

4.3.3 Implementasi Bridge dan Integrasi Validator

Implementasi *bridge* dan integrasi *validator* dilakukan untuk menghubungkan input inspeksi pengguna dengan sistem validasi eksternal. Setelah pengguna menekan *submit*, *overlay* HTML/JS mengirimkan jawaban ke Unity melalui *SendMessage*. Data tersebut diterima *PopupFormManager*, lalu dikemas sebagai *payload* validasi dan dikirim ke *validator* menggunakan HTTP POST melalui *UnityWebRequest*. Integrasi ini berlangsung pada dua titik pengiriman, yaitu pengiriman per jawaban yang dilakukan setiap kali pengguna menyelesaikan satu inspeksi, dan pengiriman akhir sesi yang merangkum seluruh jawaban ketika simulasi selesai.

Pengiriman per jawaban dikemas dalam struktur pembungkus (*envelope*) yang memisahkan konteks soal dari jawaban pengguna. Di bagian luar terdapat *kodeInteraksi* dan *markerType* sebagai identitas soal, serta *actualCase* sebagai kondisi aktual objek inspeksi. Jawaban pengguna ditempatkan terpisah pada *field* *answer* yang hanya memuat input formulir, seperti daftar APD yang tidak terpasang dan tindakan yang dipilih. Pemisahan ini menjadikan *answer* ramping karena hanya berisi keputusan pengguna, sedangkan konteks dan kondisi objek disusun Unity dari data yang telah dipegang sejak formulir dibuka. *actualCase* disertakan agar *validator* dapat membandingkan jawaban pengguna dengan kondisi sebenarnya pada objek yang diperiksa. Identitas sesi tidak ikut dikirim di tiap jawaban, karena satu kali masuk hanya membentuk satu sesi sehingga *sessionId* cukup disertakan pada *payload* akhir sesi. Struktur *payload* per jawaban ditunjukkan pada Gambar 4.23.

```
{
  "kodeInteraksi": "TGG-APD-01",
  "markerType": "Worker",
  "actualCase": {
    "namaRole": "Tukang Beton",
    "apdTerpasang": ["Sepatu", "Sarung Tangan", "Kacamata"]
  },
  "answer": {
    "apdTidakTerpasang": ["Helm", "Rompi"],
    "tindakan": "beri_peringatan"
  }
}
```

```
}
```

Gambar 4.23 Payload Per Jawaban ke Validator

Respons dari *validator* berisi hasil klasifikasi dan keterangan validasi. Hasil tersebut digunakan Unity untuk memperbarui status simulasi, seperti menyimpan hasil klasifikasi, menandai *marker* selesai, memperbarui progres tugas, dan mengembalikan kontrol pengguna. Pada skenario Audit Lapangan, hasil klasifikasi juga disimpan ke *SessionManager* agar tetap tersedia saat perpindahan *scene*. Proses inferensi pada *rule engine* tidak dibahas pada penelitian ini karena menjadi bagian dari penelitian anggota tim lain.

Setelah seluruh inspeksi pada satu sesi selesai, jawaban yang terkumpul dikirim sebagai satu *payload* akhir sesi ke *validator* untuk disimpan. *Payload* ini memuat metadata sesi (*sessionId*, *userId*, *userName*, *email*, *startTime*, dan *endTime*) serta kumpulan jawaban yang dikelompokkan per skenario dan tipe *marker* di dalam *scenarios*. Setiap jawaban bersifat mandiri karena menyertakan *kodeInteraksi*, *markerType*, *scenario*, *actualCase*, *answer*, dan *response* berupa hasil klasifikasi yang diterima sebelumnya, sehingga tiap jawaban dapat ditelusuri secara utuh tanpa bergantung pada data lain. Khusus skenario Audit Lapangan, kunci skenario pada *payload* tertulis "Gabungan" mengikuti penamaan internal di kode, sedangkan "Audit Lapangan" hanya nama tampilan. *Payload* akhir sesi kemudian disimpan *validator* ke basis data. Struktur *payload* akhir sesi ditunjukkan pada Gambar 4.24.

```
"scenarios": {
  "Gabungan": {
    "Job": [
      {
        "kodeInteraksi": "W4-CHK-01",
        "markerType": "Job",
        "scenario": "Gabungan",
        "actualCase": {
          "kodeInteraksi": "W4-CHK-01",
          "tipePekerjaan": "Bata",
          "week": 4,
          "aktual": { "ketegakan": false, "permukaan": true, "bondingPattern":
true }
        },
        "answer": { "status": "tidak_sesuai", "jenisTemuan":
["tidak_tegak_plumb"], "tindakan": "tandai_untuk_perbaikan" },
        "response": { "klasifikasi": "CA", "keterangan": "...", "konsekuensi":
"..." }
      }
    ]
  },
}
```



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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```

"Material": {
  "Material": [
    {
      "kodeInteraksi": "MAT-SPC-SEMEN-A",
      "markerType": "Material",
      "scenario": "Material",
      "actualCase": { "jenisMaterial": "Semen Portland", "aktual": { /* aspek
mentah */ } },
      "answer": { "statusMaterial": "tidak_sesuai", "tindakan":
"tolak_material" },
      "response": { "klasifikasi": "CA", "keterangan": "...", "konsekuensi":
"..."}
    }
  ]
}

```

Gambar 4.24 Payload Akhir Sesi ke Validator

Untuk menjaga alur simulasi tetap berjalan, `PopupFormManager` menerapkan mekanisme *fallback* ketika komunikasi dengan *validator* gagal, baik karena permintaan tidak memperoleh respons (*server* tidak aktif, koneksi *timeout*, atau respons HTTP gagal) maupun karena respons yang diterima tidak valid. Pada kondisi tersebut, klasifikasi ditetapkan sebagai UNKNOWN, *marker* tetap ditandai selesai, dan pengguna dapat melanjutkan interaksi berikutnya. Implementasi *fallback* klasifikasi UNKNOWN ditunjukkan pada Gambar 4.25.

```

// PostAndSetDone – tangani kegagalan komunikasi dengan validator
yield return req.SendWebRequest();
ClassificationResult result;
if (req.result == UnityWebRequest.Result.Success)
    result = ClassificationResult.FromJson(req.downloadHandler.text);
else
    // Koneksi gagal (timeout / server mati / HTTP error) -> klasifikasi
    UNKNOWN
    result = new ClassificationResult(Classification.UNKNOWN, $"Koneksi
gagal: {req.error}");

// Marker tetap ditandai selesai meskipun hasil UNKNOWN, agar sesi tidak
berhenti
marker?.SetDone(result);
// ClassificationResult.FromJson – fallback saat response tidak valid
if (wrapper == null || !wrapper.success)
    return new ClassificationResult(Classification.UNKNOWN, "Response
tidak valid.");
if (!System.Enum.TryParse(wrapper.klasifikasi, out Classification klas))
    klas = Classification.UNKNOWN; // nilai klasifikasi tidak dikenal

```

Gambar 4.25 Fallback Klasifikasi UNKNOWN



Kedua jalur tersebut memastikan setiap kegagalan, baik pada tingkat koneksi maupun pada tingkat validitas respons, diarahkan ke klasifikasi UNKNOWN sehingga simulasi tetap berjalan tanpa terhenti dan jawaban pengguna tetap tercatat.

4.4 Pengujian

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu *alpha testing* dan *beta testing*. *Alpha testing* dilaksanakan secara internal oleh tim pengembang untuk memverifikasi bahwa seluruh mekanisme simulasi pada setiap lapisan arsitektur berfungsi sesuai rancangan sebelum diujikan kepada pengguna eksternal. *Beta testing* dilaksanakan dengan melibatkan perwakilan pengguna akhir dari pihak PT Bumi Madani untuk mengevaluasi pengalaman penggunaan simulator melalui *usability testing* berbasis tugas.

Kedua tahap tersebut menilai kelayakan simulator dari dua sisi yang berbeda namun saling melengkapi. *Alpha testing* menilai kelayakan fungsional, yaitu sejauh mana setiap mekanisme simulator, termasuk integrasinya dengan *rule engine*, berjalan sesuai rancangan tanpa kesalahan teknis. *Beta testing* menilai kelayakan dari sisi kegunaan (*usability*), yaitu sejauh mana pengguna sasaran dapat menjalankan tugas inspeksi pada simulator secara mandiri. Dengan demikian, penilaian kelayakan dalam penelitian ini merujuk pada kelayakan fungsional dan kegunaan, bukan pada efektivitas pelatihan atau peningkatan kompetensi pengguna, yang berada di luar cakupan penelitian.

4.4.2 Prosedur Pengujian

4.4.2.1 Alpha Testing

Alpha testing dilakukan oleh tim pengembang dalam lingkungan terkendali menggunakan browser Google Chrome pada perangkat laptop. Pengujian ini bersifat fungsional dan menilai kelayakan simulator dari dua sisi, yaitu fungsi internal simulator dan integrasi simulator dengan *rule validator*. Setiap butir pengujian diberi kode identitas agar dapat dirujuk kembali pada penyajian data hasil tanpa pengulangan deskripsi. Temuan yang berstatus Belum Sesuai dievaluasi,

- 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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

diperbaiki, lalu diverifikasi ulang sebelum simulator dinyatakan siap untuk tahap *beta testing*.

Aspek pertama menguji fungsi internal simulator, meliputi navigasi, sistem *marker*, antarmuka, mekanisme inspeksi, pengelolaan sesi, serta performa. Karena tidak seluruh aspek berlaku pada setiap skenario, kolom Cakupan menunjukkan skenario yang relevan untuk masing-masing butir. Prosedur pengujian fungsional simulator disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Prosedur Pengujian Fungsional Simulator

Kode Uji	Aspek Pengujian	Deskripsi Pengujian	Ekspektasi (kriteria Sesuai)	Cakupan
AF-01	Navigasi & kontrol pemain	Menguji pergerakan pemain dan kontrol kamera pada <i>scene</i> simulasi	Pergerakan WASD, <i>mouse look</i> , dan <i>pointer lock</i> berfungsi dengan baik di browser	Seluruh skenario
AF-02	Sistem <i>marker</i> interaktif	Menguji deteksi <i>marker</i> , transisi status, dan perubahan warna setelah <i>submit</i>	<i>Marker</i> terdeteksi melalui <i>raycast</i> , transisi status idle→active→done berjalan, warna berubah sesuai klasifikasi	Seluruh skenario
AF-03	Antarmuka HUD & <i>task panel</i>	Menguji <i>task panel</i> , <i>progress counter</i> , dan tombol rekap	Seluruh komponen HUD berfungsi sesuai rancangan	Seluruh skenario
AF-04	Formulir inspeksi (<i>popup</i>)	Menguji <i>render</i> dan <i>submit</i> formulir <i>popup</i> sesuai tipe <i>marker</i> , termasuk <i>preview</i> 3D di dalam <i>popup</i> pada skenario yang menggunakannya	Formulir ter- <i>render</i> sesuai tipe, <i>preview</i> 3D tampil di dalam <i>popup</i> , jawaban terkirim ke Unity	Seluruh skenario
AF-05	<i>Full page inspection</i> 360°	Menguji tampilan inspeksi 360° yang tampil penuh sebagai	Model ter- <i>load</i> , orbit dan <i>zoom</i> berfungsi, tampilan mengambang penuh	Audit Lapangan

**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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kode Uji	Aspek Pengujian	Deskripsi Pengujian	Ekspektasi (kriteria Sesuai)	Cakupan
		<i>layer</i> level dokumen di luar <i>root overlay</i>	di atas <i>root</i> , objek target ter- <i>highlight</i>	
AF-06	<i>Tools</i> inspeksi	Menguji <i>tools</i> inspeksi sesuai objek yang diperiksa	Seluruh <i>tools</i> berfungsi sesuai kategori material atau tipe pekerjaan	Material, Audit Lapangan
AF-07	Dashboard Kurva S & transisi minggu	Menguji <i>render</i> grafik rencana versus realisasi, formulir evaluasi progres, dan gerbang transisi antar-minggu W4–W7	Grafik ter- <i>render</i> (Chart.js), evaluasi aktif setelah tugas selesai, transisi W4–W7 berjalan	Audit Lapangan
AF-08	Manajemen sesi & persistensi	Menguji <i>SessionManager</i> menyimpan <i>state</i> sesi setiap terjadi perubahan dan pemulihan sesi (<i>resume</i>) dari <i>localStorage</i>	<i>State</i> sesi tersimpan konsisten setiap perubahan dan sesi dapat dipulihkan setelah halaman dimuat ulang	Seluruh skenario
AF-09	Performa & <i>rendering</i>	Menguji kestabilan performa, khususnya saat <i>overlay</i> inspeksi 360° aktif	<i>Scene</i> dan <i>overlay</i> berjalan tanpa lag signifikan maupun <i>crash</i> pada kondisi <i>dual WebGL</i>	Seluruh skenario

Aspek kedua menguji integrasi simulator dengan *rule validator*, yaitu komponen eksternal yang dikembangkan pada penelitian anggota tim lain. Pengujian ini bersifat fungsional dari sisi simulator dan difokuskan pada aliran data serta penyajian hasil, bukan pada ketepatan klasifikasi itu sendiri. Seluruh butir integrasi berlaku pada ketiga skenario karena mekanisme komunikasinya identik. Prosedur pengujian integrasi disajikan pada Tabel 4.20.



Tabel 4.20 Prosedur Pengujian Integrasi Simulator–Rule Validator

Kode Uji	Aspek Integrasi	Deskripsi Pengujian	Ekspektasi (kriteria Sesuai)
INT-01	Pengiriman jawaban ke <i>validator</i>	Menguji pengiriman jawaban inspeksi beserta kondisi aktual objek (<i>ground truth</i>) dari simulator ke <i>validator</i> melalui HTTP	<i>Payload</i> terkirim sesuai kontrak data (PopupData/actualCase) dan diterima <i>validator</i>
INT-02	Penerimaan & pemetaan klasifikasi	Menguji penerimaan hasil klasifikasi dari <i>validator</i> dan pembaruan status serta warna <i>marker</i>	Hasil klasifikasi diterima, status dan warna <i>marker</i> berubah sesuai kategori yang dikembalikan
INT-03	Penyajian umpan balik via WebSocket	Menguji umpan balik edukatif yang di- <i>push</i> <i>validator</i> dan ditampilkan pada Learning Insight	Umpan balik muncul pada Learning Insight setelah inspeksi tanpa transit melalui Unity
INT-04	Akumulasi hasil pada Panel Rekap	Menguji akumulasi hasil klasifikasi lintas titik inspeksi dalam satu skenario	Panel Rekap menampilkan seluruh hasil sesuai jumlah dan kategori
INT-05	Penyimpanan sesi ke server	Menguji pengiriman seluruh jawaban sesi ke server saat pengguna menekan Selesai Sesi	Data tersimpan sesuai <i>sessionId</i> dan identitas pengguna

Kedua tabel prosedur tersebut menjadi acuan pelaksanaan *alpha testing* pada ketiga skenario simulasi. Pelaksanaannya mencakup verifikasi tiap butir fungsional sesuai cakupan skenario masing-masing, dilanjutkan pengujian integrasi untuk memastikan alur data antara simulator dan *rule validator* berjalan utuh.

4.4.2.2 Beta Testing

Beta testing dilakukan dengan pendekatan *usability testing* berbasis tugas (*task-based*). Responden menjalankan skenario tugas inspeksi yang telah dirancang, sementara peneliti mengamati keberhasilan tugas, hambatan penggunaan,



kesalahan interaksi, dan kebutuhan bantuan selama pengerjaan. Hasilnya dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi bagian simulator yang sudah berjalan baik maupun yang perlu diperbaiki.

Keberhasilan setiap tugas dicatat sebagai ukuran biner, yaitu Berhasil (B) apabila responden menyelesaikan tugas secara mandiri sesuai kriteria keberhasilan, dan Tidak Berhasil (TB) apabila tidak (Sauro & Lewis, 2012). Tingkat keberhasilan kemudian dihitung menggunakan *task completion rate*, baik per skenario maupun secara keseluruhan, dengan rumus berikut.

$$\text{Task Completion Rate} = \frac{\text{Jumlah tugas berhasil}}{\text{Jumlah seluruh tugas}} \times 100\%$$

Nilai *task completion rate* diinterpretasikan mengacu pada distribusi hasil pengujian *usability* yang dilaporkan Sauro (2011), dengan rata-rata 78% sebagai batas hasil di atas dan di bawah rata-rata, nilai di atas 92% sebagai kuartil teratas, dan di bawah 49% sebagai kuartil terbawah. Ambang 78% digunakan sebagai dasar keputusan: nilai di bawah 78% menjadi acuan untuk melakukan perbaikan dan pengujian ulang pada simulator.

Skenario tugas *usability testing* disusun terpisah untuk setiap skenario simulasi sesuai objek dan alur inspeksi masing-masing. Skenario tugas pada skenario K3 disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Skenario Tugas UT Skenario K3

No.	Tugas Pengguna	Kriteria Keberhasilan
1	Membaca instruksi awal skenario K3.	Responden memahami tujuan inspeksi dan tugas utama pada skenario K3.
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> inspeksi K3.	Responden dapat menuju area inspeksi dan mengenali <i>marker</i> yang tersedia.
3	Melakukan inspeksi APD pekerja.	Responden dapat membuka <i>marker</i> APD, mengisi <i>form</i> inspeksi, dan mengirim jawaban.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4	Melakukan inspeksi fasilitas atau zona K3.	Responden dapat memeriksa objek K3, mengisi <i>form</i> , dan mengirim jawaban sesuai alur.
---	--	---

Tugas pada skenario K3 mencakup pembacaan instruksi awal, navigasi area untuk menemukan marker inspeksi, inspeksi APD pekerja, hingga inspeksi fasilitas atau zona K3, dengan kriteria keberhasilan berupa kemampuan responden mengisi dan mengirim jawaban sesuai alur. Selanjutnya, skenario tugas pada skenario Material disajikan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Skenario Tugas UT Skenario Material

No.	Tugas Pengguna	Kriteria Keberhasilan
1	Membaca instruksi awal skenario Material.	Responden memahami tujuan inspeksi material yang akan dilakukan.
2	Menemukan objek material dan membuka mode inspeksi.	Responden dapat membuka akses inspeksi material melalui <i>marker</i> yang tersedia.
3	Menggunakan tampilan inspeksi 360 derajat pada objek material.	Responden dapat melihat, memutar, atau memperbesar objek material yang diperiksa, serta berpindah antar-soal pada popup inspeksi.
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi material sesuai kategori material yang diperiksa.	Responden dapat menggunakan <i>tools</i> yang tersedia, seperti transparansi kemasan, garis bantu, pengukuran dimensi, atau alat bantu visual lain sesuai material yang dipilih.
5	Mengisi <i>form</i> inspeksi material berdasarkan kondisi objek dan hasil pengamatan melalui <i>tools</i> .	Responden dapat mengisi <i>form</i> , mengirim jawaban, dan menerima <i>feedback</i> dari sistem.

Tugas pada skenario Material diarahkan pada penemuan objek material, penggunaan tampilan inspeksi 360 derajat, pemanfaatan *tools* inspeksi 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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

kategori material, hingga pengisian formulir berdasarkan hasil pengamatan. Selanjutnya, skenario tugas pada skenario Audit Lapangan disajikan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Skenario Tugas UT Skenario Audit Lapangan

No.	Tugas Pengguna	Kriteria Keberhasilan
1	Membaca <i>planned brief</i> pada minggu simulasi yang aktif.	Responden memahami target pekerjaan dan konteks minggu simulasi.
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> pengecekan pekerjaan.	Responden dapat menemukan <i>marker</i> pengecekan pada area yang tersedia.
3	Membuka tampilan inspeksi 360 derajat pada objek pekerjaan.	Responden dapat melihat objek pekerjaan dari sudut yang tersedia dan memahami objek yang perlu diperiksa.
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi pengecekan sesuai jenis pekerjaan.	Responden dapat menggunakan <i>tools</i> seperti unting-unting, benang kelurusan, meteran, atau siku besi sesuai objek pekerjaan yang diperiksa.
5	Melakukan pengecekan kualitas pekerjaan berdasarkan hasil pengamatan.	Responden dapat membuka <i>form</i> pengecekan, mengisi jawaban, dan mengirim hasil inspeksi.
6	Membuka dashboard Kurva S dan mengisi evaluasi progres.	Responden dapat membaca informasi progres, mengisi evaluasi, dan mengirim jawaban.
7	Melanjutkan alur simulasi sampai rekap akhir.	Responden dapat mengikuti perpindahan minggu simulasi dan membaca hasil akhir yang ditampilkan.

Tugas pada skenario Audit Lapangan mencakup pembacaan *planned brief*, pengecekan kualitas pekerjaan per tahapan menggunakan *tools* inspeksi, hingga



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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

pengisian evaluasi progres melalui *dashboard* Kurva S dan penelusuran alur simulasi sampai rekap akhir. Selain *task completion rate*, *usability testing* juga mengumpulkan catatan observasi terhadap kesulitan yang dialami pengguna selama mengerjakan tugas. Sauro & Lewis (2012) menyebutkan bahwa pengujian *usability* umumnya turut mencatat *errors*, akses bantuan (*assists*), serta daftar permasalahan kegunaan (*usability problems*) di samping keberhasilan tugas. Mengacu pada hal tersebut, penelitian ini mengamati tiga kategori observasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Kategori Observasi UT

No.	Kategori	Keterangan
1	<i>Usability Problems</i> (Permasalahan Kegunaan)	Bagian simulator yang menyulitkan responden, seperti elemen yang membingungkan, sulit ditemukan, atau membutuhkan waktu adaptasi lebih lama.
2	<i>Errors</i> (Kesalahan Interaksi)	Tindakan keliru yang dilakukan responden saat berinteraksi, seperti salah urutan langkah, salah memilih tombol, atau keliru menggunakan <i>tools</i> inspeksi.
3	<i>Assists</i> (Kebutuhan Bantuan)	Kondisi ketika responden membutuhkan arahan tambahan dari peneliti untuk dapat melanjutkan atau menyelesaikan tugas.

Ketiga kategori tersebut mencakup *usability problems* berupa bagian simulator yang menyulitkan responden, *errors* berupa tindakan keliru saat berinteraksi, dan *assists* berupa kebutuhan arahan tambahan dari peneliti. Data yang diperoleh dari beta testing digunakan untuk menilai *usability* simulator berdasarkan keberhasilan penyelesaian tugas serta catatan observasi pada ketiga kategori tersebut.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

4.4.3.1 Data Hasil Alpha Testing

Data hasil *alpha testing* disusun berdasarkan pelaksanaan pengujian internal tim pengembang terhadap ketiga skenario simulasi. Penyajian dibagi menjadi dua bagian, yaitu hasil pengujian fungsional simulator per skenario dan hasil pengujian integrasi simulator dengan *rule validator*. Setiap tabel merujuk kode uji yang telah



didefinisikan pada prosedur pengujian, sehingga hanya memuat hasil yang dicapai dan kesimpulan. Temuan yang berstatus Belum Sesuai beserta perbaikannya diuraikan secara naratif setelah masing-masing tabel. Hasil pengujian fungsional pada skenario K3 disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil Uji Fungsional Skenario K3

Kode Uji	Hasil yang Dicapai	Kesimpulan
AF-01	Seluruh kontrol pergerakan dan kamera berfungsi dengan baik di browser	Sesuai
AF-02	Seluruh <i>marker</i> terdeteksi, transisi status dan perubahan warna berjalan sesuai rancangan	Sesuai
AF-03	<i>Task panel</i> , <i>progress counter</i> , dan tombol rekap berfungsi sesuai rancangan	Sesuai
AF-04	Formulir ter- <i>render</i> dan jawaban terkirim, namun <i>preview</i> 3D model NPC pada formulir APD membutuhkan waktu <i>loading</i> lama karena setiap model FBX di- <i>fetch</i> ulang dari jaringan setiap kali formulir dibuka	Belum Sesuai
AF-08	<i>State</i> sesi tersimpan konsisten setiap perubahan dan sesi dapat dipulihkan setelah halaman dimuat ulang	Sesuai
AF-09	<i>Scene</i> ter- <i>load</i> dalam waktu wajar tanpa lag signifikan	Sesuai

Seluruh aspek pada skenario K3 berstatus Sesuai, kecuali satu temuan pada formulir inspeksi (AF-04). *Preview* 3D model NPC membutuhkan waktu *loading* lama karena setiap model FBX di-*fetch* ulang dari jaringan setiap kali formulir dibuka. Temuan ini diperbaiki dengan menerapkan *buffer caching* pada modul *preview3d.js*. Model FBX yang telah di-*fetch* disimpan sebagai *ArrayBuffer* di dalam *cache*, sehingga pembukaan formulir berikutnya tidak lagi memerlukan *request* jaringan dan langsung di-*parse* dari *buffer* yang tersimpan. Setelah perbaikan, waktu *loading preview* 3D pada pembukaan formulir kedua dan seterusnya berkurang secara signifikan, dan pengujian ulang pada AF-04 menunjukkan hasil Sesuai. Selanjutnya, hasil pengujian fungsional pada skenario Material disajikan pada Tabel 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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.26 Hasil Uji Fungsional Skenario Material

Kode Uji	Hasil yang Dicapai	Kesimpulan
AF-01	Seluruh kontrol pergerakan dan kamera berfungsi dengan baik di browser	Sesuai
AF-02	Seluruh <i>marker</i> terdeteksi, transisi status dan perubahan warna berjalan sesuai rancangan	Sesuai
AF-03	<i>Task panel</i> , <i>progress counter</i> , dan tombol rekap berfungsi sesuai rancangan	Sesuai
AF-04	Formulir <i>popup</i> ter-render, <i>preview</i> 3D material 360° di dalam <i>popup</i> tampil, navigasi antar-soal dan <i>submit</i> per soal berjalan	Sesuai
AF-06	Seluruh <i>tools</i> inspeksi berfungsi sesuai kategori material yang diperiksa	Sesuai
AF-08	<i>State</i> sesi tersimpan konsisten setiap perubahan dan sesi dapat dipulihkan setelah halaman dimuat ulang	Sesuai
AF-09	Tab browser mengalami <i>crash</i> (STATUS_BREAKPOINT) saat <i>overlay</i> inspeksi 360° dibuka akibat <i>dual</i> WebGL context yang mengonsumsi memori GPU melebihi batas tab	Belum Sesuai

Seluruh aspek pada skenario Material berstatus Sesuai, kecuali satu temuan pada performa saat *overlay* inspeksi 360° aktif (AF-09). Tab browser mengalami *crash* akibat dua WebGL context, yaitu Unity dan Three.js, yang secara bersamaan mengonsumsi memori GPU melebihi batas tab. Temuan ini diperbaiki melalui sejumlah optimasi beban GPU, yaitu *pixel ratio* ditetapkan ke 1, penerapan *dirty render flag* agar *draw call* hanya dilakukan saat terjadi perubahan, penonaktifan *antialiasing*, serta penurunan resolusi *render* internal menjadi setengah (960×540) dengan *canvas* yang di-stretch ke ukuran penuh. Selain itu, *buffer cache* di-dispose sepenuhnya setiap *overlay* ditutup agar tidak terjadi akumulasi VRAM lintas sesi. Setelah perbaikan, pengujian ulang pada AF-09 menunjukkan *overlay* dapat berjalan tanpa *crash* dan dinyatakan Sesuai. Selanjutnya, hasil pengujian fungsional pada skenario Audit Lapangan disajikan pada Tabel 4.27.

**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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Tabel 4.27 Hasil Uji Fungsional Skenario Audit Lapangan

Kode Uji	Hasil yang Dicapai	Kesimpulan
AF-01	Seluruh kontrol pergerakan dan kamera berfungsi dengan baik di browser	Sesuai
AF-02	Seluruh <i>marker</i> terdeteksi, transisi status dan perubahan warna berjalan sesuai rancangan	Sesuai
AF-03	<i>Task panel</i> , <i>progress counter</i> , dan tombol rekap berfungsi sesuai rancangan	Sesuai
AF-04	Formulir pengecekan <i>popup</i> ter-render dan jawaban terkirim sesuai alur	Sesuai
AF-05	Model GLB ter-load, namun <i>texture</i> pada sebagian <i>asset</i> 3D tidak ter-load otomatis; file GLB tanpa <i>embedded texture</i> menampilkan material tanpa <i>texture</i> , sedangkan file dengan <i>embedded texture</i> gagal di-parse akibat error alokasi memori <i>createImageBitmap</i> di lingkungan <i>dual</i> WebGL	Belum Sesuai
AF-06	Seluruh <i>tools</i> inspeksi berfungsi sesuai tipe pekerjaan yang diperiksa	Sesuai
AF-07	Grafik Kurva S ter-render, formulir evaluasi progres aktif setelah tugas selesai, dan transisi minggu W4-W7 berjalan	Sesuai
AF-08	<i>State</i> sesi tersimpan konsisten setiap perubahan dan sesi dapat dipulihkan setelah halaman dimuat ulang	Sesuai
AF-09	Tab browser mengalami <i>crash</i> (STATUS_BREAKPOINT) saat <i>overlay</i> inspeksi 360° dibuka akibat <i>dual</i> WebGL context yang mengonsumsi memori GPU melebihi batas tab	Belum Sesuai

Skenario Audit Lapangan menghasilkan dua temuan Belum Sesuai. Temuan pertama pada *full page inspection* 360° (AF-05), yaitu *texture* sebagian *asset* 3D yang tidak ter-load otomatis. File GLB yang di-export dari Blender tanpa *embedded texture* menampilkan material kosong, sedangkan file dengan *embedded texture* justru gagal di-parse karena *createImageBitmap* mengalami error alokasi memori di lingkungan *dual* WebGL. Temuan ini diperbaiki melalui fungsi *_applyMaterialTextures()* yang mencocokkan setiap material berdasarkan namanya dari Blender lalu memuat *texture* secara terpisah menggunakan *TextureLoader*, termasuk *normal map*, *roughness map*, dan *ambient occlusion map*. Untuk file



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dengan *embedded texture*, diterapkan *patch* pada *createImageBitmap* yang memaksa *fallback* ke elemen ** sehingga error alokasi memori tidak terjadi. Temuan kedua pada performa (AF-09) merupakan gejala *crash* yang sama dengan skenario Material, sehingga diperbaiki dengan optimasi beban GPU yang serupa. Setelah kedua perbaikan diterapkan, pengujian ulang pada AF-05 dan AF-09 menunjukkan hasil Sesuai.

Setelah pengujian fungsional pada ketiga skenario, dilakukan pengujian integrasi simulator dengan *rule validator*. Karena mekanisme komunikasinya identik pada seluruh skenario, hasil integrasi disajikan dalam satu tabel dan telah diverifikasi pada ketiga skenario, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Uji Integrasi Simulator–Rule Validator

Kode Uji	K3	Material	Audit	Kesimpulan
INT-01	✓	✓	✓	Sesuai
INT-02	✓	✓	✓	Sesuai
INT-03	✓	✓	✓	Sesuai
INT-04	✓	✓	✓	Sesuai
INT-05	✓	✓	✓	Sesuai

Seluruh butir pengujian integrasi berstatus Sesuai pada ketiga skenario. Alur data dari simulator menuju *validator* melalui HTTP, penerimaan hasil klasifikasi, penyajian umpan balik melalui WebSocket, hingga penyimpanan sesi ke server berjalan utuh tanpa kesalahan teknis. Dengan seluruh temuan pada pengujian fungsional telah diperbaiki dan pengujian integrasi berstatus Sesuai, simulator dinilai siap untuk masuk ke tahap *beta testing*.

4.4.3.2 Data Hasil Beta Testing

Data hasil beta testing diperoleh melalui pelaksanaan *usability testing* berbasis tugas kepada tiga responden yang merupakan peserta OJT atau pengawas pelaksana baru sebagai perwakilan pengguna akhir simulator. Data yang disajikan meliputi



data responden, hasil penyelesaian tugas, rekapitulasi *task completion rate*, serta catatan observasi selama pengujian. Daftar responden ditunjukkan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Data Responden Beta Testing

Kode	Peran Responden	Keterkaitan dengan Pengujian
R1	Peserta OJT / Pengawas Pelaksana Baru	Mewakili pengguna baru yang sedang mempelajari alur inspeksi dan pengawasan lapangan.
R2	Peserta OJT / Pengawas Pelaksana Baru	Mewakili pengguna baru yang telah mengenal dasar pengawasan, tetapi masih membutuhkan pembiasaan terhadap proses inspeksi.
R3	Pengawas Pelaksana Senior	Mewakili pengguna berpengalaman yang menilai kesesuaian alur inspeksi pada simulator dengan praktik pengawasan di lapangan.

Responden terdiri atas dua peserta OJT/pengawas pelaksana baru sebagai pengguna sasaran utama dan satu pengawas pelaksana senior sebagai pembanding dari sisi praktisi berpengalaman, sehingga pengujian mencakup perspektif pengguna baru sekaligus penilaian kesesuaian alur dari praktisi lapangan. Berdasarkan responden tersebut, pelaksanaan pengujian menghasilkan rekapitulasi penyelesaian tugas per responden pada ketiga skenario, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Hasil Penyelesaian Tugas per Responden

Kode Responden	Skenario K3	Skenario Material	Skenario Audit Lapangan	Total Tugas Berhasil	Keterangan Umum
R1	4/4	4/5	6/7	14/16	Sebagian besar tugas berhasil diselesaikan secara mandiri; responden hanya memerlukan arahan awal saat pertama kali menggunakan <i>tools</i> inspeksi.
R2	4/4	3/5	6/7	13/16	Tugas inti dapat diselesaikan; kendala muncul pada interaksi

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 dari Jurusan TIK 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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kode Responden	Skenario K3	Skenario Material	Skenario Audit Lapangan	Total Tugas Berhasil	Keterangan Umum
					awal marker inspeksi 360 derajat dan pengenalan <i>tools</i> .
R3	3/4	3/5	6/7	12/16	Seluruh tugas inti dapat diselesaikan; responden sempat melewati marker pada skenario K3 dan memerlukan arahan awal penggunaan <i>tools</i> .

Ketiga responden mampu menyelesaikan sebagian besar tugas inti secara mandiri, dengan total penyelesaian berkisar antara 12 hingga 14 dari 16 tugas. Kendala umum yang muncul berupa kebutuhan arahan awal pada penggunaan *tools* inspeksi dan interaksi awal marker inspeksi 360 derajat. Berdasarkan hasil tersebut, dihitung *task completion rate* per skenario maupun secara keseluruhan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Rekapitulasi Task Completion Rate Usability Testing

Skenario	Tugas Berhasil	Total Tugas	Task Completion Rate
K3	11	12	91,67%
Material	10	15	66,67%
Audit Lapangan	18	21	85,71%
Keseluruhan	39	48	81,25%

Task completion rate keseluruhan mencapai 81,25% (39 dari 48 tugas), dengan capaian tertinggi pada skenario K3 sebesar 91,67% dan terendah pada skenario Material sebesar 66,67%. Nilai keseluruhan tersebut berada di atas ambang 78%, sehingga simulator secara umum dinilai memenuhi tingkat keberhasilan tugas yang diharapkan. Selain *task completion rate*, dikumpulkan pula catatan observasi terhadap kesulitan yang dialami responden selama pengujian. Catatan tersebut

**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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dikelompokkan ke dalam kategori *errors*, *assists*, dan *usability problems* untuk setiap responden, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Catatan Observasi Usability Testing

Kode Responden	Errors	Assists	Usability Problems	Temuan
R1	-	✓	✓	Memerlukan arahan awal untuk mengenali fungsi <i>tools</i> inspeksi pada penggunaan pertama.
R2	-	✓	✓	Memerlukan arahan bahwa terdapat lebih dari satu soal pada jenis material yang sama sehingga perlu berpindah antar-soal melalui slide, serta pengenalan fungsi <i>tools</i> inspeksi.
R3	✓	✓	✓	Melewati marker tanpa membukanya pada skenario K3, serta memerlukan arahan awal pada interaksi marker dan penggunaan <i>tools</i> .

Observasi selama pengujian terdiri atas satu *error*, delapan *assist*, dan satu *usability problem*. Permasalahan kegunaan yang teridentifikasi mengarah pada ketiadaan *onboarding* awal, yang menjadi penyebab utama kebutuhan arahan pada penggunaan *tools* dan interaksi marker inspeksi 360 derajat.

4.4.4 Analisis Data/Evaluasi Pengujian

4.4.4.1 Analisis Data Alpha Testing

Berdasarkan hasil pengujian pada ketiga skenario, analisis data *alpha testing* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Temuan terpusat pada satu akar masalah, bukan menyebar. Dari seluruh butir fungsional, status Belum Sesuai hanya muncul pada *preview* 3D formulir K3 (AF-04) serta performa *overlay* inspeksi 360° pada Material dan Audit (AF-09), ditambah pemuatan *texture* pada Audit (AF-05). Aspek inti mekanisme, yaitu navigasi, sistem *marker*, HUD, dan pengelolaan sesi, langsung Sesuai tanpa perbaikan. Pola ini menunjukkan temuan bukan berasal dari kesalahan rancangan mekanisme, melainkan dari satu sumber yang sama, yaitu



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

keterbatasan sumber daya GPU saat dua *WebGL context* (Unity dan Three.js) aktif bersamaan dalam satu tab.

2. Perbaikan dapat diisolasi per *layer* berkat arsitektur *multi-layer*. Karena akar masalahnya seragam, perbaikan bersifat sejenis, yaitu penekanan beban *rendering* dan pengelolaan memori melalui *buffer caching* serta *dispose* eksplisit setiap *overlay* ditutup. Seluruhnya cukup dilakukan pada *layer* HTML/JS *overlay* dan modul Three.js, tanpa menyentuh *layer* Unity WebGL maupun *validator*. Verifikasi ulang mengonfirmasi butir yang sebelumnya Sesuai tetap Sesuai, sehingga perbaikan terbukti lokal dan tidak memicu regresi pada komponen lain.
3. Integrasi stabil karena batas antar-*layer* sudah jelas. Status Sesuai yang konsisten pada seluruh butir integrasi di ketiga skenario menegaskan pemisahan jalur komunikasi berjalan sesuai rancangan, yaitu HTTP untuk pengiriman jawaban dan penerimaan klasifikasi, serta WebSocket untuk umpan balik. Kestabilan ini memungkinkan simulator memperlakukan *rule validator* sebagai komponen eksternal tanpa perlu mengetahui proses internal klasifikasinya.
4. Mekanisme inti sudah matang, tantangan justru di tingkat *rendering*. Secara keseluruhan, hasil *alpha testing* menunjukkan logika simulasi telah berjalan baik sejak awal, sementara kendala utama terletak pada performa lingkungan browser, bukan pada rancangan sistem.

Dengan demikian, temuan pada *alpha testing* bersifat teknis dan terlokalisasi, bukan indikasi kelemahan rancangan mekanisme simulasi. Seluruh temuan telah diperbaiki secara terisolasi per *layer* dan diverifikasi ulang, serta pengujian integrasi berjalan stabil pada ketiga skenario. Simulator dinilai memenuhi kelayakan fungsional dan siap dilanjutkan ke tahap *beta testing*.

4.4.4.2 Analisis Data Beta Testing

Data hasil *Beta Testing* yang telah diolah menghasilkan sejumlah kesimpulan sebagai berikut. Pengujian dilakukan terhadap tiga responden yang masing-masing menyelesaikan 16 tugas pada tiga skenario, sehingga diperoleh total 48 tugas. Keberhasilan penyelesaian tugas dihitung menggunakan *task completion rate* pada setiap skenario, dengan hasil sebagai berikut:



1. Skenario K3 memperoleh *task completion rate* sebesar 91,67%, yaitu 11 dari 12 tugas berhasil diselesaikan responden secara mandiri,
2. Skenario Material memperoleh *task completion rate* sebesar 66,67%, yaitu 10 dari 15 tugas berhasil diselesaikan responden secara mandiri,
3. Skenario Audit Lapangan memperoleh *task completion rate* sebesar 85,71%, yaitu 18 dari 21 tugas berhasil diselesaikan responden secara mandiri.

Rata-rata *task completion rate* dari hasil *beta testing* simulator adalah 81,25%, yaitu 39 dari 48 tugas berhasil diselesaikan secara mandiri oleh seluruh responden. Nilai ini berada di atas rata-rata penyelesaian tugas pengujian *usability* sebesar 78% (Sauro, 2011), sehingga tingkat keberhasilan penggunaan simulator tergolong di atas rata-rata. Karena *task completion rate* keseluruhan 81,25% telah melampaui ambang 78%, simulator dinyatakan memenuhi kriteria kegunaan sehingga tidak diperlukan iterasi perbaikan pada tahap ini. Hasil ini mengindikasikan bahwa simulator telah dapat digunakan oleh perwakilan pengguna sasaran untuk menyelesaikan sebagian besar tugas inspeksi secara mandiri, sehingga layak dilanjutkan dengan tetap mempertimbangkan masukan untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Skenario dengan *task completion rate* tertinggi adalah skenario K3 dengan nilai 91,67%, yang mengindikasikan bahwa alur inspeksi dasar, mulai dari membaca instruksi, menavigasi area, hingga melakukan inspeksi APD dan zona K3, dapat diikuti responden dengan mudah dan mendekati kuartil teratas. Disusul oleh skenario Audit Lapangan dengan nilai 85,71% yang juga tergolong di atas rata-rata, meskipun memiliki jumlah tugas terbanyak dan alur paling kompleks, termasuk pengisian *dashboard* Kurva S serta perpindahan antar-minggu simulasi. Sementara itu, skenario dengan nilai terendah adalah skenario Material sebesar 66,67%, yang meskipun berada di bawah rata-rata masih jauh di atas kuartil terbawah (49%). Rendahnya nilai pada skenario Material disebabkan oleh terkonsentrasinya kegagalan tugas pada penggunaan *tools* inspeksi serta navigasi antar-soal pada *popup* inspeksi material, di mana responden belum menyadari bahwa satu *marker* tumpukan dapat memuat lebih dari satu soal yang perlu dipindah melalui *slide*.

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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Selain *task completion rate*, dilakukan pula analisis terhadap catatan observasi selama pengujian untuk menelusuri penyebab kegagalan tugas. Dari sembilan kegagalan tugas yang tercatat, temuan dikelompokkan ke dalam tiga kategori sebagai berikut:

1. *Errors*, yaitu tindakan keliru responden saat berinteraksi, ditemukan sebanyak satu kejadian, yaitu responden melewati marker tanpa membukanya pada skenario K3,
2. *Assists*, yaitu kondisi ketika responden memerlukan arahan singkat pada penggunaan pertama, ditemukan sebagai bentuk kegagalan tugas yang paling dominan, terutama pada saat pertama kali menggunakan *tools* inspeksi serta saat berpindah antar-soal pada *popup* inspeksi material,
3. *Usability problems*, yaitu permasalahan kegunaan pada sisi simulator, teridentifikasi berupa belum tersedianya pengenalan atau panduan awal (*onboarding*) terhadap *tools* dan interaksi marker, sehingga seluruh responden memerlukan arahan pada penggunaan pertama.

Berdasarkan ketiga kategori tersebut, sebagian besar kegagalan tugas tergolong *assists* dan bukan *error*, yang menunjukkan bahwa responden tidak melakukan kesalahan penggunaan, melainkan hanya memerlukan arahan singkat pada interaksi pertama. Setelah memperoleh arahan awal, seluruh responden dapat menggunakan *tools* dan marker tanpa kendala lebih lanjut. Konsistensi kebutuhan arahan pada titik yang sama untuk seluruh responden, termasuk responden dengan latar belakang pengawas senior, mengindikasikan bahwa kendala utama bukan terletak pada kompleksitas pengoperasian *tools* maupun pemahaman domain pengawasan, melainkan pada belum tersedianya pengenalan awal saat pengguna pertama kali berinteraksi dengan simulator.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, perbaikan dapat dilakukan dengan menambahkan panduan atau *onboarding* singkat pada awal simulasi untuk memperkenalkan fungsi *tools* inspeksi dan cara berinteraksi dengan marker. Sebagai contoh, dapat ditambahkan petunjuk yang lebih eksplisit pada saat *tools* pertama kali ditampilkan, sehingga pengguna dapat memahami keberadaan dan

fungsi *tools* sejak awal tanpa memerlukan arahan dari pengamat. Penyempurnaan pada aspek ini penting menjadi perhatian agar pengguna dapat memulai dan menyelesaikan seluruh skenario secara mandiri.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian perancangan, implementasi, dan evaluasi mekanisme simulasi interaktif berbasis *multi-layer system* pada web 3D untuk pelatihan pengawas konstruksi PT Bumi Madani, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Mekanisme simulasi interaktif berhasil dirancang berbasis *multi-layer system* yang membagi peran ke dalam tiga lapisan, yaitu Unity WebGL sebagai lapisan simulasi 3D, HTML/JS *overlay* sebagai lapisan antarmuka, dan Node.js *validator* sebagai lapisan pemroses jawaban. Rancangan mekanisme dituangkan ke dalam alur simulasi keseluruhan dan siklus interaksi *marker* yang berlaku konsisten pada tiga skenario, yaitu K3, Material, dan Audit Lapangan, yang secara bersama merepresentasikan lima aspek pengawasan konstruksi.
2. Mekanisme simulasi tersebut berhasil diimplementasikan menjadi simulator berbasis web yang dijalankan melalui browser desktop tanpa instalasi tambahan. Simulator menempatkan pengguna sebagai pengawas pelaksana dalam perspektif orang pertama, dengan fitur utama meliputi navigasi *environment*, *marker* inspeksi interaktif, *tools* inspeksi kontekstual, formulir evaluasi dengan klasifikasi hasil dan umpan balik edukatif, inspeksi 360 derajat berupa *popup* pada skenario Material dan *full page* pada skenario Audit Lapangan, serta *dashboard* Kurva S untuk evaluasi progres. Integrasi dengan *rule validator* direalisasikan melalui HTTP untuk pengiriman jawaban dan penerimaan klasifikasi, serta WebSocket untuk penyajian umpan balik.
3. Tingkat kelayakan simulator diperoleh melalui pengujian fungsional dan *usability*. *Alpha testing* menunjukkan seluruh mekanisme berfungsi sesuai rancangan, dengan 18 dari 22 aspek fungsional sesuai sejak awal dan empat sisanya telah diperbaiki serta diverifikasi ulang, sementara pengujian integrasi dengan *rule validator* berstatus sesuai pada seluruh skenario. *Beta testing* melalui *usability testing* kepada tiga perwakilan pengguna memperoleh *task completion rate* keseluruhan 81,25%, melampaui ambang 78% (Sauro, 2011), dengan mayoritas kegagalan tugas tergolong *assists* berupa kebutuhan arahan

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 mengumukkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

singkat pada interaksi pertama, bukan kesalahan penggunaan. Dengan demikian, simulator dinyatakan layak digunakan sebagai media pelatihan terstruktur berdasarkan evaluasi fungsional dan kegunaan, bukan berdasarkan efektivitas pelatihan atau peningkatan kompetensi yang berada di luar cakupan penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan selanjutnya.

1. Pengembangan selanjutnya disarankan menambahkan panduan atau *onboarding* singkat di awal simulasi untuk memperkenalkan fungsi *tools* inspeksi, cara berinteraksi dengan *marker*, serta mekanisme perpindahan antar-soal pada *popup* material. Hal ini ditujukan untuk menekan kebutuhan arahan pada interaksi pertama yang teridentifikasi pada *beta testing*, sehingga pengguna dapat memulai dan menyelesaikan seluruh skenario secara mandiri tanpa arahan dari pengamat.
2. Petunjuk penggunaan *tools* inspeksi disarankan ditampilkan secara lebih eksplisit pada saat *tools* pertama kali muncul, khususnya pada skenario material yang memperoleh *task completion rate* terendah. Petunjuk yang lebih jelas akan memudahkan pengguna memahami fungsi dan cara penggunaan *tools* sejak awal.
3. Cakupan simulator disarankan diperluas pada pengembangan selanjutnya, baik ke peran lain seperti manajer proyek atau *quantity surveyor*, optimasi akses melalui perangkat *mobile*, maupun pengukuran dampak pelatihan terhadap peningkatan kompetensi pengawas secara empiris. Perluasan ini mempertimbangkan bahwa penelitian saat ini berfokus pada perancangan dan implementasi mekanisme simulasi serta dibatasi pada lingkup PT Bumi Madani.



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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Alzarrad, A. *et al.* (2024) 'Revolutionizing construction safety: introducing a cutting-edge virtual reality interactive system for training US construction workers to mitigate fall hazards', *Frontiers in Built Environment*, 10. Available at: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1320175>.
- Amini, R.P., Pradnyana, I.M.A. and Wirawan, I.M.A. (2019) 'Evaluasi Usability pada Sistem Informasi Permohonan Kendaraan Dinas (SIMONAS) PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Bali UP3 Bali Utara Sesuai ISO 9241-11 dan Eight Golden Rules', *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 16(1), pp. 128–139. Available at: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPTK/article/view/17062>.
- Boutsi, A.-M., Ioannidis, C. and Verykokou, S. (2023) 'Multi-Resolution 3D Rendering for High-Performance Web AR', *Sensors*, 23(15), p. 6885. Available at: <https://doi.org/10.3390/s23156885>.
- Carranza, M.A. (2025) 'Strengthening Employability Through On-the-Job Training: A Study of BSBA Students at BulSU College of Business Education and Accountancy', *Journal of Interdisciplinary Perspectives*, 3(11), pp. 6–13. Available at: <https://doi.org/10.69569/jip.2025.664>.
- Elendu, C. *et al.* (2024) 'The impact of simulation-based training in medical education: A review', *Medicine (United States)*. Lippincott Williams and Wilkins, p. e38813. Available at: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000038813>.
- Fransson, E., Hermansson, J. and Hu, Y. (2024) 'A Comparison of Performance on WebGPU and WebGL in the Godot Game Engine', in *2024 IEEE Gaming, Entertainment, and Media Conference (GEM)*. IEEE, pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.1109/GEM61861.2024.10585437>.
- Gobron, S. *et al.* (2025) 'Gamified Simulation for Onboarding Health Care Teams in Emergency Care: Development and Preliminary Feasibility Study', *JMIR Formative Research*, 9, pp. e72202–e72202. Available at: <https://doi.org/10.2196/72202>.
- Irawan, J.D. *et al.* (2023) 'Construction project management monitoring system using s-curve', *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 17(2), pp. 296–305. Available at: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.17.2.0231>.
- Jadallah, H. *et al.* (2021) 'Construction Industry Training Assessment Framework', *Frontiers in Built Environment*, 7. Available at: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.678366>.
- Järvilä, M. (2021) *Recreating a Unity game project in a 3D HTML5 WebGL*
- 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

environment: Research and comparison of 3D capable HTML5 WebGL game engines. JAMK University of Applied Sciences.

Keil, J. et al. (2021) 'Creating Immersive Virtual Environments Based on Open Geospatial Data and Game Engines', *KN - Journal of Cartography and Geographic Information*, 71(1), pp. 53–65. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42489-020-00069-6>.

Manoharan, K. et al. (2024) 'Investigating and determining the crucial construction site supervisory competencies influencing the effectiveness of building construction project activities', *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 6(1), pp. 43–63. Available at: <https://doi.org/10.1108/IJIEOM-02-2023-0015>.

Martinez, J.G. et al. (2023) 'Situational Awareness in Construction Using a Serious Game', *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(3). Available at: <https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-12521>.

MDN (2025) 'WebGL: 2D and 3D graphics for the web', *developer.mozilla.org* [Preprint]. Available at: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API.

Mühling, T. et al. (2023) 'Virtual reality in medical emergencies training: benefits, perceived stress, and learning success', *Multimedia Systems*, 29(4), pp. 2239–2252. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00530-023-01102-0>.

Osorio-Sandoval, C.A. et al. (2022) 'Framework for BIM-Based Simulation of Construction Operations Implemented in a Game Engine', *Buildings*, 12(8). Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings12081199>.

Popovici, A.I., Ratoiu, L.C. and Anghelut, M. (2023) 'A Web-Based Platform for 3D Visualization of Multimodal Imaging Data in Cultural Heritage Asset Documentation', *Heritage*, pp. 7381–7399. Available at: <https://www.mdpi.com/2571-9408/6/12/387>.

Razak, S.R.A. and Zahidi, M.H. (2024) 'Transfer of training on Employee Job Performance: A Literature Review', *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(2). Available at: <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v14-i2/20763>.

Richards, M. (2015) *Software Architecture Patterns : Understanding Common Architecture Patterns and When to Use Them*. O'Reilly Media.

Rivas, L.Y.C. et al. (2025) 'A Layered Software Architecture for the Development of Smart Mobile Distributed Systems Oriented to the Management of Emergency Cases', *Applied Sciences*, 15(7), p. 3664. Available at: <https://doi.org/10.3390/app15073664>.



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Sardar, A. *et al.* (2022) ‘Comparison between simulation and conventional training: Expanding the concept of social fidelity’, *Process Safety Progress*, 41(S1), pp. S27–S38. Available at: <https://doi.org/10.1002/prs.12361>.
- Sauro, J. (2011) ‘What Is A Good Task-Completion Rate?’ Available at: <https://measuringu.com/task-completion/>.
- Sauro, J. and Lewis, J.R. (2012) *Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research*. Waltham, MA: Morgan Kaufmann.
- Seboka, D.A. and Gidebo, F.A. (2025) ‘Investigating the effectiveness of contract administration at construction stage to averting substandard construction performance: in Shagar city public building projects’, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2467249>.
- Sperandeo, M. *et al.* (2023) ‘Novel, Synchronous, First-person Perspective Virtual Simulations for Medical Students in Emergency Medicine’, *Western Journal of Emergency Medicine*, 24(1), pp. 68–70. Available at: <https://doi.org/10.5811/westjem.2022.11.57764>.
- Technologies, U. (2023a) ‘Unity - Manual: Technical limitations’, *Unity Documentation* [Preprint]. Available at: <https://docs.unity3d.com/2023.2/Documentation/Manual/webgl-technical-overview.html>.
- Technologies, U. (2023b) ‘Unity - Manual: WebGL browser compatibility’, *Unity Documentation* [Preprint]. Available at: <https://docs.unity3d.com/2023.1/Documentation/Manual/webgl-browsercompatibility.html>.
- Technologies, U. (2024) ‘Unity - Manual: Memory in Unity Web’, *Unity Documentation* [Preprint]. Available at: <https://docs.unity3d.com/2023.2/Documentation/Manual/webgl-memory.html>.
- Technologies, U. (2026) ‘Unity - Manual: Interaction with browser scripting’, *Unity Documentation* [Preprint]. Available at: <https://docs.unity3d.com/Manual/webgl-interactingwithbrowserscripting.html>.
- Thakare, S. and Kiwelekar, A.W. (2021) ‘Redefining measures of Layered Architecture’. Available at: <http://arxiv.org/abs/2106.03079>.
- Wang, J., Xu, Z. and Li, Y. (2025) ‘A WebGL-Based Interactive Visualization Framework for Large-Scale Urban Seismic Simulations with a Dual Multi-LOD Strategy’, *Buildings*, 15(16), p. 2916. Available at:



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

<https://doi.org/10.3390/buildings15162916>.

Zheng, Y. *et al.* (2023) 'COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF BIM VISUALIZATION AND INTERACTIVE APPLICATION BASED ON WEBGL AND GAME ENGINE', *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2(M-2-2023), pp. 1671–1677. Available at: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1671-2023>.





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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Radifan Al Fath Isnandar

Lahir di Jakarta, 04 April 2004. Lulus dari SDN WARAKAS 07 PAGI pada tahun 2016, SMPN 95 JAKARTA pada tahun 2019, dan SMAN 80 JAKARTA pada tahun 2022. Saat ini sedang menempuh pendidikan pada Program Studi Diploma Empat Teknik Multimedia Digital di Politeknik Negeri Jakarta. Memiliki ketertarikan pada bidang UI/UX Design dan Konten Digital.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Transkrip Wawancara

1. Wawancara Dengan Pihak PT.Bumi Madani Terkait Analisis Kebutuhan dan Identifikasi Permasalahan

Hari, Tanggal : Kamis, 22 Januari 2026

Narasumber : Moch. Ikhsanul Muhadi Sebagai Pengawas Pelaksana PT.Bumi Madani

Transkrip wawancara:

<https://drive.google.com/file/d/1OX63xOrIGVsCuyTOwOSqyJ3TxNytkmrP/view?usp=sharing>

Lembar Responden:

<https://drive.google.com/file/d/1PX9in21xVESYSu13wWECxBkdH89kW-/lp/view?usp=sharing>

Form Wawancara

Lembar Responden



(lanjutan)

2. Wawancara Lanjutan dengan Pihak PT Bumi Madani Terkait Alur Pengawasan, Pendampingan Pengawas Baru, dan Kebutuhan Sistem

Hari, Tanggal : Jumat, 6 Februari 2026

Narasumber : Moch. Ikhsanul Muhadi Sebagai Pengawas Pelaksana PT.Bumi Madani

Transkrip wawancara:

https://drive.google.com/file/d/1ZKl4YNik2sUZor5BC0fjqI6zp68_2pjj/view?usp=sharing

Lembar Responden:

https://drive.google.com/file/d/1f4ji8rUnFh7l_GZvYRTDQtLOJ1xmdttc/view?usp=sharing

Form Wawancara

FORM WAWANCARA PENELITIAN

BUMI MANDANI KAWANAN PT BUKU MADANI
REKREASI BUKU MADANI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
PENGAWAS PELAKSANA PERSIAPAN KAWANAN BUKU MADANI
(PT BUKU MADANI PT BUKU MADANI)

Informasi Responden

Nama : Moch. Ikhsanul Muhadi
Jabatan : Pengawas Pelaksana
Instansi : PT Bumi Madani
Alamat : Jl. Raya Bogor No. 111, Cidagor, Jakarta Barat
No. Telp. : 021-51011111
No. Fax : 021-51011111
Email : m.ikhsanul@bumi-madani.com

Informasi Peneliti

Nama : ...
Jabatan : ...
Instansi : ...
Alamat : ...
No. Telp. : ...
No. Fax : ...
Email : ...

Informasi Penelitian

Tema : ...
Tujuan : ...
Metode : ...
Waktu : ...
Tempat : ...

Informasi Lain

...
...
...



Lembar Responden

LEMBAR RESPONDEN

Formulir ini digunakan untuk mencatat hasil wawancara.

Informasi Responden

Nama : Moch. Ikhsanul Muhadi
Jabatan : Pengawas Pelaksana
Instansi : PT Bumi Madani
Alamat : Jl. Raya Bogor No. 111, Cidagor, Jakarta Barat
No. Telp. : 021-51011111
No. Fax : 021-51011111
Email : m.ikhsanul@bumi-madani.com

Informasi Peneliti

Nama : ...
Jabatan : ...
Instansi : ...
Alamat : ...
No. Telp. : ...
No. Fax : ...
Email : ...

Informasi Penelitian

Tema : ...
Tujuan : ...
Metode : ...
Waktu : ...
Tempat : ...

Informasi Lain

...
...
...



3. Wawancara Lanjutan dengan Pihak PT Bumi Madani Terkait Pendalaman Kebutuhan Pelatihan dan Relevansi Simulator Web 3D

Narasumber : Moch. Ikhsanul Muhadi dan Chelmi Ahmad Sebagai Pengawas Pelaksana PT.Bumi Madani

https://drive.google.com/file/d/114t5KgZ2L2Li3ODCbvOTArB-x_sqSCLm/view?usp=sharing

https://drive.google.com/file/d/1kiRmz04JwEVO_EDRlO9sT3v3-ICJfP1X/view?usp=sharing

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer – Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Catatan Observasi Lapangan

Catatan Observasi Lapangan

Hari, Tanggal : Senin, 23 Februari 2026

Waktu Pelaksanaan : 13.00 sampai selesai

Lokasi : Proyek aktif PT Bumi Madani

Pendamping : Pengawas Konsultan PT Bumi Madani

Peserta yang Diamati : Pengawas baru yang sedang menjalani pendampingan lapangan

Observer : Tim Peneliti

Dokumen catatan observasi lapangan dapat dilihat pada uraian berikut.

<https://drive.google.com/file/d/1I3VdDrCzhBKaeR8NAWGx2rirahzuw6mS/view?usp=sharing>

Berita Acara

<https://drive.google.com/file/d/1xwXgnmrWAnYC3M-7Irxj5k5BJJqRi4oa/view?usp=sharing>

Catatan Observasi

KETERANGAN OBSERVASI LAPANGAN
BAGIAN DAN SUMBER INFORMASI TERKAIT DENGAN
HASIL OBSERVASI LAPANGAN
PENGALAMAN PELAKSANAAN PADA PROJEK PERENCANAAN
PEKERJAAN KONSTRUKSI

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	

Berita Acara

Berita Acara

Halaman 1 dari 1

Halaman 2 dari 2

Halaman 3 dari 3

Halaman 4 dari 4

Halaman 5 dari 5

Halaman 6 dari 6

Halaman 7 dari 7

Halaman 8 dari 8

Halaman 9 dari 9

Halaman 10 dari 10

Halaman 11 dari 11

Halaman 12 dari 12

Halaman 13 dari 13

Halaman 14 dari 14

Halaman 15 dari 15

Halaman 16 dari 16

Halaman 17 dari 17

Halaman 18 dari 18

Halaman 19 dari 19

Halaman 20 dari 20

Halaman 21 dari 21

Halaman 22 dari 22

Halaman 23 dari 23

Halaman 24 dari 24

Halaman 25 dari 25

Halaman 26 dari 26

Halaman 27 dari 27

Halaman 28 dari 28

Halaman 29 dari 29

Halaman 30 dari 30

Halaman 31 dari 31

Halaman 32 dari 32

Halaman 33 dari 33

Halaman 34 dari 34

Halaman 35 dari 35

Halaman 36 dari 36

Halaman 37 dari 37

Halaman 38 dari 38

Halaman 39 dari 39

Halaman 40 dari 40

Halaman 41 dari 41

Halaman 42 dari 42

Halaman 43 dari 43

Halaman 44 dari 44

Halaman 45 dari 45

Halaman 46 dari 46

Halaman 47 dari 47

Halaman 48 dari 48

Halaman 49 dari 49

Halaman 50 dari 50

Halaman 51 dari 51

Halaman 52 dari 52

Halaman 53 dari 53

Halaman 54 dari 54

Halaman 55 dari 55

Halaman 56 dari 56

Halaman 57 dari 57

Halaman 58 dari 58

Halaman 59 dari 59

Halaman 60 dari 60

Halaman 61 dari 61

Halaman 62 dari 62

Halaman 63 dari 63

Halaman 64 dari 64

Halaman 65 dari 65

Halaman 66 dari 66

Halaman 67 dari 67

Halaman 68 dari 68

Halaman 69 dari 69

Halaman 70 dari 70

Halaman 71 dari 71

Halaman 72 dari 72

Halaman 73 dari 73

Halaman 74 dari 74

Halaman 75 dari 75

Halaman 76 dari 76

Halaman 77 dari 77

Halaman 78 dari 78

Halaman 79 dari 79

Halaman 80 dari 80

Halaman 81 dari 81

Halaman 82 dari 82

Halaman 83 dari 83

Halaman 84 dari 84

Halaman 85 dari 85

Halaman 86 dari 86

Halaman 87 dari 87

Halaman 88 dari 88

Halaman 89 dari 89

Halaman 90 dari 90

Halaman 91 dari 91

Halaman 92 dari 92

Halaman 93 dari 93

Halaman 94 dari 94

Halaman 95 dari 95

Halaman 96 dari 96

Halaman 97 dari 97

Halaman 98 dari 98

Halaman 99 dari 99

Halaman 100 dari 100



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 kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Berita Acara Penyerahan Dokumen dan Formulir Ekstraksi Data

1. Berita Acara Penyerahan Dokumen Pendukung Penelitian

Berita acara penyerahan dokumen pendukung penelitian dapat diakses melalui tautan berikut:

https://drive.google.com/file/d/1ncEIZQ2_fiYFWyCtF80hw5D61ZRFvVQt/vi ew?usp=sharing

2. Formulir Ekstraksi Data Dokumen Proyek Perusahaan

Formulir ekstraksi data digunakan untuk mencatat informasi penting dari dokumen proyek perusahaan yang relevan dengan kebutuhan penelitian. Formulir ekstraksi data secara lengkap dapat diakses melalui tautan berikut:

<https://drive.google.com/file/d/1-qXuWRQJ-eXLR0dh26tgBxWnybNExwQ1/view?usp=sharing>

Cuplikan isi formulir ekstraksi data:

Ekstraksi Dokumen	Berita Acara



Lampiran 4 Rancangan serta Konsep Awal Simulasi dan Validasi Ahli

Link Rancangan dan Konsep Awal Simulasi :

https://drive.google.com/file/d/1WgfDiIB48CzkPat_eIgauIArNBLPDVEo/view?usp=sharing

RANCANGAN AWAL DAN KONSEP SKENARIO SIMULASI TERINTEGRASI RULE ENGINE
Simulator Pelatihan Pengawas Pelaksana Konstruksi - Studi Kasus Proyek SDN Duren Seribu 4
Lampiran ini memuat rancangan awal empat skenario simulasi (K3, Material, Metode dan Mutu Pekerjaan, serta Progres dan Deviasi) beserta konsep awal pengguna, aturan bisnis, dan soal yang telah terintegrasi dengan aturan klasifikasi keputusan inspeksi. Rancangan awal ini menjadi objek validasi ahli yang instrumennya disajikan pada bagian akhir lampiran.

A. Klasifikasi dan Prinsip Universal Penilaian Keputusan

Tabel L1.1 Definisi Klasifikasi Keputusan Inspeksi

Kode	Label	Definisi
CA	Correct Action	Deteksi benar dan tindakan proporsional sesuai tingkat risiko. Centang tambahan di luar masalah utama tidak mengunggulkan CA.
OR	Overreaction	Tindakan selektif keras dibanding tingkat risiko, atau bereaksi terhadap masalah yang tidak ada. Tidak semua soal memiliki OR.
UR	Underreaction	Badar ada masalah (deteksi benar), tetapi tindakan terlalu lemah atau tidak bertindak.
MD	Missed Detection	Gagal mendeteksi pelanggaran nyata, termasuk mengorbankan item salah/tidak relevan sehingga pelanggaran nyata tidak tertangkap.

Tabel L1.2 Prinsip Universal Klasifikasi Berdasarkan Kondisi Aktual

Kondisi Aktual	Respons Pengguna	Klasifikasi
Sesuai (tidak ada pelanggaran)	Status benar + tidak bertindak	CA
	Mencentang atau menetapkan masalah apa pun	OR
	UR dan MD tidak berlaku -- tidak ada pelanggaran untuk ditekankan atau direpons lemah	--
Tidak Sesuai (ada pelanggaran nyata)	Masalah utama ditemukan + tindakan proporsional (boleh disertai centang tambahan)	CA
	Masalah utama ditemukan + tindakan terlalu keras	OR
	Masalah utama ditemukan + tindakan terlalu lemah / tidak bertindak	UR
	Masalah utama tidak ditemukan (kecurangan atau hanya item salah)	MD
	Deteksi positif + tindakan kurang lengkap	UR

F. Instrumen Validasi Ahli terhadap Rancangan Awal

Tabel L1.10 Lembar Penilaian Aspek Rancangan Awal Simulator

No.	Aspek Penilaian	K3	Material	Metode & Mutu	Progres & Deviasi
A. Aspek Rancangan Skenario Simulasi					
1	Kelengkapan aspek pengawasan yang direpresentasikan	Layak	Layak	Layak	Layak
2	Kesesuaian skenario dengan praktik pengawasan di lapangan	Layak	Layak	Layak dengan Revisi	Layak dengan Revisi
3	Kesesuaian alur interaksi dari stakeholder pengguna	Layak	Layak	Layak	Layak
4	Kesesuaian parameter dan objek evaluasi dengan kondisi lapangan	Layak	Layak	Layak	Layak
5	Kelengkapan mekanisme umpan balik edukatif	Layak	Layak	Layak	Layak
B. Aspek Basis Aturan dan Validasi Keputusan (Rule Engine)					
6	Kelengkapan definisi dan klasifikasi keputusan (CA/OR/UR/MD)	Layak	Layak	Layak	Layak
7	Kesesuaian aturan (IF-THEN) logis soal dengan kondisi aktual	Layak	Layak	Layak	Layak
8	Konsistensi klasifikasi antar soal sejenis	Layak	Layak	Layak	Layak
9	Kelengkapan dasar regulasi sebagai sumber aturan	Layak	Layak	Layak	Layak
10	Kesesuaian umpan balik dan justifikasi dengan hasil klasifikasi	Layak	Layak	Layak	Layak

Catatan: status "Layak dengan Revisi" pada aspek kesesuaian skenario untuk skenario Metode dan Mutu Pekerjaan serta Progres dan Deviasi menjatuhkan keputusan penggabungan ke dalam skenario. Rincian masukan dan hasil dapat dilihat pada Tabel L1.19.

Tabel L1.19 Rekapitulasi Masukan Validator dan Tindak Lanjut per Skenario

Skenario	Masukan Validator	Revisi / Tindak Lanjut
K3	--	Tidak ada perubahan. Konsep dianggap telah layak persusunannya desain final.
Material	--	Tidak ada perubahan. Konsep dianggap telah layak persusunannya desain final.
Metode dan Mutu Pekerjaan	Perlu digabung dengan skenario Progres dan Deviasi. Validator menegaskan bahwa orientasi utama pengawasan di lapangan adalah hasil pekerjaan yang tidak di setiap tahapan, bukan metode pelaksanaan. Metode merupakan elemen kontrol dan baru dilakukan apabila hasil pekerjaan ditemukan tidak sesuai. Selain itu, pemetaan kedua skenario memuat nilai kerja pengawasan yang di lapangan bersifat satu kesatuan, yaitu dari inspeksi kualitas per tahapan, akumulasi ke dalam kondisi baik, sesuai hasil progres, perbandingan dengan kurva S, hingga pengendalian masalah berdasarkan deviasi.	Digabung menjadi satu skenario baru (Skenario Simulasi Gabungan) yang menggabungkan pengendalian kualitas hasil pekerjaan per tahapan dengan evaluasi progres terhadap kurva S dalam satu alur simulasi yang utuh. Rancangan hasil penggabungan disajikan pada Lampiran 2.
Progres dan Deviasi	Pengguna diminta mengobservasi bentuk progres berdasarkan kondisi visual bangunan, namun input kondisi baik yang menjadi dasar penilaian terhadap patita berada di skenario Metode dan Mutu yang terpisah, sehingga pengguna mengobservasi progres tanpa terbalut dengan inspeksi fisik sendiri.	Digabung ke dalam Skenario Simulasi Gabungan bersama skenario Metode dan Mutu Pekerjaan. Rancangan hasil penggabungan disajikan pada Lampiran 2.

Validator,



(Moh. Khairul Muhad)
Tanggal : 20 Maret 2020



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 Rancangan Awal Dan Validasi Ahli Skenario Audit Lapangan

Link Rancangan Awal Dan Validasi Ahli Skenario Audit Lapangan:

https://drive.google.com/file/d/1WgfDiIB48CzkPat_eIgauIaRNBLPDVEo/view?usp=sharing

Catatan : terdapat perubahan nama dari skenario gabungan menjadi skenario audit lapangan setelah proses validasi ahli. Perubahan tersebut tidak mempengaruhi rancangan konsep awal dan juga soal yang tertuang pada simulator serta tidak mempengaruhi indikator penilaian yang dinilai oleh validator

RANCANGAN AWAL DAN KONSEP SKENARIO SIMULASI GABUNGAN TERINTEGRASI RULE ENGINE Simulator Pelatihan Pengawas Pelaksanaan Konstruksi - Studi Kasus Proyek SDN Duren Seribu 4

Skenario Gabungan merupakan hasil penggabungan skenario Metode dan Mutu Pelayanan dengan skenario Program dan Desain berdasarkan masukan validator tahap awal (Lampiran 1). Skenario ini mengintegrasikan komponen-komponen hasil penggabungan per tahapan dengan evaluasi progres terhadap kurva S dalam satu skenario yang dibuat per minggu. Lampiran ini memuat rancangan awal pengguna, asumsi bisnis, awal terintegrasi rule, serta instrumen validasi ahli untuk skenario gabungan.

A. Klasifikasi Keputusan Inspeksi

Tabel L2.1 Definis Klasifikasi Keputusan Inspeksi

Rank	Label	Definisi
GA	Correct Action	Definisi benar dan tindakan proporsional sesuai tingkat risiko. Cenderung lebih banyak di luar masalah karena tidak menggunakan GA.
OK	Overreaction	Tindakan tersebut sangat berlebihan tingkat risiko, atau memiliki beberapa masalah yang tidak ada. Tidak sesuai soal memiliki OK.
UN	Underreaction	Risiko ada masalah (definis benar), tetapi tindakan terlalu lambat atau tidak bertindak.
MD	Mixed Decision	Salah mendeteksi pelanggaran nyata, termasuk mengancam, tapi saat/sedang melakukan sehingga pelanggaran nyata tidak terungkap.

C. Instrumen Validasi Ahli terhadap Skenario Gabungan

Instrumen ini digunakan untuk memvalidasi rancangan skenario gabungan sebagai dasar untuk keputusan penggabungan pada validator tahap awal. Aspek penilaian memuat rancangan skenario simulasi serta dasar asumsi dan validasi instrumen rule engine. Penilaian: Layak = dapat diterapkan tanpa perubahan; Layak dengan Revisi = perlu perubahan sebelum diterapkan; Tidak Layak = perlu dirombak ulang.

Tabel L2.11 Lembar Penilaian Aspek Rancangan Skenario Gabungan

No	Aspek Penilaian	Penilaian	Catatan Validator
A. Aspek Rancangan Skenario Simulasi			
1	Rancangan aspek pengawasan yang direpresentasikan	Layak	Skenario dirancang aspek metode pelaksanaan, mutu hasil pekerjaan, dan progres secara terintegrasi dalam satu alat.
2	Ketersediaan skenario dengan profil pengawasan di lapangan	Layak	Pengawasan menggunakan cara kerja pengawasan, validasi pada fase pekerjaan yang tidak per tahapan validasi sesuai profil lapangan.
3	Ketersediaan alat material dan alat pengukur	Layak	Alat pengukur validasi inspeksi kondisi per tahapan → skenario simulasi kondisi fakt → evaluasi kurva S → tindakan berdasarkan desain, dasar satu soal per minggu.
4	Ketersediaan parameter dan objek inspeksi dengan kondisi lapangan	Layak	Terhadap tindakan mutu dan adanya desain kurva S mengacu pada RKS dan kurva S adjusted project.
5	Ketersediaan mekanisme umpan balik ke audit	Layak	---
B. Aspek Basis Asumsi dan Validasi Keputusan (Rule Engine)			
6	Ketersediaan definisi dan kualifikasi keputusan (CATP/PM/MD)	Layak	---
7	Ketersediaan aturan (IF-THEN) logis sesuai dengan kondisi aktual	Layak	Asumsi logis koneksi dengan forecast mutu dan adanya desain kurva S.
8	Ketersediaan klasifikasi antar soal seperti (pengawasan & evaluasi kurva S)	Layak	---
9	Ketersediaan dasar regulasi sebagai sumber aturan	Layak	---
10	Ketersediaan umpan balik dan justifikasi dengan hasil klasifikasi	Layak	---

Tabel L2.12 Rekapitulasi Masukan Validator dan Tindak Lanjut

Skenario	Masukan Validator	Kepuasan / Tindak Lanjut
Skenario Gabungan	Skenario merupakan hasil penggabungan skenario Metode dan Mutu Pelayanan dengan skenario Program dan Desain sesuai masukan validator tahap awal (Lampiran 1).	Penggabungan memuat keterbacaan alat yang sebelumnya terpecah, validasi kondisi fakt hasil inspeksi kondisi mutu menjadi dasar evaluasi progres terhadap kurva S dalam satu soal yang satu. Skenario dirancang Layak dan diterapkan ke tahap penyusunan desain final.

Validator

(Moch. Ihsanul Muhadi)
Tanggal : 27 Maret 2026



Keterangan Pengisian:

Kode	Keterangan
B	Berhasil, responden menyelesaikan tugas dan mencapai tujuan tugas secara mandiri.
TB	Tidak Berhasil, responden tidak menyelesaikan tugas secara mandiri sesuai kriteria keberhasilan skenario uji.
-	Tidak ada catatan atau tidak terdapat temuan pada aspek tersebut.

A. Catatan Observasi Responden R1

Responden: Farhan

Jabatan: Peserta OJT / Pengawas Pelaksana Baru

Waktu dan Tempat: Rumah Responden, 07 Juni 2026

Skenario K3

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Pengguna	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca instruksi awal skenario K3.	B	-	-	-
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> lewat <i>map</i> untuk melakukan inspeksi K3.	B	-	-	-
3	Melakukan inspeksi APD pekerja.	B	-	-	-
4	Melakukan inspeksi fasilitas atau zona K3.	B	-	-	-

Skenario Material

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Pengguna	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca instruksi awal skenario Material.	B	-	-	-
2	Menemukan objek material dan membuka mode inspeksi.	B	-	-	-
3	Menggunakan tampilan inspeksi 360 derajat pada objek material.	B	-	-	-
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi material sesuai kategori material yang diperiksa.	TB	-	-	Responden memerlukan arahan awal untuk mengenali fungsi <i>tools</i> inspeksi sebelum mulai menggunakannya.
5	Mengisi <i>form</i> inspeksi material berdasarkan kondisi objek dan hasil pengamatan melalui <i>tools</i> .	B	-	-	-



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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Skenario Audit Lapangan

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca <i>planned brief</i> pada minggu simulasi yang aktif.	B	-	-	-
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> pengecekan pekerjaan.	B	-	-	-
3	Membuka tampilan inspeksi 360 derajat pada objek pekerjaan.	B	-	-	-
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi pengecekan sesuai jenis pekerjaan.	TB	-	-	Responden memerlukan arahan singkat untuk mulai menggunakan <i>tools</i> pengecekan pada penggunaan pertama.
5	Melakukan pengecekan kualitas pekerjaan berdasarkan hasil pengamatan.	B	-	-	-
6	Membuka <i>dashboard</i> Kurva S dan mengisi evaluasi progres.	B	-	-	-
7	Melanjutkan alur simulasi sampai rekap akhir.	B	-	-	-

B. Catatan Observasi Responden R2

Responden: Rina

Jabatan: Peserta OJT / Pengawas Pelaksana Baru

Waktu dan Tempat: Rumah Responden, 07 Juni 2026

Skenario K3

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca instruksi awal skenario K3.	B	-	-	-
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> lewat <i>map</i> untuk melakukan inspeksi K3.	B	-	-	-
3	Melakukan inspeksi APD pekerja.	B	-	-	-
4	Melakukan inspeksi fasilitas atau zona K3.	B	-	-	-

Skenario Material



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca instruksi awal skenario Material.	B	-	-	-
2	Menemukan objek material dan membuka mode inspeksi.	B	-	-	-
3	Menggunakan tampilan inspeksi 360 derajat pada objek material.	TB	-	-	Responden memerlukan arahan bahwa slide button perlu ditekan terlebih dahulu untuk mengganti soal material pada jenis yang sama
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi material sesuai kategori material yang diperiksa.	TB	-	-	Peruh arahan diawal
5	Mengisi <i>form</i> inspeksi material berdasarkan kondisi objek dan hasil pengamatan melalui <i>tools</i> .	B	-	-	-

Skenario Audit Lapangan

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca <i>planned brief</i> pada minggu simulasi yang aktif.	B	-	-	-
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> pengecekan pekerjaan.	B	-	-	-
3	Membuka tampilan inspeksi 360 derajat pada objek pekerjaan.	B	-	-	-
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi pengecekan sesuai jenis pekerjaan.	TB	-	-	Perlu diberi arahan singkat untuk mulai menggunakan <i>tools</i> pengecekan pada penggunaan pertama.
5	Melakukan pengecekan kualitas pekerjaan berdasarkan hasil pengamatan.	B	-	-	-
6	Membuka <i>dashboard</i> Kurva S dan mengisi evaluasi progres.	B	-	-	-
7	Melanjutkan alur simulasi sampai rekap akhir.	B	-	-	-

C. Catatan Observasi Responden R3

Responden: Dwi Azizah

Jabatan: Pengawas Pelaksana Senior

Waktu dan Tempat: Kantor PT Bumi Madani, 08 Juni 2026

Skenario K3

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca instruksi awal skenario K3.	B	-	-	-
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> lewat <i>map</i> untuk melakukan inspeksi K3.	TB	-	Responden sempat melewati <i>marker</i> Zona tanpa membukanya.	-



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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

3	Melakukan inspeksi APD pekerja.	B	-	-	-
4	Melakukan inspeksi fasilitas atau zona K3.	B	-	-	-

Skenario Material

No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca instruksi awal skenario Material.	B	-	-	-
2	Menemukan objek material dan membuka mode inspeksi.	B	-	-	-
3	Menggunakan tampilan inspeksi 360 derajat pada objek material.	TB	-	-	Perlu arahan bahwa terdapat 2 soal untuk pengecekan sampel material pada jenis yang sama
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi material sesuai kategori material yang diperiksa.	TB	-	-	Pengamat memberi arahan singkat untuk mencoba <i>tools</i> sebelum menilai material.
5	Mengisi <i>form</i> inspeksi material berdasarkan kondisi objek dan hasil pengamatan melalui <i>tools</i> .	B	-	-	-

Skenario Audit Lapangan

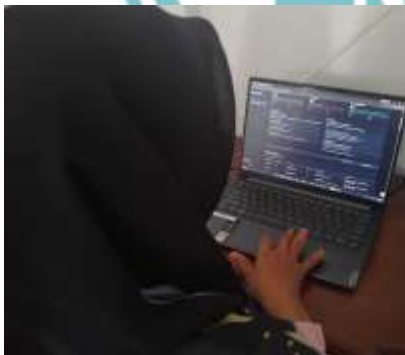
No.	Tugas Pengguna	Keberhasilan	Hambatan Penggunaan	Kesalahan Interaksi	Kebutuhan Bantuan
1	Membaca <i>planned brief</i> pada minggu simulasi yang aktif.	B	-	-	-
2	Menavigasi area proyek dan menemukan <i>marker</i> pengecekan pekerjaan.	B	-	-	-
3	Membuka tampilan inspeksi 360 derajat pada objek pekerjaan.	B	-	-	-
4	Menggunakan <i>tools</i> inspeksi pengecekan sesuai jenis pekerjaan.	TB	-	-	Perlu diberi arahan singkat untuk mulai menggunakan <i>tools</i> pengecekan pada penggunaan pertama.
5	Melakukan pengecekan kualitas pekerjaan berdasarkan hasil pengamatan.	B	-	-	-
6	Membuka <i>dashboard</i> Kurva S dan mengisi evaluasi progres.	B	-	-	-
7	Melanjutkan alur simulasi sampai rekap akhir.	B	-	-	-



Testing Report Tim :

<https://drive.google.com/file/d/1n3SR0RH76s36sxHGEyBoadgvd4B5GdXZ/view?usp=sharing>

Dokumentasi Responden



Berita Acara

H. Berita Acara Pengujian

Pada hari ini, Selasa, 09 Juni 2020, telah dilakukan konfirmasi terhadap data hasil pengujian pada penelitian skripsi kelompok dengan judul:

Rancang Bangun Simulator Interaktif Berbasis Web 3D sebagai Media Pelatihan Terstruktur Pegawai Pelaksana pada Proyek Pembangunan Studi Kasus: PT Bumi Madani

Berita acara ini dibuat untuk memastikan bahwa data hasil pengujian yang tercantum dalam laporan telah sesuai dengan proses pengujian yang dilakukan oleh masing-masing responden. Pengujian dilakukan pada waktu dan tempat yang berbeda sesuai jadwal pelaksanaan masing-masing responden. Data yang dikonfirmasi meliputi status hasil pengujian, catatan selama pengujian, hambatan yang ditemukan, serta kesesuaian hasil pengujian dengan pengalaman responden saat menggunakan sistem.

Adapun daftar responden yang melakukan konfirmasi hasil pengujian adalah sebagai berikut.

Kode Responden	Nama Responden	Jabatan	Tanda Tangan
R1	Furhan	Peserta OJT / Pegawai Pelaksana Baru	
R2	Abifah	Peserta OJT / Pegawai Pelaksana Baru	
R3	Dwi Azizah	Pegawai Pelaksana Senior	

Demikian berita acara ini dibuat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai bukti pendukung dalam penyusunan laporan skripsi.

Depok, [tanggal berita acara] [bulan] 2020.

Tim Peneliti,

No.	Nama	NIM	Tanda Tangan
1	Rahfar Al Fath Ismail	2207431025	
2	Muhammad Alfi Nabil	2207431016	
3	Nidrina Khurumika	2207412010	
4	Shofiyah Sububita	2207412008	

Mengetahui,

Direktor Utama PT Bumi Madani

(Ir. Ekwon Budi S)