



**PENGEMBANGAN MEDIA PENUNJANG
PENGENALAN ROBOTIC ARM INDUSTRI
BERBASIS MIXED REALITY (MR)
(STUDI KASUS POLITEKNIK ASTRA)**

**IMPLEMENTASI UNITY PADA MEDIA PENUNJANG
PENGENALAN ROBOTIC ARM BERBASIS MIXED
REALITY (MR)**

SKRIPSI

**THOMAS SEPTIAN ELIEZER SIAHAAN
2207431037**

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



**PENGEMBANGAN MEDIA PENUNJANG
PENGENALAN ROBOTIC ARM INDUSTRI
BERBASIS MIXED REALITY (MR)
(STUDI KASUS POLITEKNIK ASTRA)**

**IMPLEMENTASI UNITY PADA MEDIA PENUNJANG
PENGENALAN ROBOTIC ARM BERBASIS MIXED
REALITY (MR)**

SKRIPSI

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

**Thomas Septian Eliezer Siahaan
2207431037**

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

2026



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thomas Septian Eliezer Siahaan

NIM : 2207431003

Jurusan/Program Studi : I. Informatika dan Komputer / T. Multimedia Digital
Judul Skripsi : Implementasi Unity Pada Media Penunjang Pengenalan Robotik Arm Berbasis Mixed Reality (MR)

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 peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Bekasi, 8 Juni 2026

Yang membuat pernyataan

Thomas Septian Eliezer Siahaan

NIM 2207431037



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Thomas Septian Eliezer Siahaan

NIM : 2207431037

Program Studi : Teknik Multimedia Digital

Judul Skripsi : Implementasi Unity Pada Media Penunjang Pengenalan Robotic Arm Berbasis Mixed Reality (MR)

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Kamis, Tanggal 18, Bulan Juni, Tahun 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan oleh

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

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

Penguji II : Hata Maulana, S.Si., M.T.I

Penguji III : Sinantya Feranti Anindya, S.T., M.T

Mengetahui

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer



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

NIP. 197908032003122003



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, berkat Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik yang berjudul “Implementasi Unity Pada Media Penunjang Pengenalan Robotic Arm Industri Berbasis Mixed Reality (MR)”. Tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini, diantaranya:

- a. Tuhan Yesus Kristus yang karena hikmat, berkat dan perlindungan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
- b. Malisa Huzaifa, S.Kom., M.T. selaku Kepala Prodi Program D4 Teknik Multimedia Digital.
- c. Ade Rahma Yuly, S.Kom., M.Ds. selaku dosen pembimbing yang telah sangat berjasa dalam membimbing, mendukung, mengarahkan penulis agar lebih baik dalam penyusunan laporan skripsi.
- d. Bapak Mada Jimmy dan Bapak Afianto dari tim dosen Politeknik Astra yang sudah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di Politeknik Astra.
- e. Sahabat dan tim penulis, Safira Zahara Jasmine, yang telah sangat membantu dalam pembuatan produk, analisis, hingga penyusunan skripsi ini.
- f. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberi dukungan moral dan materiil selama menjalani penyusunan laporan skripsi.
- g. UGAF, IISMA, CYCU Taiwan, dan teman-teman kelas yang telah memberi dukungan akademik, moral, maupun material selama menjalani penyusunan laporan skripsi ini.

Dengan demikian, semoga laporan skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pembaca dan pengembang ilmu lainnya.

Bekasi, 6 Juni 2026

Thomas Septian Eliezer Siahaan



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Thomas Septian Eliezer Siahaan

NIM : 2207431037

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

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

Pengembangan Media Penunjang Pengenalan Robotic Arm Industri Berbasis Mixed Reality (MR)

dengan subjudul:

Implementasi Unity pada Media Penunjang Pengenalan Robotic Arm Berbasis Mixed Reality (MR)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). 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 sebenar-benarnya.



Bekasi, 8 Juni 2026

membuat pernyataan

Thomas Septian Eliezer Siahaan

NIM 2207431037



Hak Cipta :

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

IMPLEMENTASI UNITY PADA MEDIA PENUNJANG PENGENALAN ROBOTIC ARM BERBASIS MIXED REALITY (MR)

Abstrak

Teknologi industri yang mengarah pada era Industri 4.0 dan 5.0 mendorong peningkatan pemanfaatan robot industri dalam proses manufaktur. *Robotic arm* industri menjadi salah satu teknologi penting yang perlu dipahami oleh mahasiswa mekatronika. Namun, proses pembelajaran *robotic arm* masih menghadapi kendala, seperti keterbatasan akses terhadap perangkat robot, risiko keselamatan, serta metode pembelajaran konvensional yang kurang interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Unity pada media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality* (MR) yang dijalankan pada perangkat Meta Quest. Metode pengembangan yang digunakan adalah Multimedia Development Life Cycle (MDLC) yang meliputi tahap konsep, desain, pengumpulan bahan, perakitan, pengujian, dan distribusi. Hasil pengembangan menghasilkan aplikasi RoboMRLab yang memiliki mode pembelajaran dan mode eksplorasi, serta dilengkapi fitur sistem modul belajar, manipulasi *robotic arm*, *Teach Pendant* virtual, visualisasi *coordinate frame*, visualisasi *workspace*, visualisasi *trajectory*, visualisasi batas aman interaksi pengguna, visualisasi *singularity*, *ray interaction*, *controller interaction*, *hand tracking*, dan *haptic feedback*. Pengujian dilakukan melalui *alpha testing*, *beta testing* kepada mahasiswa, validasi ahli pembelajaran robotika, validasi ahli media, dan observasi pengguna. Hasil pengujian alpha menunjukkan bahwa sebagian besar fitur utama berjalan sesuai skenario pengujian. Pengujian beta kepada 18 responden yang terdiri dari 15 mahasiswa dan 3 dosen, dengan hasil pengujian mahasiswa memperoleh persentase sebesar 92,83% dengan kategori Sangat Setuju. Validasi ahli pembelajaran robotika oleh 3 dosen memperoleh persentase sebesar 92,50% dengan kategori Sangat Setuju, sedangkan validasi ahli media *Mixed Reality* memperoleh persentase sebesar 91,82% dengan kategori Sangat Setuju. Berdasarkan penilaian mahasiswa sebagai pengguna, dosen ahli pembelajaran robotika, dan ahli media *Mixed Reality*, aplikasi RoboMRLab dinilai layak digunakan sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality* yang interaktif, visual, dan imersif.

Kata kunci: Unity, *Mixed Reality*, Industri, Meta Quest, *Robotic Arm*



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
Abstrak.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Robotic Arm Industri	6
2.1.1 Struktur dan Komponen Robot	6
2.1.2 Ruang Kerja Robot (<i>Workspace</i>).....	8
2.1.3 Kondisi Singularitas (<i>Singularity</i>)	8
2.1.4 Sistem Koordinat Robot (<i>Coordinate Frames</i>).....	9
2.2 Media Pembelajaran berbasis Multimedia Interaktif	10
2.3 Mixed Reality.....	10
2.4 Meta Quest 3	12
2.5 Meta XR Interaction SDK.....	12
2.6 Unity 3D.....	12
2.7 Figma	13
2.8 Github.....	13
2.9 Multimedia Development Life Cycle (MDLC)	13
2.10 Skala Likert	14
2.11 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Rancangan Penelitian	18
3.2 Tahapan Penelitian	18



Hak Cipta :

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

3.3	Objek Penelitian	20
3.4	Teknik Pengumpulan Data	22
3.4.1	Teknik Analisis Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Hasil Analisis Kebutuhan	25
4.1.1	Identifikasi Permasalahan Pembelajaran.....	26
4.1.2	Analisis Data	28
4.1.3	Penentuan Kebutuhan Sistem.....	28
4.1.4	Penentuan Fitur Utama Sistem.....	29
4.2	Perancangan Aplikasi	30
4.2.1	<i>Flowchart</i> Aplikasi.....	32
4.2.2	Arsitektur Aplikasi	34
4.2.3	Struktur <i>Scene</i> pada Unity.....	36
4.2.4	Perancangan Fitur Sistem.....	37
4.2.5	Perancangan Interaksi <i>Mixed Reality</i>	39
4.3	Pengumpulan Bahan.....	40
4.4	Perakitan Aplikasi	45
4.4.1	Implementasi Arsitektur Sistem <i>Modular</i>	45
4.4.2	Implementasi Sistem Pembelajaran	52
4.4.3	Implementasi Manipulasi <i>Robotic Arm</i>	63
4.4.4	Implementasi Visualisasi Pembelajaran	72
4.4.5	Implementasi Interaksi <i>Mixed Reality</i>	82
4.4.6	Implementasi Antarmuka Pengguna (UI)	88
4.5	Pengujian Sistem.....	97
4.5.1	Pengujian Alpha	97
4.5.2	Pengujian Beta	101
4.5.3	Validasi Ahli Pembelajaran	110
4.5.4	Validasi Ahli Media.....	113
4.5.5	Observasi Pengguna	115
4.5.6	Analisis Hasil Pengujian	118
4.6	Distribusi	121
BAB V KESIMPULAN		122
5.1	Kesimpulan	122



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

5.2	Saran.....	123
DAFTAR PUSTAKA		124
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS		127
LAMPIRAN		128



Hak Cipta :

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



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur dan Komponen Robot.	7
Gambar 2.2 Tool Center Point.....	7
Gambar 2.3 Jarak Jangkauan Robot ABB GoFA 15000.	8
Gambar 2.4 Posisi Singularity Robot ABB GoFA 15000.	9
Gambar 2.5 Sistem Koordinat Robot.	10
Gambar 2.6 Reality-Virtuality Continuum.....	11
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	19
Gambar 4.1 Flowchart Aplikasi	33
Gambar 4.2 Arsitektur Aplikasi	46
Gambar 4.3 Tampilan Inspector <i>LearningModuleSO</i>	47
Gambar 4.4 Tampilan Menu <i>ScriptableObject</i>	47
Gambar 4.5 Skrip <i>LearningStepSO</i>	48
Gambar 4.6 Skrip <i>RobotController</i>	49
Gambar 4.7 Fungsi Menggerakkan <i>Joint Robot</i>	49
Gambar 4.8 Skrip <i>ModePanelController</i> yang mengatur display panel.....	50
Gambar 4.9 Skrip <i>RobotEventBus</i> yang mengatur seluruh pergerakan robot.....	51
Gambar 4.10 Skrip <i>LearningEventBus</i>	51
Gambar 4.11 Skrip <i>NotificationBus</i>	51
Gambar 4.12 Tampilan Inspector <i>ModuleScriptableObject</i>	53
Gambar 4.13 Diagram hubungan <i>LearningModuleSO</i>	53
Gambar 4.14 Menu untuk menambahkan <i>LearningModuleSteps</i>	54
Gambar 4.15 Implementasi ketika beberapa step dirangkai menjadi satu.	56
Gambar 4.16 Urutan kerja eksekusi Modul Pembelajaran.....	58
Gambar 4.17 Fungsi melanjutkan step pada skrip <i>LearningModuleRunner</i>	59
Gambar 4.18 Tampilan <i>LearningCard</i> ketika tugas sudah selesai dikerjakan pengguna.	60
Gambar 4.19 Skrip <i>TaskStepExecutor</i>	60
Gambar 4.20 Tampilan <i>LearningCard</i> pada Intro Modul 1.....	61

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

Gambar 4.21 Hubungan antara LearningSystem dengan sistem lainnya.....	62
Gambar 4.22 Robotic Arm ABB GoFA 15000.....	64
Gambar 4.23 Pengaturan Joint Robot yang saling terhubung.....	64
Gambar 4.24 Fungsi SolveIK untuk Inverse Kinematics.....	65
Gambar 4.25 Fungsi HandleJogging untuk Forward Kinematics.....	65
Gambar 4.26 Implementasi menu Home, Jog dan Wizard Teach Pendant.	68
Gambar 4.27 Menu <i>Jog Axis Teach Pendant</i>	69
Gambar 4.28 Menu <i>Jog mode Linear</i>	69
Gambar 4.29 <i>End-Effector Robot</i>	70
Gambar 4.30 Tombol Open/Close Gripper.	70
Gambar 4.31 Skrip GripperController untuk membuka Gripper.	71
Gambar 4.32 Contoh Notifikasi Gripper yang tersambung ke Pendant.....	71
Gambar 4.33 Urutan Kerja Integrasi Sistem Robot.	72
Gambar 4.34 Skrip CoordinateFrameGizmo.	75
Gambar 4.35 Visualisasi <i>Workspace</i>	76
Gambar 4.36 Skrip WorkspaceVisualizer.....	76
Gambar 4.37 Robot berhenti ketika kepala pengguna terdeteksi dalam Zona Aman.....	77
Gambar 4.38 Skrip <i>SafetyZoneController</i>	77
Gambar 4.39 Deteksi <i>Singularity</i> dan notifikasi ke Pendant.	78
Gambar 4.40 Robot berpose <i>Singularity</i> pada modul 2.	79
Gambar 4.41 Lintasan Gerak Robot dalam mode Linear.....	80
Gambar 4.42 Skrip <i>WizardPathVisualizer</i>	80
Gambar 4.43 Integrasi visual <i>Highlight</i> dengan step pembelajaran.	81
Gambar 4.44 Implementasi <i>Ray Interaction</i>	82
Gambar 4.45 Menu Menambahkan <i>Komponen Ray Interaction</i>	83
Gambar 4.46 <i>Create Ray Interaction Canvas</i>	83
Gambar 4.47 Implementasi <i>Controller Interaction</i>	84
Gambar 4.48 Meta <i>XR Menu</i>	84



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Gambar 4.49 Menu <i>Building Block Meta XR</i>	85
Gambar 4.50 Implementasi <i>Distance Ray Grab Interaction</i>	85
Gambar 4.51 Menu komponen <i>Distance Grab Interaction</i>	86
Gambar 4.52 Gambaran <i>Controller</i> bergetar.....	87
Gambar 4.53 Skrip <i>Haptic Manager</i>	87





DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Skala Likert	15
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1 Kriteria Penilaian Skala Likert	24
Tabel 4.1 Konsep Umum Aplikasi	26
Tabel 4.2 Tabel Kategori	27
Tabel 4.3 Tabel Identifikasi Permasalahan	27
Tabel 4.4 Analisis Kebutuhan Sistem	29
Tabel 4.5 Fitur Utama Aplikasi	29
Tabel 4.6 Struktur Scene	36
Tabel 4.7 Fitur Sistem Aplikasi	37
Tabel 4.8 Tabel Tampilan Halaman	40
Tabel 4.9 Tabel Aset	43
Tabel 4.10 Jenis-Jenis ScriptableObject LearningModuleStep	55
Tabel 4.11 Tampilan <i>inspector</i> dari DialogStepSO	56
Tabel 4.12 Tampilan <i>inspector</i> dari TaskStepSO	57
Tabel 4.13 Daftar Status <i>Robot</i>	66
Tabel 4.14 Visualisasi <i>Coordinate Frame</i>	74
Tabel 4.15 Rancangan dan Implementasi menu <i>Onboarding</i>	89
Tabel 4.16 Rancangan dan Implementasi menu utama dan pilih modul	90
Tabel 4.17 Rancangan dan Implementasi modul dan scene <i>Explore</i>	91
Tabel 4.18 Rancangan dan Implementasi menu Pengaturan	91
Tabel 4.19 Rancangan dan Implementasi <i>Learning Card</i>	92
Tabel 4.20 Rancangan dan Implementasi antarmuka <i>Teach Pendant</i>	93
Tabel 4.21 Rancangan dan Implementasi Sistem <i>Highlight</i>	95
Tabel 4.22 Rancangan dan Implementasi Penempatan Antarmuka	96
Tabel 4.23 Ringkasan Pengujian <i>Alpha Testing</i>	99
Tabel 4.24 Urutan Kerja <i>Beta Testing</i>	102

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Tabel 4.25 Skala <i>Likert</i>	103
Tabel 4.26 List Pertanyaan.....	103
Tabel 4.27 Rangkuman Pengujian <i>Beta Testing</i>	105
Tabel 4.28 Skor pertanyaan per Aspek.....	106
Tabel 4.29 Aspek Penilaian <i>Beta Testing</i>	108
Tabel 4.30 Masukan Pengguna.	109
Tabel 4.31 <i>List Validator</i>	111
Tabel 4.32 Pengujian <i>Validator</i>	112
Tabel 4.33 Pengujian Ahli Media.....	114
Tabel 4.34 Ringkasan Hasil Observasi Pengguna.....	115
Tabel 4.35 Ringkasan Pengujian.	119

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

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

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur mengalami pergeseran menuju era industri 4.0, dimana fokus industri telah bergeser menuju otomatisasi dan digitalisasi menuju kolaborasi antara manusia dan mesin agar proses produksi menjadi lebih efisien, kreatif dan berfokus pada keberlanjutan (Rahman et al., 2025). Pergeseran ini meningkatkan kebutuhan *robotic arm* industri yang berperan penting untuk menyelesaikan tugas-tugas manufaktur. (Chen, 2023). Sejalan dengan berkembangnya *robotic arm* industri, tenaga kerja yang bekerja berdampingan dengan robot akan terus meningkat dalam tahun-tahun mendatang. (Orsolits et al., 2022). Oleh karena itu, peningkatan dan penguasaan kompetensi robotika menjadi kebutuhan yang penting bagi mahasiswa untuk menjembatani kesenjangan antara teori dengan praktik industri (Karanam et al., 2025).

Simulator robot industri pernah dibuat untuk memprogram dan menyimulasikan gerak robot secara virtual. (Garg et al., 2021). Namun, pembelajaran berbasis simulator masih memiliki keterbatasan seperti interaksi spasial dan pengalaman imersif bagi penggunanya. Pengguna tidak dapat mengamati robot dalam konteks ruang nyata atau berinteraksi secara natural. (Tennakoon et al., 2024).

Berdasarkan hasil pengumpulan data awal dari mahasiswa dan alumni Program Studi Mekatronika Politeknik Astra oleh tim penulis, sebanyak 85% dari 33 responden mengalami kesulitan dalam memahami konsep *robotic arm* melalui media pembelajaran yang tersedia saat ini. Proses pembelajaran *robotic arm* industri masih menghadapi beberapa kendala, seperti kurangnya pemahaman konseptual mahasiswa terhadap *robotic arm*, keterbatasan akses terhadap perangkat robot, serta kebutuhan pemahaman mengenai risiko keselamatan operasional robot. Konsep seperti arah gerak joint, *workspace*, *sistem koordinat*, *trajectory*, *singularity*, dan batas aman interaksi pengguna merupakan materi yang bersifat spasial dan dinamis, sehingga sulit dipahami apabila hanya disampaikan melalui modul, presentasi, gambar, video, atau demonstrasi robot secara terbatas.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Berdasarkan narasumber, ketidakpahaman terhadap konsep-konsep tersebut dapat berdampak pada kesalahan dalam memahami materi seperti trajektori, *waypoint* dan *singularity*. Jika mahasiswa tidak memahami sistem koordinat robot, mahasiswa dapat keliru dalam membaca arah gerak dan posisi robot karena acuan gerak pada *World Frame*, *Base Frame*, *User Frame*, dan *Tool Frame* memiliki orientasi yang berbeda. Sistem koordinat robot sendiri digunakan untuk menentukan posisi dan orientasi robot dalam ruang tiga dimensi (Su et al., 2022). Selain itu, ketidakpahaman terhadap *workspace* dapat menyebabkan mahasiswa sulit memahami batas jangkauan robot dan area kerja yang aman, karena *workspace* merupakan area maksimum yang dapat dicapai oleh *end-effector robot* (Orsolits et al., 2022). Pada kondisi tertentu, ketidakpahaman terhadap *singularity* juga dapat menyebabkan mahasiswa tidak menyadari bahwa menggerakkan robot ke konfigurasi joint tertentu dapat membuat robot kehilangan sebagian derajat kebebasan, menghasilkan gerakan tidak stabil, atau membutuhkan perubahan joint yang besar secara tiba-tiba (Daussà Baize, 2024).

Dengan demikian, permasalahan pembelajaran robotic arm tidak hanya berkaitan dengan kesulitan memahami teori, tetapi juga berpotensi memengaruhi ketepatan pengoperasian, keselamatan praktik, dan kesiapan mahasiswa sebelum berinteraksi langsung dengan robot fisik. Oleh karena itu, diperlukan media penunjang pembelajaran yang mampu menampilkan konsep robotic arm secara visual, interaktif, dan aman. Media berbasis Mixed Reality dipilih karena memungkinkan objek virtual ditampilkan dan diinteraksikan dalam lingkungan nyata secara real-time, sehingga pengguna dapat memahami konsep robotic arm melalui pengalaman yang lebih imersif dan kontekstual (Suryodiningrat et al., 2024; Skarbez et al., 2021).

Dalam perkembangan teknologi digital, pendekatan pembelajaran berbasis *Extended Reality* (XR) mulai banyak diterapkan sebagai solusi dalam pendidikan teknik. *Extended Reality* yang mencakup *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR) dan *Mixed Reality* (MR) memungkinkan visualisasi objek yang dapat diinteraksikan. Teknologi XR juga semakin berkembang sebagai alat pembelajaran yang dapat mengajak penggunanya semakin terlibat dan meningkatkan pemahaman



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

peserta didik terhadap materi yang sulit divisualisasikan secara konvensional. (Wijayanto, 2023).

Salah satu platform pengembangan yang banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi pembelajaran *Mixed Reality* adalah Unity. Aplikasi ini mampu untuk mensimulasikan *robotic arm* dengan lingkungan asli menggunakan perangkat XR seperti Meta Quest 3 (Tarng et, al. 2024). Unity juga memiliki fleksibilitas skrip yang tinggi untuk membangun kontrol robot yang kompleks (Chen, 2023).

Dalam perkembangan aplikasi *Mixed Reality*, aspek kenyamanan dan durasi menjadi faktor penting. Perangkat *Mixed Reality* seperti Meta Quest memiliki karakteristik penggunaan yang berbeda dibanding media pembelajaran lain. Meta Developers (2024) menyatakan pada penelitian mereka bahwa pengguna merasa kurang menikmati konten yang berdurasi di bawah 20 menit, dan pengguna merasa kelelahan ketika menikmati konten di atas 40 menit. Ini menjadikan durasi selama 20 sampai 40 menit per sesi sebagai waktu yang baik untuk penggunaan perangkat Meta Quest.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini ingin mengembangkan media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *mixed reality* (MR) menggunakan perangkat Meta Quest menggunakan Unity. Sistem ini akan dikembangkan dengan mode pembelajaran untuk memahami konsep dasar *robotic arm*, dan pengetahuan risiko keselamatan operasi *robotic arm*. Diharapkan media pengenalan ini menjadi solusi yang inovatif dan dapat mendukung proses pengenalan *robotic arm* industri lebih interaktif.



Hak Cipta :

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

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang dipaparkan, rumusan masalah pada skripsi ini adalah bagaimana Unity dapat diterapkan dalam pengembangan media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality* (MR).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan penulis sebagai berikut:

- a. Pembuatan sistem pembelajaran menggunakan perangkat lunak Unity dengan bahasa pemrograman C#.
- b. Luaran aplikasi akan dalam bentuk APK yang nantinya dapat digunakan oleh perangkat XR Meta Quest.
- c. Aplikasi terdiri dari mode utama, yakni mode pembelajaran dan mode eksplorasi.
- d. Target pengguna dari aplikasi adalah mahasiswa program studi mekatronika Politeknik Astra yang mempelajari *robotic arm* industri.
- e. Implementasi Unity dibatasi pada sistem pengenalan dan pengetahuan konseptual *robotic arm*, dan pengetahuan risiko keselamatan operasional *robotic arm*.
- f. Penggunaan alat Meta Quest dibatasi dibawah 20 menit per modul.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Unity sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* berbasis *mixed reality*.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menjadi media penunjang pembelajaran dalam memperkenalkan sistem *robotic arm* industri yang interaktif.
- b. Mengevaluasi fitur-fitur media penunjang pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan fungsionalitas dan pengalaman 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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan penelitian akan ditulis sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Berisi penjelasan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab II Tinjauan pustaka memuat pembahasan mengenai landasan teori pendukung penelitian yang meliputi *robotic arm* industri, *mixed reality*, media pembelajaran, serta perangkat dan istilah yang digunakan dalam proses pengembangan aplikasi.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab III Metodologi Penelitian menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian seperti rancangan penelitian, tahapan pelaksanaan, objek penelitian, model pengembangan, teknik pengumpulan data, dan metode analisis data.

Bab IV Pembahasan

Bab IV Pembahasan menjelaskan langkah-langkah pengembangan aplikasi, dimulai dari hasil analisis kebutuhan yang dilakukan, perancangan aplikasi, pengumpulan bahan, perakitan aplikasi, pengujian sistem hingga distribusi.

Bab V Kesimpulan

Bab V berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, dan saran untuk penelitian ini kedepannya.



Hak Cipta :

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robotic Arm Industri

Robotic arm industri dimanfaatkan dalam lingkungan industri seperti manufaktur untuk mendukung proses produksi secara otomatis. Robot ini digunakan untuk membantu aktivitas industri yang sebelumnya dilakukan secara manual. Dalam standar ISO, *robotic arm* memiliki karakteristik sebagai mesin otomatis yang dapat dikendalikan posisinya, bersifat multifungsi, dan memiliki kemampuan pemrograman ulang pada setiap sumbu gerak untuk menangani berbagai tugas yang ada di industri. (Tarng et al., 2024).

Secara mekanisme, robot dirancang seperti lengan manusia yang tersusun atas beberapa bagian, seperti link dan joint. Setiap joint memberikan robot kemampuan untuk bergerak baik rotasi ataupun translasi. Pergerakan ini yang membuat robot memiliki derajat kebebasan (*Degree of Freedom*). Kombinasi dari beberapa joint tersebut yang memungkinkan *end-effector* robot dapat berpindah dan berorientasi sesuai posisi yang dibutuhkan oleh proses kerja. (Chen, 2023; Tarng et al., 2024).

Pengendalian *robotic arm* berkaitan erat dengan konsep kinematika robot. Melalui pendekatan *forward kinematics*, posisi dan orientasi *end-effector* dapat ditentukan berdasarkan sudut pada setiap sendi, sedangkan *inverse kinematics* digunakan untuk menghitung nilai sudut sendi agar *end-effector* dapat mencapai posisi target yang diinginkan (Garg et al., 2021; Tang et al., 2024).

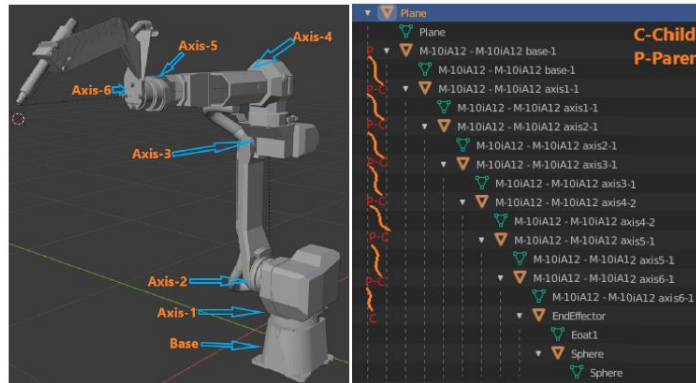
2.1.1 Struktur dan Komponen Robot

Struktur utama robot terdiri dari rangkaian *link* (lengan) dan *joint* (sendi) robot. *Link* merupakan bagian kaku yang berfungsi sebagai penghubung, sedangkan *joint* adalah bagian yang memberikan kemampuan gerak pada robot (Tarng et al., 2024).



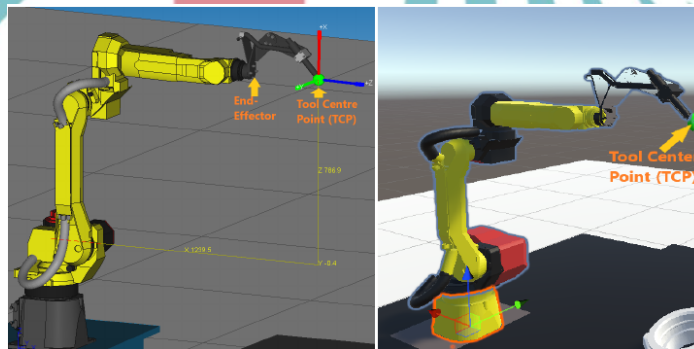
Hak Cipta :

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



Gambar 2.1 Struktur dan Komponen Robot.

Sumber: Garg et al., 2021



Gambar 2.2 Tool Center Point.

Sumber: Garg et al., 2021

Jumlah *joint* pada robot menentukan tingkatan *Degree of Freedom* (DoF) atau derajat kebebasan, di mana robot industri umumnya memiliki 6-DoF. Pada ujung lengan robot terpasang perangkat yang disebut *end-effector*, seperti *gripper* atau alat las, yang berfungsi untuk melakukan tugas spesifik (Tarng et al., 2024). Titik referensi pusat yang digunakan sistem kontrol untuk menghitung pergerakan pada ujung alat ini disebut sebagai *Tool Center Point* (TCP) (Garg et al., 2021).

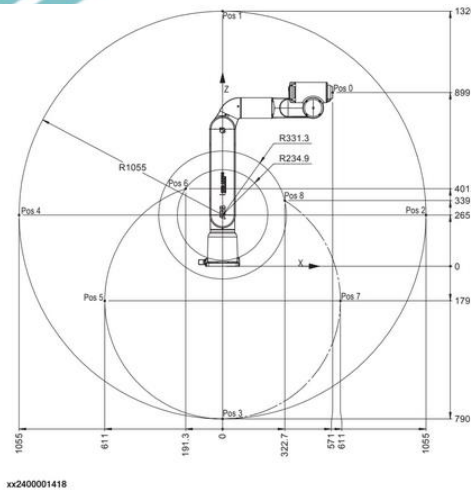


Hak Cipta :

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

2.1.2 Ruang Kerja Robot (*Workspace*)

Ruang kerja robot (*Workspace*) didefinisikan sebagai area jangkauan maksimum yang dapat dicapai oleh *end-effector* robot (Orsolits et al., 2022). Luas area ditentukan oleh konfigurasi fisik robot, jumlah sendi, serta panjang link yang dimiliki (Tarng et al., 2024). Pemahaman terhadap workspace sangat penting untuk memastikan robot dapat menjangkau objek tanpa adanya hambatan mekanis dan benturan di lingkungan sekitarnya. (Orsolits et al., 2022).

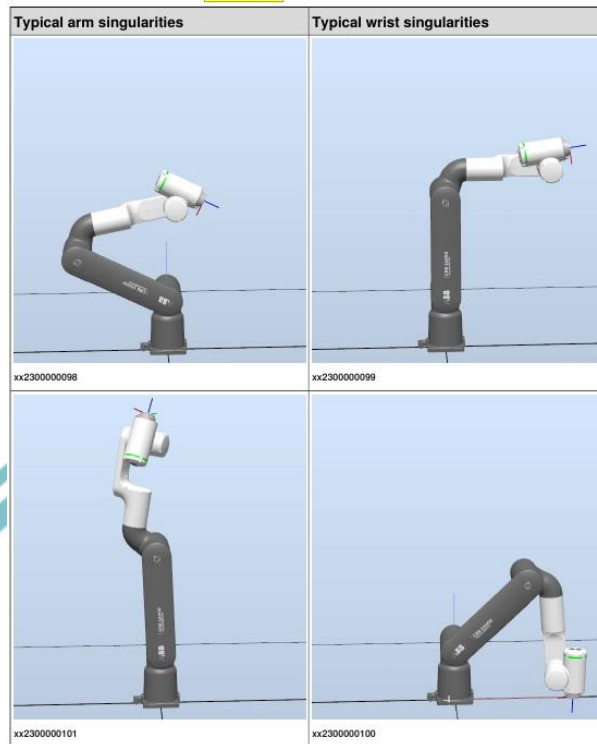


Gambar 2.3 Jarak Jangkauan Robot ABB GoFA 15000.

Sumber: ABB Robotics., 2021

2.1.3 Kondisi Singularitas (*Singularity*)

Singularity dalam desain mekanisme adalah titik kritis perilaku atau performa sebuah robot menjadi bermasalah dan tidak terdefinisi karena adanya batas geometris. Pada titik ini, mekanisme kehilangan satu atau lebih derajat kebebasannya (*Degree of Freedom*), yang mengakibatkan manipulator tidak mampu bergerak ke arah tertentu. (Baize., 2024). Kondisi ini dihindari karena dapat memicu gaya dan torsi yang besar secara tiba-tiba dan mengakibatkan ketidakstabilan gerakan (Baize., 2024).



Gambar 2.4 Posisi Singularity Robot ABB GoFA 15000.

Sumber: ABB Robotics., 2021

2.1.4 Sistem Koordinat Robot (*Coordinate Frames*)

Sistem Koordinat Robot (*Coordinate Frames*) adalah sebuah sistem untuk menentukan posisi dan orientasi robot dalam ruang tiga dimensi. (Su et al., 2022). Beberapa kerangka acuan utama meliputi *World Frame* sebagai acuan tetap lingkungan kerja, *Base Frame* yang berpusat pada dasar robot, serta *Tool Frame* yang melekat dan bergerak dinamis mengikuti posisi TCP pada *end-effector* (Garg et al., 2021).

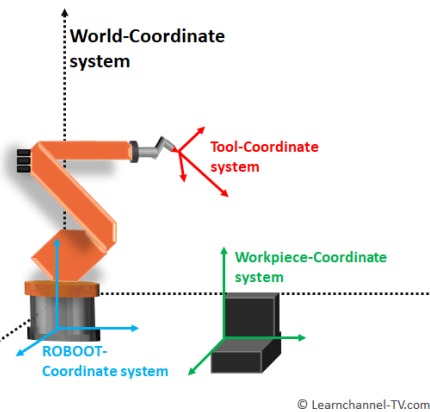
Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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



Gambar 2.5 Sistem Koordinat Robot.

Sumber: Learnchannel-TV., 2017

2.2 Media Pembelajaran berbasis Multimedia Interaktif

Seiring perkembangan teknologi, media pembelajaran juga terus berkembang, dari pendekatan konvensional seperti metode ceramah menuju metode pembelajaran yang memanfaatkan teknologi (Wijayanto, 2023).

Pemanfaatan teknologi digital juga mendorong penggunaan multimedia interaktif sebagai sarana untuk melibatkan pengguna secara aktif dalam suatu lingkungan simulasi. Proses pembelajaran berbasis pengalaman dinilai menjadi lebih sukses jika peserta didik dapat melihat, membaca maupun merasakan materi yang dipelajari. Dalam hal ini, pemanfaatan multimedia interaktif melalui teknologi *mixed reality* memungkinkan penyajian simulasi dan visualisasi yang lebih menarik, sehingga dapat meningkatkan keterlibatan, motivasi dan pengalaman belajar yang sesuai tingkat pemahaman peserta didik. (Suryodiningrat, 2024).

2.3 Mixed Reality

Mixed Reality (MR) atau realitas campuran merupakan teknologi yang memungkinkan integrasi antara lingkungan fisik dan elemen digital dalam satu ruang interaksi. Melalui teknologi ini, objek virtual dapat ditempatkan dan berinteraksi secara bersamaan dengan objek nyata, sehingga pengguna dapat merasakan pengalaman yang menggabungkan dunia fisik dan digital secara simultan (John, 2021). Dalam perkembangannya, *Mixed Reality* termasuk dalam



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

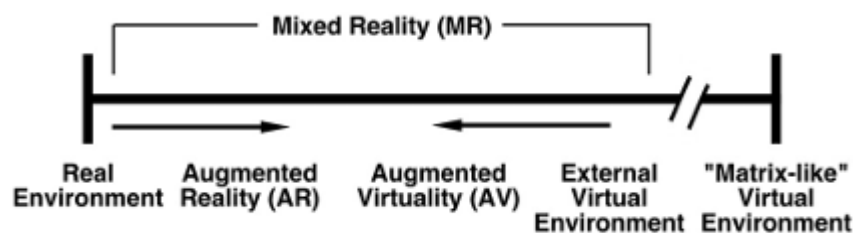
Hak Cipta :

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

kategori *Extended Reality* (XR), yaitu istilah umum yang mencakup berbagai teknologi realitas digital seperti *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR), dan *Mixed Reality* (MR).

Suatu aplikasi dapat dikategorikan sebagai *Mixed Reality* apabila memenuhi beberapa kriteria utama, yaitu mampu mengintegrasikan konten nyata dan virtual dalam satu lingkungan, interaktif, berjalan secara realtime, serta mendukung representasi ruang tiga dimensi (3D). (Suryodiningrat et al., 2024) Pemenuhan karakteristik tersebut memungkinkan teknologi *Mixed Reality* digunakan secara efektif dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan, pelatihan, dan simulasi berbasis teknologi (Orsolits et al., 2022).

Mixed Reality juga dapat dijelaskan melalui konsep *Reality-Virtuality Continuum* (Skarbez et al., 2021). Konsep ini menggambarkan hubungan antara lingkungan nyata dan lingkungan virtual dalam suatu rentang. Pada satu sisi, terdapat real environment dan di sisi lain terdapat virtual environment. Diantara kedua sisi tersebut, terdapat *Augmented Reality* dan *Virtual Reality* yang tercakup dalam cakupan *Mixed Reality* (Skarbez et al., 2021).



Gambar 2.6 *Reality-Virtuality Continuum*.

Sumber: Milgram dan Kishino dalam Skarbez et al., 2021

Skarbez, Smith, dan Whitton menjelaskan bahwa Milgram dan Kishino memandang lingkungan yang terdiri dari perpaduan objek nyata dan objek virtual sebagai *Mixed Reality*. Selain itu, *Augmented Reality* dipahami sebagai bagian dari *Mixed Reality* karena dunia nyata yang diperkaya dengan konten ataupun objek virtual dan memungkinkan objek tersebut berada didalam konteks lingkungan



Hak Cipta :

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

nyata, berjalan secara *real-time* dan dapat diinteraksikan oleh pengguna. (Skarbez et al., 2021).

2.4 Meta Quest 3

Meta Quest adalah perangkat head-mounted display (HMD) dari Meta Platforms yang mendukung teknologi *Extended Reality* (XR), khususnya *Mixed Reality* (MR), tanpa memerlukan komputer eksternal. Meta Quest 3 memiliki kemampuan komputasi mandiri dan sensor *real-time* yang memungkinkan integrasi objek virtual dengan lingkungan nyata secara fleksibel dan efisien (Meta Platforms, 2026).

Meta Quest 3 dibekali fitur *full colour passthrough* yang memungkinkan pengguna tetap melihat kondisi lingkungan fisik saat perangkat digunakan. Fitur ini bekerja dengan dukungan kamera dan sensor kedalaman untuk melakukan pemetaan ruang, sehingga objek virtual dapat ditempatkan secara tepat di dunia nyata. Dengan kemampuan tersebut, pengalaman interaksi dalam lingkungan *Mixed Reality* menjadi lebih alami dan kontekstual (Meta Platforms, 2026).

2.5 Meta XR Interaction SDK

Meta XR Interaction SDK merupakan perangkat lunak pendukung yang dikembangkan oleh Meta Platforms untuk pengembangan aplikasi *Extended Reality* (XR), termasuk *Mixed Reality* (MR), pada perangkat Meta Quest. SDK ini menyediakan berbagai modul interaksi siap pakai, seperti *hand tracking*, penggunaan *controller*, *ray-based interaction*, serta manipulasi objek virtual. Keberadaan komponen tersebut memungkinkan pengembang membangun sistem interaksi XR secara lebih efisien dan fleksibel tanpa perlu merancang mekanisme dasar dari awal (Meta Platforms, 2023).

2.6 Unity 3D

Unity dari Unity Technologies adalah game engine banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi interaktif. Selain digunakan untuk pembuatan game, Unity juga mendukung pengembangan berbagai bentuk multimedia interaktif serta aplikasi berbasis *Extended Reality* (XR), seperti *Virtual Reality* (VR), *Augmented*



Hak Cipta :

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

Reality (AR), dan *Mixed Reality* (MR). Dukungan terhadap teknologi tersebut menjadikan Unity sebagai salah satu platform pengembangan yang fleksibel untuk berbagai kebutuhan aplikasi interaktif (Unity Technologies, 2024).

Dalam proses pengembangannya, Unity menyediakan dua pendekatan utama, yaitu perancangan visual melalui editor dan pengembangan berbasis skrip menggunakan bahasa pemrograman C#. Kombinasi antara antarmuka visual dan pemrograman skrip memungkinkan pengembang untuk membangun aplikasi secara lebih terstruktur, interaktif, dan efisien sesuai dengan kebutuhan sistem yang dikembangkan (Unity Technologies, 2024).

2.7 Figma

Figma merupakan aplikasi yang digunakan dalam perancangan antarmuka dan pengalaman pengguna (UI/UX). Platform ini mendukung proses desain kolaboratif, pembuatan wireframe, prototipe, serta pemetaan alur pengguna, sehingga banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi digital yang berfokus pada kebutuhan pengguna (GeeksforGeeks, 2024).

2.8 Github

GitHub adalah platform berbasis web untuk layanan version control menggunakan Git. Platform ini dapat digunakan untuk mengelola *sourcecode*, kolaborasi tim, dan dokumentasi proses pengembangan aplikasi. GitHub memiliki berbagai fitur seperti *repository*, *branching*, *issue tracking*, dan *documentation*, yang sangat membantu dalam pengembangan sistem. (Github, Inc., 2024).

2.9 Multimedia Development Life Cycle (MDLC)

Multimedia Development Life Cycle (MDLC) adalah metode pengembangan aplikasi multimedia yang dapat digunakan untuk menghasilkan aplikasi multimedia secara sistematis dan terstruktur. Metode ini terdiri atas enam tahapan yang dapat disesuaikan dalam pengembangannya, yakni konsep, desain, pengumpulan bahan, ujicoba testing, dan distribusi. (Alfiansyah et al., 2022).



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

a. Konsep (*Concept*)

Merupakan tahap yang berfokus pada penentuan tujuan aplikasi, sasaran pengguna dan manfaat aplikasi yang ingin dicapai.

b. Desain (*Design*)

Merupakan tahap yang bertujuan untuk merancang sistem secara detail. Ini meliputi perancangan arsitektur aplikasi, alur pengguna, penyusunan diagram dan konsep visual.

c. Pengumpulan Bahan (*Material Collecting*)

Tahapan selanjutnya yang dilakukan untuk mengumpulkan bahan pendukung seperti aset, gambar, audio, video dan media lainnya.

d. Pembuatan (*Assembly*)

Tahap integrasi dan penyusunan seluruh aset berdasarkan rancangan yang telah ditetapkan.

e. Pengujian (*Testing*)

Tahapan untuk menguji aplikasi dan memastikan fungsi aplikasi sesuai dengan kebutuhan dan untuk mendeteksi kesalahan pemrograman sebelum aplikasi digunakan pengguna.

f. Distribusi (*Distribution*)

Tahap penyaluran aplikasi yang telah siap kepada pengguna.

2.10 Skala Likert

Skala Likert merupakan metode pengukuran yang umum digunakan dalam penelitian kuantitatif. Skala ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1932 dan hingga kini banyak diterapkan dalam bidang pendidikan (Ulfah et al., 2024).

Pilihan jawaban pada skala likert dinyatakan dalam lima tingkatan sebagai berikut:

1. Sangat Setuju (SS) = 5
2. Setuju (S) = 4
3. Netral (N) = 3
4. Tidak Setuju (TS) = 2
5. Sangat Tidak Setuju (STS) = 1



Hak Cipta :

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

Responden nantinya menjawab pertanyaan dan nantinya diberi skor sesuai skala diatas. Untuk memperoleh hasil evaluasi, dilakukan penghitungan skor total dengan cara perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Skor Total} = \Sigma (\text{Jumlah Responden} \times \text{Skor Pilihan})$$

Skor total yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan untuk menentukan nilai indeks penilaian dengan menggunakan rumus berikut:

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

Skor maksimum nantinya diperoleh dengan mengalikan jumlah responden, jumlah pertanyaan dan skor tertinggi (5). Skor minimum diperoleh dengan mengalikan jumlah pertanyaan, jumlah responden, dan skor terendah (1).

Hasil penilaian dapat diperoleh ketika nilai indeks (%) diperoleh, dan data dapat diinterpretasikan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2.1 Nilai Skala Likert

Rentang Indeks	Kriteria Penilaian
0 - 19,99 %	Sangat Tidak Setuju
20 - 39,99 %	Tidak Setuju
40 - 59,99 %	Netral
60 - 79,99 %	Setuju
80 - 100 %	Sangat Setuju

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai pembanding dan acuan bagi proposal skripsi ini. Berikut penulis cantumkan beberapa penelitian terkait pada tabel 2.2.



Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Teknologi	Hasil Temuan
Ciungan et al. (2025)	Enhancing IoT Education Through Hybrid <i>Robotic Arm</i> Integration: A Quantitative and Qualitative Student Experience Study	Unity, Meta Quest 2, VR, Websocket, 5-DOF Robotic Arm	Mengembangkan sistem pembelajaran robotika menggunakan Unity dan Meta Quest 2. Hasil penelitian membuktikan bahwa integrasi Virtual Reality dengan Robot dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa dan pemahaman terhadap konsep kinematika robot.
Tarng et al. (2024)	Application of <i>Virtual Reality</i> in Developing the Digital Twin for an Integrated Robot Learning System	Unity, Meta Quest 3, Robot WLKATA (6-axis)	Menerapkan <i>Virtual Reality</i> (VR) untuk membuat replika digital dari robot edukasi 6 sumbu untuk pengajaran robot di sekolah menengah. Hasilnya kelompok yang menggunakan VR menunjukkan pencapaian belajar yang lebih tinggi dan memiliki motivasi belajar yang baik.
Chen (2023)	Motion Control of Interactive Robotic Arms Based on <i>Mixed Reality</i> Development	Unity, MRTK, ROS, Robot UR5/UR5e	Meneliti pengembangan sistem kendali gerak lengan robot dengan mengembangkan 2 metode, yakni Control by Unity dan Control by ROS untuk menggerakkan robot. Penelitian ini berhasil melakukan pelacakan objek secara realtime mengikuti gerakan tangan pengguna.
Tennakoon et al. (2024)	A <i>Mixed Reality</i> Human Robot Interaction Interface Using <i>Hand Tracking</i> and Stereo Vision for Construction Applications	Meta Quest 2, Unity, Kamera Stereo ZED Mini, <i>Hand Tracking</i>	Mengembangkan antarmuka berbasis <i>Mixed Reality</i> untuk mengoperasikan robot konstruksi dengan menggabungkan sistem <i>hand tracking</i> untuk kontrol dan kamera stereo untuk memberikan persepsi kedalaman pada operator. Hasil simulasi menunjukkan meningkatnya persepsi kedalaman

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

			operator dibanding operasi berbasis keyboard dan layar monokuler.
Su et al. (2022)	Mixed-Reality-Enhanced Human-Robot Interaction with an Imitation-Based Mapping Approach for Intuitive Teleoperation of a Robotic Arm-Hand System	Unity, HTC Vive, Robot UR5, ROS.	Mengembangkan sistem teleoperasi intuitif untuk lengan robot (UR5) menggunakan <i>Mixed Reality</i> (MR). Hasil eksperimen menunjukkan pengurangan waktu penyelesaian tugas agregat sebesar 48% dibandingkan metode kontrol 2D konvensional dan penurunan beban kerja kognitif pengguna sebesar 32%

Berdasarkan Tabel 2.2, teknologi *Mixed Reality* telah diterapkan dalam pembelajaran dan interaksi manusia-robot, terutama untuk visualisasi gerak, sinkronisasi lintasan, serta integrasi kendali robot berbasis Unity dan ROS, yang mampu meningkatkan pemahaman operasi robot.

Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek simulasi atau kendali robot secara teknis, baik untuk keperluan industri maupun eksperimen interaksi manusia dan robot, tanpa mengintegrasikan sistem tersebut ke dalam kerangka media pembelajaran yang terstruktur. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan pada pengembangan media pembelajaran *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality* yang memanfaatkan Unity sebagai platform integrasi robot dalam proses pembelajaran, dengan fokus pada sistem pengenalan robot, pemahaman konsep dasar robot, serta pengetahuan mengenai risiko keselamatan operasional robot.



Hak Cipta :

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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan (*mixed-methods*), yaitu kombinasi antara metode kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menggali kebutuhan dan memahami pengalaman pembelajaran dalam pengenalan *robotic arm* industry, sedangkan pendekatan kuantitatif diterapkan untuk mengukur tingkat efektivitas media pembelajaran yang dikembangkan.

Rancangan penelitian disusun secara bertahap, dimulai dari tahap konseptualisasi, perancangan sistem, pengumpulan material, pengembangan aplikasi, hingga pengujian dan evaluasi. Proses pengembangan media pembelajaran dilakukan dengan mengacu pada metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) yang meliputi tahap konsep, desain, pengumpulan bahan, pembuatan, pengujian dan distribusi. Penerapan model MDLC bertujuan untuk memastikan pengembangan media penunjang pembelajaran berbasis *mixed reality* berjalan terstruktur, sistematis, serta berorientasi pada kebutuhan pengguna dan tujuan pembelajaran. Teknik pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

- a. Kualitatif: Didapatkan melalui wawancara dengan instruktur, pertanyaan terbuka pada kuesioner, dan observasi selama aplikasi diujikan ke pengguna.
- b. Kuantitatif: Didapatkan dengan kuesioner skala Likert pada studi pendahuluan dan kuesioner evaluasi pengguna dan validasi ahli.

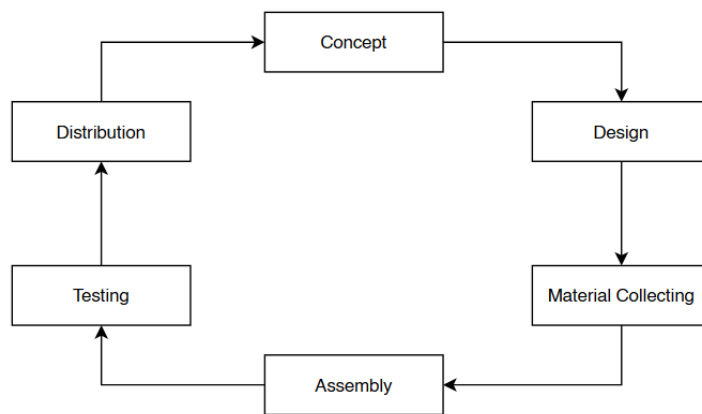
3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada skripsi ini mengikuti model pengembangan Multimedia Development Lifecycle yang meliputi tahap konsep, desain, pengumpulan bahan, pembuatan dan distribusi sebagai kerangka kerja dalam perancangan dan pengembangan sistem media pembelajaran berbasis *mixed reality*. Pemilihan model MDLC dipilih karena bersifat fleksibel, iteratif dan memungkinkan adanya penyesuaian pada konten pembelajaran. Oleh karena itu, penggunaan MDLC dinilai tepat dan efektif untuk proyek multimedia interaktif.



Hak Cipta :

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



Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

Diagram alur pada gambar 3.1 menunjukkan alur tahapan penelitian. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan pembelajaran robot industri di pendidikan vokasi, yang selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memahami pendekatan berbasis *Mixed Reality*. Setelahnya, dilakukan pengumpulan data primer dengan metode wawancara secara kualitatif untuk mencari pengalaman belajar, kendala visualisasi, pengalaman belajar dan kebutuhan pengguna. Setelahnya dilanjutkan dengan pendekatan metode MDLC:

a. Konsep (*Concept*)

Dalam tahap konsep atau pengonsepan ini, tim penulis menentukan konsep aplikasi, tujuan aplikasi, identifikasi kebutuhan pengguna, serta penentuan fitur utama sistem. Konsep aplikasi difokuskan pada pengembangan sistem media penunjang pembelajaran *robotic arm* industri yang memiliki dua mode penggunaan, yakni mode pembelajaran dan mode *explore*.

b. Desain (*Design*)

Pada tahap desain bertujuan untuk merancang spesifikasi sistem secara rinci. Pada tahap ini adalah perancangan arsitektur aplikasi *Mixed Reality* dan alur interaksi pengguna. Tahap ini juga mencakup pembuatan *flowchart*, *activity diagram*, *system architecture diagram*, dan *use case diagram* serta dokumen lainnya yang mungkin diperlukan ketika pengembangan.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

c. Pengumpulan Bahan (*Material Collecting*)

Penulis mengumpulkan seluruh bahan dan sumber daya yang dibutuhkan untuk pengembangan aplikasi. Bahan yang dikumpulkan berisi aset UI/UX, referensi teknis *robotic arm*, aset multimedia dan aset pembelajaran dari tim penulis.

d. Pembuatan (*Assembly*)

Penulis pada tahap ini melakukan tahap perakitan dan pengembangan aplikasi. Pada tahap ini dilakukan pemrograman menggunakan Unity dan bahasa pemrograman C#. Pengembangan meliputi pembuatan logika sistem penunjang pembelajaran, penggabungan aset, dan pengembangan modul pembelajaran yang sudah dibuat oleh tim penulis.

e. Pengujian (*Testing*)

Pada tahap pengujian akan dilakukan pengujian terhadap hasil pembuatan yang sudah dibuat sebelumnya. Pengujian dilakukan untuk menguji apakah aplikasi yang sudah dibuat dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Pengujian akan dilakukan dengan metode *Alpha-Beta Testing*.

f. Distribusi (*Distribution*)

Pada tahap distribusi, aplikasi dijalankan pada perangkat Meta Quest sebagai media pembelajaran *Mixed Reality* yang akan diujicobakan ke mahasiswa Politeknik Astra. Dilakukan pula dokumentasi penggunaan aplikasi serta pengumpulan umpan balik pengguna sebagai bahan evaluasi akhir penelitian. Hasil dari tahap ini menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya.

3.3 Objek Penelitian

Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah media penunjang pembelajaran *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality* yang dikembangkan untuk perangkat Meta Quest. Subjek pengguna dalam penelitian ini adalah mahasiswa Politeknik Astra program studi Mekatronika yang mempelajari *robotic arm* industri. Fokus penelitian diarahkan pada implementasi Unity pada media penunjang pembelajaran yang dibuat untuk mendukung proses pembelajaran robot.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Dalam penelitian ini, populasi yang digunakan adalah mahasiswa dan/atau alumni program studi Mekatronika Politeknik Astra yang telah memperoleh materi pembelajaran *robotic arm* industri dalam proses pendidikan mereka. Populasi ini dipilih karena memiliki pengalaman langsung terhadap pembelajaran *robotic arm* menggunakan metode pembelajaran konvensional. Selain mahasiswa, 3 dosen Program Studi Mekatronika Politeknik Astra juga dilibatkan dalam sesi pengujian yang sama sebagai validator ahli pembelajaran

Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik *purposive sampling*, dengan kriteria responden berupa mahasiswa atau alumni program studi mekatronika Politeknik Astra yang telah mengikuti pembelajaran *robotic arm* industri serta bersedia berpartisipasi dalam penelitian. Proses penentuan sampel dilakukan dengan bantuan pihak penghubung dari lingkungan Politeknik Astra yang berperan dalam menyebarkan informasi penelitian dan menghubungkan peneliti dengan calon responden sesuai kriteria yang telah ditetapkan. Jumlah sampel ditentukan berdasarkan kapasitas pengujian yang tersedia, yaitu 5 unit perangkat Meta Quest dengan durasi penggunaan 40 menit per responden untuk mengerjakan 2 modul dalam satu hari pengujian.

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi:

- a. Wawancara semi-terstruktur digunakan sebagai instrumen untuk mengumpulkan data mengenai pengalaman belajar dan kebutuhan responden. Wawancara dilakukan secara daring melalui media percakapan tertulis menggunakan aplikasi WhatsApp.
- b. *Alpha Testing*, digunakan untuk menguji fungsi utama aplikasi sebelum nantinya digunakan oleh pengguna akhir. Pengujian *alpha testing* untuk memastikan bahwa fitur aplikasi berjalan sesuai dengan skenario dan requirement. Hasil *alpha testing* akan digunakan untuk menemukan dan memperbaiki kesalahan sebelum diuji ke pengguna.
- c. *Beta Testing*, dilakukan dengan melibatkan responden yang merupakan mahasiswa atau alumni Program Studi Mekatronika Politeknik Astra yang sedang mempelajari *robotic arm* sebagai pengguna akhir. Pengujian ini 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

mengetahui kinerja aplikasi dalam kondisi penggunaan nyata, serta memperoleh umpan balik terkait kemudahan penggunaan, kejelasan materi, dan kenyamanan interaksi pada aplikasi yang dikembangkan.

- d. Dokumentasi penelitian, yang digunakan sebagai instrumen pendukung dalam proses analisis dan pelaporan hasil penelitian.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa teknik yang disesuaikan dengan kebutuhan pada setiap tahapan pengembangan media pembelajaran.

a. Kuesioner

Kuesioner digunakan untuk memperoleh data kuantitatif dari responden. Pada penelitian ini, kuesioner digunakan pada tahap analisis kebutuhan dan tahap pengujian aplikasi. Kuesioner analisis kebutuhan digunakan untuk mengetahui kendala pengguna dalam mempelajari *robotic arm* industri serta kebutuhan terhadap media pembelajaran interaktif.

Pada tahap pengujian, kuesioner diberikan setelah responden menggunakan aplikasi untuk menilai kemudahan penggunaan, kejelasan instruksi, kenyamanan interaksi, manfaat visualisasi, dan kelayakan aplikasi sebagai media penunjang pembelajaran. Kuesioner disusun menggunakan skala Likert lima tingkat, yaitu Sangat Tidak Setuju sampai Sangat Setuju.

b. Wawancara

Pengumpulan data primer dilakukan melalui wawancara semi-terstruktur kepada mahasiswa pendidikan vokasi. Wawancara digunakan untuk memperoleh informasi mengenai pengalaman belajar, kendala yang dihadapi, serta kebutuhan pengguna dalam mempelajari *robotic arm* industri menggunakan metode pembelajaran konvensional. Proses wawancara dilakukan secara daring melalui aplikasi WhatsApp dan *online* via Google Meet.



Hak Cipta :

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

c. *Alpha Testing*

Alpha testing pada tahap awal ketika proses pengembangan aplikasi selesai. Pengujian akan menggunakan *Blackbox* testing dan diuji oleh tim penulis untuk memastikan agar seluruh fungsi aplikasi berjalan sesuai kebutuhan sebelum nantinya digunakan oleh pengguna.

d. *Beta Testing*

Beta testing dilakukan ketika *alpha testing* sudah selesai dan aplikasi siap digunakan oleh responden yang merupakan mahasiswa program studi mekatronika Politeknik Astra yang sedang mempelajari *robotic arm* untuk mendapatkan umpan balik terkait penggunaan, kejelasan materi pembelajaran, dan kenyamanan pengguna aplikasi.

e. Observasi Pengguna

Observasi pengguna dilakukan sebagai teknik pendukung pada saat *beta testing* untuk mencatat perilaku pengguna, kendala penggunaan, respons terhadap fitur, serta kenyamanan interaksi selama menggunakan aplikasi RoboMRLab.

f. Studi Literatur

Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui studi literatur dengan mengkaji jurnal ilmiah, buku dan dokumentasi pendukung yang relevan dengan topik penelitian. Data sekunder digunakan sebagai referensi dalam perancangan sistem dan penyusunan landasan teori.

3.4.1 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini disesuaikan dengan karakteristik data yang diperoleh dari setiap metode pengumpulan data. Data kualitatif yang berasal dari wawancara semi-terstruktur dianalisis menggunakan analisis tematik, yang dilakukan melalui tahapan transkripsi hasil wawancara, pemberian kode (coding) pada pernyataan responden, pengelompokan kode ke dalam tema-tema utama, serta penafsiran hasil analisis. Hasil analisis kualitatif tersebut dimanfaatkan sebagai dasar dalam perancangan antarmuka pengguna, pengalaman pengguna, dan konten media pembelajaran.



Hak Cipta :

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

Pendekatan kuantitatif dilakukan dengan menggunakan kuesioner berbasis Skala Likert. Skala ini dipilih karena mudah dipahami dan memungkinkan responden memberikan penilaian sesuai dengan pendapat masing-masing. Penelitian ini menggunakan Skala Likert lima tingkat, yaitu (1) Sangat Setuju, (2) Setuju, (3) Netral, (4) Tidak Setuju, dan (5) Sangat Tidak Setuju. Setiap jawaban responden diberikan skor sesuai dengan kategori skala yang telah ditetapkan.

Analisis kuantitatif dilakukan terhadap data kuesioner pada tahap *beta testing* untuk menilai tingkat penerimaan dan efektivitas aplikasi pembelajaran berbasis *mixed reality* yang dikembangkan. Skala Likert digunakan untuk mengukur beberapa aspek aplikasi, seperti kesesuaian fitur, manfaat, dan kemudahan penggunaan. Skor dari setiap pernyataan selanjutnya dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Skor Total} = \Sigma (\text{Jumlah Responden} \times \text{Skor Pilihan})$$

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

$$\text{Skor maksimal} = \text{Jumlah Responden} \times \text{Nilai Skala Tertinggi}$$

Rentang indeks pada Tabel 3.1 digunakan sebagai acuan untuk menentukan kategori pilihan responden terhadap pernyataan yang diberikan.

Tabel 3.1 Kriteria Penilaian Skala Likert

Rentang Indeks	Kriteria Penilaian
0 - 19,99 %	Sangat Tidak Setuju
20 - 39,99 %	Tidak Setuju
40 - 59,99 %	Netral
60 - 79,99	Setuju
80 - 100 %	Sangat Setuju



Hak Cipta :

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Kebutuhan

Tahapan analisis kebutuhan pengguna dilakukan oleh rekan peneliti sebagai dasar pengembangan aplikasi. Pada subjudul penelitian ini, penulis menggunakan hasil analisis kebutuhan tersebut sebagai acuan dalam mengimplementasikan sistem menggunakan Unity. Hasil analisis kebutuhan yang diperoleh berupa identifikasi permasalahan pembelajaran *robotic arm*, kebutuhan fitur visualisasi, kebutuhan interaksi pengguna, serta kebutuhan sistem pembelajaran berbasis *Mixed Reality*.

Aplikasi yang dikembangkan diberi nama RoboMRLab, yang merupakan gabungan dari kata Robo (*Robot*), MR (*Mixed Reality*), dan Lab (*Laboratory*). Penamaan ini mencerminkan konsep aplikasi sebagai laboratorium simulasi robot yang dijalankan dalam lingkungan *Mixed Reality*.

Dengan demikian, pembahasan pada subbab ini difokuskan pada bagaimana hasil analisis kebutuhan tersebut diterjemahkan menjadi kebutuhan teknis dan fitur yang diimplementasikan oleh penulis pada aplikasi RoboMRLab.

Proses pengumpulan data dilakukan menggunakan metode kuesioner kepada 33 mahasiswa Politeknik Astra program studi mekatronika yang telah mempelajari ataupun memiliki pemahaman dasar dengan *robotic arm* industri. Kuesioner disusun dengan skala likert agar dapat mengukur tingkat kesulitan, keterbatasan dan kebutuhan media pembelajaran interaktif. Hasil analisis kemudian akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan fitur utama yang dibutuhkan.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang diperoleh, aplikasi RoboMRLab dirancang sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality*. Konsep umum aplikasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Hak Cipta :

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

Tabel 4.1. Konsep Umum Aplikasi

No	Elemen	Keterangan
1	Nama Aplikasi	RoboMRLab
2	Tujuan Aplikasi	Media pengenalan <i>robotic arm</i> berbasis <i>Mixed Reality</i> untuk mahasiswa mekatronika
3	Target Pengguna	Mahasiswa program studi mekatronika
4	Output Produk	Aplikasi
5	Software yang digunakan	Unity
6	Hardware yang digunakan	Laptop Ideapad Gaming 3

Pengembangan aplikasi RoboMRLab mengacu pada beberapa referensi utama, yaitu analisis kebutuhan pengguna, hasil wawancara dengan instruktur robotika Politeknik Astra, dokumen atau buku manual dari robot ABB GoFA 15000, dan penelitian-penelitian terdahulu yang sudah pernah memanfaatkan Unity dalam pengembangan sistem kontrol robot menggunakan Mixed Reality.

4.1.1 Identifikasi Permasalahan Pembelajaran

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan pengguna yang dilakukan oleh tim penulis, ditemukan beberapa permasalahan utama dalam proses pembelajaran *robotic arm* industri. Permasalahan tersebut dikelompokkan kedalam empat indikator utama, yaitu Kesulitan Konsep (CD), Kurangnya Visualisasi (VI), Kekurangan Media (LM), dan Kebutuhan Interaksi (IN). Dalam penentuan kategori penilaian, digunakan perhitungan rentang interval berdasarkan skala Likert 1–5 yang dibagi ke dalam lima tingkatan kategori. Interval diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Skor Tertinggi (5)} - \text{Skor Terendah (1)} = 4$$

$$\text{Interval } \frac{4}{5} = 0,8$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, kategori interpretasi nilai rata-rata dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Hak Cipta :

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

Tabel 4.2. Tabel Kategori

No	Indikator	Kategori Interpretasi Nilai Rata-Rata
1	1,00-1,80	Sangat Rendah
2	1,81-2,60	Rendah
3	2,61-3,40	Sedang
4	3,41-4,20	Tinggi
5	4,21-5,00	Sangat Tinggi

Berdasarkan klasifikasi pada Tabel 4.2, maka setiap indikator permasalahan dirata-rata dan mendapatkan kategori sebagai berikut:

Tabel 4.3. Tabel Identifikasi Permasalahan

No	Indikator	Rata-rata	Kategori
1	Kesulitan Konsep (CD)	3.87	Tinggi
2	Kurangnya Visualisasi (VI)	3.74	Tinggi
3	Kekurangan Media (LM)	4.03	Tinggi
4	Kebutuhan Interaksi (IN)	4.21	Sangat Tinggi

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.3, indikator Kebutuhan Interaksi menjadi nilai rata-rata tertinggi sebesar 4.21 dengan kategori kuat. Ini menunjukkan bahwa pengguna membutuhkan media pembelajaran yang lebih interaktif untuk memahami konsep *robotic arm* industri.

Selain itu, indikator Kekurangan Media memperoleh nilai rata-rata sebesar 4.03, yang menunjukkan bahwa media pembelajaran yang digunakan saat ini masih memiliki keterbatasan dalam menyampaikan materi secara visual dan interaktif.

Indikator “Kurangnya Visualisasi” memperoleh nilai rata-rata sebesar 3.74. Ini menunjukkan bahwa pengguna masih kesulitan dalam memahami konsep *robotic arm*, terutama pada pergerakan joint, arah gerak robot serta sistem koordinat robot.

Sedangkan indikator Kesulitan Konsep memperoleh nilai rata-rata sebesar 3.87 yang menunjukkan bahwa visualisasi pembelajaran belum mampu merepresentasikan *robotic arm* secara spasial.



Hak Cipta :

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

4.1.2 Analisis Data

Selain data berbasis skala likert, hasil analisis kebutuhan juga diperkuat dengan pertanyaan terbuka untuk mengetahui kesulitan utama yang dialami pengguna dalam memahami *robotic arm* industri. Berdasarkan hasil analisis data kualitatif, ditemukan beberapa tema utama yang sering muncul pada jawaban responden, diantaranya:

- a. Kesulitan dalam memahami gerakan *robotic arm*.
- b. Kesulitan memahami rotasi joint.
- c. Kesulitan memahami *workspace* robot.
- d. Kesulitan memahami sistem koordinat robot.
- e. Kesulitan memahami trajektori atau jalur pergerakan robot.
- f. Keterbatasan visualisasi pembelajaran konvensional.

Selain itu, responden juga menyampaikan kebutuhan terhadap fitur pembelajaran yang lebih interaktif, seperti:

- a. Visualisasi gerakan robot secara *real-time*.
- b. Manipulasi joint secara langsung.
- c. Visualisasi trajektori robot.
- d. Visualisasi sistem frame coordinate.
- e. Visualisasi *workspace* robot.
- f. Interaksi pembelajaran berbasis 3D.

Hasil analisis data kualitatif tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan fitur utama aplikasi yang akan dikembangkan.

4.1.3 Penentuan Kebutuhan Sistem

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan pengguna, ditentukan beberapa kebutuhan utama sistem yang menjadi dasar implementasi aplikasi RoboMRLab. Kebutuhan sistem tersebut disusun dengan memetakan permasalahan pengguna ke dalam solusi sistem yang dapat dikembangkan menggunakan Unity dan teknologi *Mixed Reality*.. Kebutuhan sistem tersebut dapat dilihat di Tabel 4.4.



Hak Cipta :

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

Tabel 4.4. Analisis Kebutuhan Sistem

Permasalahan Pengguna	Solusi Sistem
Kesulitan memahami arah gerakan robot	Visualisasi gerakan robot secara langsung
Kesulitan memahami rotasi joint	Fitur manipulasi joint secara langsung
Kesulitan memahami trajektori robot	Visualisasi trajektori robot
Kesulitan memahami sistem koordinat	Visualisasi sistem koordinat robot
Sulit memahami area kerja robot	Visualisasi <i>workspace</i> robot
Media pembelajaran kurang interaktif	Implementasi interaksi dan multimedia pada aplikasi agar lebih interaktif dan sistem pembelajaran

Berdasarkan Tabel 4.4, pengembangan aplikasi difokuskan pada implementasi fitur visualisasi dan interaksi yang mampu membantu pengguna memahami konsep *robotic arm* secara lebih intuitif.

Implementasi fitur dilakukan menggunakan Unity sebagai game engine utama dengan dukungan teknologi *mixed reality* untuk menghasilkan pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif dan imersif.

4.1.4 Penentuan Fitur Utama Sistem

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan pengguna, ditentukan beberapa fitur utama yang menjadi prioritas implementasi pada aplikasi media penunjang pembelajaran berbasis *mixed reality*.

Tabel 4.5. Fitur Utama Aplikasi

No	Fitur Utama Aplikasi
1	Sistem Manipulasi Lengan Robot secara <i>real-time</i>
2	Visualisasi Trajektori/Jalur Gerak Robot secara <i>real-time</i>
3	Visualisasi Ruang Kerja Robot (<i>Workspace</i>)



Hak Cipta :

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

4	Visualisasi Sistem Frame Koordinat
5	Interaksi <i>Mixed Reality</i>
6	Sistem Modul Belajar
7	Mode Belajar dan Mode <i>Explore</i>
8	Sistem Teach Pendant Virtual

Implementasi fitur dilakukan secara *modular* pada Unity sehingga setiap fitur dapat dikembangkan dan digunakan secara terpisah sesuai kebutuhan pembelajaran. Selain itu, penggunaan *Mixed Reality* memungkinkan pengguna untuk melakukan interaksi secara langsung terhadap objek *robotic arm* dalam lingkungan tiga dimensi sehingga proses pembelajaran menjadi lebih visual, interaktif, dan mudah dipahami.

Dengan demikian, hasil analisis kebutuhan pengguna menjadi dasar dalam menentukan ruang lingkup implementasi sistem yang dikerjakan oleh penulis. Fokus implementasi tidak hanya berada pada visualisasi *robotic arm*, tetapi juga pada integrasi sistem pembelajaran, interaksi *Mixed Reality*, dan simulasi *robotic arm* yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran pengguna.

4.2 Perancangan Aplikasi

Tahapan perancangan aplikasi dilakukan setelah proses analisis kebutuhan pengguna selesai dilakukan. Perancangan aplikasi bertujuan untuk menentukan struktur aplikasi, alur interaksi pengguna, serta arsitektur sistem yang akan diimplementasikan menggunakan Unity dan teknologi *mixed reality*.

Aplikasi yang dikembangkan adalah aplikasi RoboMRLab, yaitu aplikasi penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality* yang dijalankan pada perangkat Meta Quest. Aplikasi ini dibuat menggunakan Unity dengan bahasa pemrograman C# dan dimuat kedalam file berbentuk apk agar dapat dipasang pada perangkat Meta Quest 3.

RoboMRLab dirancang sebagai media pembelajaran interaktif yang menampilkan *robotic arm* virtual di lingkungan *Mixed Reality*. Aplikasi ini memiliki 2 mode utama, yaitu mode Belajar dan mode Eksplorasi. Mode Belajar digunakan untuk



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

menyampaikan materi pembelajaran robotic arm secara bertahap dengan modul pembelajaran, sedangkan mode eksplorasi digunakan agar pengguna dapat mencoba dan mengamati robotic arm virtual secara bebas.

RoboMRLab dilengkapi dengan beberapa fitur utama, yaitu sistem modul belajar, manipulasi robotic arm, Teach Pendant virtual, visualisasi coordinate frame, visualisasi workspace, visualisasi trajektori robot, visualisasi batas aman interaksi pengguna, visualisasi singularity, ray interaction, controller interaction, hand tracking, haptic feedback, dan sistem highlight. Fitur-fitur ini dikembangkan agar pengguna memahami konsep dasar robotic arm industri secara lebih interaktif dan aman sebelum menggunakan robot fisik secara langsung.

Pengembangan RoboMRLab dilakukan menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Tahapan pengembangannya dimulai dari penentuan konsep (*Concept*) aplikasi berdasarkan hasil analisis kebutuhan, tujuan aplikasi, target pengguna, dan fitur utama. Tahapan berikutnya adalah Perancangan (*Design*) yang berisi perancangan alur aplikasi, struktur scene, arsitektur aplikasi, *use case diagram*, *flowchart*, dan rancangan interaksi Mixed Reality.

Setelah tahap *design*, dilakukan tahap *material collecting* untuk mengumpulkan bahan pengembangan seperti rancangan antarmuka dari tim UI/UX, aset 3D *robotic arm*, aset antarmuka, audio pembelajaran, konten materi, dan *library* Unity. Selanjutnya, tahap *assembly* dilakukan dengan mengimplementasikan seluruh fitur ke dalam Unity, meliputi sistem pembelajaran, sistem robot, visualisasi, interaksi Mixed Reality, antarmuka pengguna, dan event system.

Setelah aplikasi selesai dirakit, dilakukan tahap *testing* untuk menguji fungsionalitas dan kelayakan aplikasi melalui *alpha testing*, *beta testing*, validasi ahli pembelajaran, validasi ahli media, dan observasi pengguna. Tahap terakhir adalah *distribution*, yaitu proses *build* aplikasi menjadi file APK dan pemasangan aplikasi pada perangkat Meta Quest agar dapat digunakan dalam proses pengujian dan sebagai luaran penelitian.



Hak Cipta :

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

4.2.1 *Flowchart* Aplikasi

Flowchart sistem digunakan untuk menggambarkan alur utama penggunaan aplikasi ini. Alur dimulai dari pengguna membuka aplikasi hingga memilih mode yang tersedia. Pada tahap awal, pengguna akan melakukan onboarding dan masuk ke main menu sebagai pusat navigasi aplikasi. Dari halaman tersebut, pengguna dapat memilih menu Belajar, menu Explore, menu *Settings* dan Exit.

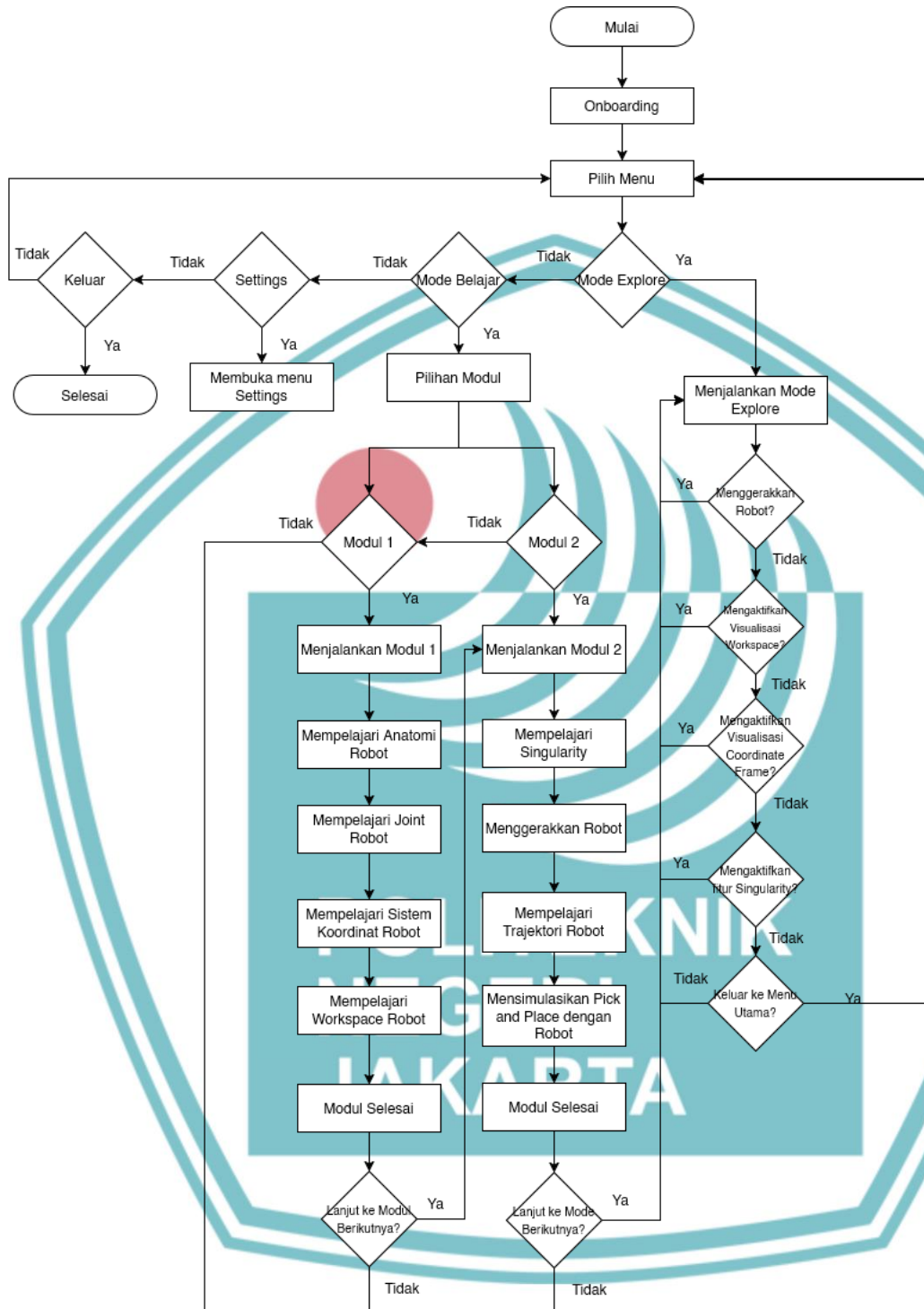
Ketika pengguna memilih menu Belajar, sistem akan menampilkan pilihan modul belajar yang tersedia. Pengguna dapat memilih modul belajar sesuai materi yang ingin dipelajari. Sedangkan jika pengguna memilih menu Explore, sistem akan menampilkan mode eksplorasi robot yang dapat digunakan pengguna untuk mempelajari robot tanpa adanya panduan atau materi belajar. *Flowchart* dapat dilihat pada gambar 4.1.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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



Gambar 4.1. Flowchart Aplikasi



Hak Cipta :

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

4.2.2 Arsitektur Aplikasi

Arsitektur sistem pada aplikasi ini dirancang menggunakan pendekatan *modular* dan event-driven architecture. Pendekatan ini diambil karena kurangnya waktu dalam pengumpulan kebutuhan pengguna sehingga sistem harus mengakomodasi kebutuhan pengguna selagi sistem dikembangkan. Juga agar aplikasi dapat dikembangkan lagi kedepannya menyesuaikan kebutuhan pengguna. Pendekatan ini juga diambil agar setiap sistem dapat dikembangkan secara terpisah, namun tetap dapat saling berkomunikasi dengan baik. Sistem dibangun menggunakan Unity sebagai game engine dengan dukungan teknologi *Mixed Reality* melalui *Mixed Reality Utility Toolkit* dan *Meta XR SDK* milik Meta.

Arsitektur pada aplikasi ini terdiri dari 7 komponen sistem yang berbeda dan dapat saling berkomunikasi antara satu dengan yang lain. Berikut adalah komponen-komponen tersebut:

1. Sistem Tampilan Pengguna (*User Interface*)

Sistem ini berfungsi untuk mengatur tampilan antar muka dan navigasi daripada aplikasi yang mencakup halaman utama, menu pembelajaran, pengaturan aplikasi dan navigasi antar *scene*. Sistem ini mencakup halaman utama, menu pemilihan modul pembelajaran, panel pengaturan, serta sistem navigasi antar *scene*.

2. Sistem Modul Belajar (*Learning Module*)

Sistem modul belajar digunakan untuk mengatur alur pembelajaran berbasis modul. Sistem ini memungkinkan materi pembelajaran diatur menggunakan fitur *ScriptableObject* milik Unity yang dapat membuat materi pembelajaran dijalankan secara terstruktur dan *modular* dan dapat mempermudah pengembangan dan penyesuaian materi seiring pengembangan aplikasi. Sistem ini berisi *LearningModuleSO* dan *LearningModuleRunner* untuk menjalankan aplikasi.



Hak Cipta :

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

3. Sistem Kontrol Robot (*Robot Controller*)

Sistem kontrol robot digunakan untuk mengontrol pergerakan robot pada lingkungan virtualnya. Sistem ini mengatur pergerakan lengan robot (joint), posisi robot, sistem Pendant dan perekaman gerakan robot, limitasi dan daya jangkau serta karakteristik robot. Sistem kontrol ini dikembangkan berdasarkan buku manual robot ABB GoFA 15000 dan dari wawancara dosen pengampu mata kuliah robotika Politeknik Astra. Sistem ini berisi RobotController untuk mengontrol robot, RobotJoint untuk mengatur rotasi robot, RobotIKFollower untuk perhitungan kinematika robot, JointConfigSO untuk menyimpan data teknis robot.

4. Sistem Interaksi (*Interaction*)

Sistem interaksi digunakan untuk mengatur interaksi pengguna pada lingkungan *mixed reality* yang dikembangkan. Sistem ini menggunakan skrip yang sudah disiapkan oleh Meta seperti *ray interaction*, *hand interaction*, *haptic feedback* ke *controller* dan tombol. Sistem ini berisi skrip RobotPartInteractable untuk menyentuh bagian robot, JointSliderUI untuk menyambungkan slider di Teach Pendant, dan DistanceRayGrab untuk dapat menarik panel UI dari jauh.

5. Sistem Visualisasi (*Visualization*)

Sistem visualisasi digunakan untuk menampilkan visualisasi seluruh komponen dan objek aplikasi seperti tampilan pengguna, objek yang diperlukan pada *scene*, card pembelajaran dan sistem penunjang pembelajaran. Sistem lainnya seperti visualisasi trajektori, *workspace*, dan koordinat frame juga diatur didalam sistem ini. Pada sistem ini terdapat CoordinateFrameGizmo untuk menampilkan sistem koordinat robot, WorkspaceVisualizer untuk menampilkan workspace robot, dan WizardPathVisualizer untuk menggambar garis lintasan robot, dan SingularityUI untuk menampilkan Singularity.

6. Sistem Event (*Event-driven*)

Sistem event adalah sistem utama dari seluruh sistem aplikasi yang dibuat. Sistem ini dapat memanggil, menjalankan, menghentikan dan berkomunikasi dengan seluruh sistem yang ada. Sistem dirancang dengan menggunakan Event Bus 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

nantinya menangani komunikasi komponen tersebut dengan sistem event. Terdapat skrip RobotEventBus untuk mengatur robot, LearningEventBus untuk mengirim sinyal ketika langkah pembelajaran dimulai/diselesaikan, dan NotificationBus untuk mengirim pesan ke sistem yang nantinya dapat ditangkap oleh UI/Audio.

7. Sistem Audio (Audio)

Sistem audio untuk mengatur seluruh audio yang ada pada aplikasi yang dikembangkan. Sistem ini juga terintegrasi dengan sistem event untuk mempermudah komunikasi data antara robot, tampilan pengguna dan audio. Terdapat AudioManager untuk secara otomatis memutar narasi suara atau efek peringatan berdasarkan kejadian yang dikirim melalui NotificationBus ataupun LearningEventBus.

4.2.3 Struktur Scene pada Unity

Aplikasi RoboMRLab memiliki struktur *scene* yang dipisah menyesuaikan kebutuhan sistem dan desain tampilan pengguna yang dibuat oleh tim penulis. Struktur *scene* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.6. Struktur Scene

Scene	Fungsi
Onboarding Scene	Menampilkan logo dan menyiapkan sistem seperti tombol <i>controller</i> yang nantinya digunakan pengguna.
Main Menu Scene	Menampilkan menu utama, pilihan mode, pilihan modul dan pengaturan aplikasi.
Module1Scene	Menjalankan modul 1
Module2Scene	Menjalankan modul 2
Explore	Menjalankan mode eksplorasi robot.



Hak Cipta :

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

4.2.4 Perancangan Fitur Sistem

Perancangan fitur sistem dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan pengguna yang telah diperoleh pada tahap concept. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, pengguna mengalami kesulitan dalam memahami arah gerakan robot, rotasi joint, sistem koordinat, lintasan gerak, *workspace*, *singularity*, serta batas aman interaksi dengan *robotic arm*. Oleh karena itu, fitur yang dirancang pada RoboMRLab diarahkan untuk menjawab kebutuhan tersebut melalui sistem pembelajaran *modular*, manipulasi *robotic arm*, visualisasi pembelajaran, dan interaksi *Mixed Reality*. Rancangan fitur utama aplikasi RoboMRLab dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Fitur Sistem Aplikasi

No	Fungsi	Tujuan	Keterangan
1	Sistem Modul Belajar	Mengatur proses pembelajaran secara bertahap	Materi dimasukkan kedalam modul agar pengguna dapat mengikuti alur belajar.
2	Manipulasi <i>Robotic Arm</i>	Membantu pengguna memahami hubungan antara joint dan gerakan robot	Pengguna dapat menggerakkan <i>robotic arm</i> virtual melalui kontrol pada aplikasi.
3	<i>Teach Pendant</i> Virtual	Menyediakan antarmuka kontrol robot	Digunakan sebagai antarmuka untuk mengaktifkan fitur robot.
4	Visualisasi <i>Coordinate Frame</i>	Membantu pengguna memahami sistem koordinat robot	Menampilkan posisi dasar untuk perhitungan <i>frame World</i> ,



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

			Base, <i>User</i> dan <i>Tool</i> .
5	Visualisasi <i>Workspace</i>	Membantu pengguna memahami batas jangkauan robot	Menampilkan area kerja <i>robotic arm</i> .
6	Visualisasi <i>Trajectory</i>	Membantu pengguna memahami lintasan pergerakan robot	Menampilkan jalur gerak <i>robotic arm</i> .
7	Visualisasi Batas Aman Interaksi Pengguna	Memperkenalkan konsep keselamatan saat berinteraksi dengan robot	Memberikan peringatan pada pengguna jika terlalu dekat dengan <i>robotic arm</i> .
8	Visualisasi <i>Singularity</i>	Membantu pengguna memahami kondisi <i>singularity</i> pada <i>robotic arm</i>	Menampilkan kondisi robot jika dalam posisi <i>singularity</i> .
9	Interaksi <i>Mixed Reality</i>	Memungkinkan pengguna berinteraksi langsung dengan objek virtual dan UI	Interaksi dilakukan menggunakan <i>ray interaction</i> , <i>controller</i> , <i>hand tracking</i> , UI <i>interaction</i> , dan <i>haptic feedback</i>
10	Sistem Highlight	Memberikan arahan visual kepada pengguna	Menyorot objek atau tombol tertentu.

Fitur-fitur tersebut dirancang agar saling terintegrasi dalam satu sistem pembelajaran. Sistem modul belajar berperan sebagai pengatur alur pembelajaran, sedangkan fitur manipulasi robot, visualisasi, interaksi *Mixed Reality*, dan



Hak Cipta :

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

antarmuka pengguna digunakan sebagai pendukung proses pembelajaran di dalam modul.

Dengan rancangan fitur tersebut, RoboMRLab tidak hanya berfungsi sebagai simulasi *robotic arm*, tetapi juga sebagai media penunjang pembelajaran yang membimbing pengguna dalam memahami konsep dasar *robotic arm* industri melalui pengalaman visual, interaktif, dan imersif.

4.2.5 Perancangan Interaksi *Mixed Reality*

Perancangan interaksi *Mixed Reality* dilakukan agar pengalaman pengguna menjadi lebih interaktif dan imersif. Interaksi pada sistem dirancang agar pengguna dapat berinteraksi langsung dengan objek virtual seperti *robotic arm*, menu pembelajaran, menu navigasi, *teach pendant* dan pengaturan. Pada penelitian ini, sistem interaksi menggunakan *Meta XR SDK*, *Unity XR Interaction Toolkit*, dan *Mixed Reality Utility Toolkit (MRUK)*. Interaksi *Mixed Reality* pada aplikasi ini terdiri dari beberapa jenis interaksi, yaitu:

1. *Ray Interaction*

Memungkinkan pengguna untuk melakukan interaksi kepada objek virtual menggunakan pointer virtual. Sistem akan menampilkan garis interaksi yang memperbolehkan pengguna untuk memilih atau menekan tombol. *Ray Interaction* dapat mempermudah pengguna berinteraksi tanpa perlu mendekati objek virtual secara langsung.

2. *Hand Interaction*

Hand interaction memungkinkan pengguna untuk berinteraksi tanpa menggunakan kontroler. Sistem mendeteksi posisi dan gerakan tangan pengguna secara langsung, dan mentranslasikan gerakan tersebut ke dalam ruang virtual. Dengan fitur ini pengguna dapat menyentuh, memilih dan memanipulasi objek virtual tanpa bantuan kontroler.



Hak Cipta :

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

3. *Distance Hand Grab Interaction*

Distance Hand Grab Interaction memungkinkan pengguna berinteraksi dengan antarmuka (UI) aplikasi seperti menu utama, menu pembelajaran, dan objek 3 dimensi seperti robotic arm. Pengguna juga dapat memindahkan objek seperti antarmuka ketempat yang diinginkan pengguna ketika dalam pembelajaran.

4. *Controller Interaction*

Aplikasi juga mendukung interaksi menggunakan kontroler. Kontroler memberikan interaksi yang lebih presisi dan dapat membantu pengguna melakukan navigasi dan manipulasi objek dengan lebih imersif dibandingkan Hand Interaction. Aplikasi menggunakan 2 jenis interaksi berbeda untuk memberikan fleksibilitas lebih pada pengguna untuk memilih metode interaksi paling nyaman.

4.3 Pengumpulan Bahan

Tahapan pengumpulan bahan merupakan tahap yang dilakukan untuk menyiapkan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pengembangan aplikasi RoboMRLab. Bahan yang dikumpulkan meliputi rancangan antarmuka dari Figma, aset tiga dimensi, aset dua dimensi, audio, package Unity serta perangkat pendukung.

Daftar rancangan antarmuka yang digunakan sebagai acuan implementasi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Tabel Tampilan Halaman

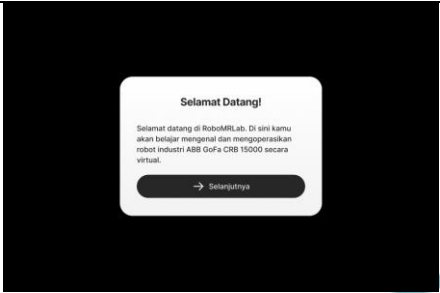
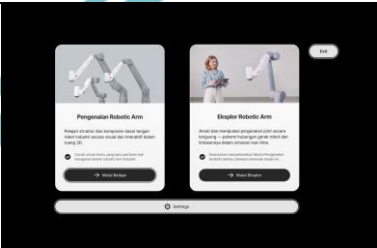
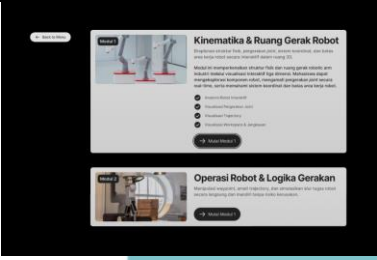
No	Tampilan Halaman	Nama Scene	Keterangan	Sumber
1		Logo dan Onboarding	Halaman menampilkan logo	Tim UI/UX



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

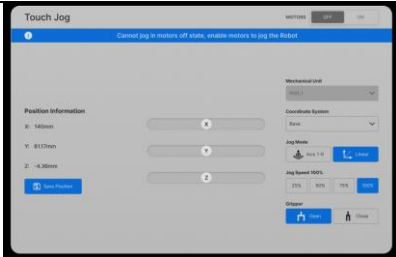
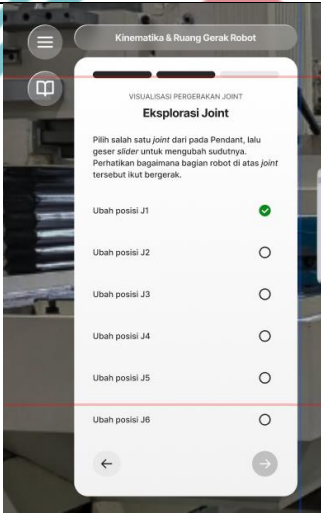
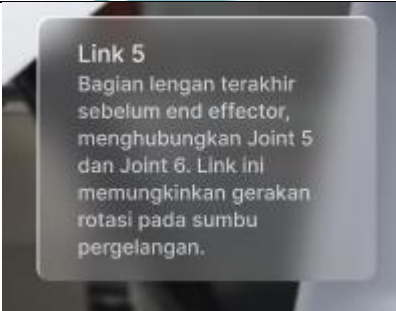
2		Tampilan onboarding dan menyiapkan sistem seperti tombol <i>controller</i> yang nantinya digunakan pengguna.	Halaman setelah logo untuk menyiapkan sistem.	Tim UI/UX
3		Tampilan menu utama.	Menu utama sebagai navigasi.	Tim UI/UX
4		Tampilan Pilihan Modul	Pengguna dapat memilih modul yang ingin dipelajari lewat menu ini.	Tim UI/UX
5		Tampilan Modul 1 (background hanya gambaran, menyesuaikan ruang ketika aplikasi digunakan)	Tampilan ketika pengguna mempelajari <i>robotic arm</i> dengan modul ataupun mode eksplor. Tampilan akan menyesuaikan data pembelajaran.	Tim UI/UX
6		Tampilan Modul 2 (background hanya gambaran, menyesuaikan	Tampilan ketika pengguna mempelajari <i>robotic arm</i> dengan modul ataupun mode	Tim UI/UX



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

		ruang ketika aplikasi digunakan)	eksplor. Tampilan akan menyesuaikan data pembelajaran.	
7		Teach Pendant	Tampilan Teach Pendant virtual untuk mengoperasikan robot.	Tim UI/UX
8		Learning Card	Tampilan untuk memberi pengguna informasi, instruksi dan langkah ketika mempelajari robotic arm.	Tim UI/UX
9		Settings	Pengaturan untuk mengatur audio aplikasi.	Tim UI/UX
10		Card	Card yang dapat diatur secara sistem untuk muncul sebagai penjelasan suatu objek.	Tim UI/UX

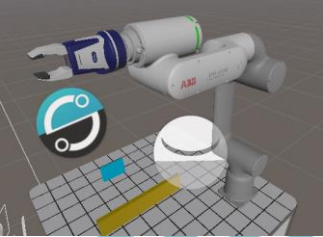
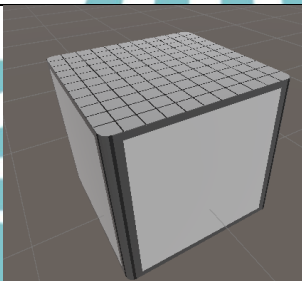
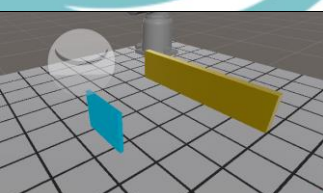
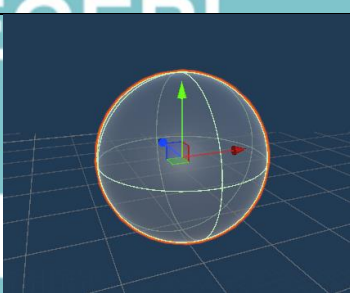
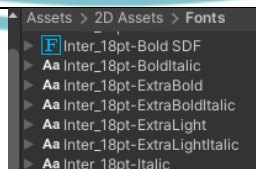
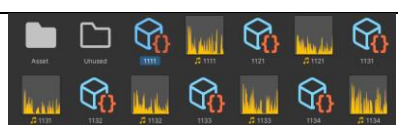


Hak Cipta :

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

Selain rancangan antarmuka, pengembangan aplikasi RoboMRLab juga membutuhkan aset dan package pendukung. Daftar aset yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Tabel Aset

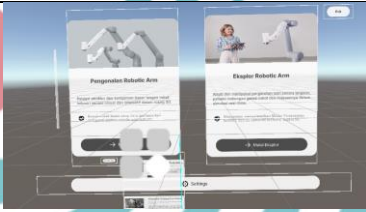
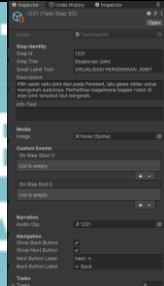
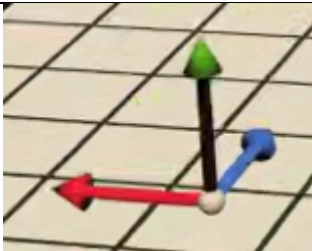
No	Nama Aset	Jenis Aset	Visualisasi	Sumber
1	Robot ABB GoFA 1500 CRB	3D, .fbx		Tim UI/UX
2	Meja Robot	3D, .fbx		Tim UI/UX
3	Balok untuk <i>Pick and Place</i> <i>Robot</i>	3D, .fbx		Tim UI/UX
4	Sphere 3D	3D, Unity		Pribadi
5	Font Inter	Font, otf		Google (Free Commercial Font)
6	Audio untuk setiap pembelajaran	Audio, MP3		Pribadi (menggunakan TextToSpeech ElevenLabs)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

7	Learning Card dan seluruh button	2D, .png		Tim UI/UX
8	Floating UI Card	2D, .png		Tim UI/UX
9	Main Menu, ModuleSelection	2D, .png		Tim UI/UX
10	Settings	2D, .png		Tim UI/UX
11	Konten Pembelajaran (Teks)	2D, text		Tim UI/UX
12	Konten Pembelajaran (Image)	2D, .png		Tim UI/UX
13	Gizmo 3D	3D		Tim UI/UX



Hak Cipta :

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

14	Meta XR All In One SDK	Library	(Library untuk Unity)	Meta XR
15	Unity XR Interaction Toolkit	Library	(Library untuk Unity)	Unity

4.4 Perakitan Aplikasi

Tahapan pembuatan aplikasi menjadi tahapan lanjutan setelah proses pengumpulan material selesai dilakukan. Pada tahap ini seluruh fitur yang telah dirancang pada aplikasi RoboMRLab diimplementasikan menggunakan Unity sebagai *game engine* dengan dukungan library Meta XR All In One SDK yang khusus mendukung pengembangan aplikasi berbasis *Mixed Reality*. Library lain yang digunakan adalah seperti Flexalon Pro 3D & UI Layouts untuk membantu peneliti mengembangkan desain UI/UX seperti yang sudah didesain tim penulis dan library DoTween untuk membantu animasi baik pada objek seperti logo ataupun tampilan pengguna.

4.4.1 Implementasi Arsitektur Sistem Modular

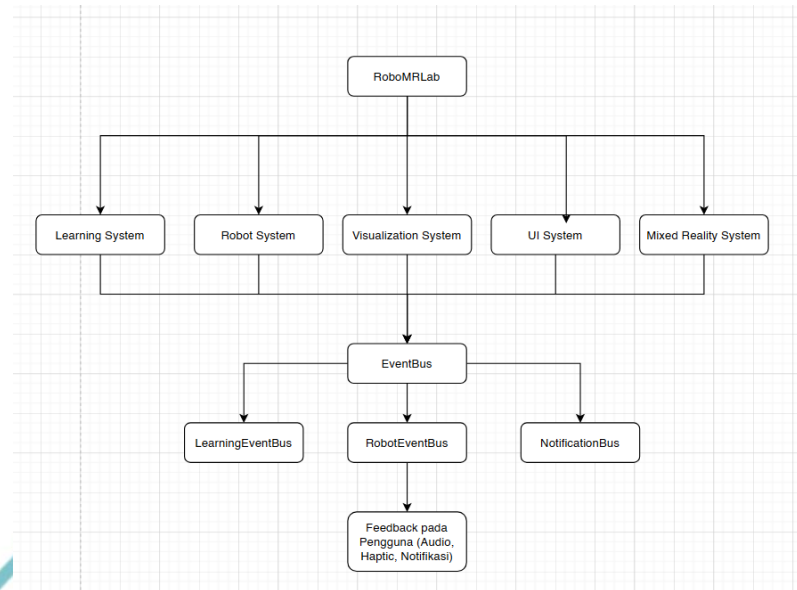
Implementasi aplikasi RoboMRLab dilakukan menggunakan pendekatan arsitektur *modular* yang membagi sistem utama ke dalam beberapa sub-sistem berdasarkan fungsi dan tanggung jawab masing-masing. Pendekatan ini dipilih untuk meningkatkan fleksibilitas pengembangan, mempermudah proses penyesuaian sistem dengan kebutuhan pengguna dalam proses pengembangan, dan mempermudah integrasi dengan fitur-fitur lainnya.

Arsitektur sistem terdiri dari beberapa sub-sistem utama yaitu *Learning System*, *Robot System*, *Visualization System*, *User Interface System*, *Mixed Reality Interaction System* dan *Event System* yang berfungsi sebagai media komunikasi antar sub-sistem. Struktur arsitektur sistem yang diimplementasikan dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Hak Cipta :

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



Gambar 4.2. Arsitektur Aplikasi

Berdasarkan gambar 4.2, pengguna berinteraksi dengan aplikasi melalui antarmuka pengguna (UI) dan sistem interaksi berbasis *Mixed Reality*. Seluruh aktivitas pembelajaran dikelola dengan Learning System yang berfungsi sebagai pengendali proses pembelajaran. Learning System dapat mengaktifkan berbagai fitur lain seperti manipulasi robot, visualisasi pembelajaran, ataupun interaksi pengguna dan audio sesuai dengan materi yang dipelajari. Setiap sub-sistem dirancang sesuai fungsinya masing-masing sehingga proses pengembangan dapat dilakukan dengan lebih terstruktur.

4.4.1.1 Sistem Pembelajaran

Sistem Pembelajaran (*Learning System*) merupakan subsistem yang bertanggung jawab mengelola seluruh alur pembelajaran pada aplikasi RoboMRLab. Subsistem ini mengatur urutan materi, instruksi pembelajaran, validasi tugas, serta penyelesaian modul yang dilakukan pengguna.

Implementasi Learning System menggunakan pendekatan *modular* berbasis *ScriptableObject* sehingga materi pembelajaran dapat disusun secara fleksibel tanpa perlu mengubah logika utama aplikasi.

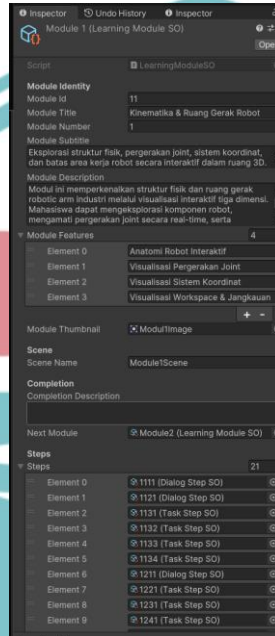


Hak Cipta :

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

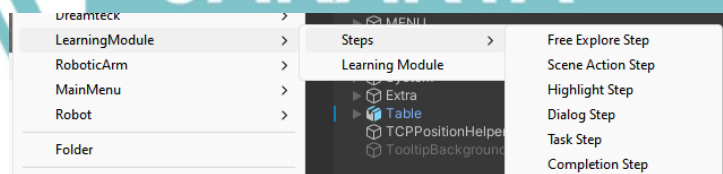
4.4.1.2 Sistem Modul Pembelajaran

Salah satu komponen inti pada RoboMRLab adalah sistem pembelajaran berbasis modul (*modular*) yang dibangun memanfaatkan fitur *ScriptableObject* milik Unity melalui objek *LearningModuleSO*.



Gambar 4.3. Tampilan *Inspector* *LearningModuleSO*

Setiap *LearningModuleSO* menyimpan informasi modul seperti identitas modul, judul, deskripsi, daftar fitur pembelajaran, *scene* yang digunakan, hubungan antar modul (untuk melanjutkan ke modul selanjutnya), dan daftar langkah pembelajaran (*LearningModuleSteps*).



Gambar 4.4. Tampilan Menu *ScriptableObject*

Ketika modul dijalankan, sistem akan membaca seluruh langkah pembelajaran yang tersimpan pada *LearningModuleSO*, dan mengeksekusinya secara berurutan. Melalui pendekatan ini, modul baru dapat dibuat hanya dengan menyusun kombinasi *LearningModuleStep* yang tersedia tanpa perlu menambahkan logika program baru.



Hak Cipta :

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

```
using UnityEngine;
using UnityEngine.Events;

public abstract class LearningStepSO : ScriptableObject
{
    [Header("Step Identity")]
    public string stepId;
    public string stepTitle;
    public string smallLabelText;

    [TextArea(3, 6)]
    public string description;

    [TextArea(2, 4)]
    public string infoText;

    [Header("Media")]
    public Sprite image;

    [Header("Custom Events")]
    public UnityEvent onStepStart;
    public UnityEvent onStepEnd;

    [Header("Narration")]
    public AudioClip audioClip;

    [Header("Navigation")]
    public bool showBackButton = true;
    public bool showNextButton = true;
    public string nextButtonLabel = "Next +";
    public string backButtonLabel = "+ Back";

    public abstract string ExecutorType { get; }
}
```

Gambar 4.5. Skrip LearningStepSO

Selain mengatur alur pembelajaran, setiap LearningStepSO juga memiliki fungsi untuk berinteraksi dengan sub-sistem lain seperti RobotSystem, VisualizationSystem, maupun *User Interface* System sehingga seluruh fitur pembelajaran dapat berjalan dengan terintegrasi.

4.4.1.3 Sistem Robot

Sistem Robot adalah sub-sistem yang bertanggung jawab mengatur simulasi *robotic arm* pada lingkungan *Mixed Reality*. Sub-sistem ini mengelola pergerakan *joint robot*, manipulasi *gripper*, kontrol posisi robot, *teach pendant* robot, dan berbagai mekanisme interaksi yang berkaitan dengan robot.



Hak Cipta :

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

```
public class RobotController : MonoBehaviour, IRobotController
{
    [Header("Configuration")]
    public RobotConfigSO robotConfig;

    [Header("Joints")]
    public RobotJoint[] joints = new RobotJoint[6];

    public int JointCount => joints.Length;

    public bool IsAtTarget
    {
        get
        {
            foreach (var j in joints)
                if (!j.IsAtTarget) return false;
            return true;
        }
    }

    public void SetJointAngle(int index, float angle)
    {
        if (!IsValidIndex(index)) return;
        joints[index].SetTargetAngle(angle);
    }
}
```

Gambar 4.6. Skrip RobotController

Pada gambar 4.6, skrip RobotController memiliki fungsi untuk mengatur pergerakan *joint robot*. Selain berfungsi sebagai simulasi robot, sub-sistem ini juga menjadi sumber data utama bagi fitur visualisasi dan fitur media pembelajaran yang digunakan selama proses pembelajaran.

4.4.1.4 Sistem Visualisasi

Sistem visualisasi bertugas menampilkan representasi visual yang digunakan untuk membantu pengguna memahami pembelajaran *robotic arm*. Visualisasi yang diimplementasikan meliputi visualisasi trajektori robot, *coordinate frame*, wilayah kerja robot, batas aman interaksi pengguna, dan visualisasi ketika robot terdeteksi mengenai *singularity*. Seluruh visualisasi dijalankan secara langsung berdasarkan pembelajaran ataupun kondisi robot, sehingga pengguna dapat melihat perubahan secara langsung.

```
public void SetJointAngle(int index, float angle)
{
    if (!IsValidIndex(index)) return;
    joints[index].SetTargetAngle(angle);
}

public void SetJointAngleForced(int index, float angle)
{
    if (!IsValidIndex(index)) return;
    joints[index].SetTargetAngleForced(angle);
}

public float GetJointAngle(int index)
{
    if (!IsValidIndex(index)) return 0f;
    return joints[index].CurrentAngle;
}
```

Gambar 4.7. Fungsi Menggerakkan Joint Robot



Hak Cipta :

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

4.4.1.5 Tampilan Antarmuka (UI) dan Sistem *Mixed Reality*

Sistem tampilan antar muka (UI) bertugas untuk menampilkan berbagai elemen antar muka seperti menu utama, kartu pembelajaran (learning card), panel informasi, *teach pendant*, dan indikator sistem.

```
using System;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class ModePanelController : MonoBehaviour
{
    [Header("Singularity Detector")]
    public Button singularityButton;
    public SingularityDetector singularityDetector;

    [Header("Wizard Path Visualization")]
    public Button wizardPathButton;
    public WizardPathVisualizer wizardPathVisualizer;

    [Header("Safety Visualizer")]
    public Button safetyButton;
    public SafetyZoneController safetyZoneController;

    [Header("Workspace Visualizer")]
    public Button workspaceButton;
    public WorkspaceVisualizer workspaceVisualizer;
}
```

Gambar 4.8. Skrip ModePanelController yang mengatur display panel.

Sistem tampilan antar muka terintegrasi dengan sistem *Mixed Reality* yang mengelola interaksi pengguna terhadap objek virtual baik robot ataupun tampilan antarmuka (UI) menggunakan fitur yang tersedia pada Meta Quest 3 seperti *controller* interaction dan hand-tracking. Melalui sub-sistem ini, pengguna dapat berinteraksi secara langsung dengan *robotic arm* dan juga mendapat *feedback* seperti *haptic feedback* pada *controller*.

4.4.1.6 Sistem Event

Untuk mengintegrasikan seluruh sub-sistem yang ada, RoboMRLab menggunakan sistem Event yang terdiri dari LearningEventBus, RobotEventBus dan NotificationEventBus.



Hak Cipta :

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

```
using System;
using UnityEngine;

public static class RobotEventBus
{
    // Joint Events
    public static event Action<int, float> OnJointAngleChanged;
    public static event Action<int, float> OnJointTargetReached;

    // Controller Events
    public static event Action OnRobotAtHome;
    public static event Action OnRobotAtTarget;
    public static event Action<float[]> OnPositionSaved;
    public static event Action<int, float[]> OnMoveToPosition;
}
```

Gambar 4.9. Skrip RobotEventBus yang mengatur seluruh pergerakan robot.

```
using System;

public static class LearningEventBus
{
    // -----
    // Step Display Events
    // -----

    public static event Action<DialogStepSO> OnShowDialog;
    public static event Action<TaskStepSO> OnShowTask;
    public static event Action<FreeExploreStepSO> OnShowFreeExplore;
    public static event Action OnHideDialog;

    // -----
    // Task Events
    // -----

    public static event Action<string> OnTaskItemCompleted;
    public static event Action OnAllTasksCompleted;

    // -----
    // Progress Events
    // -----

    public static event Action<int, int> OnStepChanged; // current, total
    public static event Action<float> OnProgressChanged; // 0-1
}
```

Gambar 4.10. Skrip LearningEventBus.

```
using System;
using UnityEngine;

public static class NotificationBus
{
    public struct Notification
    {
        public string message;
        public Color color;
        public float duration;
    }

    public static event Action<Notification> OnNotification;

    public static void Send(string message, Color color, float duration = 3f)
    => OnNotification?.Invoke(new Notification { message = message, color = color, duration = duration });

    // --- Convenience senders ---

    public static void Info(string message, float duration = 3f) => Send(message, new Color(0.2f, 0.6f, 1f), duration);
    public static void Success(string message, float duration = 3f) => Send(message, new Color(0.2f, 0.8f, 0.3f), duration);
    public static void Warning(string message, float duration = 3f) => Send(message, new Color(1f, 0.7f, 0f), duration);
    public static void Danger(string message, float duration = 3f) => Send(message, new Color(0.9f, 0.1f, 0.1f), duration);
}
```

Gambar 4.11. Skrip NotificationBus.

Pendekatan ini memungkinkan setiap subsistem bertukar informasi tanpa harus tergantung langsung terhadap implementasi sub-sistem lainnya. Sebagai gambaran, ketika pengguna menyelesaikan suatu tugas pembelajaran, Learning System dapat mengirimkan event 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

LearningEventBus, yang nantinya menjadi trigger untuk memperbaharui tampilan muka ataupun mengaktifkan fitur pada sub-sistem lainnya.

Mekanisme ini membuat seluruh sub-sistem menjadi lebih fleksibel, dan mempermudah integrasi sistem hanya dengan menyambungkan skrip ke skrip Bus ini.

4.4.2 Implementasi Sistem Pembelajaran

Sistem pembelajaran pada RoboMRLab dikembangkan untuk mengatur dan mengelola penyampaian materi, aktivitas pembelajaran, serta interaksi pengguna selama proses belajar berlangsung. Implementasi sistem ini menggunakan pendekatan data-driven, sehingga materi pembelajaran dapat disusun secara dinamis tanpa memerlukan perubahan logika aplikasi.

Dengan pendekatan ini, setiap modul pembelajaran disimpan sebagai data yang kemudian diproses sistem saat aplikasi berjalan. Sistem akan membaca data modul belajar dan menampilkan tampilan antar muka, instruksi belajar, mengaktifkan fitur yang diperlukan, dan memvalidasi aktivitas pengguna sesuai dengan langkah pembelajaran yang sedang berlangsung.

4.4.2.1 Implementasi Learning Module

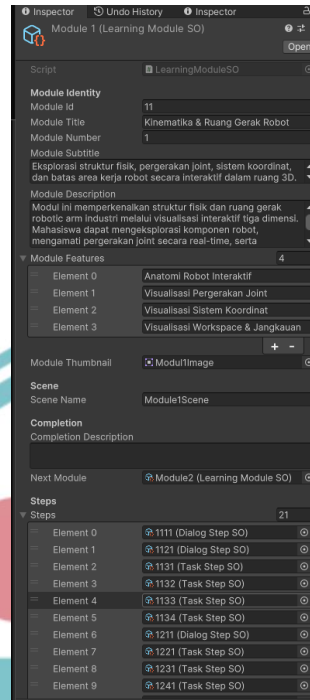
RoboMRLab mengimplementasikan sistem modul pembelajaran untuk mengelola materi pembelajaran secara terstruktur. Sistem ini menggunakan *Unity ScriptableObject* melalui objek *LearningModuleSO*. Objek ini adalah wadah data yang menyimpan seluruh informasi untuk menjalankan suatu modul belajar.

Penggunaan *ScriptableObject* dipilih karena memungkinkan pengembangan modul tanpa mengatur logika program. Dengan pendekatan ini, jika ada perubahan materi belajar tidak akan mengubah struktur kode program, sehingga proses pengembangan menjadi lebih fleksibel.



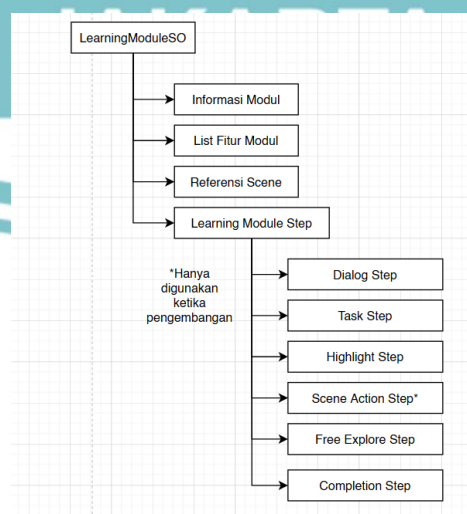
Hak Cipta :

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



Gambar 4.12. Tampilan *Inspector* ModuleScriptableObject.

Pada gambar 4.12, digambarkan bahwa setiap LearningModuleSO menyimpan berbagai informasi yang diperlukan untuk menjalankan modul pembelajaran. Informasi seperti judul, deskripsi, daftar fitur, *scene* yang digunakan, hubungan antar modul dan daftar langkah pembelajaran (steps) yang akan dijalankan secara berurutan.



Gambar 4.13. Diagram hubungan LearningModuleSO.



Hak Cipta :

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

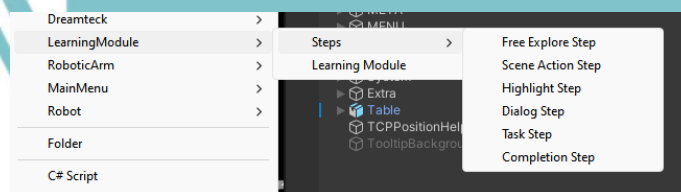
LearningModuleSO juga menjadi penghubung materi pembelajaran dengan berbagai subsistem pada aplikasi. Ketika pengguna memilih suatu modul, sistem akan memuat data dari LearningModuleSO, dan menampilkan alur belajar, fitur, instruksi dan tugas untuk pengguna sesuai dengan data tersebut.

Metode ini memungkinkan setiap modul memiliki struktur yang seragam, namun tetap fleksibel menyesuaikan materi yang disampaikan. Ini membuat pengembangan modul pembelajaran dapat dilakukan hanya dengan menambahkan aset LearningModuleSO baru tanpa perubahan kode pada sistem inti aplikasi.

4.4.2.2 Implementasi Learning Module Step

Untuk menyimpan materi, RoboMRLab menggunakan Learning Module Step (langkah belajar) sebagai unit penyusun setiap langkah pembelajaran. Mudah-mudahan, materi pembelajaran yang panjang dipecah menjadi langkah-langkah kecil. Setiap langkah ini dapat berisi dialog, instruksi, audio dan tugas, yang nantinya setiap langkah dapat dirangkai menjadi satu modul besar.

LearningModuleStep diimplementasi menggunakan Unity *ScriptableObject* sehingga setiap langkah pembelajaran dapat dibuat, diatur dan digunakan kembali pada berbagai modul yang berbeda. Pendekatan ini membuat sistem pembelajaran dibangun dengan *modular* tanpa logika khusus untuk setiap modul.



Gambar 4.14. Menu untuk menambahkan LearningModuleSteps.

Berdasarkan implementasinya, RoboMRLab menggunakan enam jenis LearningModuleStep yang digunakan baik dalam pengembangan dan implementasi modul, pada tabel 4.10 dijabarkan jenis-jenis *ScriptableObject* yang digunakan dalam aplikasi ini.



Hak Cipta :

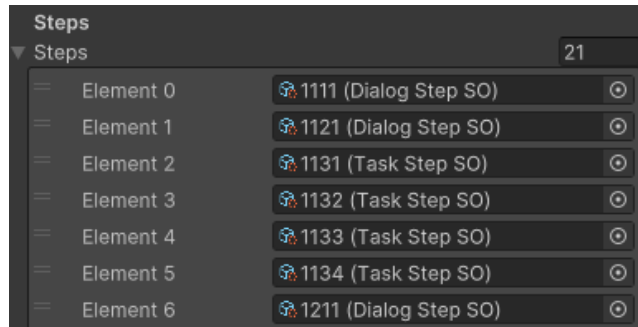
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Tabel 4.10. Jenis-Jenis *ScriptableObject* LearningModuleStep.

Jenis Step	Fungsi
Dialog Step	Menampilkan dialog pasif dan materi pembelajaran.
Task Step	Memberikan dialog dan tugas aktif yang harus diselesaikan pengguna.
Highlight Step	Menyorot objek tertentu yang sedang dipelajari.
SceneActionStep	Menjalankan atau sebagai trigger untuk sebuah fitur yang akan diuji. (hanya digunakan dalam pengembangan aplikasi)
FreeExploreStep	Menampilkan dialog pengantar pada mode Explore (hanya digunakan pada mode Explore)
CompletionStep	Dialog yang menandai selesainya suatu tahap atau modul pembelajaran. (hanya digunakan di akhir LearningModuleSO untuk menampilkan UI Khusus)

Dengan mengombinasikan beberapa jenis step yang terdapat pada tabel 4.10, sistem dapat membangun berbagai skenario pembelajaran tanpa perlu mengubah kode aplikasi.

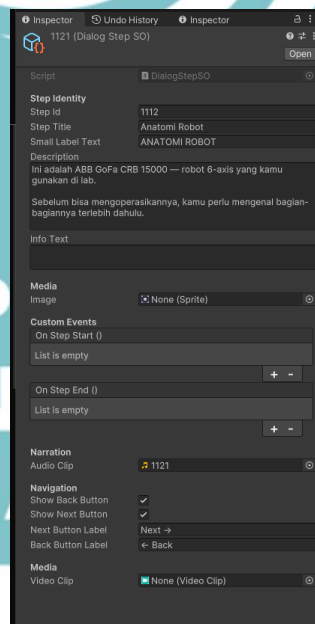
Sebagai contoh, proses pembelajaran dapat dimulai dengan dialog step untuk menjelaskan konsep, kemudian dilanjutkan dengan highlight step untuk menunjukkan komponen *robotic arm*, dan task step untuk mengatur tugas bagi pengguna. Pada gambar 4.15 digambarkan implementasi step yang dirangkai menjadi satu kesatuan modul.



Steps	21
Element 0	1111 (Dialog Step SO)
Element 1	1121 (Dialog Step SO)
Element 2	1131 (Task Step SO)
Element 3	1132 (Task Step SO)
Element 4	1133 (Task Step SO)
Element 5	1134 (Task Step SO)
Element 6	1211 (Dialog Step SO)

Gambar 4.15. Implementasi ketika beberapa step dirangkai menjadi satu.

Pada implementasinya, setiap Learning Module Step menyimpan konfigurasi yang berbeda sesuai dengan fungsinya. Dialog Step menyimpan informasi teks dan instruksi pembelajaran, Highlight Step menyimpan referensi objek yang akan disorot, sedangkan Task Step menyimpan informasi yang digunakan sistem untuk melakukan validasi terhadap aktivitas pengguna.



Tabel 4.11. Tampilan *inspector* dari DialogStepSO.



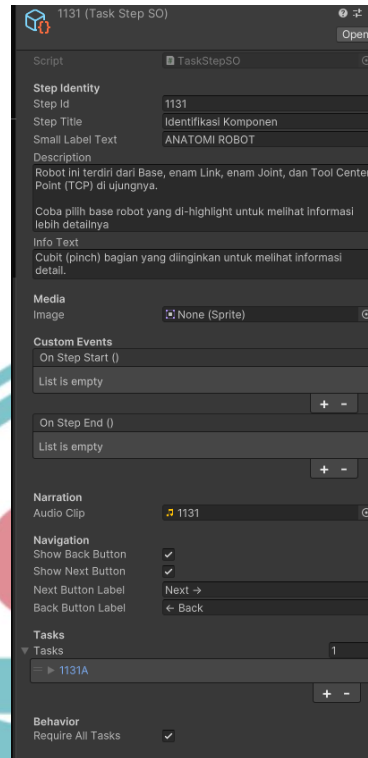
Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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



Tabel 4.12. Tampilan *inspector* dari TaskStepSO.

Pendekatan *modular* ini memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam pengembangan materi pembelajaran. Modul baru dapat dibuat hanya dengan menyusun kombinasi Learning Module Step yang tersedia tanpa perlu menambahkan *script* baru pada sistem. Selain itu, setiap step juga dapat diintegrasikan dengan berbagai subsistem lain seperti Robot System, Visualization System, *User Interface* System, maupun *Mixed Reality* Interaction System.

Melalui implementasi Learning Module Step, RoboMRLab mampu menyediakan alur pembelajaran yang dinamis, mudah dikembangkan, serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan materi pembelajaran yang berbeda.

4.4.2.3 Implementasi Eksekusi Modul Pembelajaran

Setelah modul pembelajaran berhasil dibuat dan dirangkai, RoboMRLab menggunakan komponen LearningModuleRunner sebagai pengelola atau pengeksekusi modul pembelajaran.



Hak Cipta :

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

LearningModuleRunner berfungsi sebagai pengendali utama yang membaca data dari LearningModuleSO dan memuat data yang ada. Kemudian menjalankan setiap langkah pembelajaran sesuai urutan pada data tersebut. Dengan mekanisme ini, pengguna dapat mengikuti alur pembelajaran secara sistematis.



Gambar 4.16. Urutan kerja eksekusi Modul Pembelajaran.

Pada saat *scene* dimulai, objek LearningModuleRunner akan mendeteksi modul apa yang diatur pada LearningModuleRunner di *scene* tersebut, mengambil data yang ada berdasarkan modul yang diatur, dan menampilkan isi modul tersebut. Setelah suatu langkah selesai dieksekusi, LearningModuleRunner akan memeriksa status penyelesaian langkah tersebut sebelum melanjutkan ke langkah berikutnya. Pada gambar 4.17 adalah fungsi untuk melanjutkan langkah pembelajaran.



Hak Cipta :

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

```
public void NextStep()
{
    if (currentModule == null) return;

    // Fire step ended for current step before cleanup
    var ending = currentModule.GetStep(currentStepIndex);
    if (ending != null) LearningEventBus.StepEnded(ending.stepId);

    currentExecutor?.Cleanup();

    currentStepIndex++;

    if (currentStepIndex >= currentModule.StepCount)
    {
        OnModuleComplete();
        return;
    }

    ExecuteCurrentStep();
}
```

Gambar 4.17. Fungsi melanjutkan step pada skrip LearningModuleRunner. Pendekatan ini memungkinkan berbagai jenis Learning Module Step dijalankan menggunakan mekanisme yang sama meskipun memiliki fungsi yang berbeda. Sebagai contoh, Dialog Step akan menunggu pengguna membaca instruksi dan menekan tombol lanjut, sedangkan Task Step akan menunggu pengguna menyelesaikan aktivitas tertentu sebelum proses pembelajaran dapat dilanjutkan.

4.4.2.4 Implementasi Validasi Aktivitas Pembelajaran

Sistem juga dapat mengimplementasikan validasi aktivitas pembelajaran untuk memastikan pengguna telah menyelesaikan aktivitas yang diperlukan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Mekanisme validasi terutama digunakan pada Task Step yang mengharuskan pengguna melakukan interaksi tertentu pada lingkungan *Mixed Reality*. Sistem akan memantau kondisi yang telah ditentukan dan memverifikasi apakah tujuan pembelajaran telah tercapai.



Gambar 4.18. Tampilan LearningCard ketika tugas sudah selesai dikerjakan pengguna.

Sebagai contoh, pada aktivitas manipulasi *robotic arm*, sistem dapat memeriksa apakah pengguna telah menggerakkan joint tertentu, mengaktifkan visualisasi yang diminta, atau menyelesaikan interaksi yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila kondisi tersebut telah terpenuhi, sistem akan memberikan status selesai dan mengizinkan pengguna untuk melanjutkan ke langkah berikutnya.

```
public class TaskStepExecutor : IStepExecutor
{
    public string ExecutorType => "Task";

    // -----
    // Private Fields
    // -----

    private TaskStepSO          currentStep;
    private HashSet<string>      completedTasks = new HashSet<string>();
    private Dictionary<int, float> jointStartAngles = new Dictionary<int, float>();
    private Action              onComplete;
    private bool                allDone = false;
    private JointAnimator        jointAnimator;
    private HighlightController  currentHighlight;
    private RobotPartInteractable currentInteractable;
    private TCPTargetGuide       tcpTargetGuide;
    private string               activeTCPTaskId;
    private JointSphereVisualizer jointViz;
    private Dictionary<string, int> waypointSaveCounts = new Dictionary<string, int>();
    private int                  lastWaypointSaveFrame = -1;
    private Dictionary<string, int> guidedWaypointCounts = new Dictionary<string, int>();
    private HashSet<GrippableObject> activeGrippables = new HashSet<GrippableObject>();
    private MonoBehaviour _owner;
    private Coroutine    _hintCoroutine;
}
```

Gambar 4.19. Skrip TaskStepExecutor.

Hak Cipta :

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

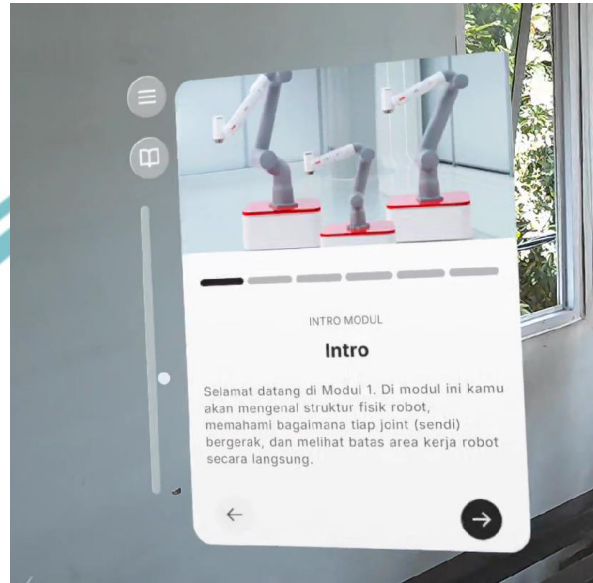


Hak Cipta :

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

4.4.2.5 Implementasi Learning Card

Learning Card digunakan sebagai media untuk menyampaikan materi seperti instruksi, informasi materi dan tugas selama proses pembelajaran berlangsung.



Gambar 4.20. Tampilan LearningCard pada Intro Modul 1.

Learning Card ditampilkan pada lingkungan *Mixed Reality* dan pengguna dapat membaca instruksi secara langsung pada lingkungan *Mixed Reality*. Informasi yang ditampilkan meliputi judul, deskripsi, instruksi, dan status penyelesaian. Informasi yang ditampilkan menyesuaikan isi yang diatur didalam setiap langkah pembelajaran (LearningStepSO).

Selain digunakan untuk menampilkan informasi, Learning Card juga berperan sebagai penghubung antara pengguna dan sistem pembelajaran. Melalui komponen ini, pengguna dapat mengikuti alur pembelajaran secara bertahap sesuai dengan urutan yang telah ditentukan oleh Learning Module.



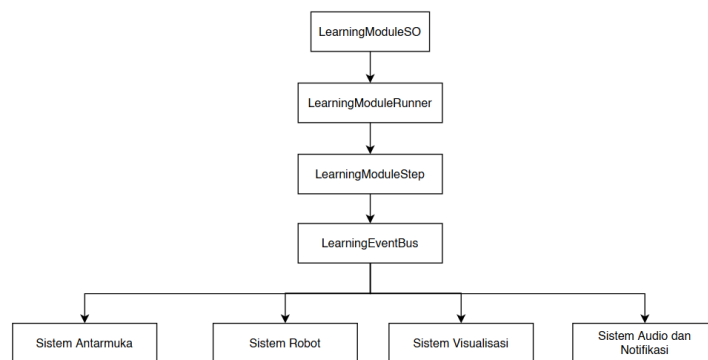
Hak Cipta :

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

4.4.2.6 Integrasi Sistem Pembelajaran dengan Subsistem Lain

Sistem pembelajaran pada RoboMRLab tidak hanya berfungsi untuk menampilkan materi, tetapi juga berperan sebagai pengatur alur aktivitas pembelajaran. Setiap modul pembelajaran disimpan dalam bentuk *LearningModuleSO*, kemudian dijalankan oleh *LearningModuleRunner* berdasarkan urutan *LearningModuleStep* yang telah disusun.

Ketika suatu *LearningModuleStep* dijalankan, sistem akan menentukan aksi yang perlu dilakukan sesuai dengan jenis step tersebut. Sebagai contoh, *Dialog Step* akan menampilkan materi pada *Learning Card*, *Highlight Step* akan mengaktifkan penyorotan objek, sedangkan *Task Step* akan menunggu pengguna menyelesaikan aktivitas tertentu sebelum modul dapat dilanjutkan.



Gambar 4.21. Hubungan antara LearningSystem dengan sistem lainnya.

Berdasarkan Gambar 4.21, alur integrasi dimulai dari *LearningModuleSO* yang memuat data modul pembelajaran. Data tersebut diproses oleh *LearningModuleRunner* untuk menjalankan setiap *LearningModuleStep* secara berurutan. Setiap step kemudian mengirimkan event melalui *LearningEventBus* agar subsistem lain dapat menjalankan fungsi yang sesuai.

Learning System dapat terhubung dengan *UI System* untuk memperbarui *Learning Card*, *Robot System* untuk mengaktifkan manipulasi robot atau pose tertentu, *Visualization System* untuk menampilkan *coordinate frame*, *workspace*, *trajectory*, *singularity*, dan *highlight*, serta *Audio* atau *Notification System* untuk memberikan narasi, umpan balik, atau peringatan



Hak Cipta :

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

kepada pengguna. Dengan mekanisme ini, materi pembelajaran dapat terhubung langsung dengan fitur-fitur aplikasi tanpa membuat setiap subsistem saling bergantung secara langsung.

Pendekatan ini membuat sistem pembelajaran menjadi lebih modular dan mudah dikembangkan. Jika terdapat penambahan materi atau aktivitas pembelajaran baru, hanya cukup menambahkan atau mengatur LearningModuleStep tanpa perlu mengubah struktur utama aplikasi.

4.4.3 Implementasi Manipulasi *Robotic Arm*

Manipulasi *robotic arm* adalah salah satu fitur utama pada aplikasi RoboMRLab. Fitur ini digunakan pengguna untuk berinteraksi langsung dengan model *robotic arm* pada lingkungan *mixed reality*. Fitur ini juga memperbolehkan pengguna memahami hubungan antara pergerakan joint, posisi end-effector, serta respons robot terhadap *input* pengguna.

Pada implementasinya, manipulasi *robotic arm* dikembangkan menggunakan Unity dengan memanfaatkan struktur hierarki model robot. Setiap bagian lengan robot disusun sebagai objek yang saling terhubung sehingga perubahan rotasi pada salah satu joint akan memengaruhi posisi link dan end-effector. Sistem ini memungkinkan *robotic arm* bergerak secara *real-time* sesuai *input* pengguna melalui antarmuka *Teach Pendant* virtual.

Implementasi manipulasi *robotic arm* pada aplikasi RoboMRLab meliputi kontrol joint robot, *Teach Pendant* virtual, manipulasi end-effector dan *gripper*, serta integrasi manipulasi robot dengan sistem pembelajaran.

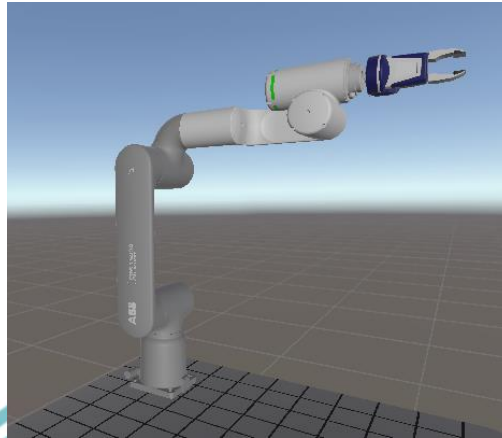
4.4.3.1 Implementasi Kontrol Joint Robot

Kontrol joint robot diimplementasikan untuk memungkinkan setiap joint pada *robotic arm* bergerak secara individual. Pada aplikasi RoboMRLab, *robotic arm* yang digunakan adalah model robot ABB GoFA 15000 Collaborative Robot yang digunakan oleh Politeknik Astra. Robot ini memiliki enam joint yang merepresentasikan enam derajat kebebasan (6 degree of freedom).



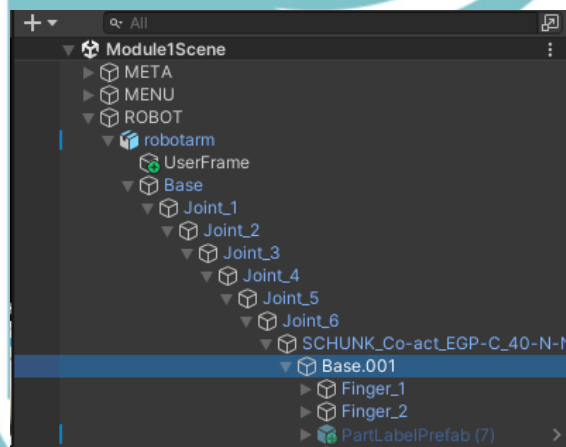
Hak Cipta :

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



Gambar 4.22. *Robotic Arm ABB GoFA 15000.*

Setiap joint lalu dikendalikan melalui sistem kontrol robot yang menerima *input* dari pengguna. Ketika pengguna memberikan *input* pergerakan, sistem mengubah nilai sudut pada joint tertentu. Perubahan tersebut kemudian diterapkan pada objek joint menggunakan transform rotation di Unity, sehingga pergerakan robot dapat diamati secara langsung pada lingkungan *mixed reality*.



Gambar 4.23. Pengaturan Joint Robot yang saling terhubung.

Sistem kontrol joint juga menerapkan pembatasan sudut (*limit*) sesuai buku panduan robot ABB GoFA 15000 Collaborative Robot agar pergerakan *robotic arm* tidak melewati batas rotasi yang telah ditentukan. Hal ini bertujuan untuk menjaga simulasi tetap sesuai dengan perilaku *robotic arm* dan mencegah gerakan yang tidak realistis.



Hak Cipta :

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

```
void SolvePositionIK()
{
    Vector3 error = tcpTarget.position - tcpActual.position;
    float mag = error.magnitude;

    if (mag > maxErrorThreshold)
    {
        Debug.LogWarning($"[IKFollower] Position error too large: {mag:F1} - resetting");
        tcpTarget.position = tcpActual.position;
        return;
    }
    if (mag < 0.0001f) return;

    // Maintain constant approach speed - drive as if error is at least minApproachMag
    Vector3 drivenError = error.normalized * Mathf.Max(mag, minApproachMag);

    int n = lockWristOrientation
        ? Mathf.Min(3, robotController.JointCount)
        : robotController.JointCount;

    float[] current = ReadCurrentAngles();
    Vector3 tcpOriginal = tcpActual.position;
```

Gambar 4.24. Fungsi SolveIK untuk *Inverse Kinematics*.

Selain kontrol berbasis joint, sistem juga memanfaatkan pendekatan *Inverse Kinematics* sebagai mekanisme pendukung untuk membantu pergerakan end-effector menuju posisi tertentu. Namun, pada penelitian ini pembahasan *Inverse Kinematics* tidak difokuskan pada perhitungan matematisnya, melainkan pada penggunaannya sebagai pendukung interaksi dan visualisasi *robotic arm* secara *real-time*.

```
void HandleJogging()
{
    if (Mathf.Approximately(slider.value, 0f)) return;

    float jogDirection = slider.value; // -1 to +1
    float speed = config.maxSpeed * jogSpeedMultiplier;
    float delta = jogDirection * speed * Time.deltaTime;

    float currentAngle = robotController.GetJointAngle(jointIndex);
    float newAngle = Mathf.Clamp(currentAngle + delta, config.minAngle, config.maxAngle);

    robotController.SetJointAngle(jointIndex, newAngle);
    UpdateAngleLabel(newAngle);
}
```

Gambar 4.25. Fungsi HandleJogging untuk *Forward Kinematics*.

Dengan implementasi kontrol joint ini, pengguna dapat memahami bagaimana perubahan pada setiap joint memengaruhi posisi dan orientasi *robotic arm* secara langsung.

4.4.3.2 Implementasi State Robot/Status Robot

Implementasi logika perilaku *robotic arm* dikelola dengan mekanisme *Robot State Machine/Status Robot*. Pendekatan ini bertujuan untuk mengatur kondisi operasional robot. Seluruh status robot ini didefinisikan dengan tipe data didalam skrip Unity dan terintegrasi dengan sistem event-bus. Setiap



Hak Cipta :

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

perubahan status dapat dideteksi oleh sub-sistem lain secara *real-time*. Rincian mengenai daftar status robot terdapat pada tabel berikut.

Tabel 4.13. Daftar Status Robot.

Kategori Status	Status	Deskripsi Sistem
Status Motor	ON	Motor pada robot aktif dan seluruh joint robot diizinkan menerima input pergerakan dari Teach Pendant.
	OFF	Motor pada robot non aktif, sistem secara otomatis mematikan robot dengan fungsi RobotStopped() untuk membekukan posisi seluruh <i>joint</i> dan robot tidak bisa bergerak.
Status Gripper	<i>Open</i>	<i>Gripper</i> robot dalam posisi terbuka.
	<i>Close</i>	<i>Gripper</i> robot dalam posisi tertutup.
	<i>Gripped</i>	Sensor mendeteksi objek yang dapat ditempelkan, dan secara otomatis tertempel pada <i>Tool Center Point</i> (TCP) dan gripper robot menutup.
<i>Workspace</i> (Area Kerja Robot)	<i>Safe</i>	Jarak TCP berada dalam jangkauan aman, visualisasi berupa <i>sphere</i> berwarna hijau.
	<i>Warning</i>	Jarak TCP mendekati batas luar. Visualisasi <i>sphere</i> berubah menjadi kuning.
	<i>Danger</i>	Jarak TCP mendekati batas maksimum jangkauan, visualisasi <i>sphere</i> berwarna merah.
	<i>DangerInner</i>	Jarak TCP berada di area blindspot didekat <i>base</i> robot. Visualisasi berubah menjadi warna ungu.
<i>Safety Zone</i>	<i>Safe</i>	Jarak robot virtual dengan posisi pengguna diatas 0.5m dari robot, robot berjalan normal.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

	<i>Warning</i>	Jarak robot virtual dengan posisi pengguna diantara 0.3m-0.5m. Sistem menurunkan kecepatan robot ketika robot bergerak. Terdapat visualisasi <i>joint</i> robot berwarna kuning.
	<i>Danger</i>	Jarak robot virtual dengan pengguna dibawah 0.3m. Sistem menghentikan robot dan memberikan visualisasi berwarna merah pada <i>joint</i> robot yang paling dekat dengan pengguna.
<i>Singularity</i>	<i>Normal</i>	Sistem tidak mendeteksi singularitas dan robot berjalan dengan normal.
	<i>Warning</i>	Sistem mendeteksi konfigurasi <i>joint</i> robot mendekati posisi kritis. Sistem akan memberikan peringatan di Teach Pendant.
	<i>Detected</i>	Kondisi singularitas tercapai. Sistem akan mengunci seluruh <i>joint</i> robot dan memberikan peringatan di Teach Pendant.

Berdasarkan daftar state pada tabel 4.13, setiap kondisi robot memiliki fungsi dan respons sistem yang berbeda-beda. Pembagian ini agar perilaku robot dapat dikendalikan secara terstruktur. Implementasi status robot juga terhubung dengan sistem event agar subsistem lain dapat merespon sesuai dengan kondisi robot secara *real-time*.

Dengan demikian, Robot State Machine berperan sebagai pengatur perilaku robot sekaligus pendukung pembelajaran mengenai kondisi operasional robotic arm industri.

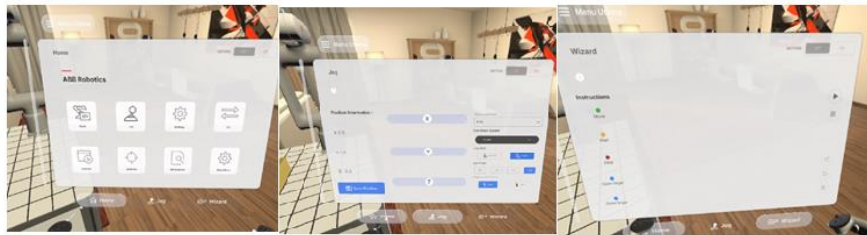


Hak Cipta :

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

4.4.3.3 Implementasi *Teach Pendant* Virtual

Teach Pendant virtual merupakan antarmuka utama yang digunakan pengguna untuk mengontrol *robotic arm* pada aplikasi RoboMRLab. Antarmuka ini dirancang menyerupai konsep *teach pendant* pada robot ABB GoFA 15000 *Collaborative Robot*, yaitu perangkat yang digunakan untuk mengatur, menggerakkan, dan merekam posisi robot.



Gambar 4.26. Implementasi menu Home, Jog dan Wizard *Teach Pendant*.

Pada aplikasi RoboMRLab, *Teach Pendant* digunakan untuk mengakses beberapa fungsi utama, diantaranya:

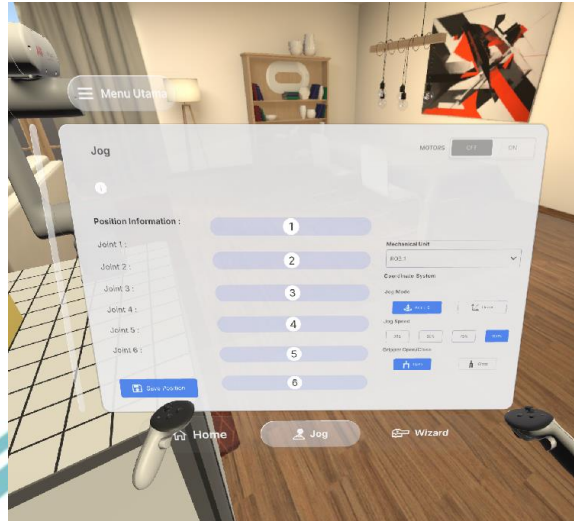
- a. Mengaktifkan dan menonaktifkan motor robot.
- b. Menggerakkan joint robot secara manual.
- c. Mengatur mode pergerakan robot.
- d. Menyimpan dan merekam posisi robot.
- e. Menjalankan urutan gerakan robot.
- f. Mengontrol *gripper*.

Teach Pendant virtual terdiri dari beberapa panel utama, seperti panel Home, Jog, dan Wizard. Panel Home digunakan sebagai menu utama. Panel Jog digunakan untuk melakukan pergerakan robot secara manual, baik berdasarkan pergerakan joint maupun pergerakan *linear*, dan juga merekam posisi robot serta akses untuk mengatur frame coordinate. Sedangkan panel Wizard digunakan untuk menyusun dan menjalankan urutan gerakan robot.



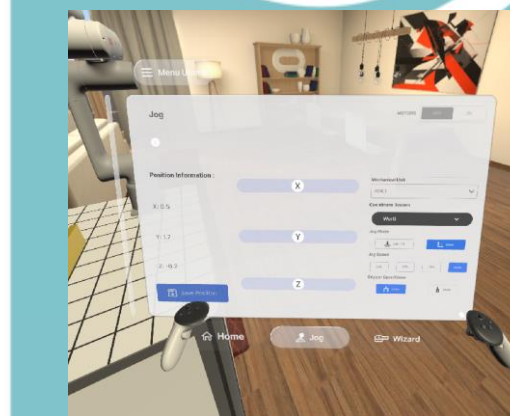
Hak Cipta :

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



Gambar 4.27. Menu *Jog Axis Teach Pendant*.

Pada mode pergerakan joint, pengguna dapat menggerakkan setiap joint robot secara individual. *Input* yang diberikan melalui *Teach Pendant* akan diteruskan ke sistem kontrol robot sehingga *robotic arm* bergerak sesuai joint yang dipilih.



Gambar 4.28. Menu *Jog mode Linear*.

Pada mode pergerakan *linear*, pengguna dapat menggerakkan posisi target end-effector pada sumbu tertentu yakni sumbu X, Y dan Z. Sistem kemudian menggerakkan robot untuk mengikuti posisi target tersebut. Mode ini digunakan sebagai pendukung simulasi agar pengguna dapat memahami perbedaan antara kontrol berbasis joint dan kontrol berbasis posisi end-effector.



Hak Cipta :

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

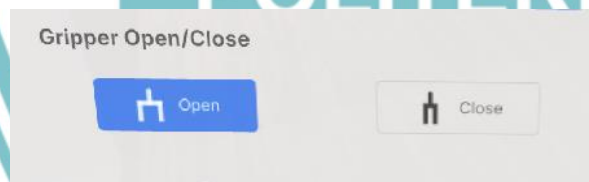
4.4.3.4 Implementasi End-Effector dan *Gripper*

End-effector merupakan bagian ujung dari *robotic arm* yang berfungsi sebagai titik kerja robot. Pada aplikasi RoboMRLab, end-effector digunakan sebagai referensi utama dalam beberapa fitur seperti manipulasi posisi, visualisasi *trajectory*, dan interaksi dengan objek.



Gambar 4.29. End-Effector Robot.

Selain end-effector, aplikasi juga mengimplementasikan *gripper* sebagai komponen yang dapat membuka dan menutup untuk mensimulasikan proses pengambilan objek. *Gripper* dapat dikontrol melalui *Teach Pendant* virtual sehingga pengguna dapat memahami fungsi *gripper* dalam operasi *robotic arm* industri.



Gambar 4.30. Tombol Open/Close *Gripper*.

Jika *gripper* digunakan dalam aktivitas pembelajaran tertentu, sistem dapat mendeteksi kondisi *gripper* dan menggunakannya sebagai bagian dari validasi tugas. Sebagai contoh, pengguna dapat diminta untuk melakukan simulasi proses mengambil objek dan menggunakan *gripper* untuk mengambil objek 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
public class GripperController : MonoBehaviour
{
    public void Open()
    {
        if (State == GripperState.Open ||
            State == GripperState.Opening) return;

        State = GripperState.Opening;

        // Release object first
        if (currentGrippedObject != null)
        {
            currentGrippedObject.Detach();
            currentGrippedObject = null;
        }

        // Animate fingers open
        finger1.DOLocalMove(finger1OpenPos, animDuration)
            .SetEase(Ease.OutQuad);
        finger2.DOLocalMove(finger2OpenPos, animDuration)
            .SetEase(Ease.OutQuad)
            .OnComplete(() =>
            {
                State = GripperState.Open;
                NotificationBus.Info("Gripper Open", 2f);
            });
    }
}
```

Gambar 4.31. Skrip GripperController untuk membuka *Gripper*.

4.4.3.5 Integrasi Manipulasi Robot dengan Sistem Pembelajaran

Manipulasi *robotic arm* tidak berdiri sebagai fitur simulasi yang terpisah, tetapi terintegrasi langsung dengan sistem pembelajaran pada RoboMRLab. Integrasi ini memungkinkan aktivitas manipulasi robot digunakan sebagai bagian dari tugas pembelajaran yang harus diselesaikan pengguna.



Gambar 4.32. Contoh Notifikasi *Gripper* yang tersambung ke Pendant.

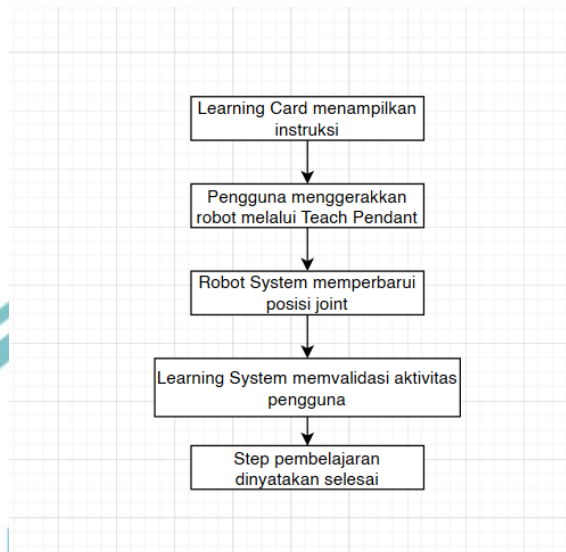
Pada sistem pembelajaran, aktivitas manipulasi robot dapat digunakan pada Task Step. Sistem akan memberikan instruksi kepada pengguna melalui Learning Card, kemudian pengguna melakukan interaksi terhadap robot menggunakan *Teach Pendant* atau kontrol yang tersedia. Setelah pengguna



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

menyelesaikan aktivitas yang diminta, sistem akan memvalidasi apakah kondisi yang ditentukan telah tercapai.



Gambar 4.33. Urutan Kerja Integrasi Sistem Robot.

Melalui integrasi tersebut, pengguna diajak melakukan praktik langsung terhadap *robotic arm* virtual. Hal ini membuat proses pembelajaran menjadi lebih interaktif karena pengguna perlu melakukan tindakan tertentu untuk melanjutkan ke tahap pembelajaran berikutnya.

Integrasi manipulasi *robotic arm* dengan sistem pembelajaran menjadi salah satu bagian penting dalam aplikasi yang dikembangkan, karena fitur ini menghubungkan simulasi robot dengan tujuan pembelajaran. Dengan demikian, aplikasi tidak hanya berfungsi sebagai simulator, tetapi juga sebagai media pembelajaran interaktif yang membimbing pengguna memahami konsep *robotic arm* melalui aktivitas langsung.

4.4.4 Implementasi Visualisasi Pembelajaran

Visualisasi pembelajaran pada RoboMRLab dikembangkan agar dapat membantu pengguna memahami konsep-konsep *robotic arm* yang sulit diamati secara langsung. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan fitur-fitur visualisasi yang dirancang menggunakan Unity. Visualisasi akan ditampilkan secara langsung pada lingkungan *mixed reality* dan



Hak Cipta :

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

dirancang agar dapat berubah secara langsung mengikuti kondisi *robotic arm* dan pengguna agar proses pembelajaran dapat lebih mudah dipahami.

Implementasi visualisasi pembelajaran pada aplikasi ini terdiri dari visualisasi *coordinate frame*, *workspace* robot, batas aman interaksi pengguna, *singularity* dan lintasan pergerakan robot.

4.4.4.1 Visualisasi Coordinate Frame

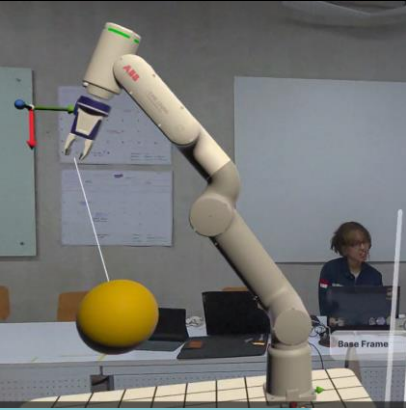
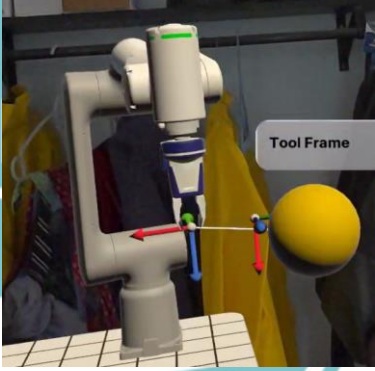
Visualisasi *coordinate frame* dikembangkan agar membantu pengguna memahami sistem koordinat yang digunakan dalam pengoperasian *robotic arm*. Dalam pengoperasian robot, *coordinate frame* berfungsi sebagai acuan posisi dan orientasi robot dalam ruang tiga dimensi. Setiap gerakan robot tidak hanya dipengaruhi oleh nilai sudut joint, tetapi juga oleh acuan koordinat yang digunakan untuk menentukan arah gerakan, posisi *end-effector*, dan orientasi tool.

Coordinate frame menjadi salah satu konsep penting dalam pembelajaran *robotic arm* karena pengguna perlu memahami perbedaan antara acuan koordinat dunia (*World Frame*), acuan koordinat robot (*Base Frame*), acuan koordinat kerja (*User Frame*), dan acuan koordinat tool (*Tool Frame*). Tanpa visualisasi yang jelas, pengguna dapat mengalami kesulitan dalam membayangkan arah sumbu X, Y, dan Z, terutama ketika robot bergerak atau ketika orientasi tool berubah.

Terdapat empat jenis *coordinate frame* yang divisualisasikan pada aplikasi, yaitu *World Frame*, *Base Frame*, *Tool Frame*, dan *User Frame*. *World Frame* digunakan sebagai acuan koordinat umum pada lingkungan aplikasi. *Base Frame* digunakan sebagai acuan koordinat yang melekat pada dasar *robotic arm*. *Tool Frame* digunakan sebagai acuan koordinat pada bagian *end-effector* atau *tool robot*, sehingga posisinya akan mengikuti perubahan posisi dan orientasi ujung robot. *User Frame* digunakan sebagai acuan koordinat tambahan yang dapat merepresentasikan area kerja atau objek tertentu.



Tabel 4.14. Visualisasi *Coordinate Frame*.

No	Jenis <i>Coordinate Frame</i>	Implementasi Sistem
1	<i>World Frame</i>	
2	<i>Base Frame</i>	
3	<i>Tool Frame</i>	
4	<i>User Frame</i>	

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

Berdasarkan Tabel 4.14, visualisasi *coordinate frame* dapat ditampilkan sesuai kebutuhan pembelajaran. Terdapat 4 *coordinate frame* yang digambarkan, yakni *world frame*, *base frame*, *tool frame* dan *user frame*. Ketika pengguna menggerakkan *robotic arm*, orientasi *coordinate frame* akan diperbaharui secara realtime mengikuti perubahan posisi dan orientasi robot.

```
Transform ActiveFrame(LinearJogUI.CoordMode mode) => mode switch
{
    LinearJogUI.CoordMode.Base => robotBase != null ? robotBase : worldReference,
    LinearJogUI.CoordMode.Tool => tcpActual != null ? tcpActual : worldReference,
    LinearJogUI.CoordMode.User => userFrame != null ? userFrame : worldReference,
    => worldReference,
};

void ApplyFrameStyle(LinearJogUI.CoordMode mode)
{
    if (_overrideTitle != null) return;

    string title, desc;
    switch (mode)
    {
        case LinearJogUI.CoordMode.Base: title = baseLabel; desc = baseDescription; break;
        case LinearJogUI.CoordMode.Tool: title = toolLabel; desc = toolDescription; break;
        case LinearJogUI.CoordMode.User: title = userLabel; desc = userDescription; break;
        default: title = worldLabel; desc = worldDescription; break;
    }

    ApplyLabelText(title, desc);
}
```

Gambar 4.34. Skrip CoordinateFrameGizmo.

Melalui visualisasi ini, pengguna dapat memahami titik koordinat pusat dari setiap *coordinate frame* dan juga orientasi dari setiap *coordinate frame*.

4.4.4.2 Visualisasi *Workspace Robot*

Workspace robot adalah area yang dapat dijangkau oleh *robotic arm* berdasarkan konfigurasi joint dan panjang link yang dimiliki. Pada pembelajaran *robotic arm*, konsep ini seringkali sulit dipahami karena pengguna harus membayangkan batas jangkauan robot dalam ruang tiga dimensi.

Untuk membantu proses pembelajaran, RoboMRLab mengimplementasikan visualisasi *workspace* menggunakan objek tiga dimensi yang mengelilingi robot. Visualisasi diimplementasikan menggunakan lingkaran (sphere) yang merepresentasikan batas maksimum yang dapat dicapai oleh end-effector robot..



Hak Cipta :

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



Gambar 4.35. Visualisasi *Workspace*.

Visualisasi *workspace* diperbaharui secara otomatis mengikuti posisi dasar robot yang ditempatkan, dan pengguna dapat mengamati secara langsung area yang dapat dijangkau oleh *robotic arm* serta memahami keterbatasan ruang gerak robot.

```
public class WorkspaceVisualizer : MonoBehaviour
{
    // -----
    // Inspector Fields
    // -----

    [Header("References")]
    public Transform tcpTransform;
    public Transform baseTransform;

    [Header("ABB GoFa CRB 15000 Workspace (Unity units @ 100x scale)")]
    public float minReach = 16.8f; // 168mm real = 16.8 Unity units
    public float maxReach = 95f; // 950mm real = 95 Unity units

    [Header("Warning Thresholds (Unity units)")]
    public float warningDistance = 15f; // yellow zone
    public float dangerDistance = 5f; // red zone

    [Header("TCP Sphere")]
    public GameObject tcpSphere;
    public float sphereSize = 3f;
    public float pulseSpeed = 2f;
    public float pulseMinScale = 0.8f;
    public float pulseMaxScale = 1.2f;

    [Header("Boundary Mesh")]
    public GameObject outerBoundary; // outer sphere mesh
    public GameObject innerBoundary; // inner sphere mesh (dead zone)
```

Gambar 4.36. Skrip *WorkspaceVisualizer*.

Dengan adanya visualisasi ini, pengguna dapat mempelajari konsep jangkauan robot secara intuitif dibandingkan hanya melihat spesifikasi teknis atau gambar statis pada buku pembelajaran atau dokumen manual robot.

4.4.4.3 Visualisasi Batas Aman Interaksi Pengguna

Selain memahami cara kerja *robotic arm*, pengguna juga perlu memahami aspek keselamatan ketika mengoperasikan *robotic arm*. Penelitian ini juga mengimplementasikan fitur visualisasi batas aman interaksi pengguna untuk memperkenalkan konsep keselamatan kerja pada lingkungan *robotic arm*.



Hak Cipta :

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

Sistem memantau secara *real-time* posisi pengguna melalui fitur head tracking milik Meta Quest, dan menghitung jaraknya dengan setiap joint yang ada pada *robotic arm*. Berdasarkan jarak tersebut, sistem lalu menentukan status keamanan pengguna ketika berinteraksi dengan robot.



Gambar 4.37. Robot berhenti ketika kepala pengguna terdeteksi dalam Zona Aman.

Ketika pengguna berada pada jarak aman, robot dapat beroperasi dengan normal. Apabila pengguna memasuki area peringatan, sistem akan menampilkan notifikasi visual sebagai pengingat bahwa pengguna terlalu dekat dengan area kerja robot. Pada kondisi ketika robot sudah terlalu dekat dengan pengguna, sistem akan otomatis mematikan motor robot dan memberikan peringatan pada *Teach Pendant* virtual. Fitur ini diharapkan agar pengguna dapat memahami apakah pengguna berada di jalur kerja robot atau tidak, sehingga pengguna selalu berhati-hati dalam menggerakkan *robotic arm*.

```
public class SafetyZoneController : MonoBehaviour
{
    [Header("References")]
    public Transform cameraTransform;
    public RobotController robotController;
    public Transform tcpTip; // optional extra check point

    [Header("Toggle")]
    public Button toggleButton;

    [Header("Thresholds (metres)")]
    public float warningDistance = 0.5f;
    public float dangerDistance = 0.3f;

    [Header("Colors")]
    public Color warningColor = new Color(1f, 0.8f, 0f);
    public Color dangerColor = new Color(0.9f, 0.1f, 0.1f);
}
```

Gambar 4.38. Skrip SafetyZoneController.



Hak Cipta :

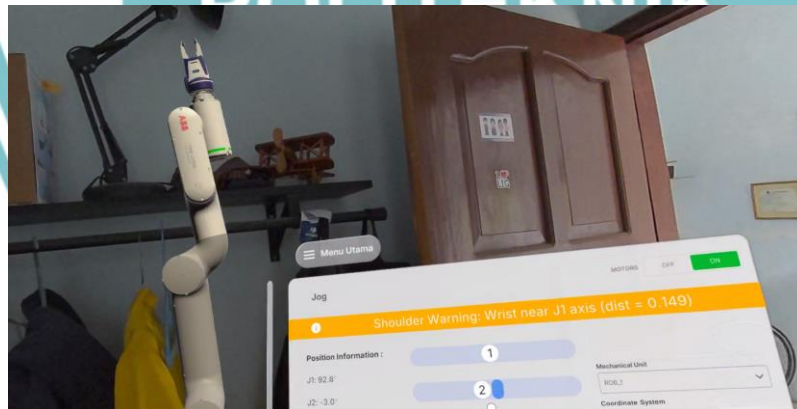
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Visualisasi ini membantu pengguna memahami pentingnya menjaga jarak aman saat berinteraksi dengan *robotic arm* serta memperkenalkan konsep keselamatan operasional dalam bentuk yang lebih mudah dipahami.

4.4.4.4 Visualisasi *Singularity*

Singularity adalah kondisi ketika konfigurasi joint *robotic arm* menyebabkan terbatasnya gerak robot ataupun menurunkan stabilitas pergerakan robot. Pada kondisi ini, beberapa sumbu gerak robot dapat berada pada posisi sejajar atau berdekatan. Ini dapat membuat ujung *end-effector* robot menjadi tidak stabil.

Pada pembelajaran *robotic arm*, konsep *singularity* cukup sulit dipahami karena tidak selalu terlihat secara langsung ketika robot beroperasi. Pengguna biasanya hanya melihat robot berada pada pose tertentu, tanpa mengetahui bahwa konfigurasi joint tersebut dapat menyebabkan keterbatasan gerak atau ketidakstabilan pergerakan. Oleh karena itu, RoboMRLab mengimplementasikan visualisasi *singularity* agar pengguna dapat melihat contoh konfigurasi robot yang mendekati kondisi *singularity* secara langsung dalam lingkungan *Mixed Reality*.



Gambar 4.39. Deteksi *Singularity* dan notifikasi ke Pendant.

Pada implementasinya, sistem memonitor konfigurasi setiap joint robot secara langsung. Ketika robot mendekati kondisi *singularity* (seperti joint 4 hingga 6 berada di posisi 0 derajat), sistem akan menampilkan indikator



Hak Cipta :

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

visual dan notifikasi peringatan pada pengguna melalui *Teach Pendant* virtual bahwa robot sudah mendekati posisi yang dapat menyebabkan *singularity*.

Sistem juga mengimplementasikan sistem pose dimana *robotic arm* pada modul pembelajaran digerakkan secara sistem untuk bergerak ke empat posisi yang dapat menyebabkan *singularity*. Data joint *robotic arm* sudah diatur mendekati *singularity* dan ketika modul dipanggil, robot bergerak sesuai dengan data yang sudah disiapkan.



Gambar 4.40. Robot berpose *Singularity* pada modul 2.

Melalui visualisasi ini, pengguna dapat memahami konsep *singularity* secara lebih konkret karena dapat melihat hubungan antara konfigurasi joint dan kondisi *singularity* secara langsung pada simulasi *robotic arm*.

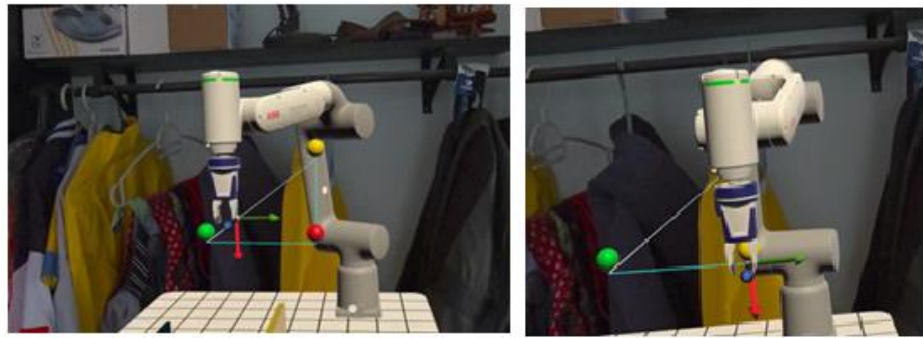
4.4.4.5 Visualisasi Trajektori Robot

Visualisasi trajektori atau lintasan gerak robot dikembangkan untuk memperlihatkan lintasan pergerakan *robotic arm* selama berpindah dari satu posisi ke posisi lain yang direkam pada *Teach Pendant* virtual. Fitur ini membantu pengguna memahami secara langsung bagaimana robot bergerak dan jalur yang ditempuh oleh end-effector selama robot bergerak.



Hak Cipta :

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



Gambar 4.41. Lintasan Gerak Robot dalam mode *Linear*.

Pada RoboMRLab, lintasan gerak robot divisualisasikan menggunakan titik posisi dan garis penghubung yang membentuk lintasan gerak robot. Setiap titik merepresentasikan posisi robot yang telah disimpan dan menjadi bagian dari urutan gerakan robot.

Ketika robot bergerak, sistem akan memperbaharui visualisasi lintasan robot secara langsung, dan pengguna dapat mengamati jalur yang dilalui oleh end-effector. Visualisasi ini juga membantu pengguna mengamati posisi robot yang belum, akan dan sudah dilewati melalui perbedaan warna pada titik yang dilewati robot.

```
public class WizardPathVisualizer : MonoBehaviour
{
    void OnPlaybackEnded()
    {
        currentBlock = -1;
        if (isVisible) ResetMarkerColors();
    }

    void ApplyProgressColors()
    {
        for (int i = 0; i < markers.Count; i++)
        {
            int bi = markerBlocks[i];
            Color c;
            if (bi < 0)
            {
                c = colorPassed;
            }
            else if (bi < currentBlock)
            {
                c = colorPassed;
            }
            else if (bi == currentBlock)
            {
                c = colorActive;
            }
            else
            {
                c = colorUnvisited;
            }

            ApplyMarkerColor(markers[i], c);
        }
    }

    void ResetMarkerColors()
    {
        for (int i = 0; i < markers.Count; i++)
        {
            ApplyMarkerColor(markers[i], markerColors[i]);
        }
    }
}
```

Gambar 4.42. Skrip WizardPathVisualizer.

Selain digunakan untuk pembelajaran, visualisasi ini juga membantu pengguna melihat urutan gerakan yang telah dibuat melalui *Teach Pendant* virtual sebelum robot menjalankan gerakan yang telah disusun.



Hak Cipta :

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

4.4.4.6 Integrasi Visualisasi Sistem Pembelajaran

Seluruh visualisasi yang diimplementasikan pada RoboMRLab terintegrasi dengan sistem pembelajaran melalui Learning Module Step. Integrasi ini memungkinkan visualisasi tertentu diaktifkan secara otomatis sesuai dengan materi yang sedang dipelajari pengguna.

Sebagai contoh, visualisasi *coordinate frame* akan ditampilkan ketika materi mempelajari sistem koordinat robot, sedangkan visualisasi *workspace* diaktifkan dalam materi yang membahas ruang kerja *robotic arm*. Mekanisme yang sama juga diterapkan pada visualisasi *singularity*, lintasan gerak robot, dan batas aman interaksi pengguna.



Gambar 4.43. Integrasi visual Highlight dengan step pembelajaran.

Melalui integrasi tersebut, visualisasi tidak hanya berfungsi sebagai elemen tambahan dalam aplikasi, tetapi menjadi bagian dari proses pembelajaran yang digunakan untuk menjelaskan konsep-konsep *robotic arm* secara lebih interaktif dan mudah dipahami. Dengan demikian, pengguna dapat memperoleh pengalaman belajar yang lebih kontekstual dibandingkan metode pembelajaran 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

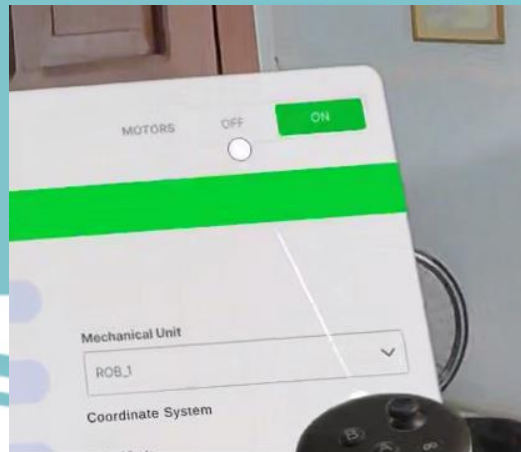
4.4.5 Implementasi Interaksi *Mixed Reality*

Interaksi *Mixed Reality* adalah komponen yang memungkinkan pengguna berinteraksi secara langsung dengan objek virtual yang ditampilkan pada dunia nyata. Pada RoboMRLab, interaksi *Mixed Reality* diimplementasikan menggunakan perangkat Meta Quest 3 dan *Meta XR* SDK yang menyediakan metode interaksi seperti *ray interaction*, *controller interaction*, *hand interaction*, *distance ray grab interaction*, serta *haptic feedback*.

Dengan interaksi ini, pengguna dapat berinteraksi baik dengan komponen *robotic arm*, komponen antar muka pengguna (UI) dan elemen pembelajaran secara lebih imersif dan alami.

4.4.5.1 Ray Interaction

Komponen *ray interaction* adalah metode utama yang digunakan untuk berinteraksi dengan elemen antarmuka pada aplikasi ini. Metode ini memanfaatkan sinar virtual (*ray*) yang diproyeksikan dari *controller* ataupun virtual hand pengguna untuk memilih atau mengaktifkan objek pada lingkungan virtual.



Gambar 4.44. Implementasi *Ray Interaction*

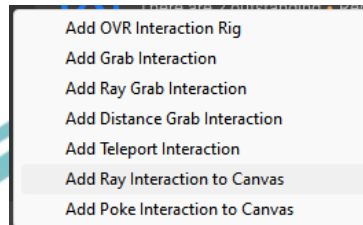
Pada implementasinya, komponen *ray interaction* digunakan untuk berbagai aktivitas seperti memilih modul pembelajaran, mengoperasikan *Teach Pendant* virtual, mengakses menu, dan melakukan navigasi pada menu yang disiapkan. *Ray interaction* sudah disiapkan oleh Meta, namun perlu diatur



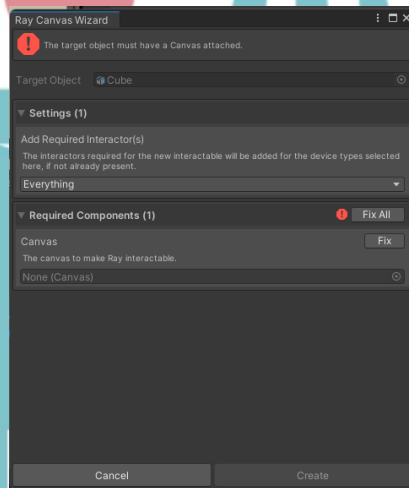
Hak Cipta :

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

kembali untuk objek apa fitur ini perlu diaktifkan. Fitur ini diatur dengan menambahkan skrip *Ray Interaction* SDK ke objek yang perlu diberikan *Ray Interaction* dengan klik *inspector* seperti gambar 4.47, dan akan muncul menu pada gambar 4.45.



Gambar 4.45. Menu Menambahkan Komponen *Ray Interaction*

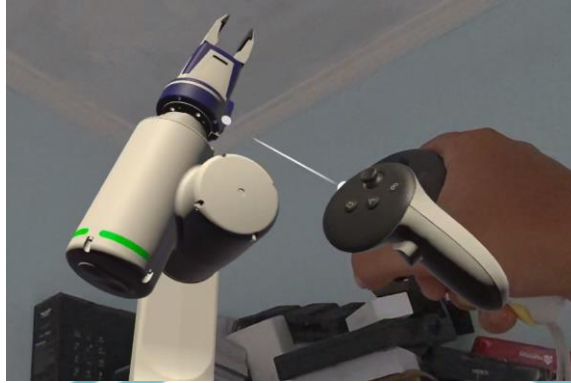


Gambar 4.46. Create *Ray Interaction* Canvas

Melalui metode ini, pengguna dapat menggunakan *ray interaction* dan mengakses berbagai fitur aplikasi tanpa harus berpindah posisi atau menyentuh objek secara langsung.

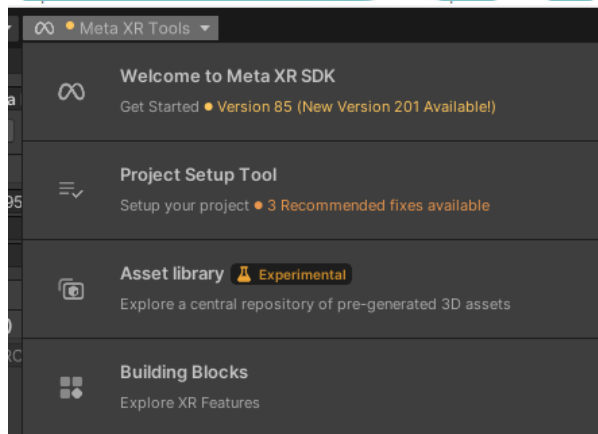
4.4.5.2 *Controller* dan *Hand Interaction*

Interaksi berbasis *controller* dan *hand tracking* diimplementasikan untuk memberikan fleksibilitas kepada pengguna dalam menggunakan aplikasi RoboMRLab. Kedua metode interaksi ini didukung oleh perangkat Meta Quest dan digunakan sesuai kebutuhan aktivitas pembelajaran.



Gambar 4.47. Implementasi *Controller Interaction*

Controller digunakan sebagai metode interaksi utama karena memiliki tingkat presisi yang lebih stabil, terutama ketika pengguna berinteraksi dengan antarmuka seperti *Learning Card*, *Teach Pendant*, dan tombol navigasi. *Input* dari *controller* digunakan untuk memilih menu, menekan tombol, menggerakkan pointer ray, serta menjalankan aktivitas pembelajaran yang membutuhkan kontrol lebih akurat.



Gambar 4.48. *Meta XR Menu*.

Komponen *Controller* dan Hand Interaction ini sudah termasuk kedalam sistem Meta ketika Meta All In One SDK di import kedalam project dan menambahkan CameraRig kedalam *scene* yang ada. CameraRig ditambahkan dengan klik menu *Meta XR* pada gambar 4.48 dan memilih Building Blocks, dan menambahkan Camera Rig seperti pada gambar 4.49. CameraRig akan secara otomatis ditambahkan kedalam *scene*.



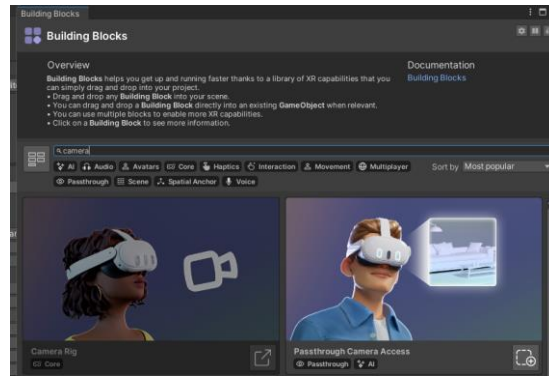
Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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



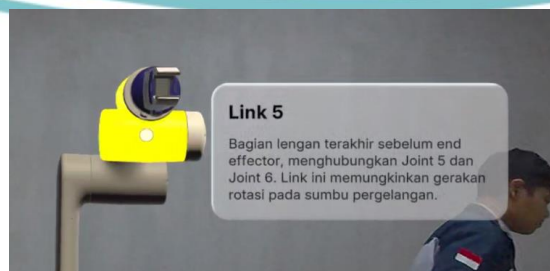
Gambar 4.49. Menu Building Block Meta XR.

Selain *controller*, aplikasi juga mendukung *hand tracking* sebagai alternatif interaksi yang lebih natural. Melalui *hand tracking*, pengguna dapat berinteraksi dengan objek virtual menggunakan gerakan tangan tanpa perlu memegang *controller*. Fitur ini digunakan untuk memberikan pengalaman *Mixed Reality* yang lebih imersif dan mendekati interaksi alami pengguna dengan objek di ruang nyata.

Meskipun kedua metode interaksi tersedia, implementasi aplikasi tetap memprioritaskan *controller* sebagai metode utama pada aktivitas yang membutuhkan presisi tinggi, sedangkan *hand tracking* digunakan sebagai alternatif untuk mendukung pengalaman interaksi yang lebih natural.

4.4.5.3 Distance-Ray Grab Interaction

Interaksi Distance-Ray Grab diimplementasikan pada aplikasi RoboMRLab agar memungkinkan pengguna berinteraksi dengan objek dan elemen antarmuka dan menggerakkan elemen antarmuka tersebut ke tempat yang pengguna inginkan.



Gambar 4.50. Implementasi Distance Ray Grab Interaction.

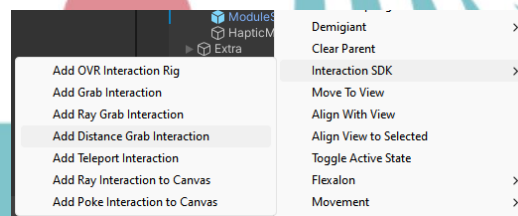


Hak Cipta :

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

Pada implementasinya, Distance-Ray Grab digunakan untuk dua kebutuhan, yakni interaksi dengan elemen antarmuka (UI) yang menggunakan world-space canvas pada lingkungan *Mixed Reality*. Kedua, interaksi digunakan pada objek 3D seperti komponen robot untuk memunculkan dan sebagai trigger fitur highlight atau memunculkan deskripsi.

Fitur ini sudah disediakan oleh Meta XR Interaction SDK, namun perlu dikonfigurasi di setiap objek yang memerlukan interaksi ini. Pengaturan dilakukan dengan menambahkan komponen Distance-Ray Grab Interaction melalui *inspector* pada objek target, seperti pada gambar 4.51.



Gambar 4.51. Menu komponen Distance Grab Interaction.

Melalui metode ini, pengguna dapat mengakses seluruh fitur aplikasi dengan mengarahkan ray dari posisi berdiri tanpa harus berpindah lokasi, dan berinteraksi dengan objek ataupun antarmuka (UI) selama sesi pembelajaran.

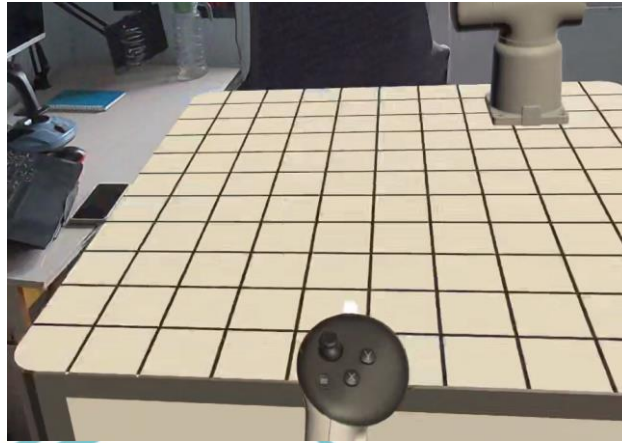
4.4.5.4 Haptic Feedback

Sebagai pelengkap interaksi pengguna, RoboMRLab menggunakan *haptic feedback* pada *controller* Meta Quest. *Haptic feedback* digunakan untuk memberikan umpan balik fisik ketika pengguna melakukan interaksi tertentu pada aplikasi.



Hak Cipta :

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



Gambar 4.52. Gambaran *Controller* bergetar.

Getaran diberikan ketika pengguna berhasil memilih objek, menekan tombol, menyelesaikan aktivitas pembelajaran, atau melakukan interaksi tertentu pada *robotic arm*. Umpan balik ini membantu pengguna mengetahui bahwa aksi yang dilakukan telah berhasil diterima oleh sistem.

```
using System.Collections;
using UnityEngine;

public class HapticManager : MonoBehaviour
{
    public static HapticManager Instance { get; private set; }

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

    void OnEnable()
    {
        LearningEventBus.OnTaskItemCompleted += OnTaskItemCompleted;
        LearningEventBus.OnAllTasksCompleted += OnAllTasksCompleted;
        GuidedWaypointSystem.OnWaypointSaved += OnWaypointSaved;
        GuidedWaypointSystem.OnAllWaypointsSaved += OnAllWaypointsSaved;
        RobotEventBus.OnSingularityWarning += OnSingularityWarning;
        RobotEventBus.OnSingularityDetected += OnSingularityDetected;
    }

    void OnDisable()
    {
        LearningEventBus.OnTaskItemCompleted -= OnTaskItemCompleted;
        LearningEventBus.OnAllTasksCompleted -= OnAllTasksCompleted;
        GuidedWaypointSystem.OnWaypointSaved -= OnWaypointSaved;
        GuidedWaypointSystem.OnAllWaypointsSaved -= OnAllWaypointsSaved;
        RobotEventBus.OnSingularityWarning -= OnSingularityWarning;
        RobotEventBus.OnSingularityDetected -= OnSingularityDetected;
    }
}
```

Gambar 4.53. Skrip Haptic Manager.

Selain meningkatkan kenyamanan penggunaan, *haptic feedback* juga membantu memperkuat pengalaman imersif selama proses pembelajaran berlangsung.



Hak Cipta :

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

4.4.6 Implementasi Antarmuka Pengguna (UI)

Melalui Antarmuka pengguna pada RoboMRLab dirancang oleh tim UI/UX, Safira Zahara Jasmine, untuk mendukung proses pembelajaran *robotic arm* secara intuitif, dan mudah digunakan pada lingkungan *Mixed Reality*. Implementasi antarmuka pengguna dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dibuat dengan Figma, dan digunakan secara langsung ke dalam Unity, namun dengan menyesuaikan kembali antara ukuran yang ada di Figma dan ukuran yang ada didalam Unity.

Pada implementasinya, antarmuka menggunakan konsep world-space canvas sehingga elemen UI dapat ditampilkan langsung pada lingkungan *mixed reality* dan dapat diinteraksikan oleh pengguna.

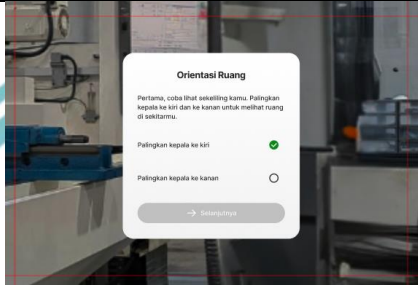
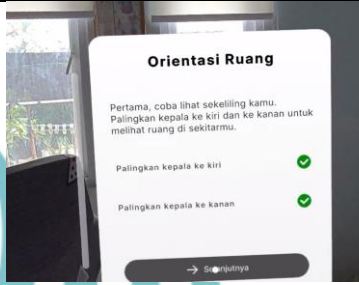
Antarmuka pengguna yang diimplementasikan pada RoboMRLab terdiri dari menu onboarding dan logo, main menu, module selection, learning card, *teach pendant*, sistem highlight serta penyesuaian antarmuka untuk penggunaan perangkat Meta Quest.

4.4.6.1 Onboarding dan Logo

Onboarding dan logo merupakan tampilan awal yang muncul ketika pengguna pertama kali menjalankan aplikasi RoboMRLab. Tampilan ini berfungsi sebagai pengantar sebelum pengguna masuk ke menu utama aplikasi.

Pada implementasinya, tampilan awal menampilkan logo aplikasi dan transisi menuju proses onboarding. Onboarding digunakan untuk memperkenalkan pengguna terhadap cara dasar penggunaan *controller* dan *hand tracking*, serta mengajak pengguna untuk melihat sisi pengguna ketika menggunakan perangkat Meta Quest.

Tabel 4.15. Rancangan dan Implementasi menu Onboarding.

Menu	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Logo Onboarding		
Orientasi Onboarding		

Tahapan ini membantu pengguna menyesuaikan diri dengan lingkungan *Mixed Reality*, terutama bagi pengguna yang belum terbiasa menggunakan perangkat Meta Quest. Dengan adanya onboarding, pengguna dapat memperoleh pemahaman awal mengenai cara melihat, memilih, dan berinteraksi dengan elemen virtual sebelum menjalankan modul pembelajaran.

4.4.6.2 Menu Utama dan Navigasi Modul

Menu utama merupakan antarmuka navigasi yang digunakan pengguna untuk mengakses mode dan fitur utama pada aplikasi RoboMRLab. Pada implementasinya, Main Menu, Module Selection, dan *Settings* berada dalam satu *scene* yang sama sehingga perpindahan antar tampilan dilakukan melalui pengaturan panel antarmuka, bukan melalui perpindahan *scene*.

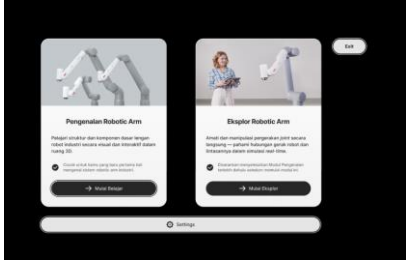
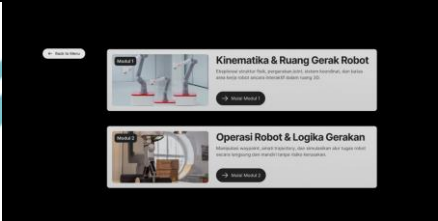
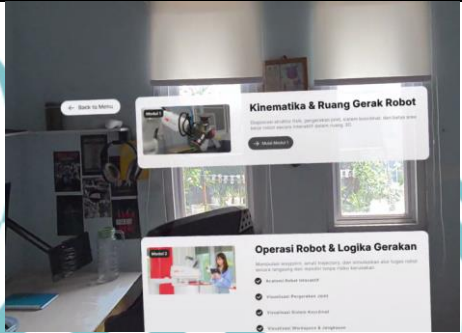


Hak Cipta :

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



Tabel 4.16. Rancangan dan Implementasi menu utama dan pilih modul.

Menu	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Menu Utama		
Menu Pilih Modul		

Berdasarkan tabel 4.16, rancangan Figma digunakan sebagai acuan visual dalam membangun tampilan menu utama dan navigasi modul. Pada implementasi Unity, beberapa penyesuaian dilakukan agar tampilan dapat digunakan secara nyaman pada lingkungan *Mixed Reality*, terutama pada ukuran tombol, jarak panel, dan tata letak elemen UI.

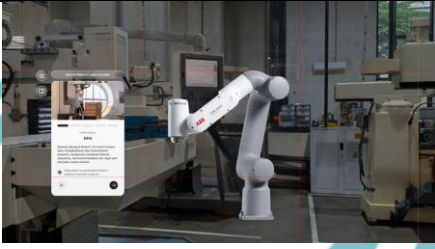
Sistem navigasi pada *scene* ini dikelola dengan satu *script* utama yang mengatur perpindahan panel. Ketika pengguna memilih menu Belajar, sistem akan menampilkan panel pemilihan modul. Pada panel tersebut, pengguna dapat melihat daftar modul pembelajaran yang tersedia beserta informasi singkat mengenai setiap modul.



Hak Cipta :

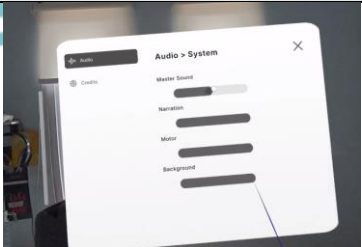
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Tabel 4.17. Rancangan dan Implementasi modul dan *scene* Explore.

Menu	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Modul		
Mode Explore		

Pada tabel 4.17, ketika pengguna memilih salah satu modul, sistem akan memuat *scene* pembelajaran sesuai modul yang dipilih. Selain menu Belajar, pengguna juga dapat mengakses mode Explore, membuka *Settings*, atau keluar dari aplikasi melalui menu utama. Mode Explore digunakan untuk memberikan kesempatan kepada pengguna melakukan eksplorasi *robotic arm* tanpa mengikuti alur pembelajaran modul. Sementara itu, panel *Settings* digunakan untuk menampilkan pengaturan aplikasi yang dapat disesuaikan oleh pengguna sebelum memasuki modul pembelajaran atau mode eksplorasi.

Tabel 4.18. Rancangan dan Implementasi menu Pengaturan.

Deskripsi	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Menu Pengaturan		



Hak Cipta :

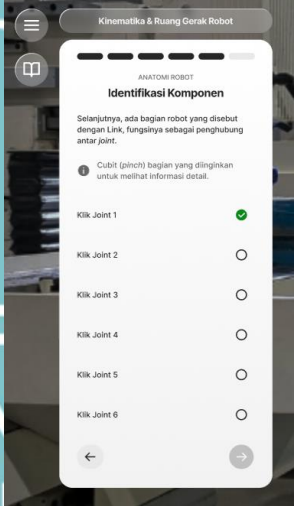
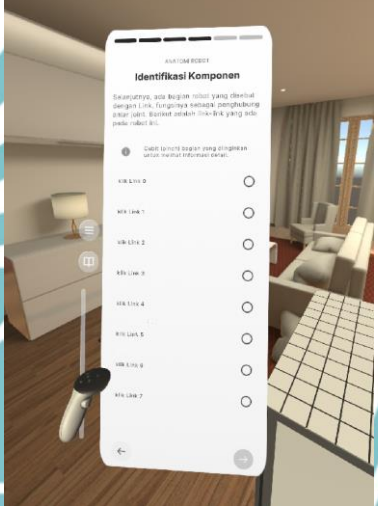
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Implementasi Main Menu, *Module Selection*, dan *Settings* dalam satu *scene* bertujuan untuk menjaga alur penggunaan aplikasi tetap sederhana dan efisien. Dengan pendekatan ini, perpindahan antar panel dapat dilakukan lebih cepat karena tidak memerlukan pemuatan *scene* baru untuk setiap tampilan antarmuka.

4.4.6.3 Learning Card

Learning Card adalah antarmuka utama yang digunakan untuk menyampaikan materi pembelajaran, instruksi, tugas, dan status progress kepada pengguna selama modul berlangsung.

Tabel 4.19. Rancangan dan Implementasi Learning Card.

Deskripsi	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Tampilan Learning Card		

Learning Card diimplementasikan berdasarkan rancangan Figma dengan beberapa penyesuaian agar tetap terbaca dan nyaman digunakan pada lingkungan *Mixed Reality*. Penyesuaian tersebut meliputi ukuran panel, ukuran teks, jarak UI terhadap pengguna, serta posisi panel agar tidak menghalangi pandangan terhadap *robotic arm*.

Informasi yang ditampilkan pada Learning Card berubah secara dinamis mengikuti data Learning Module Step yang sedang dijalankan. Pada Dialog Step, Learning Card menampilkan materi atau instruksi pasif. Pada Task Step, Learning Card menampilkan aktivitas yang harus diselesaikan pengguna sebelum dapat melanjutkan ke langkah berikutnya.



Hak Cipta :

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

Learning Card juga digunakan sebagai penghubung antara pengguna dan sistem pembelajaran. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat membaca instruksi, memahami tugas yang sedang diberikan, serta mengetahui apakah aktivitas yang dilakukan sudah selesai atau belum.

Karena ditampilkan langsung pada lingkungan *Mixed Reality*, Learning Card dirancang agar tetap mudah dibaca tanpa menghalangi pandangan pengguna terhadap *robotic arm* dan visualisasi pembelajaran.

4.4.6.4 Teach Pendant

Teach Pendant merupakan antarmuka kontrol *robotic arm* yang dirancang menyerupai konsep *teach pendant* pada *robotic arm* yang dipelajari, yakni ABB GoFA 15000 Collaborative Robot. Antarmuka ini digunakan pengguna untuk mengoperasikan *robotic arm* virtual selama proses pembelajaran maupun eksplorasi.

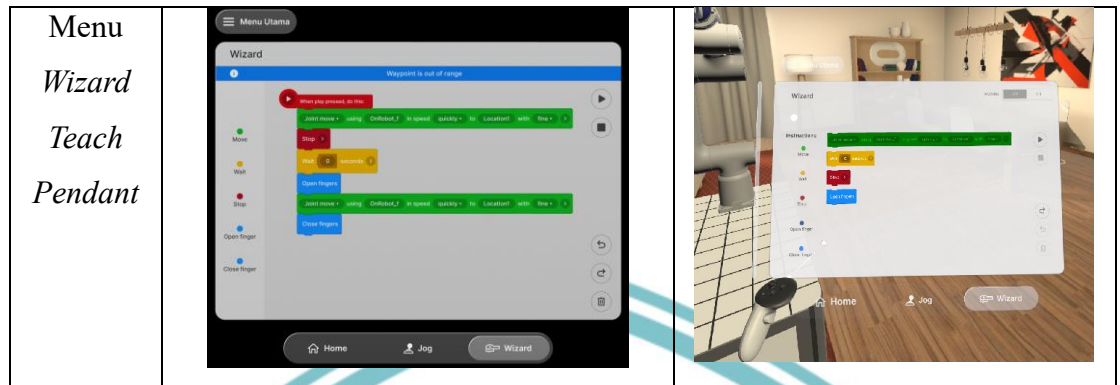
Tabel 4.20. Rancangan dan Implementasi antarmuka *Teach Pendant*.

Deskripsi	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Menu utama <i>Teach Pendant</i>		
Menu Jog <i>Teach Pendant</i>		



Hak Cipta :

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



Pada proses implementasi, rancangan *Teach Pendant* dari Figma dijadikan acuan visual dalam membangun panel kontrol robot di Unity. Beberapa penyesuaian dilakukan agar tombol dan panel dapat digunakan secara nyaman menggunakan *ray interaction* atau *controller* pada perangkat Meta Quest.

Teach Pendant menyediakan beberapa fungsi utama seperti mengaktifkan motor robot, menggerakkan joint, mengatur mode pergerakan, mengontrol *gripper*, menyimpan posisi, dan menjalankan urutan gerakan robot.

Pada implementasinya, *Teach Pendant* terdiri dari beberapa panel, seperti panel Home, Jog, dan Wizard. Panel Home digunakan untuk mengakses fungsi dasar robot, panel Jog digunakan untuk menggerakkan robot secara manual, sedangkan panel Wizard digunakan untuk menyusun dan menjalankan urutan gerakan robot.

Implementasi *Teach Pendant* membantu pengguna memahami cara dasar pengoperasian *robotic arm* industri melalui antarmuka yang interaktif dan dapat digunakan langsung pada lingkungan *Mixed Reality*.

4.4.6.5 Sistem Highlight dan Penekanan Visual

Sistem highlight diimplementasikan sebagai mekanisme penekanan visual untuk membantu pengguna memahami objek atau elemen antarmuka yang sedang menjadi fokus pembelajaran. Fitur ini digunakan untuk memberikan arahan visual kepada pengguna selama mengikuti modul pembelajaran.



Hak Cipta :

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

Pada implementasinya, sistem highlight terbagi menjadi dua bentuk utama, yaitu highlight pada objek tiga dimensi dan highlight pada elemen antarmuka. Highlight pada objek tiga dimensi digunakan untuk menyorot bagian *robotic arm* yang sedang dipelajari, sedangkan highlight pada elemen antarmuka digunakan untuk menandai tombol atau panel yang perlu digunakan pengguna.

Tabel 4.21. Rancangan dan Implementasi Sistem Highlight.

Deskripsi	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Tampilan Sistem Highlight		

Sistem highlight terintegrasi dengan Learning Module Step sehingga dapat diaktifkan sesuai konteks pembelajaran. Sebagai contoh, ketika pengguna mempelajari bagian tertentu pada *robotic arm*, sistem akan menyorot komponen tersebut. Pada aktivitas yang membutuhkan interaksi dengan UI, sistem dapat menyorot tombol atau panel yang harus dipilih pengguna.

Dengan adanya sistem highlight, pengguna dapat lebih mudah mengikuti instruksi pembelajaran dan memahami bagian mana yang sedang dijelaskan. Fitur ini juga membantu mengurangi kebingungan pengguna ketika berada dalam lingkungan *Mixed Reality* yang memiliki banyak elemen visual.

4.4.6.6 Adaptasi Antarmuka untuk *Mixed Reality*

Implementasi antarmuka pada lingkungan *Mixed Reality* memerlukan penyesuaian khusus agar tetap nyaman digunakan pada perangkat Meta Quest. Oleh karena itu, antarmuka RoboMRLab tidak hanya mengikuti



Hak Cipta :

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

rancangan visual, tetapi juga disesuaikan berdasarkan kebutuhan interaksi di ruang tiga dimensi..

Penyesuaian dilakukan pada ukuran elemen UI, jarak tampilan, posisi panel, keterbacaan teks, serta metode interaksi yang digunakan. Tombol dibuat dengan ukuran yang cukup besar agar mudah dipilih menggunakan *ray interaction* maupun *controller*. Selain itu, posisi panel UI diatur agar tetap mudah dijangkau tanpa menghalangi pandangan pengguna terhadap *robotic arm*.

Tabel 4.22. Rancangan dan Implementasi Penempatan Antarmuka.

Deskripsi	Rancangan Figma	Implementasi Sistem
Penempatan Antarmuka		

Beberapa antarmuka juga dirancang agar dapat muncul di sekitar area pandang pengguna sehingga pengguna tidak perlu berpindah jauh untuk membaca instruksi atau mengakses fungsi aplikasi. Penyesuaian ini dilakukan untuk menjaga kenyamanan pengguna selama proses pembelajaran berlangsung.

Melalui adaptasi tersebut, antarmuka pengguna dapat mendukung pengalaman belajar yang lebih interaktif, nyaman, dan sesuai dengan karakteristik aplikasi *Mixed 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

4.5 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan aplikasi RoboMRLab yang telah dikembangkan dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu pengujian alpha menggunakan metode *blackbox testing*, pengujian beta kepada pengguna, validasi ahli dan observasi pengguna.

Pengujian alpha dilakukan untuk memeriksa fungsionalitas utama aplikasi sebelum digunakan oleh responden. Pengujian ini berfokus pada kesesuaian antara *input* yang diberikan, proses yang dijalankan sistem dan keluaran yang dihasilkan oleh aplikasi.

4.5.1 Pengujian Alpha

Pengujian alpha dilakukan dengan metode *blackbox testing*, yakni pengujian yang berfokus pada fungsi aplikasi tanpa melihat struktur program. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa fitur utama aplikasi RoboMRLab dapat berjalan sesuai skenario yang telah direncanakan.

Pengujian dilakukan pada perangkat Meta Quest 3 dan 3S dengan menjalankan aplikasi secara langsung. Setiap skenario diuji berdasarkan langkah penggunaan, *input* yang diberikan, hasil yang diharapkan, hasil aktual dan status keberhasilan pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian *blackbox*, fitur yang diuji adalah fitur splashscreen, onboarding, menu utama, pemilihan modul, navigasi kembali ke menu, identifikasi komponen robot, kontrol joint, visualisasi *coordinate frame*, visualisasi *workspace*, waypoint, *singularity*, pick and place, tombol fitur visualisasi dan perpindahan ke mode eksplorasi.

Contoh pengujian awal dilakukan pada fitur splash screen dan onboarding dengan kode TC-01. Aplikasi berhasil menampilkan splash screen dan bertransisi otomatis ke layar berikutnya. Pada pengujian dengan kode TC-02, instruksi *hand tracking* pada onboarding berhasil ditampilkan dan gestur pinch dikenali 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 dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian pada menu utama juga menunjukkan hasil yang sesuai. Pada TC-03, pengguna dapat memilih Modul 1 dan aplikasi berpindah ke intro Modul 1 serta menampilkan model robot ABB GoFa CRB 15000. Pada TC-04, pengguna dapat memilih Modul 2 dan sistem menampilkan rekomendasi untuk menyelesaikan Modul 1 terlebih dahulu.

Pengujian terhadap fitur pembelajaran menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali interaksi pengguna terhadap komponen robot. Pada TC-06, label dan deskripsi komponen berhasil muncul ketika pengguna melakukan pinch pada komponen robot. Pada TC-07 dan TC-08, sistem berhasil mengaktifkan tombol lanjut setelah pengguna menyelesaikan identifikasi seluruh joint dan TCP.

Pengujian manipulasi robot juga berjalan dengan baik. Pada TC-09, slider joint berhasil menggerakkan robot secara *real-time* dan nilai derajat joint pada pendant berubah mengikuti *input* pengguna. Namun, terdapat catatan bahwa ketika posisi robot berada pada Axis Mode lalu berpindah ke *Linear Mode*, posisi robot mengalami perubahan yang tidak diharapkan. Meskipun demikian, status pengujian masih dinyatakan Pass karena fungsi utama pergerakan joint berjalan.

Pada fitur visualisasi *coordinate frame*, pengujian TC-14 hingga TC-16 menunjukkan bahwa World Frame, Base Frame, *User Frame*, dan *Tool Frame* dapat ditampilkan satu per satu. *Tool Frame* juga bergerak mengikuti perubahan posisi TCP ketika joint robot digerakkan.

Pengujian visualisasi *workspace* juga menunjukkan hasil yang sesuai. Pada TC-17, volume *workspace* 3D berhasil ditampilkan. Pada TC-18, warna *workspace* berubah ketika TCP mendekati batas ruang kerja. Pada TC-19, area blind spot berhasil ditampilkan dan peringatan visual muncul ketika TCP bergerak ke area blind spot.

Pada pengujian waypoint, TC-21 menunjukkan bahwa *input* koordinat manual dapat menyimpan waypoint dan membentuk lintasan secara otomatis. Namun, pada TC-22, fitur edit waypoint menggunakan pinch dinyatakan Fail karena fitur pinch pada waypoint tidak diimplementasikan akibat keterbatasan waktu dan



Hak Cipta :

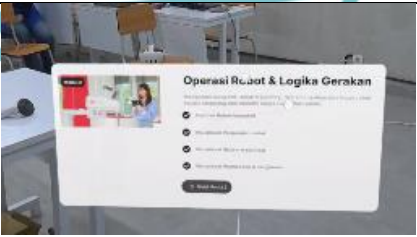
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

tingkat kesulitan. Meskipun demikian, fungsi delete dan tambah waypoint tetap berjalan.

Pengujian fitur lanjutan seperti *singularity* dan pick and place juga menunjukkan hasil yang baik. Pada TC-24 dan TC-25, robot berhasil bergerak ke konfigurasi *singularity* dan menampilkan narasi yang sesuai. Pada TC-26 dan TC-27, proses pick and place berhasil dilakukan, dimana balok dapat mengikuti TCP dan dilepaskan pada titik tujuan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian alpha menunjukkan bahwa sebagian besar fitur utama RoboMRLab telah berjalan sesuai dengan skenario pengujian. Dari seluruh test case yang diuji, hanya satu skenario yang berstatus fail , yaitu fitur pinch untuk edit waypoint. Skenario yang fail atau gagal tidak direvisi karena keterbatasan waktu untuk pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi sudah cukup stabil untuk dilanjutkan ke tahap pengujian beta kepada pengguna. Hasil pengujian dilampirkan pada lampiran, dan berikut adalah tabel ringkasan daripada pengujian Alpha.

Tabel 4.23. Ringkasan Pengujian *Alpha Testing*.

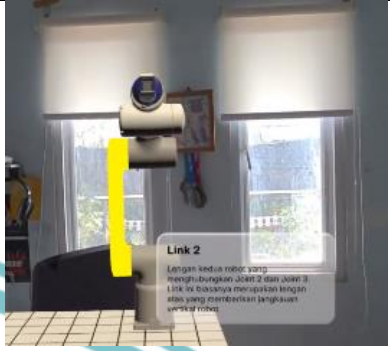
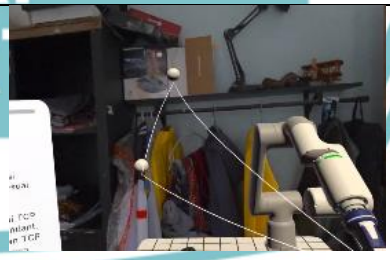
No	Kelompok Fitur	Hasil	Screenshot Hasil
1	Splash Screen dan Onboarding	Berhasil berjalan sesuai skenario	
2	Menu utama dan pemilihan modul	Berhasil membuka modul dan menampilkan respons yang sesuai	



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

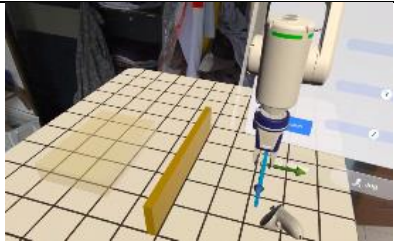
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

3	Identifikasi komponen robot	Berhasil menampilkan label, deskripsi, dan highlight	
4	Kontrol joint robot	Berhasil menggerakkan robot secara <i>real-time</i>	
5	Coordinate frame	Berhasil menampilkan World, Base, User, dan Tool Frame	
6	Workspace Visualization	Berhasil menampilkan area kerja, perubahan warna, dan blind spot	
7	Waypoint dan lintasan gerak robot	Sebagian besar berhasil, namun pinch edit waypoint belum diimplementasikan	
8	Singularity	Berhasil menampilkan konfigurasi dan indikator singularity	



Hak Cipta :

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

9	Pick and place	Berhasil mengambil dan memindahkan objek	
10	Explore mode	Berhasil membuka mode eksplorasi setelah modul selesai	

4.5.2 Pengujian Beta

Pengujian beta dilakukan untuk mengetahui pengalaman pengguna akhir (*end-user*) dalam menggunakan aplikasi RoboMRLab secara langsung. Pengujian ini melibatkan total 18 responden, yang dibagi menjadi 15 mahasiswa Politeknik Astra yang telah memiliki pemahaman dan pengalaman mengenai pembelajaran *robotic arm* industri dan 3 dosen program studi Mekatronika Politeknik Astra yang nantinya akan dijelaskan lebih dalam pada subbab 4.5.3 (Validasi Ahli Pembelajaran) karena perspektif penilaian dosen berfokus pada kelayakan konten dan kesesuaian fitur kebutuhan pembelajaran robotika.

Pengujian ini dilakukan di ruangan Politeknik Astra dengan menggunakan perangkat Meta Quest 3, yang terdiri dari 3 unit Meta Quest 3S dan 2 unit Meta Quest 3. Pengujian dibagi menjadi 3 batch agar setiap responden dapat menggunakan perangkat satu per satu secara bergantian dan tetap mendapatkan pendampingan dari tim penguji.

Sebelum pengujian dimulai, responden diberikan briefing singkat mengenai aplikasi, tujuan aplikasi, cara penggunaan headset, dan cara menggunakan *controller*. Setelah itu, responden diminta menggunakan aplikasi RoboMRLab dan menjalankan dua modul pembelajaran yang telah disediakan. Mode eksplorasi tidak menjadi bagian dari skenario pengujian beta, karena fokus pengujian diarahkan pada alur pembelajaran modul yang sudah dikembangkan.



Hak Cipta :

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

Setelah menyelesaikan modul 2, responden mengisi kuesioner evaluasi menggunakan skala Likert 1-5. Kuesioner tersebut digunakan untuk menilai pengalaman pengguna terhadap fitur pembelajaran, visualisasi *robotic arm*, interaksi *Mixed Reality* dan kenyamanan penggunaan aplikasi.

4.5.2.1 Skenario Pengujian Beta

Skenario pengujian beta disusun agar responden dapat menggunakan aplikasi secara bertahap, mulai dari pengenalan perangkat Meta Quest hingga menyelesaikan modul pembelajaran. Alur pengujian beta dapat dilihat pada tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.24. Urutan Kerja *Beta Testing*.

Tahap	Aktivitas
1	Responden diberikan briefing singkat mengenai aplikasi RoboMRLab
2	Responden diberikan arahan cara menggunakan headset Meta Quest dan <i>Controller</i>
3	Responden menggunakan headset Meta Quest
4	Responden menjalankan onboarding aplikasi
5	Responden masuk ke menu utama dan memilih mode Belajar
6	Responden menjalankan modul 1
7	Responden melanjutkan modul 2
8	Responden menyelesaikan sesi penggunaan aplikasi
9	Responden mengisi kuesioner evaluasi

Skenario pengujian tersebut bertujuan untuk menilai apakah pengguna dapat mengikuti alur pembelajaran yang telah dirancang, memahami instruksi yang diberikan oleh aplikasi, serta fitur visualisasi dan interaksi *Mixed Reality* dalam proses pembelajaran.

Durasi penggunaan aplikasi pada pengujian beta berada pada kisaran 28 hingga 38 menit berdasarkan hasil observasi beberapa responden. Pada salah satu observasi, responden S2/R5 (sesi 2, responden nomor 5) menyelesaikan



Hak Cipta :

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

pengujian dalam 35 menit dan berhasil menyelesaikan seluruh modul yang ada. Responden S3/R1 (sesi 3, responden nomor 1) menyelesaikan pengujian dalam sekitar 38 menit dan juga menyelesaikan modul. Responden juga membutuhkan bantuan karena terdapat kendala awal pada *controller* serta tombol yang perlu ditekan dua kali dalam percobaan. Responden S3/R3 (sesi 3, responden nomor 3) menyelesaikan pengujian dalam 31 menit tanpa bantuan sama sekali dari observer.

4.5.2.2 Hasil Kuesioner Beta Testing

Kuesioner *beta testing* diberikan kepada 15 mahasiswa setelah selesai menggunakan aplikasi. Instrumen skala Likert digunakan dengan skala 1-5 dengan interpretasi nilai seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.25. Skala Likert.

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Setuju
2	Tidak Setuju
3	Netral
4	Setuju
5	Sangat Setuju

Terdapat 16 butir pertanyaan pada kuesioner Likert. Setiap pertanyaan diberikan kodifikasi dan aspek penilaian. Pertanyaan-pertanyaan tersebut terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.26. List Pertanyaan.

Aspek Penilaian	Kode Pertanyaan	Deskripsi Pertanyaan
Visualisasi dan Konsep Robot	Q11	Visualisasi 3D membantu saya memahami struktur <i>robotic arm</i> .
	Q12	Simulasi dan manipulasi pergerakan <i>joint</i> membantu saya memahami cara kerja robot.
	Q1T	Visualisasi Lintasan Trajektori Robot ketika menggunakan <i>Wizard</i>



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Aspek Penilaian	Kode Pertanyaan	Deskripsi Pertanyaan
		membantu saya memahami jalur gerak robot di ruang 3D.
	Q2T	Sistem Koordinat menggambarkan perbedaan referensi gerak.
	Q3T	Sistem Koordinat membantu pemahaman arah sumbu robot.
	Q4T	Penjelasan mengenai <i>Inverse Kinematics</i> dan <i>Forward Kinematics</i> membantu saya memahami perbedaan kedua sistem tersebut.
	Q13	Visualisasi <i>workspace</i> membantu memahami batas jangkauan.
	Q14	Simulasi <i>singularity</i> bantu memahami konfigurasi berbahaya.
	Q20	Visualisasi dan warna membantu memahami informasi penting.
Alur Pembelajaran dan Antarmuka	Q15	Modul pembelajaran mudah diikuti secara bertahap
	Q16	Instruksi tertulis pada aplikasi mudah dipahami.
	Q17	Tata letak antarmuka mudah dipahami.
	Q18	Navigasi antar modul mudah digunakan.
	Q19	Informasi yang ditampilkan tidak membingungkan.
Aspek Pengalaman Mixed Reality	Q21	Interaksi di lingkungan <i>Mixed Reality</i> terasa responsif
	Q22	Pengalaman belajar terasa lebih interaktif dibanding media biasa.

Dengan jumlah responden mahasiswa sebanyak 15 orang. Maka rumus untuk mendapatkan total nilai adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah responden} \times \text{Jumlah pertanyaan} \times \text{Nilai} = \text{Total Nilai}$$



Hak Cipta :

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

Maka berdasarkan hasil pengolahan data kuesioner, skor maksimum yang dapat diperoleh dari 15 responden mahasiswa adalah 1200.

$$15 \text{ responden} \times 16 \text{ butir pertanyaan} \times 5 \text{ poin} = 1200$$

Setelah kuesioner dianalisis, skor yang didapatkan dari 15 responden mahasiswa adalah 1114 dari skor maksimum 1200. Dengan demikian persentase hasil pengujian beta dari 15 responden mahasiswa adalah 92,83%.

$$\frac{1114}{1200} \times 100\% = 92,83\%$$

Hasil tersebut termasuk dalam kategori Sangat Setuju, karena berada pada rentang 80-100%.

Tabel 4.27. Rangkuman Pengujian *Beta Testing*.

Komponen	Nilai
Jumlah responden	15
Jumlah pernyataan	16
Skor maksimum	1200
Skor diperoleh	1114
Persentase	92,83%
Kategori	Sangat Setuju

Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa memberikan respons positif terhadap aplikasi RoboMRLab sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* berbasis *Mixed Reality*. Skor tersebut menunjukkan bahwa fitur visualisasi, interaksi, dan alur pembelajaran pada aplikasi dinilai membantu pengguna dalam memahami materi *robotic arm*.

4.5.2.3 Hasil Pengujian berdasarkan Aspek

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih dalam dan terstruktur, hasil kuesioner *beta testing* dikelompokkan kedalam beberapa aspek penilaian, yaitu aspek visualisasi dan konsep robot, aspek alur pembelajaran dan antarmuka (UI), serta aspek interaksi dan pengalaman *Mixed 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Kuesioner berisi 16 pertanyaan yang terdiri dari 3 aspek yang berbeda. Setiap pertanyaan memiliki skor total yang dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Skor Total} = \sum (\text{Jumlah Responden} \times \text{Skor Penilaian})$$

Berdasarkan rumus tersebut, maka skor total setiap pertanyaan didapatkan sesuai pada tabel 4.28.

Tabel 4.28. Skor pertanyaan per Aspek.

Aspek Penilaian	Kode Pertanyaan	Deskripsi Pertanyaan	Skor Total
Visualisasi dan Konsep Robot	Q11	Visualisasi 3D membantu saya memahami struktur <i>robotic arm</i> .	87
	Q12	Simulasi dan manipulasi pergerakan <i>joint</i> membantu saya memahami cara kerja robot.	85
	Q1T	Visualisasi Lintasan Trajektori Robot ketika menggunakan <i>Wizard</i> membantu saya memahami jalur gerak robot di ruang 3D.	85
	Q2T	Sistem Koordinat menggambarkan perbedaan referensi gerak.	83
	Q3T	Sistem Koordinat membantu pemahaman arah sumbu robot.	85
	Q4T	Penjelasan mengenai <i>Inverse Kinematics</i> dan <i>Forward Kinematics</i> membantu saya memahami perbedaan kedua sistem tersebut.	83



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Aspek Penilaian	Kode Pertanyaan	Deskripsi Pertanyaan	Skor Total
	Q13	Visualisasi <i>workspace</i> membantu memahami batas jangkauan.	85
	Q14	Simulasi <i>singularity</i> bantu memahami konfigurasi berbahaya.	83
	Q20	Visualisasi dan warna membantu memahami informasi penting.	86
Alur Pembelajaran dan Antarmuka	Q15	Modul pembelajaran mudah diikuti secara bertahap	79
	Q16	Instruksi tertulis pada aplikasi mudah dipahami.	80
	Q17	Tata letak antarmuka mudah dipahami.	83
	Q18	Navigasi antar modul mudah digunakan.	84
	Q19	Informasi yang ditampilkan tidak membingungkan.	82
Aspek Pengalaman Mixed Reality	Q21	Interaksi di lingkungan <i>Mixed Reality</i> terasa responsif	84
	Q22	Pengalaman belajar terasa lebih interaktif dibanding media biasa.	82

Skor total setiap pertanyaan pada tabel 4.28 yang dijumlahkan berdasarkan setiap responden dari kuesioner lalu dibagi per aspek. Untuk mencari persentase rata-rata penilaian per aspek, perlu dicari skor total per aspek dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Skor Total Aspek} = \sum (\text{Jumlah Responden} \times \text{Skor Pilihan})$$



Hak Cipta :

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

Setelah total skor untuk setiap aspek didapatkan, untuk mendapatkan skor maksimum per aspek, digunakan rumus sebagai berikut.

Skor Maksimum Aspek

Jumlah Responden x Jumlah Pertanyaan per Aspek x 5 (nilai tertinggi)

Skor total dan skor maksimum per aspek yang didapatkan lalu dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai rata-rata setiap aspek dengan rumus berikut.

$$\text{Rata-Rata Aspek} = \frac{\text{Total Skor Aspek}}{\text{Jumlah Responden} \times \text{Jumlah Pertanyaan per Aspek}}$$

Nilai rata-rata untuk setiap aspek yang ada lalu dipersentasekan dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Total Skor Aspek}}{\text{Skor Maksimum Aspek}} \times 100\%$$

Hasil indeks untuk setiap pertanyaan lalu dikategorikan berdasarkan skala Likert, dan digambarkan pada tabel 4.29 dibawah ini.

Tabel 4.29. Aspek Penilaian *Beta Testing*.

Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
Visualisasi dan Konsep Robot	4,71	94,22%	Sangat Baik
Alur pembelajaran dan antarmuka	4,49	89,87%	Sangat Baik
Interaksi dan pengalaman <i>Mixed Reality</i>	4,70	94,00%	Sangat Baik
Rata-rata keseluruhan	4,64	92,83%	Sangat Baik

Berdasarkan tabel diatas, aspek visualisasi dan konsep robot memperoleh persentase tertinggi, yaitu 94,22%. Hal ini menunjukkan bahwa fitur



Hak Cipta :

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

visualisasi yang dikembangkan, seperti visualisasi *robotic arm*, *coordinate frame*, *workspace*, lintasan gerak robot, *singularity* dan *safety boundary*, dinilai dapat membantu pengguna memahami konsep *robotic arm* secara lebih visual.

Aspek interaksi dan pengalaman *Mixed Reality* memperoleh persentase 94,00%. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat Meta Quest dengan interaksi objek virtual dan pengalaman belajar dari aplikasi RoboMRLab dinilai positif oleh responden.

Aspek alur pembelajaran dan antar muka memperoleh persentase 89,87%. Walaupun masih tergolong dalam kategori Sangat Baik, aspek ini memiliki nilai paling rendah, dan dapat menjadi ruang perbaikan pada sisi antarmuka (UI), instruksi, ataupun alur interaksi pengguna, utamanya bagi pengguna yang belum pernah merasakan perangkat *mixed reality*.

4.5.2.4 Masukan Pengguna pada Pengujian Beta

Selain pertanyaan skala Likert, responden juga memberikan masukan terbuka mengenai penggunaan aplikasi. Berdasarkan jawaban dari pertanyaan terbuka, sebagian besar responden menyatakan bahwa aplikasi ini membantu proses pembelajaran karena pengguna dapat melihat *robotic arm* dalam bentuk tiga dimensi, dan dapat melakukan manipulasi pada robot tanpa menggunakan robot fisik secara langsung.

Beberapa responden juga menilai bahwa aplikasi dapat membantu pembelajaran ketika akses terhadap robot fisik terbatas. Hal ini sesuai dengan tujuan utama pengembangan aplikasi ini sebagai media penunjang pembelajaran yang dapat memberikan pengalaman visual dan interaktif.

Terdapat juga masukan-masukan lain yang dapat dijadikan bahan pengembangan lanjutan di masa depan, diantaranya terdapat pada tabel 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.30. Masukan Pengguna.

No	Masukan Pengguna	Implikasi Pengembangan
1	Sensitivitas robot masih terlalu tinggi	Perlunya penyesuaian kembali terhadap skrip kontrol joint.
2	Gerakan robot perlu dibuat lebih halus	Perlu penyempurnaan pada sistem skrip kontrol joint.
3	Pengguna membutuhkan tutorial atau demonstrasi awal	Perlunya penambahan tutorial dan panduan yang lebih mendalam sebelum modul dimulai
4	Beberapa tombol perlu ditekan lebih dari satu kali	Perlu perbaikan responsivitas tombol dan validasi <i>input</i>
5	Perlu latihan atau evaluasi tambahan	Dapat dikembangkan fitur tambahan seperti kuis, dan scoring ataupun latihan mandiri.

Berdasarkan masukan-masukan yang diberikan responden, dapat disimpulkan bahwa aplikasi sudah dapat membantu proses pembelajaran, namun masih terdapat beberapa aspek teknis dan aspek usability yang dapat ditingkatkan di pengembangan selanjutnya.

4.5.3 Validasi Ahli Pembelajaran

Validasi ahli pembelajaran robotika dilakukan untuk mengetahui kelayakan aplikasi RoboMRLab dari sudut pandang tenaga pendidik yang memahami pembelajaran *robotic arm* industri. Validasi ini bertujuan untuk menilai apakah fitur, visualisasi, interaksi dan alur pembelajaran yang diimplementasikan sudah sesuai sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* industri.

Validasi ini dilakukan kepada tiga dosen Politeknik Astra yang memiliki pemahaman terhadap pembelajaran robotika dan konteksnya dalam pendidikan



Hak Cipta :

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

vokasi. Salah satu validator adalah Bapak Mada Jimmy, selaku dosen robotika Politeknik Astra yang juga menjadi narasumber dan tempat konsultasi selama proses pengembangan aplikasi.

Keterlibatan dosen robotika dalam proses validasi menjadi penting karena penilaian yang diberikan bukan hanya berkaitan dengan pengalaman penggunaan aplikasi, namun juga dengan kesesuaian fitur terhadap konsep pembelajaran *robotic arm* industri. Validasi ahli ini juga menjadi data pendukung untuk menilai apakah aplikasi yang dikembangkan sudah sesuai dengan kebutuhan pembelajaran robotika.

Aspek yang dinilai dalam validasi ahli meliputi kesesuaian fitur, kejelasan visualisasi, kemudahan interaksi, alur pembelajaran, serta kelayakan aplikasi sebagai media penunjang pembelajaran *robotic arm* berbasis *mixed reality*.

Tabel 4.31. List Validator.

No	Validator	Peran	Keterangan
1	Bapak Mada Jimmy	Dosen Robotika, Prodi Mekatronika	Menguji aplikasi dan mengisi kuesioner
2	Bapak Nugi	Dosen program studi Mekatronika	
3	Bapak Afianto	Dosen program studi Mekatronika	

Validasi ahli dilakukan menggunakan instrumen kuesioner berbasis skala Likert 1-5, Jumlah pertanyaan yang digunakan adalah 16 butir. Dengan jumlah validator sebanyak 3 orang, maka skor maksimum yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah responden} \times \text{Jumlah pertanyaan} \times \text{Nilai} = \text{Total Nilai}$$

$$3 \text{ responden} \times 16 \text{ butir pertanyaan} \times 5 \text{ poin} = 240$$



Hak Cipta :

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

Berdasarkan hasil pengolahan data kuesioner, total skor yang diperoleh dari validator ahli adalah 222. Maka persentase hasil validasi ahli dihitung sebagai berikut:

$$\frac{222}{240} \times 100\% = 92,50\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi RoboMRLab dapat digunakan sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* dengan kategori Sangat Setuju atau Sangat Baik.

Tabel 4.32. Pengujian Validator.

Komponen	Nilai
Jumlah validator	3
Jumlah pernyataan	16
Skor maksimum	240
Skor diperoleh	222
Persentase	92,50%
Kategori	Sangat Setuju

Berdasarkan tabel diatas, hasil validasi ahli memperoleh persentase sebesar 92,50%. Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi RoboMRLab dinilai sangat baik oleh validator sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* industri.

Penilaian tersebut menunjukkan bahwa fitur yang dikembangkan, seperti manipulasi *robotic arm*, visualisasi *coordinate frame*, visualisasi *workspace*, visualisasi lintasan gerak robot, visualisasi batas aman, dan visualisasi *singularity* dinilai relevan dengan kebutuhan pembelajaran *robotic arm*. Alur pembelajaran berbasis modul juga dinilai mampu mendukung proses pengenalan konsep robot secara bertahap.

Dengan demikian, hasil validasi ahli pembelajaran robotika mendukung hasil pengujian beta mahasiswa. Kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi RoboMRLab tidak hanya dapat digunakan oleh pengguna akhir, tetapi juga



Hak Cipta :

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

dinilai layak oleh tenaga pendidik sebagai media penunjang pembelajaran *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality*.

Selain itu, salah satu validator ahli menggunakan kacamata selama proses pengujian dan tetap dapat menjalankan modul pembelajaran yang tersedia. Hal ini menjadi catatan tambahan bahwa aplikasi masih dapat digunakan oleh pengguna berkacamata, meskipun aspek kenyamanan visual dan keterbacaan antarmuka tetap perlu diperhatikan dalam pengembangan berikutnya.

4.5.4 Validasi Ahli Media

Validasi ahli media *Mixed Reality* dilakukan untuk mengetahui kelayakan aplikasi RoboMRLab dari sudut pandang ahli media yang memahami pengembangan media interaktif berbasis *Mixed Reality*. Validasi ini bertujuan untuk menilai kesesuaian penggunaan teknologi *Mixed Reality*, kualitas interaksi, kenyamanan antarmuka, visualisasi pembelajaran dan kelayakan aplikasi sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm*.

Validasi dilakukan dengan satu orang ahli media, yaitu Ibu Indah Sari Mukarramah. Penilaian dilakukan dengan memperlihatkan ahli media video demonstrasi penggunaan aplikasi RoboMRLab dari awal aplikasi digunakan hingga pelaksanaan modul 2, dan feedback ahli media didapatkan dari instrumen kuesioner berbasis skala Likert 1-5 yang terdiri dari 22 pertanyaan. Selain penilaian kuantitatif, ahli media juga memberikan masukan terbuka terkait kelebihan aplikasi, interaksi *Mixed Reality*, UI/UX, visualisasi *robotic arm* dan saran pengembangan aplikasi kedepannya.

Terdapat 22 butir pertanyaan dan skor tertinggi adalah 5 untuk setiap butir pertanyaan. Maka skor maksimum yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah responden} \times \text{Jumlah pertanyaan} \times \text{Nilai} = \text{Total Nilai}$$

$$1 \times 22 \times 5 = 110$$

Berdasarkan validasi ahli media, total skor yang diperoleh adalah 101 dari skor maksimum 110. Dengan demikian, persentase hasil ahli media dihitung 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 mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

$$\frac{101}{110} \times 100\% = 91,82\%$$

Berdasarkan skala likert, hasil tersebut termasuk dalam kategori Sangat Setuju atau Sangat Baik.

Tabel 4.33. Pengujian Ahli Media.

Komponen	Nilai
Jumlah Ahli Media	1
Jumlah pernyataan	22
Skor maksimum	110
Skor diperoleh	101
Persentase	91,82%
Kategori	Sangat Setuju

Berdasarkan tabel diatas, aplikasi RoboMRLab dinilai sangat baik dari sisi media *Mixed Reality*. Ahli media menilai bahwa aplikasi telah mampu mengintegrasikan objek virtual dengan lingkungan nyata secara interaktif dan *real-time*, sehingga pengguna dapat memperoleh pengalaman pembelajaran robotika yang lebih imersif, kontekstual, dan aman tanpa harus sepenuhnya bergantung pada perangkat robot fisik..

Dari sisi interaksi, ahli media menilai bahwa interaksi pada aplikasi secara umum sudah berjalan dengan baik. Penggunaan *controller*, *ray interaction*, visual *feedback*, dan *haptic feedback* dinilai mampu memberikan pengalaman interaksi yang natural dan mendukung proses pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme interaksi *Mixed Reality* yang dikembangkan telah sesuai dengan karakteristik penggunaan perangkat Meta Quest.

Dari sisi antarmuka, ahli media menyatakan bahwa desain UI secara keseluruhan sudah baik dan mampu menyampaikan informasi maupun instruksi dengan jelas kepada pengguna. Namun, terdapat masukan bahwa **beberapa panel masih terlihat terlalu panjang secara vertikal**, sehingga dapat mengurangi kenyamanan saat membaca atau menjangkau elemen UI. Oleh karena itu,



Hak Cipta :

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

penggunaan scroll view atau slider dapat menjadi solusi agar tampilan lebih ringkas dan nyaman digunakan pada perangkat *Mixed Reality*.

Dari sisi visualisasi pembelajaran, ahli media menilai bahwa visualisasi *robotic arm* sangat membantu proses pembelajaran. Penggunaan teknologi *Mixed Reality* memungkinkan pengguna memahami konsep dan prosedur robotika secara lebih interaktif dan terarah dibanding metode pembelajaran konvensional.

Saran pengembangan yang diberikan oleh ahli media meliputi penyempurnaan desain UI, penambahan fitur evaluasi atau umpan balik pembelajaran, serta pengembangan skenario interaksi yang lebih beragam. Dengan demikian, hasil validasi ahli media menunjukkan bahwa aplikasi RoboMRLab sudah sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran berbasis *Mixed Reality*, namun tetap memiliki ruang pengembangan untuk meningkatkan kenyamanan dan kelengkapan pengalaman belajar pengguna.

4.5.5 Observasi Pengguna

Observasi pengguna dilakukan untuk memperoleh data-data pendukung mengenai perilaku, respons dan kendala yang dialami pengguna selama menggunakan aplikasi RoboMRLab. Observasi ini dilakukan terhadap lima pengguna yang mengikuti proses pengujian secara langsung. Observasi ini digunakan untuk melihat bagaimana pengguna berinteraksi dengan aplikasi secara langsung.

Observasi dilakukan selama pengguna menjalankan aplikasi menggunakan perangkat Meta Quest. Aspek yang diamati meliputi kemampuan pengguna dalam memahami alur aplikasi, penggunaan antarmuka (UI), respons terhadap visual pembelajaran, penggunaan *Teach Pendant*, dan adaptasi dengan interaksi *Mixed Reality*. Tabel berikut ini adalah ringkasan hasil observasi pengguna.



Tabel 4.34. Ringkasan Hasil Observasi Pengguna.

No	Aspek	Temuan	Implikasi
1	Adaptasi terhadap Perangkat Meta Quest 3	Sebagian pengguna membutuhkan waktu untuk menyesuaikan dengan <i>controller</i> dan metode interaksi.	Onboarding dan arahan awal perlu dibuat lebih detail dan mendalam agar pengguna memahami penggunaan aplikasi.
2	Pemahaman Alur Aplikasi	Pengguna dapat mengikuti alur dari onboarding, menu utama, pemilihan modul, hingga pembelajaran setelah memahami navigasi dasar.	Struktur navigasi aplikasi sudah dapat dipahami, tetapi instruksi awal perlu tetap dibuat jelas.
3	Penggunaan Learning Card	Pengguna cenderung mengikuti instruksi yang ditampilkan pada Learning Card selama proses pembelajaran.	Learning Card berperan penting sebagai panduan utama dalam sistem pembelajaran.
4	Penggunaan <i>Teach Pendant</i>	Beberapa pengguna membutuhkan waktu untuk memahami fungsi tombol dan panel pada <i>Teach Pendant</i> .	<i>Teach Pendant</i> perlu didukung dengan instruksi, highlight, atau arahan visual agar lebih mudah dipahami.
5	Respons terhadap visualisasi pembelajaran	Visualisasi membantu pengguna melihat konsep <i>robotic arm</i> secara lebih jelas.	Fitur visualisasi mendukung tujuan aplikasi sebagai media penunjang.

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6	Respons terhadap batas aman interaksi pengguna	Pengguna dapat memahami aplikasi memberikan peringatan ketika posisi pengguna terlalu dekat dengan robot.	Fitur batas aman dapat memperkenalkan konsep batas aman interaksi pengguna.
7	Interaksi menggunakan <i>controller/ray</i>	Pengguna dapat memilih menu dan tombol menggunakan <i>ray interaction</i> , meskipun beberapa pengguna membutuhkan adaptasi awal.	<i>Ray interaction</i> cukup sesuai untuk aplikasi, tetapi ukuran tombol dan posisi UI perlu disesuaikan.
8	Kenyamanan penggunaan aplikasi	Pengguna secara umum dapat menyelesaikan penggunaan aplikasi dalam durasi pengujian, namun penggunaan perangkat MR tetap membutuhkan jeda dan arahan.	Durasi penggunaan dan kenyamanan pengguna perlu diperhatikan pada pengembangan berikutnya.

Berdasarkan hasil observasi, pengguna dapat mengikuti alur penggunaan aplikasi setelah proses adaptasi awal terhadap perangkat *Mixed Reality*. Learning Card membantu pengguna memahami instruksi pembelajaran, sedangkan fitur visualisasi membantu pengguna mengamati konsep *robotic arm* dengan lebih baik.

Observasi juga menunjukkan bahwa beberapa fitur seperti *teach pendant* dan *ray interaction* membutuhkan penyesuaian awal dari pengguna. Hal ini disebabkan karena pengguna tidak hanya menggunakan aplikasi, tetapi juga berinteraksi



Hak Cipta :

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

dengan perangkat *Mixed Reality* yang memiliki karakteristik penggunaan yang berbeda dibandingkan aplikasi desktop ataupun mobile.

Hasil observasi ini mendukung hasil *beta testing* karena menunjukkan bahwa aplikasi dapat digunakan oleh pengguna untuk mengikuti pembelajaran *robotic arm*, meskipun tetap memerlukan onboarding, instruksi yang jelas, dan bantuan visual seperti highlight agar pengalaman penggunaan menjadi lebih mudah dipahami.

4.5.6 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian merupakan rangkuman dari seluruh tahapan pengujian yang telah dilakukan terhadap aplikasi RoboMRLab. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah aplikasi dapat berjalan sesuai fungsi, dapat digunakan oleh pengguna, serta mampu mendukung proses pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality*.

Tahapan pengujian yang dilakukan meliputi **pengujian alpha**, **pengujian beta**, **validasi ahli pembelajaran** (dosen), **validasi ahli media *Mixed Reality***, dan **observasi pengguna**. Setiap tahapan juga memiliki fokus yang berbeda-beda. Pengujian alpha digunakan untuk memastikan fungsi utama aplikasi berjalan sesuai skenario yang dibuat, lalu pengujian beta digunakan untuk memperoleh penilaian dari pengguna, validasi ahli pembelajaran (dosen) digunakan untuk menilai kesesuaian aplikasi dari sisi pembelajaran *robotic arm*, sedangkan observasi pengguna digunakan untuk melihat perilaku dan kendala pengguna selama aplikasi digunakan.

Pada tahap ***alpha testing***, aplikasi diuji berdasarkan skenario blackbox terhadap fitur-fitur utama yang telah dikembangkan. Fitur yang diuji meliputi onboarding, menu utama, pemilihan modul, Learning Card, *Teach Pendant*, manipulasi robot, *gripper*, visualisasi *coordinate frame*, *workspace*, lintasan gerak robot, batas aman interaksi pengguna, *singularity* dan mode eksplor. Berdasarkan hasil pengujian alpha, fitur utama aplikasi dapat berjalan sesuai fungsi yang dirancang.

Pada tahap ***beta testing***, aplikasi diuji kepada mahasiswa Politeknik Astra sebagai pengguna utama. Pengguna menjalankan aplikasi menggunakan perangkat Meta



Hak Cipta :

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

Quest 3 dan mengikuti dua modul pembelajaran yang tersedia. Setelah penggunaan aplikasi, responden memberikan penilaian melalui kuesioner untuk mengetahui pengalaman pengguna terhadap aplikasi. Hasil *beta testing* menunjukkan bahwa pengguna dapat mengikuti alur pembelajaran, membaca instruksi melalui Learning Card, serta mencoba fitur interaktif yang tersedia pada aplikasi.

Validasi dosen dilakukan untuk memperoleh penilaian terhadap kelayakan aplikasi sebagai media penunjang pembelajaran *robotic arm* industri. Penilaian ini mencakup kesesuaian fitur, kejelasan visualisasi, dan relevansi aplikasi terhadap kebutuhan pembelajaran. Hasil validasi dosen digunakan sebagai data pendukung untuk memastikan bahwa aplikasi tidak hanya dapat digunakan secara teknis, tetapi juga relevan dengan konteks pembelajaran *robotic arm*.

Selain pengujian melalui kuesioner, observasi pengguna juga dilakukan untuk melihat respons dan perilaku pengguna selama proses penggunaan aplikasi. Berdasarkan hasil observasi, pengguna secara umum dapat mengikuti alur aplikasi setelah melalui proses adaptasi awal terhadap perangkat *Mixed Reality*. Beberapa fitur seperti Learning Card, visualisasi pembelajaran, dan sistem highlight membantu pengguna memahami instruksi dan objek yang sedang dipelajari. Namun, penggunaan *Teach Pendant* dan interaksi berbasis ray masih membutuhkan penyesuaian awal bagi sebagian pengguna.

Tabel 4.35. Ringkasan Pengujian.

Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Subjek Pengujian	Hasil Umum
<i>Alpha Testing</i>	Memastikan fitur utama aplikasi berjalan sesuai fungsi	Peneliti / tim pengembang	Onboarding dan arahan awal perlu dibuat lebih detail dan mendalam agar pengguna memahami penggunaan aplikasi.



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

<i>Beta Testing</i>	Menilai pengalaman pengguna setelah menggunakan aplikasi	15 mahasiswa Politeknik Astra	Pengguna dapat mengikuti alur pembelajaran dan mencoba fitur utama aplikasi
Validasi Dosen	Menilai kesesuaian aplikasi sebagai media pembelajaran <i>robotic arm</i>	3 dosen Politeknik Astra prodi Mekatronika	Aplikasi dinilai relevan sebagai media penunjang pembelajaran
Validasi Ahli Media	Menilai kelayakan aplikasi dari aspek media <i>Mixed Reality</i> , interaksi, UI/UX, visualisasi, dan potensi pengembangan	1 ahli media	Aplikasi memperoleh persentase 91,82% dengan kategori Sangat Setuju dan dinilai layak sebagai media pembelajaran berbasis <i>Mixed Reality</i>
Observasi Pengguna	Mengamati perilaku, kendala, dan respons pengguna selama penggunaan aplikasi	5 pengguna	Pengguna dapat menggunakan aplikasi setelah proses adaptasi awal

Setelah pengujian yang dilakukan, aplikasi RoboMRLab **secara umum telah mampu menjalankan fungsi utama** sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality*. Fitur-fitur utama seperti sistem pembelajaran



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

modular, manipulasi *robotic arm*, visualisasi pembelajaran, interaksi *Mixed Reality* dan antarmuka pengguna dapat digunakan dengan baik dalam proses pembelajaran.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa aplikasi mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dibandingkan media pembelajaran konvensional. Pengguna mendapatkan visualisasi tiga dimensi, dapat mengoperasikan *robotic arm* virtual, mengikuti instruksi pembelajaran dan dapat berinteraksi dengan objek virtual pada lingkungan *Mixed Reality*.

Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan pada pengembangan berikutnya. Beberapa pengguna membutuhkan waktu adaptasi terhadap perangkat *Mixed Reality*, terutama dalam penggunaan *ray interaction* dan *Teach Pendant*. Selain itu, instruksi pembelajaran dan bantuan visual perlu terus disempurnakan agar pengguna dapat mengikuti alur aplikasi dengan lebih mudah.

Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi Unity pada aplikasi RoboMRLab telah berhasil menghasilkan media pembelajaran berbasis *Mixed Reality* yang dapat digunakan untuk mendukung proses pengenalan *robotic arm* industri. Aplikasi ini mampu mengintegrasikan sistem pembelajaran, visualisasi, interaksi, dan simulasi *robotic arm* dalam satu lingkungan *Mixed Reality* yang interaktif.

4.6 Distribusi

Tahap distribusi merupakan tahap akhir dalam metode Multimedia Development Lifecycle (MDLC) yang dimana pada tahap ini, aplikasi yang telah selesai dikembangkan dan diuji, disiapkan dalam bentuk file APK dengan berat file sebesar 111 MB agar dapat dijalankan pada perangkat Meta Quest 3. Proses distribusi dilakukan dengan melakukan build aplikasi dari Unity ke platform Android, dan dipasangkan pada perangkat Meta Quest 3 ataupun Meta Quest 3S. Aplikasi yang telah dibuat nantinya diserahkan kepada Politeknik Negeri Jakarta sebagai hasil akhir dari proyek pengembangan ini.

Hak Cipta :

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

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengembangan dan pengujian yang telah dilakukan, Unity dapat diimplementasikan sebagai platform utama dalam pengembangan media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality*. Implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan sistem pembelajaran *modular*, simulasi *robotic arm*, visualisasi pembelajaran, interaksi *Mixed Reality*, dan antarmuka pengguna ke dalam satu aplikasi RoboMRLab yang dapat dijalankan pada perangkat Meta Quest.

Aplikasi RoboMRLab berhasil mengimplementasikan beberapa fitur utama untuk mendukung proses pengenalan *robotic arm* industri, yaitu sistem modul belajar, manipulasi *robotic arm*, *Teach Pendant* virtual, visualisasi *coordinate frame*, visualisasi *workspace*, visualisasi *trajectory*, visualisasi batas aman interaksi pengguna, visualisasi *singularity*, serta interaksi berbasis *controller*, *hand tracking*, *ray interaction*, dan *haptic feedback*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi RoboMRLab dapat berjalan sesuai fungsi yang dirancang. Pengujian alpha menunjukkan bahwa sebagian besar fitur utama berhasil berjalan sesuai skenario pengujian. Pengujian beta kepada 15 mahasiswa Politeknik Astra memperoleh persentase sebesar 92,83% dengan kategori Sangat Setuju, sedangkan validasi ahli pembelajaran robotika oleh 3 dosen Mekatronika memperoleh persentase sebesar 92,50% dengan kategori Sangat Setuju. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi RoboMRLab dinilai layak digunakan sebagai media penunjang pengenalan *robotic arm* industri berbasis *Mixed Reality*.

Berdasarkan hasil observasi pengguna, aplikasi dapat membantu pengguna mengikuti alur pembelajaran dan memahami konsep *robotic arm* melalui visualisasi serta interaksi langsung. Namun, beberapa pengguna masih membutuhkan adaptasi awal terhadap perangkat *Mixed Reality*, terutama pada penggunaan *controller*, *ray interaction*, dan *Teach Pendant*. Dengan demikian, aplikasi RoboMRLab telah memenuhi tujuan penelitian sebagai media penunjang pembelajaran yang interaktif,



Hak Cipta :

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

visual, dan imersif, meskipun masih memiliki ruang untuk pengembangan lebih lanjut.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengembangan dan pengujian aplikasi RoboMRLab, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan selanjutnya.

Pertama, aplikasi dapat dikembangkan dengan menambahkan jumlah modul pembelajaran agar materi *robotic arm* yang disampaikan menjadi lebih lengkap.

Kedua, sistem interaksi pengguna dapat disempurnakan agar lebih mudah digunakan oleh pengguna baru. Penyempurnaan dapat dilakukan dengan menambahkan tutorial interaktif di awal penggunaan aplikasi.

Ketiga, kontrol *robotic arm* dapat dikembangkan agar gerakan robot menjadi lebih halus dan responsif. Penyesuaian sensitivitas kontrol, smoothing pergerakan joint, dan penyempurnaan transisi antar mode gerak dapat dilakukan agar simulasi robot terasa lebih nyaman dan mendekati perilaku robot industri.

Keempat, aplikasi dapat ditambahkan fitur evaluasi pembelajaran seperti kuis, scoring, atau latihan mandiri. Fitur tersebut dapat membantu mengukur pemahaman pengguna setelah menyelesaikan modul pembelajaran, sehingga aplikasi tidak hanya berfungsi sebagai media pengenalan, tetapi juga sebagai media evaluasi pembelajaran.

Kelima, pengembangan selanjutnya dapat mempertimbangkan integrasi dengan sistem yang dapat memperlihatkan kepada instruktur apa yang sedang dilakukan oleh pengguna. Ini agar pembelajaran dapat langsung diintervensi dan diarahkan oleh instruktur.



DAFTAR PUSTAKA

- Meta Platforms, Inc. (2026). Meta Quest 3: The next generation of *mixed reality*. Meta Reality Labs.
<https://about.meta.com/quest/quest-3/>
- Meta Platforms, Inc. (2026). Meta XR Interaction SDK Documentation. Meta Developer.
<https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-sdks-overview/>
- Qualcomm Technologies, Inc. (2023). Snapdragon XR2 Gen 2 platform powers next-generation *mixed reality*.
<https://www.qualcomm.com/news/releases/2023/09/snapdragon-xr2-gen-2-platform-powers-next-generation-mixed-reality>
- GitHub, Inc. (2026). GitHub documentation. <https://docs.github.com/en/get-started/start-your-journey/about-github-and-git>
- GeeksforGeeks. (2024). What is Figma? <https://www.geeksforgeeks.org/websites-apps/what-is-figma/>
- Unity Technologies. (2024). *Unity documentation*. <https://docs.unity.com/en-us>
- Alfiansyah, F. and Sitio, S.L.M. (2022). Implementasi Metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) Pada Aplikasi Edukasi Interaktif Pengenalan Mental Health Kepada Masyarakat Berbasis Mobile. LOGIC: Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan, 1(1), pp.6-16.
- Andre, J.L., Handriyanti, E. and Oktavia, C.A. (2018). Pengembangan Game *Virtual Reality* Berbasis Android Menggunakan Unity Sebagai Media Penunjang Pengenalan Bahasa Inggris. J-INTECH: Journal of Information and Technology, 6(2), pp.208-213.
- ABB Robotics. (2021). *Product manual: GoFA™ CRB 15000*. Vasteras, Sweden: ABB AB Robotics.
- Bentassil, Z., Benabdelouahab, A., Moumen, A. and Boutracheh, H. (2024). Exploratory literature *review* of maturity models in Industry 4.0 and 5.0. Laboratory of Engineering Sciences, National School of Applied Sciences, Ibn Tofail University.
- Budiaji, W. (2013). Skala Pengukuran dan Jumlah Respon Skala Likert. Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan, 2(2), pp.125-131.
- Chen, H. (2023). Motion Control of Interactive Robotic Arms Based on *Mixed Reality* Development. In: 2023 the 6th International Conference on Robot Systems and Applications (ICRSA). New York: ACM, pp.1-8.

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

- Daussà Baize, A. (2024). *Considering singularities in the design of mechanisms*. Thesis. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. C. (2021). Revisiting Milgram and Kishino's *Reality-Virtuality Continuum*. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 647997. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647997>
- Ciungan, D.-A. et al. (2025). Enhancing IoT Education Through Hybrid Robotic Arm Integration: A Quantitative and Qualitative Student Experience Study. *Applied Sciences*, 15(19), 10537
- Garg, G., Kuts, V. and Anbarjafari, G. (2021). Digital Twin for FANUC Robots: Industrial Robot Programming and Simulation Using *Virtual Reality*. *Sustainability*, 13(18), p.10336.
- Gadre, S. Y., et al. (2019). *End-User Robot Programming Using Mixed Reality*. Brown University & MIT
- Gonzalez-Franco, M., Pizarro, R., Cermeron, J., Li, K., Thorn, J., Hutabarat, W., Tiwari, A. and Bermell-Garcia, P. (2017). Immersive *Mixed Reality* for Manufacturing Training. *Frontiers in Robotics and AI*, 4, p.3.
- Hananto, A.L., Tirta, A., Herawan, S.G., Idris, M., Soudagar, M.E.M., Djamari, D.W. and Veza, I. (2024). Digital Twin and 3D Digital Twin: Concepts, Applications, and Challenges in Industry 4.0 for Digital Twin. *Computers*, 13(4), p.100.
- Karanam, S.A.K. and Hartman, N.W. (2025). A Systematic Review of Digital Twin (DT) and Virtual Learning Environments (VLE) for Smart Manufacturing Education. *Manufacturing Letters*, 44, pp.1597-1608.
- Liontas, J.I. (2021). Teaching English in AR-Infused Worlds. *TESOL Connections*.
- Learchannel-TV. (2017). *Robot coordinate systems*. <https://learchannel-tv.com/robotics/robot-coordinate-systems>
- Orsolits, H., Rauh, S.F. and Estrada, J.G. (2022). Using *mixed reality* based digital twins for robotics education. In: 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). IEEE, pp.772-779.
- Rachmawati, R., Rohmah, A.A., Reinhart, H., Sensuse, D.I. and Sunindyo, W.D. (2024). Metaverse, Digital Twins, and Smart Sustainable Urban Development Concepts for Nusantara Capital City, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(12), pp.4613-4621.
- Rahman, F. and Chandan, A. (2025). Strategic Innovations in Industry 5.0: Overcoming the Challenges of Industry 4.0. *SCT Proceedings in Interdisciplinary Insights and Innovations*, 3, p.518.



Hak Cipta :

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

- Rosen, E., Whitney, D., Phillips, E., Chien, G., Tompkin, J., Konidaris, G. and Tellex, S. (2019). Communicating and controlling robot arm motion intent through mixed-reality head-mounted displays. *The International Journal of Robotics Research*, 38(12-13), pp.1513-1526.
- Su, Y.-P., Chen, X.-Q., Zhou, T., Pretty, C. and Chase, G. (2022). Mixed-Reality-Enhanced Human-Robot Interaction with an Imitation-Based Mapping Approach for Intuitive Teleoperation of a *Robotic Arm-Hand* System. *Applied Sciences*, 12(9), p.4740.
- Suryodiningrat, S.P., Prabowo, H., Ramadhan, A. and Santoso, H.B. (2024). The Essential Components of Metaverse-based *Mixed Reality* for Machinery Vocational Schools. *Journal of Applied Engineering & Technological Science*, 5(2), pp.1069-1085.
- Tarnag, W., Wu, Y.-J., Ye, L.-Y., Tang, C.-W., Lu, Y.-C., Wang, T.-L. and Li, C.-L. (2024). Application of *Virtual Reality* in Developing the Digital Twin for an Integrated Robot Learning System. *Electronics*, 13(14), p.2848.
- Tennakoon, M. et al. (2024). A *Mixed Reality* Human Robot Interaction *Interface* Using *Hand Tracking* and Stereo Vision for Construction Applications.
- Tu, X., Autiosalo, J., Jadid, A., Tammi, K. and Klinker, G. (2021). A *Mixed Reality Interface* for a Digital Twin Based Crane. *Applied Sciences*, 11(20), p.9480.
- Ulfah, A., Hermina, D. and Huda, N. (2024). Desain Instrumen Evaluasi yang Valid dan Reliabel dalam Pendidikan Islam Menggunakan Skala Likert. *Jurnal Studi Multidisipliner*, 8(12), pp.855-861.
- Varshney, A.K., Garg, A., Pandey, T.R., Singhal, R.K., Singhal, R. and Sharma, H. (2024). The Development of Manufacturing Industry Revolutions from 1.0 to 5.0. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 4(1).
- Vasarainen, M., Paavola, S. and Vetoshkina, L. (2021). A Systematic Literature Review on *Extended Reality*: Virtual, Augmented and *Mixed Reality* in Collaborative Working Life *Setting*. *International Journal of Virtual Reality*, 21(2), pp.1-28.
- Wijayanto, P., Thamrin, H., Haetami, A., Mustoip, S. and Oktawati, U. (2023). The Potential of Metaverse Technology in Education as a Transformation of Learning Media in Indonesia. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran*, 9(2), pp.396-407.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B. and Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, pp.530-535.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

Thomas Septian Eliezer Siahaan

Lahir di kota Bekasi pada 10 September 2003. Bertempat tinggal di Bekasi, Jawa Barat. Lulus dari SMA Negeri 18 Kota Bekasi. Menjadi mahasiswa di Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Program Studi Teknik Multimedia Digital pada tahun 2022. Menjadi mahasiswa program pertukaran pelajar selama 1 semester di jurusan Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University, Taiwan.



Hak Cipta :

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

© Hak Cipta

Politeknik Negeri Jakarta

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



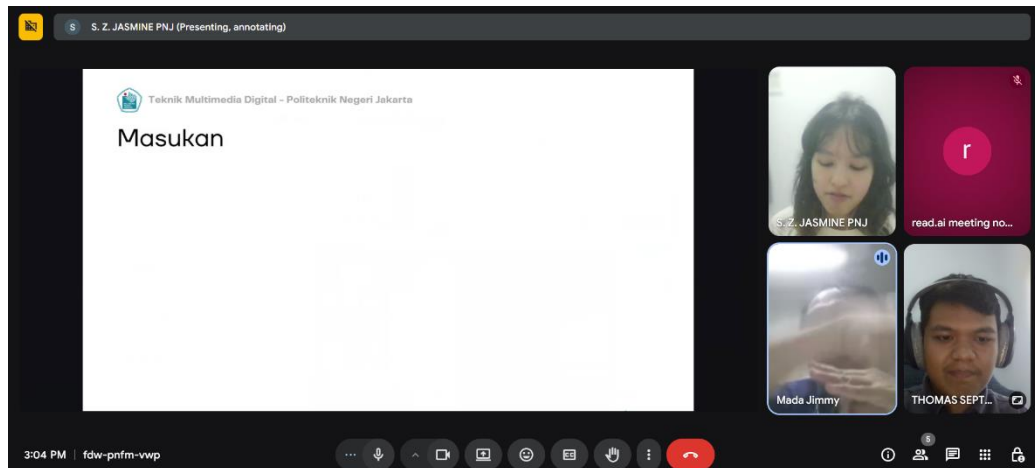
© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

LAMPIRAN

Lampiran 1. Wawancara via Google Meet dengan Dosen Mekatronika



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Manuskrip Wawancara Instruktur Robotika

Narasumber : Mada Jimmy Fonda Arifianto, S.T., M.Sc.

Tanggal : 11 Maret 2026

Pewawancara : Penulis dan Rekan Penulis

1. Q: Bagaimana struktur pembelajaran robotika di prodi ini dan (teori vs praktik)?

A: Kami ada di Prodi mekatronika D3 Politeknik Astra untuk paket pembelajarannya sudah ditentukan. Jadi di semester 1-4 belajar di lab, ada praktik dan teori.. Nanti semester 5 adalah pemadatan dan semester 6 magang di industri selama 6 bulan sekalian tugas Akhir. Robotika ada di semester 4, berarti di tingkat 2, kebetulan ada di mata kuliah praktikum, yang terdiri dari 16 pertemuan. Sistem kami adalah blok, yakni mahasiswa menyelesaikan satu mata kuliah praktikum dan lanjut ganti ke mata kuliah lainnya. Jadi kami ini ada kebetulan di semester 4 mata kuliah praktikum, sehingga untuk saat ini, mahasiswa dibagi menjadi 4 kelompok dan nanti dibagi praktikum bergilir. Yang robotika 16 pertemuan itu diselenggarakan dalam waktu 3 minggu berturut-turut, nanti akan dibuat jeda 1 minggu untuk teori, dan 2 minggu praktikum, dengan total 16 pertemuan. Dalam belajarnya kami memberikan teori dan praktikum dalam waktu 3 minggu tersebut jadi kami bagi-bagi waktu teori dan praktikum dalam satu waktu yang sama. Setelah teori, mahasiswa mencoba praktikum robot. Jadi nanti teori dan praktik dilakukan selang-seling. Jadi nanti sudah ada modul praktikumnya.

2. Q: Kompetensi apa yang diharapkan dapat dicapai oleh mahasiswa terkait *robotic arm*?

A: Dari robotika kompetensi yang diharapkan ada di RPS. Namun yang diharapkan adalah penggunaan *teach pendant*, dan juga membuat program menggunakan *software* yang digunakan, dalam hal ini ABB misalnya ini Robo Studio, juga bisa mengguna ACE.. Juga termasuk mengkoneksikan komputer dengan *controller* robot. Ada juga mengimplementasikan *robotic arm* untuk aplikasi material handling/pick and place. Kami tidak menggunakan aplikasi welding dan painting karena terbatas ruangan indoor kami, jadi terbatas untuk hal yang sifatnya tidak kotor. Kebetulan di lab kami hanya terbatas untuk yang pick and place. Harapannya juga mahasiswa dapat mengintegrasikan robot *controller* yang lain, misalnya dengan PLC. Jadi bisa menghubungkan peralatan robot dengan yang ada di industri dan aplikasi-aplikasi yang ada di desktop. Yang



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

ketiga adalah dapat mendesain workcell (tempat robot bekerja, seperti welding dan pick and place robot).

3. Q: Pada bagian mana mahasiswa biasanya pertama kali diperkenalkan dengan *robotic arm* atau konsep manipulator?

A: Materi kami ada teorinya yakni teori robot apa saja seperti robot arm, scara robot dan robot lainnya yang biasa ada di industri. Tapi ini sifatnya adalah teori, jad kami kenalkan dengan video dan presentasi..

4. Q: Berapa durasi praktik dibandingkan dengan penjelasan teori?

A: Secara umum $\frac{2}{3}$ praktikum, $\frac{1}{3}$ teori.

5. Q: Kendala apa yang sering muncul saat praktik berlangsung?

A: terbatasnya fasilitas jumlah alat, kami robot cuma ada 4 sedangkan mahasiswa yang masuk bisa 16. Jadi kami atur ada yang simulasi di RobotStudio baru nanti bergiliran jadi mengatur itu yang menjadi kendala. Kedua adalah kendala tidak semua mahasiswa bisa cepat menangkap tentang programming, tapi itu kurang dari 50%, tidak terlalu banyak, karena sudah diperkenalkan di semester sebelumnya, namun tetap menjadi kepala

6. Q: Kira-kira apakah ada safety equipment seperti helm dalam pengoperasian *robotic arm*?

A: kita hanya menggunakan safety shoes saja, dan kacamata juga disarankan. Untuk helm tidak digunakan karena kita indoor dan tidak sampai bekerja di bawah kolong atau di atasnya itu juga tidak ada orang yang bekerja, jadi tidak pake helm.

7. Q: Untuk keselamatan, apakah ada safety boundaries ataupun petunjuk penggunaan robot untuk menjaga keselamatan operator robot agar tidak tertabrak oleh lengan robot?

A: Ada ya, dalam teori dikenalkan juga manual book yang berisi tentang safety. Setiap robot memiliki petunjuk safety-nya dan itu disampaikan di awal. Bedanya apa dan nanti disampaikan bedanya. Misalnya danger jika diabaikan kan bisa menimbulkan celaka dan dapat menimbulkan kecelakaan. Namun jika warning, sifatnya lebih rendah dan tidak sefatal danger. Jika caution, sifatnya akan lebih ke kerusakan robot daripada operatornya.

Kesulitan Mahasiswa

8. Q: Menurut Bapak/Ibu, bagian mana yang paling sulit dipahami mahasiswa terkait *robotic arm*?

A: Pemrograman Robot, untuk kendalanya ada di kebiasaan saja. Karena kan robot industri didesain untuk mudah digunakan. (Berdasarkan Kuesioner) Untuk TCP itu materi khusus dan ada kesulitan, namun setelah mencoba nanti bisa. Awalnya karena belum tau saja. TCP itu kesulitan juga karena keterbatasan alat. Terdapat juga *singularity*. Jadi mahasiswa sering salah dalam menggerakkan joint.



(Lanjutan)

9. Q: Apakah mahasiswa lebih kesulitan pada aspek konsep (kinematika, koordinat) atau pada aspek teknis pengoperasian?

A: Untuk inverse dan kinematika ada mata kuliah tersendiri sebelumnya, nanti dapat ditanyakan ke dosen kinematika. Kebetulan di mata kuliah robotika ini tidak kami ajarkan sampai sana.

10. Q: Kesalahan apa yang paling sering dilakukan mahasiswa saat praktik?

A: Kesalahan pada saat *jogging* karena belum familiar ya, jadi kadang-kadang nabrak robotnya. Jadi harus release joint agar bisa bergerak lagi. Satu hal lain juga adalah frame koordinat world object untuk menyesuaikan axis dan koordinat.

Masalah visualisasi & Media

11. Q: Media apa yang saat ini digunakan untuk menjelaskan gerakan dan ruang kerja robot?

A: Ada powerpoint ada presentasi ada video, ada juga *software* robot studio. *Software* ini bagus karena kita bisa menggerakkan secara visual. Untuk praktikum langsung saja praktikum.

12. Q: Apakah terdapat kekurangan dari media yang saat ini digunakan untuk menjelaskan gerakan dan ruang kerja robot?

A: Ya, kalau presentasi tidak seelusage kalau menggunakan robot studio yang bisa tampak seperti real dan lebih baik daripada teks dan gambar saja.

13. Q: Seberapa jauh media yang ada saat ini mampu menjelaskan gerakan tiga dimensi robot, dan di bagian mana biasanya mahasiswa masih terlihat bingung?)

A: gambar dan teks kurang bisa menjelaskan postur dan gerakan robot, kalau pake *software* lebih jelas. Jika kurang langsung praktik ke robot satu2. Mereka bergiliran membuat pose robot.

14. Q: Apakah terdapat keterbatasan media dalam menjelaskan pergerakan joint atau koordinat ruang?

A: Ya, kalau dari ppt dan video, namun teratasi dengan praktik langsung

15. Q: Ketika mahasiswa terlihat kesulitan memvisualisasikan konsep seperti kinematika atau sistem koordinat, pendekatan apa yang biasanya Bapak/Ibu gunakan untuk membantu?

A: Koordinat itu memang agak susah, namun saya langsung ke robot. Jadi kita bisa jelasin X yang mana Y yang mana, dan arahnya ke mana. Jadi dengan teori awal dan pendekatannya langsung dengan demonstrasi ke robot langsung.

Hak Cipta :

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



(Lanjutan)

16. Q: Dari perspektif pedagogis apakah antarmuka media pembelajaran sebaiknya dirancang sederhana dan intuitif, atau justru menyerupai *teach pendant* industri agar mahasiswa terbiasa dengan *interface* nyata?

A: Setiap mahasiswa kan beda-beda ya, jadi alangkah baiknya media ada pilihannya, ada simpel ada kompleks. Karena kami mengamati mahasiswa pun bervariasi. Jadi ada opsi agar lebih fleksibel. Kebetulan di robot yang baru, collaborative robot, jadi sudah ada robotstudio, teach pendantnya dapat ditampilkan di layar laptop (lah ini digital twin) nanti gerakan robotnya secara virtual bisa digerakkan di laptop. Program yang ada di laptop ini dapat dipindahkan ke robot (computer programming) dan robot bergerak sesuai dengan yang ada di laptop.

Kebutuhan Interaksi & Potensi Pengembangan

17. Q: Sejauh mana menurut Bapak/Ibu simulasi interaktif dapat mempersiapkan mahasiswa sebelum praktik langsung, dan pada tahap pembelajaran mana itu paling relevan?

A: Ya jelas akan membantu. Jika ada media pembelajaran interaktif, kita dapat memberikan di awal mata kuliah ataupun ketika mata kuliah berlangsung. Ini dapat dilakukan sebelum praktik seperti saat menunggu giliran praktikum. Ini menumbuhkan pengetahuan sistem koordinat dan memvisualisasikan secara mental pada mahasiswa mengenai gerakan dan postur robot. Ini juga memvisualisasikan XYZ dan axis robot. Seperti juga di rumah mereka dapat mempelajari itu, sehingga mempermudah nanti di praktikum.

18. Q: Apakah simulasi atau visualisasi interaktif dapat membantu sebelum praktik langsung?

A: Iya (terjawab di pertanyaan sebelumnya)

19. Q: Fitur apa yang menurut Bapak/Ibu paling penting jika dikembangkan media simulasi *robotic arm*?

A: ya apa ya, yang paling penting sih yang pertama robot itu dibuat semirip mungkin ukurannya, dibuat jangkauannya sampe mana untuk setiap axis, nah dari gabungan axis ini akan membentuk suatu boundary. Selama ini tidak ada bayangan jangkauan robot ini dan hanya ada di buku teks. Ini bagus jika bisa dibuat. Kedua, komunikasi, apakah bisa dikomunikasikan dengan program atau device yang ada seperti PLC atau microcontroller. Jadi robot ini dapat berkomunikasi dengan device lain.

Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

Validasi Akademik

20. Q: Apakah pengembangan media pembelajaran berbasis visualisasi interaktif untuk *robotic arm* menurut Bapak/Ibu relevan untuk konteks pendidikan vokasi saat ini?

A: Ya menurut saya, karena itu akan mempercepat pemahaman pemahaman mahasiswa belajar robot dalam membuat program dan mengimplementasikan. Jika basicnya tidak cukup memahami, agak susah. Jadi jika ada seperti itu, akan cukup membantu dalam mempercepat pemahaman mahasiswa.

21. Kalau untuk pembelajaran media pembelajaran *mixed reality* seperti AR, VR dan MR apakah juga relevan?

A: Iya cukup relevan. Iya

22. Apakah menurut Bapak/Ibu urutan pembelajaran yang dimulai dari eksplorasi kinematika dan sistem koordinat (visual) kemudian dilanjutkan ke operasi dan *trajectory* (operasional) sudah sesuai dengan alur pedagogis yang biasa diterapkan?

A: Uhh ini ya tadi, saya menyoroti kinematika karena kinematika ada mata kuliah berbeda sih. Mereka sudah memahami itu sebelumnya. Namun bisa diulang tapi tidak diberikan lagi. Bisa, saya di angkatan berapa lupa pernah menambahkan FK dan IK matriksnya seperti apa, gerakannya seperti apa. Tapi kami buat sedikit dan hanya untuk pemahaman saja. Juga karena waktu jadi kami anggap sudah tau saja karena sudah ada di mata kuliah sebelumnya.

23. Berdasarkan temuan dari kuesioner mahasiswa kami, kebutuhan tertinggi yang teridentifikasi adalah manipulasi model robot virtual secara *real-time* dan visualisasi lintasan. Apakah temuan ini konsisten dengan pengalaman mengajar Bapak/Ibu?

A: Trajektorinya sih, saat ini kita belum ada media pembelajaran untuk trajektori itu. Biasanya di *software* saja. Namun untuk robot yang tidak ada softwarena, ya hanya teori saja.

Hak Cipta :

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

© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



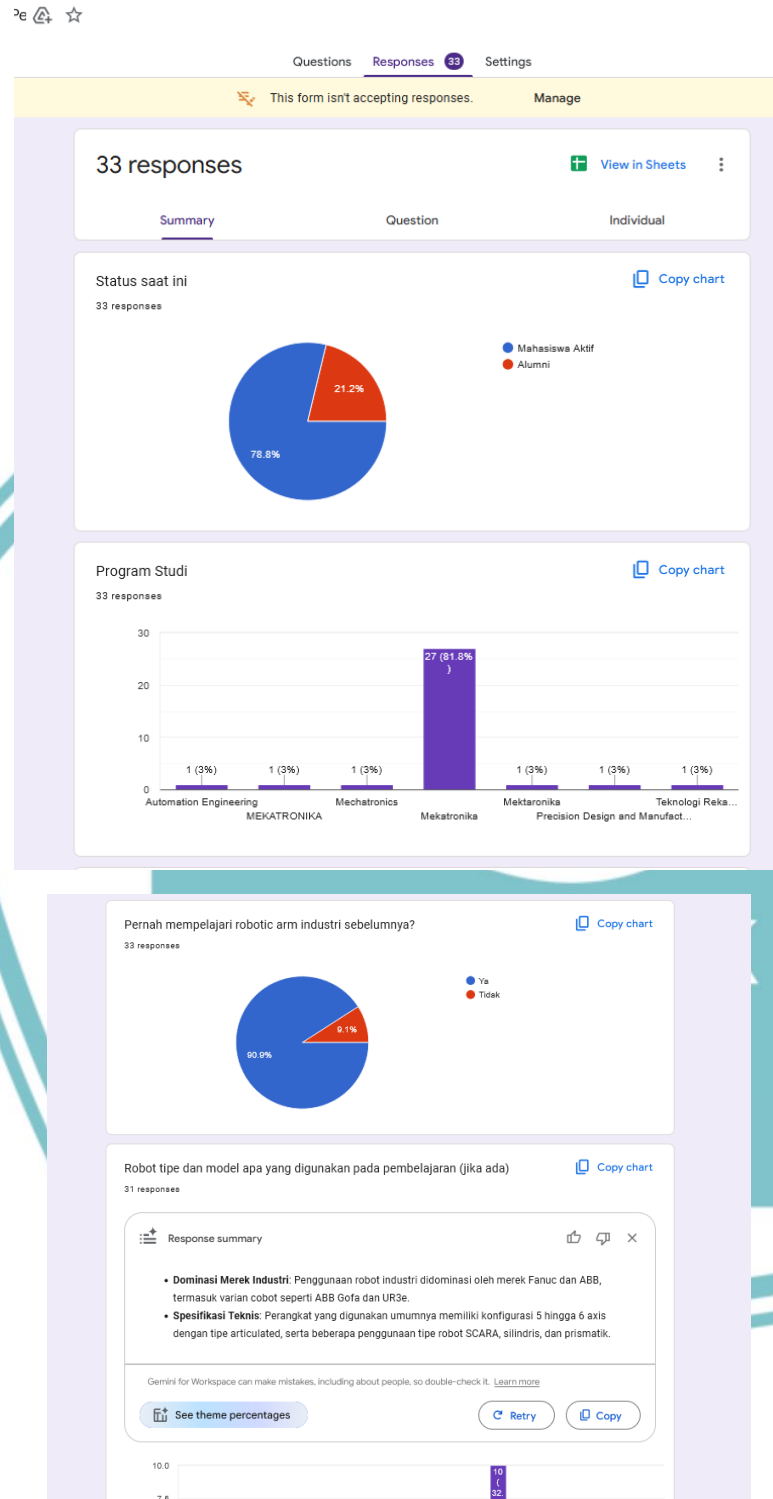


© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 3. Hasil Kuesioner Penelitian



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

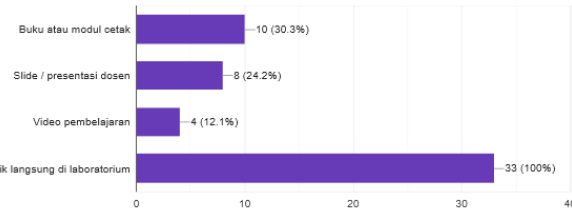
Hak Cipta :

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

Media pembelajaran yang paling sering digunakan saat mempelajari robotic arm

[Copy chart](#)

33 responses

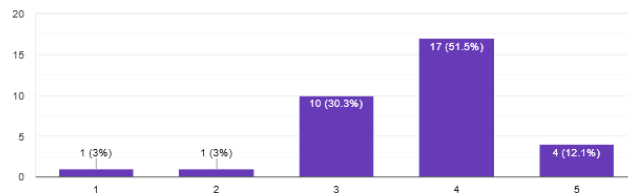


PENGALAMAN & KESULITAN PEMBELAJARAN

Pada awal pembelajaran, saya kesulitan membayangkan arah gerak joint pada robotic arm industri.

[Copy chart](#)

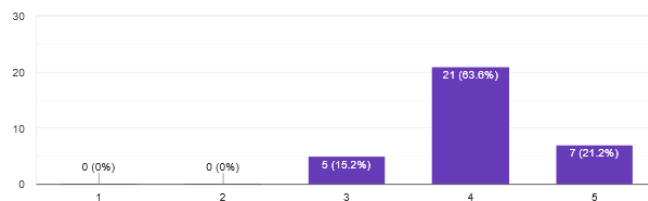
33 responses



Pada awal pembelajaran, konsep kinematika robot sulit dipahami jika hanya melalui penjelasan teks atau gambar 2D.

[Copy chart](#)

33 responses

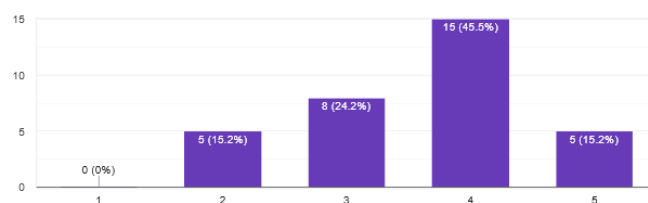


MASALAH VISUALISASI

Pada awal pembelajaran, saya kesulitan membayangkan area kerja dan batas jangkauan robot.

[Copy chart](#)

33 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

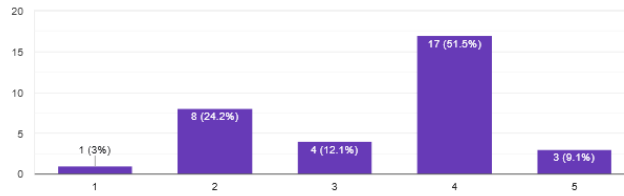
Hak Cipta :

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

Media pembelajaran yang digunakan saat ini kurang membantu dalam memvisualisasikan gerakan robot.

[Copy chart](#)

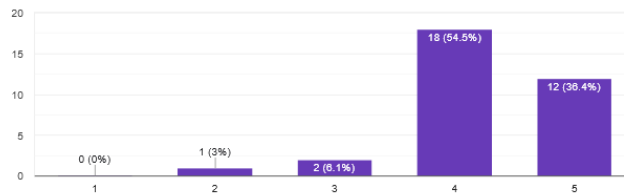
33 responses



Visualisasi 3D akan mempermudah pemahaman saya terhadap struktur dan gerakan robot.

[Copy chart](#)

33 responses

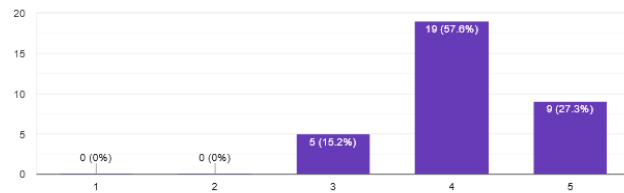


KETERBATASAN MEDIA SAAT INI

Waktu praktik yang terbatas membuat saya kurang leluasa memahami perilaku robot.

[Copy chart](#)

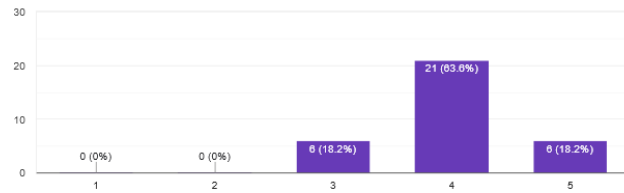
33 responses



Ketersediaan robot yang terbatas membuat saya kurang leluasa mengeksplorasi robot.

[Copy chart](#)

33 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

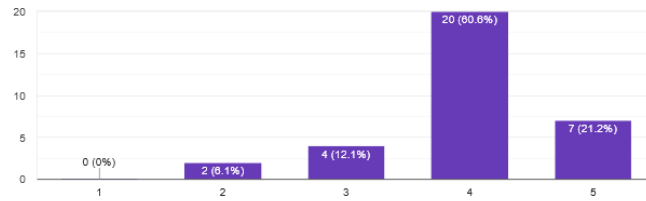
Hak Cipta :

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

Kekhawatiran terhadap keselamatan operasi robot membatasi eksplorasi saat praktik langsung.

[Copy chart](#)

33 responses

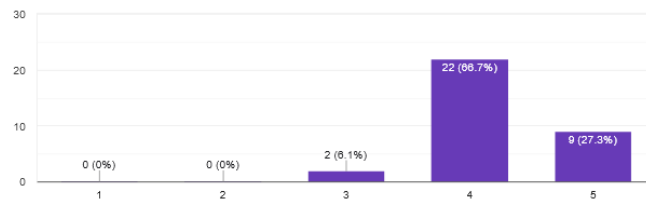


KEBUTUHAN MEDIA PEMBELAJARAN

Media pembelajaran yang memungkinkan visualisasi area kerja robot, akan memudahkan pemahaman konsep robot industri.

[Copy chart](#)

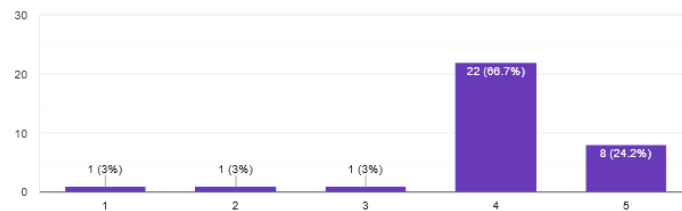
33 responses



Media pembelajaran ideal sebaiknya memungkinkan eksplorasi mandiri tanpa risiko kerusakan alat.

[Copy chart](#)

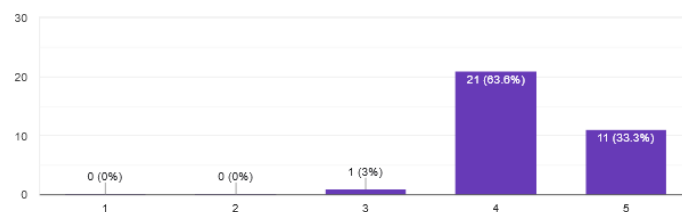
33 responses



Interaksi langsung dengan model robot virtual akan memudahkan pemahaman konsep robot industri

[Copy chart](#)

33 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

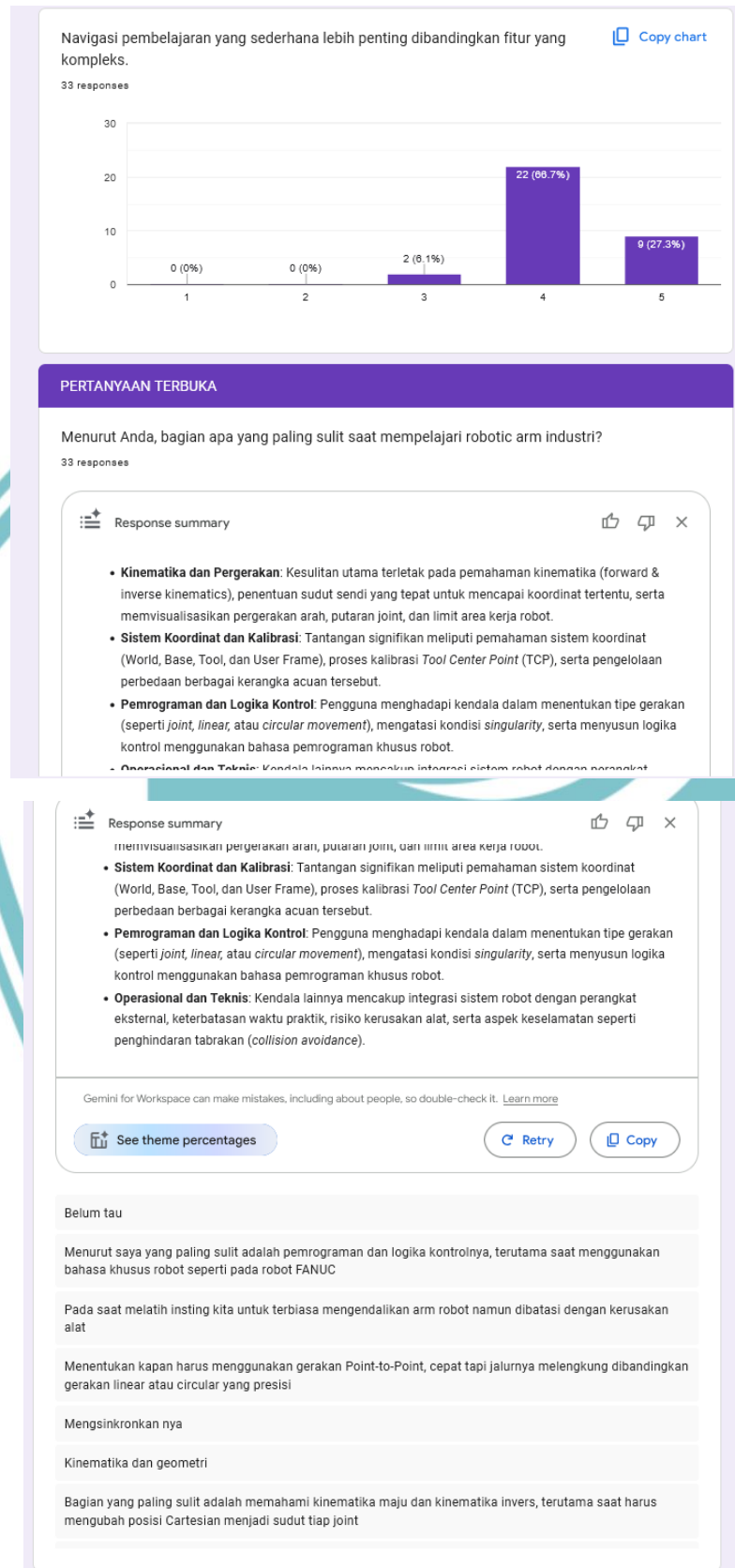
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Fitur atau visualisasi apa yang Anda harapkan dari media pembelajaran ideal untuk robotic arm?

33 responses

Response summary

- **Simulasi 3D Interaktif:** Pengguna mengharapkan lingkungan virtual yang mampu menampilkan pergerakan robot secara *real-time*, termasuk visualisasi dinamis sumbu koordinat (X, Y, Z), orientasi ruang, perubahan sudut *joint*, serta jalur lintasan (*trajectory*) yang dilewati robot.
- **Fitur Analisis dan Keamanan:** Terdapat kebutuhan akan sistem otomatis untuk pendeteksian tabrakan (*collision detection*), peringatan dini saat mendekati *singularity*, serta indikator visual atau *feedback* saat terjadi error untuk mendukung proses *troubleshooting*.
- **Simulasi Operasional dan Pelatihan:** Media pembelajaran ideal diharapkan mencakup simulator *teach pendant* virtual untuk melatih berbagai jenis pergerakan (PTP, *linear*, dan *circular*), serta fitur *pre-play* atau pratinjau konfigurasi posisi robot sebelum program dijalankan pada perangkat fisik.
- **Pengalaman Pengguna dan Interaktivitas:** Diperlukan antarmuka yang intuitif, lingkungan kerja

Gemini for Workspace can make mistakes, including about people, so double-check it. [Learn more](#)

See theme percentages

Retry

Copy

Saya berharap ada fitur visualisasi error & troubleshooting mode, misalnya ketika terjadi singularity atau collision, sistem langsung menampilkan highlight merah pada joint atau area tabrakan

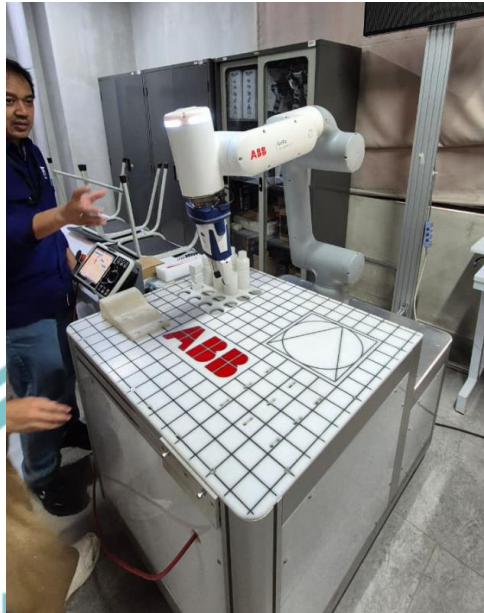
fitur adanya pre play program dalam perangkat controller sebelum di running ke dalam arm robotnya

Kemampuan untuk menampilkan garis permanen di ruang 3D yang menunjukkan jalur yang baru saja dilewati robot

3D animasi dengan tutorial yg lengkap

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Lampiran 5. Observasi dengan Robot di Politeknik Astra



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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





© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 6. Hasil Pengujian *Alpha Testing*

A	B	C	D	E	F	G	H
ID	Skenario	Langkah Uji	Input	Expected Output	Actual Output Quest	Status	Reason
TC-01	Splash screen → Menu Utama	1. Buka aplikasi di Meta Quest 3 2. Tunggu splash screen selesai 3. Amati transisi ke layar berikutnya	Aplikasi dibuka pertama kali	Splash screen muncul selama 2 detik, kemudian bertransisi otomatis ke layar Onboarding atau Menu Utama		Pass	
TC-02	Onboarding → Instruksi hand tracking	1. Amati layar onboarding 2. Buti instruksi gestur yang ditampilkan 3. Tekan tombol Lanjut	Gestur pinch dilakukan sesuai instruksi	Layar onboarding menampilkan instruksi hand tracking, gestur pinch dikenali, dan pengguna berhasil melanjutkan ke Menu Utama		Pass	
TC-03	Menu Utama → pilih Modul 1	1. Di Menu Utama, arahkan tangan ke kartu Modul 2 2. Lakukan gestur pinch pada tombol "Mulai Modul 1" 3. Amati transisi	Pinch pada tombol Mulai Modul 1	Card Modul 1 ter-expand lalu saat input tombol "Mulai Modul 1", Aplikasi berpindah ke Card 1.0 Intro Modul 1. Model robot 486 (della c88) 15000 muncul di hadapan pengguna		Pass	
TC-04	Menu Utama → pilih Modul 2	1. Di Menu Utama, arahkan tangan ke kartu Modul 2 2. Lakukan gestur pinch pada tombol "Mulai Modul 2" 3. Amati transisi	Pinch pada tombol Mulai Modul 2	Card Modul 2 ter-expand lalu saat input tombol "Mulai Modul 2", Aplikasi berpindah ke Card 2.0 Intro Modul 2. Pesan rekomendasi "Selesaikan Modul 1 terlebih dahulu" ditampilkan		Pass	
TC-05	Tombol Back to Menu dari dalam modul	1. Masuk ke salah satu card dalam Modul 1 2. Tekan tombol "Back to Menu" di pojok kiri atas 3. Amati hasil	Pinch pada tombol Back to Menu	Aplikasi kembali ke Menu Utama. Tidak ada data atau progres yang crash		Pass	
TC-06	Identifikasi komponen base & link	1. Masuk ke Card 2. Arahkan tangan ke komponen robot yang diminta 3. Lakukan gestur pinch 4. Amati label yang muncul	Pinch pada komponen robot	Label nama komponen dan deskripsi singkat muncul di posisi komponen yang di-pinch. Highlight visual aktif pada komponen tersebut		Pass	
TC-07	Identifikasi seluruh 6 joint – trigger lanjut	1. Lakukan pinch pada setiap joint (J1 – J6) secara berurutan 2. Amati kondisi trigger setelah semua joint di pinch	Pinch pada J1, J2, J3, J4, J5, J6 secara berurutan	Setelah semua 6 joint di pinch, tombol "Lanjut" aktif dan pengguna dapat berpindah ke beat berikutnya		Pass	
TC-08	Identifikasi seluruh TCP – trigger lanjut	1. Lakukan pinch pada TCP 2. Amati kondisi trigger setelah TCP di pinch	Pinch pada TCP robot	Setelah TCP di pinch, tombol "Lanjut" aktif dan pengguna dapat berpindah ke beat berikutnya		Pass	
TC-09	Slider joint – gerak robot real-time	1. Masuk ke Card 1.2 2. Pindahkan slider ke nilai positif (+) 3. Geser slider ke nilai positif (+) 4. Amati pergerakan robot	Slider J1 digeser ke nilai maksimum	Robot bergerak secara real-time mengikuti nilai slider. Bagian robot di atas joint 1 ikut berotasi. Pendapat menampilkan nilai derajat joint yang berubah		Pass	Terdapat isu ketika posisi robot di Auto Mode, saat berpindah ke mode linear, malah berputar. Seharusnya linear mengikuti posisi di Auto dan ketika mode diubah, robot tidak akan bergerak
TC-10	Indikator warna batas joint – zona kuning	1. Geser slider salah satu joint mendekati batas sudut maksimum 2. Amati perubahan warna indikator joint	Slider digeser ke 80-90% dari batas maksimum	Indikator joint berubah warna menjadi kuning saat mendekati batas. Pendant nilai sudut menampilkan peringatan visual		Pass	

(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Blackbox						
ID	Skenario	Langkah Uji	Input	Expected Output	Actual Output Quest	Status
12	TC-11	Indikator warna batas joint – zona merah & suara	1. Geser slider hingga mencapai batas sudut maksimum 2. Amati warna indikator dan respons audio	Slider digeser hingga nilai limit mekanis joint	Indikator joint berubah merah, bunyi peringatan audio berbunyi, slider tidak dapat digeser lebih jauh melewati batas	Pass
13	TC-12	TCP overlay – update posisi real-time	1. Gerakan beberapa joint 2. Amati panel koordinat TCP 3. Bandingkan nilai derajat joint dengan posisi TCP pada model 3D	Kombinasi slider J1, J2, J3 digeser bersamaan	Nilai J1-J6 pada pendam diperbarui secara real-time setiap kali joint bergerak. Nilai konsisten dengan posisi visual TCP pada model robot	Pass
14	TC-13	Trigger lanjut – semua 6 joint digerakkan	1. Gerakan J1, J2, J3, J4, J5, J6 masing-masing minimal satu kali 2. Amati status tombol Lanjut	Semua slider J1-J6 digeser minimal sekali	Setelah semua 6 joint digerakkan, tombol "Lanjut" menjadi aktif dan dapat ditekan	Pass
15	TC-14	Toggle frame koordinat – aktifkan satu per satu	1. Masuk ke Card 1.32. Aktifkan World Frame via dropdown	Toggle World, Base User,	Setiap frame menampilkan gizmo	Pass
16	TC-14	Toggle frame koordinat – aktifkan satu per satu	1. Masuk ke Card 1.32. Aktifkan World Frame via dropdown 2. Aktifkan Base Frame 3. Aktifkan User Frame 4. Aktifkan Tool Frame 5. Aktifkan gizmo tiap frame	Toggle World, Base User, Tool Frame diaktifkan satu per satu	Setiap frame menampilkan gizmo sumbu XYZ dengan warna dan label berbeda di posisi yang tepat	Pass
17	TC-15	Tool Frame dinamis – ikuti TCP saat joint bergerak		Semua frame aktif, slider J6 digeser	Hanya Tool Frame yang bergerak mengikuti perubahan posisi TCP	Pass
18	TC-16	Trigger lanjut – semua 4 frame diaktifkan	1. Aktifkan World, Base, User, dan Tool Frame satu per satu 2. Amati status tombol Lanjut	Keempat toggle frame diaktifkan	Setelah keempat frame diaktifkan, tombol "Lanjut" menjadi aktif	Pass
19	TC-17	Tampilkan volume workspace 3D	1. Masuk ke Card 1.4 2. Amati kemunculan volume workspace3. Rotasi tampilan 360°	Masuk ke Beat 2 Card 1.4	Volume workspace 3D semi-transparan muncul dengan warna	Pass
20	TC-17	Tampilkan volume workspace 3D	1. Masuk ke Card 1.4 2. Amati kemunculan volume workspace3. Rotasi tampilan 360°	Masuk ke Beat 2 Card 1.4	Volume workspace 3D semi-transparan muncul dengan warna	Pass
21	TC-18	Gradasi warna – TCP mendekati batas	1. Gerakan joint hingga TCP mendekati batas workspace 2. Amati perubahan warna area 3. Amati indikator peringatan	TCP digerakkan mendekati batas workspace	Warna area workspace berubah dari hijau ke kuning lalu merah sesuai jarak ke batas	Pass
22	TC-19	Blind spot	1. Gerakan TCP mendekati pusat Base robot 2. Amati zona blind spot radius 331.3mm 3. Amati respons sistem	TCP digerakkan ke dalam radius 331.3mm dari pusat Base	Area blind spot ditampilkan merah dan peringatan visual muncul	Pass
23	TC-21	Input waypoint – metode Input Koordinat Manual	1. Atur nilai X, Y, Z atau J1-J6 2. Simpan waypoint		Waypoint tersimpan dan lintasan otomatis terbentuk	Pass

(Lanjutan)



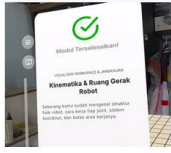
© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

ID	Skenario	Langkah Uji	Input	Expected Output	Actual Output Quest	Status	Reason
TC-21	Input waypoint – metode Input Koordinat Manual	1. Atur nilai X, Y, Z atau J1-J6 2. Simpan waypoint		Waypoint tersimpan dan lintasan otomatis terbentuk		Pass	
TC-22	Edit waypoint –delete waypoint	1. Pinch waypoint 2. Delete waypoint 3. Tambah waypoint baru		Delete and Add waypoint P2 Posisi waypoint berubah dan lintasan diperbarui real-time		Fail	Fitur pinch tidak diimplementasi karena tingkat kesulitan dan constraint waktu, namun delete dan tambah waypoint berfungsi
TC-23	Playback animasi – robot mengikuti lintasan waypoint	1. Tekan Play 2. Amati animasi 3. Tekan Pause		Play → Pause Robot mengikuti waypoint dan Pause menghentikan animasi di posisi saat itu		Pass	
TC-24	Arm Singularity (1) – pusat pergelangan di atas Base	1. Masuk ke Card 2.3 2. Tekan Lanjut		Tombol Lanjut Robot bergerak otomatis ke konfigurasi singularity		Pass	
TC-24	Arm Singularity (1) – pusat pergelangan di atas Base	1. Masuk ke Card 2.3 2. Tekan Lanjut 3. Amati konfigurasi robot		Tombol Lanjut Robot bergerak otomatis ke konfigurasi singularity dan narasi muncul		Pass	
TC-25	Wrist Singularity – Axis 5 mendekati 0°	1. Lanjut ke Wrist Singularity 2. Amati konfigurasi dan narasi		Tombol Lanjut Robot bergerak ke konfigurasi wrist singularity khas GoFa		Pass	
TC-26	Pick & Place – pindahkan balok A ke B	1. Gerakkan TCP ke balok A 2. Close Gripper 3. Pindahkan ke B 4. Open Gripper		Close → Move → Open Balok mengikuti TCP dan dilepas di titik B		Pass	
TC-27	Pick & Place – kembalikan balok B ke A	1. Ambil balok di B 2. Pindahkan ke A 3. Lepaskan		Pick → Move → Release Balok berhasil dikembalikan ke posisi awal		Pass	
TC-27	Pick & Place – kembalikan balok B ke A	1. Ambil balok di B 2. Pindahkan ke A 3. Lepaskan		Pick → Move → Release Balok berhasil dikembalikan ke posisi awal		Pass	
TC-30	Toggle Singularity Detector – aktif/nonaktif	1. Aktifkan detector 2. Gerakkan robot 3. Nonaktifkan		Toggle ON/OFF Indikator singularity hanya muncul saat toggle aktif		Pass	
TC-31	Toggle Workspace Visualizer – aktif/nonaktif	1. Aktifkan visualizer 2. Nonaktifkan		Toggle ON/OFF Workspace muncul dan hilang tanpa artefak visual		Pass	
TC-33	Penutup Modul 1 – tombol Lanjut ke Modul 2	1. Selesaikan Modul 1 2. Tekan tombol lanjut		Pinch tombol "Lanjut ke Modul 2" Aplikasi berpindah ke Intro Modul 2 tanpa kehilangan data		Pass	

(Lanjutan)

1	ID	Skenario	Langkah Uji	Input	Expected Output	Actual Output Quest	Status	Reason
30	TC-33	Penutup Modul 1 – tombol Lanjut ke Modul 2	1. Selesaikan Modul 1 2. Tekan tombol lanjut	Pinch tombol "Lanjut ke Modul 2"	Aplikasi berpindah ke Intro Modul 2 tanpa kehilangan data		Pass	
31	TC-34	Penutup Modul 1 – tombol Ulangi Modul 1	1. Tekan tombol ulangi 2. Amati hasil	Pinch tombol "Ulangi Modul 1"	Aplikasi kembali ke awal Modul 1 tanpa crash		Pass	
32	TC-35	Penutup Modul 2 – masuk Mode Eksplorasi	1. Selesaikan Modul 2 2. Tekan "Mode Eksplorasi"	Pinch tombol "Mode Eksplorasi"	Seluruh fitur dapat diakses bebas tanpa urutan wajib		Pass	

© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

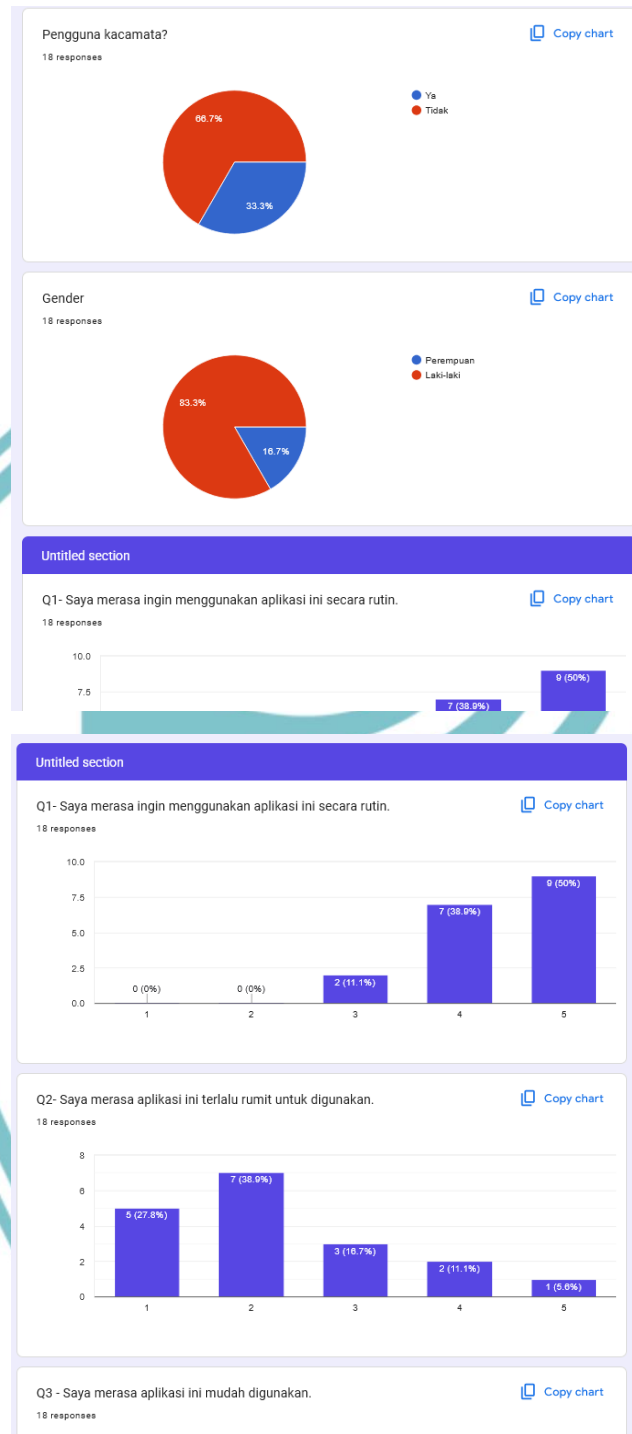


© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 7. Hasil Kuesioner *Beta Testing*



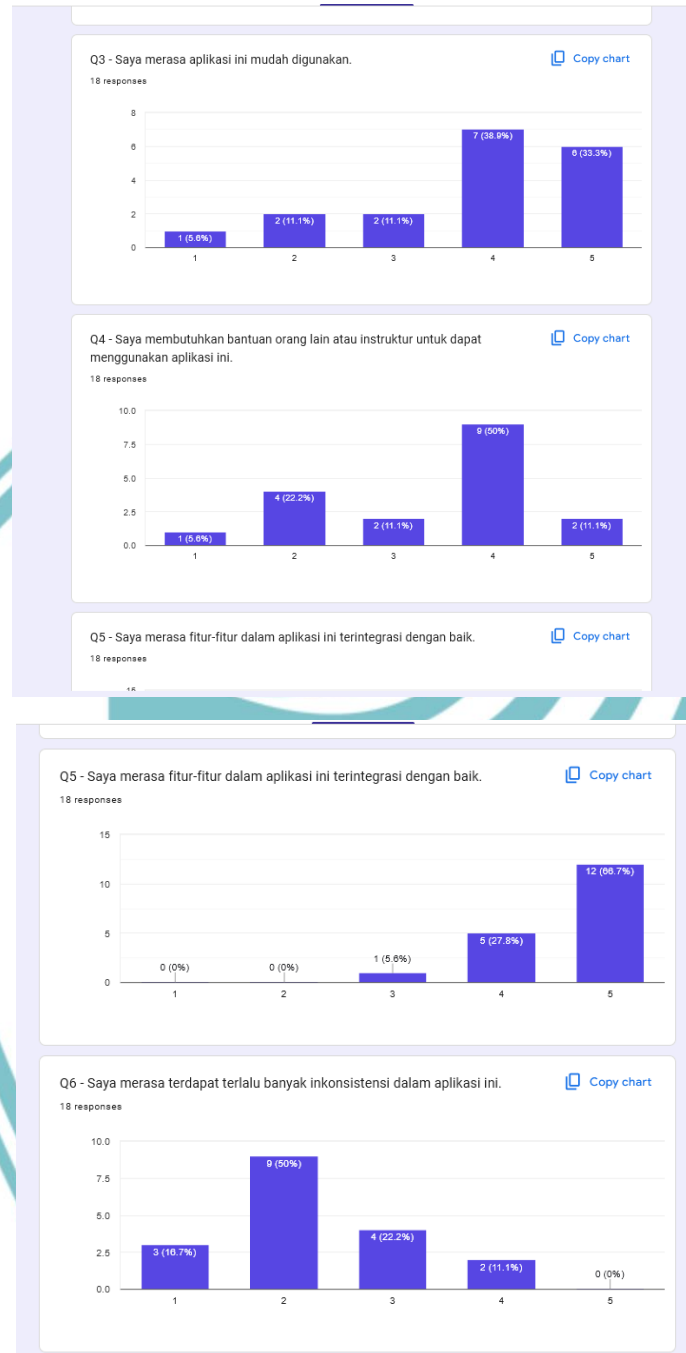
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

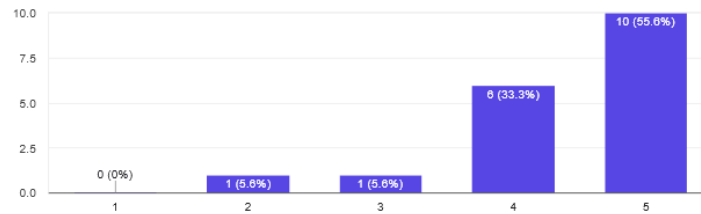
Hak Cipta :

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

Q7 - Saya merasa kebanyakan orang dapat mempelajari penggunaan aplikasi ini dengan cepat.

[Copy chart](#)

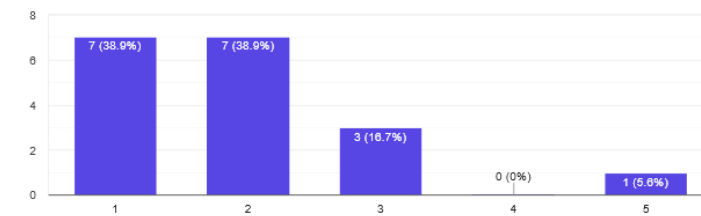
18 responses



Q8 - Saya merasa aplikasi ini membingungkan untuk digunakan.

[Copy chart](#)

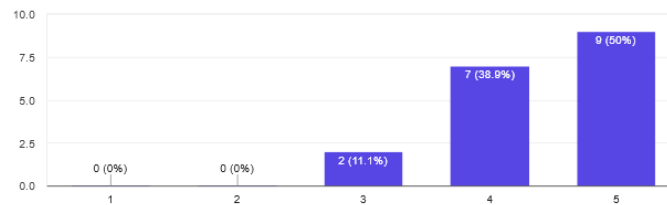
18 responses



Q9 - Saya merasa percaya diri saat menggunakan aplikasi ini.

[Copy chart](#)

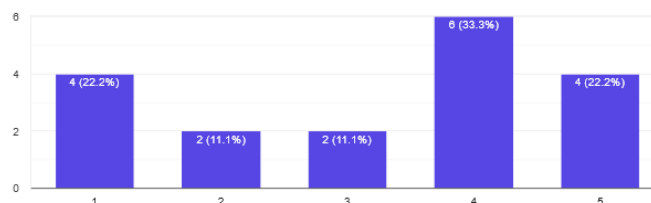
18 responses



Q10 - Saya perlu mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum dapat menggunakan aplikasi ini.

[Copy chart](#)

18 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

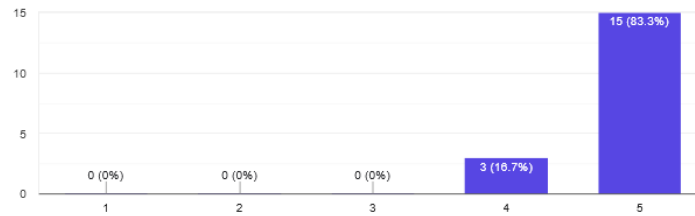
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Pengalaman Pengguna Aplikasi

Q11 - Visualisasi 3D membantu saya memahami struktur robotic arm.

[Copy chart](#)

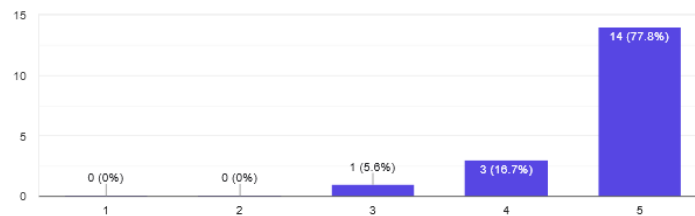
18 responsees



Q12 - Simulasi dan manipulasi pergerakan joint membantu saya memahami cara kerja robot.

[Copy chart](#)

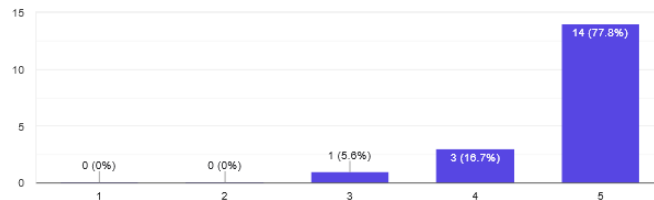
18 responsees



Q1T - Visualisasi Lintasan Trajektori Robot ketika menggunakan Wizard membantu saya memahami jalur gerak robot di ruang 3D

[Copy chart](#)

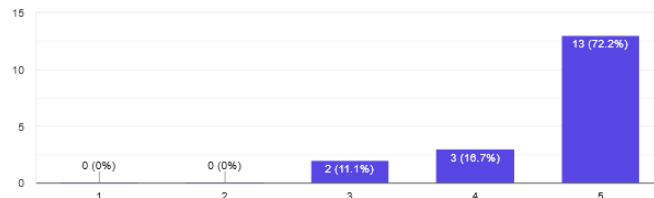
18 responsees



Q2T - Sistem Koordinat (Base, Tool, User, World) sudah dapat menggambarkan perbedaan referensi gerak robot

[Copy chart](#)

18 responsees



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

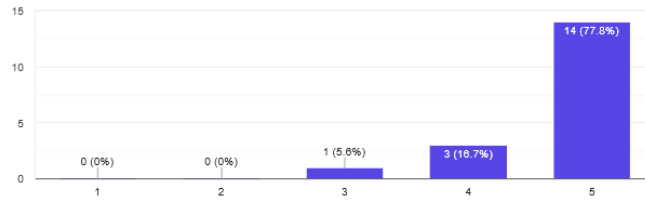
Hak Cipta :

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

Q3T - Sistem Koordinat (Base, Tool, User, World) sudah dapat menggambarkan perbedaan referensi gerak robot

[Copy chart](#)

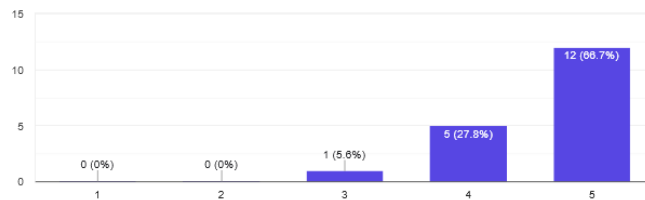
18 responses



Q4T - Penjelasan mengenai Inverse Kinematics dan Forward Kinematics membantu saya memahami perbedaan kedua sistem tersebut

[Copy chart](#)

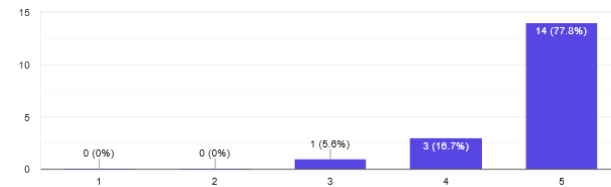
18 responses



Q13 - Visualisasi workspace membantu saya memahami batas jangkauan robot.

[Copy chart](#)

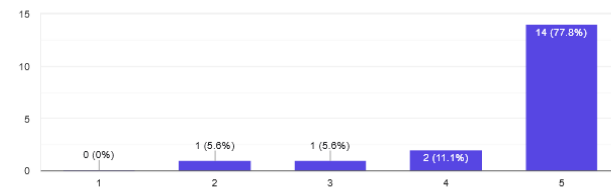
18 responses



Q14 - Simulasi singularity dan deteksi tabrakan bagian dengan saya membantu saya memahami konfigurasi robot yang berbahaya.

[Copy chart](#)

18 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

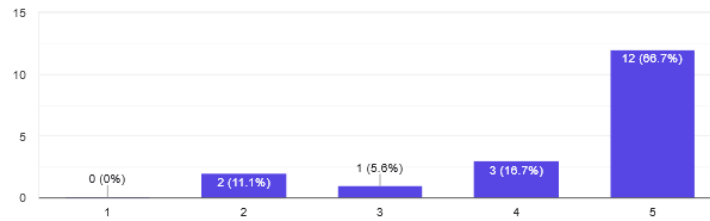
Hak Cipta :

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

Q15 - Modul pembelajaran mudah diikuti secara bertahap.

[Copy chart](#)

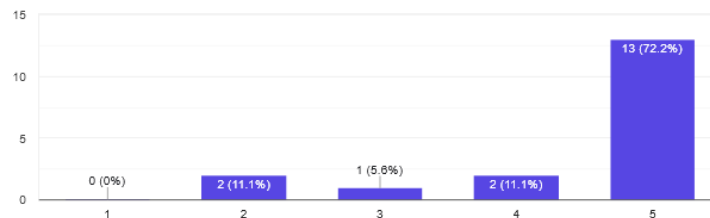
18 responses



Q16 - Instruksi tertulis pada aplikasi mudah dipahami.

[Copy chart](#)

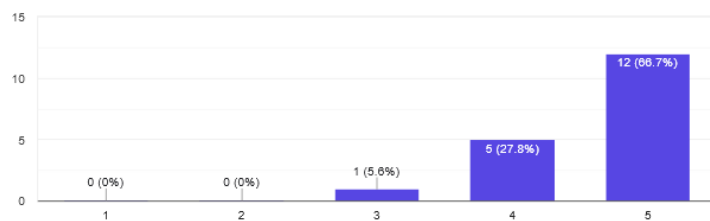
18 responses



Q17 - Tata letak antarmuka mudah dipahami

[Copy chart](#)

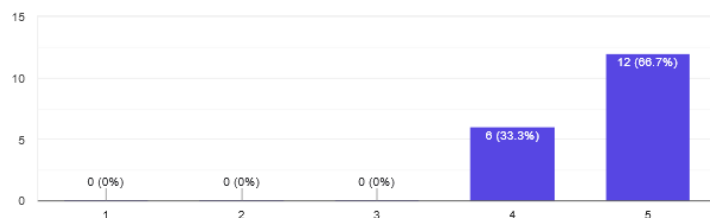
18 responses



Q18 - Navigasi antar modul mudah digunakan.

[Copy chart](#)

18 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

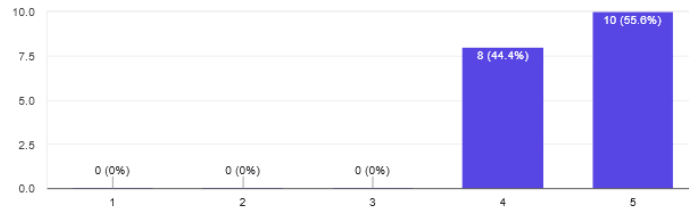
Hak Cipta :

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

Q19 - Informasi yang ditampilkan tidak membingungkan.

[Copy chart](#)

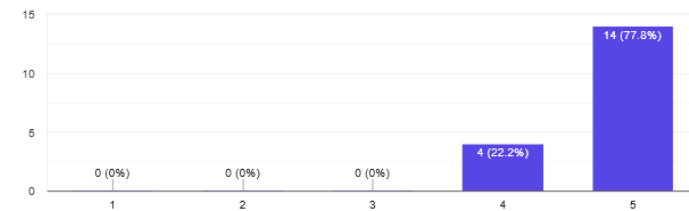
18 responses



Q20 - Visualisasi dan warna membantu memahami informasi penting.

[Copy chart](#)

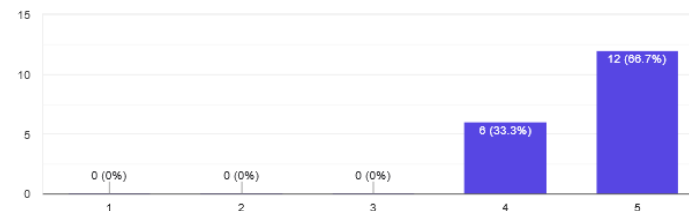
18 responses



Q21 - Interaksi di lingkungan Mixed Reality terasa responsif.

[Copy chart](#)

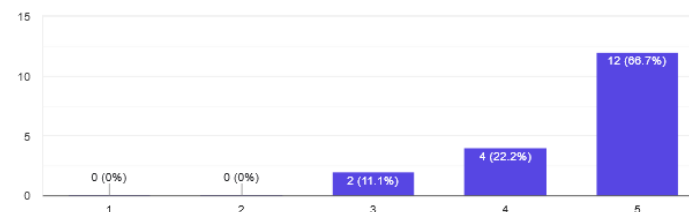
18 responses



Q22 - Pengalaman belajar terasa lebih interaktif dibanding media biasa.

[Copy chart](#)

18 responses



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Q23 - Apakah menurut anda pembelajaran menggunakan Mixed Reality dapat menunjang proses pembelajaran yang ada saat ini? Mengapa?

18 responses

- Response summary**
- **Efisiensi dan Aksesibilitas Sumber Daya:** Aplikasi ini menjadi solusi efektif saat keterbatasan perangkat fisik (robot nyata) terjadi, memungkinkan pengguna belajar secara mandiri tanpa harus mengantre atau berbagi unit dengan orang lain.
 - **Keamanan dan Eksplorasi Tanpa Risiko:** Penggunaan media MR memungkinkan pengguna melakukan simulasi dan bereksperimen dengan robot tanpa risiko bahaya fisik atau kerusakan pada peralatan asli, sehingga meningkatkan rasa percaya diri dalam mencoba operasi robot.
 - **Optimalisasi Metode Pembelajaran:** Teknologi ini dinilai sebagai inovasi yang relevan untuk mendukung proses pendidikan modern, menyediakan instruksi yang mudah dipahami, serta memberikan pengalaman belajar yang lebih fleksibel dan interaktif dibandingkan metode tradisional.

Gemini for Workspace can make mistakes, including about people, so double-check it. [Learn more](#)

[See theme percentages](#)

[Retry](#)

[Copy](#)

Ya, karena untuk beberapa orang yang lebih bisa mengerti dengan pembelajaran visual seperti ini dapat lebih memudahkan

Iya, karena untuk mempermudah pembelajaran ketika tidak ada robot

ya, karena dengan adanya metode pembelajaran ini saya dapat mencoba mengoperasikan robot arm gofa tanpa harus menggunakan robot yang real

Ya karena dapat mengurangi risiko bahaya jika menggunakan robot secara nyata

Setuju, karena visual mode seperti ini sangat lah mudah untuk mahasiswa mekatronika untuk memudahkan pembelajaran robot

Q24 - Apakah ada kendala besar selama menggunakan aplikasi MR kami, jelaskan.

[Copy chart](#)

18 responses

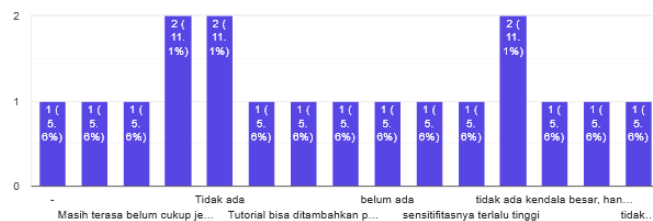
- Response summary**
- **Pengalaman Pengguna:** Mayoritas responden tidak mengalami kendala besar dan merasa aplikasi mudah dipahami serta digunakan, meskipun beberapa pengguna memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan pengaturan aplikasi.
 - **Instruksi dan Bantuan:** Terdapat kebutuhan untuk penambahan tutorial atau demo penggunaan di awal, serta penyediaan panduan yang lebih jelas mengenai langkah-langkah tugas yang harus dilakukan.
 - **Teknis dan Antarmuka:** Kendala teknis dilaporkan terkait sensitivitas kontrol yang terlalu tinggi, kesulitan dalam proses memindahkan robot, serta adanya malfungsi pada fitur *jog* yang menyebabkan robot kembali ke posisi *home* secara tiba-tiba.

Gemini for Workspace can make mistakes, including about people, so double-check it. [Learn more](#)

[See theme percentages](#)

[Retry](#)

[Copy](#)



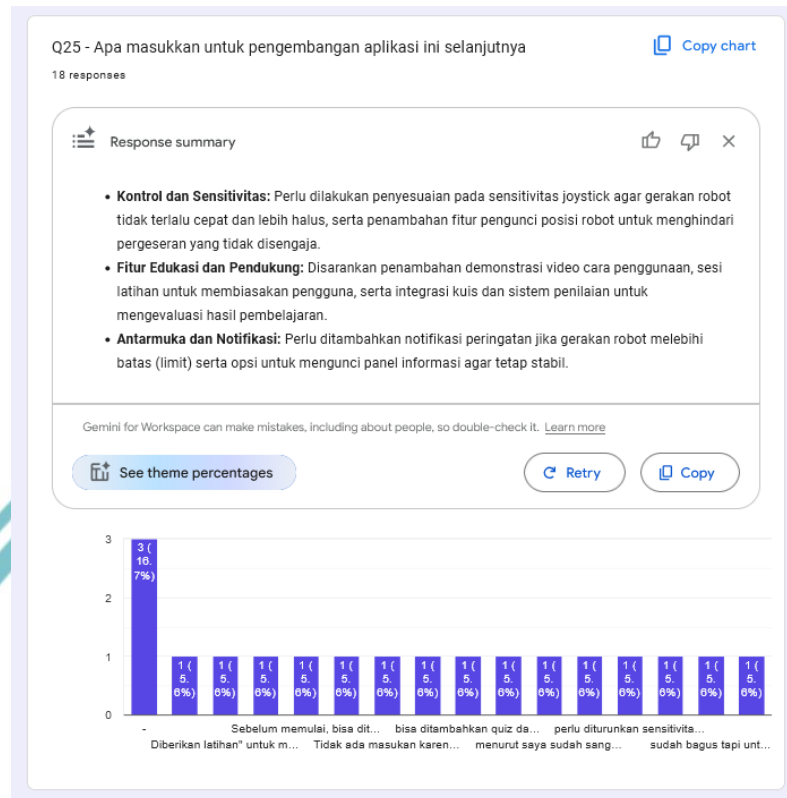
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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





© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 8. Dokumentasi Pengujian *Beta Testing* di Politeknik Astra





Hak Cipta :

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

Lampiran 9. Hasil Kuesioner Validasi Ahli Media



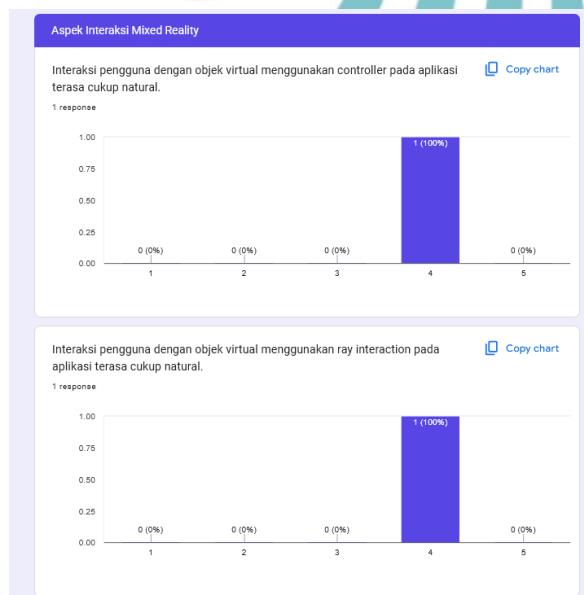
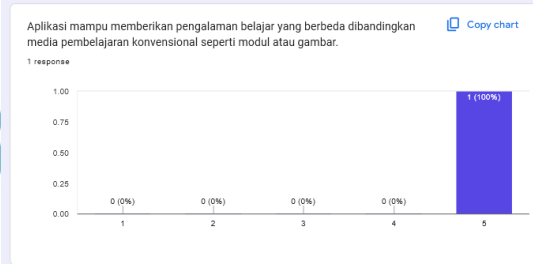
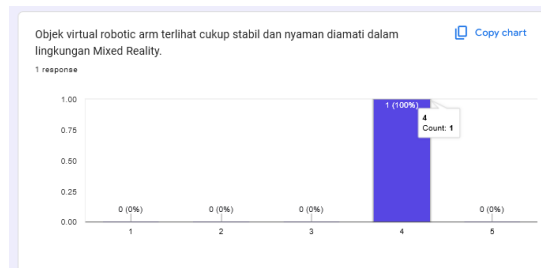
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



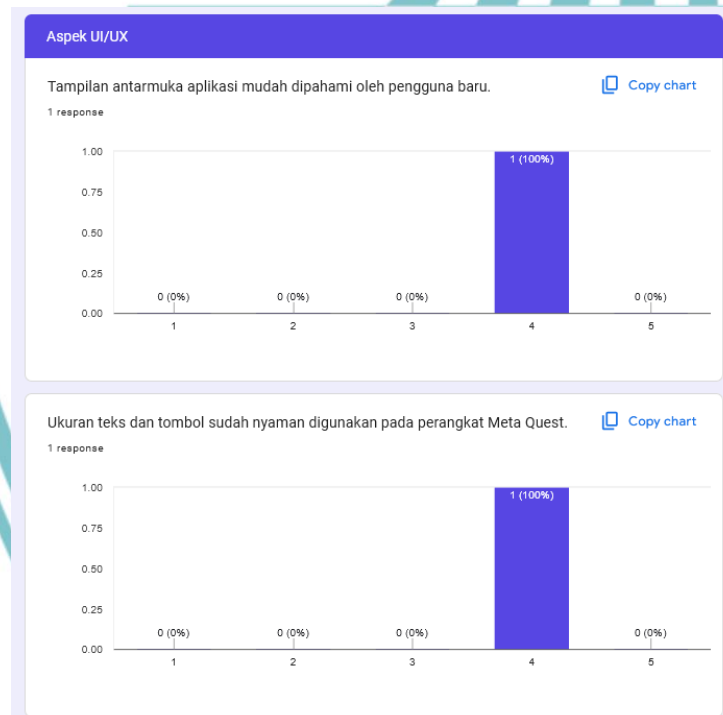
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



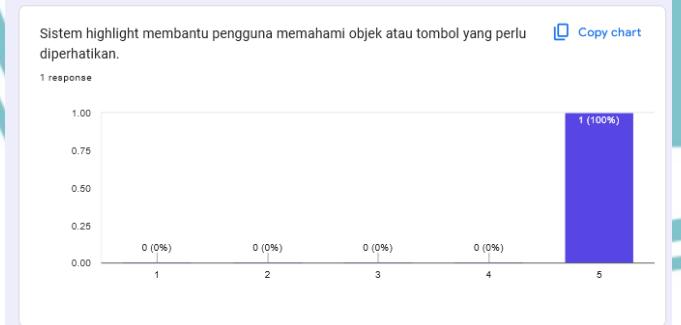
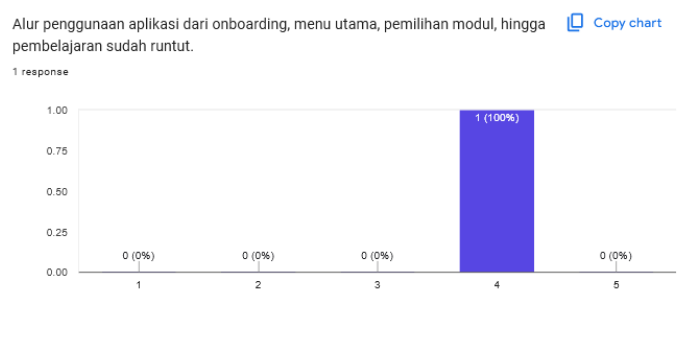
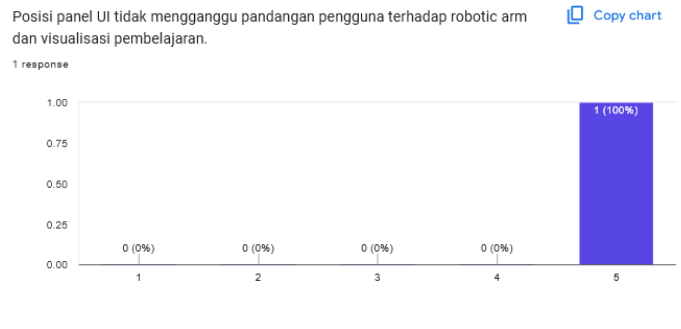
(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

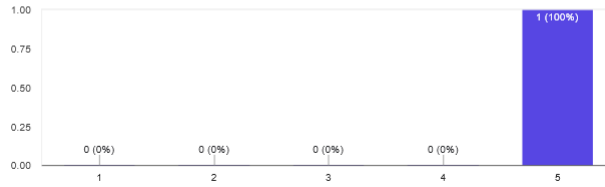
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Aspek Visualisasi Pembelajaran

Visualisasi robotic arm dalam aplikasi membantu pengguna memahami objek pembelajaran secara lebih jelas.

[Copy chart](#)

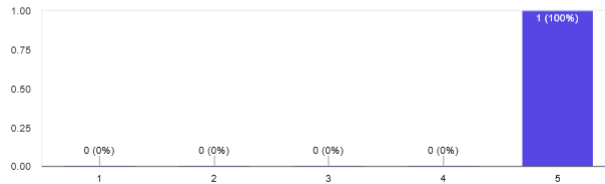
1 response



Visualisasi seperti coordinate frame, workspace, trajectory, safety boundary, dan singularity sudah sesuai sebagai media bantu pembelajaran.

[Copy chart](#)

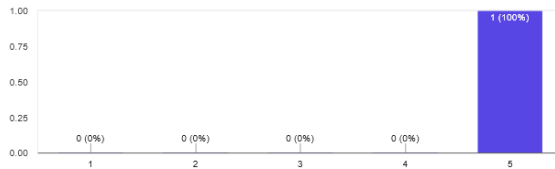
1 response



Visualisasi yang ditampilkan tidak mengganggu kenyamanan pengguna dalam lingkungan Mixed Reality.

[Copy chart](#)

1 response

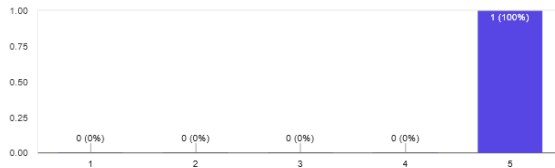


Aspek Kelayakan sebagai Media Pembelajaran

Aplikasi RoboMRLab layak digunakan sebagai media penunjang pengenalan robotic arm berbasis Mixed Reality.

[Copy chart](#)

1 response



(Lanjutan)



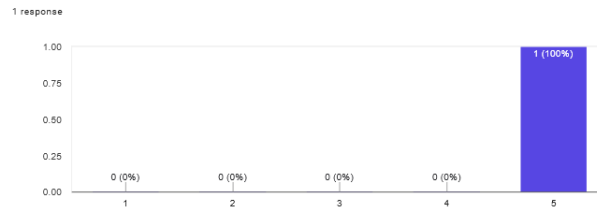
© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

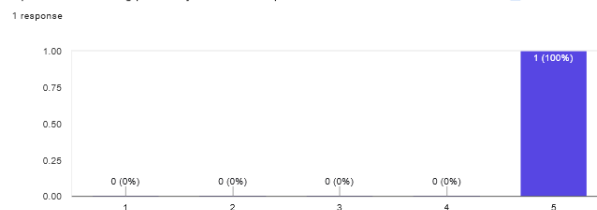
Secara keseluruhan, aplikasi sudah menunjukkan implementasi media pembelajaran Mixed Reality yang baik.

[Copy chart](#)



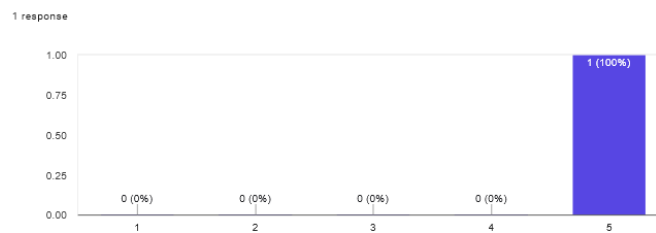
Aplikasi mendukung pembelajaran berbasis praktik secara interaktif.

[Copy chart](#)



Aplikasi memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi media pembelajaran robotika yang lebih lengkap di masa mendatang.

[Copy chart](#)



Masukan dan saran

Menurut Bapak/Ibu, apa kelebihan utama aplikasi RoboMRLab dari sisi media Mixed Reality?

1 response

Sistem mengintegrasikan objek virtual dengan lingkungan nyata secara interaktif dan real-time, sehingga pengguna dapat melakukan pembelajaran praktikum robotika secara lebih imersif, kontekstual, dan aman tanpa bergantung sepenuhnya pada peralatan fisik.

Menurut Bapak/Ibu, bagian apa yang perlu diperbaiki dari sisi interaksi Mixed Reality?

1 response

Dari sisi interaksi nya secara umum sudah berjalan dengan sangat baik, respon interaksinya juga sudah mampu memberikan pengalaman yang natural bagi pengguna. Adanya feedback secara visual maupun haptic dan beberapa mekanisme interaksi lainnya yang diterapkan sudah cukup memadai untuk mendukung proses pembelajaran sehingga untuk saat ini belum terdapat saran atau kritik yg diperlukan.

(Lanjutan)



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Menurut Bapak/Ibu, apakah tampilan UI/UX aplikasi sudah sesuai untuk digunakan pada perangkat Mixed Reality? Mohon jelaskan lebih lanjut

1 response

Dari sisi UI secara keseluruhan desain yang dikembangkan sudah baik dan mampu menyampaikan informasi maupun instruksi dengan jelas kepada pengguna. Namun, beberapa panel masih terlihat terlalu panjang secara vertikal sehingga dapat mengurangi kenyamanan saat membaca atau menjangkaunya penggunaan scroll view atau slider mungkin menjadi solusi agar tampilan lebih ringkas.

Menurut Bapak/Ibu, apakah visualisasi robotic arm pada aplikasi sudah membantu proses pembelajaran?

1 response

Iya, visualisasi robotic arm aplikasi ini sangat membantu proses pembelajaran. Pemanfaatan teknologi mixed reality memungkinkan pengguna memahami konsep dan prosedur robotik secara lebih intensif, aman dan terarah, sehingga informasi dapat tersampaikan dengan lebih efektif melalui pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menyenangkan dibandingkan metode pembelajaran konvensional.

Apa saran pengembangan yang dapat diberikan untuk meningkatkan kualitas aplikasi RoboMRLab ke depannya?

1 response

Secara umum aplikasi RoboMRLab telah dikembangkan dengan sangat baik dan sudah sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran berbasis mixed reality. Kedepannya, kualitas aplikasi dapat ditingkatkan melalui penyempurnaan desain UI, penambahan fitur evaluasi atau umpan balik pembelajaran serta pengembangan skenario interaksi yang lebih beragam lainnya sehingga pengalaman belajar menjadi lebih menarik untuk pengguna.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



CONTACT

- +62 85718145181
- indahsm0609@gmail.com
indahsarimukarramah@tik.pnj.ac.id
- Depok City, West Java

SOFT SKILLS

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

TECHNICAL SKILLS

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

PROJECTS

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

LANGUAGE

- Indonesia
- English

Lampiran 10. CV Ahli Media (Ibu Indah)

INDAH SARI MUKARRAMAH

DIGITAL MEDIA EXPERT & LECTURER

ABOUT ME

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

WORK EXPERIENCE

► 3D Designer

Polargate Studio April '15 - Present
Work on a project (part time) by building several 3D-based design element based on project requirements from several clients such as PT. PGN and several 3D game developments in Indonesia.

► Lecturer

Jakarta State Polytechnic Feb '18 - Present
Proficient in most multimedia and digital media knowledge both theoretically and practically. Created powerful and compelling curricula for my Multimedia and Digital Media students. Promoted an open and interactive classroom environment for enhanced learning.

► Training Instructor

State University of Jakarta Jan '23 - Present
Provide knowledge, expertise and skills to selected participants for the basic 3D Modelling and animation, Augmented Reality and Virtual Reality training scheme with the aim of producing human resources who are ready to face the professional industry with the provision of official national standard certificates.

EDUCATION

► BACHELOR'S DEGREE

Asia e-University (Kuala Lumpur) Sept '11 - Sept'15
Bachelor of Information Communication and Technology (Multimedia Engineering Study Program), (CGPA : 3.50)

► MASTER'S DEGREE

Institute of Technology Bandung Sept '18 - Jan '20
Magister of Electro and Informatics Department, Digital Media and Game Technology Concentration, Institute of Technology Bandung (CGPA = 3.42).



Lampiran 11. RPS Mata Kuliah Robotika

3. Rincian Tiap Sesi Pertemuan								
Pertemuan	Kemampuan Akhir yang diharapkan	Sub-CPMK	Metode Pembelajaran	Waktu	Peralatan Pembelajaran	Aktivitas Dosen	Aktivitas Mahasiswa (Pengalaman Belajar)	Indikator Penilaian
1 & 2	Mahasiswa dapat memahami Introction Robotics	1. Kinematic and Dynamic analisis 2. Matrix rotation	1. Ceramah 2. Diskusi 3. Praktikum terbimbing 4. Latihan mandiri	16 x 60 menit	1. Modul ROBOTIK 2. Unit Komputer	1. Menjelaskan tujuan pembelajaran ROBOTIK, silabus, metode penilaian dan tugas 2. Menjelaskan tujuan pembelajaran Kinematic and Dynamic analisis 3. Menjelaskan tujuan pembelajaran Matrix rotation 4. Menjelaskan tujuan Praktikum Kinematic and Dynamic analisis 5. Menjelaskan dan mempraktekan sesuai prosedur dan benar tentang Kinematic and Dynamic analisis	1. Menyimak penjelasan dosen 2. Menyiapkan dan pengecekan seluruh peralatan yang digunakan untuk praktikum 3. Mempraktekan sesuai prosedur dan benar tentang Kinematic and Dynamic analisis, Matrix rotation 4. Melakukan perhitungan / pencatatan hasil praktikum Kinematic and Dynamic analisis 5. Menganalisa hasil praktikum Kinematic and Dynamic analisis 6. Membuat laporan hasil praktikum Kinematic and Dynamic analisis	Mahasiswa dapat : 1. Menjelaskan dengan benar pengertian Scada dan Aplikasinya di Industri 2. Melakukan Praktikum dengan benar sesuai procedure dan waktu yang telah ditentukan Kinematic and Dynamic analisis, Matrix rotation 3. Menganalisa hasil praktikum untuk dibandingkan dengan teori Scada dan Aplikasinya di Industri 4. Membuat laporan secara komprehensif

								Kinematic and Dynamic analisis, Matrix rotation
3 & 4	Mahasiswa dapat memahami Robot Operation	1. Industrial Robot operation controller 2. Safety regulation 3. Point Correction 4. Program simple	1. Ceramah 2. Diskusi 3. Praktikum terbimbing 4. Latihan mandiri	16 x 60 menit	1. Modul ROBOTIK 2. Unit Komputer	1. Menjelaskan tujuan pembelajaran Industrial Robot operation controller 2. Menjelaskan tujuan pembelajaran Safety regulation 3. Menjelaskan tujuan pembelajaran Point Correction 4. Menjelaskan tujuan pembelajaran Program simple 5. Menjelaskan tujuan Praktikum Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple 6. Menjelaskan dan mempraktekan sesuai prosedur dan benar tentang Industrial Robot operation	1. Menyimak penjelasan dosen 2. Menyiapkan dan pengecekan seluruh peralatan yang digunakan untuk praktikum 3. Mempraktekan sesuai prosedur dan benar tentang Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple 4. Melakukan perhitungan / pencatatan hasil praktikum Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple 5. Menganalisa hasil praktikum Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple	Mahasiswa dapat : 1. Menjelaskan dengan benar pengertian Scada dan Aplikasinya di Industri 2. Melakukan Praktikum dengan benar sesuai procedure dan waktu yang telah ditentukan Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple 3. Menganalisa hasil praktikum untuk dibandingkan dengan teori Industrial Robot operation controller, Safety

Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

						controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple	6. Membuat laporan hasil praktikum Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple	regulation, Point Correction, Program simple 4. Membuat laporan secara komprehensif Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple
5 - 8	Mahasiswa dapat memahami Robot technician	1. Robot technician 2. Commissioning 3. Mencari dan memperbaiki kesalahan control 4. Diagnose and rectify fault in controllers 5. Drive system and arm	1. Ceramah 2. Diskusi 3. Praktikum terbimbing 4. Latihan mandiri	32 x 60 menit	1. Modul ROBOTIK 2. Unit Komputer	1. Menjelaskan tujuan pembelajaran Robot technician 2. Menjelaskan tujuan pembelajaran Commissioning 3. Menjelaskan tujuan pembelajaran Mencari dan memperbaiki kesalahan control 4. Menjelaskan tujuan pembelajaran Diagnose and rectify fault in controllers 5. Menjelaskan tujuan pembelajaran	1. Menyimak penjelasan dosen 2. Menyiapkan dan pengocokan seluruh peralatan yang digunakan untuk praktikum 3. Mempraktekan sesuai prosedur dan benar tentang Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in controllers, Drive system and arm 4. Melakukan perhitungan /	Mahasiswa dapat : 1. Menjelaskan dengan benar pengertian Scada dan Aplikasinya di Industri 2. Melakukan Praktikum dengan benar sesuai prosedur dan waktu yang telah ditentukan Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in
						Drive system and arm 6. Menjelaskan tujuan Praktikum Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in controllers, Drive system and arm 7. Menjelaskan dan mempraktekan sesuai prosedur dan benar tentang Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in controllers, Drive system and arm	pencatatan hasil praktikum Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in controllers, Drive system and arm 5. Menganalisa hasil praktikum Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in controllers, Drive system and arm 6. Membuat laporan hasil praktikum Robot technician, Commissioning, Mencari dan memperbaiki kesalahan control, Diagnose and rectify fault in controllers, Drive system and arm	controllers, Drive system and arm Matrix rotation 3. Menganalisa hasil praktikum untuk dibandingkan dengan teori Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple 4. Membuat laporan secara komprehensif Industrial Robot operation controller, Safety regulation, Point Correction, Program simple

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

© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

