

Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi Berbasis Virtual Reality untuk Pelatihan Medis dan Pembelajaran Interaktif

I Gede Partha Sindu^{1*}, I Wayan Sukadana², Agus Adiarta³, Dewa Ayu Putu Adhiya Garini Putri⁴

^{1,4}Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Indonesia

^{1,3}Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

Keywords:

Virtual Reality;
Interactive Learning;
Medical Training;
User Experience;
Agile Development.

Correspondent Email:

partha.sindu@undiksha.ac.id

Abstrak. Perkembangan teknologi Virtual Reality (VR) memberikan peluang besar dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran dan pelatihan pada sektor kesehatan dan pendidikan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan perangkat lunak simulasi berbasis VR untuk pelatihan medis dan pembelajaran interaktif yang mampu memberikan pengalaman belajar yang imersif, interaktif, dan aman. Metode pengembangan sistem menggunakan pendekatan Agile dengan tahapan analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem dan antarmuka, pengembangan modul VR, integrasi perangkat keras VR, serta pengujian dan evaluasi sistem. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Unity 3D sebagai game engine, Blender untuk pembuatan model 3D, serta perangkat Meta Quest sebagai media implementasi VR. Pengujian sistem dilakukan melalui uji fungsionalitas, uji kompatibilitas perangkat VR, User Acceptance Test (UAT), dan evaluasi pengalaman pengguna menggunakan User Experience Questionnaire (UEQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu berjalan dengan baik dan memperoleh tingkat penerimaan pengguna sebesar 88,16% dengan kategori “Sangat Baik”. Evaluasi UEQ juga menunjukkan seluruh aspek pengalaman pengguna berada pada kategori positif. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi VR berpotensi menjadi media pelatihan medis dan pembelajaran interaktif yang efektif, inovatif, serta mendukung transformasi digital pendidikan kesehatan.



Copyright © [JPI](https://doi.org/10.23960/jpi.v7n1.374) (Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung).

Abstract. The rapid advancement of Virtual Reality (VR) technology has created significant opportunities to enhance learning and training effectiveness in healthcare and educational settings. This study aims to develop a VR-based simulation software system for medical training and interactive learning that provides an immersive, interactive, and safe learning experience. The system was developed using the Agile software development approach, consisting of requirements analysis, system and user interface design, VR module development, VR hardware integration, and system testing and evaluation. The application was implemented using Unity 3D as the game engine, Blender for 3D modelling, and Meta Quest as the VR platform. System evaluation was conducted through functional testing, VR device compatibility testing, User Acceptance Testing (UAT), and user experience assessment using the User Experience Questionnaire (UEQ). The results demonstrate that the developed system operated successfully and achieved a user acceptance score of 88.16%, which falls within the “Very Good” category. Furthermore, the UEQ results indicated positive evaluations across all user experience dimensions, including attractiveness, perspicuity, efficiency, dependability,

stimulation, and novelty. These findings suggest that VR technology has strong potential as an effective and innovative medium for medical training and interactive learning while supporting the digital transformation of healthcare education. The developed system provides a practical foundation for integrating immersive technologies into educational and clinical training environments.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital pada era revolusi industri 4.0 telah mendorong transformasi besar dalam bidang pendidikan dan kesehatan, khususnya melalui pemanfaatan teknologi Virtual Reality (VR). Teknologi VR memungkinkan pengguna memasuki lingkungan virtual tiga dimensi secara imersif melalui perangkat head-mounted display (HMD), sehingga pengguna dapat berinteraksi secara langsung dengan objek dan lingkungan simulasi yang menyerupai kondisi nyata. Implementasi VR pada sektor kesehatan dan pendidikan berkembang pesat karena mampu menghadirkan pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif, realistis, dan aman dibandingkan metode konvensional [1], [2].

Dalam bidang pendidikan kesehatan, metode pembelajaran konvensional sering menghadapi berbagai kendala seperti keterbatasan fasilitas laboratorium, tingginya biaya pelatihan, serta risiko keselamatan apabila praktik dilakukan langsung terhadap pasien. Selain itu, pembelajaran berbasis demonstrasi dan teori terkadang belum mampu memberikan pengalaman praktik yang optimal bagi mahasiswa kesehatan dan kedokteran. Teknologi VR hadir sebagai solusi inovatif yang memungkinkan pengguna melakukan simulasi prosedur medis dalam lingkungan virtual tanpa menimbulkan risiko nyata terhadap pasien maupun pengguna [1], [3].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan VR pada pendidikan kesehatan memberikan dampak positif terhadap peningkatan pemahaman konsep, keterampilan prosedural, motivasi belajar, dan keterlibatan pengguna. Studi meta-analisis yang dilakukan Chen *et al.* menunjukkan bahwa VR efektif meningkatkan kemampuan praktik dan pengetahuan pada pendidikan keperawatan [4]. Selain itu, penelitian Moro *et al.* menemukan bahwa mahasiswa kesehatan yang belajar menggunakan VR memperoleh performa

pembelajaran lebih baik dibandingkan metode pembelajaran tradisional [1], [5].

VR juga dinilai mampu meningkatkan pengalaman belajar berbasis simulasi karena menyediakan lingkungan yang aman, realistis, dan dapat diulang berkali-kali sesuai kebutuhan pengguna. Penelitian Lampropoulos menyebutkan bahwa lingkungan virtual yang imersif mampu mendukung pengembangan keterampilan klinis, pengambilan keputusan, serta kemampuan berpikir kritis pada mahasiswa kesehatan dan medis [1]. Selain itu, penggunaan simulasi VR dapat membantu mahasiswa memahami objek spasial dan anatomi secara lebih baik dibandingkan media dua dimensi konvensional [6], [7].

Pada konteks pelatihan medis, VR telah dimanfaatkan untuk simulasi tindakan bedah, anatomi, penanganan pasien darurat, rehabilitasi, dan pelatihan prosedur klinis lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi VR mampu meningkatkan rasa percaya diri pengguna, kesiapan praktik, serta efektivitas pembelajaran prosedural. Penelitian terbaru terkait pelatihan dokter pemula menggunakan VR menunjukkan bahwa simulasi imersif mampu meningkatkan kepuasan belajar dan kesiapan klinis peserta pelatihan [8], [9].

Selain memberikan manfaat pembelajaran, penggunaan VR juga menghadirkan tantangan teknis dan ergonomis. Salah satu tantangan utama adalah munculnya *motion sickness* atau *simulator sickness*, yaitu kondisi ketidaknyamanan yang dapat berupa pusing, mual, dan kelelahan mata akibat penggunaan perangkat VR dalam durasi tertentu. Risiko tersebut menjadi lebih tinggi pada pengguna yang memiliki kondisi mata minus atau silinder. Oleh karena itu, pengembangan sistem VR perlu memperhatikan optimasi visual, stabilitas *frame rate*, dan kenyamanan interaksi pengguna agar sistem dapat digunakan secara aman dan nyaman [10].

Selain aspek teknis, pengembangan perangkat lunak VR juga perlu memperhatikan aspek etika profesi insinyur, keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta profesionalisme keinsinyuran. Insinyur memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan aman digunakan, tidak menimbulkan dampak negatif bagi pengguna, serta memberikan manfaat nyata bagi masyarakat. Tantangan seperti keamanan data, kenyamanan pengguna, potensi gangguan kesehatan visual, dan kualitas simulasi menjadi bagian penting dalam pengembangan sistem berbasis VR[11].

Dalam implementasinya, pengembangan aplikasi VR memerlukan integrasi antara perangkat lunak, perangkat keras, desain interaksi, dan visualisasi tiga dimensi yang optimal. Unity 3D menjadi salah satu game engine yang banyak digunakan karena mendukung pengembangan simulasi interaktif secara real-time dan kompatibel dengan berbagai perangkat VR. Blender digunakan dalam proses pembuatan model tiga dimensi, sedangkan bahasa pemrograman C# digunakan untuk membangun logika sistem dan interaksi pengguna. Kombinasi teknologi tersebut memungkinkan pengembangan lingkungan simulasi yang realistis dan interaktif[11], [12].

Berdasarkan hasil observasi awal dan kajian literatur, masih ditemukan keterbatasan media pembelajaran praktikum berbasis VR yang mampu mengintegrasikan simulasi medis dan pembelajaran interaktif dalam satu platform yang mudah digunakan serta memiliki pengalaman pengguna yang baik. Selain itu, evaluasi terhadap kualitas pengalaman pengguna (user experience) pada sistem VR masih menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan untuk memastikan teknologi benar-benar efektif digunakan dalam proses pembelajaran.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat lunak simulasi berbasis VR untuk pelatihan medis dan pembelajaran interaktif menggunakan Unity 3D dan perangkat *Meta Quest*. Penelitian juga bertujuan mengevaluasi kualitas sistem melalui pengujian fungsionalitas, kompatibilitas perangkat VR, *User Acceptance Test* (UAT), serta evaluasi pengalaman pengguna menggunakan metode *User Experience Questionnaire* (UEQ). Selain itu, penelitian ini

mengkaji penerapan aspek etika profesi insinyur, keselamatan kesehatan dan keamanan kerja (K3), serta profesionalisme keinsinyuran dalam proses pengembangan perangkat lunak simulasi VR.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pembelajaran berbasis VR yang lebih aman, interaktif, dan efektif untuk mendukung pendidikan kesehatan dan pelatihan medis pada era transformasi digital.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan teknologi Virtual Reality (VR) dalam beberapa tahun terakhir telah memberikan dampak signifikan terhadap transformasi digital pada bidang pendidikan dan kesehatan. Teknologi VR memungkinkan pengguna memasuki lingkungan virtual tiga dimensi secara imersif sehingga mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih realistis dan interaktif dibandingkan metode pembelajaran konvensional. Dalam bidang pendidikan kesehatan, VR dimanfaatkan untuk simulasi prosedur medis, pelatihan keterampilan klinis, pembelajaran anatomi, hingga pelatihan penanganan keadaan darurat. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa implementasi VR mampu meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan pengguna, dan efektivitas pembelajaran berbasis praktik. Selain itu, VR dinilai mampu menyediakan lingkungan pembelajaran yang aman karena pengguna dapat melakukan latihan tanpa risiko terhadap pasien nyata [13], [14], [15].

Pada bidang pendidikan kesehatan dan keperawatan, penggunaan VR telah berkembang menjadi salah satu metode pembelajaran inovatif yang mendukung pembelajaran berbasis simulasi. Penelitian meta-analisis menunjukkan bahwa VR mampu meningkatkan pengetahuan teoritis, keterampilan praktik, retensi pembelajaran, dan kepuasan mahasiswa dibandingkan metode pembelajaran tradisional. Teknologi VR juga memungkinkan mahasiswa melakukan praktik berulang secara mandiri tanpa keterbatasan ruang dan waktu. Selain itu, simulasi VR memberikan pengalaman visual dan interaktif yang lebih baik sehingga membantu mahasiswa memahami konsep klinis secara lebih mendalam. Studi terbaru pada pendidikan

keperawatan menunjukkan bahwa simulasi VR dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan keterampilan praktik mahasiswa kesehatan secara signifikan [15], [16], [17].

Pengembangan perangkat lunak simulasi berbasis VR memerlukan integrasi antara teknologi grafis, perangkat keras VR, dan desain interaksi pengguna yang baik. Unity 3D menjadi salah satu game engine yang paling banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi VR karena memiliki kemampuan rendering real-time, dukungan SDK VR, serta kompatibilitas dengan berbagai perangkat head-mounted display seperti *Meta Quest*. Selain itu, penggunaan Blender sebagai perangkat lunak pemodelan tiga dimensi memungkinkan pengembang menciptakan objek virtual yang lebih realistis dan interaktif. Dalam implementasinya, pengembangan sistem VR tidak hanya berfokus pada visualisasi, tetapi juga memperhatikan pengalaman pengguna (user experience), efisiensi navigasi, dan kenyamanan interaksi pengguna di lingkungan virtual [18], [19], [20].

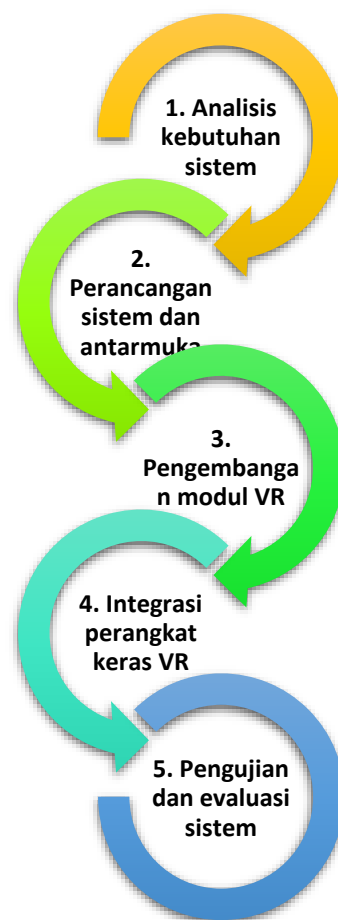
Meskipun VR memiliki banyak keunggulan dalam pembelajaran dan pelatihan medis, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi VR masih menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu tantangan utama adalah munculnya *motion sickness* atau *simulator sickness* yang dapat menyebabkan pusing, mual, dan kelelahan mata pada pengguna. Risiko tersebut meningkat pada pengguna yang memiliki kondisi mata minus atau silinder serta pengguna yang belum terbiasa menggunakan perangkat VR. Selain itu, keterbatasan realism simulasi, kebutuhan perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, dan biaya implementasi juga menjadi kendala dalam pengembangan sistem VR. Oleh karena itu, pengembang perlu melakukan optimasi performa sistem, stabilitas *frame rate*, dan desain navigasi yang nyaman agar pengalaman pengguna tetap optimal [21].

Berdasarkan kajian literatur, penelitian terkait pengembangan perangkat lunak simulasi berbasis VR untuk pelatihan medis dan pembelajaran interaktif masih terus berkembang, khususnya pada aspek pengalaman pengguna, efektivitas pembelajaran, dan integrasi teknologi *immersive learning*. Namun, masih diperlukan penelitian yang mengintegrasikan

pengembangan sistem VR dengan evaluasi fungsionalitas sistem, kompatibilitas perangkat VR, tingkat penerimaan pengguna, serta pengalaman pengguna menggunakan pendekatan seperti *User Acceptance Test* (UAT) dan *User Experience Questionnaire* (UEQ). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan perangkat lunak simulasi berbasis VR yang mampu mendukung pelatihan medis dan pembelajaran interaktif secara efektif, aman, dan mudah digunakan dengan memanfaatkan teknologi Unity 3D dan perangkat *Meta Quest* sebagai media implementasi simulasi virtual [19], [22].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Agile dalam pengembangan perangkat lunak simulasi VR. Metode Agile yang dimodifikasi dipilih karena memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara iteratif dan fleksibel sesuai kebutuhan pengguna. Tahapan pengembangan simulasi VR seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Pengembangan Simulasi VR

3.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap pertama adalah analisis kebutuhan sistem yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna terhadap perangkat lunak simulasi VR yang akan dikembangkan. Analisis dilakukan melalui observasi lingkungan pembelajaran, wawancara dengan mahasiswa kesehatan dan tenaga pendidik, serta studi literatur terkait implementasi VR dalam bidang pendidikan dan kesehatan.

Pada tahap ini, tim pengembang mengidentifikasi kebutuhan utama pengguna, seperti kebutuhan simulasi interaktif, navigasi yang mudah digunakan, tampilan visual yang realistis, serta kenyamanan penggunaan perangkat VR. Selain itu, dilakukan identifikasi terhadap spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan agar sistem dapat berjalan optimal pada perangkat Meta Quest.

Hasil dari tahap ini berupa dokumen kebutuhan sistem (Software Requirement Specification/SRS) yang menjadi dasar dalam proses perancangan dan pengembangan perangkat lunak.

3.2. Perancangan Sistem dan Antarmuka

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem dan antarmuka pengguna (User Interface/User Experience). Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur perangkat lunak, struktur navigasi sistem, alur simulasi, dan desain interaksi pengguna dalam lingkungan virtual.

Perancangan antarmuka dilakukan menggunakan Figma dengan pendekatan *user-centered design* agar sistem mudah dipahami dan digunakan oleh pengguna. Antarmuka dirancang sederhana dan intuitif untuk mengurangi kebingungan pengguna saat menggunakan perangkat VR.

Selain desain antarmuka, pada tahap ini juga dilakukan penyusunan *storyboard* simulasi yang menggambarkan skenario pelatihan medis dan pembelajaran interaktif, termasuk posisi objek virtual, urutan aktivitas pengguna, dan mekanisme interaksi dalam lingkungan virtual. Tahap perancangan menjadi penting karena kualitas desain sistem sangat memengaruhi kenyamanan dan pengalaman pengguna saat menggunakan aplikasi VR.

3.3. Pengembangan Modul VR

Tahap pengembangan modul VR merupakan proses implementasi sistem berdasarkan desain yang telah dibuat sebelumnya. Pengembangan dilakukan menggunakan Unity 3D sebagai game engine utama dan bahasa pemrograman C# untuk membangun logika sistem dan interaksi pengguna.

Pada tahap ini dilakukan:

- a) Pembuatan lingkungan virtual
- b) Integrasi objek 3D
- c) Pengembangan sistem navigasi
- d) Implementasi interaksi objek
- e) Pengaturan audio dan visual simulasi
- f) Pengembangan skenario pembelajaran dan pelatihan medis

Model tiga dimensi dibuat menggunakan Blender dan kemudian diintegrasikan ke dalam Unity. Pengembangan dilakukan secara bertahap agar setiap fitur dapat diuji dan dievaluasi sebelum dilanjutkan ke tahap berikutnya. Selain itu, pengembang juga melakukan optimasi grafis dan rendering untuk menjaga kestabilan performa aplikasi selama digunakan pada perangkat VR.

Penelitian ini menggunakan beberapa teknologi utama untuk mendukung proses pengembangan perangkat lunak simulasi berbasis VR. Teknologi yang digunakan dipilih berdasarkan kebutuhan pengembangan sistem interaktif, kompatibilitas perangkat VR, serta kemampuan dalam membangun lingkungan simulasi tiga dimensi yang realistis dan responsif.

Teknologi utama yang digunakan adalah Unity 3D sebagai game engine dalam pengembangan aplikasi VR. Unity dipilih karena memiliki kemampuan pengembangan grafis real-time yang baik, dukungan SDK VR yang lengkap, serta kompatibilitas tinggi dengan perangkat *head-mounted display* seperti Meta Quest. Unity digunakan untuk membangun lingkungan virtual, mengatur interaksi pengguna, mengelola objek tiga dimensi, serta mengintegrasikan seluruh modul simulasi dalam satu sistem aplikasi.

Untuk proses pembuatan model tiga dimensi, penelitian ini menggunakan Blender. Blender digunakan untuk membuat objek 3D, lingkungan virtual, animasi, serta elemen visual lainnya yang diperlukan dalam simulasi pembelajaran dan pelatihan medis. Penggunaan

Blender memungkinkan pengembang menghasilkan model yang lebih realistis dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan simulasi interaktif.

Bahasa pemrograman yang digunakan dalam pengembangan sistem adalah C#. Bahasa ini digunakan untuk membangun logika aplikasi, sistem navigasi, kontrol interaksi pengguna, pengelolaan objek virtual, serta mekanisme simulasi dalam Unity. C# dipilih karena merupakan bahasa pemrograman utama yang didukung oleh Unity sehingga memudahkan proses integrasi dan pengembangan fitur sistem.

Dalam implementasi lingkungan virtual, penelitian menggunakan perangkat Meta Quest sebagai perangkat Virtual Reality utama. Meta Quest digunakan untuk menampilkan simulasi VR secara imersif melalui teknologi head-mounted display. Perangkat ini mendukung interaksi pengguna melalui kontroler VR dan sistem pelacakan gerakan (*motion tracking*) sehingga pengguna dapat berinteraksi secara langsung dengan objek virtual dalam simulasi pembelajaran.

3.4. Integrasi Perangkat Keras VR

Setelah modul perangkat lunak selesai dikembangkan, tahap berikutnya adalah integrasi sistem dengan perangkat keras VR *Meta Quest*. Tahap ini bertujuan memastikan aplikasi dapat berjalan dengan baik pada perangkat VR yang digunakan.

Pada tahap integrasi dilakukan:

- a) Konfigurasi SDK VR
- b) Sinkronisasi kontroler VR
- c) Pengaturan tracking gerakan pengguna
- d) Optimasi *frame rate*
- e) Pengujian kompatibilitas visual dan audio

Pengembang juga melakukan penyesuaian tampilan dan navigasi agar pengguna merasa nyaman saat menggunakan perangkat VR. Optimasi dilakukan untuk mengurangi risiko *motion sickness* yang sering terjadi pada aplikasi VR dengan performa visual yang kurang stabil.

Tahap ini menjadi sangat penting karena keberhasilan aplikasi VR tidak hanya bergantung pada perangkat lunak, tetapi juga kemampuan sistem dalam berintegrasi dengan perangkat keras secara optimal.

3.5. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Tahap terakhir adalah pengujian dan evaluasi sistem untuk memastikan perangkat lunak berjalan sesuai tujuan penelitian. Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian teknis hingga evaluasi pengalaman pengguna.

Pengujian meliputi:

- a) Uji fungsionalitas sistem
- b) Uji kompatibilitas perangkat VR
- c) *User Acceptance Test* (UAT)
- d) Evaluasi pengalaman pengguna menggunakan UEQ (User Experience Questionnaire)

Uji fungsionalitas dilakukan untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai rancangan. Uji kompatibilitas dilakukan untuk memastikan sistem dapat berjalan stabil pada perangkat Meta Quest. Selanjutnya, UAT dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem.

Evaluasi pengalaman pengguna menggunakan UEQ dilakukan untuk mengukur kualitas pengalaman pengguna dari aspek daya tarik, efisiensi, kemudahan penggunaan, stimulasi, dan inovasi sistem. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan sistem sebelum aplikasi dinyatakan final.

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat lunak simulasi berbasis Virtual Reality (VR) dapat berjalan dengan baik, stabil, dan memberikan pengalaman pengguna yang positif. Proses pengujian terdiri dari beberapa tahapan, yaitu uji fungsionalitas sistem, uji kompatibilitas perangkat VR, *User Acceptance Test* (UAT), dan *User Experience Questionnaire* (UEQ).

Uji fungsionalitas sistem dilakukan untuk memastikan seluruh fitur pada aplikasi berjalan sesuai rancangan. Pengujian meliputi navigasi pengguna, interaksi objek virtual, visualisasi lingkungan simulasi, audio, serta skenario pembelajaran dan pelatihan medis. Pengujian ini bertujuan memastikan sistem dapat digunakan tanpa mengalami kesalahan fungsi (*error*) selama proses simulasi berlangsung.

Uji kompatibilitas perangkat VR dilakukan untuk memastikan aplikasi dapat berjalan secara optimal pada perangkat Meta Quest. Pengujian ini meliputi stabilitas *frame rate*, respons kontrol VR, tracking gerakan pengguna, kualitas visual, serta stabilitas

aplikasi selama digunakan. Pengujian dilakukan menggunakan FPS Counter, monitoring performa Unity, dan observasi langsung pengguna.

Selanjutnya, *User Acceptance Test* (UAT) dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Pengujian ini melibatkan responden mahasiswa kesehatan dan kedokteran untuk menilai aspek fungsi sistem, kemudahan penggunaan, kenyamanan interaksi, kesesuaian simulasi, dan kepuasan pengguna menggunakan kuesioner skala Likert dengan jumlah responden 38 peserta. Berikut merupakan Variabel dan Pertanyaan UAT pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel dan Pertanyaan UAT

A. Variabel Fungsi Sistem	
Kode	Pertanyaan
FS1	Sistem simulasi VR dapat berjalan dengan baik tanpa error.
FS2	Fitur-fitur dalam sistem berfungsi sesuai kebutuhan pengguna.
FS3	Sistem mampu menampilkan simulasi dengan jelas dan interaktif.
FS4	Proses perpindahan menu dan simulasi berjalan dengan baik.
B. Variabel Kemudahan Penggunaan	
Kode	Pertanyaan
KP1	Sistem VR mudah dipahami saat pertama kali digunakan.
KP2	Navigasi dalam lingkungan virtual mudah dilakukan.
KP3	Pengguna mudah memahami fungsi kontrol VR.
KP4	Tampilan antarmuka sistem mudah digunakan.
C. Variabel Kenyamanan Interaksi	
Kode	Pertanyaan
KI1	Sistem VR nyaman digunakan selama simulasi berlangsung.
KI2	Interaksi objek virtual berjalan responsif.
KI3	Tampilan visual VR nyaman dilihat pengguna.
KI4	Penggunaan perangkat VR tidak terlalu mengganggu kenyamanan pengguna.

D. Variabel Kesesuaian Simulasi	
Kode	Pertanyaan
KS1	Simulasi VR sesuai dengan kebutuhan pembelajaran/pelatihan.
KS2	Objek dan lingkungan virtual terlihat realistis.
KS3	Sistem mampu membantu memahami materi pembelajaran.
KS4	Simulasi mendukung latihan praktik secara efektif.
E. Variabel Kepuasan Pengguna	
Kode	Pertanyaan
KPG1	Pengguna merasa puas menggunakan sistem VR.
KPG2	Sistem VR memberikan pengalaman belajar yang menarik.
KPG3	Pengguna tertarik menggunakan sistem kembali di masa depan.
KPG4	Sistem layak diterapkan dalam pembelajaran dan pelatihan kesehatan.

3.6. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian dan praktik keinsinyuran dilaksanakan di Laboratorium Komputer dan Laboratorium Virtual Reality Universitas Pendidikan Ganesha (Undiksha) yang berlokasi di Singaraja, Bali. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium yang mendukung proses pengembangan perangkat lunak berbasis Virtual Reality (VR), seperti komputer dengan spesifikasi grafis tinggi, perangkat head-mounted display (HMD), jaringan pendukung, serta lingkungan pengujian sistem VR yang memadai.

Laboratorium Komputer digunakan sebagai pusat pengembangan perangkat lunak, proses pemrograman sistem, pembuatan antarmuka, pengolahan aset digital, dan integrasi modul aplikasi menggunakan Unity 3D. Sementara itu, Laboratorium VR digunakan sebagai tempat implementasi dan pengujian aplikasi menggunakan perangkat Meta Quest untuk memastikan sistem dapat berjalan secara optimal pada lingkungan virtual secara real-time.

Penelitian dilaksanakan selama periode Januari hingga April 2026. Pada tahap awal, kegiatan difokuskan pada analisis kebutuhan sistem dan perancangan aplikasi. Selanjutnya dilakukan proses pengembangan perangkat

lunak, integrasi perangkat VR, serta pengujian sistem dan evaluasi pengalaman pengguna. Tahapan penelitian dilakukan secara bertahap dan iteratif menggunakan metode Agile sehingga setiap proses pengembangan dapat dievaluasi dan diperbaiki secara berkelanjutan berdasarkan hasil pengujian dan umpan balik pengguna.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa perangkat lunak simulasi berbasis VR yang mampu menampilkan lingkungan virtual interaktif untuk pelatihan medis dan pembelajaran pendidikan. Sistem memungkinkan pengguna melakukan navigasi virtual, interaksi objek 3D, serta simulasi prosedur pembelajaran secara real-time. Materi virtual yang dikembangkan difokuskan pada praktikum anatomi dan pembedahan.

Pengembangan dilakukan menggunakan Unity dengan integrasi model 3D dan perangkat Meta Quest sehingga menghasilkan pengalaman pembelajaran yang lebih imersif dibandingkan metode konvensional.



Gambar 2. Desain Anatomi di lingkungan VR



Gambar 3. Praktikum Anatomi di lingkungan Simulasi VR



Gambar 4. Praktikum pembedahan Minor di lingkungan VR



Gambar 5. Praktikum pembedahan Minor di lingkungan VR

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat lunak simulasi berbasis Virtual Reality (VR) yang dikembangkan dapat berjalan dengan baik, stabil, aman, serta memberikan pengalaman pengguna yang positif. Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian teknis

sistem hingga evaluasi pengalaman pengguna (user experience). Seluruh proses pengujian dilakukan di Laboratorium VR Universitas Pendidikan Ganesha (Undiksha) dengan melibatkan 38 responden mahasiswa kesehatan dan kedokteran.

4.1. Uji Fungsionalitas Sistem

Uji fungsionalitas sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fitur utama pada perangkat lunak simulasi berbasis Virtual Reality (VR) dapat berjalan sesuai rancangan. Pengujian ini berfokus pada kesesuaian fungsi sistem dengan kebutuhan pengguna, khususnya untuk mendukung pelatihan medis dan pembelajaran interaktif. Pengujian dilakukan sebelum sistem diberikan kepada pengguna akhir dalam tahap UAT dan evaluasi pengalaman pengguna. Tujuannya adalah memastikan tidak terdapat kesalahan fungsi utama, seperti kegagalan navigasi, objek tidak dapat diinteraksikan, audio tidak berjalan, atau aplikasi berhenti secara tiba-tiba saat digunakan pada perangkat VR.

Metode yang digunakan adalah Black Box Testing, yaitu pengujian berdasarkan fungsi sistem tanpa meninjau kode program secara langsung. Penguji menjalankan setiap fitur aplikasi sesuai skenario penggunaan, kemudian mencatat apakah hasil aktual sesuai dengan hasil yang diharapkan. Setiap fitur dinilai dengan status yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Fungsionalitas Sistem

No	Aspek yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil Pengujian	Status
1	Menu utama aplikasi	Pengguna membuka aplikasi VR melalui perangkat Meta Quest	Menu utama tampil normal, tombol simulasi dan keluar dapat diakses	Valid
2	Pemilihan mode simulasi	Pengguna memilih mode pelatihan medis atau pembelajaran interaktif	Sistem berhasil membuka mode yang dipilih tanpa error	Valid

No	Aspek yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil Pengujian	Status
3	Navigasi lingkungan VR	Pengguna melakukan perpindahan posisi dalam ruang virtual	Navigasi berjalan lancar dan posisi pengguna berubah sesuai input	Valid
4	Interaksi objek virtual	Pengguna memilih dan mengambil objek simulasi	Objek virtual dapat diinteraksikan dengan baik	Valid
5	Visualisasi objek 3D	Pengguna mengamati objek dan lingkungan simulasi	Objek 3D tampil stabil dan sesuai rancangan	Valid
6	Audio instruksi	Pengguna menjalankan simulasi dengan panduan audio	Audio instruksi berjalan normal dan sinkron dengan aktivitas	Valid
7	Skenario pelatihan medis	Pengguna menjalankan tahapan simulasi medis	Tahapan simulasi medis berjalan berurutan dan dapat diikuti pengguna	Valid
8	Skenario pembelajaran interaktif	Pengguna mengakses materi pembelajaran virtual	Materi pembelajaran dapat diakses dan objek merespons input pengguna	Valid
9	Sistem umpan balik	Pengguna menyelesaikan simulasi	Sistem berhasil menampilkan umpan balik setelah simulasi selesai	Valid
10	Reset simulasi	Pengguna menekan tombol reset	Sistem berhasil mengembalikan simulasi ke posisi awal	Valid
11	Tombol keluar aplikasi	Pengguna memilih menu keluar	Fitur keluar berjalan sesuai rancangan	Valid

No	Aspek yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil Pengujian	Status
12	Stabilitas aplikasi	Aplikasi dijalankan selama sesi simulasi	Aplikasi berjalan stabil selama sesi pengujian	Valid

Berdasarkan hasil uji fungsionalitas, seluruh fitur utama pada perangkat lunak simulasi VR dinyatakan valid. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan rancangan awal dan mampu mendukung kebutuhan pelatihan medis serta pembelajaran interaktif.

Fitur menu utama aplikasi dan pemilihan mode simulasi berhasil berjalan dengan baik. Pengguna dapat memilih mode pelatihan medis maupun mode pembelajaran interaktif tanpa mengalami kesalahan sistem. Hal ini menunjukkan bahwa struktur navigasi awal aplikasi sudah dirancang secara jelas dan mudah diakses.

Pada aspek navigasi lingkungan VR, sistem mampu merespons input pengguna dengan baik. Pengguna dapat berpindah posisi di dalam ruang virtual sesuai kontrol yang digunakan. Hasil ini penting karena navigasi merupakan elemen utama dalam aplikasi VR. Navigasi yang tidak responsif dapat menyebabkan pengguna merasa bingung, tidak nyaman, bahkan meningkatkan risiko *motion sickness*.

Fitur interaksi objek virtual juga berjalan sesuai harapan. Objek simulasi dapat dipilih, diangkat, dan digunakan oleh pengguna. Keberhasilan fitur ini menunjukkan bahwa sistem telah mampu menyediakan pengalaman interaktif, bukan sekadar visualisasi pasif. Dalam konteks pelatihan medis dan pembelajaran, interaksi objek menjadi bagian penting karena pengguna perlu melakukan aktivitas praktik secara langsung di lingkungan virtual.

Dari sisi visualisasi objek 3D, hasil pengujian menunjukkan bahwa objek dan lingkungan virtual tampil stabil, jelas, dan proporsional. Tidak ditemukan kerusakan tampilan seperti objek hilang, tekstur rusak, atau tampilan tidak sinkron. Hal ini menunjukkan bahwa proses integrasi model 3D dari Blender ke Unity telah berjalan dengan baik.

Aspek audio instruksi juga dinyatakan valid. Audio berjalan sesuai tahapan simulasi dan dapat membantu pengguna memahami langkah-langkah aktivitas. Keberadaan audio instruksi menjadi penting karena dapat mengurangi beban pengguna dalam membaca teks selama menggunakan headset VR.

Pada pengujian skenario pelatihan medis, sistem mampu menampilkan tahapan simulasi secara berurutan. Pengguna dapat mengikuti alur prosedur yang telah dirancang. Sementara itu, pada skenario pembelajaran interaktif, materi dan objek pembelajaran dapat diakses dengan baik serta merespons tindakan pengguna.

Fitur umpan balik, reset simulasi, dan keluar aplikasi juga berjalan sesuai rancangan. Sistem dapat memberikan respons setelah aktivitas selesai, mengulang simulasi ke kondisi awal, serta keluar dari aplikasi tanpa error. Ketiga fitur ini penting untuk memastikan sistem mudah digunakan, aman, dan tidak membingungkan pengguna.

Secara umum, hasil uji menunjukkan bahwa perangkat lunak simulasi berbasis VR telah memenuhi aspek fungsional utama. Dengan demikian, sistem dinyatakan layak untuk dilanjutkan ke tahap *User Acceptance Test* (UAT) dan evaluasi pengalaman pengguna menggunakan UEQ.

4.2. Uji Kompatibilitas Perangkat VR

Uji kompatibilitas perangkat VR dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat lunak simulasi berbasis VR dapat berjalan secara optimal pada perangkat *Meta Quest*. Pengujian ini bertujuan menilai kestabilan aplikasi, kualitas visual, respons kontrol, performa grafis, serta kenyamanan pengguna ketika sistem digunakan dalam skenario pelatihan medis dan pembelajaran interaktif.

Pengujian kompatibilitas penting dilakukan karena aplikasi VR memiliki kebutuhan teknis yang lebih tinggi dibandingkan aplikasi desktop biasa. Sistem VR harus mampu menampilkan visual secara stabil, merespons gerakan pengguna secara cepat, serta menjaga performa agar tidak menimbulkan gangguan seperti lag, tampilan patah-patah, atau motion sickness. Pengujian kompatibilitas dilakukan dengan tiga metode utama, yaitu FPS Counter, Monitoring Performa Unity, dan Observasi Langsung Pengguna.

FPS Counter digunakan untuk mengukur jumlah frame yang ditampilkan setiap detik selama aplikasi berjalan. Pengukuran FPS penting karena performa visual yang rendah dapat menyebabkan pengalaman VR menjadi tidak nyaman. Pada aplikasi VR, frame rate yang stabil sangat dibutuhkan untuk menjaga kenyamanan visual pengguna. Dalam pengujian ini, FPS diamati saat pengguna berada pada menu utama, lingkungan simulasi medis, lingkungan pembelajaran interaktif, dan saat pengguna melakukan interaksi dengan objek virtual.

Monitoring performa dilakukan melalui fitur Profiler pada Unity untuk mengevaluasi penggunaan CPU, GPU, memori, rendering, dan beban objek 3D. Monitoring ini bertujuan mengetahui apakah aplikasi berjalan stabil dari sisi teknis dan apakah terdapat beban pemrosesan berlebih yang dapat mengganggu performa. Parameter yang diamati meliputi penggunaan memori, waktu rendering, stabilitas objek 3D, serta kemungkinan terjadinya penurunan performa saat sistem menampilkan banyak objek virtual.

Observasi langsung dilakukan saat responden menggunakan perangkat *Meta Quest* untuk menjalankan simulasi. Pengamatan difokuskan pada kenyamanan pengguna, respons kontrol, kelancaran navigasi, dan gejala fisik seperti pusing, mual, atau kelelahan mata. Observasi ini penting karena kompatibilitas VR tidak hanya ditentukan oleh performa teknis, tetapi juga pengalaman nyata pengguna ketika berinteraksi dengan sistem. Berikut merupakan Hasil Uji Kompatibilitas VR pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kompatibilitas VR

No	Aspek yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Uji	Status
1	Koneksi aplikasi dengan Meta Quest	Observasi langsung dan deployment aplikasi	Aplikasi berhasil dijalankan pada perangkat Meta Quest tanpa kegagalan koneksi	Valid

No	Aspek yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Uji	Status
2	Stabilitas frame rate	FPS Counter	Frame rate berada pada kisaran stabil dan tidak mengalami penurunan signifikan selama simulasi	Valid
3	Tracking gerakan kepala	Observasi langsung pengguna	Gerakan kepala pengguna terdeteksi dengan baik dan tampilan virtual mengikuti arah pandang secara responsif	Valid
4	Tracking kontroler VR	Observasi langsung pengguna	Kontroler dapat digunakan untuk memilih menu dan berinteraksi dengan objek virtual	Valid
5	Respons interaksi objek	Observasi langsung dan monitoring Unity	Objek virtual merespons input pengguna dengan baik saat dipilih, diambil, dan digunakan	Valid
6	Stabilitas visual objek 3D	Monitoring performa Unity	Objek 3D, tekstur, dan pencahayaan tampil stabil tanpa kerusakan visual	Valid
7	Latensi sistem	FPS Counter dan observasi langsung	Respons sistem terhadap input pengguna terasa cepat dan tidak mengganggu proses simulasi	Valid
8	Penggunaan memori aplikasi	Monitoring performa Unity	Penggunaan memori berada dalam kondisi stabil selama aplikasi dijalankan	Valid
9	Stabilitas aplikasi selama simulasi	Observasi langsung dan monitoring Unity	Aplikasi berjalan hingga akhir sesi tanpa crash, freeze, atau keluar otomatis	Valid

No	Aspek yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Uji	Status
10	Kenyamanan pengguna	Observasi langsung pengguna	Sebagian besar pengguna dapat menyelesaikan simulasi dengan baik, namun beberapa mengalami pusing ringan dan kelelahan mata	Valid dengan catatan
11	Kompatibilitas audio-visual	Observasi langsung pengguna	Audio instruksi dan visual simulasi berjalan sinkron selama penggunaan	Valid
12	Perpindahan scene simulasi	FPS Counter dan monitoring Unity	Perpindahan dari menu utama ke simulasi berjalan lancar tanpa keterlambatan berarti	Valid

Berdasarkan hasil uji kompatibilitas, perangkat lunak simulasi VR dinyatakan kompatibel dengan perangkat *Meta Quest*. Aplikasi dapat dijalankan dengan baik mulai dari tahap pembukaan sistem, pemilihan menu, proses simulasi, interaksi objek, hingga keluar dari aplikasi.

Pada aspek koneksi aplikasi dengan perangkat *Meta Quest*, sistem berhasil dijalankan tanpa kendala koneksi. Hal ini menunjukkan bahwa proses *deployment* aplikasi dan konfigurasi perangkat VR telah berjalan sesuai kebutuhan teknis. Aplikasi dapat diakses langsung melalui perangkat VR dan seluruh menu utama dapat digunakan dengan baik.

Hasil pengujian frame rate menunjukkan bahwa aplikasi berjalan stabil dan tidak mengalami penurunan performa yang signifikan selama simulasi. Stabilitas *frame rate* menjadi faktor penting dalam penggunaan VR karena tampilan yang tidak stabil dapat menyebabkan pengguna merasa pusing atau tidak nyaman. Dengan hasil yang stabil, sistem dinilai layak digunakan dalam sesi pelatihan medis dan pembelajaran interaktif.

Pada aspek *tracking* gerakan kepala, perangkat mampu mendeteksi pergerakan pengguna secara responsif. Tampilan virtual

mengikuti arah pandang pengguna dengan baik, sehingga pengguna merasa berada dalam lingkungan simulasi secara lebih alami. *Tracking* yang responsif juga berkontribusi terhadap peningkatan rasa imersif dalam pembelajaran VR.

Pengujian tracking kontroler VR menunjukkan bahwa kontroler dapat digunakan untuk memilih menu, melakukan navigasi, serta berinteraksi dengan objek virtual. Respons kontroler berjalan sesuai input pengguna tanpa keterlambatan yang mengganggu. Hal ini penting karena interaksi dalam simulasi medis dan pembelajaran interaktif sangat bergantung pada kemampuan pengguna dalam memanipulasi objek virtual.

Pada aspek respons interaksi objek, sistem menunjukkan hasil yang baik. Objek virtual dapat dipilih, diambil, dan digunakan sesuai skenario simulasi. Interaksi ini menunjukkan bahwa integrasi antara model 3D, kontrol pengguna, dan logika program pada Unity telah berjalan dengan baik.

Hasil monitoring Unity menunjukkan bahwa visual objek 3D, tekstur, dan pencahayaan tampil stabil. Tidak ditemukan objek yang hilang, tekstur rusak, atau tampilan berkedip selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa proses optimasi aset 3D dan rendering telah dilakukan dengan baik.

Dari sisi latensi sistem, respons aplikasi terhadap input pengguna tergolong cepat dan tidak menghambat jalannya simulasi. Latensi yang rendah sangat penting dalam aplikasi VR karena jeda respons yang terlalu besar dapat mengurangi kenyamanan dan menurunkan kualitas pengalaman pengguna.

Pada aspek penggunaan memori, aplikasi berjalan stabil tanpa lonjakan penggunaan memori yang menyebabkan aplikasi berhenti. Hal ini menunjukkan bahwa sistem cukup efisien dalam mengelola aset virtual dan proses rendering selama sesi simulasi berlangsung.

Hasil pengujian stabilitas aplikasi menunjukkan bahwa aplikasi dapat digunakan hingga akhir sesi tanpa mengalami crash, freeze, atau keluar otomatis. Dengan demikian, aplikasi dinilai cukup andal untuk digunakan dalam pengujian pengguna secara lebih luas.

Namun, pada aspek kenyamanan pengguna, ditemukan bahwa beberapa pengguna mengalami pusing ringan dan kelelahan mata. Kondisi ini terutama terjadi pada responden

yang memiliki mata minus atau silinder, serta pengguna yang belum terbiasa menggunakan perangkat VR dalam durasi tertentu. Meskipun demikian, gejala yang muncul bersifat ringan dan tidak menghambat penyelesaian simulasi. Secara keseluruhan, hasil uji kompatibilitas menunjukkan bahwa perangkat lunak simulasi berbasis VR telah memenuhi kebutuhan teknis untuk dijalankan pada perangkat Meta Quest

4.3. Hasil Pengujian User Acceptance Test (UAT)

Berikut adalah Tabel 4. Rekapitulasi Hasil *User Acceptance Test* (UAT) berdasarkan rata-rata masing-masing variabel yang telah dihitung.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil *User Acceptance Test* (UAT)

No	Variabel	Rata-rata Skor	Skor Maksimum	Persentase (%)	Kategori
1	Fungsi Sistem	169,75	190	89,34%	Sangat Baik
2	Kemudahan Penggunaan	165,50	190	87,11%	Sangat Baik
3	Kenyamanan Interaksi	160,00	190	84,21%	Sangat Baik
4	Kesesuaian Simulasi	170,50	190	89,74%	Sangat Baik
5	Kepuasan Pengguna	171,75	190	90,39%	Sangat Baik
Total	Keseluruhan UAT	837,50	950	88,16%	Sangat Baik

Berdasarkan hasil perhitungan *User Acceptance Test* (UAT), sistem simulasi berbasis Virtual Reality memperoleh nilai persentase keseluruhan sebesar 88,16%. Hasil tersebut berada pada kategori: "Sangat Baik"

Hal ini menunjukkan bahwa perangkat lunak simulasi VR yang dikembangkan dapat diterima dengan baik oleh pengguna. Perangkat Simulasi VR yang dikembangkan memiliki fungsi sistem yang berjalan optimal, mudah digunakan, memberikan pengalaman interaksi yang baik, sesuai untuk kebutuhan

pembelajaran dan pelatihan, memberikan tingkat kepuasan pengguna yang tinggi.

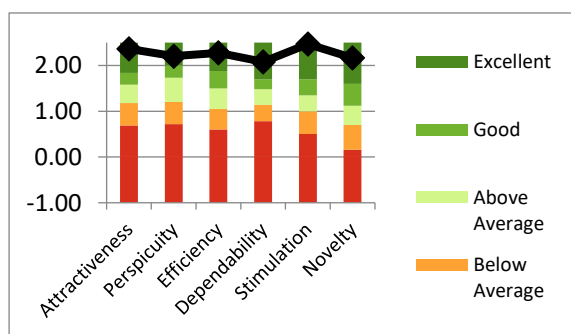
Meskipun demikian, variabel kenyamanan interaksi memperoleh nilai sedikit lebih rendah dibanding variabel lain. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa responden yang mengalami ketidaknyamanan ringan seperti pusing dan kelelahan mata akibat penggunaan perangkat VR dalam durasi tertentu. Namun secara keseluruhan, sistem dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran dan pelatihan berbasis Virtual Reality.

4.4. Hasil Pengujian UEQ

Berdasarkan hasil evaluasi *User Experience Questionnaire* (UEQ) yang melibatkan 38 responden, perangkat lunak simulasi berbasis *Virtual Reality* (VR) untuk pelatihan medis dan pembelajaran interaktif memperoleh penilaian yang sangat positif pada seluruh dimensi pengalaman pengguna. Nilai rata-rata masing-masing skala berada pada rentang 2,079 hingga 2,467, yang menunjukkan bahwa sistem telah memberikan pengalaman penggunaan yang sangat baik.

Tabel 5. Nilai Rata-rata Skala UEQ

UEQ Scales (Mean and Variance)		
Attractiveness	2.364	0.35
Perspicuity	2.204	0.68
Efficiency	2.276	0.39
Dependability	2.079	0.90
Stimulation	2.467	0.32
Novelty	2.164	0.58



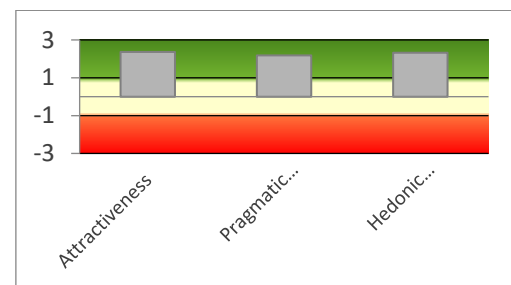
Gambar 6. Hasil Interpretasi UEQ

Menurut interpretasi UEQ, nilai di atas 0,8 dikategorikan positif dan nilai di atas 2,0 menunjukkan kualitas pengalaman pengguna yang sangat tinggi (excellent). Hasil ini mengindikasikan bahwa aplikasi VR yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan

pengguna baik dari aspek fungsional maupun aspek emosional selama proses pembelajaran dan pelatihan.

Tabel 6. Interpretasi Kualitas Pragmatik dan Hedonik

Pragmatic and Hedonic Quality	
Attractiveness	2.36
Pragmatic Quality	2.19
Hedonic Quality	2.32



Gambar 7. Hasil Interpretasi Attractiveness, Pragmatik dan Hedonik

Pada aspek *Attractiveness*, sistem memperoleh nilai rata-rata sebesar 2,364, yang menunjukkan bahwa pengguna memiliki kesan umum yang sangat positif terhadap aplikasi. Pengguna menilai sistem sebagai media pembelajaran yang menarik, menyenangkan, dan memberikan pengalaman yang berbeda dibandingkan metode pembelajaran konvensional. Nilai tinggi pada aspek ini menunjukkan bahwa kombinasi desain visual, interaksi pengguna, dan lingkungan virtual berhasil menciptakan pengalaman yang mampu meningkatkan minat pengguna dalam mengikuti simulasi. Selain itu, skor *Perspicuity* sebesar 2,204 menunjukkan bahwa sistem mudah dipahami dan dipelajari oleh pengguna, termasuk bagi pengguna yang baru pertama kali menggunakan teknologi VR. Hal ini menunjukkan bahwa desain antarmuka dan mekanisme navigasi yang diterapkan telah berhasil mendukung kemudahan penggunaan sistem.

Dari sisi kualitas pragmatik (Pragmatic Quality), hasil UEQ menunjukkan nilai rata-rata sebesar 2,19, yang diperoleh dari kombinasi dimensi *Perspicuity* (2,204), *Efficiency* (2,276), dan *Dependability* (2,079). Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kegunaan (usability) yang

sangat baik. Pengguna merasa sistem mampu membantu mereka menyelesaikan aktivitas pembelajaran secara efisien dan terstruktur. Aspek *Efficiency* yang memperoleh skor 2,276 menunjukkan bahwa pengguna dapat berinteraksi dengan sistem secara cepat dan tanpa hambatan yang berarti. Meskipun demikian, dimensi *Dependability* memperoleh nilai paling rendah dibandingkan dimensi lainnya, yaitu 2,079, dengan varians terbesar (0,90). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian pengguna masih merasakan adanya perbedaan tingkat kenyamanan atau kendali terhadap sistem, yang kemungkinan dipengaruhi oleh pengalaman penggunaan VR yang berbeda-beda, kondisi kesehatan mata, serta adaptasi terhadap perangkat VR.

Sementara itu, kualitas hedonik (*Hedonic Quality*) yang terdiri dari dimensi *Stimulation* dan *Novelty* memperoleh nilai rata-rata sebesar 2,32, yang menunjukkan bahwa aplikasi tidak hanya berfungsi dengan baik tetapi juga memberikan pengalaman yang menyenangkan dan memotivasi pengguna. Dimensi *Stimulation* memperoleh skor tertinggi yaitu 2,467, menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan antusiasme pengguna selama proses pembelajaran. Selain itu, dimensi *Novelty* memperoleh nilai 2,164, yang mengindikasikan bahwa pengguna menganggap sistem sebagai media pembelajaran yang inovatif, kreatif, dan modern. Secara keseluruhan, hasil UEQ menunjukkan bahwa perangkat lunak simulasi berbasis VR yang dikembangkan memiliki kualitas pengalaman pengguna yang sangat baik, baik dari aspek kegunaan (*pragmatic quality*) maupun aspek kesenangan dan inovasi (*hedonic quality*), sehingga layak digunakan sebagai media pelatihan medis dan pembelajaran interaktif di lingkungan pendidikan kesehatan.

4.5. Analisis Implementasi Etika Profesi Insinyur, K3 dan Profesionalisme Keinsinyuran

Implementasi etika profesi insinyur dalam pengembangan perangkat lunak simulasi berbasis VR menjadi salah satu aspek penting yang diperhatikan selama proses penelitian. Pengembangan teknologi berbasis VR tidak hanya menuntut kemampuan teknis dalam rekayasa perangkat lunak, tetapi juga tanggung

jawab profesional terhadap keselamatan, kenyamanan, dan manfaat teknologi bagi masyarakat.

Pada penelitian ini, penerapan etika profesi insinyur dilakukan melalui beberapa pendekatan utama, yaitu tanggung jawab terhadap keselamatan pengguna, integritas dalam pengembangan sistem, validasi konten simulasi, serta pengelolaan teknologi yang berorientasi pada kebermanfaatan pengguna.

Aspek pertama yang diterapkan adalah tanggung jawab terhadap keselamatan pengguna [23]. Tim pengembang memastikan bahwa perangkat lunak simulasi VR dirancang untuk memberikan pengalaman pembelajaran yang aman dan tidak menimbulkan risiko serius terhadap pengguna. Hal ini dilakukan melalui pengaturan durasi penggunaan headset VR, optimasi frame rate, dan pengurangan gerakan visual berlebihan yang dapat memicu *motion sickness*. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan teknologi dilakukan dengan mempertimbangkan dampak kesehatan pengguna sebagai prioritas utama.

Aspek kedua adalah integritas dalam pengembangan sistem. Seluruh proses pengembangan dilakukan secara transparan dan sistematis mulai dari analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, hingga pengujian aplikasi. Pengembang tidak melakukan manipulasi hasil pengujian maupun penyajian data penelitian. Seluruh hasil evaluasi pengguna, termasuk keluhan ketidaknyamanan ringan pada beberapa responden, dicatat dan dianalisis sebagai bagian dari evaluasi sistem.

Implementasi etika profesi juga terlihat melalui proses validasi simulasi bersama pengguna dan tenaga pendidik kesehatan. Simulasi yang dikembangkan tidak hanya berorientasi pada visualisasi teknologi, tetapi juga mempertimbangkan kesesuaian materi pembelajaran dan prosedur pelatihan medis agar tidak menimbulkan miskonsepsi terhadap pengguna. Hal ini penting karena sistem simulasi VR yang digunakan dalam pendidikan kesehatan harus memiliki tingkat akurasi dan representasi prosedur yang baik.

Aspek Keselamatan, Kesehatan, dan Keamanan Kerja (K3) menjadi bagian penting dalam pengembangan dan pengujian perangkat lunak simulasi berbasis VR. Penggunaan teknologi VR memiliki potensi risiko tertentu terhadap pengguna, terutama terkait

kenyamanan visual, keseimbangan tubuh, dan kondisi fisik pengguna selama menggunakan perangkat *head-mounted display* (HMD).

Pada penelitian ini, penerapan K3 dilakukan sejak tahap pengembangan hingga pengujian sistem. Salah satu fokus utama adalah mengurangi risiko *motion sickness* atau *simulator sickness* yang dapat menyebabkan gejala seperti pusing, mual, ketidaknyamanan visual, dan kelelahan mata. Berdasarkan hasil observasi selama pengujian, beberapa responden mengalami ketidaknyamanan ringan, terutama pengguna yang memiliki kondisi mata minus dan silinder. Dari sisi keamanan sistem, pengembang juga melakukan pengujian stabilitas aplikasi untuk memastikan sistem tidak mengalami crash atau gangguan yang dapat mengganggu proses simulasi. Stabilitas aplikasi menjadi bagian penting dalam K3 karena gangguan sistem secara tiba-tiba dapat menyebabkan ketidaknyamanan atau disorientasi pengguna saat berada dalam lingkungan virtual.

Implementasi K3 pada penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan aplikasi VR tidak hanya berorientasi pada performa teknologi, tetapi juga harus memperhatikan kondisi fisik dan keselamatan pengguna. Hal ini penting karena pengalaman pengguna dalam lingkungan virtual sangat dipengaruhi oleh kenyamanan visual dan kestabilan sistem. Profesionalisme keinsinyuran pada penelitian ini diterapkan melalui pendekatan pengembangan sistem yang sistematis, terdokumentasi, dan mengikuti prinsip rekayasa perangkat lunak yang baik. Seluruh proses pengembangan dilakukan menggunakan metode Agile yang memungkinkan pengembangan sistem dilakukan secara terstruktur dan berkelanjutan.

Penerapan profesionalisme terlihat dari kemampuan tim dalam melakukan analisis kebutuhan pengguna, perancangan sistem, pengembangan perangkat lunak, pengujian, hingga evaluasi hasil secara terorganisasi. Setiap tahapan pengembangan didokumentasikan dengan baik untuk memastikan bahwa proses rekayasa dapat dipertanggungjawabkan secara akademik maupun profesional.

Kolaborasi multidisiplin juga menjadi bagian dari profesionalisme keinsinyuran dalam penelitian ini [24]. Pengembangan sistem

melibatkan bidang teknik informatika, multimedia, dan pendidikan kesehatan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya baik secara teknis, tetapi juga relevan terhadap kebutuhan pembelajaran dan pelatihan medis.

Pembahasan Penelitian

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil dan pengembangan penelitian selanjutnya. Jumlah responden yang digunakan dalam pengujian sistem masih terbatas sebanyak 38 peserta yang berasal dari mahasiswa kedokteran dan kesehatan, sehingga hasil evaluasi pengalaman pengguna belum sepenuhnya merepresentasikan populasi pengguna yang lebih luas. Selain itu, pengujian perangkat lunak hanya dilakukan menggunakan perangkat VR *Meta Quest*, sehingga kompatibilitas sistem terhadap perangkat VR lain belum dapat dianalisis secara menyeluruh.

Penelitian ini juga menemukan bahwa beberapa responden mengalami ketidaknyamanan ringan seperti pusing, kelelahan mata, dan gejala *motion sickness*, terutama pada pengguna yang memiliki kondisi mata minus dan silinder. Hal tersebut menunjukkan bahwa faktor fisiologis pengguna masih menjadi tantangan dalam implementasi teknologi VR untuk pembelajaran dan pelatihan medis. Dari sisi pengembangan sistem, simulasi yang dibuat masih terbatas pada skenario pelatihan dasar dan belum mencakup simulasi medis kompleks yang membutuhkan tingkat realisme dan interaktivitas yang lebih tinggi. Selain itu, penelitian ini belum mengintegrasikan teknologi tambahan seperti *hand tracking*, *haptic feedback*, maupun kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang berpotensi meningkatkan kualitas pengalaman pengguna dan efektivitas simulasi pembelajaran.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan jumlah responden yang lebih besar dan lebih beragam agar hasil evaluasi sistem menjadi lebih representatif. Pengembangan simulasi VR juga dapat diperluas pada skenario medis yang lebih kompleks, seperti simulasi tindakan klinis, prosedur bedah, maupun pelatihan penanganan pasien darurat. Penelitian mendatang juga direkomendasikan untuk

mengintegrasikan teknologi *hand tracking*, *haptic feedback*, dan kecerdasan buatan agar interaksi pengguna dalam lingkungan virtual menjadi lebih realistis dan adaptif. Selain itu, optimasi sistem untuk mengurangi *motion sickness* perlu terus dikembangkan, misalnya melalui peningkatan *stabilitas frame rate*, pengaturan navigasi yang lebih nyaman, dan penyesuaian tampilan visual berdasarkan kondisi pengguna. Pengujian kompatibilitas terhadap berbagai perangkat VR juga penting dilakukan agar sistem memiliki fleksibilitas penggunaan yang lebih luas. Dari sisi evaluasi pembelajaran, penelitian berikutnya diharapkan tidak hanya mengukur pengalaman pengguna, tetapi juga menganalisis pengaruh penggunaan VR terhadap peningkatan keterampilan praktik, pemahaman materi, retensi pembelajaran, dan performa pengguna dalam jangka panjang. Dengan pengembangan tersebut, teknologi simulasi berbasis VR diharapkan dapat menjadi media pembelajaran dan pelatihan yang lebih efektif, aman, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan kesehatan di masa mendatang.

5. KESIMPULAN

- a. Penelitian ini berhasil mengembangkan perangkat lunak simulasi berbasis VR untuk pelatihan medis dan pembelajaran interaktif menggunakan metode Agile sebagai pendekatan pengembangan sistem. Proses pengembangan dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem dan antarmuka, pengembangan modul VR, integrasi perangkat keras VR, serta pengujian dan evaluasi sistem. Teknologi yang digunakan meliputi Unity 3D sebagai game engine, Blender untuk pembuatan model tiga dimensi, bahasa pemrograman C#, serta perangkat *Meta Quest* sebagai media implementasi VR
- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur sistem dapat berjalan dengan baik berdasarkan uji fungsionalitas dan uji kompatibilitas perangkat VR. Sistem juga mampu beroperasi secara stabil pada perangkat *Meta Quest* dengan performa visual dan interaksi yang responsif. Selain itu, hasil *User Acceptance Test* (UAT) memperoleh nilai sebesar 88,16% dengan kategori “Sangat Baik”, yang menunjukkan bahwa sistem dapat diterima dengan baik

oleh pengguna dari aspek fungsi, kemudahan penggunaan, kenyamanan interaksi, kesesuaian simulasi, dan kepuasan pengguna.

- c. Evaluasi pengalaman pengguna menggunakan UEQ menunjukkan bahwa seluruh aspek pengalaman pengguna, yaitu *Attractiveness*, *Perspicuity*, *Efficiency*, *Dependability*, *Stimulation*, dan *Novelty*, memperoleh penilaian positif dengan kategori sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perangkat lunak simulasi VR mampu memberikan pengalaman belajar yang menarik, interaktif, inovatif, dan mudah digunakan
- d. Selain aspek teknis, penelitian ini juga menunjukkan pentingnya penerapan etika profesi insinyur, keselamatan kesehatan dan keamanan kerja (K3), serta profesionalisme keinsinyuran dalam proses pengembangan teknologi VR. Pengembangan sistem dilakukan dengan memperhatikan keselamatan pengguna, kenyamanan penggunaan perangkat VR, serta tanggung jawab profesional dalam menghasilkan teknologi yang aman dan bermanfaat bagi pendidikan kesehatan. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa teknologi Virtual Reality memiliki potensi besar sebagai media pelatihan medis dan pembelajaran interaktif yang efektif untuk mendukung transformasi digital pada sektor kesehatan dan Pendidikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional serta laboratorium Multimedia Fakultas Teknik dan Kejuruan dan Fakultas Kedokteran, Universitas Pendidikan Ganesha yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Lampropoulos, A. del Bosque, P. Fernández-Arias, and D. Vergara, “Virtual Reality in Medical Education, Healthcare Education, and Nursing Education: An Overview,” 2025. doi: 10.3390/mti9070075.
- [2] Fabiana D’Urso, Prisco Priscitelli, Alessandro Miani, and Francesco Broccolo,

- “Revolutionizing Medical Education: the Impact of Virtual and Mixed Reality on Training and Skill Acquisition,” *International Journal of Media and Networks*, vol. 2, no. 2, 2024, doi: 10.33140/ijmn.02.02.02.
- [3] B. Hongthong, T. Jantakoon, and S. Trisupakitti, “The Effectiveness of Virtual Reality in Medical Education: A Meta-Analysis of Knowledge, Skills, and Motivation Outcomes,” *Higher Education Studies*, vol. 15, no. 4, 2025, doi: 10.5539/hes.v15n4p101.
- [4] F. Q. Chen *et al.*, “Effectiveness of virtual reality in nursing education: Meta-analysis,” Sep. 15, 2020, *JMIR Publications Inc.* doi: 10.2196/18290.
- [5] C. Moro, Z. Štromberga, A. Raikos, and A. Stirling, “The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy,” *Anat. Sci. Educ.*, vol. 10, no. 6, pp. 549–559, 2017, doi: 10.1002/ase.1696.
- [6] V. Chheang *et al.*, “Towards Anatomy Education with Generative AI-based Virtual Assistants in Immersive Virtual Reality Environments,” in *Proceedings - 2024 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and eXtended and Virtual Reality, AIXVR 2024*, 2024, doi: 10.1109/AIXVR59861.2024.00011.
- [7] R. Padilla Perez and Ö. Keleş, “Immersive Virtual Reality Environments for Embodied Learning of Engineering Students,” *Hum. Comput. Interact.*, 2025.
- [8] M. Allgaier, A. Amini, B. Neyazi, I. E. Sandalcioglu, B. Preim, and S. Saalfeld, “VR-based training of craniotomy for intracranial aneurysm surgery,” *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.*, vol. 17, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s11548-021-02538-3.
- [9] T. Jiang, Y. Fang, J. Goh, and S. Hu, “Impact of simulation fidelity on identifying swing-over hazards in virtual environments for novice crane operators,” *Autom. Constr.*, vol. 165, 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105580.
- [10] V. Sharma, S. Park, A. Voinescu, and C. Jacobs, “Medical Students’ Experiences with Virtual Reality Simulation Training: Qualitative Study (Preprint),” *JMIR Med. Educ.*, 2025, doi: 10.2196/74301.
- [11] P. Kourtesis, “A Comprehensive Review of Multimodal XR Applications, Risks, and Ethical Challenges in the Metaverse,” 2024, doi: 10.3390/mti8110098.
- [12] V. Popov, N. Mateju, C. Jeske, and K. O. Lewis, “Metaverse-based simulation: a scoping review of charting medical education over the last two decades in the lens of the ‘marvelous medical education machine,’” 2024, doi: 10.1080/07853890.2024.2424450.
- [13] M. Mergen, M. Meyerheim, and N. Graf, “Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education – a scoping review protocol,” *Syst. Rev.*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s13643-023-02266-6.
- [14] M. Asoodar, F. Janesarvatan, H. Yu, and N. de Jong, “Theoretical foundations and implications of augmented reality, virtual reality, and mixed reality for immersive learning in health professions education,” *Advances in Simulation*, vol. 9, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s41077-024-00311-5.
- [15] K. Liu, W. Zhang, W. Li, T. Wang, and Y. Zheng, “Effectiveness of virtual reality in nursing education: a systematic review and meta-analysis,” *BMC Med. Educ.*, vol. 23, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s12909-023-04662-x.
- [16] J. Y. Hsieh, P. C. Lin, W. N. Sun, T. R. Lin, C. C. Kuo, and H. T. Hsu, “Effectiveness of immersive virtual reality in nursing education for nursing students and nursing staffs: A systematic review and meta-analysis,” 2025, doi: 10.1016/j.nedt.2025.106725.
- [17] Y. Li *et al.*, “Application of desktop virtual reality technology in nursing student education: a realist review,” *BMC Med. Educ.*, vol. 25, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s12909-025-06697-8.
- [18] J. Y. Yeo, H. Nam, J. Il Park, and S. Y. Han, “Multidisciplinary Design-Based Multimodal Virtual Reality Simulation in Nursing Education: Mixed Methods Study,” *JMIR Med. Educ.*, vol. 10, 2024, doi: 10.2196/53106.
- [19] G. Mørk, T. Bonsaksen, O. S. Larsen, H. M. Kunnikoff, and S. S. Lie, “Virtual Reality Simulation in Undergraduate Health Care Education Programs: Usability Study,” *JMIR Med. Educ.*, vol. 10, 2024, doi: 10.2196/56844.
- [20] S. L. Birkheim, G. Calogiuri, and R. Martinsen, “Advancing immersive virtual reality-based simulation practices: developing an evidence-based and theory-driven pedagogical framework for VR-based simulations of non-technical skills among healthcare professionals,” *Interactive Learning Environments*, vol. 32, no. 7, 2024, doi: 10.1080/10494820.2023.2186896.
- [21] B. Kapralos, “Immersive Virtual Learning Environments for Healthcare Education: State-of-Art and Open Problems,” *Cureus*, 2024, doi: 10.7759/cureus.68483.
- [22] R. Sun *et al.*, “Effectiveness of virtual and augmented reality for cardiopulmonary resuscitation training: a systematic review and meta-analysis,” *BMC Med. Educ.*, vol. 24, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s12909-024-05720-8.

- [23] N. L. P. Sintawati, “Pemeriksaan Infrastruktur Sebagai Implementasi Etika dan Profesionalisme Keinsinyuran,” *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, vol. 5, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jpi.v5n2.143.
- [24] F. Njoko, N. A. Husin, G. Prihantono, R. Bayuaji, and B. Suswanto, “Penerapan Profesionalisme, Etika Profesi, dan Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3) pada Pembangunan Jalan Tol di Pulau Jawa dengan Metode Span-by-Span dan Sistem External Post-Tension pada Struktur Box Girder,” *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, vol. 6, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jpi.v6n1.144.