



**RANCANG BANGUN FITUR 3D SIMULASI ALUR
KERJA PADA APLIKASI PEMBELAJARAN SISTEM
ELECTRONIC FUEL INJECTION BERBASIS
AUGMENTED REALITY**

SKRIPSI

ANANDA SYAFAKHATUL AZMI

2207431024

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**RANCANG BANGUN FITUR 3D SIMULASI ALUR
KERJA PADA APLIKASI PEMBELAJARAN SISTEM
ELECTRONIC FUEL INJECTION BERBASIS
AUGMENTED REALITY**

SKRIPSI

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

ANANDA SYAFAKHATUL AZMI

2207431024

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ananda Syafakhatul Azmi

NIM : 2207431024

Jurusan/Program Studi : T.Informatika dan Komputer / Teknik Multimedia Digital

Judul skripsi : Rancang Bangun Fitur 3D Simulasi Alur Kerja pada Aplikasi Pembelajaran Sistem Electronic Fuel Injection Berbasis Augmented Reality

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

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

Depok, 7 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Ananda Syafakhatul Azmi

NIM 2207431024



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Ananda Syafakhatul Azmi

NIM : 2207431024

Program Studi : Teknik Multimedia Digital

Judul Skripsi : Rancang Bangun Fitur 3D Simulasi Alur Kerja pada Aplikasi Pembelajaran Sistem Electronic Fuel Injection Berbasis Augmented Reality

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Jumat, Tanggal 19, Bulan Juni, Tahun 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan Oleh

Pembimbing I : Sinantya Feranti Anindya, S.T., M.T. ()

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

Penguji II : Iwan Sonjaya, S.T., M.T. ()

Penguji III : Mira Rosalina, S.Pd., M.T. ()

Mengetahui

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer
Ketua




Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.
NIP. 197908032003122003



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Fitur 3D Simulasi Alur Kerja pada Aplikasi Pembelajaran Sistem *Electronic Fuel Injection* Berbasis *Augmented Reality*”. Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Multimedia Digital, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Malisa Huzaifa, S.Kom., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Multimedia Digital.
3. Ibu Sinantya Feranti Anindya, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, kritik, serta saran yang sangat membangun selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu Kepala Sekolah, Guru Mata Pelajaran Otomotif, beserta seluruh siswa kelas XI jurusan Teknik Sepeda Motor (TSM) di SMK Negeri 1 Bumijawa, atas kerja sama dan izin yang diberikan selama proses observasi dan pengujian aplikasi.
5. Kedua orang tua tercinta, Bapak dan Ibu, yang selalu memberikan doa yang tiada henti, kasih sayang, serta kerja keras yang luar biasa demi mendukung pendidikan penulis.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Teknik Multimedia Digital angkatan 2022, yang telah bersama-sama melewati suka duka masa perkuliahan dan saling mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis berharap skripsi dan aplikasi yang dikembangkan ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi dunia pendidikan kejuruan dan pengembangan teknologi multimedia di Indonesia.

Depok, 9 Juni 2026

Ananda Syafakhatul Azmi

NIM. 2207431024

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ananda Syafakhatul Azmi

NIM : 2207431024

Jurusan/Program Studi : T.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 :

RANCANG BANGUN FITUR 3D SIMULASI ALUR KERJA PADA APLIKASI PEMBELAJARAN SISTEM ELECTRONIC FUEL INJECTION BERBASIS AUGMENTED REALITY

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 3 Juli 2026

Yang menyatakan

Ananda/Syafakhatul Azmi
NIM. 2207431024



Hak Cipta :

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

Rancang Bangun Fitur 3D Simulasi Alur Kerja pada Aplikasi Pembelajaran Sistem *Electronic Fuel Injection* Berbasis *Augmented Reality*

ABSTRAK

Pembelajaran materi sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) menjadi tantangan bagi siswa kelas XI Teknik Sepeda Motor SMK Negeri 1 Bumijawa karena sifatnya yang abstrak dan tertutup oleh blok mesin. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sebuah fitur simulasi interaktif 3D *augmented reality* (AR) sebagai media visual untuk merepresentasikan cara kerja injeksi bensin pada motor secara dinamis. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan siklus pengembangan Villamil-Molina. Pemodelan aset 3D low-poly dirancang menggunakan perangkat lunak Blender, sedangkan pemrograman sistem dibangun pada Unity game engine dengan implementasi arsitektur Model-View-ViewModel (MVVM). Pengujian kelayakan sistem sebagai media pembelajaran dilakukan oleh ahli materi dan ahli media melalui kuesioner skala Likert dengan parameter *Learning Object Review Instrument* (LORI), sementara uji pengalaman pengguna melibatkan 71 siswa menggunakan instrumen *User Experience Questionnaire* (UEQ). Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil validasi LORI mencapai kategori “sangat layak” dengan perolehan persentase ahli media sebesar 92% dan ahli materi 98%. Selanjutnya, hasil pengujian UEQ menunjukkan predikat “excellent” dengan rincian skor Daya Tarik (2,54), Kualitas Pragmatis (2,51), dan Kualitas Hedonis (2,13). Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa fitur EFI Simulator valid secara teknis, layak secara pedagogis sebagai media pembelajaran, serta mendapatkan penerimaan yang sangat positif dari siswa sebagai inovasi media pembelajaran otomotif.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, *Electronic Fuel Injection* (EFI), *Finite State Machine*, Media Pembelajaran, MVVM, Unity, Villamil-Molina.



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Cara Kerja Sistem Injeksi Bensin	5
2.2 <i>Augmented Reality</i> (AR)	7
2.3 Unity Engine	8
2.4 Substance 3D Painter	9
2.5 <i>Physically Based Rendering</i> (PBR)	10
2.6 Arsitektur MVVM (Model-View-ViewModel)	11
2.7 Blender	12
2.8 Metodologi Villamil-Molina.....	13
2.9 Skala Likert	15
2.10 <i>Alpha Testing</i> dan <i>Black Box Testing</i>	16
2.11 <i>Learning Object Review Instrument</i> (LORI) Versi 1.5.....	17
2.12 <i>Beta Testing</i>	19
2.13 <i>User Experience Questionnaire</i> (UEQ).....	20
2.14 Perancangan <i>User Interface</i> dan Orientasi Layar pada <i>Mobile AR</i>	24
2.15 Penelitian Terdahulu	25
BAB III.....	29
METODE PENELITIAN	29
3.1 Rancangan Penelitian	29
3.2 Tahapan Penelitian	29
3.2.1 Tahap Pengembangan (<i>Development</i> / Analisis Kebutuhan).....	29
3.2.2 Tahap Praproduksi (<i>Pre-Production</i>).....	32
3.2.3 Tahap Produksi (<i>Production</i>).....	37
3.2.3 Tahap Pascaproduksi (<i>Post-Production</i>).....	39
3.2.4 Tahap Penyerahan (<i>Delivery</i>).....	40
3.3 Objek Penelitian	40
3.4 Sumber Data.....	40
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	41

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

3.6	Teknik Analisis Data.....	42
BAB IV		46
HASIL DAN PEMBAHASAN		46
4.1	Analisis Kebutuhan	46
4.2	Perancangan Spesifikasi Aset Visual dan Sistem Simulasi	47
4.3	Implementasi Aset 3D dan Fitur Simulasi	79
4.4	Pengujian.....	109
4.4.1	Deskripsi Pengujian	109
4.4.2	Prosedur Pengujian	109
4.4.3	Data Hasil Pengujian.....	114
4.4.4	Analisis Data/Evaluasi Pengujian	126
4.5	Penyerahan Produk (<i>Delivery</i>)	132
BAB V		133
PENUTUP		133
5.1	Kesimpulan	133
5.2	Saran.....	133
DAFTAR PUSTAKA		134



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alur Kerja Sistem EFI.....	5
Gambar 2.2 Model Pengembangan Villamil-Molina.....	14
Gambar 2.3 Struktur Skala UEQ (Schrepp, 2023).....	22
Gambar 3.1 Subproses Simulasi Dasar Sistem EFI.....	34
Gambar 4.1 Arsitektur Informasi Fitur Mode Simulasi.....	56
Gambar 4.2 Diagram User Flow	62
Gambar 4.3 UI Art Style	66
Gambar 4.4 Referensi Gambar Ikon UI	67
Gambar 4.5 Diagram Blok Sistem EFI Simulator	71
Gambar 4.6 Diagram Finite State Machine EFI Simulator.....	73
Gambar 4.7 Class Diagram	76
Gambar 4.8 Model 3D Prototipe.....	80
Gambar 4.9 Animasi Mesin	81
Gambar 4.10 Pengaturan Ekspor Model (.fbx).....	81
Gambar 4.11 Interface Engine State	82
Gambar 4.12 Skrip EFIController.....	83
Gambar 4.13 Skrip Running	84
Gambar 4.14 Skrip StandByState	85
Gambar 4.15 Skrip ColdStart.....	86
Gambar 4.16 Skrip OffState.....	87
Gambar 4.17 Model 3D Mentah	87
Gambar 4.18 Model 3D Throttle Body.....	88
Gambar 4.19 Model 3D Poros Engkol.....	88
Gambar 4.20 Model 3D Final	89
Gambar 4.21 Material Komponen Objek 3D EFI.....	90
Gambar 4.22 Import Settings 3D Model di Substance Painter.....	91
Gambar 4.23 Proses Texturing.....	91
Gambar 4.24 Export Settings Substance Painter.....	92
Gambar 4.25 File Tekstur PBR Metallic Roughness.....	92
Gambar 4.26 Perancangan UI	93
Gambar 4.27 Perancangan UI Builder.....	93
Gambar 4.28 Skrip EFIInputViewModel.....	94
Gambar 4.29 Fungsi SetIgnitionState	95
Gambar 4.30 Fungsi ReturnToOnState.....	95
Gambar 4.31 Fungsi UpdateIgnitionVisuals()	96
Gambar 4.32 Fungsi PlayButtonSound().....	96
Gambar 4.33 Tampilan Unity Event EFIViewModel	97
Gambar 4.34 Skrip EFIController.....	98
Gambar 4.35 Lanjutan Skrip EFIController.....	98
Gambar 4.36 Skrip EngineCore_ECU	99
Gambar 4.37 Skrip EFIDashboardViewModel.....	100
Gambar 4.38 Delegasi Fungsional EFIDashboardViewModel.....	101
Gambar 4.39 Querying Elemen UI Skrip EFIDashboardView.....	101
Gambar 4.40 Fungsi UpdateNeedle Skrip EFIDashboardView	102
Gambar 4.41 Fungsi DrawNeedleShape()	102
Gambar 4.42 Animasi time-based menggunakan Coroutine	103

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

Gambar 4.43 Tampilan akhir EFI Simulator	103
Gambar 4.44 Penggunaan Unity Event pada Skrip EngineCore_ECU	105
Gambar 4.45 Fungsi UpdateState() Skrip Running	106
Gambar 4.46 Variabel Penyimpan Status	106
Gambar 4.47 Penerapan Edge Triggered	106
Gambar 4.48 Konversi desimal ke teks	107
Gambar 4.49 Variabel penyimpan nilai integer	107
Gambar 4.50 Penerapan Mekanisme Value Caching.....	107
Gambar 4.51 Cabang Repositori AR EFI	108
Gambar 4.52 Tampilan Riwayat Commit pada Branch Simulation_Feature	108
Gambar 4.53 Sebaran Kuesioner Beta Testing	119
Gambar 4.54 Butir Pernyataan UEQ.....	119
Gambar 4.55 Hasil Kuesioner Fitur Simulasi	120
Gambar 4.56 Hasil Pengisian Kuesioner UEQ	121
Gambar 4.57 Data Mean Per Person	122
Gambar 4.58 Data Ketidakkonsistenan Jawaban	123
Gambar 4.59 Hasil Mean dari 26 butir pertanyaan UEQ	124
Gambar 4.60 Hasil Rata-Rata Kelompok Kualitas Pragmatis dan Hedonis	125
Gambar 4.61 Penggabungan Fitur Simulasi ke dalam Branch Utama.....	132

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	25
Tabel 3.1 Tabel Komponen Sistem EFI.....	32
Tabel 3.2 Kriteria Validitas dan Kepraktisan.....	44
Tabel 4.1 Spesifikasi Fitur Simulasi Interaktif 3D Sistem EFI.....	46
Tabel 4.2 Referensi Komponen EFI pada Honda Beat FI	48
Tabel 4.3 Spesifikasi Visual Effect.....	53
Tabel 4.4 Wireframe EFI Simulator.....	64
Tabel 4.5 Ikon UI Fitur Simulasi	68
Tabel 4.6 Daftar Sound Effect	79
Tabel 4.7 Hasil Alpha Testing	114
Tabel 4.8 Hasil Penilaian Ahli Media.....	118
Tabel 4.9 Hasil Penilaian Ahli Materi.....	118
Tabel 4.10 Hasil Evaluasi UEQ	124
Tabel 4.11 Benchmark Hasil Beta Testing	125



Hak Cipta :

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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Transkrip Wawancara	136
Lampiran B. Rencana Pelaksanaan Pembelajaran	138
Lampiran C. Hasil Survei Siswa TSM Kelas XI	141
Lampiran D Dokumentasi Analisis Kebutuhan	143
Lampiran E. Hasil Kuesioner Pengujian Ahli Media.....	144
Lampiran F. Hasil Kuesioner Ahli Materi	147
Lampiran G. Chart Hasil UEQ.....	148
Lampiran H. Dokumentasi Pengujian.....	151
Lampiran I. CV Ahli Media	152



Hak Cipta :

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif kini telah beralih sepenuhnya ke teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI) dengan *Engine Control Unit* (ECU) sebagai pusat kendalinya. Meskipun meningkatkan efisiensi, teknologi ini menciptakan kompleksitas baru karena ECU bekerja berdasarkan algoritma pemrosesan data presisi yang abstrak dan sulit dipahami secara konvensional (Singh, 2020). Perkembangan teknologi ini menuntut kesiapan sumber daya manusia yang adaptif dan terampil. Sebagai institusi vokasi yang menghasilkan lulusan yang kompeten, Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dituntut untuk menyesuaikan kurikulumnya dengan tren industri. Oleh karena itu, bagi siswa SMK jurusan Teknik Sepeda Motor, memahami mekanisme kerja ECU bukan lagi sekadar teori, melainkan kompetensi dasar yang harus dikuasai untuk memenuhi standar industri otomotif.

Namun, pengajaran sistem EFI di SMK Negeri 1 Bumijawa terkendala oleh keterbatasan media visualisasi. Hasil wawancara dengan Kasroh, guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor, menunjukkan bahwa alat peraga motor injeksi utuh belum memadai untuk meragakan alur logika sistem. Sifat kerja ECU yang abstrak mulai dari aliran data sensor, pemrosesan, hingga perintah ke aktuator sangat sulit divisualisasikan. Kondisi ini menjadi hambatan utama dalam mencapai target Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) Kompetensi Dasar (KD) 3.6, khususnya pada materi cara kerja injeksi bensin pada sepeda motor.

Permasalahan ini terkonfirmasi secara kuantitatif melalui survei analisis kebutuhan terhadap 58 siswa kelas XI TSM di SMK Negeri 1 Bumijawa. Sebanyak 91,4% siswa mengaku kesulitan membayangkan proses kerja sistem EFI tersebut, dan 86,6% merasa logika sistem sangat sulit dipahami tanpa simulasi visual yang jelas. Data tersebut memunculkan urgensi akan adanya media pembelajaran alternatif. Sebanyak 92,2% siswa secara spesifik membutuhkan media yang lebih interaktif untuk menguasai materi EFI.



Hak Cipta :

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

Ketiadaan alat peraga yang mampu memvisualisasikan alur kerja abstrak ini menjadi hambatan utama bagi guru dalam mengoptimalkan proses kegiatan belajar mengajar di kelas maupun di bengkel praktik.

Menjawab kebutuhan tersebut, fitur 3D simulasi alur kerja sistem EFI yang diintegrasikan dengan *augmented reality* (AR) hadir sebagai solusi yang diusulkan sebagai alternatif media pembelajaran. Penggunaan teknologi 3D dipilih secara khusus karena kemampuannya dalam memvisualisasikan konsep abstrak ke dalam format yang lebih nyata dan spesifik. Penelitian Ye dkk. (2024) menegaskan bahwa lingkungan pembelajaran 3D interaktif memungkinkan siswa untuk tidak sekadar mengamati, tetapi juga berinteraksi langsung dengan materi. Interaksi ini terbukti secara signifikan mampu meningkatkan tingkat pemahaman dan daya ingat (retensi) siswa terhadap konsep yang rumit.

Potensi visualisasi 3D ini dapat didukung lebih lanjut melalui penerapan teknologi AR. Berbagai penelitian terdahulu membuktikan bahwa AR sangat efektif digunakan dalam pendidikan vokasi. Sebagai contoh, Zamuri dkk. (2025) menemukan bahwa modul AR secara signifikan membantu siswa memahami konsep komponen mekanis yang abstrak. Hal ini dimungkinkan karena keunggulan utama AR terletak pada kemampuannya memproyeksikan simulasi 3D tersebut secara langsung di atas objek nyata (Rajput dkk., 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan visualisasi 3D mekanisme kerja sistem EFI pada media berbasis *augmented reality*. Pendekatan ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara teori abstrak dan praktik lapangan, sehingga siswa tidak sekadar menghafal letak komponen, melainkan dapat mengamati secara langsung simulasi logika operasional dasar sistem EFI.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang aset visual 3D komponen sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) untuk kebutuhan fitur simulasi berbasis *augmented reality*?



Hak Cipta :

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

2. Bagaimana merancang dan membangun sistem interaksi simulasi alur kerja sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) secara dinamis pada fitur tersebut?
3. Sejauh mana tingkat kelayakan fitur simulasi alur kerja sistem EFI tersebut sebagai media pembelajaran berdasarkan pengujian ahli dan pengalaman pengguna?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Materi pembelajaran terbatas pada materi cara kerja sistem injeksi motor yang ada pada RPP di KD 3.6.4
2. Sistem yang disimulasikan terbatas pada sistem bahan bakar injeksi (*Electronic Fuel Injection/EFI*) sepeda motor jenis skuter otomatis 110 cc, yaitu Honda Beat FI yang dijadikan sebagai unit praktik utama/media observasi di SMK Negeri 1 Bumijawa.
3. Skenario simulasi dibatasi pada kondisi operasional mesin, meliputi fase *cold start*, *cruising*, akselerasi, deselerasi (*engine braking*), dan beban penuh (*heavy load*), serta tidak membahas simulasi diagnosis kerusakan.
4. Perancangan aset 3D difokuskan secara spesifik pada komponen sensor, ECU, dan aktuator utama.
5. Studi kasus dilakukan terbatas pada lingkup siswa jurusan Teknik Sepeda Motor kelas XI di SMK Negeri 1 Bumijawa.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan:

1. Menghasilkan rancangan aset visual 3D komponen sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) untuk kebutuhan fitur simulasi berbasis *augmented reality*.
2. Menghasilkan rancangan dan sistem interaksi simulasi alur kerja sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) secara dinamis pada fitur tersebut.
3. Mengetahui tingkat kelayakan fitur simulasi alur kerja sistem EFI tersebut sebagai media pembelajaran berdasarkan hasil validasi ahli (materi dan media) serta respons pengguna.



Hak Cipta :

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

Manfaat:

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis secara langsung bagi siswa selaku pengguna akhir yaitu :

Memberikan fasilitas belajar alternatif berupa fitur simulasi visual 3D interaktif yang dapat memfasilitasi visualisasi konsep abstrak dari alur kerja *Engine Control Unit (ECU)* dan sistem EFI. Melalui media ini, siswa diharapkan dapat lebih mudah membayangkan dan mempelajari logika operasional sistem interaksi secara mandiri, sehingga mereka memiliki pemahaman dasar yang lebih matang sebelum melakukan praktik langsung menggunakan mesin di bengkel.

1.5 Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika penulisan yang disusun untuk skripsi penelitian ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan landasan teori yang relevan dengan penelitian dan penelitian terdahulu sebagai referensi.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi uraian tahapan pengembangan sistem dengan metode Villamil-Molina serta teknik pengumpulan dan analisis data.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan proses perancangan aset 3D, implementasi sistem, dan hasil analisis evaluasi dari responden.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan simpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang ditunjukkan kepada pihak terkait.

Hak Cipta :

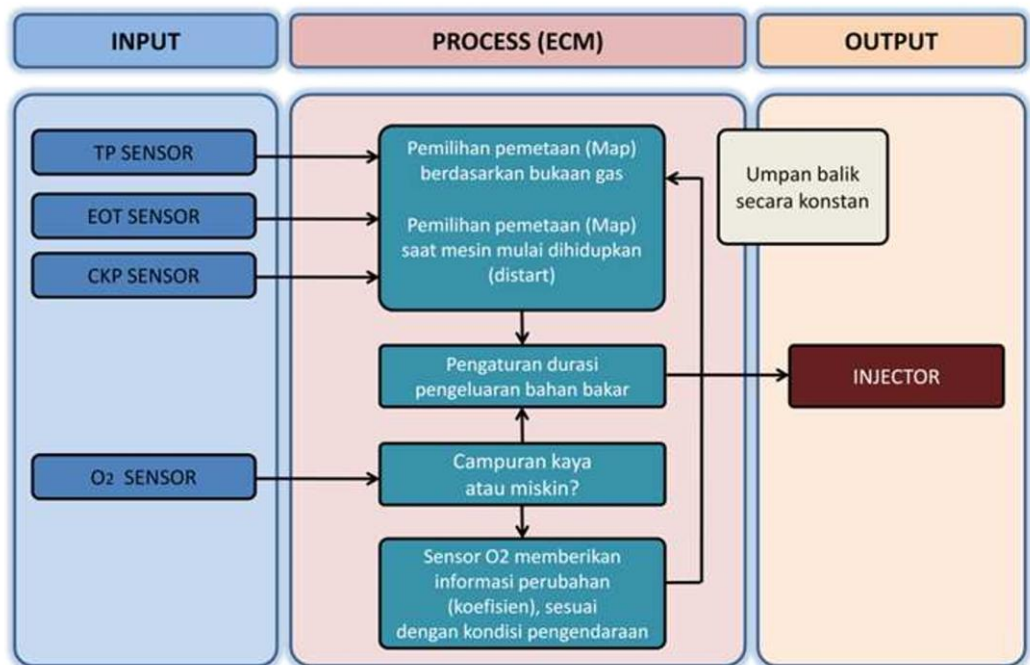
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cara Kerja Sistem Injeksi Bensin

Sistem injeksi bahan bakar dirancang untuk melakukan penyemprotan bahan bakar dengan waktu dan jumlah yang presisi sesuai dengan informasi yang dikirimkan oleh berbagai sensor. Secara struktural dan logika operasional, sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) bekerja berdasarkan siklus tiga tahapan utama, yaitu *input*, *process*, dan *output* (Rohendi, 2025).



Gambar 2.1 Diagram Alur Kerja Sistem EFI

Sumber : Rohendi (2025)

Berdasarkan bagan alur kerja di atas, komponen seperti *Throttle Position* (TP) *Sensor*, *Engine Oil Temperature* (EOT) *sensor*, *Crankshaft Position* (CKP) *sensor*, dan *O2 sensor* berperan sebagai perangkat *input* yang bertugas mendeteksi dan mengirimkan data kondisi aktual kendaraan (Rohendi, 2025). Data tersebut kemudian diterima oleh *Engine Control Module* (ECM) untuk masuk ke tahap pemrosesan (*process*) (Rohendi, 2025). Di dalam ECM, terjadi kalkulasi rumit yang mencakup pemilihan pemetaan (*map*) berdasarkan bukaan



Hak Cipta :

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

gas dan kondisi saat mesin mulai dihidupkan (Rohendi, 2025). ECM juga terus memantau umpan balik konstan dari sensor O₂ untuk menentukan apakah campuran harus dalam kondisi kaya atau miskin, yang berpengaruh pada keputusan pengaturan durasi pengeluaran bahan bakar (Rohendi, 2025). Keputusan ini kemudian diteruskan ke perangkat *output*, yaitu injektor, untuk mengeksekusi semprotan bahan bakar secara presisi (Rohendi, 2025).

Mengacu pada literatur buku paket pembelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda motor dan literatur dari Rohendi (2025), adapun detail mekanisme kerja sistem injeksi bensin dalam menyesuaikan berbagai kondisi operasional mesin dijabarkan sebagai berikut:

a. Kondisi mesin dingin (*cold start*)

Ketika mesin dihidupkan dalam kondisi dingin, *Engine Temperature Sensor* (ETS) akan mendeteksi suhu yang rendah dan mengirimkan informasinya ke ECU. Karena penguapan bahan bakar pada suhu rendah cenderung kurang optimal, ECU memerintahkan injektor untuk menyemprotkan bensin lebih banyak.

b. Putaran stasioner (*idle/langsam*)

Pada putaran stasioner atau langsam (sekitar 1400 rpm), katup gas (*throttle valve*) pada *throttle body* masih dalam keadaan menutup. Aliran udara yang masuk dideteksi melalui saluran khusus stasioner. Mengingat sensor tekanan udara (MAP sensor) dan *Throttle Position* (TP) sensor mendeteksi pasokan udara yang masih sedikit, ECU hanya memberikan tegangan listrik ke injektor untuk durasi yang sangat singkat.

c. Saat putaran menengah, tinggi, dan beban berat (*heavy load*)

Ketika tuas gas ditarik, terutama saat mesin membutuhkan tenaga ekstra untuk membawa beban berat, pergerakan ini mengubah bukaan katup kupu-kupu yang kemudian dideteksi oleh TP sensor. TP sensor mengirimkan sinyal tegangan ke ECU yang diartikan sebagai indikator peningkatan volume udara masuk. Bersamaan dengan itu, MAP sensor mendeteksi tekanan udara yang semakin tinggi. Berdasarkan akumulasi informasi



Hak Cipta :

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

tersebut, ECU memberikan tegangan listrik pada solenoid injektor dengan durasi yang lebih lama sehingga bahan bakar yang disemprotkan menjadi lebih banyak.

d. Akselerasi

Akselerasi dengan tarikan gas yang tiba-tiba akan menyebabkan volume udara bertambah dengan sangat cepat. Perubahan tekanan dan jumlah udara secara drastis ini langsung dideteksi oleh MAP sensor. Mengingat bahan bakar di dalam saluran pipa EFI sudah berada dalam kondisi bertekanan tinggi secara konstan, injektor dapat menyemprotkan bahan bakar secara serentak merespons perubahan volume udara masuk tanpa adanya keterlambatan (*delay*).

2.2 *Augmented Reality* (AR)

Teknologi *Augmented Reality* (AR) merupakan terobosan dalam interaksi manusia dan komputer yang menggabungkan benda maya dua dimensi maupun tiga dimensi ke dalam sebuah lingkungan nyata. Berbeda dengan *virtual reality* (VR) yang sepenuhnya menggantikan lingkungan nyata pengguna dengan lingkungan simulasi, AR sekadar menambahkan atau melengkapi kenyataan tanpa menggantikan lingkungan nyata secara utuh. Menurut Mahartika dkk. (2023), AR didefinisikan sebagai sebuah sistem teknologi yang mengintegrasikan data komputer seperti grafik, gambar, suara, atau model 3D ke dalam lingkungan dunia nyata secara *real-time*.

Sistem teknologi AR bertujuan untuk menyempurnakan persepsi pengguna terhadap dunia nyata dengan mengombinasikan objek virtual ke dalam dunia nyata secara interaktif. Kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem AR memungkinkan objek virtual untuk muncul secara jelas dan membaaur di dunia nyata pengguna.

Guna memberikan fleksibilitas tinggi dan meminimalisasi kendala spesifikasi perangkat keras siswa, sistem AR pada aplikasi ini diimplementasikan menggunakan tiga metode pelacakan, yaitu:

1. *Markerless tracking (plane detection)*



Hak Cipta :

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

Metode yang memanfaatkan algoritma pemetaan ruang serta sensor kamera dan *gyroscope* pada perangkat *smartphone* untuk mengenali permukaan datar (seperti lantai atau meja). Melalui metode ini, aplikasi dapat langsung memproyeksikan fitur simulasi 3D komponen *Electronic Fuel Injection* (EFI) secara stabil tanpa memerlukan penanda khusus, sehingga siswa dapat melakukan simulasi di ruang kelas maupun di rumah.

2. *Marker-based tracking*

Metode pelacakan konvensional yang mewajibkan pengguna memindai sebuah pola gambar dua dimensi (*marker*) sebagai titik acuan. Metode ini menjadi solusi alternatif agar aplikasi tetap dapat diakses dengan lancar pada *smartphone* spesifikasi dasar yang belum mendukung algoritma *plane detection*.

3. *Object tracking*

Metode pelacakan tingkat lanjut yang memungkinkan sistem menggunakan objek fisik 3D di dunia nyata dalam hal ini, mesin fisik Honda Beat FI sebagai titik acuan (*marker*). Dengan metode ini, animasi simulasi aliran kelistrikan EFI dapat diproyeksikan tepat menyatu di atas bentuk fisik mesin aslinya, memberikan konteks visual yang sangat imersif saat sesi praktik di bengkel sekolah.

2.3 Unity Engine

Unity merupakan perangkat lunak pengembang lintas platform (*cross-platform*) yang dirancang untuk membangun berbagai aplikasi interaktif, termasuk 2D, 3D, *virtual reality* (VR), serta *augmented reality* (AR). Berdasarkan dokumentasi resminya (Unity Technologies, 2026), pengembangan simulasi di dalam Unity berpusat pada konsep arsitektur hierarki objek. Entitas paling mendasar di dalam lingkungan virtual ini disebut *gameobject*, yang pada dasarnya hanya berfungsi sebagai wadah kosong untuk merepresentasikan karakter, properti, atau elemen visual lainnya tanpa memiliki fungsi operasional bawaan.

Agar sebuah *gameobject* dapat berfungsi secara spesifik, pengembang harus menyematkan *components* (komponen) ke dalamnya (Unity Technologies,



Hak Cipta :

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

2026). Komponen-komponen ini bertindak sebagai pemberi karakteristik dan perilaku pada objek, baik berupa wujud model 3D, titik pencahayaan, maupun skrip logika pemrograman yang memberikan instruksi spesifik tentang bagaimana objek tersebut harus bergerak dan berinteraksi di dalam sebuah *Scene* (lingkungan tata ruang simulasi).

Mengacu pada prinsip arsitektur dasar tersebut, Unity digunakan sebagai perangkat lunak pengembangan utama dalam simulasi sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) ini. Setiap wujud visual 3D dari komponen kelistrikan sepeda motor, seperti sensor, *Engine Control Unit* (ECU), dan aktuator, dibangun sebagai *gameobjects*. Melalui penyematan komponen skrip logika secara spesifik pada masing-masing objek tersebut, setiap komponen mekanis virtual mampu merespons instruksi pengguna dan memvisualisasikan algoritma pemrosesan data secara dinamis di dalam ruang interaktif *augmented reality*.

2.4 Substance 3D Painter

Substance 3D Painter merupakan perangkat lunak *3D painting* yang dirancang untuk memfasilitasi proses pembuatan tekstur dan *rendering* secara langsung pada model *mesh* 3D (Adobe *Experience League*, 2026). Perangkat lunak ini merupakan standar industri yang berfokus pada alur kerja *physically based rendering* (PBR), sebuah pendekatan yang menyimulasikan interaksi cahaya terhadap permukaan material di dunia nyata secara akurat.

Keunggulan utama dari Substance 3D Painter terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi struktur *mesh* melalui proses *baking*, serta penggunaan sistem *layer*, *smart materials*, dan *generators*. Hasil akhirnya berupa kumpulan peta tekstur (*texture maps*) seperti *albedo*, *normal*, *metallic*, dan *roughness*, yang formatnya dapat disesuaikan menggunakan berbagai templat bawaan agar kompatibel dengan sistem *rendering* pada *game engine*, termasuk Unity.

Untuk pengembangan fitur ini, templat tekstur menggunakan PBR *Metallic Roughness*. Templat ini dipilih karena kesesuaian format peta tekstur pada material yang digunakan di Unity yaitu material *standard shader*. Adapun jenis-jenis peta tekstur yang dihasilkan beserta fungsinya pada templat 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- a. *Base color*: Merupakan peta tekstur yang menyimpan informasi warna dasar dari permukaan objek tanpa adanya pengaruh bayangan (*shadows*) atau pantulan cahaya (*highlights*).
- b. *Metallic map*: Merupakan peta tekstur skala abu-abu (*grayscale*) yang menginstruksikan *shader* mengenai bagian mana dari *mesh* yang memantulkan cahaya seperti logam murni (bernilai putih/1) dan bagian mana yang bersifat non-logam seperti plastik atau karet (bernilai hitam/0).
- c. *Normal map*: Merupakan peta tekstur RGB yang menyimpan informasi arah vektor permukaan. Tekstur ini berfungsi untuk menyimulasikan detail kedalaman, lekukan, dan *relief* beresolusi tinggi tanpa perlu menambah kepadatan poligon pada model 3D.
- d. *Height map*: Merupakan peta tekstur tambahan yang menyimpan data elevasi vertikal dari sebuah permukaan. Tekstur ini dapat dimanfaatkan oleh sistem *game engine* untuk memberikan efek perpindahan (*displacement*) atau kedalaman ekstra yang tidak dapat ditangani hanya dengan *normal map*.

2.5 Physically Based Rendering (PBR)

Physically based rendering (PBR) merupakan sebuah metodologi dan kumpulan teknik dalam grafika komputer yang memodelkan interaksi antara cahaya dan materi secara ketat berdasarkan prinsip dan hukum fisika dunia nyata. Berdasarkan rujukan *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*, pendekatan PBR berfokus pada simulasi matematis yang akurat terhadap *light transport*, termasuk proses *scattering* dan *reflection* cahaya saat berinteraksi dengan berbagai jenis permukaan material (Pharr dkk., 2023). Tujuan utama dari PBR adalah untuk mencapai tingkat realisme yang tinggi. Dalam pengembangan visualisasi 3D yang melibatkan komponen kompleks seperti logam, plastik, dan karet, pendekatan PBR sangat penting. Sistem ini memastikan bahwa parameter fisik permukaan, seperti tingkat kekasaran (*roughness*) dan sifat logam (*metallic*), akan selalu merespons dan memantulkan cahaya secara logis, terlepas dari dinamika perubahan 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pencahayaannya pada lingkungan. Prinsip inilah yang menjadi landasan utama dalam sistem *texturing* modern.

2.6 Arsitektur MVVM (Model-View-ViewModel)

Arsitektur *Model-View-ViewModel* (MVVM) merupakan pola desain arsitektur perangkat lunak yang memisahkan antara antarmuka pengguna (*User Interface/UI*) dengan logika bisnis serta data dasar aplikasi. Dalam ekosistem pengembangan Unity, khususnya pada penggunaan paket antarmuka modern seperti *UI Toolkit*, pola ini dirancang secara spesifik untuk memfasilitasi pembuatan UI yang terukur (*scalable*) dan memaksimalkan mekanisme pengikatan data (*data-binding*) (Unity Technologies, 2026). Pola MVVM membagi struktur sistem ke dalam tiga komponen utama yang saling berinteraksi:

1) Model

Komponen ini merepresentasikan data dasar dan logika bisnis dari aplikasi. *Model* sepenuhnya bersifat independen dan murni mengelola struktur data aplikasi tanpa memiliki keterikatan, referensi, atau pengetahuan apa pun mengenai elemen visual antarmuka pengguna yang akan ditampilkan (Unity Technologies, 2026).

2) View

View bertanggung jawab mutlak atas representasi visual antarmuka dan penerimaan interaksi dari pengguna. Pada kerangka kerja Unity modern, *View* umumnya dikonstruksi secara deklaratif menggunakan bahasa *markup* UXML (*Unity Extensible Markup Language*). Sesuai prinsip dasar MVVM, *View* tidak mengandung logika komputasi bisnis; komponen ini hanya bertugas mempresentasikan tata letak visual dan mengirimkan instruksi *input* pengguna ke lapisan *ViewModel* (Unity Technologies, 2026).

3) ViewModel

ViewModel bertindak sebagai lapisan perantara atau abstraksi yang menjembatani komunikasi antara *Model* dan *View*. Komponen ini bertugas menyimpan status (*state*) dari UI, membungkus data kompleks dari *Model*,



Hak Cipta :

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

dan menyediakannya dalam format yang siap digunakan oleh *View*. Sesuai dengan kaidah arsitektur ini, *ViewModel* memproses aksi dari pengguna, memperbarui *Model*, dan memberi tahu *View* secara otomatis ketika terjadi perubahan data terkait (Unity Technologies, 2026).

Penerapan MVVM pada ekosistem Unity memberikan pergeseran paradigma dari metode tradisional yang sangat bergantung pada referensi langsung objek visual di dalam *scene* (seperti manipulasi komponen antarmuka *gameobject* secara manual). Melalui arsitektur ini, desain tata letak UI dikonstruksi secara terpisah murni sebagai struktur deklaratif (seperti `<Label name="RpmData">`).

Sebagai mekanisme komunikasi utama, lapisan UI menggunakan fitur *data-binding* untuk mengikat elemen visual secara langsung ke properti dan metode yang ada di dalam *ViewModel* (Unity Technologies, 2026). Pengikatan ini memastikan bahwa setiap pembaruan nilai yang terjadi pada logika simulasi EFI akan secara otomatis memicu pembaruan pada tampilan antarmuka, tanpa perlu menuliskan skrip statis untuk mengubah nilai UI secara manual. Pendekatan pelepasan keterikatan (*decoupling*) ini membuat susunan pemrograman simulasi menjadi jauh lebih rapi, terisolasi, dan efektif untuk mencegah terjadinya konflik sistem.

2.7 Blender

Blender merupakan perangkat lunak grafis komputer tiga dimensi (3D) sumber terbuka (*open-source*) yang dirancang untuk mendukung seluruh alur kerja pembuatan aset 3D. Berdasarkan dokumentasi resmi Blender Foundation (2023), perangkat lunak ini menyediakan serangkaian fitur yang mencakup pemodelan (*modeling*), pemetaan koordinat tekstur (*UV unwrapping*), pembuatan material, hingga pembuatan animasi. Dalam pengembangan aplikasi *augmented reality* (AR), Blender berfungsi sebagai ruang kerja pra-produksi (*pre-production*) untuk memanipulasi dan menciptakan representasi visual objek nyata sebelum diintegrasikan ke dalam perangkat lunak pengembang.

Secara teknis, bentuk fisik objek di dalam Blender dibangun menggunakan metode pemodelan poligonal (*polygonal modeling*). Dokumentasi Blender Foundation (2023) mendefinisikan model poligonal sebagai objek yang



Hak Cipta :

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

tersusun dari tiga elemen geometri dasar, yaitu titik sudut (*vertices*), garis (*edges*), dan bidang datar (*faces* atau *polygons*).

Dalam konteks penelitian rancang bangun fitur simulasi *Electronic Fuel Injection* (EFI) ini, Blender digunakan untuk memodelkan komponen utama seperti Sensor, ECU, dan aktuator. Pendekatan utama yang diterapkan dalam proses produksi aset ini adalah optimasi model melalui teknik *low-poly* (poligon rendah). Karena fitur simulasi ini ditujukan untuk dijalankan pada perangkat *smartphone* yang memiliki keterbatasan daya komputasi grafis, jumlah *polygon* atau *triangles* (*tris*) harus ditekan seminimal mungkin tanpa menghilangkan identitas visual asli dari komponen mesin tersebut. Setelah proses pemodelan dan *UV unwrapping* selesai, objek 3D tersebut diekspor ke dalam format standar industri (.fbx) untuk kemudian diberikan logika interaksi di dalam Unity.

2.8 Metodologi Villamil-Molina

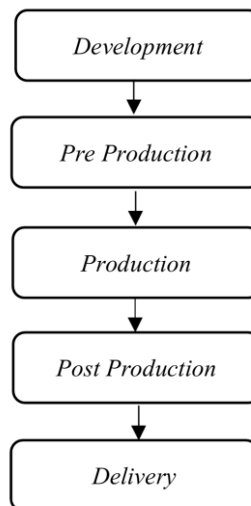
Metode Villamil-Molina merupakan pendekatan pengembangan multimedia terstruktur yang terdiri dari lima tahapan utama. Metode ini efektif digunakan untuk produk interaktif karena setiap tahapannya mendukung proses produksi yang terstruktur. Efektivitas model Villamil-Molina telah dibuktikan keberhasilannya dalam berbagai penelitian pengembangan *augmented reality* dan *virtual game* terkini menggunakan perangkat lunak *game engine* seperti Unity (Nasution, 2025).

Pendekatan Villamil-Molina ini terdiri dari lima tahapan utama. Alur kerja dari metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2.2 Model Pengembangan Villamil-Molina

1. Pengembangan (*development*)

Tahap ini fokus pada perumusan konsep awal dan ide dasar aplikasi multimedia. Pada tahap ini, tujuan utama, target pengguna, dan ruang lingkup produk yang akan dibuat ditentukan agar proses selanjutnya memiliki arah yang jelas. Selain itu, kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, jenis media yang akan digunakan, serta gambaran alur kerja juga diidentifikasi pada fase ini. Tahap pengembangan menjadi fondasi yang memastikan setiap elemen produksi memiliki acuan yang sejalan dengan tujuan awal proyek (Nasution, 2025).

2. Praproduksi (*pre-production*)

Praproduksi adalah tahap persiapan yang berlangsung setelah ide dan konsep dirumuskan pada fase pengembangan. Aktivitas pada fase ini meliputi perancangan struktur antarmuka pengguna, penyusunan *flowchart* dan *class diagram* untuk alur logika, pembuatan *storyboard*, serta penentuan kebutuhan referensi material visual dan perangkat lunak (Nasution, 2025).

3. Produksi (*production*)

Tahap ini mencakup proses penciptaan aset dari nol (*asset creation*) seperti pemodelan objek dan pemberian material, yang kemudian dilanjutkan



Hak Cipta :

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

dengan penulisan skrip pemrograman logika interaksi menggunakan perangkat lunak pengembang (*authoring tools* atau *game engine*).

4. Pascaproduksi (*post-production*)

Fase ini merupakan tahap evaluasi yang bertujuan untuk memastikan fungsionalitas dan kualitas produk sebelum didistribusikan. Aktivitas utamanya meliputi pengujian internal (*alpha testing*) untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan sistem (*bug*), penyempurnaan elemen multimedia, serta pelaksanaan uji kelayakan (*validasi*) oleh para pakar untuk memastikan produk telah memenuhi standar keilmuan dan teknis yang ditetapkan.

5. Penyerahan (*delivery*)

Tahap terakhir adalah pendistribusian atau penyerahan produk akhir. *Output* dari tahap ini sangat bergantung pada tujuan awal proyek, yang dapat berupa aplikasi yang siap digunakan oleh konsumen akhir, maupun berupa modul siap pakai yang diserahkan kepada tim pengembang lain untuk tahap integrasi lanjutan.

2.9 Skala Likert

Skala Likert merupakan salah satu instrumen pengukuran psikometrik yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang penelitian keilmuan untuk mengevaluasi persepsi, sikap, dan opini responden terhadap suatu subjek tertentu. Menurut Ferrando dkk. (2025), instrumen yang pertama kali diperkenalkan oleh Rensis Likert pada tahun 1932 ini telah menjadi standar evaluasi global karena kesederhanaan dan keefektifannya dalam menguantifikasi respons yang bersifat kualitatif menjadi data kuantitatif yang dapat diukur secara statistik.

Dalam konteks pengujian produk dan pengembangan multimedia interaktif, skala Likert diaplikasikan sebagai instrumen utama untuk mengukur tingkat kelayakan produk (*feasibility*) dan penerimaan pengguna (*user acceptance*). Skala ini beroperasi dengan cara meminta responden untuk menunjukkan tingkat persetujuan atau tidak setujunya mereka terhadap serangkaian



Hak Cipta :

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

pernyataan (item) yang terstruktur. Evaluasi ini dilakukan melalui beberapa kategori respons yang berjenjang dan simetris, yang umumnya direpresentasikan dalam rentang ganjil maupun genap (misalnya dari "sangat tidak setuju" hingga "sangat setuju").

Melalui desain kuesioner berskala Likert, data ordinal yang diperoleh dari penilaian para ahli (pakar keilmuan) dan pengguna akhir dapat dikonversi menjadi persentase kelayakan matematis. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menyimpulkan apakah kualitas sebuah produk pengembangan seperti alat peraga visual telah memenuhi standar kelayakan secara teknis operasional maupun kesahihan materi (Ferrando dkk., 2025).

2.10 Alpha Testing dan Black Box Testing

Pengujian alfa (*alpha testing*) merupakan tahapan evaluasi perangkat lunak yang dilakukan secara internal di lingkungan pengembang sebelum sistem didistribusikan secara luas kepada pengguna akhir. Pengujian ini bertujuan untuk melakukan simulasi penggunaan sistem guna mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan atau *bug* pada perangkat lunak secara dini. Dalam tahap eksekusinya, pelaksanaan *alpha testing* sering kali diimplementasikan menggunakan pendekatan pengujian *black box* (Wathani, 2026).

Black box testing adalah metode pengujian perangkat lunak yang secara khusus berfokus pada spesifikasi fungsional aplikasi tanpa mensyaratkan penguji untuk mengetahui atau memahami detail arsitektur serta struktur kode internal yang ada di baliknya. Metode ini dirancang untuk menguji fungsionalitas eksternal program dengan cara memberikan masukan (*input*) tertentu melalui antarmuka sistem dan mengamati luaran (*output*) yang dihasilkan. Evaluasi ini memastikan bahwa setiap interaksi pengguna dapat diproses dengan benar dan menghasilkan respons atau manipulasi data yang sesuai dengan hasil yang diharapkan (*expected result*), sehingga menjamin fungsionalitas sistem berjalan dengan tepat sebelum dirilis (Wathani, 2026).

Untuk menjamin bahwa proses pengujian *black-box* ini dilakukan secara sistematis, konsisten, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, proses pendokumentasian pengujian mengacu pada IEEE Std 829-2008 (*IEEE Standard for Software and System Test Documentation*). IEEE 829-2008



Hak Cipta :

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

merupakan standar internasional yang menetapkan kerangka kerja baku untuk dokumentasi evaluasi perangkat lunak. Di dalam konteks *alpha testing*, standar ini mewajibkan perumusan spesifikasi kasus uji dan spesifikasi prosedur uji. Spesifikasi kasus uji berfungsi untuk merumuskan parameter prasyarat operasional, nilai masukan yang digunakan, serta hasil yang diharapkan secara terukur. Sementara itu, spesifikasi prosedur uji menguraikan langkah-langkah logis dan terstruktur untuk mengeksekusi pengujian tersebut. Integrasi antara metode fungsionalitas *black-box* dan standar pelaporan IEEE 829-2008 ini memastikan bahwa *alpha testing* menghasilkan evaluasi perangkat lunak yang valid, objektif, dan terhindar dari bias pengujian acak.

Learning Object Review Instrument (LORI) Versi 1.5

Dalam pengembangan dan evaluasi media pembelajaran berbasis multimedia interaktif, instrumen penilaian yang holistik sangat diperlukan untuk mengukur efektivitas pedagogis secara objektif. *Learning Object Review Instrument (LORI)* merupakan instrumen standar yang secara spesifik dirancang untuk mengevaluasi kualitas objek pembelajaran multimedia (*multimedia learning objects*). Versi penyempurnaan yang paling relevan untuk riset media modern adalah LORI 1.5, yang dikembangkan oleh Leacock dan Nesbit (2007) dengan tujuan menyeimbangkan validitas penilaian yang ketat dengan efisiensi proses evaluasi heuristik.

Berbeda dengan instrumen rekayasa perangkat lunak murni, LORI 1.5 memfasilitasi pakar untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan media pembelajaran melalui rubrik skala bertingkat dan kolom komentar. LORI 1.5 menetapkan sembilan dimensi kualitas utama:

1. Kualitas konten (*content quality*)

Menilai apakah materi disajikan tanpa kesalahan dan tidak bias. Pernyataan di dalamnya harus didukung oleh argumen yang logis dan mampu menyoroti gagasan-gagasan penting.

2. Kesesuaian tujuan pembelajaran (*learning goal alignment*)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Mengevaluasi apakah aktivitas belajar, isi materi, dan instrumen penilaian di dalam media sudah sejalan dengan tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan.

3. Umpan balik dan adaptasi (*feedback and adaptation*)

Menilai kemampuan media dalam memberikan respons atau umpan balik yang adaptif berdasarkan perbedaan input atau ragam interaksi dari siswa.

4. Motivasi (*motivation*)

Mengukur kapasitas media interaktif untuk memotivasi, menstimulasi rasa ingin tahu, dan menarik minat populasi pelajar yang menjadi target.

5. Desain presentasi (*presentation design*)

Menilai tata letak informasi visual agar siswa dapat belajar dengan efisien. Teks dan grafis harus jelas dan ringkas, serta elemen di layar tidak mengganggu fokus utama pembelajaran.

6. Kebergunaan interaksi (*interaction usability*)

Mengevaluasi kemudahan navigasi antarmuka (UI). Desainnya harus konsisten, mudah diprediksi, dan secara otomatis mampu memandu siswa tentang cara menggunakan media tersebut.

7. Aksesibilitas (*accessibility*)

Menilai format presentasi dan rancangan kontrol agar dapat mengakomodasi pengguna dengan keterbatasan (*disabilitas*) maupun keterbatasan platform portabel.

8. Penggunaan kembali (*reusability*)

Mengukur fleksibilitas objek pembelajaran untuk dipindahkan (*ported*) dan digunakan pada berbagai konteks atau modul kursus tanpa memerlukan penulisan ulang/modifikasi kode.

9. Kepatuhan standar (*standards compliance*)

Menilai tingkat kepatuhan media terhadap standar dan spesifikasi.



Hak Cipta :

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

Implementasi pada Penelitian Pengembangan (R&D) Dalam konteks pengembangan simulasi *Electronic Fuel Injection* (EFI) berbasis *augmented reality* (AR), instrumen LORI 1.5 tidak harus digunakan secara mutlak pada kesembilan dimensinya, melainkan diadaptasi sesuai porsi masing-masing ahli.

Pengukuran dikerucutkan secara presisi pada dimensi pedagogis, yakni *Content Quality* untuk menjamin akurasi representasi komponen 3D dan hukum termodinamika mesin EFI, *Learning Goal Alignment* untuk menyesuaikan kerumitan simulasi, *Feedback and Adaptation* untuk merespons manipulasi *slider* mekanis, serta *Presentation Design* untuk memastikan format AR memfasilitasi pemahaman ruang (spasial) mesin kendaraan yang sulit diamati pada objek fisik nyata.

Beta Testing

Dalam siklus pengembangan perangkat lunak dan sistem multimedia, evaluasi kualitas tidak dapat dibatasi hanya pada pengujian internal. Evaluasi harus diperluas pada lingkungan operasional yang sesungguhnya melalui pengujian beta. Berdasarkan tinjauan literatur mengenai spektrum pengujian perangkat lunak, *Beta testing* didefinisikan sebagai pengujian yang secara spesifik dieksekusi di lokasi pelanggan atau pengguna akhir, tanpa adanya pendampingan atau intervensi langsung dari tim pengembang di lokasi tersebut. Tujuan utama dari pengujian ini bukan lagi untuk mengidentifikasi cacat arsitektur atau kelemahan baris kode (*debugging*), melainkan untuk melakukan validasi eksternal. Fase ini berfokus pada evaluasi fungsionalitas produk secara keseluruhan saat dioperasikan oleh pengguna akhir di dalam representasi lingkungan yang nyata. Dalam konteks penelitian pengembangan media pembelajaran interaktif, *Beta testing* merepresentasikan tahap uji kepraktisan aktual (*actual practicality*). Tahap ini mengonfirmasi apakah produk yang telah tervalidasi secara teoretis oleh para ahli benar-benar memiliki tingkat kebergunaan (*usability*) yang tinggi dan dapat diterima secara logis oleh target pengguna saat digunakan secara mandiri.



Hak Cipta :

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

User Experience Questionnaire (UEQ)

User Experience Questionnaire (UEQ) merupakan instrumen evaluasi yang dirancang untuk mengukur pengalaman pengguna terhadap produk interaktif secara cepat, efisien, dan komprehensif. Dikembangkan sejak tahun 2005 oleh Laugwitz, Held, dan Schrepp, instrumen ini bertujuan untuk menangkap kesan subjektif pengguna yang mencakup aspek kegunaan klasik (*usability*) maupun aspek emosional (*user experience*).

Berdasarkan pedoman konstruksi instrumen dalam buku panduan UEQ, kuesioner ini terdiri dari 26 butir pernyataan. Setiap pernyataan tersebut disusun menggunakan format diferensial semantik, di mana setiap pernyataan direpresentasikan oleh dua istilah yang memiliki makna berlawanan. Untuk mengurangi bias tendensi sentral, instrumen ini menggunakan skala tujuh tingkat. Penilaian pada kuesioner ini berskala dari -3 hingga +3, di mana angka -3 merepresentasikan jawaban paling negatif, angka 0 mewakili jawaban netral, dan +3 merepresentasikan jawaban paling positif.

Mengacu pada struktur skalanya, 26 item tersebut diklasifikasikan ke dalam 6 skala pengukuran, yaitu :

1. Daya tarik (*attractiveness*)

Mengukur kesan visual dan emosional pengguna secara keseluruhan, yaitu sejauh mana pengguna merasa suka dan tertarik terhadap produk tersebut. Skala ini merupakan dimensi valensi murni yang diukur melalui 6 pasangan item:

- menyusahkan / menyenangkan (Item 1)
- baik / buruk (Item 12)
- tidak disukai / menggembirakan (Item 14)
- tidak nyaman / nyaman (Item 16)
- atraktif / tidak atraktif (Item 24)
- ramah pengguna / tidak ramah pengguna (Item 25)

2. Kejelasan (*perspicuity*)



Hak Cipta :

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

Mengukur seberapa mudah antarmuka produk tersebut untuk dipahami, dipelajari, dan dioperasikan oleh pengguna sejak awal pemakaian. Skala ini diukur melalui 4 pasangan item:

- tak dapat dipahami / dapat dipahami (Item 2)
- mudah dipelajari / sulit dipelajari (Item 4)
- rumit / sederhana (Item 13)
- jelas / membingungkan (Item 21)

3. Efisiensi (*efficiency*)

Mengukur kelancaran pengguna dalam menyelesaikan suatu interaksi atau tugas tanpa harus membuang banyak waktu dan tenaga. Skala ini diukur melalui 4 pasangan item:

- cepat / lambat (Item 9)
- tidak efisien / efisien (Item 20)
- tidak praktis / praktis (Item 22)
- terorganisasi / berantakan (Item 23)

4. Ketepatan (*dependability*)

Mengukur sejauh mana sistem memberikan respons yang sesuai dengan ekspektasi, sehingga pengguna merasa aman dan memegang kendali penuh atas interaksinya. Skala ini diukur melalui 4 pasangan item:

- tak dapat diprediksi / dapat diprediksi (Item 8)
- menghalangi / mendukung (Item 11)
- aman / tidak aman (Item 17)
- memenuhi ekspektasi / tidak memenuhi ekspektasi (Item 19)

5. Stimulasi (*stimulation*)

Mengukur sejauh mana produk tersebut mampu memberikan pengalaman yang menyenangkan serta memotivasi pengguna untuk terus menggunakannya. Skala ini diukur melalui 4 pasangan item:

- bermanfaat / kurang bermanfaat (Item 5)
- membosankan / mengasyikkan (Item 6)
- tidak menarik / menarik (Item 7)
- memotivasi / tidak memotivasi (Item 18)

6. Kebaruan (*novelty*)



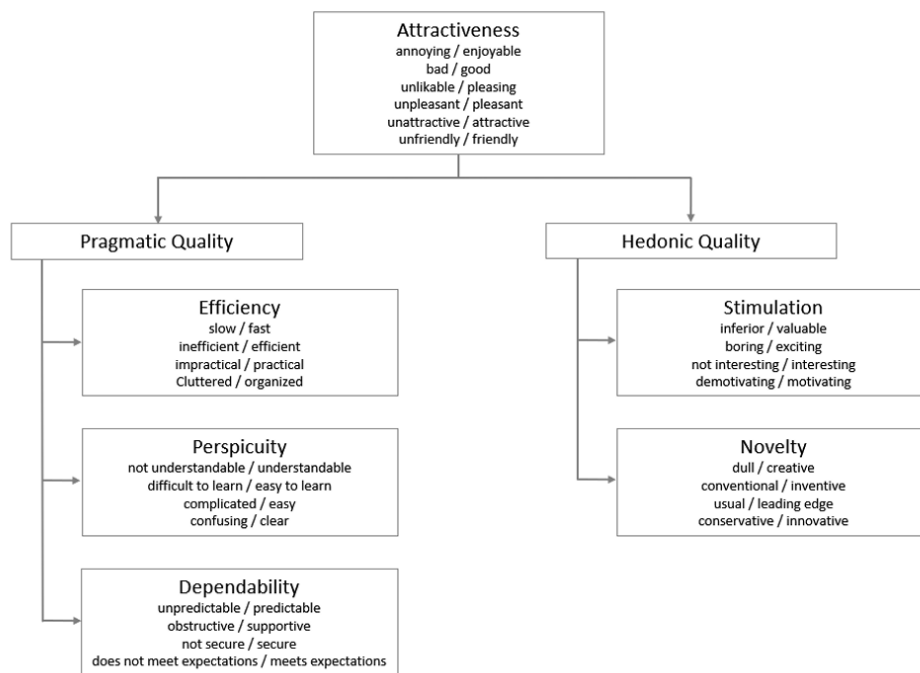
Hak Cipta :

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

Mengukur tingkat inovasi, kreativitas, dan kemampuan produk untuk menarik minat pengguna. Skala ini diukur melalui 4 pasangan item:

- kreatif / monoton (Item 3)
- berdaya cipta / konvensional (Item 10)
- lazim / terdepan (Item 15)
- konservatif / inovatif (Item 26)

Struktur keenam skala pengukuran UEQ tersebut tidak berdiri sendiri, melainkan saling berkaitan dan membentuk sebuah hierarki dimensi pengalaman pengguna. Hubungan antarskala ini diilustrasikan pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Struktur Skala UEQ (Schrepp, 2023)

Seperti yang ditunjukkan pada bagan di atas, Keenam skala tersebut kemudian dikategorikan lebih lanjut ke dalam tiga dimensi. Skala *attractiveness* (daya tarik) ditempatkan secara terpisah di puncak hierarki sebagai dimensi valensi murni. Dimensi ini mewakili kesan emosional secara menyeluruh yang dirasakan pengguna terhadap produk. Penilaian pada dimensi *attractiveness* ini dipengaruhi oleh dua aspek utama di bawahnya, yaitu:

1. Kualitas pragmatis (*pragmatic quality*)



Hak Cipta :

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

Dimensi ini berorientasi pada kemudahan teknis dan pencapaian tujuan pengguna (*goal-directed*) saat berinteraksi dengan produk. Aspek ini berfokus pada fungsionalitas dan kegunaan (*usability*) produk. Kualitas pragmatis dibentuk oleh tiga skala, yaitu kejelasan (*perspicuity*), efisiensi (*efficiency*), dan ketepatan (*dependability*).

2. Kualitas hedonis (*hedonic quality*)

Dimensi ini mewakili aspek emosional dan psikologis yang tidak berkaitan langsung dengan pencapaian tujuan fungsional. Aspek ini berfokus pada seberapa menyenangkan dan menariknya produk tersebut saat digunakan. Kualitas hedonis dibentuk oleh dua skala, yaitu *stimulation* (stimulasi) dan *novelty* (kebaruan).

Selain itu, dalam hal interpretasi data kuantitatif, *User Experience Questionnaire Handbook* memberikan standar baku untuk nilai rata-rata skala. Nilai rata-rata antara -0,8 hingga 0,8 direpresentasikan sebagai evaluasi netral pada skala tersebut. Nilai rata-rata yang lebih besar dari 0,8 ($> 0,8$) merepresentasikan evaluasi yang positif, sedangkan nilai yang lebih kecil dari -0,8 ($< -0,8$) merepresentasikan evaluasi yang negatif.

Buku panduan tersebut juga mencatat bahwa meskipun rentang skala matematis berada di antara -3 hingga +3, observasi nyata pada aplikasi di lapangan umumnya menunjukkan nilai dalam rentang yang lebih terbatas. Akibat tendensi jawaban partisipan seperti keengganan menggunakan kategori ekstrem sangat kecil kemungkinan untuk memperoleh nilai rata-rata observasi di atas +2 atau di bawah -2.

Setelah menganalisis nilai rata-rata, pengukuran dilanjutkan pada tingkat sebaran data. Mengacu pada buku panduan UEQ bagian interpretasi standar deviasi, nilai ini digunakan sebagai parameter untuk mengukur tingkat kesepakatan partisipan mengenai aspek kualitas *user experience* (UX) yang diukur oleh suatu skala. Nilai standar deviasi berbanding terbalik dengan tingkat kesepakatan. Semakin rendah nilai standar deviasi, maka semakin sepakat para partisipan dalam memberikan penilaiannya. Panduan tersebut memberikan rekomendasi ambang batas yang diturunkan dari analisis sampel studi UEQ



Hak Cipta :

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

dalam jumlah yang besar. Tiga ambang batas yang ditetapkan adalah kesepakatan tinggi (*high agreement*) jika standar deviasi skala di bawah 0,83, kesepakatan menengah (*medium agreement*) untuk rentang antara 0,83 hingga 1,01, dan kesepakatan rendah (*low agreement*) jika standar deviasi skala di atas 1,01.

Untuk mengevaluasi kualitas produk secara lebih komprehensif, standar UEQ menyediakan fitur perbandingan (*benchmark*) dengan produk lain di pasaran. Mengacu pada pedoman perbandingan UEQ, produk yang dievaluasi akan diklasifikasikan ke dalam lima kategori kualitas, yaitu:

1. Sangat baik (*excellent*) berada pada rentang 10% hasil terbaik.
2. Baik (*good*) berada pada rentang 10% hasil dalam kumpulan data lebih baik dan 75% lebih buruk.
3. Di atas rata-rata (*above average*) berada pada rentang 25% hasil lebih baik dan 50% hasil lebih buruk.
4. Di bawah rata-rata (*below average*) berada pada rentang 50% hasil lebih baik dan 25% hasil lebih buruk.
5. Buruk (*bad*) berada pada rentang 25% hasil terburuk.

2.14 Perancangan *User Interface* dan Orientasi Layar pada *Mobile AR*

Perancangan UI untuk aplikasi *augmented reality* (AR) di perangkat seluler memiliki tantangan unik karena aplikasi harus memadukan objek virtual dengan lingkungan fisik. Menurut Borsting dkk. (2022), perancangan antarmuka AR harus berpedoman pada pola desain yang memprioritaskan efisiensi interaksi, di mana dua prinsip utamanya adalah *reduce physical effort* (mengurangi kelelahan fisik) dan *reduce cognitive demand* (mengurangi beban kognitif). Karena pengguna harus memproses informasi dari dunia nyata dan objek virtual secara bersamaan, elemen UI tidak boleh menumpuk agar tidak membebani memori jangka pendek dan kapasitas kognitif pengguna saat berinteraksi.

Pemenuhan pola desain tersebut sangat berkaitan erat dengan penentuan orientasi layar. Penggunaan perangkat seluler untuk simulasi 3D dalam durasi panjang sangat rentan menyebabkan kelelahan pada lengan dan postur pengguna (*user fatigue*). Oleh karena itu, penerapan mode *portrait* dapat



Hak Cipta :

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

menjadi salah satu pendekatan yang efektif. Orientasi ini menawarkan ergonomi genggam yang relatif lebih natural, terutama untuk interaksi yang mengandalkan satu tangan. Melalui tata letak *portrait*, panel informasi dan kendali navigasi dapat dikelompokkan secara terpusat di bagian bawah layar. Hal ini secara signifikan mengurangi usaha fisik pengguna karena seluruh elemen utama berada dalam jangkauan ibu jari yang stabil.

Selain mendukung kenyamanan ergonomis, penetapan orientasi antarmuka juga berdampak pada stabilitas komputasi AR. Sistem AR mengandalkan matriks proyeksi kamera dan sensor spasial secara terus-menerus. Mengunci aplikasi pada satu orientasi dapat mencegah sistem melakukan kalkulasi ulang secara tiba-tiba akibat rotasi layar otomatis. Hal ini penting untuk meminimalisir risiko hilangnya pelacakan (*loss of tracking*) dan menjaga agar objek virtual tetap terproyeksi secara konsisten di dunia nyata.

2.15 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan teknologi imersif dalam dunia pendidikan telah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Untuk memetakan posisi penelitian ini serta menentukan keterbaruan (*novelty*) yang akan dikembangkan, dilakukan penelaahan terhadap beberapa literatur relevan yang berfokus pada penggunaan visualisasi tiga dimensi (3D) dan *augmented reality* (AR) di bidang pendidikan teknik maupun kejuruan. Ringkasan dari hasil penelaahan literatur tersebut disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Metode/Model Pengembangan	Hasil
Zamuri dkk. (2025)	<i>The Effectiveness of an AR Module in Enhancing Achievement and Interest in Learning</i>	Pendekatan metode campuran (<i>mixed-method</i>) dengan desain eksperimen semu	Terdapat peningkatan signifikan pada skor pasca-tes kelompok eksperimen dan korelasi positif yang kuat antara modul AR dengan minat



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

	<i>Mechanical Components</i>	(quasi-experimental).	belajar siswa. Modul AR terbukti efektif menampilkan model dari 20 komponen mekanis (seperti tuas, bantalan peluru, roda gigi miter, katrol, poros <i>cam</i> , sabuk, dll.) untuk diinteraksikan secara langsung.
Han dkk. (2022)	<i>Using Augmented Reality to Improve Learning Efficacy in a Mechanical Assembly Course</i>	Pendekatan eksperimental komparatif (uji kontrol acak) yang melibatkan 104 mahasiswa. Partisipan dibagi menjadi kelompok kontrol (menggunakan selebaran 2D) dan kelompok eksperimen yang menggunakan aplikasi AR.	Hasil menunjukkan bahwa instruksi dengan model dan animasi 3D berbasis AR secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa terhadap informasi ruang 3D yang kompleks, terbukti dari peningkatan kualitas dan kecepatan perakitan. Representasi visual 3D yang interaktif ini berkorelasi positif dengan peningkatan minat belajar, pencapaian akademik dan kepercayaan diri mahasiswa dibandingkan dengan instruksi 2D tradisional.
ShuHua Ye, Pintusorn	<i>The effectiveness of a 3D interactive learning</i>	Studi Eksperimental yang melibatkan	Hasil membuktikan bahwa objek dan lingkungan visual 3D berfungsi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Onpium, dan Fangli Ying (2024)	<i>environment as a mechanism for sharing and retaining knowledge</i>	200 siswa (usia 10-11 tahun) yang dibagi menjadi dua kelompok (kontrol vs. eksperimen (menggunakan teknologi imersif VR/AR)).	sebagai mekanisme efektif untuk meningkatkan retensi pengetahuan (<i>knowledge retention</i>). Representasi visual 3D terbukti lebih unggul dalam membantu siswa menyimpan informasi kompleks ke dalam memori jangka panjang dibandingkan media konvensional.
--------------------------------	---	---	---

Tinjauan terhadap beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi 3D dan *augmented reality* (AR) telah memberikan kontribusi positif yang signifikan dalam Pendidikan kejuruan dan teknik. Studi yang dilakukan oleh Zamuri dkk. (2025), Ye dkk. (2024) dan Han dkk. (2022) secara konsisten membuktikan bahwa lingkungan 3D interaktif dan media AR sangat efektif dalam meningkatkan minat belajar, memperkuat retensi memori jangka panjang, serta membantu pemahaman ke ruangan (spasial) siswa dalam mengenali hingga merakit komponen mekanika.

Melalui pemetaan literatur tersebut, ditemukan sebuah celah penelitian (*research gap*) di mana mayoritas penelitian terdahulu masih memiliki batasan, yakni hanya menggunakan teknologi AR untuk visualisasi objek mekanis fisik dan panduan perakitan spasial yang cenderung statis. Belum ada eksplorasi mendalam terkait penggunaan AR untuk memvisualisasikan sistem kerja yang tidak kasat mata, padahal materi yang bersifat abstrak sering kali menjadi hambatan pemahaman terbesar bagi siswa. Berangkat dari celah penelitian tersebut, kuterbarukan (*novelty*) pada penelitian ini terletak pada pemanfaatan model 3D interaktif berbasis AR untuk memvisualisasikan alur sistem abstrak yang ada di dalam mesin kendaraan. Alih - alih hanya menampilkan bentuk fisik komponen, representasi 3D dalam penelitian ini dirancang untuk menyimulasikan aliran bahan bakar, dan logika *input* – proses – *output* pada ECU secara dinamis. Selain itu, model 3D ini diintegrasikan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

dengan simulasi operasional berbasis *event-driven*, memungkinkan siswa untuk melihat interaksi antarkomponen 3D secara *real-time* berdasarkan berbagai skenario kondisi mesin sistem EFI.



Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

BAB III METODE PENELITIAN

1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian gabungan (kualitatif dan kuantitatif) melalui metode *Research and Development* (R&D). Pendekatan kualitatif difokuskan pada tahap analisis kebutuhan melalui wawancara dan observasi, sementara pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur validitas ahli serta respons pengguna melalui instrumen kuesioner berskala Likert dan *User Experience Questionnaire* (UEQ). Jenis penelitian R&D ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji kelayakan sebuah produk multimedia interaktif melalui perancangan dan implementasi sistem. Metode pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Villamil-Molina. Pemilihan metode ini didasarkan pada kesesuaiannya dengan alur kerja (*pipeline*) produksi lingkungan virtual 3D dan *augmented reality* (AR), yang menitikberatkan pada proses pemrograman logika interaksi dan pembuatan aset visual.

3.2 Tahapan Penelitian

Alur penelitian dirancang melalui lima tahapan utama sebagai berikut:

3.2.1 Tahap Pengembangan (*Development* / Analisis Kebutuhan)

Tahap ini berfokus pada analisis untuk menentukan spesifikasi dasar dari fitur simulasi sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) yang akan dibangun. Analisis kebutuhan dibagi menjadi tiga bagian:

a. Kebutuhan pengguna (*user requirement*)

Berdasarkan hasil wawancara dengan guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor dan survei terhadap 58 siswa kelas XI TSM di SMK Negeri 1 Bumijawa, pengguna membutuhkan alat bantu visualisasi mandiri untuk memahami materi kelistrikan mesin yang bersifat abstrak. Kebutuhan ini juga diselaraskan dengan target kompetensi dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP), khususnya pada bagian 3.6.4



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 Politeknik Negeri Jakarta

mengenai cara kerja injeksi pada motor. Aplikasi harus mampu menyajikan representasi 3D dari komponen utama sistem EFI, sekaligus memvisualisasikan cara kerja sistem EFI yang bersifat abstrak. Hal ini memungkinkan siswa untuk mengamati alur kerja sistem secara langsung tanpa selalu bergantung pada ketersediaan unit motor fisik di bengkel.

b. Kebutuhan fungsional (*functional requirement*)

Agar dapat menjawab kebutuhan pengguna, modul simulasi ini dirancang dengan batasan kebutuhan fungsional sebagai berikut:

1. Sistem memiliki antarmuka interaktif yang memungkinkan pengguna memberikan *input*, seperti mengatur tingkat bukaan gas.
2. Sistem mampu memvisualisasikan cara kerja sistem EFI dan pergerakan mekanis dari tahapan Sensor, *Engine Control Unit* (ECU), hingga aktuator.
3. Sistem mengunci orientasi antarmuka pada mode *portrait* untuk mencegah kalkulasi ulang matriks proyeksi kamera secara tiba-tiba, sehingga stabilitas pelacakan tetap terjaga.
4. Sistem menempatkan elemen kontrol utama (seperti *slider* pengatur tingkat bukaan gas) di bagian bawah layar, menyesuaikan ergonomi genggam satu tangan pada mode *portrait* untuk meminimalkan kelelahan fisik pengguna.
5. Sistem dibangun sebagai modul visualisasi 3D interaktif yang terisolasi secara arsitektur menggunakan pola Model-View-ViewModel (MVVM). Pendekatan ini memastikan modul memiliki kompatibilitas tinggi untuk diimplementasikan ke dalam ekosistem *augmented reality* (AR) utama secara *plug-and-play*, tanpa mengharuskan modul simulasi ini menangani komputasi pelacakan spasial AR secara mandiri.

c. Kebutuhan perangkat (*hardware & software requirement*)

Untuk menjamin kelancaran tahapan perancangan, implementasi, hingga eksekusi aplikasi saat dijalankan, diperlukan spesifikasi teknis perangkat



Hak Cipta :

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

yang memadai. Kebutuhan perangkat ini diklasifikasikan ke dalam dua bagian utama, yaitu kebutuhan lingkungan pengembangan dan kebutuhan perangkat target pengguna dengan perincian sebagai berikut:

1. Kebutuhan perangkat pengembangan

Untuk mendukung proses perancangan dan implementasi sistem, dibutuhkan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak pengembang sebagai berikut:

a) Perangkat keras pengembang

- 1) Sistem Operasi: Windows 10 / Windows 11 (64-bit).
- 2) Prosesor (CPU): Intel Core i5 atau AMD Ryzen 5 (atau generasi yang setara) untuk menjaga kelancaran saat kompilasi skrip C#.
- 3) Memori (RAM): Minimal 8 GB agar proses *multitasking* antara Blender dan Unity berjalan stabil.
- 4) Kartu Grafis (GPU): *Integrated GPU* generasi modern (seperti AMD Radeon Graphics) atau *Dedicated GPU entry-level* dengan VRAM minimal 2 GB (misalnya seri NVIDIA GeForce MX atau GTX 1050)
- 5) Penyimpanan (*Storage*): SSD (*Solid State Drive*) dengan kapasitas minimal 512 GB untuk mempercepat proses *build time* aplikasi.

b) Perangkat lunak pengembang

- 1) Blender: digunakan untuk proses pemodelan aset 3D *low-poly* dan pemetaan koordinat tekstur (*UV unwrapping*).
- 2) Unity Engine: digunakan sebagai *game engine* utama untuk perakitan antarmuka pengguna (UI), pengaturan material *shader*, dan penulisan skrip logika interaksi.
- 3) Visual Studio: digunakan untuk penulisan dan penyuntingan kode program C#



Hak Cipta :

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

2. Kebutuhan perangkat target pengguna

Aplikasi yang dihasilkan dirancang untuk dapat dijalankan pada lingkungan perangkat pengguna dengan spesifikasi minimum sebagai berikut:

a. Perangkat keras pengguna

Perangkat *smartphone* berbasis sistem operasi Android dan memiliki modul kamera belakang yang berfungsi dengan baik sebagai sensor penangkap lingkungan nyata.

b. Kapasitas penyimpanan

Memiliki ruang penyimpanan internal kosong minimal sebesar 200 MB untuk proses instalasi dan penyimpanan data *cache* aplikasi

3.2.2 Tahap Praproduksi (*Pre-Production*)

Tahap praproduksi difokuskan pada perancangan teknis dan cetak biru (*blueprint*) dari aplikasi sebelum tahap produksi dieksekusi. Tahapan ini dibagi menjadi tiga bagian perancangan :

a. Perancangan spesifikasi aset 3D

Langkah pertama dalam perancangan adalah menentukan spesifikasi aset visual yang akan dimodelkan. Pemodelan difokuskan pada komponen-komponen utama penyusun sistem yang menjadi target simulasi. Detail spesifikasi aset 3D yang akan dibuat diuraikan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Tabel Komponen Sistem EFI

Kelompok Komponen	Nama Komponen	Deskripsi
Komponen Utama	ECU (<i>Electronic Control Unit</i>)	Sistem utama yang mengatur kontrol sensor - sensor



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Sensor (Input)	TPS (<i>Throttle Position Sensor</i>)	Terletak pada <i>throttle body</i> , berfungsi untuk mendeteksi bukaan katup gas.
	EOT (<i>Engine Oil Temperature</i>)	Sensor suhu mesin (<i>oil/coolant</i>) pada blok silinder.
	CKP (<i>Crankshaft Position</i>)	Berada di dekat magnet/poros engkol untuk membaca RPM.
	O2 (<i>Oxygen</i>)	Terpasang pada leher knalpot untuk membaca sisa pembakaran.
Aktuator (Output)	Injektor	Terpasang pada <i>intake</i> , menyemprotkan kabut bensin.
	<i>Ignition Coil & Busi</i>	Komponen listrik yang menghasilkan percikan api.
	ISC (<i>Idle Speed Control</i>)	Katup pengatur udara cadangan untuk kondisi <i>idle/cold</i> start.
	<i>Fuel Pump</i>	Pompa bensin digunakan untuk mengirim bahan bakar dari tangki ke injektor berdasarkan perintah dari ECU. Terletak di sekitar tangki bahan bakar.
Komponen Pendukung	Piston	Komponen utama yang bergerak naik-turun (animasi utama).
	<i>Connecting Rod</i>	Penghubung piston ke poros engkol.
	Poros Engkol (<i>Crankshaft</i>)	Pusat putaran mesin yang dibaca oleh sensor CKP.
	<i>Klep In & Klep Ex (Valves)</i>	Pintu masuk udara dan keluar gas buang.

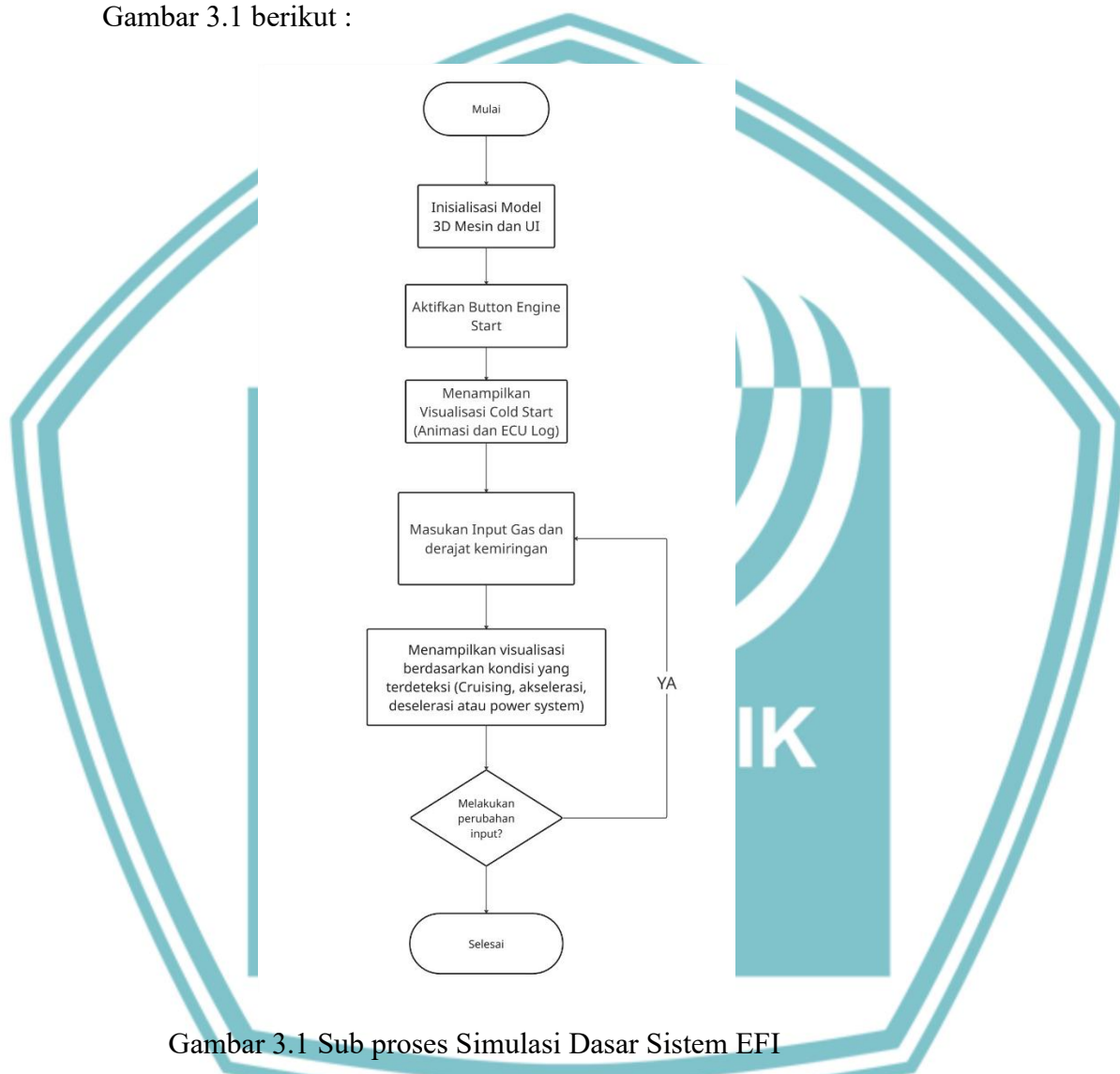


Hak Cipta :

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

b. Perancangan alur logika sistem (*flowchart*)

Setelah aset visual ditentukan, tahap selanjutnya adalah merancang alur logika operasional dan interaksi pengguna di dalam *game engine*. Alur mode simulasi secara singkat digambarkan melalui *flowchart* pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Sub proses Simulasi Dasar Sistem EFI

Berdasarkan *flowchart* pada Gambar 3.1 diatas, alur logika fitur simulasi beroperasi menggunakan prinsip *finite state machine* (FSM) yang terus membaca dan merespons masukan pengguna. Berikut adalah penjelasan tahapan operasional pada *flowchart* tersebut:

a. Inisialisasi dan *cold start*



Hak Cipta :

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

Alur dimulai ketika sistem memuat aset 3D dan antarmuka pengguna (UI). Saat siswa menekan tombol *engine start*, sistem secara otomatis mengeksekusi skenario *cold start*. Pada kondisi awal ini, visualisasi akan memperlihatkan jarum RPM melonjak secara otomatis (*fast idle*) dan panel ECU *live log* mencetak status *warm up enrichment* guna menyimulasikan pemanasan mesin, meskipun pengguna belum memberikan masukan (*input*) apa pun.

b. Pembacaan masukan pengguna

Setelah mesin menyala, sistem masuk ke dalam siaga. Pada tahap ini, sistem secara terus-menerus membaca variabel masukan yang diberikan oleh pengguna melalui interaksi UI, yaitu perubahan pada *slider throttle* dan *slider kemiringan*.

c. Pemrosesan logika keputusan

Berdasarkan kombinasi nilai *slider* yang diterima, sistem akan melewati gerbang logika untuk menentukan skenario operasional mana yang harus dieksekusi:

- Akselerasi: Jika sistem mendeteksi *slider throttle* dinaikkan secara cepat (mendadak), logika beralih ke mode akselerasi.
- Cruising: Jika *slider throttle* ditahan stabil pada posisi menengah (misalnya 30-40%), logika beralih ke mode *closed loop* (berkendara konstan atau efisien).
- Deselerasi: Jika *slider throttle* dikembalikan ke posisi 0% secara tiba-tiba saat nilai RPM masih tinggi, logika beralih ke mode deselerasi yang memicu fitur *fuel cut-off*.
- Power System: Jika sistem membaca nilai *slider kemiringan* pada angka tinggi ($>15^\circ$) yang disertai bukaan *slider throttle* yang lebar, logika akan mengalkulasikan adanya beban berat (tanjakan) dan beralih ke mode *power enrichment*.

d. Pembaruan visual dan eksekusi ECU *live log*



Hak Cipta :

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

Setelah kondisi logika terpenuhi, sistem mengeksekusi keluaran (*output*) melalui tiga tindakan simultan:

- Mengubah animasi pergerakan komponen secara *real-time*, seperti tingkat putaran jarum RPM, hingga perubahan durasi semprotan injektor.
 - Memunculkan panel antarmuka (*UI pop-up*) yang melayang tepat di dekat model 3D komponen yang sedang aktif. Indikator ini muncul secara berurutan (*Input – Process - Output*) untuk merepresentasikan urutan kejadian, sehingga siswa dapat melihat secara presisi sensor, ECU, atau aktuator mana yang sedang saling berinteraksi di dalam ruang 3D.
 - Sistem mencetak baris teks baru pada panel ECU *live log* di layar. Teks ini diformat secara terstruktur (memuat variabel [STATUS], [SENSOR], dan [LOGIC]) untuk memvisualisasikan bagaimana ECU mengolah data *input* menjadi perintah mekanis. Fitur transparansi data ini menjadi solusi utama agar siswa dapat memahami alur komputasi EFI yang bersifat abstrak.
- e. Penghentian simulasi
- Sistem akan terus mengulang siklus pembacaan masukan dan pembaruan visual ini hingga pengguna menekan tombol *engine stop*, yang akan mematikan sistem dan mengakhiri alur *flowchart*.

c. Perancangan UI

Tahap perancangan antarmuka pengguna pada fase praproduksi berfokus pada penyusunan konsep dasar, tata letak, dan alur navigasi sebelum aset visual diproduksi dan diintegrasikan ke dalam sistem. Tahapan ini bertujuan untuk merancang struktur interaksi yang ergonomis dan efisien untuk kebutuhan simulasi. Proses perancangan UI pada tahap ini meliputi dua langkah utama, yaitu:

- a. Identifikasi kebutuhan fungsional antarmuka



Hak Cipta :

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

Tahap awal meliputi analisis elemen-elemen informasi dan kontrol yang dibutuhkan pengguna saat berinteraksi dengan aplikasi. Kebutuhan ini mencakup perencanaan tata letak tombol navigasi, penentuan orientasi layar, struktur penyajian panel informasi untuk komponen mesin *Electronic Fuel Injection* (EFI), serta bagaimana panduan interaktif akan ditampilkan pada layar tanpa menghalangi area pandang utama simulasi.

b. Pembuatan kerangka dasar (*wireframe*)

Berdasarkan identifikasi kebutuhan, proses dilanjutkan dengan penyusunan *wireframe*. *Wireframe* merupakan representasi visual tingkat rendah (*low-fidelity*) yang bertindak sebagai cetak biru kerangka antarmuka. Pada tahap ini, tata letak setiap halaman, posisi menu, dan konsep pengelompokan informasi dipetakan secara kasar dan terstruktur. Pembuatan *wireframe* ini berfungsi untuk memvalidasi alur interaksi dan hierarki visual pengguna sebelum perancangan beralih ke tahap produksi desain aset (*high-fidelity*) dan penulisan sistem program.

3.2.3 Tahap Produksi (*Production*)

Tahap produksi merupakan fase eksekusi teknis dalam pengembangan fitur simulasi. Tahap ini terdiri dari dua proses utama, yaitu *prototyping* dan pengembangan akhir.

3.2.1 *Prototyping*

Tahap *prototyping* dilakukan untuk membangun fondasi awal aplikasi dan menguji fungsionalitas dasar dari sistem yang dikembangkan. Proses ini berfokus pada dua aspek utama, yaitu penyusunan visual objek dan penyusunan logika mekanis dengan perincian sebagai berikut:

a) Pembuatan aset 3D

Proses pemodelan komponen fisik mesin EFI menggunakan teknik *low-poly* di Blender guna menjaga efisiensi kinerja render pada 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

b) Pengembangan sistem interaksi

Tahap ini mencakup integrasi seluruh aset 3D ke dalam *workspace* Unity. Selanjutnya, skrip pemrograman disusun dengan menerapkan algoritma pola desain *State Pattern* agar sistem simulasi dapat merespons setiap instruksi pengguna secara dinamis dan terstruktur.

3.2.2 Pengembangan Akhir

a) Optimasi *high fidelity* model

Aset 3D *high-fidelity* yang diperoleh dari 3D artist tidak dapat langsung diintegrasikan ke dalam *game engine*. Hal ini dikarenakan model tersebut masih memiliki tingkat kerapatan poligon (*polygon count*) yang sangat tinggi untuk mengejar detail visual mesin. Oleh karena itu, diperlukan proses optimasi untuk mengurangi jumlah poligon pada area yang tidak diperlukan, di mana detail permukaan akan digantikan menggunakan *texture* atau *normal map*.

b) *Texturing* aset 3D

Implementasi *texturing* dimulai dari tahap pra-pemrosesan. Pada tahap awal, model 3D dipersiapkan dengan mendefinisikan pembagian material (*material definition*) secara spesifik pada *mesh*. Model yang telah memiliki identitas material tersebut kemudian diimpor ke dalam Substance 3D Painter. Untuk menjaga efisiensi produksi, proses inisialisasi proyek memanfaatkan fitur *Auto Unwrap / Auto Seams* untuk menghasilkan pemetaan UV (*UV mapping*) secara otomatis. Proyek kemudian diatur menggunakan templat PBR *Metallic Roughness*. Melalui templat ini, material yang sebelumnya didefinisikan akan terdaftar otomatis pada *texture set list*. Setelah material disesuaikan menggunakan *texturing tools*, tahap akhir adalah melakukan ekspor tekstur. Peta tekstur yang dihasilkan akan langsung dikonfigurasi secara spesifik oleh templat PBR sehingga siap untuk diintegrasikan ke dalam *material shader* pada *game 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

c) Pengembangan UI

Pengembangan UI dimulai dari pembuatan aset menggunakan Adobe Illustrator sesuai dengan *art style* aplikasi, kemudian *file* diekspor dalam format gambar dengan latar belakang transparan. Selanjutnya integrasi sistem UI di dalam Unity dibangun menggunakan UI Toolkit dan penambahan skrip kelas sesuai dengan desain arsitektur Model-View-ViewModel (MVVM). Melalui pola MVVM, terjadi pemisahan yang jelas (*decoupling*) antara logika bisnis simulasi dengan presentasi visualnya, di mana proses pembaruan data (*data binding*) antara komponen internal dan elemen layar dapat berjalan secara otomatis dan efisien.

3.2.3 Pengintegrasian dengan sistem utama

Modul simulasi yang telah selesai kemudian diintegrasikan ke dalam repositori proyek utama menggunakan *Version Control System* (GitHub). Kolaborasi dengan *programmer* utama dilakukan untuk menggabungkan modul ini ke dalam ekosistem aplikasi *augmented reality* (AR) utuh, yang kemudian di-*build* menjadi prototipe format aplikasi (APK) untuk persiapan pengujian.

3.2.3 Tahap Pascaproduksi (*Post-Production*)

Fase ini merupakan tahapan evaluasi fungsionalitas dan pengujian kualitas produk sebelum dirilis. Seluruh proses pengujian diletakkan pada fase ini agar perbaikan dapat segera dilakukan jika ditemukan kekurangan. Tahapan pengujian meliputi:

1. Pengujian internal (*alpha testing*) : Dilakukan secara mandiri untuk mendeteksi dan memperbaiki *bug* pada pemrograman dan memastikan aplikasi berjalan dengan baik sebelum diuji oleh pihak luar.
2. Uji validasi ahli : Pengujian kelayakan teknis dan teoretis oleh ahli materi dan ahli media untuk memastikan simulasi telah memenuhi standar akurasi otomotif dan rekayasa perangkat lunak.



Hak Cipta :

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

3. Uji kepraktisan (*beta testing*): Setelah dinyatakan valid oleh ahli, simulasi diuji coba kan langsung kepada target pengguna akhir (siswa kelas XI) untuk mengukur tingkat kemudahan operasional (*usability*) dan kenyamanan pengalaman pengguna (*user experience*).

3.2.4 Tahap Penyerahan (*Delivery*)

Tahap ini merupakan fase akhir dari siklus pengembangan. Penyerahan diberikan dalam bentuk modul pemrograman yang di *commit* ke dalam repositori github aplikasi. Setelah penggabungan selesai, sistem ini menjadi sebuah aplikasi pembelajaran *EFI* berbasis *augmented reality* yang kemudian diserahkan secara resmi kepada guru pengampu mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor dan siswa TSM di SMK Negeri 1 Bumijawa.

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian ini berfokus pada pengembangan perangkat lunak, yakni modul simulasi sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) berbasis lingkungan virtual 3D yang dirancang agar kompatibel dengan ekosistem *augmented reality* (AR). Adapun subjek pengujian yang menjadi sasaran untuk mengukur kepraktisan aplikasi (*usability*) dan pengalaman pengguna (*user experience*) adalah siswa kelas XI Teknik Sepeda Motor (TSM) di SMK Negeri 1 Bumijawa.

3.4 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat empiris dan teoritis, yang dikumpulkan melalui dua sumber utama untuk mendukung proses perancangan hingga pengujian produk:

a. Data Primer

Data primer merupakan data empiris yang diperoleh langsung dari subjek penelitian di lapangan. Dalam penelitian pengembangan ini, data primer terbagi menjadi tiga kelompok perolehan:

- 1) Data analisis kebutuhan diperoleh melalui wawancara mendalam dengan guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor serta penyebaran kuesioner prapenelitian kepada 58 siswa kelas XI TSM di SMK Negeri 1 Bumijawa untuk memetakan masalah abstraksi materi.



Hak Cipta :

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

- 2) Data validasi kelayakan diperoleh dari penilaian (*expert judgment*) berupa skor kuesioner berskala Likert dan umpan balik kualitatif dari ahli materi (guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor) dan ahli media (pakar industri virtual *specialist*) pada tahap *post-production*.
- 3) Data respons pengguna diperoleh dari skor kuesioner *User Experience Questionnaire (UEQ)* yang diisi oleh siswa setelah mereka melakukan uji coba langsung terhadap fitur simulasi AR EFI.

b. Data sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari studi literatur dan dokumentasi teknis sebagai landasan teoretis perancangan simulasi. Sumber data sekunder dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Buku Pedoman Reparasi (BPR) resmi sepeda motor injeksi, buku paket pembelajaran siswa dan literatur teknis dari buku Sistem Bahan Bakar Injeksi (EFI) Sepeda Motor Dasar karya Edi Rohendi, yang digunakan sebagai pedoman utama pembuatan konten pemodelan 3D dan algoritma kondisi mesin.
- 2) Literatur akademik pada jurnal-jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang mengkaji efektivitas *augmented reality*, metode Villamil-Molina, dan pengembangan media interaktif.
- 3) Dokumentasi resmi dari Unity Technologies yang digunakan sebagai pedoman penulisan sintak C# dan optimalisasi *rendering* AR.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data empiris yang akurat dan terukur dalam perancangan serta pengujian fitur simulasi AR EFI, penelitian ini menggunakan empat teknik pengumpulan data, yaitu:

1. Wawancara

Wawancara dilakukan melalui diskusi mendalam dengan narasumber, yaitu guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor, untuk menggali permasalahan yang dihadapi dalam proses pengajaran. khususnya kesulitan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 Politeknik Negeri Jakarta

guru dalam menjelaskan alur kerja sistem EFI yang bersifat abstrak, serta menentukan solusi media interaktif yang sesuai dengan kebutuhan pengajaran di kelas.

2. Kuesioner

Pengumpulan data melalui kuesioner dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap awal, kuesioner disebar untuk menggali permasalahan belajar dari sudut pandang siswa. Tahap kedua adalah tahap pengujian, di mana kuesioner digunakan untuk mengukur dua hal, yaitu tingkat kelayakan produk oleh pakar (ahli materi dan ahli media) dan tingkat kepraktisan produk berdasarkan persepsi pengguna akhir (siswa) setelah mengoperasikan modul simulasi AR.

3. Observasi

dilakukan untuk mengumpulkan data teknis dan referensi visual yang diperlukan seperti mengambil foto komponen dari berbagai sudut pandang (atas, bawah, samping, depan dan belakang) sebagai referensi dalam proses pemodelan 3D di perangkat lunak Blender.

4. Studi literatur dan dokumentasi

Teknik ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis literatur yang relevan. Pengumpulan data mencakup pembacaan Buku Pedoman Reparasi (BPR), buku paket pembelajaran siswa tentang sistem injeksi dan literatur otomotif lainnya untuk menyusun logika kondisi operasional mesin, sementara perumusan arsitektur sistem dan algoritma C# didasarkan pada panduan dokumentasi resmi pengembang (Unity).

3.6 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan statistik deskriptif kuantitatif. Analisis data dilakukan untuk mengolah hasil instrumen kuesioner berskala Likert yang diperoleh pada tahap pascaproduksi (*Post-production*) berdasarkan kerangka Villamil-Molina. Proses analisis data dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu analisis kevalidan produk dan analisis kepraktisan produk.

a) Analisis validasi ahli



Hak Cipta :

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

Tahap ini melibatkan ahli materi dan ahli media untuk menguji kelayakan teknis aplikasi. Pengujian difokuskan pada evaluasi teknis aset 3D serta evaluasi akurasi logika interaksi simulasi (*Finite State Machine* sistem EFI).

Untuk mengonversi hasil evaluasi dan persepsi dari kedua tahap pengujian di atas menjadi data kuantitatif yang terukur, instrumen penelitian dinilai menggunakan pedoman skala Likert. Bobot skor yang diberikan adalah sebagai berikut:

- Sangat tidak setuju : Skor 1
- Kurang setuju : Skor 2
- Cukup : Skor 3
- Setuju : Skor 4
- Sangat setuju : Skor 5

Adapun prosedur pengolahan data mentah dari kuesioner tersebut dihitung menggunakan rumus persentase kelayakan secara deskriptif kuantitatif. Langkah pertama adalah mencari total skor yang dikumpulkan dari seluruh responden, dengan pedoman rumus:

$$\text{Total skor} = \text{Jumlah responden} \times \text{Nilai skala}$$

Selanjutnya, ditentukan nilai skor maksimal ideal apabila seluruh responden diasumsikan memilih nilai tertinggi (5) :

$$\text{Skor maksimal} = \text{Jumlah responden} \times \text{Jumlah pertanyaan} \times 5$$

Setelah total skor dan nilai maksimal diketahui, persentase kualitas produk dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persentase} = (\text{Total skor} / \text{Skor maksimal}) \times 100\%$$

Hasil persentase yang diperoleh kemudian dideskripsikan ke dalam interval kategori kualitas produk. Kategori ini dibedakan antara penilaian validitas oleh ahli dan kepraktisan oleh pengguna, dengan rentang interval sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kriteria Validitas dan Kepraktisan

Interval Persentase	Kategori Validitas	Kategori Kepraktisan
85% - 100%	Sangat Valid / Sangat Layak	Sangat Praktis
61% - 80%	Valid / Layak	Praktis
41% - 60%	Cukup Valid	Cukup Praktis
21% - 40%	Kurang Valid / Kurang Layak	Kurang Praktis
0% - 20%	Tidak Valid / Tidak Layak	Tidak Praktis

Sumber : Riduwan (2012)

Melalui teknik analisis ini, validasi terhadap fitur simulasi 3D sistem EFI ini dapat disimpulkan secara terukur, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis.

b) Analisis pengalaman pengguna

Tahap ini bertujuan untuk mengukur tingkat pengalaman penggunaan fitur oleh siswa kelas XI TSM sebagai pengguna akhir. Pengujian difokuskan pada kemudahan interaksi antarmuka pengguna dan kejelasan visualisasi saat simulasi 3D digunakan secara mandiri. Instrumen yang digunakan pada tahap ini adalah *User Experience Questionnaire* (UEQ). Berbeda dengan validasi ahli, instrumen UEQ menggunakan skala diferensial semantik tujuh poin. Data mentah yang diperoleh dari responden tidak dihitung menggunakan persentase, melainkan diolah secara otomatis menggunakan *UEQ Data Analysis Tool*. Prosedur analisis data UEQ meliputi:

1. Transformasi data: Skala 1 hingga 7 yang diisi oleh responden dikonversi menjadi rentang nilai -3 (sangat negatif) hingga +3 (sangat positif).
2. Melakukan eliminasi pada data yang menunjukkan jawaban yang tidak konsisten menggunakan *UEQ analysis tool*.



Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

3. Perhitungan rata-rata (*mean*): Menghitung nilai rata-rata dari keenam dimensi UEQ (Daya Tarik, Kejelasan, Efisiensi, Ketepatan, Stimulasi, dan Kebaruan). Berdasarkan pedoman interpretasi UEQ, nilai *mean* lebih dari 0,8 mengindikasikan evaluasi positif, rentang -0,8 hingga 0,8 mengindikasikan evaluasi netral, dan kurang dari -0,8 mengindikasikan evaluasi negatif.
4. Evaluasi tingkat kesepakatan (*standard deviation*): Menganalisis nilai standar deviasi dari rata-rata skala sebagai ukuran tingkat kesepakatan partisipan. Berdasarkan standar UEQ, tingkat kesepakatan diklasifikasikan ke dalam tiga ambang batas: kesepakatan tinggi untuk standar deviasi $< 0,83$, kesepakatan menengah untuk rentang 0,83 hingga 1,01, dan kesepakatan rendah untuk nilai lebih dari 1,01.
5. Pembandingan (*benchmarking*): Membandingkan hasil rata-rata produk dengan kumpulan data acuan (*benchmark*) UEQ untuk mengklasifikasikan kualitas pengalaman pengguna ke dalam lima kategori yaitu *excellent* (sangat baik), *good* (baik), *above average* (di atas rata-rata), *below average* (di bawah rata-rata), atau *bad* (buruk).

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

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

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Tahapan awal dari proses pengembangan fitur simulasi 3D dan aset komponen ini dimulai dengan melakukan analisis kebutuhan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kendala utama siswa dalam mencapai target kompetensi yang tertuang dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP), khususnya pada indikator 3.6.4 mengenai cara kerja injeksi pada motor. Berdasarkan hasil wawancara dengan guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor di SMK Negeri 1 Bumijawa, kendala terbesar siswa terletak pada materi sistem kelistrikan motor modern, khususnya cara kerja injeksi motor. Materi ini sangat abstrak karena proses kelistrikan tidak terlihat secara kasat mata dan posisi komponennya tertutup oleh fisik mesin. Siswa kesulitan membayangkan bagaimana pola *input-proses-output* terjadi, mulai dari sensor mendeteksi kondisi motor, pengiriman sinyal ke ECU, hingga ECU memberikan perintah kepada aktuator seperti penyemprot bahan bakar.

Kondisi ini divalidasi oleh hasil kuesioner terhadap 58 siswa, di mana mayoritas merasa kesulitan memahami cara kerja sistem EFI hanya melalui penjelasan lisan atau buku. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah simulasi interaktif yang secara khusus dapat memvisualisasikan bagaimana sistem EFI bekerja. Dengan fitur simulasi ini, siswa diharapkan dapat lebih mudah memahami sistem EFI melalui interaksi 3D dan pengamatan secara langsung bagaimana EFI merespons sebagai *input*.

Tabel 4.1 Spesifikasi Fitur Simulasi Interaktif 3D Sistem EFI

Nama Fitur	Simulasi Interaktif 3D Sistem EFI
Tujuan Fitur	Menyimulasikan aliran kerja kelistrikan dari Sensor ke ECU hingga aktuator secara visual untuk mengonkretkan materi yang abstrak.
Target Pengguna	Siswa jurusan Teknik Sepeda Motor di SMK Negeri 1 Bumijawa.



Hak Cipta :

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

Konten	Simulasi dinamis sistem EFI (<i>input – proses – output</i>) yang direpresentasikan secara visual melalui animasi komponen 3D dan <i>dashboard</i> indikator
Output	Modul simulasi yang siap diintegrasikan ke dalam sistem AR utama
Kebutuhan Software	1. Blender (untuk pemodelan komponen EFI dan animasi mesin) 2. Unity (untuk merancang interaksi dan logika simulasi)

4.2 Perancangan Spesifikasi Aset Visual dan Sistem Simulasi

Perancangan terjadi pada fase Development dan *pre-production* berdasarkan kerangka kerja Villamil-Molina. Fase ini meliputi penetapan standar teknis aset 3D dan perancangan sistem logika fitur simulasi.

4.2.1 Perancangan spesifikasi teknis aset 3D

Pada tahap ini, dirumuskan standar kebutuhan dan spesifikasi teknis untuk komponen-komponen visual sistem Electronic Fuel Injection (EFI). Mengingat aset mentah yang digunakan memiliki resolusi poligon yang sangat tinggi, alur kerja pada tahap ini difokuskan pada perancangan optimasi geometri (*retopology*) menjadi aset *game-ready* menggunakan perangkat lunak Blender. Pendekatan optimasi ini diimplementasikan agar ukuran *file* akhir aplikasi tetap efisien dan komputasi *rendering* berjalan stabil saat disimulasikan..

a. Batasan teknis aset 3D

Batasan teknis diperlukan untuk menjaga dan memastikan setiap model sesuai standar optimasi yang sudah ditentukan. Batasan teknis meliputi :

- 1) Batas poligon (*polycount limit*)



Hak Cipta :

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

Berdasarkan pedoman optimasi dari Arm Mali GPU *Best Practices*, batas maksimal penggunaan geometri yang disarankan untuk proses *rendering* pada layar resolusi 1080p adalah 250.000 primitif atau *triangles*. Karena aplikasi ini berjalan di lingkungan *augmented reality* (AR) yang juga membebani kinerja perangkat, maka ditetapkan alokasi target poligon maksimal sebesar 100.000 *tris* untuk keseluruhan *scene* sistem EFI guna menjamin stabilitas performa (FPS).

- 2) Resolusi tekstur maksimal adalah 1024 x 1024 piksel untuk menjaga efisiensi memori pada perangkat *mobile*
- 3) Material menggunakan *standard shader* dengan 4 tekstur dasar seperti *albedo*, *metallic*, *normal map*, dan *height map*.

b. Spesifikasi komponen EFI

Sebagai acuan utama dalam tahap produksi aset 3D, seluruh komponen sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) didokumentasikan berdasarkan spesifikasi teknis dan target optimasinya. Tabel 4.2 menguraikan detail spesifikasi untuk setiap komponen yang didasarkan pada referensi visual aktual.

Tabel 4. 2 Referensi Komponen EFI pada Honda Beat FI

Nama Aset	Referensi Visual	Target Optimasi dan Tekstur
Injektor		Target geometri : 5000 <i>tris</i> Spesifikasi material dan tekstur : Resolusi: 1024 x 1024 piksel Shader: PBR <i>Standard Shader</i> Material 1 : Mat_BlackPlastic



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		(maps: albedo, metallic, normal, height) Material 2 : Mat_Steel (maps: albedo, metallic, normal, height)
ISC		Target geometri: 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_BlackPlastic (maps: albedo, metallic, normal, height) Material 2: Mat_Steel (maps: albedo, metallic, normal, height)
Sensor O2		Target geometri: 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_Steel (maps: albedo, metallic, normal, height) Material 2: Mat_DarkSteel (maps: albedo, metallic, normal, height)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

TPS <i>(Throttle Position Sensor)</i>	 Sumber : Ledengmotor.com	Target geometri : 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur : Resolusi: 1024x1024 piksel Shader : PBR Standard Shader Material 1 : Mat BlackPlastic (maps: albedo, metallic, normal, height)
EOT / ECT <i>(Engine Oil Temperature)</i>	 Sumber : hondacengkareng.com	Target geometri : 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur : Resolusi: 1024x1024 piksel Shader : PBR Standard Shader Material 1 : Mat WhitePlastic (maps: albedo, metallic, normal, height) Material 2 : Mat GoldSteel (maps: albedo, metallic, normal, height)
CKP <i>(Crankshaft Position)</i>	 Sumber : ledengmotor.com	Target Geometri : 5000 tris Spesifikasi Material dan tekstur : Resolusi: 1024x1024 piksel Shader : PBR Standard Shader



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		Material 1 : Mat_BlackPlastic (maps: albedo, metallic, normal, height)
Busi	 Sumber : championbusi.com	Target geometri : 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur : Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_BlackSteel (maps: albedo, metallic, normal, ao) Material 2: Mat_WhitePlastic (maps: albedo, metallic, normal, height) Material 3: Mat_Steel (maps: albedo, metallic, normal, height)
Fuel Pump	 Sumber : Honda Motor, Co.,Ltd. Service Publication Office, 2012.	Target geometri: 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_WhitePlastic (maps: albedo, metallic, normal, height) Material 2: Mat_Steel (maps: albedo, metallic, normal, height)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		Mat_BlackPlastic (<i>maps: albedo, metallic, normal, height</i>)
Piston	 Sumber : Honda Motor,Co.,Ltd. Service Publication Office, 2012.	Target geometri: 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_Steel (<i>maps: albedo, metallic, normal, height</i>)
Stang Seher (Connecting Rod) dan Poros Engkol (Crankshaft)	 Sumber : Honda Motor,Co.,Ltd. Service Publication Office, 2012.	Target geometri: 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_Steel (<i>maps: albedo, metallic, normal, height</i>)
Klep in & Klep ex (Valves)	 Sumber : montiro.id	Target geometri: 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader



Hak Cipta :

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

		Material 1: Mat_Steel (<i>maps: albedo, metallic, normal, height</i>)
ECU (<i>Electronic Control Unit</i>)	 Sumber : hondacengkareng.com	Target geometri : 5000 tris Spesifikasi material dan tekstur: Resolusi: 1024x1024 piksel Shader: PBR Standard Shader Material 1: Mat_BlackPlastic (<i>maps: albedo, metallic, normal, height</i>)

c. Perancangan *visual effect* (VFX)

Pada aspek *visual effect* (VFX), perancangan difokuskan sebagai elemen *visual feedback* yang dinamis menggunakan *particle system*. Efek visual ini diintegrasikan untuk memperjelas simulasi yang sedang berjalan. Setiap efek dirancang agar bereaksi secara *real-time* terhadap *input* pengguna, sehingga mampu memberikan petunjuk visual yang jelas mengenai status atau fungsi dari komponen yang sedang dipelajari. Berikut adalah daftar *visual effect* yang diimplementasikan beserta kebutuhan teknisnya :

Tabel 4. 3 Spesifikasi *Visual Effect*

No	Nama <i>Visual Effect</i>	Deskripsi	Spesifikasi Teknis
1	<i>Injector spray</i>	Visualisasi semburan kabut bahan bakar dari komponen injektor menuju	Diimplementasikan menggunakan <i>particle system</i> dengan bentuk <i>emitter cone</i> (kerucut). Menggunakan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		saluran masuk (<i>intake manifold</i>) sesaat sebelum siklus pembakaran.	parameter <i>color over lifetime</i> untuk efek pudar (transparansi), dan diaktifkan (<i>trigger</i>) melalui skrip sesuai <i>timing</i> durasi injeksi ECU.
2	Efek udara masuk	Representasi visual aliran udara dari lingkungan luar yang terisap masuk ke dalam ruang bakar saat katup masuk (<i>intake valve</i>) terbuka.	Menggunakan <i>particle system</i> dengan bentuk <i>emitter cone</i> namun nilai angle dan radius dibuat sama dan menyesuaikan ukuran <i>intake</i> . Menambahkan skrip baru bernama <i>ParticlePathFlow</i> yang mengatur 3 atau lebih vektor posisi untuk membentuk aliran <i>particle</i> yang <i>continuous</i> .
3	Efek kompresi	Efek visual yang merepresentasikan peningkatan tekanan dan suhu campuran udara-bahan bakar saat piston bergerak memampatkan ruang silinder.	Menggunakan <i>particle system</i> dengan bentuk <i>emitter cone</i> dengan nilai angle lebih besar dari radiusnya (kerucut). Tambahkan <i>eksternal force</i> dengan <i>multiplier</i> 1, kemudian tambahkan <i>collision</i> dengan tipe <i>plane</i> di permukaan piston.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

			Pengaturan <i>dampen</i> , <i>bounce</i> dan <i>kill speed</i> disesuaikan.
4	Efek udara buang	Visualisasi pelepasan gas sisa hasil pembakaran yang didorong keluar dari dalam silinder melewati katup buang (<i>exhaust valve</i>).	Menggunakan <i>particle system</i> dengan bentuk <i>emmitter cone</i> namun nilai <i>angle</i> dan radius dibuat sama. Menambahkan skrip baru bernama <i>ParticlePathFlow</i> yang mengatur 3 atau lebih vektor posisi untuk membentuk aliran <i>particle</i> yang <i>continuous</i>

d. Perancangan antarmuka pengguna (*user interface*)

Berikut adalah hasil dari perancangan antarmuka fitur simulasi :

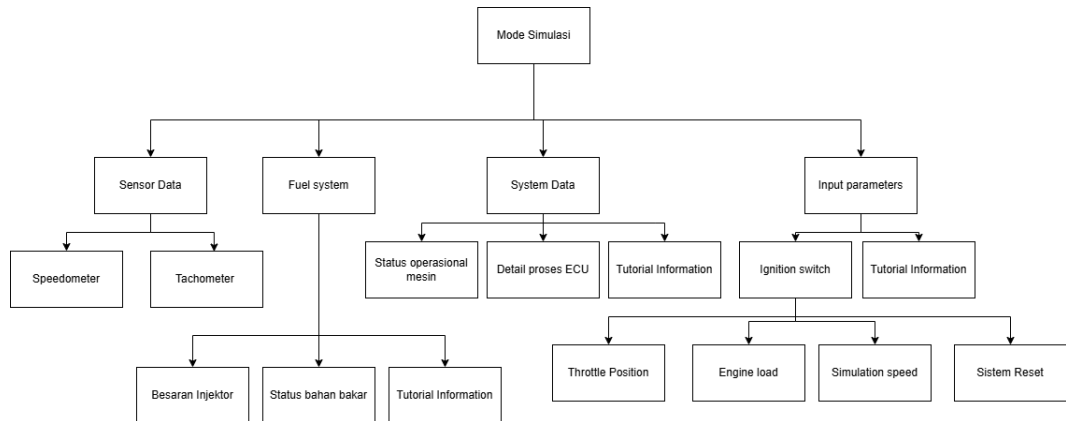
1. Arsitektur informasi mode simulasi

Sebelum membuat desain antarmuka, diperlukan arsitektur informasi yang bisa menggambarkan pemetaan informasi yang akan masuk ke dalam UI. Arsitektur informasi ini berfungsi sebagai fondasi struktur navigasi dan tata letak hierarki data seperti pada gambar 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.1 Arsitektur Informasi Fitur Mode Simulasi

Berdasarkan bagan arsitektur informasi di atas, struktur antarmuka pada Mode Simulasi dibagi menjadi empat kategori kelompok data utama, yaitu:

1. *Sensor data* (data sensor)

Bagian ini menampilkan visualisasi data telemetri yang dibaca oleh sensor kendaraan secara *real-time*. Komponen informasi di dalamnya mencakup metrik kecepatan (km/jam) dan metrik RPM (*revolutions per minute* / putaran mesin).

2. *Fuel system* (sistem bahan bakar)

Kelompok ini berfokus pada informasi yang berkaitan dengan logika suplai bahan bakar. *Fuel system* secara fundamental mencakup sistem kelistrikan elektronik, tangki, pompa, saluran bahan bakar, hingga komponen injektor (Halderman, 2020). Dalam antarmuka simulasi, data ini dikategorikan untuk menampilkan besaran semprotan injektor dan status ketersediaan bahan bakar secara *real-time*, serta dilengkapi dengan menu panduan (*tutorial information*) guna membantu pengguna memahami alur kerja sistem tersebut.

3. *System data* (data 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Bagian ini menyajikan logika komputasi inti dari simulasi. Sejalan dengan prinsip diagnostik pada kendaraan modern, evaluasi terhadap *system data* sangat penting untuk memonitor parameter operasional sistem kelistrikan serta kinerja unit kontrol elektronik mesin (Halderman, 2020). Dalam simulasi ini, informasi tersebut diwujudkan melalui visualisasi status operasional mesin secara keseluruhan, detail proses kalkulasi yang sedang berjalan di dalam ECU, serta *tutorial information* untuk menjelaskan cara kerja sistem tersebut.

4. *Input parameters* (parameter input)

Bagian ini merupakan area panel kendali tempat pengguna berinteraksi dan memanipulasi jalannya simulasi. Pada hierarki pertama, terdapat *tutorial information* dan *ignition switch* (sakelar kontak). Ketika sakelar kontak diaktifkan, pengguna diberikan akses ke beberapa parameter turunan untuk menguji respons sistem ECU, yaitu:

- 1) *Throttle position*: Kontrol bukaan gas untuk menyimulasikan akselerasi. Istilah ini merujuk pada *Throttle Position* (TP) *sensor* yang berfungsi mendeteksi derajat bukaan katup gas (*throttle valve*) dan mengirimkan informasi tersebut kepada ECU (Rohendi, 2025).
- 2) *Engine load*: Kontrol simulasi kemiringan jalan untuk memberikan beban (*load*) pada mesin.
- 3) *Simulation speed*: Pengatur kecepatan laju animasi simulasi.
- 4) *Sistem reset*: Tombol untuk mengembalikan seluruh kondisi simulasi ke parameter pengaturan awal.



Hak Cipta :

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

Pemetaan hierarki di atas memastikan bahwa antarmuka simulasi tidak tumpang tindih, di mana panel indikator (*sensor, fuel, system*) dipisahkan secara logis dari panel kendali (*input parameters*).

2. Spesifikasi fungsional antarmuka

Merujuk pada tujuan utama fitur simulasi, yaitu untuk memvisualisasikan komponen kelistrikan mesin EFI yang tersembunyi agar materi abstrak menjadi lebih konkret, perancangan antarmuka harus memastikan objek 3D dapat diamati dengan jelas tanpa banyak halangan visual. Oleh karena itu, spesifikasi fungsional antarmuka pada aplikasi ini ditetapkan sebagai berikut:

1) Orientasi layar (*portrait*)

Berdasarkan landasan teori mengenai ergonomi *mobile augmented reality* (AR) (Borsting dkk., 2022), aplikasi ini secara spesifik dikunci pada orientasi layar *portrait*. Penetapan orientasi ini didasarkan pada dua pertimbangan utama:

- a. Aspek ergonomis, memenuhi prinsip *reduce physical effort* (mengurangi kelelahan fisik) dengan memusatkan kendali antarmuka di area bawah layar. Area ini mudah dijangkau oleh ibu jari, sehingga efektif meminimalisasi risiko kelelahan lengan (*user fatigue*) selama siswa berinteraksi dengan simulasi.
- b. Aspek teknis, mencegah sistem AR melakukan kalkulasi ulang matriks proyeksi secara tiba-tiba akibat rotasi layar otomatis, sekaligus mencegah risiko hilangnya pelacakan spasial (*loss of tracking*).

2) Komponen antarmuka (*accordion UI*)

Guna memenuhi prinsip *reduce cognitive demand* (mengurangi beban kognitif) dan mencegah elemen UI



Hak Cipta :

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

menumpuk menutupi visualisasi komponen mesin, antarmuka menggunakan komponen *accordion*. Sistem *collapsible* (buka-tutup) ini berfungsi mengelompokkan teks instruksi dan informasi detail ke dalam tab yang ringkas, sehingga area pandang (*field of view*) utama simulasi AR tetap luas dan informatif.

3) Teknologi implementasi (Unity UI Toolkit)

Sebagai spesifikasi teknis untuk mengeksekusi kebutuhan tata letak, antarmuka dikembangkan menggunakan teknologi *Unity UI Toolkit*. Spesifikasi ini dipilih untuk memastikan performa aplikasi yang optimal serta memberikan fleksibilitas penyesuaian (*responsive layout*) pada berbagai ukuran resolusi perangkat seluler.

3. Alur pengguna (*user flow*)

Bagan *user flow* mengilustrasikan tahapan interaksi pengguna dengan antarmuka aplikasi, sekaligus memetakan bagaimana sistem kelistrikan mesin EFI virtual merespons setiap *input* secara sekuensial. Alur operasional pada Mode Simulasi ini dibagi ke dalam enam fase utama berikut:

- 1) Fase inisiasi simulasi alur dimulai ketika pengguna memilih mode simulasi melalui menu *dropdown* pada antarmuka utama. Sistem akan merespons instruksi tersebut dengan memuat dan menampilkan seluruh *user interface* (UI) khusus mode simulasi di layar perangkat.
- 2) Fase *ignition ON*, setelah UI terbuka, pengguna memindahkan sakelar *ignition* (kunci kontak) ke posisi ON. Tindakan ini memicu sistem untuk menjalankan pengecekan awal, di mana *tachometer* dan *speedometer* akan melakukan sapuan (*sweep check*). Bersamaan dengan itu, status sistem bahan bakar berubah menjadi "*prime*" untuk menyimulasikan pompa bahan bakar yang sedang



Hak Cipta :

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

menaikkan tekanan. Dua detik kemudian, indikator bahan bakar beralih ke status "*ready*" (siap), dan keseluruhan sistem masuk ke dalam keadaan "*standby*".

- 3) Fase *engine start*, dari keadaan *standby*, pengguna menggeser sakelar *ignition* ke posisi START. *Engine Control Unit* (ECU) merespons dengan memasuki mode "*cold start*" (penyalan dingin) selama 2 detik. Pada fase kritis ini, sistem mengeksekusi lima aksi secara serentak: audio *starter* mesin dimainkan, jarum jarum RPM bergerak menunjuk pada putaran mesin yang meninggi, indikator injektor menunjukkan durasi semprotan yang lebih lama, status bahan bakar menjadi "*active*", dan panel diagram *input-process-output* muncul berjalan secara berurutan di dalam ruang 3D *augmented reality* (AR). Peningkatan putaran mesin dan durasi semprotan ini merepresentasikan logika sistem EFI saat kondisi mesin dingin, di mana ECU akan memerintahkan injektor untuk menyemprotkan bensin lebih banyak guna memudahkan penyalan awal.
- 4) Fase *idle* (lambat), setelah durasi *cold start* selama 2 detik berlalu, sakelar *ignition* secara otomatis kembali ke posisi ON. Sistem kemudian beralih ke status "*Idle/Lambat*". Pada kondisi mesin yang sudah menyala stabil ini, indikator injektor akan menyesuaikan dan menunjukkan angka semprotan yang normal dan konstan, yaitu di kisaran 2 hingga 2.5 ms (Nugroho dan Intyanto, 2020).
- 5) Fase eksplorasi parameter dalam kondisi *idle*, pengguna diberikan kebebasan penuh untuk mengeksplorasi logika sistem dengan memberikan *input* parameter. Pengguna dapat menarik *slider throttle* untuk menyimulasikan bukaan gas, menarik *slider engine load* untuk memberikan beban mesin, atau mengatur *slider simulation speed* untuk mempercepat atau memperlambat jalannya animasi. Setiap



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

interaksi tersebut akan langsung dibaca oleh sistem, yang kemudian secara dinamis memperbarui angka pada *System Data*, *Fuel System*, *Sensor Data*, serta informasi pada panel *pop-up* di ruang 3D AR.

- 6) Fase Terminasi atau Reset Siklus simulasi dapat diakhiri atau diulang kapan saja oleh pengguna. Jika pengguna melakukan interaksi dengan menekan tombol "*ignition off*" atau tombol "sistem reset", sistem akan menghentikan seluruh proses kalkulasi. Halaman simulasi kemudian menonaktifkan semua parameter status dan animasi visual, mengembalikan sistem ke kondisi awal sebelum siklus dinyatakan selesai. Detail diagram ada pada gambar 4.2 berikut:





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Gambar 4. 2 Diagram *User Flow*



Hak Cipta :

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

4. *Wireframe*

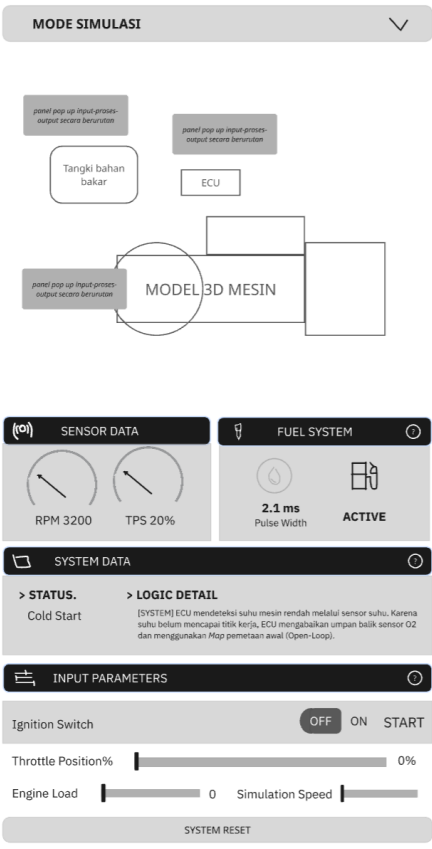
Guna memastikan alur interaksi dan penempatan elemen antarmuka terstruktur dengan baik, tahap selanjutnya adalah pembuatan *wireframe*. Pembuatan *wireframe* ini memprioritaskan pada visibilitas informasi utama seperti tampilan AR, *pop-up* 3D, komponen *dashboard* informasi (*sensor data*, *fuel system*, dan *system data*) yang menjadi fokus utama dalam simulasi. Sementara itu, *input parameters* diletakkan di bagian bawah setelah panel informasi. Penempatan ini didasarkan pada prinsip ergonomi UI, di mana area tersebut mudah dijangkau oleh ibu jari sehingga efektif untuk sebuah panel yang memerlukan banyak interaksi. Tata letak *input parameters* disusun berdasarkan urutan alur pengguna sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2. Penjelasan lebih detail terkait *wireframe* ada pada Tabel 4.4 berikut:

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

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

Tabel 4. 4 *Wireframe* EFI Simulator

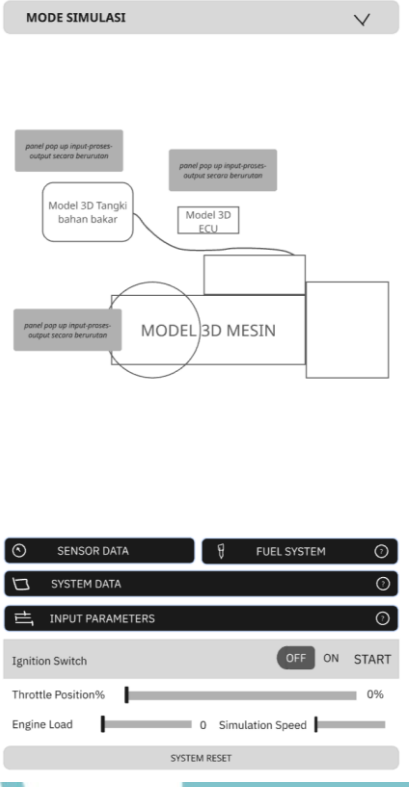
No	Gambar	Keterangan
1.		Tampilan utama antarmuka simulasi sistem EFI dirancang menggunakan tata letak <i>portrait</i> yang secara garis besar dibagi menjadi dua area vertikal utama yaitu area visualisasi (atas-tengah) dan area dasbor panel (bawah). Area atas dan tengah layar dialokasikan sebagai <i>viewport</i> yang dibiarkan luas untuk memproyeksikan objek 3D mesin secara visual dalam lingkungan <i>augmented reality</i> (AR) dan panel <i>pop-up</i> yang mengilustrasikan alur <i>input-proses-output</i> di atas komponen 3D. Pada bagian bawah, seluruh elemen interaktif dan panel informasi masuk ke dalam area dasbor. Dasbor ini disusun bertumpuk secara vertikal menjadi 3 bagian utama. Baris pertama dan kedua adalah komponen yang memberikan informasi utama sebagai pengaruh dari <i>input</i>. Baris pertama membagi ruang menjadi dua kolom untuk panel <i>sensor data</i> dan <i>fuel system</i>. Baris kedua merupakan panel untuk <i>system data</i>. Baris terakhir untuk <i>input parameters</i> dan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		ditutup dengan tombol <i>system reset</i> di bagian paling dasar.
2.		Tampilan antarmuka simulasi ketika komponen <i>accordion</i> UI berada dalam status tertutup. Hal ini memastikan area <i>viewport</i> di bagian atas tetap optimal dan luas, sehingga proyeksi objek 3D mesin tidak terhalang oleh tumpukan elemen visual antarmuka (<i>reduce cognitive demand</i>), sementara panel kendali utama di bagian paling bawah tetap dapat diakses kapan saja.

5. Panduan Gaya visual

Panduan gaya visual ini mencakup penetapan gaya bentuk (*shape style*), palet warna, tipografi, serta perancangan ikon

a. Gaya visual dan bentuk (*style shape*)

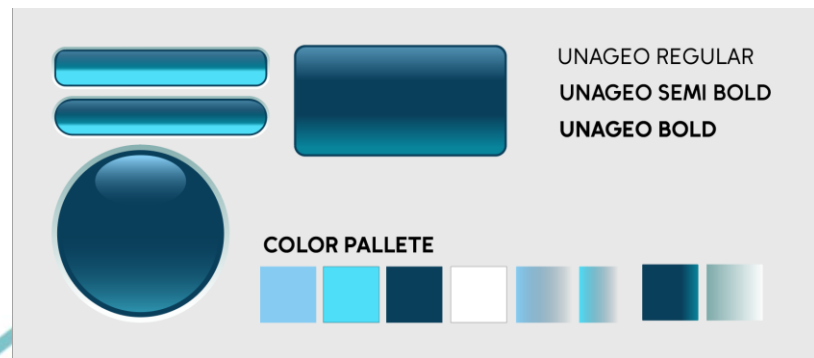
Gaya visual utama pada elemen antarmuka tidak dirancang dari awal oleh penulis, melainkan mengadopsi panduan desain utama yang telah ditetapkan sebelumnya. Referensi desain visual bisa dilihat pada gambar 4.3 Berikut. Desain ini memiliki karakteristik *glossy* yang menonjolkan penggunaan gradien, efek pencahayaan (*highlight*), dan bayangan (*inner/drop shadow*) untuk memberikan kesan kedalaman (*depth*) dan estetika teknologi yang modern. Dalam penelitian ini, penulis berfokus pada penyesuaian (*adaptasi*) proporsi, ukuran, dan tata letak dari bentuk-bentuk dasar



Hak Cipta :

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

tersebut agar selaras dengan kebutuhan fungsional dasbor simulasi sistem EFI.



Gambar 4. 3 UI Art Style

b. Palet warna (*color palette*)

Pemilihan warna antarmuka berpusat pada skema warna monokromatik biru yang dipadukan dengan ruang negatif (*negative space*) berwarna netral (putih/abu-abu terang). Palet warna ini terdiri dari gradasi biru muda, biru cerah (*cyan*), hingga biru dongker gelap. Penggunaan warna biru dipilih untuk merepresentasikan kesan modern. Variasi warna (*gradient*) juga dimanfaatkan secara fungsional untuk membedakan antara elemen statis (latar belakang panel) dan elemen interaktif (tombol atau *slider*).

c. Tipografi

aplikasi ini menggunakan jenis huruf (*font*) *sans-serif* utama, yaitu Unageo. Tipografi ini diterapkan dengan tiga variasi ketebalan (*weight*) untuk membangun hierarki informasi yang terstruktur:

- a) *Unageo bold* digunakan untuk penekanan informasi utama, judul panel (seperti "SENSOR DATA", "FUEL SYSTEM"), dan nilai angka.
- b) *Unageo semi bold* digunakan untuk sub-judul atau label parameter pendukung.



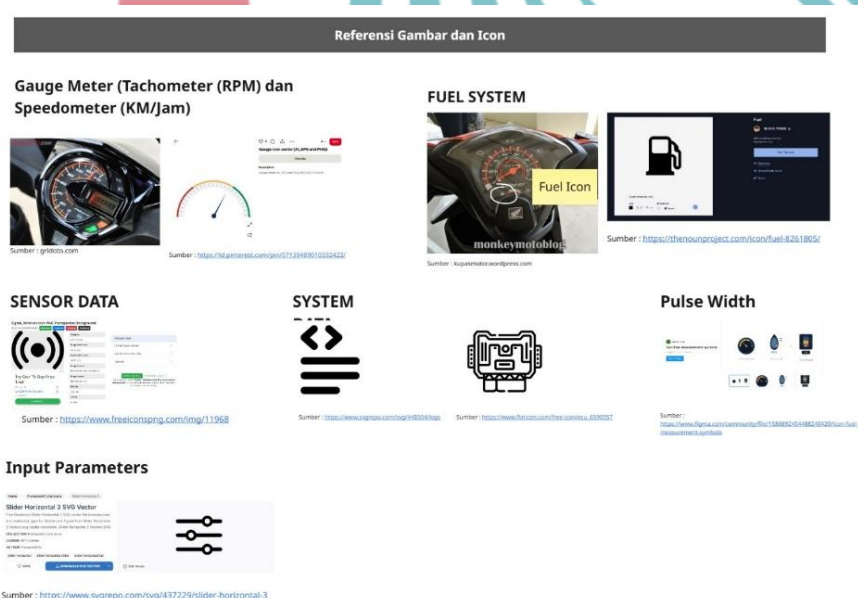
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, 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 Politeknik Negeri Jakarta

c) *Unageo regular* digunakan untuk teks deskriptif panjang, seperti pada paragraf detail logika ECU (*logic detail*).

d. Perancangan ikon

Proses perancangan ikon dilakukan dengan mengumpulkan referensi visual dari dunia nyata (seperti takometer dan bentuk indikator bensin pada dasbor sepeda motor asli) serta referensi ikon digital berlisensi bebas (seperti ikon mesin/ECU, parameter input, dan gelombang sinyal). Detail pengumpulan referensi dapat dilihat pada Gambar 4.4 Berikut:



Gambar 4. 4 Referensi Gambar Ikon UI

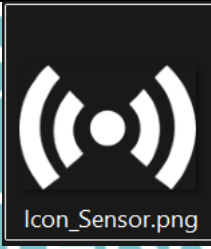
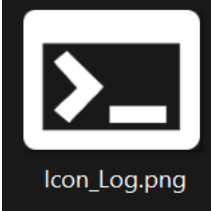
Berdasarkan referensi tersebut, dirancanglah serangkaian ikon yang disesuaikan dengan kebutuhan fungsional antarmuka simulasi. Rincian hasil perancangan ikon beserta maknanya dijabarkan pada Tabel 4.5 berikut:



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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.5 Ikon UI Fitur Simulasi

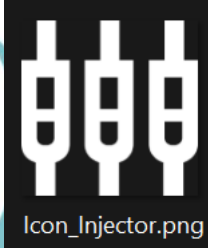
No	Nama Ikon	Gambar	Keterangan
1	Takometer dan <i>speedometer</i>		Ikon berbentuk setengah lingkaran ini merepresentasikan instrumen dasbor kendaraan. Ikon ini digunakan sebagai penanda visual pada kelompok data telemetri untuk menampilkan angka putaran mesin (RPM) dan laju kecepatan kendaraan (km/jam).
2	<i>Sensor data</i>		Ikon berbentuk pancaran gelombang radio ini merepresentasikan aktivitas pemindaian telemetri secara <i>real-time</i> . Ikon ini berfungsi sebagai penanda visual untuk panel kelompok data yang dibaca langsung oleh sensor kendaraan.
3	<i>System data</i>		Ikon berbentuk simbol perintah kode (>_) ini merepresentasikan aktivitas komputasi di balik layar. Ikon ini digunakan sebagai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

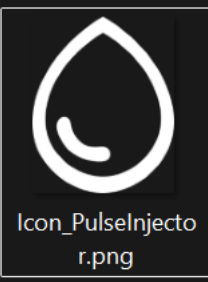
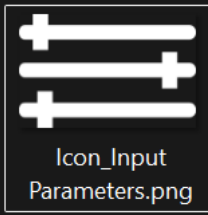
			penanda kelompok informasi mengenai logika kalkulasi yang sedang dijalankan oleh ECU serta status operasional mesin secara keseluruhan.
4	<i>Fuel system</i>	 Icon_Injector.png	Ikon ini mewakili komponen injektor, yang merupakan aktuator utama dalam sistem bahan bakar EFI untuk menyemprotkan bensin ke dalam ruang bakar. Penggunaan ikon ini menjadi penanda visual bahwa panel <i>fuel system</i> terintegrasi secara langsung dengan operasional injektor.
5	Status bensin	 Icon_Fuel.png	Ikon ini berfungsi untuk menunjukkan status ketersediaan bahan bakar pada kendaraan. Desainnya diadaptasi langsung dari indikator bahan bakar standar yang terdapat pada dasbor sepeda motor untuk memberikan pengalaman visual yang familier bagi pengguna.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6	<i>Pulse width injector</i>		Ikona ini melambangkan nilai <i>pulse width</i> atau durasi semprotan injektor. Untuk memperkuat umpan balik visual (<i>visual feedback</i>), ikon ini dirancang agar beranimasi seolah berdetak (<i>pulsing</i>) saat simulasi dijalankan sebagai penanda bahwa injektor sedang aktif beroperasi.
7	<i>Parameter input</i>		Ikona ini merepresentasikan panel kendali <i>slider input</i> di dalam simulasi. Desain ikon ini mengisyaratkan fungsinya sebagai area pengaturan, di mana pengguna dapat memanipulasi variabel parameter secara interaktif.

4.2.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini mencakup pengaturan logika pemrograman dan arsitektur aplikasi yang mengatur bagaimana aset visual tersebut berinteraksi dengan *input* pengguna.

a. Arsitektur perangkat lunak

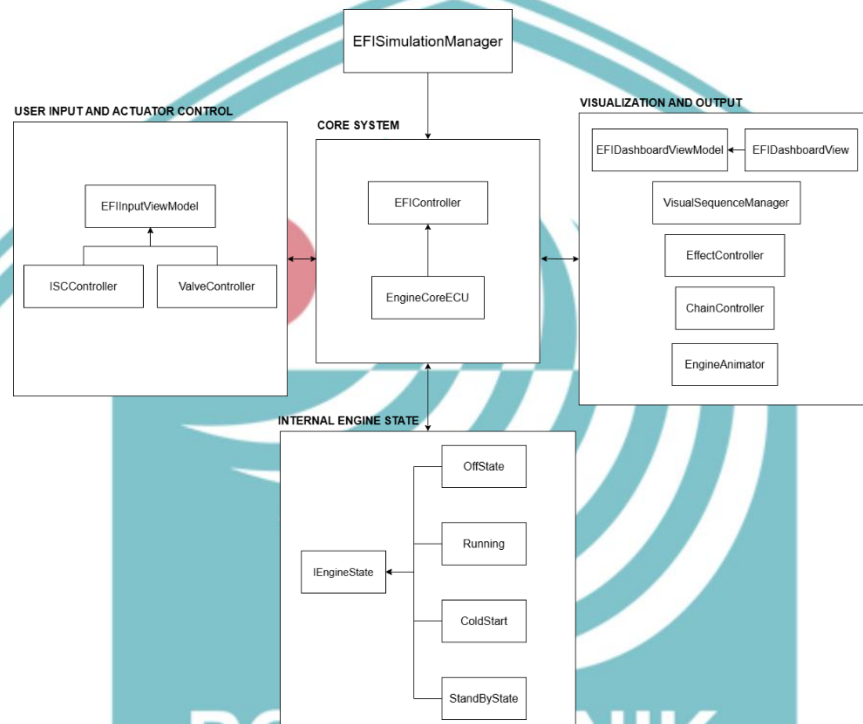
Sistem fitur ini dirancang menggunakan pola arsitektur MVVM (Model-View-ViewModel). Pemisahan ini bertujuan untuk



Hak Cipta :

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

memisahkan antara logika simulasi mesin (Model), tampilan antarmuka dan aset 3D (View), serta perantara yang menghubungkan data dengan tampilan (ViewModel). Hal ini memudahkan pengembangan fitur secara modular dan memastikan sistem tetap ringan saat dijalankan pada perangkat *mobile*.



Gambar 4. 5 Diagram Blok Sistem EFI Simulator

Untuk memvisualisasikan pemisahan arsitektur tersebut dalam alur operasional sistem, diagram blok pada Gambar 4.5 memetakan interaksi dan aliran data antarmodul utama. Secara keseluruhan, siklus hidup dari simulator ini dikendalikan penuh oleh EFISimulationManager. Komponen ini bertindak sebagai pengontrol utama yang secara spesifik mengatur kapan simulasi mulai dijalankan, kapan seluruh parameter perlu dikembalikan ke kondisi awal.

Di bawah EFISimulationManager, aliran operasional dan sirkulasi data sistem terbagi ke dalam tiga tahap proses utama:

1. Tahap penerimaan *input (user input and actuator control)*



Hak Cipta :

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

Tahap ini merupakan pintu masuk interaksi. Data masukan dari pengguna tidak langsung memanipulasi mesin, melainkan ditangkap oleh EFIIInputViewModel. ViewModel ini kemudian menerjemahkan perintah tersebut menjadi sinyal aktuator (seperti bukaan katup melalui ValveController atau kontrol putaran *idle* melalui ISCController). Sinyal-sinyal aktuator fisik ini kemudian diteruskan ke dalam sistem inti untuk diproses.

2. Tahap pemrosesan inti (*core system & internal engine state*)

Modul ini merupakan jantung simulasi yang merepresentasikan komponen Model. Data aktuator yang masuk akan diterima oleh EFIController dan diproses oleh EngineCoreECU. Dalam melakukan kalkulasi matematis (seperti injeksi dan pengapian), ECU secara konstan membaca kondisi mesin saat ini melalui modul *internal engine state*. Kondisi mesin (mulai dari *off*, *standby*, *coldstart*, hingga *running*) akan menentukan bagaimana ECU merespons *input* yang diberikan. Seluruh hasil kalkulasi ECU ini kemudian didistribusikan ke luar modul sebagai data keluaran.

3. Tahap keluaran dan visualisasi (*visualization and output*)

Tahap terakhir adalah menerjemahkan hasil pemrosesan ECU kembali kepada pengguna, yang merepresentasikan komponen View. Aliran data dari sistem inti dipecah menjadi dua jalur utama:

- 1) Jalur antarmuka (UI): Data metrik mesin dikirim ke EFIDashboardViewModel untuk diformat ulang, kemudian direpresentasikan secara visual berupa angka atau indikator pada EFIDashboardView.
- 2) Jalur visual 3D: Data operasional mesin dikirim ke VisualSequenceManager yang kemudian mendistribusikan perintah ke berbagai pengontrol aset. EngineAnimator menggerakkan komponen mekanis,



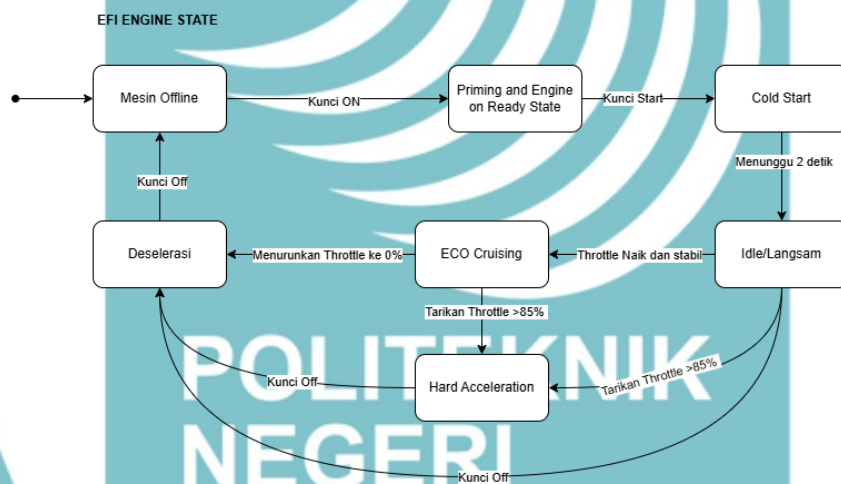
Hak Cipta :

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

ChainController mensimulasikan pergerakan rantai sesuai RPM, dan EffectController memicu partikel visual (seperti gas buang).

b. State pattern logic

Selain arsitektur utama, logika internal mesin dikelola menggunakan *state pattern*. Pola ini digunakan untuk membagi kondisi mesin ke dalam beberapa *state* spesifik (seperti *idle*, *acceleration*, atau *deceleration*). Dengan pendekatan ini, transisi antarlogika mesin menjadi lebih terorganisir dan meminimalkan kesalahan (*bug*) saat terjadi perubahan parameter secara *real-time*, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Diagram *Finite State Machine* EFI Simulator

Sistem membagi siklus operasional mesin ke dalam tujuh status yang saling terhubung. Transisi antar-status ini dipicu oleh *input* interaksi dari pengguna (seperti perputaran kunci kontak dan nilai *throttle*) maupun parameter waktu yang telah ditentukan di dalam sistem. Berikut adalah uraian untuk masing-masing *state* dan alur transisinya:

- 1) Mesin *offline*: Merupakan kondisi awal di mana sistem mensimulasikan mesin dalam keadaan mati total dan tidak ada



Hak Cipta :

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

aktivitas komputasi dari ECU. Sistem akan bertransisi dari kondisi ini apabila mendeteksi *input* "Kunci ON".

- 2) *Priming and engine on ready state*: Kondisi siaga di mana ECU menerima daya listrik dan mulai melakukan inisialisasi sistem injeksi. Dari fase ini, pengguna harus memberikan *input* "kunci start" untuk memicu motor starter.
- 3) *Cold start*: Kondisi transisi awal mesin saat dinyalakan. Logika internal mesin akan menahan sistem pada status ini selama 2 detik untuk menyimulasikan penyesuaian suhu dan putaran awal sebelum secara otomatis beralih ke status stasioner.
- 4) *Idle / langsam*: Status operasional di mana mesin telah menyala stabil pada putaran stasioner tanpa adanya tarikan gas. Sistem akan bertransisi ke status *ECO cruising* jika nilai *throttle* dinaikkan secara bertahap dan stabil, atau melompat ke status *hard acceleration* jika nilai *throttle* ditarik secara agresif hingga melebihi batas 85%.
- 5) *ECO cruising*: Kondisi mesin beroperasi pada rentang putaran yang efisien dan stabil. Status ini memiliki dua jalur transisi utama berdasarkan perilaku pengemudi: berpindah ke *hard acceleration* jika tarikan *throttle* mendadak melebihi 85%, atau berpindah ke deselerasi jika nilai *throttle* diturunkan secara drastis hingga menyentuh 0%.
- 6) *Hard acceleration*: Kondisi saat mesin merespons beban maksimal dan membutuhkan pasokan bahan bakar tinggi. Saat tarikan gas dilepaskan dari kondisi ini, sistem akan diarahkan menuju fase penurunan putaran.
- 7) Deselerasi: Menyimulasikan kondisi *engine braking* atau penurunan RPM secara natural ketika nilai *throttle* 0%.
- 8) Transisi global (kunci *off*): Diagram ini juga mengimplementasikan transisi interupsi, di mana pengguna



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

dapat memutus siklus operasional. Terdapat parameter "kunci *off*" yang dapat dipicu dari status aktif (seperti *idle*, *hard acceleration*, maupun *deselerasi*) untuk memaksa logika mesin kembali melakukan reset diri ke status mesin *offline*.

c. Class diagram

Pemodelan *class diagram* ini memvisualisasikan struktur sistem dari segi pendefinisian kelas-kelas yang membangun fitur simulasi *Electronic Fuel Injection* (EFI). Struktur ini dirancang secara modular dengan menerapkan *design pattern state pattern* untuk mengelola transisi logika operasional mesin secara dinamis, serta arsitektur Model-View-ViewModel (MVVM) untuk memisahkan logika inti dari antarmuka pengguna, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut:

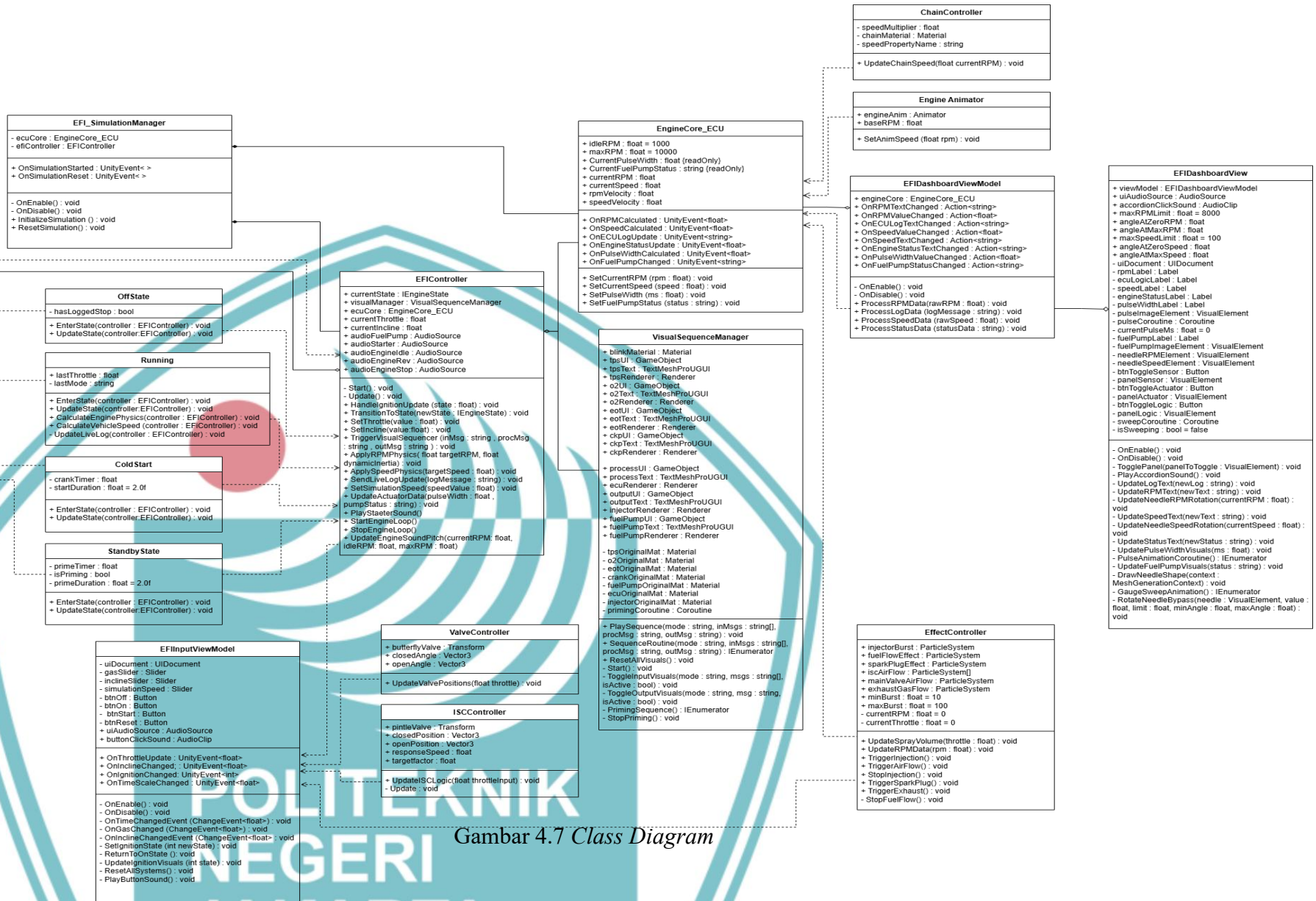




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber atau mengutip hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan media massa, dan sebagainya.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.7 Class Diagram



Hak Cipta :

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

Berdasarkan perancangan sistem yang telah ditetapkan, *class diagram* pada fitur ini menstrukturkan interaksi antara logika internal mesin, manajemen visual, dan antarmuka pengguna. Struktur kelas dalam diagram ini dapat dikelompokkan ke dalam beberapa bagian utama berdasarkan fungsinya:

1. Manajemen simulasi dan *state* mesin (*state pattern*)

Sistem menggunakan pola desain State untuk menangani berbagai kondisi operasional mesin agar logika tidak menumpuk pada satu kelas.

- a. EFI_SimulationManager berperan sebagai pengelola utama siklus hidup (*lifecycle*) sistem simulasi. Kelas ini bertanggung jawab atas proses inisialisasi (pengaturan awal) ketika simulasi baru dijalankan, serta mengelola proses terminasi (pengakhiran) saat sistem simulasi ditutup atau dihentikan.
- b. IEngineState (*interface*) merupakan sebuah antarmuka (*interface*) dasar yang mendefinisikan kontrak untuk semua kondisi mesin.
- c. Kelas implementasi *state* terdiri dari OffState (ketika simulasi dimatikan), ColdStart (kondisi awal saat mesin dihidupkan), Running (mesin berjalan normal), dan StandbyState (mesin dalam keadaan siaga/*idle*).

2. Logika inti dan pengendali (Model & *controller*)

Bagian ini menyimulasikan perangkat keras fisik dan unit komputasi pada sistem EFI.

- a. EngineCore_ECU bertindak sebagai otak utama atau Model dalam arsitektur ini. Kelas ini menyimulasikan fungsi *Engine Control Unit* (ECU), yang memproses parameter simulasi dan menentukan respons sistem.
- b. EFIController menjadi jembatan yang mengkoordinasikan eksekusi perintah dari sistem simulasi ke pengontrol komponen spesifik.



Hak Cipta :

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

- c. Pengontrol komponen (ValveController & ISCController) merupakan kelas yang menyimulasikan mekanisme perangkat keras spesifik. ValveController mengatur logika kerja katup mesin, sedangkan ISCController mengatur pergerakan *Idle Speed Control* (ISC).

3. Interaksi pengguna (View & ViewModel)

Sistem menerapkan pola MVVM untuk memisahkan antarmuka visual (UI) dari logika sistem inti.

- a. EFInputViewModel adalah kelas yang digunakan untuk menangkap dan memproses data masukan dari antarmuka pengguna sebelum dikirimkan untuk diproses oleh *controller* atau sistem inti.
- b. EFIDashboardViewModel adalah kelas yang digunakan untuk mempersiapkan dan membungkus data dari EngineCore_ECU agar siap ditampilkan ke layar. Kelas ini memastikan bahwa antarmuka visual tidak memiliki ketergantungan langsung terhadap sistem mesin dasar.
- c. EFIDashboardView adalah kelas View yang merepresentasikan elemen visual dari *dashboard* yang berinteraksi langsung dengan pengguna (seperti penunjuk indikator atau parameter metrik simulasi).

4. Manajemen animasi dan visual

Sebagai sebuah simulator interaktif, sistem membutuhkan kelas khusus untuk menangani pergerakan visual komponen secara akurat.

- a. VisualSequenceManager adalah kelas yang digunakan untuk mengatur urutan kronologis dari *pop up* UI agar sinkron dengan kalkulasi data dan urutan *input-proses-output* yang dihasilkan oleh ECU.
- b. Engine Animator, ChainController dan EffectController adalah kelas-kelas yang digunakan untuk menangani pergerakan dan umpan balik visual dari komponen grafis 3D secara spesifik. Dalam arsitektur ini, kelas pengendali animasi bekerja dengan cara



Hak Cipta :

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

mendengarkan dan menerima sinyal yang disiarkan langsung oleh EngineCore_ECU. Ketika ECU melakukan kalkulasi dan memancarkan sinyal perubahan parameter, kelas-kelas ini akan merespons secara independen untuk memicu animasi mesin, perputaran rantai, serta menampilkan efek visual secara *real-time*.

4.2.3 Perancangan *sound effect* (SFX)

Pada bagian perancangan *sound effect* difokuskan pada efek suara pada setiap *state* seperti suara saat *priming*, *starter*, *cruising*, dan saat mesin mati. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 4.6 berikut

Tabel 4.6 Daftar *Sound Effect*

No	Nama Efek	Sumber
1	Suara <i>priming</i>	Dokumen pribadi
2	Suara mesin <i>starter</i>	Dokumen pribadi
3	Suara normal mesin	Dokumen pribadi
4	Suara mesin <i>off</i>	Dokumen pribadi
5	Suara tombol klik	Pixabay karya dari pengguna u_2ttqv1v1rq

4.3 Implementasi Aset 3D dan Fitur Simulasi

Bagian ini merupakan penjabaran dari tahap *Production* (produksi) dalam metode pengembangan multimedia Villamil-Molina. Implementasi meliputi pemodelan dan animasi komponen mesin menggunakan Blender, integrasi dan pembuatan sistem untuk fitur simulasi EFI Unity. Alur pengembangan menerapkan pendekatan iteratif yang diawali dengan perancangan prototipe. Prototipe ini bertujuan untuk memvisualisasikan fungsionalitas sistem secara garis besar guna memperoleh umpan balik (*feedback*) dari praktisi otomotif sejak fase awal, tanpa harus menunggu seluruh aset visual selesai secara sempurna. Tahap prototipe dikatakan selesai ketika semua sistem sudah mengikuti standar praktisi sistem sepeda motor dan siap masuk ke tahap pengembangan lebih



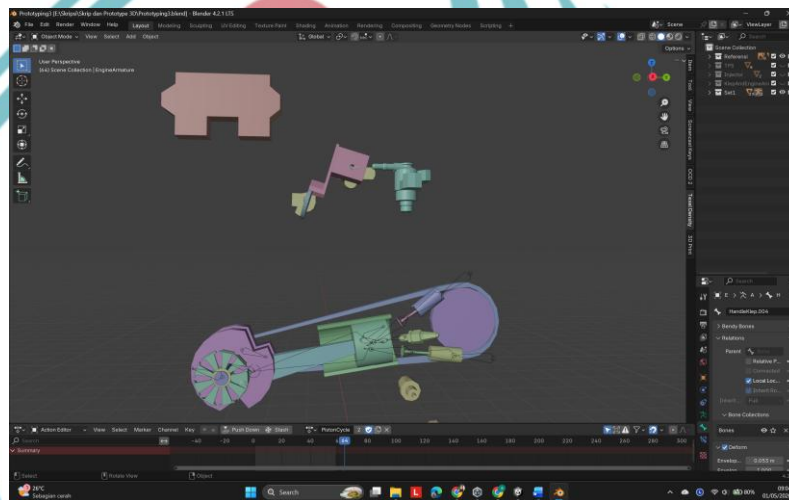
Hak Cipta :

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

lanjut. Dari evaluasi tahap prototipe dilakukan perbaikan mulai dari desain sistem hingga optimasi akhir

4.3.1 Tahap Pengembangan Prototipe dan Logika Inti

Pada tahap prototipe, model 3D dikembangkan menggunakan pendekatan *low-fidelity* (Gambar 4.8). Pendekatan ini bertujuan untuk mengefisienkan waktu produksi tanpa harus membuat model *high-fidelity* terlebih dahulu. Model dasar tersebut kemudian melalui proses *rigging* yang selanjutnya akan digunakan untuk pembuatan animasi



Gambar 4.8 Model 3D Prototipe

Pada Gambar 4.9, animasi mesin menggabungkan 3 komponen *bone*, yaitu CrankShaftBone.001 (bagian piston), HandleKlep.002 dan HandleKlep.004 (kelp *in* dan kelp *out*). Animasi dibuat *looping* dengan total 60 *frame*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

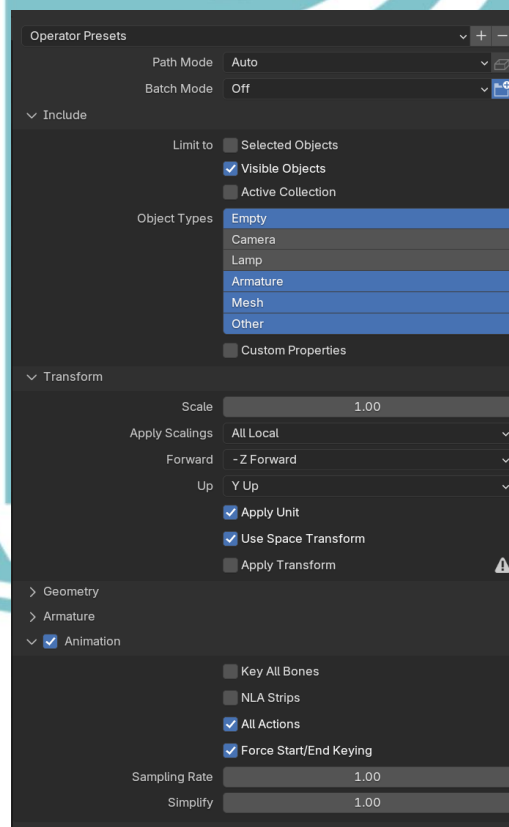
Hak Cipta :

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



Gambar 4.9 Animasi Mesin

Setelah aset 3D dan animasi selesai, langkah selanjutnya adalah ekspor model dan animasinya dalam format (.fbx) dengan pengaturan ekspor seperti pada Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.10 Pengaturan Ekspor Model (.fbx)



Hak Cipta :

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

Pengaturan tersebut memastikan bahwa seluruh model dan animasinya diekspor dalam satu dokumen. Setelah aset *low-fidelity* diimpor ke dalam Unity, fokus pengembangan dilanjutkan pada integrasi model dengan logika program. Pengembangan sistem diawali dengan perancangan logika inti dan pola manajemen status (*state machine*) untuk memastikan simulasi mekanis mesin berjalan secara akurat. Seluruh kode sumber pengembangan untuk fitur simulasi ini tersedia dan dikelola melalui repositori GitHub.

Perancangan logika inti sistem EFI Simulator ini dibangun menggunakan arsitektur *Finite State Machine* (FSM). Fondasi utama dari pola ini diimplementasikan melalui pembuatan antarmuka (*interface*) bernama *IEngineState* (Gambar 4.11). Antarmuka ini bertindak sebagai kontrak standar yang mewajibkan setiap status mesin (seperti kondisi menyala, mati, atau *idle*) untuk memiliki fungsi inisialisasi awal (*EnterState*) dan fungsi eksekusi siklus berkelanjutan (*UpdateState*).

```
public interface IEngineState
{
    void EnterState(EFIController controller);
    void UpdateState(EFIController controller);
}
```

Gambar 4.11 *Interface Engine State*

Penggunaan *interface* ini bertujuan untuk memastikan *decoupling* (pemisahan ketergantungan) antarkode, sehingga penambahan status mesin baru di masa mendatang dapat dilakukan tanpa merusak struktur kode yang sudah ada.

Sebagai pusat kendali logika, diimplementasikan kelas *EFIController* yang merepresentasikan unit kendali elektronik (ECU) pada kendaraan seperti pada Gambar 4.12 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
public class EFIController : MonoBehaviour
{
    public IEngineState currentState;

    public EngineCore_ECU ecuCore;
    public VisualSequenceManager visualManager;

    public float currentThrottle;
    public float currentIncline;
    // public bool isEngineOn = false;

    [Header("Engine Audio Sources")]
    public AudioSource audioFuelPump; // Suara dengungan saat kunci ON
    public AudioSource audioStarter; // Suara dinamo starter
    public AudioSource audioEngineIdle;
    public AudioSource audioEngineRev; // Suara mesin menyala (Idle & Revving)
    public AudioSource audioEngineStop; // Suara mesin mati (ngempos)
    // Unity Message | 0 references
    private void Start()
    {
        // Unity Message | 0 references
    }
    private void Update()
    {
        currentState?.UpdateState(this);
    }

    0 references
    public void HandleIgnitionUpdate(int state)
    {
        switch (state)
        {
            case 0: // OFF
                TransitionToState(new OffState());
                break;

            case 1: //ON
                if (currentState is OffState)
                {
                    TransitionToState(new StandbyState());
                }
                else if (currentState is ColdStart)
                {
                    TransitionToState(new Running());
                    Debug.Log("Ignition: ON -> Mesin Berhasil Hidup (Running)");
                }
                break;

            case 2: // START
                if (currentState is StandbyState)
                {
                    TransitionToState(new ColdStart());
                }
                else
                {
                    Debug.LogWarning("Gagal Start: Putar kunci ke ON terlebih dahulu!");
                }
                break;
        }
    }
}
```

Gambar 4.12 Skrip EFIController

Kelas ini berfungsi sebagai *context manager* yang menyimpan status mesin aktif (*current state*) pada suatu waktu. Pada setiap siklus *frame* permainan (metode *Update*), *EFIController* tidak melakukan kalkulasi secara mandiri, melainkan mendelegasikan eksekusi tersebut kepada status yang sedang aktif melalui pemanggilan metode *currentState.UpdateState(this)*. Mekanisme pendelegasian ini mengeliminasi penggunaan struktur percabangan kompleks (*nested if-else*) yang rentan terhadap *bug* dan penurunan performa.



Hak Cipta :

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

Untuk mendefinisikan perilaku spesifik mesin, dibuat kelas implementasi. Pada sistem Simulator EFI ini ada 4 kelas implementasi IEngineState, yaitu kelas Running, StandByState, ColdStart, dan OffState

Pada kelas Running di Gambar 4.13 berikut, kelas ini mewarisi dan mengimplementasikan antarmuka IEngineState. Ketika mesin berada pada status ini, seluruh kalkulasi dinamika kendaraan seperti fisika putaran mesin (RPM), kecepatan kendaraan, dan analisis beban mesin secara *real-time* dibungkus di dalam kelas ini.

```

public class Running : IEngineState
{
    public float lastThrottle = 0f;
    private string lastMode = "";
    2 references
    public void EnterState(EFIController controller)
    {
        string theMode = "Idle/Langsam";
        controller.SendEngineStatusUpdate(theMode.ToUpper());
        if (controller.audioStarter != null) controller.audioStarter.Stop();
        controller.StartEngineLoop();
    }
    2 references
    public void UpdateState(EFIController controller)
    {
        CalculateEnginePhysics(controller);
        CalculateVehicleSpeed(controller);

        UpdateLiveLog(controller);
        controller.UpdateEngineSoundPitch(controller.GetCurrentRPM(), controller.GetIdleRPM(), controller.GetMaxRPM());
    }
    1 reference
    private void UpdateLiveLog(EFIController controller) ...
    1 reference
    public void CalculateEnginePhysics(EFIController controller) ...
    1 reference
    public void CalculateVehicleSpeed(EFIController controller) ...
}
  
```

Gambar 4.13 Skrip Running

Begitu juga pada kelas implementasi lainnya, pada kelas StandbyState seperti pada Gambar 4.14 juga mengimplementasikan antarmuka IEngineState untuk merepresentasikan kondisi simulasi ketika kunci kontak kendaraan diputar ke posisi ON, namun mesin belum dihidupkan. Saat sistem pertama kali memasuki status ini melalui metode EnterState, sistem memastikan putaran mesin tetap di angka nol (SetCurrentRPM(0f)), memicu pemutaran audio pompa bahan bakar (*fuel pump*), dan memulai fase *priming* pada aktuator. Informasi ini juga langsung diteruskan ke antarmuka pengguna (UI *dashboard*) melalui sistem pemanggilan *event* ECU untuk memberikan umpan balik visual bahwa sistem sedang bersiap.



Hak Cipta :

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

```
public class StandbyState : IEngineState
{
    private float primeTimer = 0f;
    private bool isPriming = true;
    private float primeDuration = 2.0f;
    2 references
    public void EnterState(EFIController controller)
    {
        string theMode = "Standby";
        controller.SendEngineStatusUpdate(theMode.ToUpper());
        if (controller.audioFuelPump != null) controller.audioFuelPump.Play();
        // 1. Set RPM ke 0 karena mesin belum berputar
        controller.ecuCore.SetCurrentRPM(0f);

        if (controller.ecuCore.OnECULogUpdate != null)
        {
            controller.ecuCore.OnECULogUpdate.Invoke("[SYSTEM] Ignition ON. Memulai fase priming Fuel Pump...");
        }
        controller.UpdateActuatorData(0f, "PRIME");

        isPriming = true;
        primeTimer = 0f;
    }
    2 references
    public void UpdateState(EFIController controller)
    {
        if (isPriming)
        {
            primeTimer += Time.deltaTime;
            if (primeTimer >= primeDuration)
            {
                isPriming = false; // Hentikan priming
                // Ubah status pompa menjadi READY
                controller.UpdateActuatorData(0f, "READY");
                // Update log di UI bahwa sistem sudah siap di start
                if (controller.ecuCore.OnECULogUpdate != null)
                {
                    controller.ecuCore.OnECULogUpdate.Invoke("[SYSTEM] Target Fuel Pressure tercapai. Mode Standby aktif.");
                }
            }
        }
    }
}
```

Gambar 4.14 Skrip StandByState

Metode UpdateState pada kelas ini menangani logika simulasi tekanan bahan bakar menggunakan mekanisme perhitungan waktu (*timer*). Sistem akan mengakumulasi waktu menggunakan *Time.deltaTime* hingga mencapai durasi *priming* yang telah ditentukan, yaitu 2 detik. Setelah batas waktu tersebut terpenuhi, sistem secara otomatis menghentikan fase *priming*, memperbarui status aktuator menjadi "READY", dan mengirimkan notifikasi ke sistem log.

Pada skrip ColdStart, bisa dilihat di Gambar 4.15, implementasi *IEngineState* difokuskan pada kondisi awal hidup mesin setelah pengguna menekan tombol *start*. Saat *state* ini pertama kali dipanggil melalui metode *EnterState*, simulasi melakukan *reset timer* starter dan mencatat log sistem bahwa *Engine Oil Temperature* (EOT) terdeteksi pada 25°C. Kemudian diikuti dengan *update log message*, data aktuator, serta animasi berurutan yang memetakan urutan kerja sistem dari sensor menuju injektor yang diiringi efek suara dinamo starter. Selama proses *cranking* di dalam metode *UpdateState*, sistem menambahkan waktu ke *timer* menggunakan *Time.deltaTime* sekaligus mengalkulasi simulasi fluktuasi RPM awal. Begitu durasi starter mencapai batas dua detik, *state machine* secara otomatis menransisikan sistem ke fase mesin menyala (*running*).



Hak Cipta :

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

```

2 references
public class ColdStart : IEngineState
{
    public float crankTimer = 0f;
    public float startDuration = 2f;
    2 references
    public void EnterState(EFIController controller)
    {
        crankTimer = 0f;
        string logMessage = "[SYSTEM] Suhu EOT dingin (25°C). Strategi Open Loop: Fast Idle Enrichment aktif.";
        controller.ecuCore.OnECULogUpdate.Invoke(logMessage);
        controller.UpdateActuatorData(12f, "ACTIVE");

        string theMode = "Cold Start";
        controller.SendEngineStatusUpdate(theMode.ToUpper());
        controller.TriggerVisualSequencer[...];
        controller.PlayStarterSound();
    }
    2 references
    public void UpdateState(EFIController controller)
    {
        crankTimer += Time.deltaTime;
        //2. Efek visual cranking (starter)
        controller.ColdStartRPMRange();
        //3. Logika Pindah State
        if (crankTimer >= startDuration)
        {
            controller.TransitionToState(new Running());
        }
    }
}

```

Gambar 4.15 Skrip ColdStart

Sebagai penutup siklus operasional dalam media pembelajaran simulasi injeksi ini, kelas OffState seperti pada Gambar 4.16 merepresentasikan kondisi ketika pengguna mematikan mesin. Saat sistem memasuki fase ini, metode EnterState bertugas memperbarui status mesin menjadi "OFF STATE", mengatur nilai beban aktuator menjadi nol ("OFF"), serta menghentikan *looping* audio mesin utama. Metode UpdateState kemudian mengambil alih untuk memberikan nuansa deselerasi mesin yang realistis dengan menerapkan kalkulasi fisika (ApplyRPMPhysics dan ApplySpeedPhysics) untuk menurunkan putaran mesin dan kecepatan secara perlahan. Begitu putaran mesin (RPM) telah melemah dan turun di bawah angka 5, sistem akan mendeteksinya lalu mengirimkan log final yang menginformasikan bahwa daya telah diputus dan seluruh sensor beserta aktuator kembali dalam keadaan *offline*. Sebuah mekanisme *flag boolean* (hasLoggedStop) diimplementasikan pada tahap ini untuk menjamin bahwa log penutup tersebut hanya dikirimkan tepat satu kali ke antarmuka pengguna.



Hak Cipta :

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

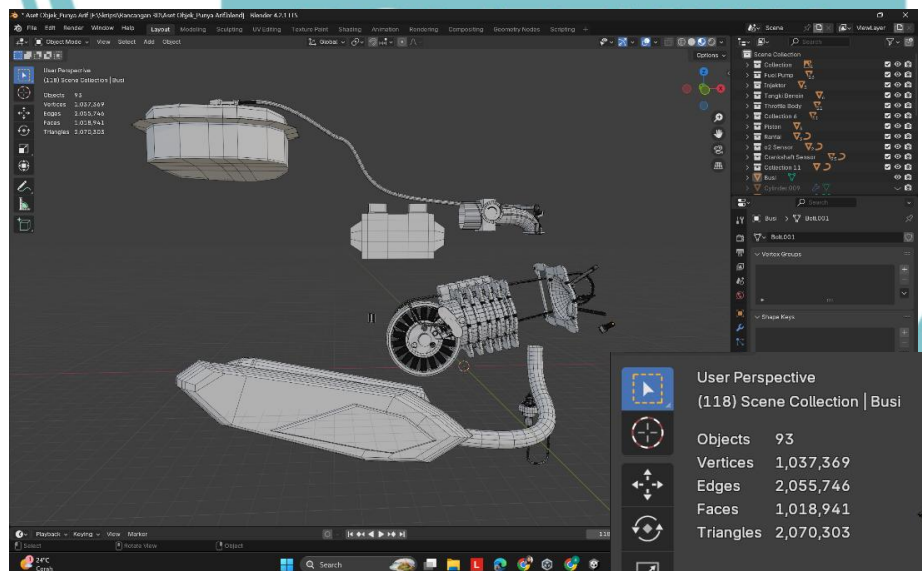
```
public class OffState : IEngineState
{
    private bool hasLoggedStop = false;
    2 references
    public void EnterState(EFIController controller)
    {
        string theMode = "Off State";
        controller.SendEngineStatusUpdate(theMode.ToUpper());
        controller.UpdateActuatorData(0f, "OFF");
        hasLoggedStop = false;
        controller.StopEngineLoop();
    }
    2 references
    public void UpdateState(EFIController controller)
    {
        controller.ApplyRPMPhysics(0f, 2.0f);
        controller.ApplySpeedPhysics(0f);

        if (controller.GetCurrentRPM() < 5f && !hasLoggedStop)
        {
            string finalLog = "[SYSTEM] Daya diputus. Seluruh sensor dan aktuator offline.";
            controller.SendLiveLogUpdate(finalLog);
            hasLoggedStop = true;
        }
    }
}
```

Gambar 4.16 Skrip OffState

4.3.2 Tahap Pengembangan Akhir

Tahap pengembangan akhir dimulai dengan menerima aset model mentah 3D dari *3D artist*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.17, jumlah poligon sangat melebihi batas standar, maka dari itu perlu dilakukan pengecekan pada seluruh komponen dan memfilter komponen mana yang sudah memenuhi *requirement* dan yang masih memerlukan modifikasi.



Gambar 4.17 Model 3D Mentah

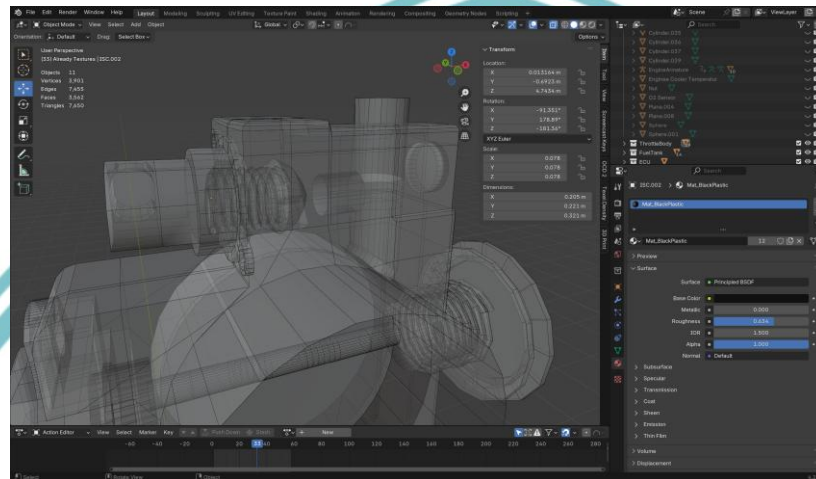
Modifikasi tambahan pertama dilakukan pada komponen *throttle body*, khususnya pada bagian ISC, dengan menambahkan detail *pintle valve* pada



Hak Cipta :

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

Gambar 4.18. Penambahan detail ini sangat penting karena ISC memegang peranan utama dalam mengatur jalur masuk udara saat katup utama (*main valve*) tertutup. Nantinya, komponen ini akan dilapisi dengan *shader* hologram transparan, sehingga seluruh detail pergerakan animasi mekanis di dalamnya dapat terlihat jelas oleh pengguna di dalam simulator..



Gambar 4.18 Model 3D *Throttle Body*

Selain penambahan detail ISC, pengembang juga menambahkan detail komponen poros engkol karena bagian ini terhubung langsung dengan piston sehingga diperlukan detail komponen pendukungnya. Hasil pemodelan 3D dan struktur komponen pendukung tersebut dapat dilihat pada *viewport* Blender di Gambar 4.19 berikut:



Gambar 4.19 Model 3D Poros Engkol

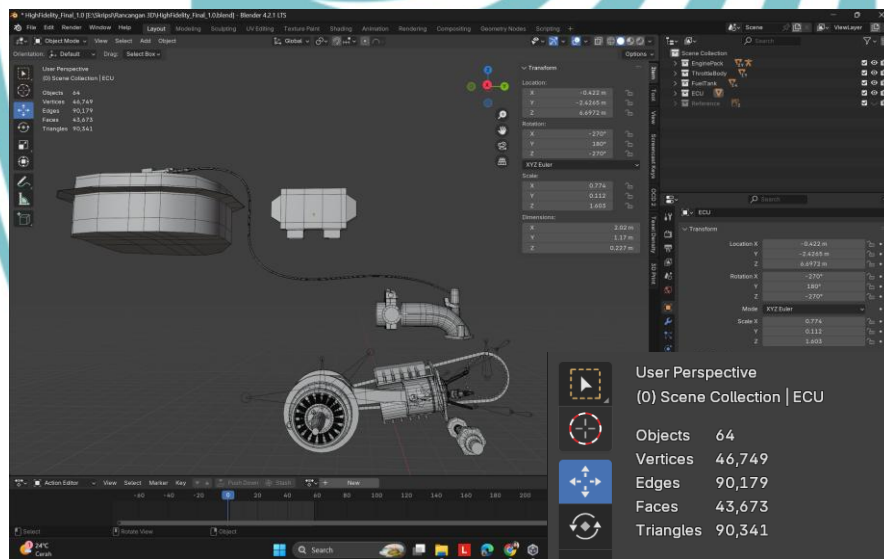


Hak Cipta:

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

Setelah pemodelan detail selesai, model tersebut melalui proses optimasi dan modifikasi agar memenuhi spesifikasi teknis simulator EFI. Fokus utama dari optimasi ini adalah mereduksi jumlah poligon (*polycount*) pada model mentah untuk menyesuaikan standar performa aplikasi *augmented reality* (AR) pada perangkat *mobile*, di mana batas maksimal poligon ditetapkan pada angka 100.000 *tris*.

Selain optimasi, modifikasi struktural juga diterapkan pada beberapa bagian. Pada bagian blok tengah mesin, model dipotong menjadi setengah bagian. Modifikasi ini disesuaikan dengan spesifikasi rancangan simulator EFI sebelumnya agar ruang bakar mesin dapat terlihat secara visual selama simulasi berlangsung. Hasil dari proses optimasi model bisa dilihat pada Gambar 4.20 di bawah, jumlah poligon secara keseluruhan sudah memenuhi standar di kurang dari 100 ribu poligon.



Gambar 4.20 Model 3D Final

Langkah selanjutnya adalah tahap *texturing*. Sebelum *texturing* dilakukan di Substance Painter, model melalui proses penyeleksian material (*material selection*) untuk memisahkan setiap komponen penyusunnya. Pada Gambar 4.21, model 3D komponen mesin EFI dipersiapkan dengan membagi dan mendaftarkan beberapa selot material yang berbeda pada *mesh*.

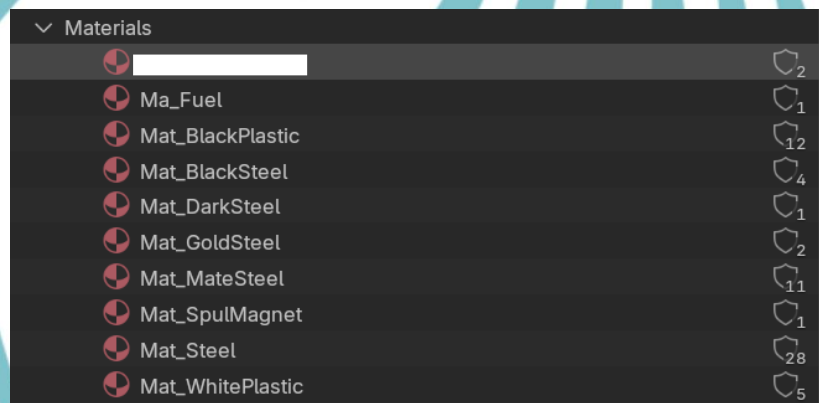


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Penamaan material ini diklasifikasikan secara spesifik berdasarkan karakteristik fisik komponen aslinya. Klasifikasi tersebut mencakup berbagai jenis material logam (seperti `Mat_Steel`, `Mat_BlackSteel`, `Mat_DarkSteel`, `Mat_GoldSteel`, dan `Mat_MateSteel`), material plastik (`Mat_BlackPlastic` dan `Mat_WhitePlastic`), serta material khusus komponen mesin lainnya (seperti `Mat_SpulMagnet` dan `Mat_Fuel`). Pembagian slot material ini berfungsi sebagai identitas pengelompokan (*masking*). Saat model 3D diekspor dan diimpor ke dalam Substance 3D Painter, setiap material yang telah didefinisikan tersebut akan dideteksi secara otomatis dan dipisahkan ke dalam *texture set list*. Mekanisme ini diperlukan untuk memudahkan proses pemberian tekstur secara terisolasi pada bagian-bagian mesin tertentu tanpa saling tumpang tindih.



Gambar 4.21 Material Komponen Objek 3D EFI

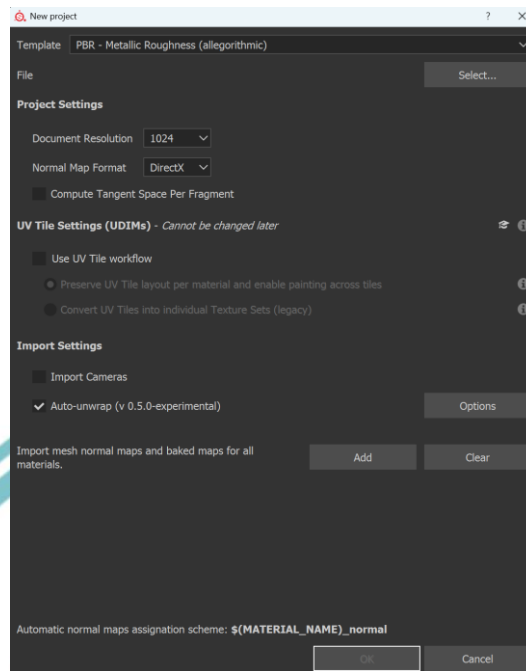
Proses pemberian tekstur kemudian dilanjutkan menggunakan perangkat lunak Substance 3D Painter. Pada tahap inisialisasi proyek seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22, model 3D diimpor dengan mengaktifkan fitur *auto-unwrap*. Penggunaan fitur ini bertujuan untuk menghasilkan pemetaan UV (*UV mapping*) secara otomatis, sehingga dapat mempersingkat waktu produksi secara signifikan. Selain itu, parameter resolusi dokumen (*document resolution*) secara spesifik ditetapkan pada angka 1024 piksel guna memenuhi standar optimasi perangkat seluler.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

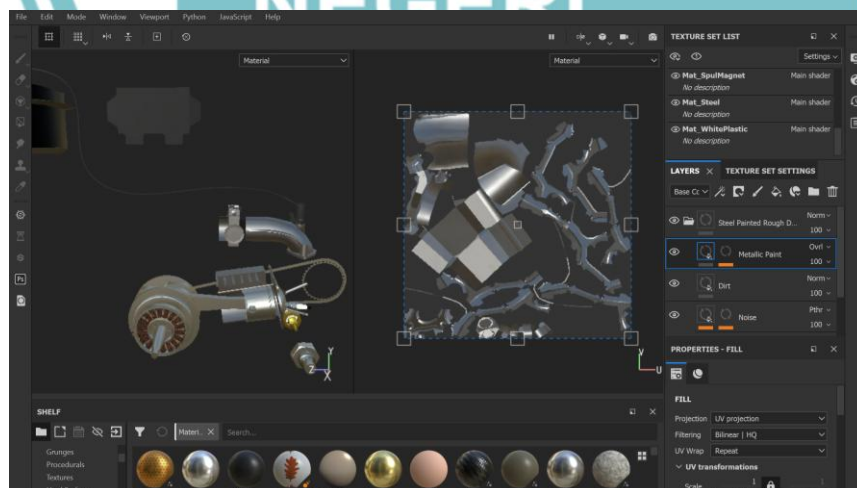
Hak Cipta :

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



Gambar 4.22 *Import Settings* 3D Model di Substance Painter

Pada tahapan ini, daftar material yang telah diimpor (*Texture Set List*) diproses secara individual menggunakan *texturing tools* pada Substance 3D Painter. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.23, implementasi tekstur dibangun secara berlapis. *Texturing* diawali dengan penentuan dasar (*base material*) logam atau plastik, yang kemudian ditumpuk dengan penggunaan *Smart Materials*.



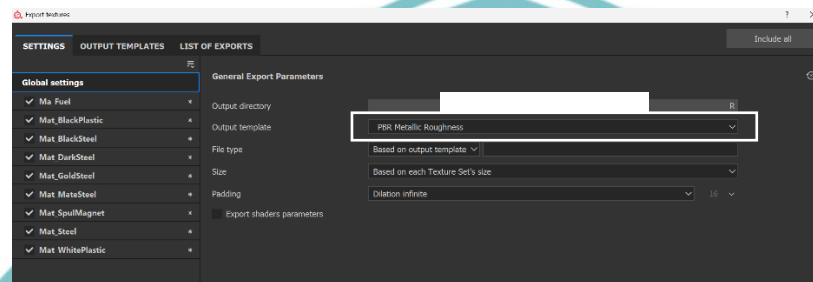
Gambar 4.23 Proses *Texturing*



Hak Cipta :

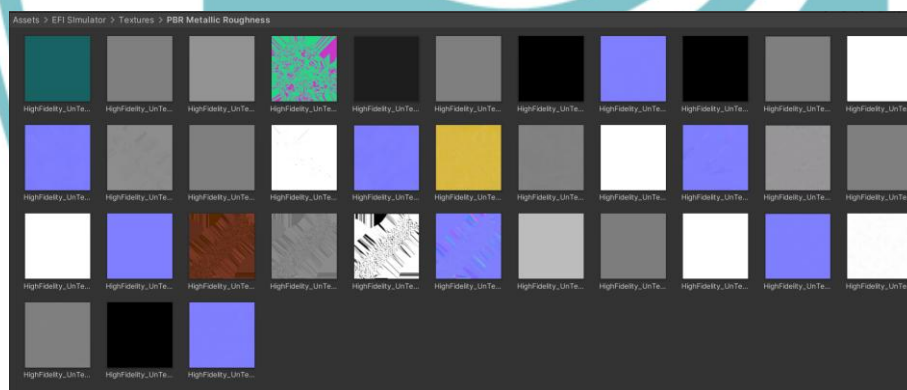
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Untuk kebutuhan integrasi, tekstur diekspor menggunakan pengaturan templat standar Unity dengan format PBR *Metallic Roughness*, seperti pada Gambar 4.24 di bawah. Pemilihan format ini bertujuan untuk menjaga konsistensi kalkulasi cahaya pada material saat diimplementasikan ke dalam *material shader* Unity.



Gambar 4.24 *Export Settings* Substance Painter

Pada Gambar 4.25 berikut adalah *output texture* yang dihasilkan dari format PBR *Metallic Roughness* untuk semua material yang sudah didefinisikan pada Gambar 4.17 sebelumnya



Gambar 4. 25 *File* Tekstur PBR *Metallic Roughness*

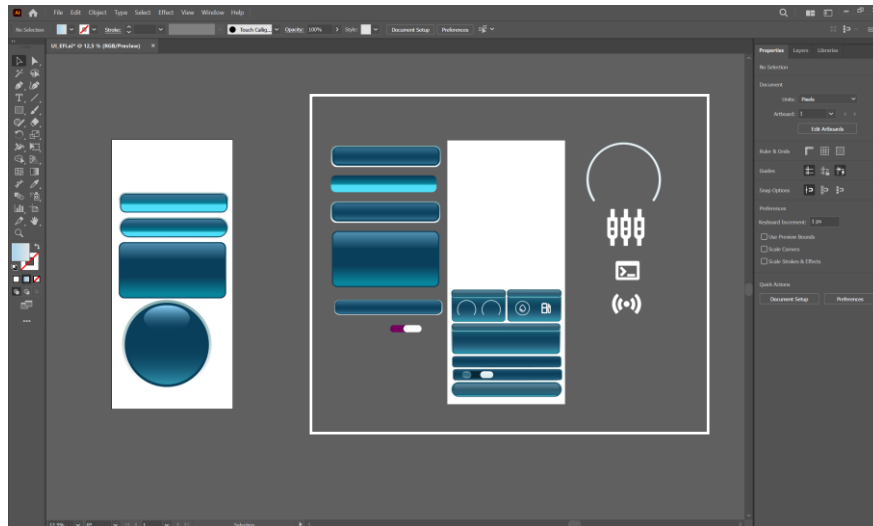
Beralih ke tahap pengembangan antarmuka, proses produksi aset *user interface* (UI) menggunakan perangkat lunak Adobe Illustrator sesuai dengan desain pada *wireframe* dan *color palette* utama aplikasi ini, pengeditan dilakukan seperti pada Gambar 4.26 berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

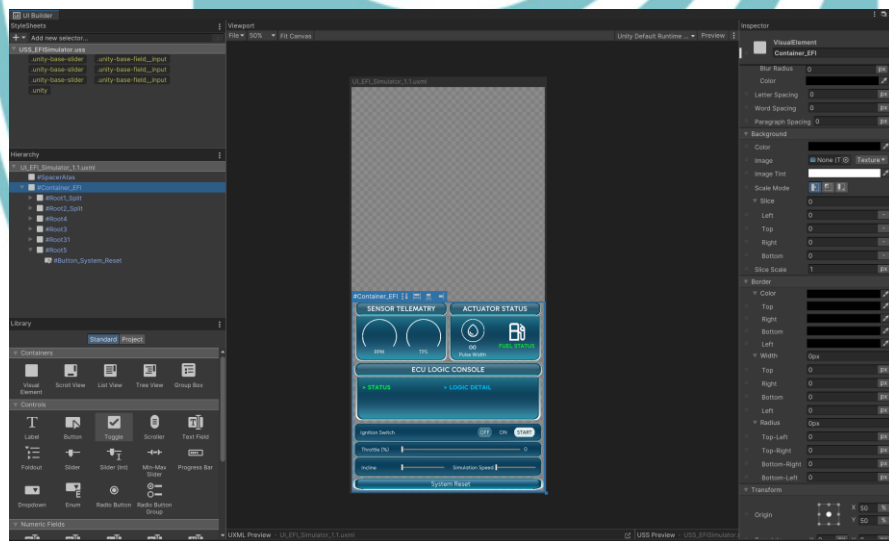
Hak Cipta :

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



Gambar 4.26 Perancangan UI

Aset-aset UI tersebut kemudian diimpor dan disusun secara presisi di dalam Unity menggunakan sistem UI Builder. Hasil penyusunan aset UI ini bisa dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Perancangan UI Builder

Setelah antarmuka pengguna berhasil disusun menggunakan UI Builder, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan elemen visual tersebut dengan logika simulasi melalui pendekatan arsitektur MVVM (Model-View-ViewModel). Dimulai dari skrip EFIIInputViewModel bertindak sebagai ViewModel yang menjembatani interaksi pengguna (View) dengan sistem inti simulasi mesin (Model). Saat sistem diaktifkan melalui metode OnEnable, skrip ini melakukan



Hak Cipta :

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

binding atau pengikatan terhadap elemen-elemen dokumen UI, seperti *slider* untuk mengontrol bukaan gas (*throttle*), sudut kemiringan kendaraan, dan kecepatan simulasi, serta memetakan tombol-tombol sistem pengapian (Off, On, Start). Setiap perubahan nilai pada elemen antarmuka ini akan ditangkap oleh fungsi *callback* (seperti *OnGasChanged* atau *OnInclineChangedEvent*) dan diteruskan sebagai *UnityEvent* agar dapat direspons secara *real-time* oleh *controller* simulasi (Gambar 4. 28).

```

namespace EFISimulationModule
{
    // Unity Script (3 asset references) | 0 references
    public class EFIInputViewModel : MonoBehaviour
    {
        public UnityEvent<float> OnThrottleChanged;
        public UnityEvent<float> OnInclineChanged;
        public UnityEvent<int> OnIgnitionChanged;
        public UnityEvent<float> OnTimeScaleChanged;

        private UIDocument uiDocument;

        private Slider gasSlider;
        private Slider inclineSlider;
        private Slider simulationSpeed;

        private Button btnOff;
        private Button btnOn;
        private Button btnStart;
        private Button btnReset;

        [Header("UI Audio System")]
        public AudioSource uiAudioSource;
        public AudioClip buttonClickSound;

        private int currentIgnitionState = 0;
        // Unity Message | 0 references
        private void OnEnable() { ... }
        // Unity Message | 0 references
        private void OnDisable() { ... }

        //fungsi callback yang dipanggil di onEnable
        private void OnTimeChangedEvent(ChangeEvent<float> evt) { ... }
        private void OnGasChanged(ChangeEvent<float> evt) { ... }
        private void OnInclineChangedEvent(ChangeEvent<float> evt) { ... }
        private void SetIgnitionState(int newState) { ... }
        private void ReturnToOnState() { ... }
        private void UpdateIgnitionVisuals(int state) { ... }
        private void ResetAllSystems() { ... }
        private void PlayButtonSound() { ... }
    }
}

```

Gambar 4.28 Skrip EFIInputViewModel

Selain itu, untuk menyelaraskan logika pengapian yang menyerupai sistem kunci kontak kendaraan asli, dibuat fungsi *SetIgnitionState* (Gambar 4.29). Pada metode *SetIgnitionState*, sistem menerapkan validasi untuk mencegah pengguna



Hak Cipta :

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

menyalakan mesin ("START") langsung dari kondisi mati ("OFF") tanpa melewati fase "ON" (*priming/standby*) terlebih dahulu.

```
5 references
private void SetIgnitionState(int newState)
{
    // Cegah dari OFF langsung ke START (harus lewat ON dulu seperti engine asli)
    if (currentIgnitionState == 0 && newState == 2)
    {
        Debug.LogWarning("Harus putar ke ON dulu sebelum START!");
        return;
    }

    currentIgnitionState = newState;
    UpdateIgnitionVisuals(newState);
    OnIgnitionChanged?.Invoke(newState); // Kirim ke EngineCore/Controller

    // --- LOGIKA PEGAS (SPRING RETURN) UNTUK STARTER ---
    if (newState == 2)
    {
        // Jika tombol START ditekan, simulasikan dinamo berputar 1.5 detik
        // Lalu otomatis kembalikan kunci ke posisi ON (1)
        Invoke(nameof(ReturnToOnState), 1.5f);
    }
}
```

Gambar 4.29 Fungsi SetIgnitionState

Selain itu, terdapat mekanisme *spring return* (pegas kembali otomatis) yang diatur menggunakan fungsi *invoke* (Gambar 4.29). Saat tombol "START" ditekan, status *cranking* ditahan selama 1,5 detik untuk menyimulasikan durasi putaran dinamo *starter*, sebelum akhirnya sistem memanggil metode *ReturnToOnState* untuk mengembalikan kunci secara otomatis ke posisi "ON" (Gambar 4.30).

```
1 reference
private void ReturnToOnState()
{
    // Hanya kembali ke ON jika pengguna tidak mematkannya (OFF) di tengah jalan
    if (currentIgnitionState == 2)
    {
        SetIgnitionState(1);
    }
}
```

Gambar 4.30 Fungsi ReturnToOnState

skrip ini juga mengelola umpan balik (*feedback*) bagi pengguna secara visual dan audio. Pembaruan visual ditangani oleh metode *UpdateIgnitionVisuals*, yang secara dinamis memodifikasi warna lapisan (*tint color*) dan tingkat opasitas (*opacity*) pada tombol UI untuk menyoroti status mesin yang sedang aktif saat ini (Gambar 4.31).



Hak Cipta :

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

```
2 references
private void UpdateIgnitionVisuals(int state)
{
    Color inactiveColor = new Color(1f, 1f, 1f, 0f);
    Color activeColor = new Color(1f, 1f, 1f, 1f);

    // Reset semua tint color ke inactive (redup/transparan)
    btnOff.style.unityBackgroundImageTintColor = new StyleColor(inactiveColor);
    btnOn.style.unityBackgroundImageTintColor = new StyleColor(inactiveColor);
    btnStart.style.unityBackgroundImageTintColor = new StyleColor(inactiveColor);
    btnStart.style.color = new StyleColor(color.white);

    // Highlight tombol yang aktif dengan opacity full
    switch (state)
    {
        case 0: // OFF
            btnOff.style.unityBackgroundImageTintColor = new StyleColor(activeColor);
            break;
        case 1: // ON
            btnOn.style.unityBackgroundImageTintColor = new StyleColor(activeColor);
            break;
        case 2: // START
            btnStart.style.unityBackgroundImageTintColor = new StyleColor(activeColor);
            btnStart.style.color = new StyleColor(color.black);
            break;
    }
}
```

Gambar 4.31 Fungsi UpdateIgnitionVisuals()

Dari sisi audio, metode PlayButtonSound memanfaatkan fungsi PlayOneShot untuk mengeksekusi efek suara klik tombol (Gambar 4.32). Pendekatan ini memastikan bahwa jika pengguna menekan tombol berulang kali dalam waktu singkat, suara yang dihasilkan akan tumpang tindih secara alami tanpa memotong klip audio yang sedang berjalan.

```
1 reference
private void PlayButtonSound()
{
    if (uiAudioSource != null && buttonClickSound != null)
    {
        // PlayOneShot digunakan agar jika tombol diklik sangat cepat,
        // suaranya menumpuk dan tidak saling memotong.
        uiAudioSource.PlayOneShot(buttonClickSound);
    }
}
```

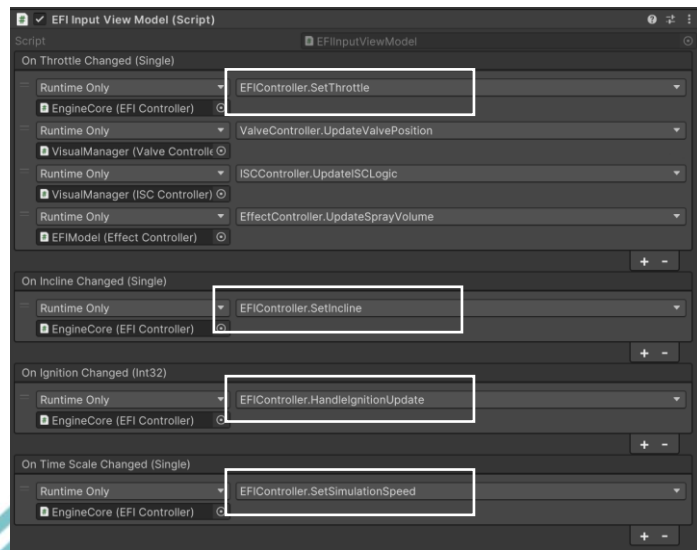
Gambar 4.32 Fungsi PlayButtonSound()

Karena skrip ini bertugas sebagai fasilitator *input*, di mana ia akan menyiarkan perintah (*broadcast*) menggunakan UnityEvent tanpa memproses logika mesin apa pun (Gambar 4.33). Siaran *event* inilah yang kemudian ditangkap oleh EFIController selaku pendengar (*subscriber*). Sebagai "otak" sistem, EFIController merespons *event* tersebut dengan mengeksekusi kalkulasi algoritma EFI. Selain itu juga ada objek visual *input* lainnya yang merespons *input* tersebut, seperti fungsi untuk *update* bukaan *valve*, gerakan ISC dan *spray* volume injektor.



Hak Cipta :

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



Gambar 4.33 Tampilan Unity Event EFIViewModel

Input dan sistem utama sudah selesai, selanjutnya adalah bagaimana sistem visual seperti jarum RPM dan visual *dashboard* UI lainnya bisa bergerak, yaitu dengan membuat skrip terpisah lagi yang menjembatani sistem utama yaitu EFIController dan EngineCoreECU untuk diteruskan ke visual *dashboard* tersebut. Dalam hal ini, pengembang membuat 2 skrip yang menangani visual *output*, yaitu skrip EFIDashboardViewModel dan skrip EFIDashboardView. Keduanya memiliki peranan masing-masing yaitu EFIDashboardViewModel menjadi jembatan antara visual UI dengan data mentah dari sistem utama, seperti nilai *rpm*, kecepatan dan lainnya. Sehingga, skrip EFIDashboardViewModel ini pada dasarnya bertindak sebagai penerjemah yang memproses data kalkulasi numerik kasar dari ECU ke dalam *dashboard* visual *output*. Setelah hasil kalkulasi dinamika fisika diselesaikan, *controller* menyerahkan pembaruan data tersebut kepada EngineCore_ECU melalui pemanggilan fungsi *setter* spesifik (misalnya SetCurrentRPM atau SetPulseWidth) seperti pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35. Di titik inilah ECU mengambil alih peran sebagai manajer data pusat (*central state manager*).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

```

// Unity Script (1 asset references) | 14 references
public class EFIController : MonoBehaviour
{
    public IEngineState currentState;

    public EngineCore_ECU ecuCore;
    public VisualSequenceManager visualManager;

    public float currentThrottle;
    public float currentIncline;
    // public bool isEngineOn = false;

    [Header("Engine Audio Sources")]
    public AudioSource audioFuelPump; // Suara dengungan saat kunci ON
    public AudioSource audioStarter; // Suara dinamo starter
    public AudioSource audioEngineIdle;
    public AudioSource audioEngineRev; // Suara mesin menyala (Idle & Revving)
    public AudioSource audioEngineStop; // Suara mesin mati (Ngenpos)

    // Unity Message | 0 references
    private void Start()
    {
        // Unity Message | 0 references
        private void Update()
        {
            // 0 references
            public void HandleIgnitionUpdate(int state)
            {
                // 0 references
                public void SetThrottle(float value)
                {
                    // 0 references
                    public void SetIncline(float value)
                    {
                        // 2 references
                        public float GetIdleRPM() => ecuCore.idleRPM;
                        // 2 references
                        public float GetMaxRPM() => ecuCore.maxRPM;
                        // 4 references
                        public float GetCurrentRPM() => ecuCore.currentRPM;
                        // 2 references
                        public void ApplyRPMPhysics(float targetRPM, float dynamicInertia)
                        {
                            float newRPM = Mathf.Clamp(ecuCore.currentRPM, targetRPM, ref ecuCore.rpmVelocity, dynamicInertia);
                            ecuCore.SetCurrentRPM(newRPM);
                        }
                        // 2 references
                        public void ApplySpeedPhysics(float targetSpeed)
                        {
                            float newSpeed = Mathf.Clamp(ecuCore.currentSpeed, targetSpeed, ref ecuCore.speedVelocity, ecuCore.accelerationTime);
                            ecuCore.SetCurrentSpeed(newSpeed);
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

Gambar 4.34 Skrip EFIController

```

public void ColdStartRPMRange()
{
    float crankRPM = Random.Range(900f, 950f);
    ecuCore.SetCurrentRPM(crankRPM);
}

// 2 references
public void SendLiveLogUpdate(string logMessage)
{
    // 5 references
    public void SendEngineStatusUpdate(string statusMode)
    {
        // 5 references
        public void TriggerVisualSequencer(string mode, string[] inMsgs, string procMsg, string outMsg)
        {
            //baru
            // 0 references
            public void SetSimulationSpeed(float speedValue)
            {
                // 5 references
                public void UpdateActuatorData(float pulseWidth, string pumpStatus)
                {
                    if (ecuCore != null)
                    {
                        ecuCore.SetPulseWidth(pulseWidth);
                        ecuCore.SetFuelPumpStatus(pumpStatus);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

Gambar 4.35 Lanjutan Skrip EFIController

Dalam arsitektur simulasi ini, ECU tidak lagi melakukan perhitungan berat, melainkan difokuskan sebagai pusat penyimpanan data dan penyiar *event* (*event broadcaster*). Ketika menerima pembaruan data dari *controller* melalui fungsi spesifik seperti *SetCurrentRPM* atau *SetPulseWidth*, ECU terlebih dahulu melakukan validasi batas nilai. Proses validasi ini memanfaatkan fungsi *Mathf.Clamp* untuk memastikan putaran mesin tidak melebihi batas maksimal (*maxRPM*), serta *Mathf.Max* untuk mencegah nilai durasi aktuator menjadi negatif (Gambar 4.36).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

```

Unity Script (3 asset references) | 6 references
public class EngineCore_ECU : MonoBehaviour
{
    public float idleRPM = 1500f;
    public float maxRPM = 9500f;

    // ===== ...
    2 references
    public float CurrentPulseWidth { get; private set; }
    2 references
    public string CurrentFuelPumpStatus { get; private set; }

    [HideInInspector] public float currentRPM;
    [HideInInspector] public float currentSpeed;
    [HideInInspector] public float rpmVelocity = 0f;
    [HideInInspector] public float speedVelocity = 0f;

    [Header("Vehicle Dynamic")]
    [SerializeField] public float accelerationTime = 2.0f;

    public Action<float> OnRPMCalculated;
    public Action<float> OnSpeedCalculated;
    public Action<float> OnPulseWidthCalculated;

    public UnityEvent<string> OnECULogUpdate;
    public UnityEvent<string> OnEngineStatusUpdate;
    public UnityEvent<string> OnFuelPumpChanged;

    3 references
    public void SetCurrentRPM(float rpm)
    {
        currentRPM = Mathf.Clamp(rpm, 0f, maxRPM);
        OnRPMCalculated.Invoke(currentRPM);
    }

    1 reference
    public void SetCurrentSpeed(float speed)
    {
        currentSpeed = Mathf.Max(0f, speed);
        OnSpeedCalculated.Invoke(currentSpeed);
    }

    1 reference
    public void SetPulseWidth(float ms)
    {
        CurrentPulseWidth = Mathf.Max(0f, ms); // tidak mungkin minus
        OnPulseWidthCalculated?.Invoke(CurrentPulseWidth);
    }

    1 reference
    public void SetFuelPumpStatus(string status)
    {
        CurrentFuelPumpStatus = status;
        OnFuelPumpChanged?.Invoke(CurrentFuelPumpStatus);
    }
}

```

Gambar 4.36 Skrip EngineCore_ECU

Data yang telah divalidasi tersebut kemudian disimpan dengan menerapkan prinsip enkapsulasi melalui atribut akses *property* private set pada C# (Gambar 4.36). Pendekatan ini memastikan bahwa data krusial dapat dibaca oleh seluruh sistem, namun terlindungi dari modifikasi langsung oleh skrip eksternal. Segera setelah data diperbarui, ECU secara otomatis memicu pemanggilan *event*, baik menggunakan *delegate* (*action*) untuk data berkecepatan tinggi seperti *RPM*, maupun *UnityEvent* untuk pembaruan teks log status. Mekanisme penyiaran *event* inilah yang menjembatani komunikasi data menuju *EFIDashboardViewModel*, sehingga antarmuka visual pengguna dan elemen



Hak Cipta :

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

augmented reality dapat terus tersinkronisasi secara presisi dengan kondisi simulasi mesin.

Secara mekanis, skrip EFIDashboardViewModel mengelola pendaftaran *event* (*event subscription*) dengan memanfaatkan metode *OnEnable* untuk mendaftarkan listener pada pemancar ECU, serta metode *OnDisable* untuk melepaskan pendaftaran tersebut. Saat menerima aliran data numerik mentah dari ECU, ViewModel menjalankan proses translasi dan pemformatan pada gambar 4.37, seperti membulatkan nilai desimal menggunakan fungsi *Mathf.RoundToInt* dan merangkainya menjadi tipe data *string* dengan format teks yang utuh.

```

53 // LOGIKA PENERJEMAHAN & FORMATTING
54 //
55 2 references
56 public void ProcessRPMDData(float rawRPM)
57 {
58     int currentIntRPM = Mathf.RoundToInt(rawRPM);
59     if (currentIntRPM != lastDisplayedRpm)
60     {
61         // 1. Format angka mentah menjadi teks
62         string formattedRPMTText = currentIntRPM.ToString() + " RPM";
63
64         // 2. Siarkan teksnya untuk Label
65         OnRPMTTextchanged?.Invoke(formattedRPMTText);
66         lastDisplayedRpm = currentIntRPM;
67
68         // 3. Siarkan angka mentahnya untuk dikalkulasi sudut rotasinya oleh View
69         OnRPMTValueChanged?.Invoke(rawRPM);
70     }
71
72 2 references
73 public void ProcessLogData(string logMessage)
74 {
75     if (logMessage != lastDisplayedLog)
76     {
77         OnECULogTextchanged?.Invoke(logMessage);
78         lastDisplayedLog = logMessage;
79     }
80
81 2 references
82 public void ProcessSpeedData(float rawSpeed)
83 {
84     if (rawSpeed != lastDisplayedSpeedData)
85     {
86         int currentIntSpeed = Mathf.RoundToInt(rawSpeed);
87         // 1. Format angka mentah menjadi teks
88         string formattedSpeedText = currentIntSpeed.ToString() + " KM/H";
89
90         // 2. Siarkan teksnya untuk Label di UI Builder
91         OnSpeedTextchanged?.Invoke(formattedSpeedText);
92         lastDisplayedSpeedData = currentIntSpeed;
93
94         // 3. Siarkan angkanya untuk sudut rotasi
95         OnSpeedValueChanged?.Invoke(rawSpeed);
96     }
97
98 2 references
99 public void ProcessStatusData(string statusData)
100 {
101     OnEngineStatusTextchanged?.Invoke(statusData);
102 }

```

Gambar 4.37 Skrip EFIDashboardViewModel

Pada tahap akhir, keluaran data yang telah diproses ini disiarkan kembali melalui delegasi fungsional (*action*) (Gambar 4.38), yang secara spesifik memisahkan saluran pengiriman data teks untuk pembaruan label UI dan saluran data desimal



Hak Cipta :

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

murni untuk keperluan kalkulasi pergerakan sudut rotasi jarum kecepatan dan RPM.

```

Unity Script (3 asset references) | 1 reference
public class EFIDashboardViewModel : MonoBehaviour
{
    public EngineCore_ECU engineCore;
    public Action<string> OnRPMTxtChanged;
    public Action<float> OnRPMValueChanged; // Khusus untuk hitungan sudut jarum
    public Action<string> OnECULogTextChanged;
    public Action<float> OnSpeedValueChanged;
    public Action<string> OnSpeedTextChanged;
    public Action<string> OnEngineStatusTextChanged;
    public Action<float> OnPulseWidthValueChanged;
    public Action<string> OnFuelPumpStatusChanged;
}

```

Gambar 4.38 Delegasi Fungsional EFIDashboardViewModel

Sebagai tahap akhir dari arsitektur eksekusi visual, sinyal data final yang disiarkan oleh EFIDashboardViewModel diterima dan divisualisasikan oleh skrip EFIDashboardView. Pada fase inisialisasi, skrip melakukan pencarian dan pengikatan (*querying*) terhadap elemen-elemen antarmuka spesifik (seperti *Label* dan *VisualElement*) menggunakan metode *root.Q* seperti pada gambar 4.39 berikut.

```

EFIDashboardView.cs | EFIDashboardViewModel.cs | EFIDashboardController.cs | EFIDashboardInputView.cs | EngineState.cs | Running
Assembly-CSharp
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
private Coroutine sweepCoroutine;
private bool isSweeping = false;
private float lastDisplayedPulseMs = -100f;
@ Unity Message | 0 references
private void OnEnable()
{
    uiDocument = GetComponent<UIDocument>();
    var root = uiDocument.rootVisualElement;
    if (root == null) return;

    // 1. Cari Elemen di UI Builder
    rpmLabel = root.Q<Label>("Text_ValueRPM");
    speedLabel = root.Q<Label>("Text_ValueTPS");
    ecuLogicLabel = root.Q<Label>("Text_ValueLogic");
    needleRPMElement = root.Q<VisualElement>("Container_RPMNeedle");
    needleSpeedElement = root.Q<VisualElement>("Container_SpeedNeedle");
    engineStatusLabel = root.Q<Label>("Text_ValueStatus");

    pulseWidthLabel = root.Q<Label>("Text_ValueInjector");
    pulseImageElement = root.Q<VisualElement>("Image_Pulse");

    fuelPumpLabel = root.Q<Label>("Text_ActivateFuel");
    fuelPumpImageElement = root.Q<VisualElement>("Image_Fuel");

    // 2. Gambar Jarum Vector
    if (needleRPMElement != null)
    {
        needleRPMElement.generateVisualContent += DrawNeedleShape;
    }
    if (needleSpeedElement != null)

```

Gambar 4.39 Querying Elemen UI Skrip EFIDashboardView

Selain melakukan pembaruan teks informasi secara langsung, komponen ini memproses kalkulasi rotasi dinamis untuk elemen jarum. Nilai desimal yang masuk dikonversi menjadi sudut rotasi presisi melalui perhitungan rasio



Hak Cipta :

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

terhadap batas maksimal sistem (`maxRPMLimit` dan `maxSpeedLimit`), yang kemudian diaplikasikan sebagai transformasi rotasi UI (Gambar 4.40).

```
private void UpdateNeedleRPMRotation(float currentRPM)
{
    if (isSweeping) return;
    if (needleRPMElement != null)
    {
        float clampedRPM = Mathf.Clamp(currentRPM, 0f, maxRPMLimit);
        float rpmRatio = clampedRPM / maxRPMLimit;
        float finalAngle = angleAtZeroRPM + (rpmRatio * (angleAtMaxRPM - angleAtZeroRPM));

        needleRPMElement.style.rotate = new Rotate(finalAngle);
    }
}

2 references
private void UpdateSpeedText(string newText)
2 references
private void UpdateNeedleSpeedRotation(float currentSpeed)
{
    if (isSweeping) return;
    if (needleSpeedElement != null)
    {
        float clampedSpeed = Mathf.Clamp(currentSpeed, 0f, maxSpeedLimit);
        float speedRatio = clampedSpeed / maxSpeedLimit;
        float finalAngle = angleAtZeroSpeed + (speedRatio * (angleAtMaxSpeed - angleAtZeroSpeed));

        needleSpeedElement.style.rotate = new Rotate(finalAngle);
    }
}
```

Gambar 4.40 Fungsi UpdateNeedle Skrip EFIDashboardView

Untuk memunculkan jarum penunjuk, skrip ini tidak bergantung pada aset *sprite* atau tekstur resolusi tinggi, disini pengembang memanfaatkan *API Vector Graphics* (*painter2D*) dari ruang lingkup *MeshGenerationContext* untuk menggambar *mesh* jarum secara prosedural langsung di atas kanvas layar (Gamabar 4.41).

```
private void DrawNeedleShape(MeshGenerationContext context)
{
    var painter = context.painter2D;

    if (painter == null) return;
    // 1. Dapatkan ukuran asli elemen RPM_Needle di layar
    float width = context.visualElement.layout.width;
    float height = context.visualElement.layout.height;

    // 2. Cari titik tengah yang tepat (50% X dan 50% Y)
    float centerX = width / 2f;
    float centerY = height / 2f;
    // Warna jarum merah
    painter.fillColor = Color.red;

    // Mulai menggambar (koordinat berbasis Vector2)
    painter.BeginPath();
    painter.MoveTo(new Vector2(centerX, centerY - 3f)); // Atas pangkal
    painter.LineTo(new Vector2(centerX + 50f, centerY)); // Ujung runcing ke kanan
    painter.LineTo(new Vector2(centerX, centerY + 3f)); // Bawah pangkal
    painter.ClosePath();

    // Isi warna
    painter.Fill();
}
```

Gambar 4.41 Fungsi DrawNeedleShape()

Untuk meningkatkan kedalaman interaksi (*user experience*), skrip ini juga mendelegasikan animasi *time-based* menggunakan *Coroutine*, meliputi animasi sinematik *gauge sweep* yang dipicu saat mesin memasuki status *Standby*, serta



Hak Cipta :

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

animasi denyut indikator (*pulsing*) pada panel injektor yang frekuensinya secara matematis beradaptasi secara *real-time* dengan durasi *Pulse Width*.

```
private IEnumerator PulseAnimationCoroutine()
{
    while (true)
    {
        // Semakin besar ms , animasinya semakin cepat (jeda semakin kecil)
        float animSpeed = Mathf.Clamp(10f / currentPulseMs, 0.05f, 0.5f);

        if (pulseImageElement != null)
        {
            yield return new WaitForSeconds(animSpeed);
        }

        if (pulseImageElement != null)
        {
            yield return new WaitForSeconds(animSpeed);
        }
    }
}

// references
private void UpdateFuelPumpVisuats(string status)

// =====
4 references
private void DrawNeedleShape(MeshGenerationContext context)

// =====
private IEnumerator GaugeSweepAnimation()
{
    isSweeping = true;

    float sweepDuration = 0.8f; // Waktu jarum naik (0.8 detik)
    float elapsed = 0f;

    // FASE 1: JARUM NAIK MENTOK
    while (elapsed < sweepDuration)
    {
        yield return new WaitForSeconds(0.2f);
    }

    // FASE 2: JARUM TURUN KEMBALI
    elapsed = 0f;
    while (elapsed < sweepDuration)
    {
        yield return new WaitForSeconds(0.2f);
    }

    isSweeping = false;
}
```

Gambar 4.42 Animasi *time-based* menggunakan Coroutine

Hasil implementasi akhir dari antarmuka pengguna tersebut yang sudah diintegrasikan dengan sistem utama dapat dilihat pada gambar 4.43 berikut :



Gambar 4.43 Tampilan akhir EFI Simulator



Hak Cipta :

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

4.3.3 Optimasi performa dan manajemen Memori

Untuk memastikan fitur *augmented reality* (AR) pada EFI Simulator dapat berjalan mulus di perangkat *mobile* tanpa jeda (*stuttering*), dilakukan optimasi memori secara ketat. Hal ini penting mengingat sistem beroperasi menggunakan *real-time rendering* di mana banyak komponen bekerja secara dinamis. Pendekatan optimasi ini difokuskan pada minimalisasi alokasi memori dinamis yang berpotensi memicu lonjakan proses pengumpulan sampah memori (*Garbage Collection Spikes*). Langkah-langkah optimasi ini diimplementasikan dengan merujuk pada standar praktik terbaik (*best practices*) yang tertuang dalam dokumentasi resmi *Unity Manual* mengenai *Scripting Optimization* dan *Memory Management*. Pendekatan optimasi yang dilakukan meliputi :

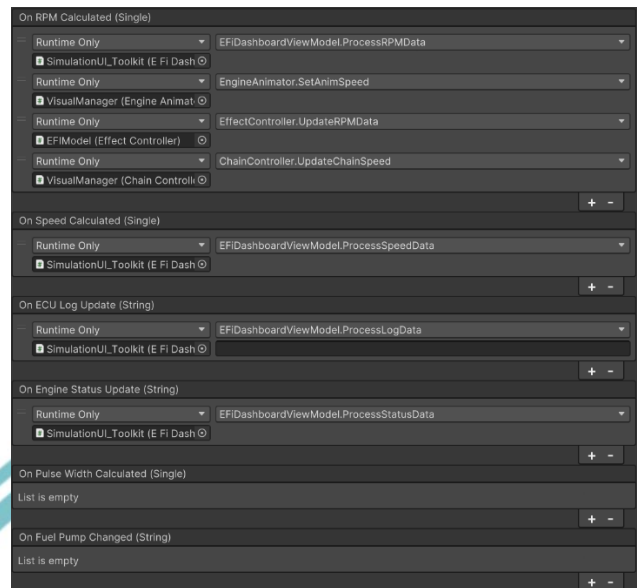
a. Transisi penggunaan UnityEvent ke C# action/delegate

Pada tahap awal pengembangan, skrip EngineCore_ECU menggunakan UnityEvent karena kepraktisannya dalam mengonfigurasi hubungan antar-skrip melalui fitur seret-dan-lepas (*drag-and-drop*) di panel *inspector*, seperti pada Gambar 4.40. Namun, untuk aplikasi berbasis *mobile* dan AR, pemanggilan UnityEvent harus dikurasi dan dihindari untuk eksekusi yang berkelanjutan. Penggunaan UnityEvent yang berulang akan membebani CPU dan menghasilkan alokasi sampah memori (*garbage allocation*) akibat pembuatan objek sementara secara terus-menerus. Jika dieksekusi pada setiap *frame*, memori perangkat akan cepat penuh, memicu *garbage collector* (GC) bekerja paksa, dan berujung pada *stuttering*.



Hak Cipta :

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



Gambar 4.44 Penggunaan Unity Event pada Skrip EngineCore_ECU

Mengacu pada Gambar 4.44, *event* OnRPMCalculated memiliki empat *listener* sekaligus, yaitu EFIDashboardViewModel (UI), EngineAnimator (animasi), EffectController (efek partikel), dan ChainController (visual roda gigi). Meskipun tidak menimbulkan *lag* saat dijalankan di Unity Editor, metode ini memicu *overhead* signifikan pada perangkat *mobile*. Kalkulasi RPM pada EngineCore_ECU dieksekusi secara kontinu saat mesin menyala. Pada *target frame rate* 60 *fps*, fungsi OnRPMCalculated dipanggil 60 kali per detik. Dengan empat *listener* berbasis UnityEvent, Unity dipaksa melakukan *reflection* (proses pencarian fungsi secara dinamis yang memakan daya komputasi) sebanyak 240 kali per detik hanya untuk mendistribusikan sebuah nilai desimal (*float*). Untuk mengatasi *overhead* tersebut, sistem komunikasi antar-skrip diubah menggunakan *C# action* atau *delegate* yang jauh lebih ringan. Merujuk pada panduan arsitektur performa tinggi di Unity, penggunaan delegasi murni (*C# events*) sangat direkomendasikan karena terhindar dari pemborosan daya komputasi akibat pemanggilan berbasis *reflection* yang melekat pada UnityEvent.

- b. Implementasi deteksi perubahan status (*state change detection*)



Hak Cipta :

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

Pendekatan ini mengubah pola eksekusi pembaruan data dari model *level-triggered* (dieksekusi secara kontinu di setiap *frame*) menjadi *edge-triggered* (dieksekusi hanya saat terjadi transisi). Sebelumnya, pada skrip logika seperti `Running.cs`, fungsi penyiaran seperti `SendEngineStatusUpdate`, `SendLiveLogUpdate`, dan `TriggerVisualSequencer` dieksekusi secara berulang di dalam *update loop* (Gambar 4.45). Ini berarti sistem mengirim perintah pembaruan ke UI sebanyak 60 kali per detik untuk informasi yang sebenarnya statis.

```
public void UpdateState(EFIController controller)
{
    CalculateEnginePhysics(controller);
    CalculateVehicleSpeed(controller);
    UpdateLiveLog(controller);
    controller.UpdateEngineSoundPitch(controller.GetCurrentRPM(), controller.GetIdleRPM(), controller.GetMaxRPM());
}
```

Gambar 4.45 Fungsi `UpdateState()` Skrip `Running`

Oleh karena itu diperlukan variabel penyimpanan status terakhir (`lastMode`) (Gambar 4.46). Sehingga eksekusi fungsi-fungsi berat tersebut hanya terjadi tepat pada saat transisi (misal: saat mode berubah dari *idle* ke *hard acceleration*). Setelah mode baru tercapai, sistem akan menghentikan pengiriman instruksi berulang hingga terjadi perubahan status operasi mesin selanjutnya (Gambar 4.47).

```
2 references
public class Running : IEngineState
{
    public float lastThrottle = 0f;
    private string lastMode = "";
    2 references
}
```

Gambar 4.46 Variabel Penyimpan Status

```
if (currentMode != lastMode)
{
    controller.SendEngineStatusUpdate(currentMode.ToUpper());
    controller.SendLiveLogUpdate(logMessage);
    if (currentMode == "Heavy Load")
    {
        controller.TriggerVisualSequencer(
            currentMode,
            new string[] {
                "[TPS] High (80%)",
                "[ECU] Alpha-N Logic",
                "[INJECTOR] Rich (Torque)"
            }
        );
    }
    else if (currentMode == "ENGINE Breaking")...
    else if (currentMode == "Hard Acceleration")...
    else if (currentMode == "Eco Cruising")...
    else currentMode = "Idle/Langsam";
    lastMode = currentMode;
}
```

Gambar 4.47 Penerapan *Edge Triggered*



Hak Cipta :

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

c. Penerapan Value Caching pada Lapisan Antarmuka (UI)

Pada skrip EFIDashboardViewModel, data RPM dan kecepatan dipancarkan oleh ECU berupa nilai desimal presisi tinggi (sebagai contoh berfluktuasi dari 1500.12f menjadi 1500.25f). Awalnya, data ini dikonversi secara langsung menjadi teks menggunakan metode `.ToString()` setiap *frame* (Gambar 4.48). Hal ini memaksa antarmuka sistem (UI) untuk menerjemahkan dan memperbarui teks 60 kali per detik, meskipun tidak ada perubahan angka bulat secara visual.

```
string formattedRPMTText = rawRPM.ToString("F0") + " RPM";
```

Gambar 4.48 Konversi desimal ke teks

Proses pembuatan *string* baru secara konstan ini menciptakan tumpukan *garbage allocation* yang masif namun tidak terlihat. Sebagai solusinya, diterapkan mekanisme *value caching* dengan cara menyimpan nilai bilangan bulat terakhir yang dicetak ke layar (Gambar 4.49). Pembaruan instruksi ke UI kini hanya dieksekusi jika nilai angka aktual mengalami perubahan yang signifikan dari nilai *cache* terakhir, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.50 berikut. Mekanisme *caching* ini merujuk pada pedoman manajemen memori C#, di mana pembatasan alokasi instansiasi tipe data *string* di dalam siklus *update loop* terbukti esensial dalam menekan interupsi kinerja dari *garbage collector*.

```
private int lastDisplayedRpm = -1;
private int lastDisplayedSpeedData = -1;
```

Gambar 4.49 Variabel penyimpan nilai *integer*

```
public void ProcessRPMDData(float rawRPM)
{
    int currentIntrRPM = Mathf.RoundToInt(rawRPM);
    if (currentIntrRPM != lastDisplayedRpm)
    {
        // 1. Format angka mentah menjadi teks
        string formattedRPMTText = currentIntrRPM.ToString() + " RPM";

        // 2. Siarkan teksnya untuk Label
        OnRPMTTextChanged?.Invoke(formattedRPMTText);
        lastDisplayedRpm = currentIntrRPM;
    }
}
```

Gambar 4.50 Penerapan Mekanisme Value Caching

4.3.4 Kolaborasi Internal Pengembang

Untuk memfasilitasi proses kolaborasi dan memastikan manajemen kode berjalan secara terstruktur, pengembang sistem AR dan pengembang fitur



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

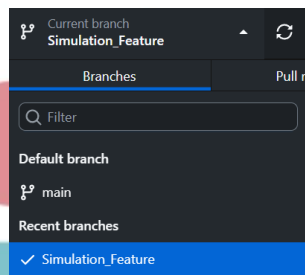
Hak Cipta :

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

simulasi memanfaatkan *Version Control System* (VCS) berbasis repositori daring, yakni GitHub. Repositori GitHub tersebut dapat diakses melalui tautan berikut:

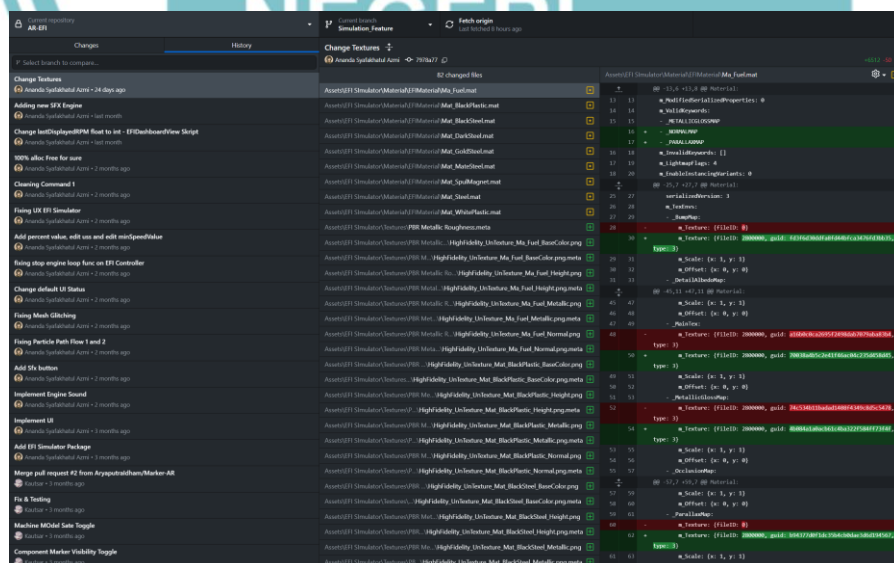
https://github.com/AryaputraIdham/AR-EFI/tree/Simulation_Feature/

Dalam proses pelaksanaannya, alur kerja dipisahkan menggunakan *branch* (cabang repositori) yang berbeda antara pengembang fitur simulasi dan pengembang sistem utama, bisa dilihat pada gambar 4. 51



Gambar 4. 51 Cabang Repositori AR EFI

Pemisahan *branch* ini diterapkan agar setiap pengembang dapat berfokus pada tugas masing-masing tanpa mengganggu stabilitas kode sumber dari anggota tim yang lain. Setiap riwayat pembaruan modifikasi kode (*commit history*) dari masing-masing pengembang direkam dan dapat dipantau secara transparan melalui sistem kontrol versi, seperti yang terlihat pada Gambar 4.52.



Gambar 4. 52 Tampilan Riwayat *Commit* pada *Branch* *Simulation_Feature*



4.4 Pengujian

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan, fungsionalitas, dan kualitas dari sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) Simulator yang telah dikembangkan. Pengujian ini dibagi menjadi tiga tahap utama yaitu *alpha testing* untuk memastikan fungsionalitas sistem bebas dari *bug*, *expert review* untuk memvalidasi kualitas media dan materi pembelajaran, serta *beta testing* untuk mengukur tingkat pengalaman pengguna (*user experience*) langsung dari target pengguna, yaitu siswa.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Berikut adalah langkah - langkah dan instrumen yang digunakan pada setiap tahap pengujian :

1. *Alpha testing*

Pengujian dilakukan secara internal oleh pengembang menggunakan metode *black-box testing*. Pengujian ini berfokus pada eksekusi *test case* untuk memastikan setiap fungsi berjalan sesuai dengan rancangan.

2. *Expert review*

Pengujian kelayakan sistem melibatkan dua ahli. uji ahli media dilakukan oleh Erland Fathurrahman selaku *virtual specialist* industri dari Esco Life Sciences Group, dan uji ahli materi dilakukan oleh Kasroh selaku guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor di SMK N 1 Bumijawa. Instrumen yang digunakan adalah *Learning Object Review Instrument* (LORI) yang disesuaikan, menggunakan skala Likert 1-5. Parameter LORI dibagi dua sesuai ranah keahlian masing-masing pakar. Uraian butir instrumen penilaian untuk masing-masing pakar dapat dilihat secara lengkap pada Lampiran E untuk ahli media dan Lampiran F untuk ahli materi.

3. *Beta testing*

Pengujian ini melibatkan 71 responden siswa. Responden berasal dari 3 kelas berbeda, yaitu kelas XI TSM 1, XI TSM 2, XI TSM 3.

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

Secara teknis, pengujian diawali dengan pemberian arahan singkat terkait cara pengoperasian aplikasi dan bagaimana pengisian kuesioner. Selanjutnya siswa diarahkan untuk melakukan instalasi aplikasi di perangkat masing-masing melalui pemindaian kode QR atau menggunakan *flashdisk*. Siswa kemudian di berikan waktu sekitar 30 menit untuk mengeksplorasi seluruh fitur aplikasi termasuk fitur simulasi 3D EFI. Setelah pengujian selesai, dilanjutkan untuk mengisi kuesioner UEQ yang terdiri dari 26 butir pernyataan dalam format pasangan kata sifat yang saling berlawanan (*semantic differential*) untuk menangkap kesan langsung (*immediate impression*) dan reaksi spontan pengguna saat berinteraksi dengan fitur 3D simulasi EFI (Schrepp, 2023). Berdasarkan buku pedoman UEQ, 26 pernyataan UEQ terbagi dalam 6 aspek pengukuran dan terbagi dalam 3 dimensi utama, penjelasannya sebagai berikut:

1. Kualitas impresi keseluruhan

Dimensi ini mengukur daya tarik sistem secara umum, yang terdiri dari 6 butir pernyataan:

- 1) Daya tarik (*attractiveness*): Mengukur kesan awal pengguna, apakah mereka menyukai atau tidak menyukai aplikasi simulator ini secara keseluruhan. Aspek ini diwakili oleh butir pernyataan nomor:
 1. 1 (menyusahkan – menyenangkan) : Menilai apakah proses eksplorasi mesin 3D terasa menyenangkan atau justru membebani
 2. 12 (baik – buruk) : Persepsi subjektif siswa terhadap kualitas visual dan performa aplikasi secara umum.
 3. 14 (tidak disukai – menggembirakan) : Respons emosional siswa saat pertama kali berinteraksi dengan simulasi sistem EFI.
 4. 16 (tidak nyaman – nyaman) : Tingkat kenyamanan visual saat melihat antarmuka dan aset 3D dalam waktu lama.



Hak Cipta :

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

5. 24 (atraktif – tidak atraktif) : Penilaian terhadap daya tarik estetika tata letak dan desain aplikasi.
 6. 25 (ramah pengguna – tidak ramah pengguna) : Kesan terhadap keramahan sistem bagi pengguna awam.
2. Kualitas pragmatis
 Dimensi ini berfokus pada aspek teknis, kemudahan penyelesaian tugas, dan fungsionalitas simulasi 3D. Terdiri dari 12 butir pernyataan yang dibagi menjadi 3 aspek:
 - 1) Kejelasan (*perspicuity*): Mengukur seberapa mudah pengguna memahami cara kerja dan antarmuka aplikasi tanpa kebingungan. Diwakili oleh butir nomor:
 1. 2 (tak dapat dipahami – dapat dipahami) : Kemudahan dalam mencerna visualisasi alur kelistrikan dan logika data mesin.
 2. 4 (mudah dipelajari – sulit dipelajari) : Waktu dan usaha yang dibutuhkan siswa untuk menguasai navigasi UI dan visual 3D yang ditampilkan.
 3. 13 (rumit – sederhana) : Seberapa baik aplikasi mampu menyederhanakan cara kerja sistem mekanis yang aslinya kompleks.
 4. 21 (jelas – membingungkan) : Kejelasan instruksi, label komponen, dan tata letak UI Simulasi
 - 2) Efisiensi (*efficiency*): Mengukur tingkat kecepatan dan kepraktisan pengguna dalam mengoperasikan parameter simulasi tanpa usaha kognitif yang berlebih. Diwakili oleh butir nomor:
 1. 9 (cepat – lambat) : Tingkat responsivitas aplikasi saat pengguna mengubah parameter simulasi.
 2. 20 (tidak efisien – efisien) : Kemudahan dan kecepatan pengguna dalam menemukan komponen mesin spesifik yang ingin diobservasi.



Hak Cipta :

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

3. 22 (tidak praktis – praktis) : Nilai guna kepraktisan mode simulasi interaktif dibandingkan dengan buku cetak.
 4. 23 (terorganisasi – berantakan) : Kerapian penyusunan elemen antarmuka dan hierarki ruang 3D.
- 3) Ketepatan (*dependability*): Mengukur sejauh mana pengguna merasa memegang kendali penuh atas sistem selama pengoperasian. Aspek ini menilai apakah interaksi berjalan lancar (bebas dari hambatan atau *error* sistem), serta apakah aplikasi mampu memberikan respons yang akurat, konsisten, dan sesuai dengan ekspektasi pengguna ketika mereka memanipulasi parameter simulasi mesin. Diwakili oleh butir nomor:
1. 8 (tak dapat diprediksi – dapat diprediksi) : Konsistensi reaksi animasi 3D terhadap *input* yang diberikan pengguna.
 2. 11 (menghalangi – mendukung) : Seberapa baik fungsionalitas alat dalam aplikasi mendukung tercapainya tujuan observasi mesin.
 3. 17 (aman – tidak aman) : Stabilitas sistem yang terbebas dari kendala teknis (seperti *bug* atau *crash*) saat digunakan secara intensif.
 4. 19 (memenuhi ekspektasi – tidak memenuhi ekspektasi) : Kesesuaian akurasi simulasi dengan prinsip kerja sistem injeksi di dunia nyata
3. Kualitas hedonis
- Dimensi ini berkaitan dengan aspek psikologis, kesenangan, dan dampak emosional saat menggunakan aplikasi. Terdiri dari 8 butir pernyataan yang dibagi menjadi 2 aspek:



Hak Cipta :

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

- 1) Stimulasi (*stimulation*): Mengukur seberapa besar aplikasi ini mampu memotivasi dan memicu ketertarikan siswa dalam mempelajari materi sistem EFI. Diwakili oleh butir nomor:
 1. 5 (bermanfaat – kurang bermanfaat) : Persepsi siswa terhadap nilai tambah aplikasi bagi pemahaman akademik mereka di luar jam bengkel.
 2. 6 (membosankan – mengasyikkan) : Kemampuan simulasi interaktif dalam memecah kebosanan belajar metode konvensional.
 3. 7 (tidak menarik – menarik) : Daya pikat materi kelistrikan yang disajikan melalui medium 3D
 4. 18 (memotivasi – tidak memotivasi) : Dorongan psikologis yang terbangun untuk mengeksplorasi cara kerja mesin lebih jauh secara mandiri.
- 2) Kebaruan (*novelty*): Mengukur tingkat inovasi dan seberapa kreatif desain simulasi 3D serta integrasi AR yang disajikan dibandingkan dengan metode konvensional. Diwakili oleh butir nomor:
 1. 3 (kreatif – monoton) : Penilaian terhadap kreativitas penyajian elemen internal mesin yang biasanya statis atau tersembunyi.
 2. 10 (berdaya cipta – konvensional) : Tingkat orisinalitas alat bantu pembelajaran ini dibandingkan dengan alat peraga fisik biasa.
 3. 15 (lazim – terdepan) : Menilai apakah teknologi visualisasi 3D yang disajikan terasa kekinian dan canggih bagi siswa.
 4. 26 (konservatif – inovatif) : Penilaian terhadap terobosan medium edukasi yang ditawarkan secara keseluruhan.

Pemetaan ke-26 butir pernyataan tersebut kemudian akan diolah menggunakan perangkat analisis data UEQ untuk mendapatkan nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi dan *benchmark* dari masing-masing



Hak Cipta :

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

aspek guna menentukan tingkat pengalaman pengguna terhadap fitur 3D Simulasi EFI.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

a. Hasil *alpha testing*

Pengujian fungsionalitas (*alpha testing*) dilakukan menggunakan metode *black box testing* untuk memastikan setiap *input* dan logika sistem berjalan sesuai dengan rancangan. Untuk memastikan kompatibilitas dan stabilitas, pengujian dieksekusi pada tiga perangkat dengan spesifikasi berbeda, yaitu Samsung Galaxy A26 5G, Samsung Galaxy A15 4G, dan Samsung Galaxy A12. Terdapat 14 skenario pengujian (*test case*) utama yang mencakup interaksi logika *Electronic Fuel Injection* (EFI), sinkronisasi audio, serta pengujian performa. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian:

Tabel 4.7 Hasil *Alpha Testing*

ID Uji	Fitur / Skenario yang Diuji	Hasil Aktual Secara Umum	Status
TC-01	<i>Input logika</i> EFI: <i>ignition switch</i> OFF	Animasi dan audio mesin berhenti, indikator dasbor mati, dan status ECU dalam keadaan OFF.	Valid
TC-02	<i>Input logika</i> EFI: <i>ignition switch</i> ON	Audio <i>fuel pump priming</i> berjalan 2 detik, sistem melakukan cek <i>tachometer</i> , lalu indikator berstatus <i>ready</i> .	Valid



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

TC-03	Input logika EFI: <i>ignition switch</i> START	Audio <i>starter</i> dimainkan, RPM naik ke 1500, status injektor aktif. Catatan: ditemukan bug UI tumpang tindih pada layar Galaxy A12, dan telah dilakukan perbaikan.	Valid (setelah perbaikan)
TC-04	Skenario <i>cold start</i>	Fase <i>cold start</i> berjalan 2 detik sebelum masuk ke status ON.	Valid
TC-05	Kondisi <i>langsam (idle)</i>	Status ECU: <i>IDLE/LANGSAM</i> , RPM stabil dengan animasi <i>pulse width</i> berdenyut lambat (2.2 - 2.8 ms).	Valid
TC-06	Kondisi <i>ECO cruising</i>	Status ECU: <i>ECO CRUISING</i> , <i>pitch audio</i> naik stabil sesuai bukaan gas moderat.	Valid
TC-07	Kondisi <i>hard acceleration</i>	Bukaan gas penuh tiba-tiba memicu status <i>HARD ACCELERATION</i> dengan <i>pulse width</i> melonjak maksimal (10.0 - 13.0 ms).	Valid
TC-08	Kondisi <i>engine braking</i>	Melepas gas mendadak saat RPM tinggi memicu status	Valid



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		<i>ENGINE BRAKING</i> , suplai bahan bakar terputus (0.0 ms) akibat <i>deceleration fuel cut-off</i> (DFCO).	
TC-09	<i>Input throttle slider</i>	Jarum RPM dan <i>speedometer</i> merespons pergerakan <i>slider</i> maju-mundur secara sinkron dan <i>real-time</i> .	Valid
TC-10	<i>Input incline slider</i> (tanjakan)	Tanjakan lebih dari 50% saat gas lebih dari 60% memicu status <i>HEAVY LOAD</i> , jarum RPM tertahan (tertahan beban).	Valid
TC-11	<i>Input simulation speed slider</i>	Kecepatan fisika simulasi (animasi, gerakan jarum) dapat dipercepat atau diperlambat sesuai <i>slider</i> tanpa merusak logika matematika ECU.	Valid
TC-12	Tombol <i>system reset</i>	Menekan tombol <i>reset</i> mematikan mesin total, mengembalikan semua parameter ke nilai 0 tanpa menyebabkan <i>bug</i> visual.	Valid



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

TC-13	Sinkronisasi audio (<i>audio sync</i>)	Transisi suara <i>idle</i> ke <i>running</i> mengalami <i>crossfade</i> yang mulus tanpa suara bertumpuk (<i>overlap</i>).	Valid
TC-14	Pengujian performa & <i>memory leak</i>	Sistem berjalan stabil lebih dari 15 menit dengan <i>frame per second</i> (FPS) konsisten tanpa mengalami <i>overheat</i> , serta tidak ditemukan indikasi kebocoran memori (<i>memory leak</i>) pada <i>inspector</i> .	Valid

b. Hasil *expert review*

Pengujian *expert review* dilakukan untuk memvalidasi kelayakan sistem dari aspek desain media dan kualitas materi pembelajaran. Penilaian diukur menggunakan instrumen *Learning Object Review Instrument* (LORI) dengan skala Likert 1-5 yang telah dikonversi menjadi parameter persentase indeks kelayakan.

1. Uji ahli media

Pengujian kelayakan media dilakukan oleh seorang *virtual specialist* dari PT Esco Lifesciences dengan mengevaluasi 20 butir pernyataan yang mencakup 6 parameter. Secara keseluruhan, evaluasi ahli media memperoleh total skor 92 dari skor maksimal 100, yang menghasilkan nilai indeks kelayakan sebesar 92%. Rincian perolehan skor disajikan pada Tabel 4.8 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.8 Hasil Penilaian Ahli Media

Parameter LORI	Total Skor	Skor Maksimal	Nilai Indeks
<i>Feedback and adaptation</i>	23	25	92%
<i>Presentation design</i>	13	15	86.6%
<i>Interaction usability</i>	15	15	100%
<i>Accessibility</i>	15	15	100%
<i>Reusability</i>	14	15	93.3%
<i>Standards compliance</i>	12	15	80%
Total Keseluruhan	92	100	92%

2. Uji ahli materi

Pengujian keakuratan materi dilakukan oleh guru mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor SMK Negeri 1 Bumijawa dengan mengevaluasi 11 butir pernyataan yang mencakup 3 parameter utama. Secara keseluruhan, evaluasi ahli materi memperoleh total skor 54 dari skor maksimal 55, yang menghasilkan nilai indeks kelayakan sebesar 98%.

Tabel 4.9 Hasil Penilaian Ahli Materi

Parameter LORI	Total Skor	Skor Maksimal	Nilai Indeks
<i>Content quality</i>	19	20	95%
<i>Learning goal alignment</i>	20	20	100%
<i>Motivation</i>	15	15	100%
Total Keseluruhan	54	55	98%

c. Hasil *beta testing*

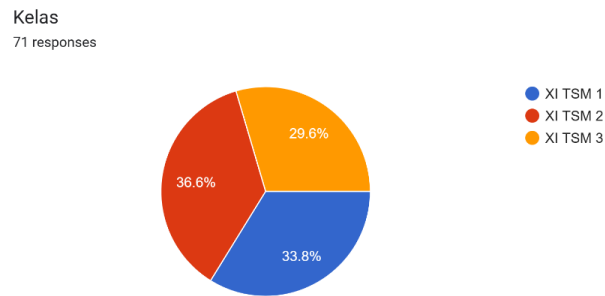
Pengujian langsung (*beta testing*) melibatkan 71 responden siswa menggunakan instrumen kuesioner UEQ. Jumlah



Hak Cipta :

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

responden tersebut didapat dari 3 kelas dengan sebaran data sebagai berikut:



Gambar 4. 53 Sebaran Kuesioner Beta Testing

Berikut adalah kuesioner UEQ yang terdiri dari 26 butir pernyataan yang didasarkan pada format standar asli UEQ dengan rentang skala 1-7.

	1	2	3	4	5	6	7		
menyusahkan	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	menyenangkan	1
tak dapat dipahami	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	dapat dipahami	2
kreatif	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	monoton	3
mudah dipelajari	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	sulit dipelajari	4
bermanfaat	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	kurang bermanfaat	5
membosankan	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	mengasyikkan	6
tidak menarik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	menarik	7
tak dapat diprediksi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	dapat diprediksi	8
cepat	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	lambat	9
berdaya cipta	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	konvensional	10
menghalangi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	mendukung	11
baik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	buruk	12
rumit	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	sederhana	13
tidak disukai	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	menggembirakan	14
lazim	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	terdepan	15
tidak nyaman	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	nyaman	16
aman	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	tidak aman	17
memotivasi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	tidak memotivasi	18
memenuhi ekspektasi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	tidak memenuhi ekspektasi	19
tidak efisien	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	efisien	20
jelas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	membingungkan	21
tidak praktis	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	praktis	22
terorganisasi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	berantakan	23
atraktif	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	tidak atraktif	24
ramah pengguna	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	tidak ramah pengguna	25
konservatif	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	inovatif	26

Gambar 4. 54 Butir Pernyataan UEQ

Penggunaan format *semantic differential* (pasangan kata sifat yang saling berlawanan) tanpa tambahan kalimat deskriptif ini sengaja dipertahankan sesuai dengan pedoman resmi metode UEQ. Pendekatan ini dirancang untuk menangkap kesan langsung (*immediate impression*) pengguna (Schrepp, 2023) terhadap fitur 3D simulasi.



Hak Cipta :

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

Pada Gambar 4.55 berikut merupakan hasil kuesioner dari 71 responden dalam rentang nilai skala likert 1-7.

NO	Items																									
	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
1	4	4	3	5	4	3	4	5	5	3	5	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	5	4	5	4	4
2	7	6	1	2	7	7	7	6	1	1	6	1	6	7	7	6	1	1	1	7	1	7	1	2	1	6
3	7	7	7	7	7	6	7	7	4	4	6	1	5	6	6	6	2	2	2	6	2	6	2	2	2	7
4	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	4	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
5	4	6	6	5	1	4	4	4	5	4	5	2	3	4	4	4	2	3	4	4	5	4	4	4	3	5
6	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
7	7	6	1	2	1	7	7	4	2	1	7	1	6	7	7	7	1	1	1	7	2	7	1	2	1	7
8	4	4	2	4	3	4	6	4	4	4	4	3	5	4	4	4	3	1	3	7	4	6	5	5	3	4
9	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
10	7	7	1	1	1	7	7	1	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
11	6	4	1	3	1	6	7	5	1	7	7	3	6	6	6	6	1	1	1	5	7	7	2	3	2	7
12	6	7	1	1	1	7	7	7	1	5	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	2	1	1	7
13	7	7	1	2	1	7	7	7	1	5	7	1	6	4	4	6	2	2	6	2	6	1	1	1	1	7
14	7	7	7	2	1	7	7	7	1	5	7	1	6	6	4	6	1	2	2	6	3	6	1	1	1	7
15	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
16	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
17	7	7	1	1	1	7	7	6	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
18	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
19	6	6	1	1	1	3	7	7	1	7	7	1	6	7	6	6	1	2	2	7	1	7	1	2	2	7
20	7	7	1	1	1	7	7	7	2	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
21	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
22	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
23	6	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
24	7	7	7	6	7	7	7	6	7	6	7	1	6	7	6	7	1	1	1	7	1	6	1	1	1	7
25	6	7	5	6	7	6	7	3	4	7	6	5	7	4	5	6	6	6	6	7	2	3	4	5	6	6
26	7	6	1	1	1	7	7	7	1	3	7	1	7	7	6	6	1	1	2	6	2	6	1	1	1	7
27	4	6	2	2	1	6	6	5	2	6	6	2	6	6	5	5	2	2	6	2	6	2	2	2	2	7
28	7	7	1	1	1	5	7	7	2	1	7	2	6	7	7	7	1	1	1	7	2	7	1	1	1	7
29	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
30	6	6	1	1	1	7	7	7	2	7	7	1	7	7	7	7	1	1	2	7	1	7	1	1	1	7
31	7	7	3	3	1	5	6	6	1	4	6	1	5	6	2	6	1	1	1	7	1	6	1	1	1	7
32	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
33	7	7	4	1	1	7	6	5	2	7	6	2	6	5	4	6	2	1	1	7	1	7	1	1	5	7
34	6	6	1	1	2	7	6	6	2	2	6	2	5	7	6	7	1	1	1	7	2	7	1	2	2	7
35	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
36	7	6	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
37	7	7	1	1	1	7	7	5	1	4	7	1	7	7	5	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
38	5	6	1	1	1	6	7	6	2	6	1	6	6	6	6	6	1	1	1	7	2	7	1	2	1	7
39	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
40	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	2	7
41	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	7	1	1	7	1	7	1	1	1	7
42	7	7	1	1	1	7	7	7	2	2	7	1	7	7	6	7	1	1	1	7	1	7	1	2	1	7
43	6	2	6	6	7	2	2	2	6	6	2	6	2	2	2	2	2	6	6	5	6	2	6	5	6	5
44	4	3	3	4	2	6	7	7	5	3	4	1	4	3	4	7	1	1	1	7	1	4	4	4	4	4
45	7	7	6	6	7	7	7	6	6	7	7	1	7	6	6	6	6	1	1	7	1	7	2	2	1	7
46	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
47	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
48	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
49	6	6	2	2	2	5	6	6	4	4	5	2	5	6	5	6	2	2	1	6	2	6	2	2	2	7
50	7	7	2	2	2	6	6	5	2	3	5	1	5	7	7	7	2	1	1	7	1	7	5	4	3	5
51	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
52	7	7	7	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
53	7	7	1	2	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
54	5	6	7	7	7	2	7	7	1	7	7	1	7	7	6	7	1	1	1	7	2	7	1	1	1	7
55	7	7	1	1	1	7	7	7	7	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
56	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
57	7	7	1	2	1	6	7	7	1	2	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
58	7	5	2	3	1	6	5	6	1	4	5	1	6	6	5	5	2	2	2	6	1	6	1	1	1	4
59	7	7	1	1	1	7	7	4	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
60	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
61	7	7	1	1	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	2	4	7
62	7	7	1	1	1	7	4	7	1	1	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
63	7	7	1	1	3	6	6	6	2	4	7	1	6	7	5	7	1	1	1	6	1	6	1	1	1	4
64	7	7	7	2	1	7	7	7	1	7	7	1	7	7	7	7	1	1	1	7	1	7	1	1	1	7
65	6	6	2	2	1	5	5	5	1	2	6	2	6	5	5	6	2	2	2	6	2	6	2	2	3	6
66	7	7	1	1	1	7	7	7	1	1	7	7	7	7	5	7	7	1	1	7	1	7	7	1	1	7
67	6	5	1	2	1	6	7	5	2	4	6	1	4	6	6	6	2	2	2	6	2	6	2	3	2	6
68	6	6	5	2	2	6	5	5	1	7	6	1	6	4	6	1	1	1	6	1	7	2	2	2	2	6
69	6	7	1	1	1	6	7	6	1	4	7	1	7	6	5	6	2	1	2	6	1	7	2	2	1	4
70	6	6	2	3	2	6	7	5	2	6	6	2	6	6	6	2	3	3	6	2	6	2	2			



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

NO	Items																								
	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
1	0	0	1	-1	0	-1	0	1	-1	1	1	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	1	0	-1	0
2	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3
3	3	3	-3	-3	-3	2	3	0	0	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	0	2	-2	-1	3	0	0	0	-1	0	1	2	-1	0	0	0	2	1	0	0	-1	0	0	0	1
6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	3	2	3	2	3	3	0	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2
8	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	1	3	0	2	-1	-1	1
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
11	2	0	3	1	3	2	1	3	3	-3	3	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	1
12	2	3	3	3	3	3	3	3	3	-1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
13	3	3	2	3	3	3	3	3	-1	3	3	2	3	0	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
14	3	3	-3	2	3	3	3	3	-1	3	3	2	2	0	2	3	2	2	2	2	2	1	2	3	3
15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
19	2	2	3	3	-1	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2
20	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
23	2	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	3	3	-3	-2	-3	3	2	-3	-2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
25	2	3	-1	-2	-3	2	3	-1	0	-3	2	-1	3	0	1	2	-2	-2	-2	3	2	-1	0	-1	-2
26	3	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3
27	0	2	2	2	3	2	2	1	2	-2	2	2	2	2	2	-1	-1	2	2	2	2	2	2	2	2
28	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
29	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
30	2	2	3	3	3	3	3	2	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3
31	3	3	1	1	3	1	2	2	3	0	2	3	1	2	-2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3
32	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
33	3	3	0	3	3	2	1	2	-3	2	2	2	2	1	0	2	2	3	3	3	3	3	3	3	-1
34	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3
35	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
36	3	2	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
37	3	3	3	3	3	3	1	3	0	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
38	1	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3
39	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
41	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
42	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
43	2	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	1	-2	-2	-2	-1	-2
44	0	-1	1	0	2	2	3	-1	1	0	3	0	-1	0	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
45	3	3	-2	-2	-3	3	2	-3	3	3	3	3	2	2	-2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
46	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
47	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
48	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
49	2	2	2	2	1	2	2	0	1	2	1	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
50	3	3	2	2	2	2	1	2	1	1	3	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	-1	0	1
51	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
52	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
53	3	3	3	2	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
54	1	2	-3	-3	-2	3	3	-3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
55	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
56	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
57	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
58	3	1	2	1	3	2	1	2	3	0	1	3	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
59	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
60	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
61	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0
62	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
63	3	3	3	1	2	2	2	2	0	3	3	2	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3
64	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
65	2	2	2	2	3	1	1	1	3	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
66	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	1	3	-3	3	3	3	3	3	3	-3	3
67	2	1	3	2	2	3	1	2	0	2	3	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
68	2	-1	2	2	2	1	1	3	-3	2	3	2	2	0	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2
69	2	3	3	3	2	3	2	3	0	3	3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3
70	2	2	2	1	2	2	3	1	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
71	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

No	Scale means per person					
	Daya tarik	Kejelasan	Efisiensi	Ketepatan	Stimulasi	Kebaruan
1	-0,17	0,25	0,00	0,50	-0,50	0,50
2	2,67	2,25	3,00	2,50	3,00	2,75
3	2,33	0,75	1,50	2,25	1,00	0,50
4	3,00	2,25	3,00	3,00	3,00	3,00
5	0,50	-0,25	-0,25	0,75	1,00	-0,25
6	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
7	2,83	2,00	2,75	2,25	3,00	3,00
8	0,17	0,25	1,00	0,50	1,50	0,50
9	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,25
10	3,00	3,00	3,00	1,50	3,00	3,00
11	1,67	0,00	2,25	2,50	2,75	-0,25
12	2,83	3,00	2,75	3,00	3,00	1,50
13	2,83	2,25	2,50	2,75	2,75	1,25
14	2,67	2,00	2,50	2,75	2,75	-0,25
15	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
16	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
17	3,00	3,00	3,00	2,75	3,00	3,00
18	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
19	2,33	2,50	3,00	2,75	1,75	1,25
20	3,00	3,00	2,75	3,00	3,00	3,00
21	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
22	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
23	2,83	3,00	3,00	3,00	1,50	3,00
24	3,00	1,50	1,25	2,75	1,50	0,00
25	0,00	1,50	0,50	-0,75	0,00	-0,25
26	2,83	2,50	2,50	2,75	3,00	2,25
27	1,50	2,00	2,00	1,00	2,25	1,00
28	2,83	2,50	2,75	3,00	2,50	3,00
29	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
30	2,83	2,75	2,75	2,75	3,00	1,25
31	2,67	2,00	2,75	2,50	2,25	0,50
32	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
33	1,67	2,75	2,75	2,00	2,75	0,00
34	2,33	2,00	2,75	2,50	2,50	2,50
35	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
36	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
37	3,00	3,00	3,00	2,50	3,00	1,75
38	2,17	2,25	2,75	2,50	2,75	2,50
39	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
40	2,83	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
41	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
42	2,83	3,00	2,75	3,00	3,00	2,50
43	-1,17	-2,00	-1,25	-1,75	-2,25	-1,25
44	0,83	0,50	0,50	2,25	2,50	0,50
45	2,50	1,75	1,50	1,50	1,50	-1,50
46	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
47	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
48	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
49	2,00	1,75	1,50	2,00	1,75	1,50
50	2,17	2,25	1,75	1,75	2,25	1,75
51	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
52	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
53	3,00	2,75	3,00	3,00	3,00	1,50
54	2,67	1,00	3,00	3,00	0,25	-0,25
55	3,00	3,00	1,50	3,00	3,00	0,00
56	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
57	3,00	2,75	3,00	3,00	2,75	2,75
58	2,50	1,75	2,50	1,75	2,00	0,75
59	3,00	3,00	3,00	2,25	3,00	3,00
60	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
61	2,33	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
62	3,00	3,00	3,00	3,00	2,25	3,00
63	3,00	2,75	2,25	2,75	2,00	1,00
64	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50
65	1,67	2,00	2,25	1,75	1,75	1,75
66	2,00	3,00	1,50	1,50	3,00	2,50
67	2,00	1,25	2,00	1,75	2,50	1,75
68	2,17	2,25	2,50	2,25	2,00	-0,50
69	2,33	3,00	2,50	2,25	2,75	1,00
70	1,67	1,75	2,00	1,50	2,00	0,25
71	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,25

Gambar 4. 57 Data Mean Per Person

Sebelum perhitungan evaluasi skala dilakukan, tahap pembersihan data diterapkan untuk memastikan bahwa kuesioner tidak diisi secara acak atau sembarangan oleh responden. Berdasarkan mekanisme pada *UEQ data analysis tool*, alat ini mendeteksi ketidakkonsistenan dengan cara membandingkan selisih skor jawaban responden pada butir-butir pernyataan yang mengukur skala yang sama. Jika terdapat

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

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

[illegible]

atau lebih. Berdasarkan data tersebut, maka data yang dinilai tidak konsisten, yaitu respon 5, 44, 45, 54 dan 66. Untuk menjaga kualitas hasil pengujian aplikasi EFI Simulator tersebut harus dieliminasi dari perhitungan.

64 data yang konsisten digunakan untuk analisis metode UEQ. Hasil dari analisis yang dilakukan oleh peneliti tentang pengalaman penggunaan sebuah fitur simulasi menunjukkan bahwa responden menilai fitur tersebut dengan baik. Ini ditunjukkan oleh *mean* dari 26 butir pertanyaan yang menunjukkan penilaian positif (*mean* lebih dari 0,8), bisa dilihat pada Gambar 4.58. Berdasarkan fakta bahwa sebagian besar item



Hak Cipta :

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

pada UEQ dengan penilaian positif juga akan memiliki penilaian positif pada enam skala UEQ, data dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Item	Mean	Variance	Std. Dev.	No.	Left	Right	Scale
1	2,6	0,7	0,8	64	menyusahkan	menyenangkan	Daya tarik
2	2,5	0,9	1,0	64	tak dapat dipahami	dapat dipahami	Kejelasan
3	2,4	2,2	1,5	64	kreatif	monoton	Kebaruan
4	2,4	1,2	1,1	64	mudah dipelajari	sulit dipelajari	Kejelasan
5	2,7	0,8	0,9	64	bermanfaat	kurang bermanfaat	Stimulasi
6	2,4	1,3	1,1	64	membosankan	mengasyikkan	Stimulasi
7	2,5	1,4	1,2	64	tidak menarik	menarik	Stimulasi
8	2,2	1,6	1,3	64	tak dapat diprediksi	dapat diprediksi	Ketepatan
9	2,4	1,6	1,3	64	cepat	lambat	Efisiensi
10	0,4	6,1	2,5	64	berdaya cipta	konvensional	Kebaruan
11	2,6	0,8	0,9	64	menghalangi	mendukung	Ketepatan
12	2,7	0,7	0,8	64	baik	buruk	Daya tarik
13	2,3	1,1	1,1	64	rumit	sederhana	Kejelasan
14	2,5	0,9	1,0	64	tidak disukai	menggembirakan	Daya tarik
15	1,9	2,8	1,7	64	lazim	terdepan	Kebaruan
16	2,5	0,9	1,0	64	tidak nyaman	nyaman	Daya tarik
17	2,6	0,9	0,9	64	aman	tidak aman	Ketepatan
18	2,7	0,8	0,9	64	memotivasi	tidak memotivasi	Stimulasi
19	2,6	0,7	0,8	64	memenuhi ekspektasi	tidak memenuhi ekspektasi	Ketepatan
20	2,7	0,5	0,7	64	tidak efisien	efisien	Efisiensi
21	2,5	1,4	1,2	64	jelas	membingungkan	Kejelasan
22	2,7	0,7	0,8	64	tidak praktis	praktis	Efisiensi
23	2,6	1,1	1,1	64	terorganisasi	berantakan	Efisiensi
24	2,4	1,1	1,1	64	atraktif	tidak atraktif	Daya tarik
25	2,5	1,1	1,1	64	ramah pengguna	tidak ramah pengguna	Daya tarik
26	2,0	3,0	1,7	64	konservatif	inovatif	Kebaruan

Gambar 4. 59 Hasil Mean dari 26 butir pertanyaan UEQ

Dalam penelitian ini setiap komponen dari UEQ dalam fitur simulasi ini memiliki nilai positif, sedangkan komponen yang bernomor 10 yang dianggap berdayacipta atau konvensional memiliki nilai evaluasi yang netral bernilai 0,4 dan termasuk kedalam skala novelty (kebaruan).

Tabel 4. 10 Hasil Evaluasi UEQ

UEQ Scales	Mean	Standard Deviation
Daya tarik	2,54	0,83
Kejelasan	2,44	0,95
Efisiensi	2,57	0,82
Ketepatan	2,50	0,84
Stimulasi	2,57	0,87
Kebaruan	1,69	1,16

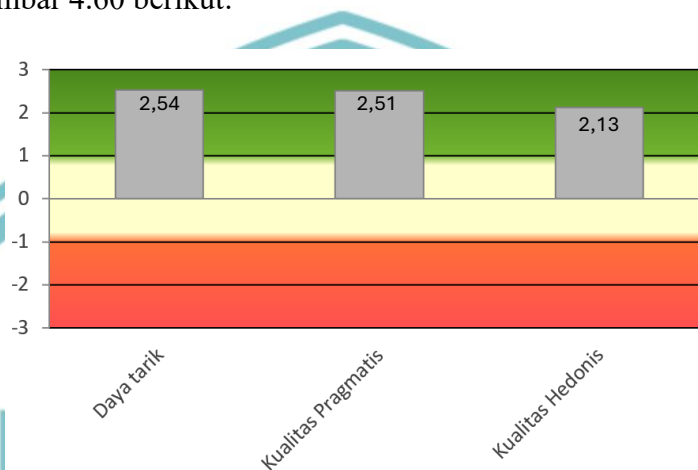
Berdasarkan Tabel 4.10, dapat dilihat bahwa skala efisiensi dan stimulasi memperoleh nilai rata – rata tertinggi sebesar 2,57. Selain enam skala utama, UEQ juga memetakan metrik tersebut



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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ke dalam kelompok kualitas pragmatis (*pragmatic quality*) yang meliputi aspek kejelasan, efisiensi dan ketepatan, serta kualitas hedonis (*hedonic quality*) yang meliputi aspek stimulasi dan kebaruan. Hasil pengelompokan kualitas ini dapat dilihat pada Gambar 4.60 berikut:



Gambar 4. 60 Hasil Rata-Rata Kelompok Kualitas Pragmatis dan Hedonis

Gambar 4.60 menunjukkan bahwa kualitas pragmatis simulator ini lebih unggul dibandingkan kualitas hedonisnya, dengan skor mencapai 2,51 untuk kualitas pragmatis. Lebih lanjut, pengujian ini juga menghasilkan data *benchmark* untuk mengukur sejauh mana kualitas sistem EFI Simulator ini secara keseluruhan jika dibandingkan dengan produk-produk lain yang ada pada *dataset* UEQ. Detail hasil klasifikasi dan interpretasi untuk setiap skala pengujian disajikan pada Tabel 4.11 di bawah ini:

Tabel 4. 11 Benchmark Hasil Beta Testing

Skala pengukuran	Rata-rata	Comparisson to benchmark	Interpretation
Daya tarik	2,54	Excellent	In the range of the 10% best results
Kejelasan	2,44	Excellent	In the range of the 10% best results



Hak Cipta :

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

Efisiensi	2,57	<i>Excellent</i>	<i>In the range of the 10% best results</i>
Ketepatan	2,50	<i>Excellent</i>	<i>In the range of the 10% best results</i>
Stimulasi	2,57	<i>Excellent</i>	<i>In the range of the 10% best results</i>
Kebaruan	1,69	<i>Excellent</i>	<i>In the range of the 10% best results</i>

4.4.4 Analisis Data/Evaluasi Pengujian

a. Analisis *alpha testing*

Berdasarkan serangkaian uji fungsionalitas yang telah dilakukan pada tiga perangkat dengan rentang spesifikasi *hardware* yang berbeda, sistem simulasi AR dapat disimpulkan sangat baik untuk digunakan di berbagai perangkat mobile android. Seluruh logika *state machine* ECU (*idle*, *eco cruising*, *hard acceleration*, hingga *engine braking*) merespons *input* pengguna dengan akurat dan menerjemahkannya ke dalam animasi komponen, pergerakan instrumen UI, serta sinkronisasi audio yang presisi.

Pada pengujian di perangkat dengan spesifikasi layar tertentu (Samsung Galaxy A12), tes TC-03 sempat mendeteksi adanya malfungsi visual berupa elemen *UI Start* yang tertutup oleh komponen UI lainnya. Namun, isu tersebut telah melalui proses perbaikan, sehingga fungsi interaksi kembali normal.

Secara khusus, pada skenario pengujian TC-14 terkait performa, aplikasi menunjukkan stabilitas yang sangat baik. Simulasi yang dijalankan secara terus-menerus selama lebih dari 15 menit dengan intensitas manipulasi UI yang tinggi tidak memicu terjadinya indikasi kebocoran memori (*memory leak*). Stabilitas *frame rate* (55-60 FPS dengan V-Sync On) dapat dipertahankan



Hak Cipta :

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

secara konsisten di berbagai perangkat keras, yang secara tidak langsung membuktikan bahwa arsitektur pemrograman yang digunakan telah berhasil meminimalisasi beban *garbage collection* selama *runtime*.

b. Analisis *expert review*

Berdasarkan hasil pengujian *expert review*, fitur *Electronic Fuel Injection* (EFI) Simulator mendapatkan penilaian yang sangat positif dari kedua pakar, dengan nilai indeks kelayakan di atas 90%. Merujuk pada kriteria skala persentase kelayakan, hasil tersebut menempatkan media pembelajaran AR ini pada kategori "sangat layak" atau "sangat valid" untuk digunakan.

Pada penilaian uji ahli media, sistem memperoleh persentase akhir sebesar 92%. Nilai tertinggi diraih pada parameter *Interaction Usability* dan *Accessibility* yang mendapatkan nilai sempurna (100%). Pencapaian ini membuktikan bahwa navigasi, fungsi komponen antarmuka (seperti *slider* dan tombol), keterbacaan tipografi, serta kontras warna pada objek 3D telah dirancang secara intuitif dan sangat presisi saat dioperasikan menggunakan perangkat *smartphone*. Parameter *Standards Compliance* merupakan aspek dengan perolehan skor terendah (80%). Namun, persentase tersebut masih berada dalam kategori kelayakan yang tinggi, menunjukkan bahwa manajemen memori, jumlah poligon objek 3D, serta arsitektur modul telah memenuhi standar kepatuhan teknis pengembangan *software*.

Pada penilaian uji ahli materi, sistem memperoleh apresiasi yang hampir sempurna dengan indeks akhir 98%. Aplikasi simulasi ini dinilai sangat tepat sasaran dengan perolehan nilai 100% pada parameter *Learning Goal Alignment* dan *Motivation*. Hal ini mengonfirmasi bahwa alur logika simulasi dan skenario operasional yang dibangun telah sepenuhnya selaras dengan



Hak Cipta :

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

kurikulum teknik sepeda motor. Selain itu, umpan balik visual 3D interaktif yang disajikan terbukti sangat efektif dalam menyederhanakan konsep mekanika abstrak sistem EFI, sehingga dinilai mampu menumbuhkan minat dan motivasi siswa untuk belajar secara mandiri.

c. Analisis *beta testing*

Berdasarkan data evaluasi UEQ, fitur *Electronic Fuel Injection* (EFI) Simulator mendapatkan respons yang sangat positif dari siswa. Mengacu pada Tabel 4.11, nilai rata-rata (*mean*) yang diperoleh dari seluruh metrik pengukuran berada di atas ambang batas 0,8, yang secara teoretis dikategorikan sebagai evaluasi sangat positif. Secara rinci, lima skala utama mencetak skor rata-rata yang sangat tinggi, yaitu daya tarik (2,536), efisiensi (2,570), stimulasi (2,566), ketepatan (2,504), dan kejelasan (2,441). Tingginya angka rata-rata pada kelima aspek ini mengartikan bahwa fitur EFI Simulator mampu memfasilitasi pemahaman operasional mesin EFI secara efisien, jelas, dan tanpa memberikan beban kognitif berlebih kepada siswa. Sementara itu, skala kebaruan (*novelty*) memperoleh nilai rata-rata sebesar 1,688. Meskipun menjadi skor terendah di antara yang lain, angka ini tetap berada cukup jauh di atas ambang batas 0,8, yang bermakna bahwa siswa secara umum sepakat menilai fitur simulasi ini sebagai sebuah produk yang inovatif dan menarik untuk digunakan.

Setelah menginterpretasikan nilai rata-rata sebagai data utama, analisis dilanjutkan pada tingkat sebaran data (*standard deviation*) untuk melihat seberapa seragam pandangan para siswa. Berdasarkan Tabel 4.11, kelima skala utama memiliki standar deviasi di bawah angka 1,01, tepatnya berada pada rentang 0,83 hingga 0,87. Merujuk pada pedoman UEQ, rentang ini masuk ke dalam kategori kesepakatan menengah (*medium agreement*), yang berarti mayoritas siswa memiliki pandangan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

yang konsisten dan tidak terpaut jauh satu sama lain terhadap tingginya kualitas simulasi tersebut. Di sisi lain, skala Kebaruan mencatatkan standar deviasi sebesar 1,16. Angka yang melampaui batas 1,01 ini mengindikasikan tingkat kesepakatan yang rendah (*low agreement*). Hal ini menunjukkan adanya keragaman ekspektasi subjektif antarsiswa mengenai standar kebaruan atau inovasi visual dari sebuah aplikasi pembelajaran berbasis *augmented reality*.

Lebih lanjut, data dari keenam skala tersebut dikelompokkan ke dalam dua dimensi utama pengalaman pengguna, yakni kualitas pragmatis (*pragmatic quality*) dan kualitas hedonis (*hedonic quality*), sebagaimana disajikan pada Gambar 4.55. Kualitas pragmatis yang mencakup skala kejelasan, efisiensi, dan ketepatan memperoleh skor rata-rata 2,51 yang tergolong sangat tinggi. Hal ini menegaskan bahwa secara fungsional, aplikasi ini sangat berorientasi pada kemudahan penggunaan (*goal-directed*) dan efektif dalam mendukung penyelesaian tugas belajar siswa. Di sisi lain, kualitas hedonis yang mencakup skala stimulasi dan kebaruan juga menunjukkan hasil rata-rata 2,13. Kualitas hedonis merepresentasikan aspek estetika dan reaksi emosional pengguna (*not goal-directed*). Tingginya skor pada kedua dimensi ini membuktikan bahwa *EFI Simulator* tidak hanya berguna secara teknis sebagai alat peraga pembelajaran, tetapi juga mampu memberikan pengalaman yang menyenangkan dan memotivasi siswa untuk terus mengeksplorasi materi.

Untuk melengkapi evaluasi teknis tersebut, kualitas fitur simulator ini kemudian dibandingkan dengan data acuan global (*benchmark*) UEQ seperti yang terlampir pada Tabel 4.12. Hasil komparasi menunjukkan bahwa keenam skala utama secara konsisten meraih predikat “*excellent*” (sangat baik). Hal ini mengindikasikan bahwa aspek daya tarik, kejelasan, efisiensi,



Hak Cipta :

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

ketepatan, stimulasi dan kebaruan dari aplikasi ini berada pada kelompok 10% hasil terbaik (*in the range of the 10% best results*) jika dibandingkan dengan kumpulan data evaluasi produk lain dalam data UEQ. Secara keseluruhan, data kuantitatif ini membuktikan bahwa pengembangan fitur EFI Simulator berhasil memberikan pengalaman belajar yang unggul secara pragmatis maupun hedonis.

d. Pembahasan hasil evaluasi

Keberhasilan capaian metrik evaluasi pada fitur 3D EFI Simulator, baik dari sisi pengujian pakar maupun pengguna akhir, sangat relevan dan memperkuat temuan pada penelitian terdahulu. Pada aspek pemahaman akademik dan kesan keseluruhan, apresiasi hampir sempurna (98%) dari ahli materi dengan skor 100% pada parameter *Learning Goal Alignment*, hal ini sejalan juga dengan tingginya nilai skala daya tarik (*attractiveness*) dan kejelasan (*perspicuity*) pada *beta testing*. Korelasi positif dari kedua tahap pengujian ini mengonfirmasi kesimpulan Zamuri dkk. (2025). Melalui penelitiannya, Zamuri dkk. membuktikan bahwa representasi visual dari komponen mekanis yang abstrak sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman akademik dan ketertarikan siswa. Hal ini memvalidasi bahwa keberhasilan lingkungan 3D interaktif dalam menyajikan cara kerja mesin yang tersembunyi menjadi lebih konkret dapat diakui kelayakannya baik secara pedagogis oleh pakar maupun secara praktis oleh pengguna.

Dari sisi teknis operasional, hasil validasi ahli media (92%) yang mencatatkan nilai sempurna (100%) pada parameter *Interaction Usability* dan *Accessibility* berkesesuaian langsung dengan perolehan skor yang tinggi pada skala efisiensi (*efficiency*) dan ketepatan (*dependability*) dari evaluasi siswa. Kedua hal tersebut memperkuat studi Han dkk. (2022) mengenai penggunaan instruksi visual 3D pada kelas perakitan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

mekanis. Han dkk. menemukan bahwa interaksi 3D secara signifikan mampu mereduksi beban kognitif dan kesulitan tugas yang dialami pengguna saat mengidentifikasi struktur yang kompleks. Pencapaian nilai sempurna dari pakar media yang dibarengi dengan tingginya rasa kendali operasional siswa membuktikan bahwa pendekatan simulasi 3D interaktif ini berhasil meminimalisir kesulitan eksplorasi visual, sehingga pengguna dapat mengobservasi komponen mesin secara mendetail tanpa mengalami beban kognitif yang berlebih.

sementara itu, tinjauan pada kualitas hedonis (*hedonic quality*) memberikan gambaran dampak psikologis bagi siswa. Perolehan nilai 100% pada parameter *Motivation* dari uji ahli materi berkesinambungan dengan tingginya skala stimulasi (*stimulation*) pada tahapan evaluasi pengguna. Konsistensi temuan ini mengonfirmasi studi Ye dkk. (2024) bahwa lingkungan belajar interaktif 3D memiliki dampak positif yang signifikan terhadap keterlibatan aktif dan motivasi belajar siswa. Di sisi lain, munculnya keragaman ekspektasi yang tercermin pada angka standar deviasi skala kebaruan (*novelty*) di tahap *beta testing* merupakan dinamika yang wajar. Variasi ini mencerminkan perbedaan tingkat paparan siswa terhadap media interaktif atau *game* 3D modern dalam keseharian mereka, yang secara langsung membentuk standar subjektif masing-masing individu dalam menilai tingkat kebaruan sebuah perangkat lunak.

Meskipun terdapat variasi ekspektasi tersebut, skor keseluruhan dari seluruh tahap pengujian pakar dan pengguna tetap menunjukkan hasil yang konsisten dan positif. Integrasi antara lingkungan 3D interaktif dan pemenuhan fungsi pragmatis ini dinilai berhasil menghadirkan metode pembelajaran otomotif yang jauh lebih inovatif dibandingkan metode konvensional.



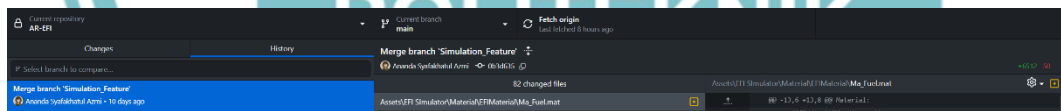
Hak Cipta :

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

Pencapaian metrik evaluasi yang sangat baik ini diharapkan bisa menjadi salah satu bentuk kontribusi dalam pencapaian kompetensi dasar (KD) 3.6.4 terkait cara kerja sistem injeksi pada sepeda motor Representasi visual dari proses kerja sistem EFI melalui simulasi 3D ini dirancang untuk membantu memberikan gambaran yang lebih konkret terkait bagaimana mekanisme sistem injeksi beroperasi. Melalui perangkat bantu visualisasi ini, siswa diharapkan dapat mengeksplorasi materi secara mandiri dan memiliki kesiapan mental serta pemahaman awal yang lebih baik sebelum berhadapan langsung dengan materi praktik yang melibatkan mesin dan komponen asli di bengkel.

4.5 Penyerahan Produk (*Delivery*)

Setelah seluruh tahap pengembangan fitur simulasi 3D pada *branch* dinyatakan selesai, tahap penyerahan (*delivery*) internal dilakukan. Kumpulan kode skrip dari fitur simulasi ini diserahkan kepada programmer utama AR melalui repositori GitHub untuk digabungkan (*merging*) ke cabang utama (*main branch*), seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.61



Gambar 4.61 Penggabungan Fitur Simulasi ke dalam Branch Utama

Setelah semua digabungkan, dari programmer utama akan menghasilkan keluaran berkas .apk yang kemudian akan diserahkan kepada guru pengampu mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor di SMK Negeri 1 Bumijawa.

Hak Cipta :

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

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian fitur 3D simulasi alur kerja sistem EFI dapat disimpulkan bahwa aset visual 3D komponen sistem bahan bakar (Honda Beat FI 110cc) telah berhasil diimplementasikan dan dioptimalkan untuk kebutuhan *augmented reality* (AR). Sistem interaksi simulasi yang dibangun mampu menjalankan komputasi dinamis mencakup skenario *cold start*, *cruising*, akselerasi, deselerasi, dan *power system*. Tingkat kelayakan media pembelajaran ini dinyatakan “Sangat Layak” dengan validasi pakar sebesar 92% dari ahli media dan 98% dari ahli materi. Berdasarkan pengujian lapangan menggunakan UEQ, aplikasi meraih predikat “Excellent” dengan skor Daya Tarik (2,54), Kualitas Pragmatis (2,51), dan Kualitas Hedonis (2,13). Hasil pengujian tersebut menegaskan bahwa fitur ini valid secara teknis, layak secara pedagogis sebagai perangkat bantu visualisasi materi, serta mendapatkan penerimaan yang sangat positif dari siswa sebagai inovasi media pembelajaran otomotif.

5.2 Saran

Meskipun sistem simulasi EFI berbasis *augmented reality* ini telah berhasil dikembangkan dan mencapai tujuan penelitian, masih terdapat beberapa batasan yang dapat disempurnakan di masa mendatang. Dari sisi teknis, peningkatan akurasi detail geometri model 3D melalui teknologi *3D scanning* atau *photogrammetry* diperlukan untuk observasi mekanis yang lebih realistis. Terakhir, cakupan sistem injeksi dapat dikembangkan ke tipe kendaraan lain, seperti motor sport atau kendaraan roda empat, untuk memperkaya wawasan pembelajaran otomotif.



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- Adobe. (2023) *Adobe Substance 3D Painter Documentation*. Adobe Inc. Tersedia di : <https://experienceleague.adobe.com/en/docs/substance-3d-painter/using/home> (Diakses: 25 Mei 2026).
- Hawari, N. A. dan Putra, E. D. (2022) 'Analisis Perbandingan Metode Multimedia Development Live Cycle Pada Augmented Reality', *Jurnal Media Infotama*, 18(1), hal. 48-55.
- Halderman, J. C. (2020) *Automotive Technology: Principles, Diagnosis, and Service*. Edisi ke-6. Boston: Pearson.
- Mahartika, I. dkk. (2023) *Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality*. Yayasan Kita Menulis.
- Wathani, M. R. (2026) *Testing dan Implementasi Sistem Informasi : Teori, Strategi, dan Studi Kasus*. Banjarmasin: Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari Banjarmasin.
- Nasution, M. S. A. (2025) 'Virtual Game Learning Media to Understand the Types and Formation of High School Students Identities using the Vilamil Molina Method', *Journal of Technology and Computer (JOTECHCOM)*, 2(4), hal. 268-274.
- Pharr, M., Jakob, W. dan Humphreys, G. (2023) *Physically Based Rendering: From Theory To Implementation*. Edisi ke-4. MIT Press.
- Rajput, M., Jamadagni, R., Varpe, S., Donkari, T., Mulay, A. dan Dhanal, R. J. (2024) 'Development and implementation of visualization of CPU components using AR', *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM)*, 08(05).
- Riduwan. (2012) *Dasar-Dasar Statistika*. Bandung: CV. Alfabeta.
- Rohendi, E. (2025) *Sistem Bahan Bakar Injeksi Elektronik (EFI) Sepeda Motor Dasar*. Yogyakarta: Penerbit Deepublish Digital.
- Schrepp, M. (2023) *User Experience Questionnaire Handbook: All you need to know to apply the UEQ successfully in your projects*. Versi 11. Tersedia di: www.ueq-online.org (Diakses: 30 April 2026)
- Singh, D. (2020) 'Electronic fuel injection system', *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 11(11), hal. 2035-2040.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Suranto dan Pramono, J. (2017) *Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor untuk SMK/MAK Kelas XII*. Edisi ke-1. Yogyakarta: ANDI.

Unity Technologies. (2023) *Optimization. Unity User Manual*. Tersedia di: <https://docs.unity3d.com/6000.4/Documentation/Manual/analysis.html> (Diakses: 3 Juni 2026).

Unity Technologies (2026a) *Get started with Unity*. Tersedia di: <https://docs.unity3d.com/6000.5/Documentation/Manual/get-started-with-unity.html> (Diakses: 27 Juni 2026).

Unity Technologies (2026b) *Introduction to MVVM*. Tersedia di: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.dt.app-ui@0.3/manual/mvvm-intro.html> (Diakses: 27 Juni 2026).

Zamuri, M. F., Suhaimi, S. dan Hazrullah. (2025) 'The Effectiveness of an AR Module in Enhancing Achievement and Interest in Learning Mechanical Components', *Journal of ICT in Education (JICTIE)*, 12(1), hal. 101-117.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

Lampiran A. Transkrip Wawancara

No	Pertanyaan	Jawaban Narasumber
1	Apa tantangan atau masalah yang dihadapi dalam mengajar di jurusan teknik sepeda motor di SMK Negeri Bumijawa?	Kendala dalam pengajaran secara umum (tidak hanya di TSM) adalah minat siswa yang tidak sesuai jurusan, TSM jadi salah satunya jurusan yang kurang diminati siswa, jadi mayoritas siswa yang masuk di jurusan ini hanya karena “yang terpenting sekolah” karena keterbatasan sekolah negeri di daerah bumijawa membuat kebutuhan dan minat siswa tidak linear. Hal ini berdampak pada pembelajaran juga. Siswa cenderung pasif dan memiliki daya tangkap pembelajaran yang rendah.
2	Apa materi pembelajaran yang susah dipahami oleh siswa di mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor?	Sistem kelistrikan pada motor modern terutama pada bagaimana ECU (<i>Engine Control Unit</i>) bekerja dengan komponen lainnya
3	Mengapa materi tersebut menjadi tantangan?	Karena sifatnya yang abstrak dan meskipun ada praktik secara langsung di bengkel tidak sepenuhnya menggambarkan proses kelistrikan yang terjadi karena tertutup komponen fisik dan proses yang tidak terlihat secara kasat mata, Selain itu banyaknya komponen yang terkait membuatnya sulit diingat.
4	Seperti apa konsep materi mengenai cara kerja ECU ini?	Secara garis besar sistem ini bekerja dengan pola Input, proses dan output dimana sensor bertugas sebagai pendeteksi seperti suhu dan tekanan lalu mengirimkan sinyal Listrik ke Ecu sebagai sistem utama, kemudian actuator yang menjalankan perintah dari ECU seperti menyempatkan bahan bakar atau mengatur percikan api.
5	Apa tantangan dalam mengajar mata pelajaran Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor? Khususnya pada sistem kelistrikan tersebut?	Tantangan terbesar adalah pada pemahaman siswanya itu sendiri terkait bidang TSM, kurangnya pemahaman dari hal dasar karena materi kelistrikan ini diajarkan di kelas 11 dan 12 menuntut siswa untuk sudah memahami dasar bidang TSM. Guru dari mata pelajaran lain yang berhubungan cara mengajarnya kurang diterima oleh mahasiswa, sehingga itu juga menjadi kendala
6	Bagaimana dan Media apa yang biasa digunakan dalam pembelajaran mengenai sistem kelistrikan tersebut?	Pertama, membaca dan mencatat kedua, penjelasan menggunakan media visualisasi youtube Ketiga, melakukan praktik. Praktik dilakukan dengan pendampingan guru (tidak ada tenaga ahli dari luar)

(Lanjutan)

7	Menurut Bapak/Ibu, apakah media pembelajaran yang digunakan saat ini sudah cukup membantu siswa memahami materi?	Itu tergantung dari siswa, beberapa siswa ada yang cepat memahami dengan metode pembelajaran tersebut, namun kebanyakan dari mereka susah mencerna materi dengan baik walaupun guru sudah berusaha menjelaskannya berkali kali di pertemuan yang berbeda
8	Bagaimana respon siswa selama pembelajaran berlangsung, khususnya pada materi yang bersifat teknis?	Siswa cenderung pasif dan ketika diberikan pertanyaan mereka bingung. Kebanyakan dari mereka D3 (datang, duduk, diam)
9	Apakah pembelajaran lebih banyak dilakukan secara teori atau praktik? Bagaimana proporsinya?	60% praktik dan 40% teori
10	Apakah media praktik yang digunakan berupa alat simulasi atau menggunakan mesin sepeda motor asli?	Menggunakan mesin sepeda motor asli
11	Bagaimana ketersediaan alat praktik yang ada di sekolah untuk mendukung pembelajaran? Apakah jumlah alat praktik yang tersedia sudah mencukupi untuk seluruh siswa dalam satu kelas?	Alat praktik sudah cukup namun jumlahnya yang kurang, biasanya dilakukan bergantian
13	Apakah pernah digunakan media pembelajaran berbasis teknologi seperti video, animasi, atau aplikasi digital? Jika pernah, bagaimana efektivitasnya?	hanya Video youtube dan quiz online
14	Menurut Bapak/Ibu, apakah diperlukan pengembangan media pembelajaran baru untuk membantu siswa memahami sistem kelistrikan sepeda motor?	Sangat diperlukan, jika ada media pembelajaran baru yang menarik mungkin bisa meningkatkan minat dan pemahaman siswa dalam belajar.
15	Harapan apa yang Bapak/Ibu miliki terhadap media pembelajaran yang ideal untuk materi sistem kelistrikan sepeda motor?	Harapannya dengan adanya metode ajar yang baru bisa meningkatkan pemahaman siswa dan meningkatkan minat siswa dalam belajar dan jumlah siswa yang tertarik di jurusan TSM bertambah



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Lampiran B. Rencana Pelaksanaan Pembelajaran

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN

Nama Sekolah : SMK N 1 Bumijawa
 Bidang Keahlian : Teknologi dan Rekayasa
 Program Keahlian : Teknik Otomotif
 Kompetensi Keahlian : Teknik dan Bisnis Sepeda Motor (C3)
 Mata Pelajaran : Pemeliharaan Mesin Sepeda Motor
 Kelas / Semester : XI / I
 Tahun Pelajaran : 2023/2024
 Jam Pelajaran : 24 JP (@ 45 Menit)

A. Kompetensi Inti

KI-3 (Pengetahuan) :	Memahami, menerapkan, menganalisis, dan mengevaluasi tentang pengetahuan faktual, konseptual, operasional dasar, dan metakognitif sesuai dengan bidang dan lingkup kerja Teknik dan Bisnis Sepeda Motor . Pada tingkat teknis, spesifik, detil, dan kompleks, berkenaan dengan ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam konteks pengembangan potensi diri sebagai bagian dari keluarga, sekolah, dunia kerja, warga masyarakat nasional, regional, dan internasional
KI-4 (Keterampilan) :	Melaksanakan tugas spesifik dengan menggunakan alat, informasi, dan prosedur kerja yang lazim dilakukan serta memecahkan masalah sesuai dengan bidang kerja Teknik dan Bisnis Sepeda Motor . Menampilkan kinerja di bawah bimbingan dengan mutu dan kuantitas yang terukur sesuai dengan standar kompetensi kerja. Menunjukkan keterampilan menalar, mengolah, dan menyaji secara efektif, kreatif, produktif, kritis, mandiri, kolaboratif, komunikatif, dan solutif dalam ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah, serta mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung. Menunjukkan keterampilan mempersepsi, kesiapan, meniru, membiasakan, gerak mahir, menjadikan gerak alami dalam ranah konkret terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah, serta mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung

B. Kompetensi Dasar dan Indikator Pencapaian Kompetensi

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi	Klasifikasi Indikator
3.6 Memahami prinsip kerja sistem injeksi bensin	3.6.1 Menjelaskan pengertian injeksi motor 3.6.2 Merinci kelebihan dan kekurangan motor injeksi 3.6.3 Menyebutkan komponen injeksi 3.6.4 Menguraikan cara kerja injeksi pada motor	Kunci Kunci Pendukung Kunci
4.6 Merawat secara berkala pada sistem injeksi bensin	4.6.1 Merancang perawatan secara berkala pada sistem injeksi bensin 4.6.2 Mengoreksi hasil perawatan secara	Kunci Pendukung

Hak Cipta :

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

(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

	berkala pada sistem injeksi bensin	
--	------------------------------------	--

C. Tujuan Pembelajaran

Pengetahuan	Keterampilan
Melalui langkah pembelajaran <i>model Discovery Learning</i> dengan pendekatan <i>saintifik</i> peserta didik :	
- Menjelaskan pengertian injeksi motor - Merinci kelebihan dan kekurangan motor injeksi - Menyebutkan komponen injeksi - Menguraikan cara kerja injeksi pada motor Kemudian mengajukan pertanyaan, mengajukan jawaban sementara, mengumpulkan data, menganalisa data, menyusun simpulan untuk dapat mencapai kompetensi pengetahuan (memahami, menerapkan, menganalisis, dan mengevaluasi),	- Merancang perawatan secara berkala pada sistem injeksi bensin - Mengoreksi hasil perawatan secara berkala pada sistem injeksi bensin Kemudian mengajukan pertanyaan, mengajukan jawaban sementara, mengumpulkan data, menganalisa data, menyusun simpulan untuk dapat mencapai kompetensi keterampilan (mengamati, mencoba, menyaji, dan menalar), dan sikap (jujur, santun, dan tanggungjawab).

D. Materi Pembelajaran

Materi Faktual dapat diamati dengan indera atau alat	- Menjelaskan pengertian injeksi motor - Merinci kelebihan dan kekurangan motor injeksi - Menyebutkan komponen injeksi - Menguraikan cara kerja injeksi pada motor  Air inlet system - Air mass sup Fuel supply system - Fuel mass sup Control unit - Measure, calculate,... Ignition system - Ignition advance angle α
Materi Konseptual Gabungan antar fakta-fakta yang saling berhubungan	Prinsip kerja sistem injeksi bensin
Materi Prinsip Generalisasi hubungan antar konsep-konsep yang saling terkait	- Pengertian Injeksi Motor - Kelebihan Motor Injeksi ✓ Pembakaran Menjadi Lebih Sempurna ✓ Konsumsi BBM Tidak Banyak ✓ Mudah Dalam Melakukan Service - Kekurangan Motor Injeksi

(Lanjutan)

	✓ Sedikit Bengkel Umum Yang Mau Menerima Service Injeksi ✓ Harga yang Relatif Tidak Murah ✓ Sulit Untuk Modifikasi • Komponen Injeksi ✓ ECM (electronic control module) ✓ TP (Trottle position sensor) ✓ BAS (Bank Angle sensor) ✓ MAP (Manifold Absolute Pressure) ✓ Engine oil temperatur ✓ IAT (intake air temperatur sensor) ✓ Fuel Pump ✓ Injector • Cara Kerja Injeksi Pada Motor
Materi Prosedural Sederetan langkah yang sistematis dalam menerapkan prinsip	• Melakukan perawatan berkala sistem bahan bensin injeksi (Electronic Fuel Injection/EFI) • Mengontrol hasil perawatan berkala sistem bahan bakar bensin injeksi (Electronic Fuel Injection/EFI)

E. Pendekatan, Strategi dan Metode

- Pendekatan : Saintifik
- Metode : Diskusi, Tanya Jawab, Demontrasi, Praktek dan Penugasan
- Model : *Problem Based Learning*

F. Alat dan Media Pembelajaran

- Vidio Pembelajaran.
- Slide Powerpoint.
- LCD Proyektor.

G. Sumber Belajar

- Hand Out
- Internet



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



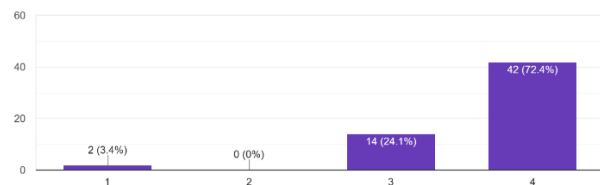
Lampiran C. Hasil Survei Siswa TSM Kelas XI

Hak Cipta :

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

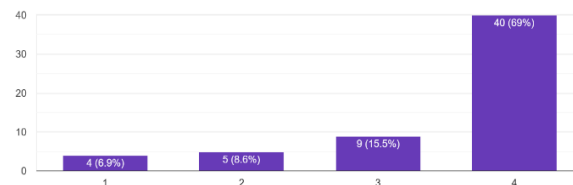
Saat mempelajari sistem EFI, saya kesulitan membayangkan bagaimana cara ECU memproses data dari sensor ke injektor karena komponennya tertutup

58 responses



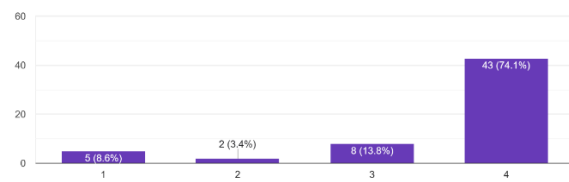
Penjelasan guru mengenai logika "Input-Proses-Output" pada sistem EFI sulit saya pahami tanpa adanya simulasi atau visualisasi

58 responses



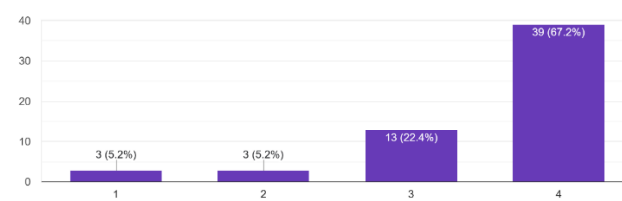
Buku teks dan video YouTube yang ada saat ini belum cukup memberikan gambaran detail mengenai sistem bahan bakar EFI (Electronic Fuel Injection)

58 responses



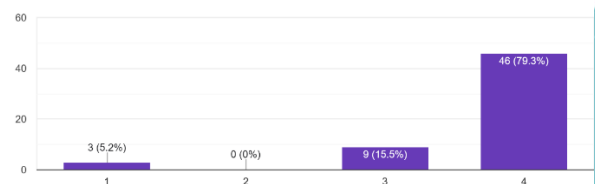
Memahami cara ECU menentukan durasi injeksi bahan bakar adalah materi yang sangat rumit bagi saya.

58 responses



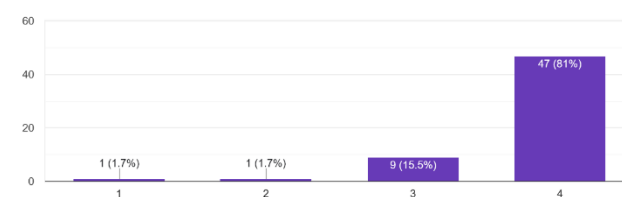
Saya membutuhkan media pembelajaran yang bisa saya gunakan secara mandiri melalui HP untuk mengulang materi di rumah.

58 responses



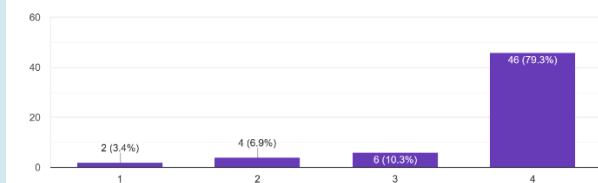
Belajar menggunakan simulasi interaktif (3D) akan lebih menarik dibandingkan hanya mendengarkan ceramah atau mencatat di buku.

58 responses



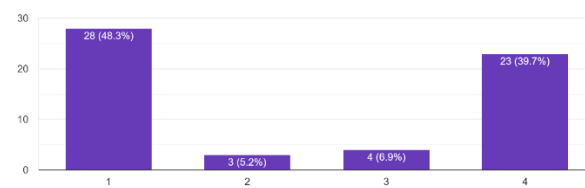
Saya merasa visualisasi komponen mesin secara tembus pandang (transparan) akan membantu saya untuk memahami materi.

58 responses



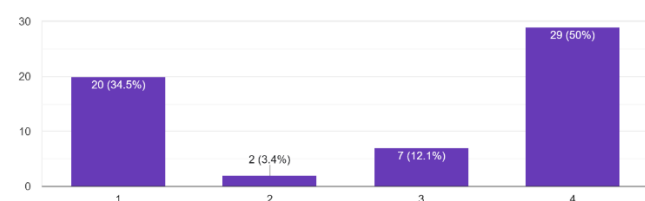
Saya pernah melihat teknologi Augmented Reality di kehidupan sehari-hari.

58 responses



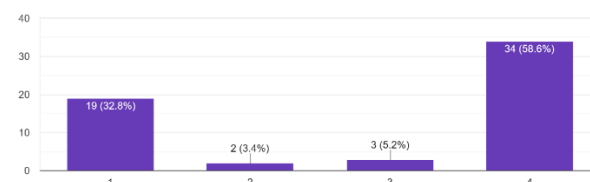
Saya bisa menggunakan aplikasi berbasis Augmented Reality di ponsel pribadi.

58 responses



Saya dapat membedakan Augmented Reality (AR) dengan Virtual Reality (VR).

58 responses





Hak Cipta

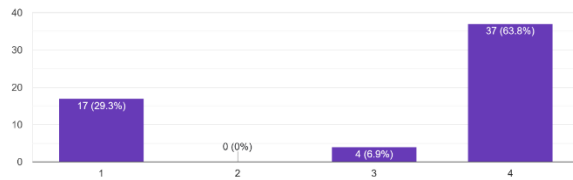
(Lanjutan)

Hak Cipta :

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

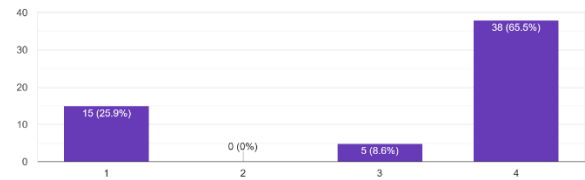
Saya mengetahui bahwa Augmented Reality dapat digunakan sebagai media pembelajaran.

58 responses



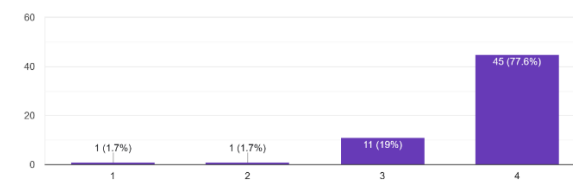
Saya merasa Augmented Reality dapat memberikan visualisasi untuk membantu saya memahami materi pembelajaran.

58 responses



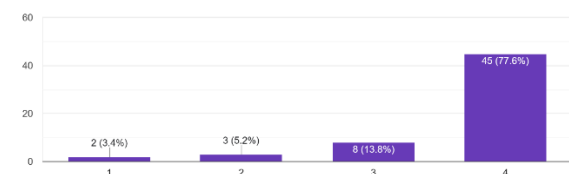
Media pembelajaran yang digunakan saat ini masih kurang menarik untuk membantu pemahaman materi.

58 responses



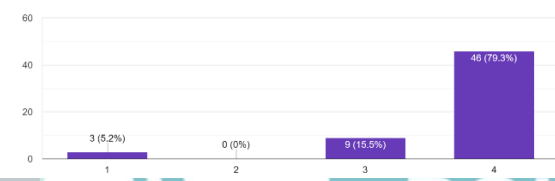
Media pembelajaran yang ada belum menampilkan visual komponen dan alur kerja sistem secara jelas.

58 responses



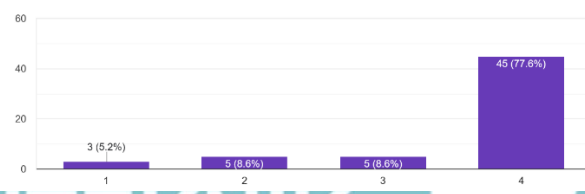
Saya membutuhkan media pembelajaran yang lebih interaktif untuk memahami materi tentang Sistem Bahan Bakar EF1 (Electronic Fuel Injection)

58 responses



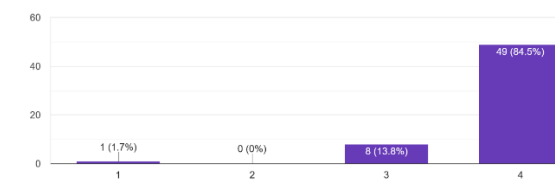
Saya terbiasa menggunakan smartphone dalam kegiatan sehari-hari.

58 responses



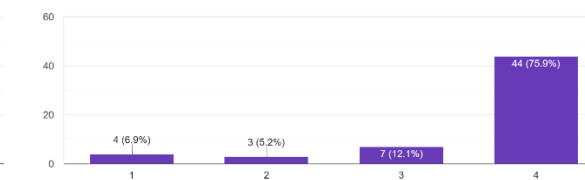
Saya tertarik menggunakan aplikasi pembelajaran berbasis Android untuk membantu belajar materi kejuruan.

58 responses



Saya merasa nyaman belajar menggunakan media pembelajaran digital dibandingkan media konvensional.

58 responses



Model HP yang digunakan
Contoh : Samsung Galaxy A26 5G

58 responses

Summarise responses

redmi note 9
Infinix hot 40 pro
Oppo a16
Realme note 50
REDMI 13
Vivo y18
samsung Galaxy a04e
Iphone x
infinix hot 11 play

Samsung A07
POCO C75
OPPO A5i
Infinix note 12
oppo a31
Netral
infinix smart 9
hp Oppo a15
Realme c31

Oppo a31
Oppo A3x
vivo y 21 a
Vivo y 95
infinix smart 8
oppo
Redmi 10
Infinix hot 11s nfc
infinix hot 10

Realme c63
Infinix 11s nfc
itel A70
REDMI A3
REDMI 10 2022
Redmi 13x
Vivo y01
Redmi 9C
poco c65

Redmi 9t
Samsung Galaxy A26 5G
REDMI 14C
Infinix hot 30
infinix note 50X
REDMI 10A
netral
OPPO A17K
oppo a38

oppo a38
Redmi not 13 4G
realme 5 i
infinix hot 50
iPhone 13
Redmi 12c
INFINIX NOTE 40 PRO+5G
Redmi 13
redmi a5



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

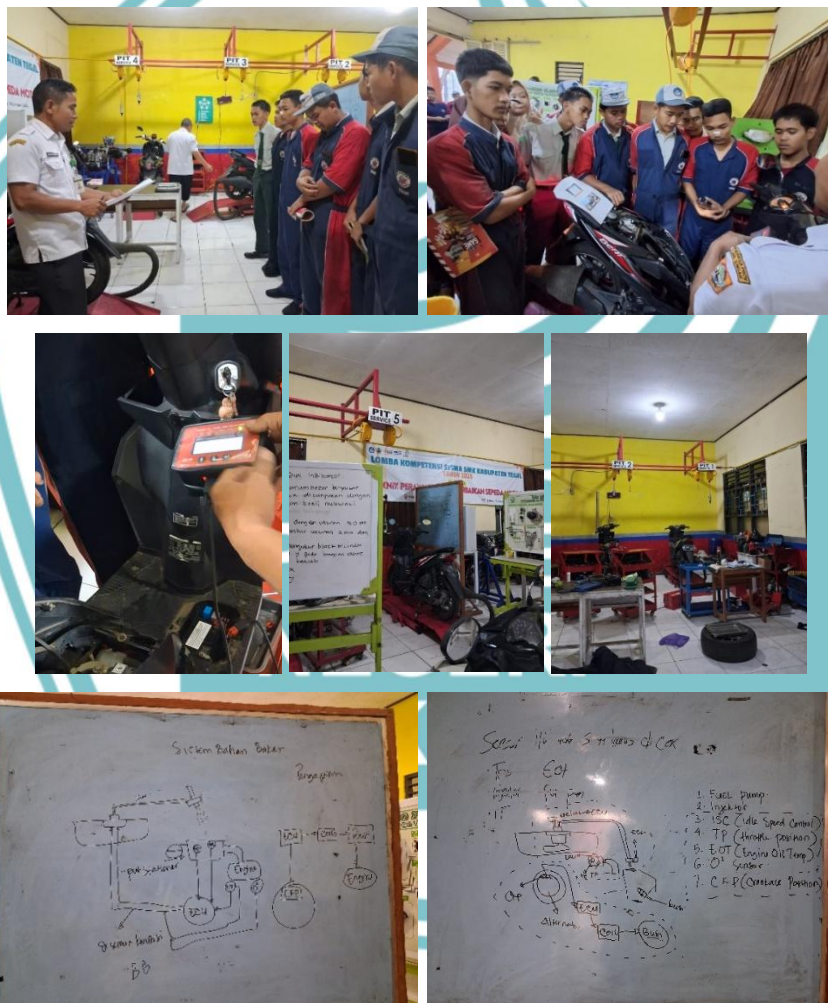
Hak Cipta :

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

Lampiran D Dokumentasi Analisis Kebutuhan



Gambar D.1 Wawancara Guru Otomotif SMK N 1 Bumijawa



Gambar D.2 Observasi Lapangan dan Metode Pembelajaran Sistem EFI



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran E. Hasil Kuesioner Pengujian Ahli Media

No	Butir Pernyataan	1	2	3	4	5	N/A
A Feedback and Adaptation (Umpan Balik dan Adaptasi)							
1	Kecepatan dan stabilitas respons sistem (visual/audio) saat pengguna mengubah input melalui <i>slider</i> atau tombol navigasi.					✓	
2	Perubahan indikator visual (seperti semprotan injector) berubah secara dinamis dan selaras mengikuti perubahan parameter input yang dilakukan pengguna					✓	
3	Ketepatan sinkronisasi animasi mekanis (seperti putaran <i>crankshaft</i> atau semprotan injektor) dengan perubahan parameter input.					✓	
4	Sistem memberikan umpan balik visual yang konsisten (seperti penggunaan material <i>emissive</i> atau pendaran cahaya) untuk menandakan komponen 3D mana yang sedang dalam status aktif.				✓		
5	Sistem memberikan umpan balik informasi melalui <i>pop-up</i> visual yang secara berurutan dan akurat merepresentasikan alur operasional mesin (mulai dari input pengguna, proses komputasi ECU, hingga output mekanis).				✓		
B Presentation Design (Desain Presentasi)							
6	Aset Visual 3D (Sensor, ECU, Aktuator) memiliki detail tekstur, pencahayaan dan bentuk yang estetis serta representatif					✓	
7	Proporsi dan skala ukuran antar-komponen 3D (Sensor, ECU, Aktuator) di dalam ruang virtual yang terasa selaras dan proporsional.				✓		
8	Tata letak antarmuka (UI) dan penyajian panel informasi tertata dengan rapi sehingga				✓		

(Lanjutan)

	memudahkan fokus pengguna dalam mengamati simulasi						
C	Interaction Usability (Kebergunaan Interaksi)						
9	Navigasi fitur simulasi dapat dioperasikan dengan lancar tanpa kendala teknis.					✓	
10	Keandalan fungsi <i>slider</i> dan tombol yang dapat digeser atau ditekan tanpa adanya jeda (<i>lag</i>) atau malfungsi teknis.					✓	
11	Alur navigasi dan kontrol interaksi pada simulasi dirancang secara intuitif, sehingga tata cara pengoperasiannya mudah dipahami oleh pengguna.					✓	
D	Accessibility (Aksesibilitas)						
12	Keterbacaan tipografi (jenis dan ukuran <i>font</i>) pada layar berukuran kecil (<i>smartphone</i>).					✓	
13	Kontras warna yang optimal antara teks, tombol antarmuka, dan latar belakang 3D ruang mesin.					✓	
14	Kecukupan ukuran area sentuh (<i>hitbox/raycast</i>) pada objek interaktif atau tombol sehingga nyaman dan presisi saat ditekan menggunakan jari.					✓	
E	Reusability (Penggunaan Kembali)						
15	Rancangan modul simulasi dan aset 3D bersifat modular sehingga memungkinkan untuk diadaptasi kembali pada pengembangan media pembelajaran otomotif lainnya.					✓	
16	Desain visual 3D dan simulasi komponen EFI yang disajikan bersifat standar, sehingga berpotensi relevan untuk digunakan kembali pada materi pembelajaran kelistrikan skuter matik merek atau varian sejenis.					✓	



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

17	Mekanisme operasional simulasi (seperti transisi status/ <i>state</i> mesin) dirancang secara terstruktur, sehingga fungsionalitas ini dapat dengan mudah diadaptasi atau digunakan kembali untuk pengembangan skenario pembelajaran lainnya				✓		
F	Standards Compliance (Kepatuhan Standar)						
18	Efisiensi manajemen memori dan jumlah poligon aset 3D untuk menjaga stabilitas <i>framerate</i> saat simulasi dirender.				✓		
19	Kesesuaian resolusi antarmuka (<i>UI Scaling</i>) yang mampu beradaptasi pada berbagai ukuran dan rasio layar (<i>aspect ratio</i>) perangkat pengguna secara proporsional.				✓		
20	Struktur modul simulasi dirancang secara terisolasi dan bersih (<i>clean architecture</i>) sehingga siap diintegrasikan ke dalam proyek aplikasi utama (AR) tanpa memicu konflik kode				✓		



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran F. Hasil Kuesioner Ahli Materi

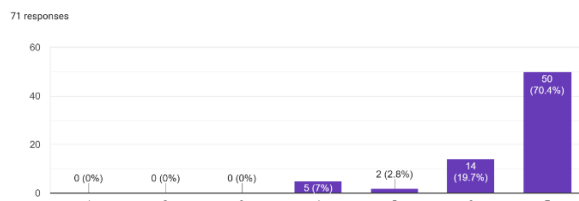
No	Butir Pernyataan	1	2	3	4	5
A Content Quality (Kualitas Konten)						
1	Bentuk visual, proporsi, dan skala ukuran aset 3D komponen utama EFI (Sensor, ECU, Aktuator) dinilai sudah representatif untuk memfasilitasi pengenalan wujud fisik komponen kepada siswa.				✓	
2	Animasi mekanis yang disajikan pada objek 3D divisualisasikan dengan tepat dan sesuai dengan prinsip dasar mekanika otomotif.					✓
2	Alur logika simulasi pada berbagai skenario operasional (seperti <i>cold start</i> atau akselerasi) sudah benar dan sesuai dengan prinsip kerja nyata sistem <i>Electronic Fuel Injection</i> .					✓
3	Data dan informasi pada <i>visual pop-up</i> serta <i>dashboard</i> sudah tepat dalam merepresentasikan hubungan Input-Proses-Output (pengolahan data sensor menjadi durasi injeksi).					✓
B Learning Goal Alignment (Kesesuaian Tujuan)						
4	Materi dan skenario simulasi sistem EFI yang disajikan telah selaras dengan kurikulum jurusan Teknik Sepeda Motor kelas 11					✓
	Kedalaman materi simulasi operasional mesin dinilai efektif dalam melengkapi dan memperkuat pemahaman fundamental siswa terhadap alur kerja EFI yang belum tervisualisasi penuh pada literatur konvensional.					✓
5	Integrasi antara umpan balik visual pada objek 3D dan indikator parameter pada <i>dashboard</i> dinilai memadai untuk membekali pemahaman					✓
	konseptual siswa mengenai alur kerja sistem EFI.					
6	Batasan skenario operasional mesin yang disimulasikan sudah relevan dan memadai sebagai media pembelajaran dasar bagi siswa.					✓
C Motivation (Motivasi)						
7	Visualisasi 3D yang disajikan mampu menyederhanakan konsep abstrak sistem EFI sehingga berpotensi menarik perhatian dan minat belajar siswa.					✓
8	Umpan balik visual (<i>visual feedback</i>) dan tata letak antarmuka efektif dalam mendorong siswa untuk mengeksplorasi cara kerja mesin secara mandiri.					✓
9	Penggunaan simulator interaktif ini efektif dalam membangun kesiapan pemahaman dasar siswa mengenai alur logika sistem EFI					✓



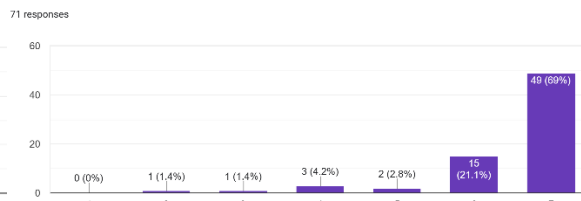
Lampiran G. Chart Hasil UEQ

Hak Cipta :

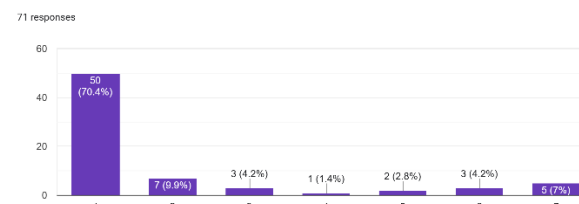
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penerbitan laporan, penerbitan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



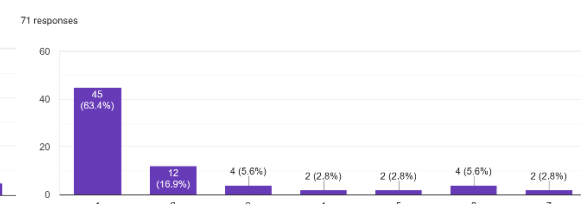
Soal 1



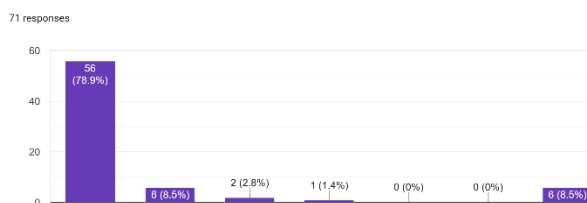
Soal 2



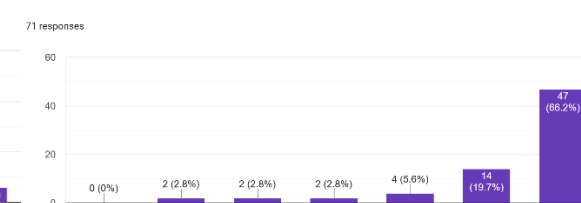
Soal 3



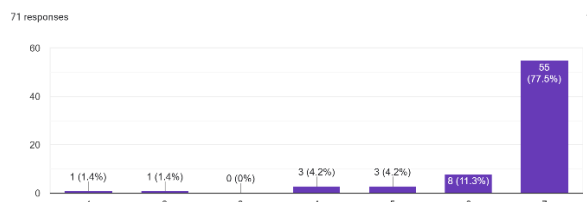
Soal 4



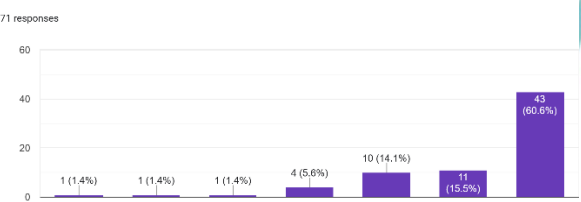
Soal 5



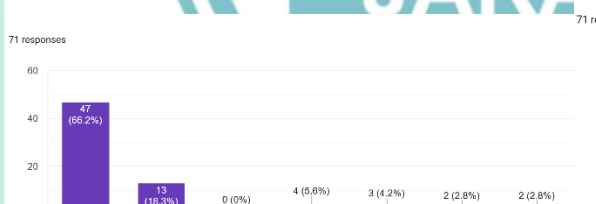
Soal 6



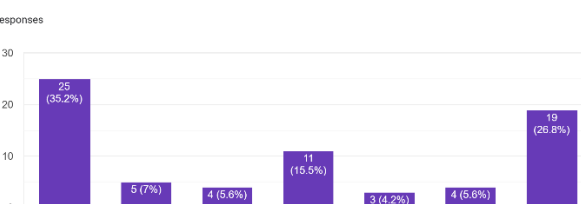
Soal 7



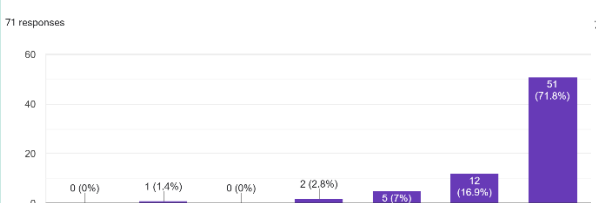
Soal 8



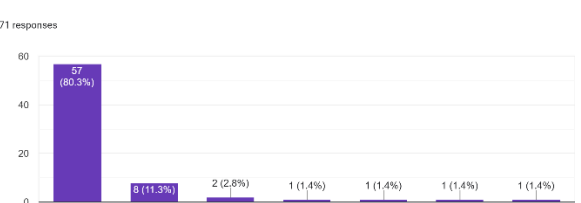
Soal 9



Soal 10



Soal 11

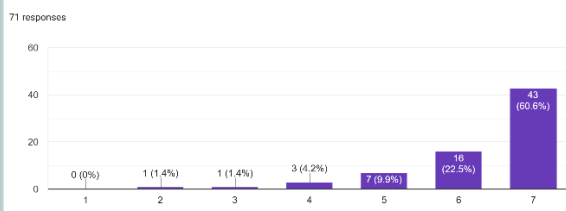


Soal 12

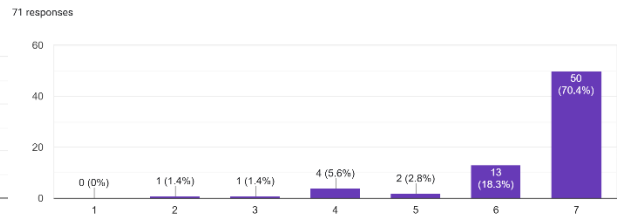
(Lanjutan)

Hak Cipta :

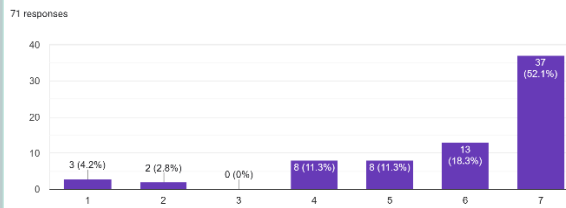
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



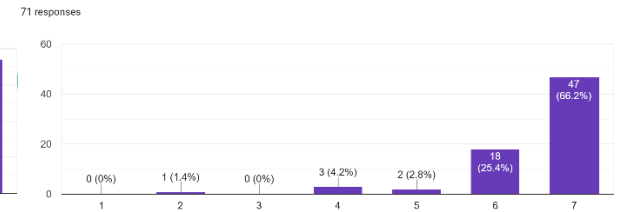
Soal 13



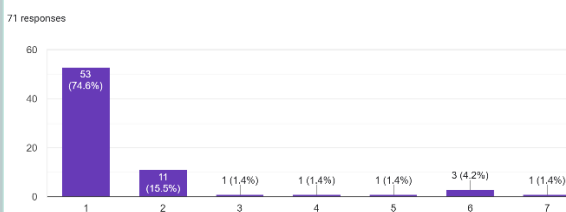
Soal 14



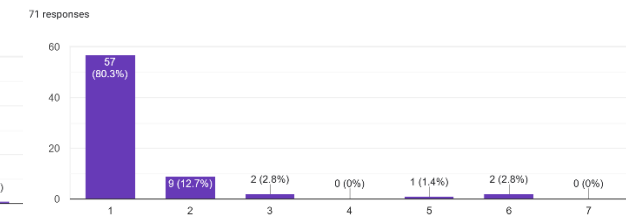
Soal 15



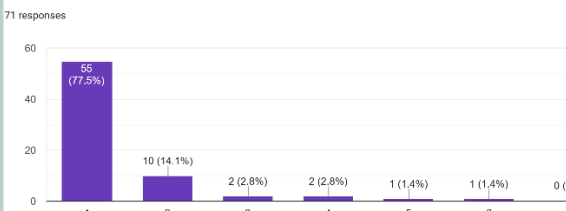
Soal 16



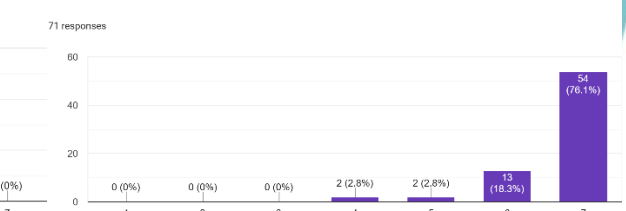
Soal 17



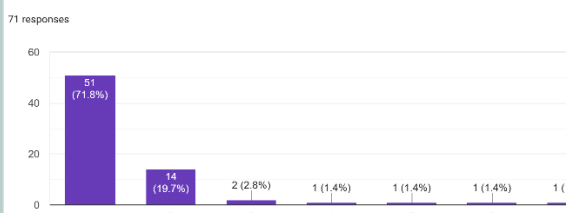
Soal 18



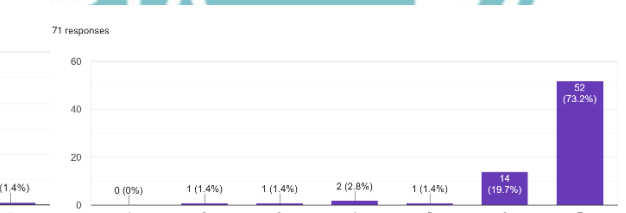
Soal 19



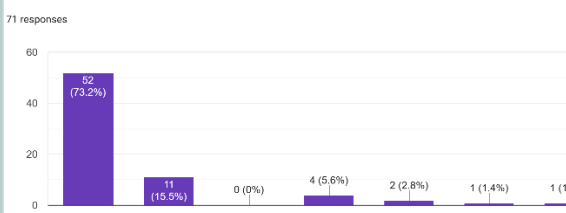
Soal 20



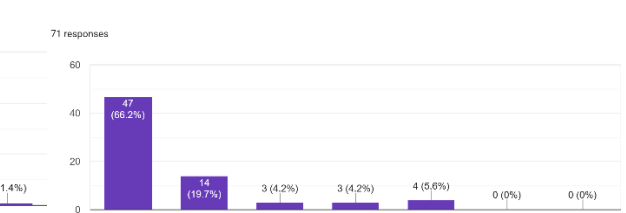
Soal 21



Soal 22

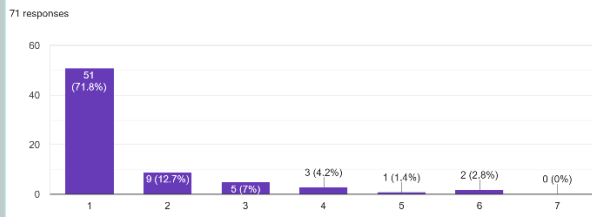


Soal 23

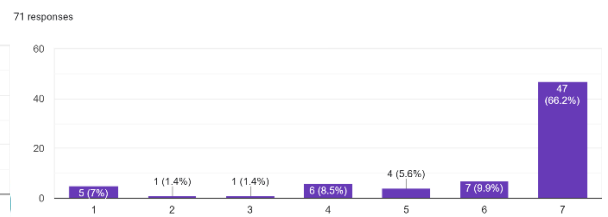


Soal 24

(Lanjutan)



Soal 25



Soal 26

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Lampiran H. Dokumentasi Pengujian



Gambar H.1 Dokumentasi Ahli Media



Gambar H.2 Dokumentasi Ahli Materi

Gambar H.3 Dokumentasi *Beta Testing*

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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





Hak Cipta :

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

Lampiran I. CV Ahli Media

ERLAND FATURRAHMAN

Virtual Reality Specialist

Jakarta, Indonesia | Phone: 081804832307 | Email: erlandinfo@gmail.com | LinkedIn: Erland Faturrahman

PROFESSIONAL SUMMARY

Digital Multimedia Engineering student with 3+ years of experience coordinating website development, software, game development, and VR training projects. Experienced in project planning, documentation, stakeholder communication, and sprint-based development using Unity and collaboration tools.

Currently working as a VR Specialist at Esco Lifesciences, delivering VR training simulations for pharmaceutical equipment. Certified in Product Management, Product Lifecycle Management, Agile Scrum, and Unity Certified Associate Game Developer.

EDUCATION

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA (2021 - 2025)

Bachelor of Applied Science (D4), Digital Multimedia Engineering - GPA 3.67

KEY SKILL

Project Management

- Project planning and scheduling, roadmap and milestone tracking
- Basic risk identification and mitigation planning
- Stakeholder management and cross-functional communication
- Scope management and change request handling
- Basic understanding of Software Development Life Cycle (SDLC)

Agile and Collaboration

- Familiar with Agile and Scrum (sprint planning, backlog management, daily stand-ups, retrospectives)
- Experience tracking tasks and progress using Notion, Trello, Google Sheets; adaptable to Jira and Azure DevOps
- Used to prepare simple dashboards, status reports, and meeting minutes

Technical

- Unity (2D/3D, VR/AR), basic C# scripting, React JS, Node.js, supabase, firebase.
- understanding of CI/CD concepts and version control (Git)
- networking and troubleshooting knowledge from IT Support experience

Tools

- Project and Collaboration: Notion, Trello, Google Sheets/Excel, Microsoft 365, Microsoft Teams, Slack, Zoom
- Development and Design: Unity, Maya 3D, Adobe After Effects, Adobe Animate, Visual Studio Code
- Project Management Exposure: Jira (issue and backlog tracking), Primavera (project scheduling concepts), Confluence (documentation)

EXPERIENCE

PT ESCO LIFESCIENCES – Bintan, Indonesia

Virtual Specialist (June 2025 – present)

- Coordinate the development of VR training simulations for pharmaceutical isolator equipment using Unity and Meta Quest devices.
- Gather requirements from engineering, QA, and operations teams, and translate them into features, user stories, and task lists.
- Support project planning by breaking down work, helping estimate effort, and tracking progress against internal deadlines and demo schedules.
- Prepare and maintain project documentation: user flows, feature lists, test scenarios, build notes, and change logs in shared workspaces.



Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

PT GLOBAL ONKOLAB FARMA – Jakarta, Indonesia

Unity Developer (September 2024 - December 2024)

- Developed a VR simulator for isolator machine operation training as part of the company's internal training program.
- Created and maintained the Game Design Document and feature specifications to ensure a clear development process.
- Collaborated with IT and infrastructure teams to ensure VR builds complied with device and environment requirements (Meta Quest).
- Participated in iteration cycles: testing, gathering user feedback, logging issues, and prioritizing fixes for subsequent builds.

PT Nutrifood – Jakarta, Indonesia

IT Support (March 2019 - August 2019)

- Resolved LAN and desktop issues for internal users to minimize downtime.
- Recorded incidents and solutions, helping build a simple knowledge base for recurring issues.
- Coordinated with vendors for hardware repair and replacement, following up until completion.

PROJECT MANAGEMENT EXPERIENCE (ACADEMIC & PERSONAL)

Explore: The Rare Animal Of Nusantara

Project Manager & Game Developer

- Coordinate the development of Game Education The Rare Animal of Nusantara in Unity
- Gather requirements from reading journal about animal in Nusantara and translate them into features, user stories, and task lists.
- Support project planning by breaking down work, helping estimate effort, and tracking progress against internal deadlines and demo schedules.
- Prepare and maintain project documentation: flows, feature lists, test scenarios, build notes, and change logs in shared workspaces.

Explore: The Rare Animal Of Nusantara

Project Manager & Game Developer

- Coordinate the development of Game Education The Rare Animal of Nusantara in Unity
- Gather requirements from reading journal about animal in Nusantara and translate them into features, user stories, and task lists.
- Support project planning by breaking down work, helping estimate effort, and tracking progress against internal deadlines and demo schedules.
- Prepare and maintain project documentation: flows, feature lists, test scenarios, build notes, and change logs in shared workspaces.

ARMADAT: AR Rumah Adat

Project Manager & AR Developer

- Managed the development of an Augmented Reality application about Indonesian traditional houses.
- Coordinated content, 3D assets, and development tasks to ensure each feature was delivered on time.
- Prepared documentation of features, user journey, and interactions, and presented the final product to lecturers/stakeholders.

Rise of Singo sari” (2D Platformer)

Project Manager & Game Designer

- Designed core mechanics (dash, attack, double attack, double jump) and implemented them in Unity.
- Managed a small backlog of features and bugs, iterating based on testing and feedback.
- Took dual roles as Game Programmer and Game Designer to ensure gameplay aligned with narrative and art direction.

(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

LEADERSHIP AND ORGANIZATION EXPERIENCE

Poros FM – Depok, Indonesia

Head of IT Division (February 2023 – February 2024)

- Led the IT division supporting campus radio operations and digital content.
- Prepared annual work plans, delegated tasks to members, and ensured programmers ran on schedule.

Himpunan Mahasiswa Teknik Informatika dan Komputer – Depok, Indonesia

Staff/Member (February 2022 - February 2023)

- Supported activities related to education and technology for students.
- Helped organise workshops and create digital learning materials.

Other Volunteer Roles (Head of Public Relations, IT Consultant, Event Committees)

- Planned events, coordinated with speakers and organizers, and handled communication with participants.
- Strengthened experience in meeting planning, communication, and follow-up on action items.

INDEPENDENT STUDY – KAMPUS MERDEKA

Infinite Learning – Game Developer Program

(August 2023 – December 2023)

- Learned end-to-end game creation: system design, gameplay & mechanics, game UI, AI, and documentation.
- Practiced asset management, task division, and presentation skills, including pitching game ideas and explaining design decisions.
- Strengthened understanding of story, plot, and narrative in game projects.

Himpunan Mahasiswa Teknik Informatika dan Komputer – Depok, Indonesia

Staff/Member (February 2022 - February 2023)

- Supported activities related to education and technology for students.
- Helped organize workshops and create digital learning materials.

Other Volunteer Roles (Head of Public Relations, IT Consultant, Event Committees)

- Planned events, coordinated with speakers and organizers, and handled communication with participants.
- Strengthened experience in meeting planning, communication, and follow-up on action items.

SKILLS

- Product Management – Great Learning
- Project Management – Google Certification
- Product Lifecycle Management – Great Learning
- Agile Scrum Foundation – Simplilearn
- Independent Study Program Batch 5 – Game Development – MSIB
- Unity Certified Associate – Game Developer

Technical & Soft Skills

- Soft Skills: Communication, Teamwork, Leadership, Empathy, Adaptability
- Project & Product: Game Design, Game Development, Product Management, basic Agile & Scrum
- Tools: Unity, Maya 3D, Adobe After Effects, Adobe Animate, Visual Studio Code, Microsoft 365, Teams, Slack, Zoom, React JS, Node.js, Supabase, Firebase, WordPress.
- Languages: Indonesian (native), English (professional working proficiency)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



ANANDA SYAFAKHATUL AZMI

Penulis dilahirkan di Tegal pada tahun 2004. Lulus dari SDN Karangjambu 01 tahun 2016, SMP Negeri 1 Bojong tahun 2019 dan SMA Negeri 1 Bojong tahun 2022. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di program studi Teknik Multimedia Digital, jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

Selama menempuh studi sarjana, penulis aktif mengembangkan minat di bidang akademik maupun non akademik. Penulis pernah menjadi finalis di ajang kompetisi informatika nasional politeknik pada tahun 2024 di bidang pengembangan gim. Penulis juga berkesempatan untuk berpartisipasi dalam program studi independen di PT Agate Internasional pada tahun 2024.

Penulis berhasil menyelesaikan program sarjana ini dengan menyusun skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Fitur 3D Simulasi Alur Kerja pada Aplikasi Pembelajaran Sistem *Electronic Fuel Injection* Berbasis *Augmented Reality*”. Melalui karya ilmiah ini, penulis berharap dapat memberikan kontribusi keilmuan dan praktis yang bermanfaat bagi bidang media pembelajaran interaktif di masa depan.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

