

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM *MIXED REALITY* UNTUK
PENANDAAN DAN PENGUKURAN DALAM OPERASI
RAHANG**

Disusun dan diajukan oleh:

**L.M. GHAFAR ALAMSYAH ALHAN
D041191071**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM *MIXED REALITY* UNTUK
PENANDAAN DAN PENGUKURAN DALAM OPERASI
RAHANG**

Disusun dan diajukan oleh

L.M. Ghafaar Alamsyah Alhan

D0411911071

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 21 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Muh. Anshar, S.T., M.Sc (Research), Ph.D.
NIP. 197708172005011003


Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng
NIP. 19720828199031003

Ketua Program Studi,




Dr. Eng. I. Dewiani, M.T. IPM
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : L.M. Ghafaar Alamsyah Alhan

NIM : D041191071

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PERANCANGAN SISTEM *MIXED REALITY* UNTUK PENANDAAN DAN PENGUKURAN DALAM OPERASI RAHANG

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Agustus 2024

Yang Menyatakan



L.M. Ghafaar Alamsyah Alhan

KATA PENGANTAR

Puji syukur terpanjatkan kehadiran Allah *subhanahu wata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan skripsi tugas akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam tak lupa tucurahkan kepada baginda Rasulullah *sallallahu 'alaihi wasallam*. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini penulis persembahkan kepada seluruh pembaca dan pengembang riset selanjutnya sebagai literatur studi Pustaka. Kepada yang terkhusus untuk kedua orang tua dan kakak penulis yang telah mendidik dan senantiasa selalu mendoakan dan mendukung penulis selama ini. Semoga ini menjadi salah satu bentuk *wasilah birrul walidayn* kepada orang tua dan seuruh keluarga penulis.

Skripsi ini berjudul Perancangan Sistem *Mixed Reality* untuk Penandaan dan Pengukuran dalam Operasi Rahang. Pelaksanaan rangkaian penelitian dan penyusunan skripsi ini juga tak terlepas dari seluruh bantuan, bimbingan, nasehat dan doa dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis hendak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, saudara serta keluarga penulis yang telah memberikan dukungan baik itu secara material, moral serta doa yang tiada hentinya kepada penulis selama proses pengerjaan tugas akhir serta perkuliahan hingga selesai. Terima kasih atas semangat dan motivasi yang diberikan untuk penulis dapat menyelesaikan pendidikan dibangku perkuliahan.
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Muh Anshar, ST., M.Sc(Research), Ph.D. selaku Pembimbing 1 dengan kerendahan hati mempercayakan penulis sebagai mahasiswa bimbingan penyelesaian tugas akhir ini, serta Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng. selaku Pembimbing II atas bimbingan dan segala bentuk perhatian dan dorongan kepada penulis
4. Para dosen penguji, Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, S.T., M.T., dan bapak Azran Budi Arief, S.T., M.T. atas segala saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Seluruh tenaga pendidik dan sivitas akademika Departemen Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Unhas atas segala bentuk ketulusan pelayanan selama penulis menempuh perkuliahan.
6. Teman seperjuangan TR19GER, Teknik Elektro Angkatan 2019 yang telah kebersamai penulis selama menempuh perkuliahan. Serta para senior dan junior yang tak dapat penulis sebutkan satu-persatu. *Barakallahu fikum.*

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu segala bentuk saran dan masukan yang membangun dari semua pihak. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi dapat diterima sebagai aktualisasi tri dharma penulis yang dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembacanya.

Gowa, 14 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

L.M. GHAFAR ALAMSYAH ALHAN. *Perancangan Sistem Mixed Reality untuk Penandaan dan Pengukuran dalam Operasi Rahang* (dibimbing oleh Muh Anshar dan Wardi)

Operasi rahang adalah prosedur pembedahan yang bertujuan untuk memperbaiki struktur rahang dan gigi yang tidak beraturan. Selain memperbaiki, tindakan pembedahan ini juga sering digunakan untuk meningkatkan nilai estetika wajah atau penampilan seseorang untuk meningkatkan kepercayaan diri. Penandaan dan pengukuran yang akurat sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan operasi ini untuk memastikan hasil yang optimal dan mengurangi risiko komplikasi. Praktik tradisional menggunakan *dummy* memerlukan biaya tinggi dan waktu yang lama, menciptakan kesenjangan pengalaman yang signifikan antara dokter ahli dan dokter baru. Untuk mengatasi masalah ini, perkembangan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) menawarkan solusi inovatif dalam medis dengan menyediakan simulasi operasi yang realistis.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *Mixed Reality* (MR) untuk penandaan dan pengukuran struktur rahang selama operasi, serta mengevaluasi akurasi pengukurannya dalam MR dibandingkan dengan dunia nyata. MR menggabungkan objek nyata dan virtual dalam satu tampilan terpadu, menawarkan pengalaman yang lebih imersif dibandingkan VR dan AR saja. Penelitian ini juga mengeksplorasi akurasi klaim Unity bahwa 1 unit dalam Unity setara dengan 1 meter, yang penting untuk aplikasi medis yang memerlukan presisi tinggi.

Multimedia Development Life Cycle (MDLC) digunakan sebagai metodologi penelitian untuk pengembangan aplikasi MR menggunakan Unity. Model MDLC yang dirumuskan menjadi lima tahap, yaitu inisialisasi, desain *blueprint*, persiapan aset, pengembangan produk, dan pengujian & validasi. Setelahnya dilakukan pengujian dengan mengukur objek rahang baik dalam MR maupun pengaturan dunia nyata. Pengujian juga menggunakan kuesioner untuk mengevaluasi pengalaman pengguna dan membandingkan pengukuran dalam MR dengan pengukuran di dunia nyata untuk menentukan akurasi sistem. Fokus utama adalah pada kualitas imersif dari pengalaman MR dan efektivitasnya dalam prosedur medis.

Hasil menunjukkan bahwa pengukuran dengan mode *snap on* dalam *mixed reality* pada tiga jenis benda, 2D, 3D, dan rahang atas, masing-masing memiliki persentase *error* 1.27%, 2.25%, dan 1,23%. Pengukuran tersebut lebih akurat dibandingkan mode *snap off* dengan masing-masing persentase *error* 3.41%, 8.77%, dan 5.73%. Kesalahan terbesar terjadi pada objek berbentuk lingkaran atau bola. Mode *snap on* memberikan hasil pengukuran yang mendekati realitas, mendukung klaim Unity, dan memenuhi toleransi akurasi yang diperlukan dalam perencanaan dan pelaksanaan operasi rahang sebesar 5%. Aplikasi MR yang dikembangkan berhasil menciptakan pengalaman yang imersif dan efektif, mendapatkan tanggapan positif dari pengguna dengan tingkat kepuasan sebesar 98.4% dan dalam aspek penandaan sebesar 89.6% dan pengukuran 91.2%.

Kata Kunci: *mixed reality*, operasi rahang, Unity, penandaan, pengukuran, imersif

ABSTRACT

L.M. GHAFAR ALAMSYAH ALHAN. *Design of Mixed Reality System for Marking and Measuring in Jaw Surgery (supervised by Muh Anshar and Wardi)*

Jaw surgery or orthognathic surgery is a surgical procedure that aims to correct irregular jaw and tooth structures. In addition to correction, this surgery is also often used to improve the aesthetic value of a person's face or appearance to increase self-confidence. Accurate markings and measurements are essential in planning and performing this surgery to ensure optimal results and reduce the risk of complications. The traditional practice of using dummies is costly and time-consuming, creating a significant experience gap between expert and new doctors. To address this issue, the development of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies offers an innovative solution in medical education by providing realistic simulations of surgeries.

This study aims to design and implement a Mixed Reality (MR) system for marking and measuring jaw structures during surgery, and evaluate the accuracy of its measurements in MR compared to the real world. MR combines real and virtual objects in a unified view, offering a more immersive experience than VR and AR alone. This research also explores the accuracy of Unity's claim that 1 unit in Unity is equivalent to 1 meter, which is important for medical applications that require high precision.

Multimedia Development Life Cycle (MDLC) is used as a research methodology for developing MR applications using Unity. The MDLC model was formulated into five stages, namely initialization, blueprint design, assets preparation, product development, and testing & validation. Afterwards, testing was conducted by measuring jaw objects in both MR and real-world settings. Testing also uses questionnaires to evaluate user experience and compares measurements in MR with real-world measurements to determine the accuracy of the system. The main focus was on the immersive quality of the MR experience and its effectiveness in medical procedures.

The results show that measurements with snap on mode in mixed reality on three types of objects, 2D, 3D, and maxillary, have percentage errors of 1.27%, 2.25%, and 1.23%, respectively. These measurements are more accurate than the snap off mode with a percentage error of 3.41%, 8.77%, and 5.73% respectively. The snap on mode provides measurement results that are close to reality, supports Unity claims, and meets the accuracy tolerance required in planning and performing jaw surgery of 5%. The developed MR application successfully created an immersive and effective experience, gaining positive feedback from users with a satisfaction level of 98.4% and in the marking aspect of 89.6% and measurement of 91.2%.

Keywords: mixed reality, jaw surgery, Unity, marking, measuring, immersive

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Operasi Rahang.....	5
2.2 Teknologi Multimedia.....	6
2.3 <i>Mixed Reality</i>	7
2.4 <i>Head-Mounted Display</i>	9
2.5 Meshmixer	10
2.6 Blender.....	11
2.7 Unity	12
2.8 Penelitian Terkait.....	14
2.8.1 Penerapan <i>Mixed Reality</i> dalam Pelatihan Medis dan Perencanaan Bedah yang Berfokus pada Bedah Minimal Invasif.....	14

2.8.2 Penggunaan Teknologi <i>Mixed Reality</i> dalam Bedah Ortopedi: Studi Percontohan	15
2.8.3 Survei Estimasi Jarak dalam <i>Virtual Reality</i> dan <i>Augmented Reality</i> ..	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Rancangan Umum Penelitian	17
3.3 Infrastruktur Penelitian.....	18
3.3.1 Perangkat keras (<i>hardware</i>)	18
3.3.2 Perangkat lunak (<i>software</i>).....	19
3.4 Pembuatan <i>Prototype</i>	19
3.4.1 Inisialisasi	19
3.4.2 Desain <i>Blueprint</i>	20
3.4.3 Persiapan Aset.....	23
3.4.4 Pengembangan Produk	24
3.4.5 Pengujian & Validasi.....	25
3.5 Rancangan Pengujian.....	25
3.5.1 Pengujian Ketepatan Pengukuran	25
3.5.2 Pengujian Kemiripan Objek.....	29
3.5.3 Pengujian Testimoni	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Hasil Aplikasi	32
4.1.2 <i>Preparation Stage</i>	33
4.1.3 <i>Surgery Stage</i>	38
4.2 Pengujian Ketepatan Pengukuran.....	41
4.2.1 Pengujian Mode <i>Snap Off</i>	41
4.2.2 Pengujian Mode <i>Snap On</i>	48
4.3 Pengujian Kemiripan Objek	53

4.4 Pengujian Testimoni	54
4.2.1 Testimoni Fungsi Penandaan	54
4.2.2 Testimoni Fungsi Pengukuran	55
4.1.3 Testimoni Aplikasi.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Jenis operasi rahang andalan	5
Gambar 2 Contoh penggunaan VR, AR, dan MR (Venkatesan et al., 2021).....	8
Gambar 3 Meta Quest Pro.....	9
Gambar 4 Meta Quest Pro Controller	10
Gambar 5 Simpul dan tepi (Autodesk, 2018)	11
Gambar 6 Tampilan ruangan kerja Unity.....	13
Gambar 7 Diagram alir rancangan penelitian	18
Gambar 8 Diagram alir aplikasi	20
Gambar 9 Diagram alir preparation stage	21
Gambar 10 Diagram alir surgery stage	22
Gambar 11 Icon-icon pada aplikasi.....	23
Gambar 12 Objek 2D pengujian pengukuran.....	26
Gambar 13 Objek 3D pengujian pengukuran.....	26
Gambar 14 Objek rahang surgery stage pengujian pengukuran	27
Gambar 15 Objek 3D rahang surgery stage pengujian pengukuran	27
Gambar 16 Tampilan awal aplikasi.....	32
Gambar 17 Pause menu.....	33
Gambar 18 Preparation stage	33
Gambar 19 Tampilan see/unsee	34
Gambar 20 Marking Menu.....	34
Gambar 21 Menu Marking.....	35
Gambar 22 Undo marking.....	35
Gambar 23 Marking mode snap	36
Gambar 24 Reset all marking.....	36
Gambar 25 Measure menu	36
Gambar 26 Measure mode	37
Gambar 27 Measure snap on/off.....	37
Gambar 28 Reset all measure point	38
Gambar 29 Surgery stage	38
Gambar 30 See tips & antisipasi	39
Gambar 31 Pertanyaan surgery stage.....	39
Gambar 32 Progres marking	40
Gambar 33 Progres measuring	41
Gambar 34 Pengujian snap off benda 2D	41
Gambar 35 Pengujian snap off benda 3D	43
Gambar 36 Pengujian snap off rahang atas surgery mode.....	45
Gambar 37 Penempatan measure point pada replika rahang atas tidak akurat.....	47
Gambar 38 Distorsi tampilan pada HMD	47
Gambar 39 Pengujian snap on benda 2D	48
Gambar 40 Pengujian snap on benda 3D	50
Gambar 41 Pengujian snap off rahang atas surgery mode.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Daftar script yang digunakan dalam pembuatan aplikasi	24
Tabel 2 Ukuran objek 2D pengujian pengukuran	26
Tabel 3 Ukuran objek 3D pengujian pengukuran	27
Tabel 4 Ukuran objek rahang atas pengujian pengukuran	27
Tabel 5 Daftar Objek 3D	29
Tabel 6 Daftar Penguji Aplikasi	31
Tabel 7 Likert scale	31
Tabel 8 Hasil percobaan mode <i>snap off</i> benda 2D	42
Tabel 9 Rata-rata persentase <i>error</i> percobaan mode <i>snap off</i> benda 2D	42
Tabel 10 Rata-rata persentase <i>error</i> benda dan keseluruhan percobaan <i>snap off</i> benda 2D	43
Tabel 11 Hasil percobaan mode <i>snap off</i> benda 3D	44
Tabel 12 Rata-rata persentase <i>error</i> percobaan mode <i>snap off</i> benda 3D	44
Tabel 13 Rata-rata persentase <i>error</i> benda dan keseluruhan percobaan <i>snap off</i> benda 3D	45
Tabel 14 Hasil percobaan mode <i>snap off</i> rahang atas	45
Tabel 15 Rata-rata persentase <i>error</i> percobaan mode <i>snap off</i> rahang atas	46
Tabel 16 Hasil percobaan mode <i>snap on</i> benda 2D	49
Tabel 17 Rata-rata persentase <i>error</i> percobaan mode <i>snap off</i> benda 2D	49
Tabel 18 Rata-rata persentase <i>error</i> benda dan keseluruhan percobaan <i>snap off</i> benda 2D	49
Tabel 19 Hasil percobaan mode <i>snap on</i> benda 3D	50
Tabel 20 Rata-rata persentase <i>error</i> percobaan mode <i>snap on</i> benda 3D	51
Tabel 21 Rata-rata persentase <i>error</i> benda dan keseluruhan percobaan <i>snap on</i> benda 3D	51
Tabel 22 Hasil percobaan mode <i>snap on</i> rahang atas	52
Tabel 23 Rata-rata persentase <i>error</i> percobaan mode <i>snap on</i> rahang atas	52
Tabel 24 Hasil validasi kemiripan objek	53
Tabel 25 Hasil testimoni fungsi penandaan	55
Tabel 26 Hasil testimoni fungsi pengukuran	56
Tabel 27 Hasil testimoni aplikasi	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Menyiapkan Objek 3D	64
Lampiran 2 Menyiapkan <i>File</i> Unity.....	73
Lampiran 3 <i>Script</i> Unity.....	86
Lampiran 4 Dokumentasi Pengambilan Data Testimoni	132

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Operasi rahang atau bedah ortognatik adalah sebuah prosedur pembedahan yang bertujuan untuk memperbaiki struktur rahang dan gigi yang tidak beraturan. Selain memperbaiki, tindakan pembedahan ini juga sering digunakan untuk meningkatkan nilai estetika wajah atau penampilan seseorang untuk meningkatkan kepercayaan diri (Ruslin et al., 2015). Pelaksanaan operasi ini sangat bergantung pada pemahaman anatomi rahang yang akurat, pelaksanaan tindakan bedah yang tepat dan juga memerlukan proses penandaan dan pengukuran yang akurat. Penandaan dan pengukuran ini penting dalam perencanaan dan pelaksanaan tindakan bedah untuk memastikan hasil yang optimal dan mengurangi risiko komplikasi (Santos & Jones, 2023).

Operasi rahang tentunya dilakukan oleh dokter ahli yang profesional dengan pengalaman yang mumpuni dalam bidang tersebut, sehingga untuk mendapatkan pengalaman tersebut diperlukan melakukan praktik yang banyak. Dalam pelaksanaan praktik operasi biasanya dilakukan dengan menggunakan *dummy* yang dibuat dalam waktu yang cukup lama dengan biaya yang mahal sehingga terdapat jarak yang signifikan dalam pengalaman antara dokter ahli dan dokter baru (Johnson et al., 2016).

Untuk mengatasi masalah tersebut, teknologi multimedia telah menampilkan inovasi dalam bentuk teknologi *Virtual reality* (VR) dan *Augmented reality* (AR) yang dibuat untuk menciptakan pengalaman yang nyata serta memberikan solusi inovatif dalam bidang pendidikan dan pembelajaran (Abdulrahman et al., 2020). Dengan memanfaatkan teknologi VR dan AR, praktik operasi rahang dapat dibuatkan dalam bentuk simulasi untuk memberikan pengalaman praktikum yang realistis yang memungkinkan dokter muda untuk mempelajari dan memahami proses operasi rahang.

VR menghadirkan pengguna ke lingkungan yang sepenuhnya virtual, sedangkan AR membawa elemen-elemen virtual ke dunia nyata (Intel, 2018).

Kedua teknologi ini mengalami kemajuan yang signifikan dan semakin banyak digunakan di dunia medis (Andrews et al., 2019). Penggunaan VR dan AR telah membuka peluang untuk memberikan pengalaman yang lebih mendalam dan interaktif dalam berbagai situasi. Namun, terdapat satu konsep lain yang menggabungkan keduanya yaitu *Mixed Reality* (MR). Lingkungan MR adalah lingkungan di mana objek dunia nyata dan dunia maya disajikan bersama dalam satu tampilan. MR memungkinkan objek virtual untuk berinteraksi dengan dunia fisik dan sebaliknya (Milgram & Kishino, 1994). Dengan demikian, MR membawa pengalaman yang lebih imersif dibandingkan dengan VR dan AR.

Dalam penelitian yang dilakukan Andrews et al. (2019) dan Kumar et al. (2020) menunjukkan bahwa aplikasi berbasis MR memiliki penerimaan yang sangat tinggi untuk beragam aplikasi klinis. Hasil dari kasus penggunaan klinis menunjukkan bahwa aplikasi tersebut memberikan pemahaman yang lebih baik tentang anatomi spesifik pasien, karena visualisasi anatomi 3D yang lebih dalam dan *real-time* dengan demikian meningkatkan perencanaan bedah.

Namun berdasarkan penelitian Jamiy & Marsh (2019) penghitungan jarak menggunakan perangkat VR menghadapi tantangan signifikan dalam mencapai persepsi yang akurat. Di sinilah relevansi Unity muncul. Unity adalah sebuah platform pengembangan *game* dan aplikasi yang banyak digunakan untuk membuat konten VR dan AR. Unity (2020) menyatakan bahwa 1 unit di dalam Unity sama dengan 1 meter (100 cm) hanya berdasarkan asumsi, yang berarti akurasi pengukuran dalam dunia virtual bisa berbeda dengan realitas fisik. Hal ini penting karena ketidakakuratan ini dapat mempengaruhi aplikasi medis yang membutuhkan presisi tinggi, seperti dalam bedah rahang.

Oleh karena itu penulis mengangkat judul “PERANCANGAN SISTEM MIXED REALITY UNTUK PENANDAAN DAN PENGUKURAN DALAM OPERASI RAHANG” yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem berbasis MR yang dapat digunakan untuk melakukan penandaan dan pengukuran objek rahang dalam prosedur bedah rahang. Selain itu juga mengeksplorasi sejauh mana tingkat keakuratan pengukuran yang bisa dilakukan pada aplikasi ini.

Imersifitas dalam pengalaman MR adalah faktor kunci dalam efektivitas penggunaan teknologi ini dalam konteks bedah rahang, dengan menciptakan pengalaman yang mendalam dan realistis, profesional medis dapat lebih efektif merencanakan dan melaksanakan prosedur. Hasil dari skripsi ini diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan hasil dalam prosedur bedah rahang, serta membuka peluang untuk penggunaan lebih lanjut teknologi MR dalam konteks medis secara keseluruhan. Dalam rangka mencapai tujuan ini, skripsi ini akan melakukan penilaian terhadap imersifitas pengalaman pengguna dengan menggunakan kuisisioner dan membandingkan pengukuran objek rahang dalam lingkungan MR dengan pengukuran di dunia nyata, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam memajukan penggunaan teknologi MR dalam bidang medis.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang program *mixed reality* yang imersif dan dapat melakukan penandaan dan pengukuran pada objek 3D rahang?
- b. Bagaimana performa pengukuran objek 3D rahang pada program *mixed reality* jika dibandingkan dengan pengukuran pada dunia nyata?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

- a. Merancang *prototype* aplikasi *mixed reality* yang imersif
- b. Merancang objek 3D yang sesuai.
- c. Menguji hasil pengukuran pada program *mixed reality*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut:

- a. Inovasi pendidikan: Penggunaan teknologi *mixed reality* merupakan salah satu bentuk inovasi pembelajaran yang lebih canggih yang dapat meningkatkan

kualitas pembelajaran dengan menyajikan pengalaman belajar yang lebih interaktif, dan menyenangkan.

- b. Perkembangan Teknologi: Penelitian ini berkontribusi pada inovasi dan penerapan teknologi *mixed reality* dalam konteks medis, khususnya dalam operasi rahang, serta menyediakan data empiris untuk validasi dan pengembangan lebih lanjut aplikasi medis berbasis teknologi canggih ini.
- c. Keterampilan Teknologi: Mahasiswa belajar dan mengembangkan keterampilan teknologi yang terkait dengan penggunaan dan pengaplikasian teknologi *mixed reality*.

1.5 Ruang Lingkup

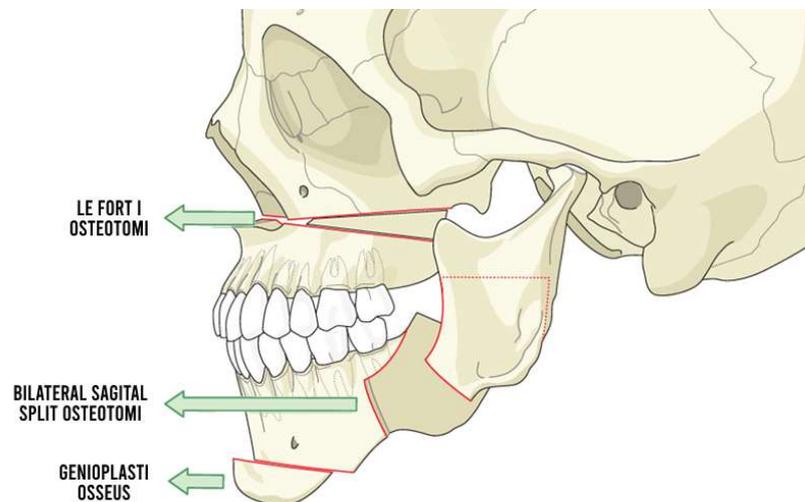
Agar penelitian ini lebih terarah dan terukur, maka difokuskan dalam ruang lingkup sebagai berikut:

- a. Penelitian ini berfokus pada pengukuran dan penandaan objek 3D rahang dalam operasi rahang.
- b. Operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah operasi Le Fort I yaitu operasi yang melibatkan perubahan struktur rahang atas untuk memperbaiki ketidakseimbangan wajah.
- c. Pengujian imersifitas bersifat kualitatif dengan menggunakan kuisisioner, jadi data yang didapatkan berupa persepsi pengguna saat menggunakan program.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Operasi Rahang

Operasi rahang atau bedah ortognatik merupakan tindakan bedah yang memiliki tujuan untuk mengembalikan fungsi rahang yang normal dan mengoptimalkan estetika wajah dengan stabilitas jangka panjang (Ruslin et al., 2015). Berdasarkan Naran et al. (2018), teknik bedah andalan yang dimasukkan ke dalam bedah ortognatik meliputi *Le Fort I Osteotomi*, *Bilateral Sagittal Split Ssteotomi* (BSSO), dan *Genioplasti Osseus*. *Le Fort I Osteotomi* merupakan operasi untuk memperbaiki kelainan bentuk wajah dengan menyelaraskan kembali rahang atas dengan bagian wajah lainnya. Sedangkan BSSO merupakan operasi yang memungkinkan untuk memajukan atau memundurkan rahang bawah, tergantung pada kelainan bentuk tertentu yang dikoreksi. Untuk *Genioplasti Osseus* adalah operasi yang dapat memperbaiki kelainan bentuk dagu dan meningkatkan estetika wajah dengan mengubah bentuk dan posisi dagu (Patel & Novia, 2007).



Gambar 1 Jenis operasi rahang andalan

Penelitian Eslamipour et al. (2017) juga menyatakan bahwa operasi rahang menjelaskan beberapa prosedur pembedahan pada salah satu atau kedua rahang untuk menyelaraskan kembali posisinya. Oleh karena itu, diagnosis suatu kasus memerlukan perawatan bedah yang tepat dan perencanaan operasi yang cermat sangat penting (Shetty et al., 2017).

Dalam perencanaan operasi mengukur dan menandai adalah praktik penting untuk mencegah kesalahan pembedahan. Salah satu alat yang sering digunakan adalah *Computed Tomography (CT) scan*, yaitu teknologi pencitraan yang menggunakan sinar-X untuk menghasilkan gambar detail dari struktur dalam tubuh, membantu dokter bedah memahami kondisi pasien secara lebih akurat (Patel & Jesus, 2023). Menurut (Santos & Jones, 2023) persyaratan minimum termasuk menandai lokasi operasi jika ada lebih dari satu lokasi yang dapat dioperasi. Lokasi operasi harus ditandai oleh dokter bedah dan dikonfirmasi oleh pasien sebelum operasi. Jika penandaan lokasi pembedahan secara anatomis sulit atau tidak praktis, protokol organisasi harus digunakan untuk memastikan lokasi pembedahan yang benar dioperasi. Jeda waktu yang berstandar harus dilakukan sebelum membuat sayatan atau memulai prosedur besar. Jeda waktu ini melibatkan pengenalan setiap anggota staf operasi, seperti dokter bedah, teknisi bedah, tim anestesi, perawat jaga, dan pasien, jika memungkinkan.

Berdasarkan laporan yang ditulis Jacobs (2023), penyebab terjadi kesalahan pembedahan seperti operasi pada lokasi yang salah, dikarenakan kegagalan dalam mengikuti protokol keselamatan. Kejadian ini masih sering terjadi dan dapat menyebabkan kerugian serius bagi pasien. Dalam studi terhadap 68 kasus kesalahan pembedahan, ditemukan bahwa 30,9% kasus menyebabkan kerugian sementara ringan, 23,5% menyebabkan kerugian sementara berat, dan 17,6% menyebabkan kerugian ringan permanen. Hal ini menekankan pentingnya mengikuti panduan dan protokol yang telah ditetapkan untuk memastikan bahwa lokasi pembedahan yang benar dioperasi.

2.2 Teknologi Multimedia

Menurut Abdulrahman et al. (2020) dijelaskan multimedia adalah kombinasi lebih dari satu jenis media seperti teks (alfabet atau numerik), simbol, gambar, foto, audio, video, dan animasi yang biasanya digabungkan dengan bantuan teknologi untuk tujuan meningkatkan pemahaman atau penghafalan. Berdasarkan elemen-elemen pembentuknya, produk dari multimedia dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu produk multimedia linier dan non-linier. Produk multimedia linier adalah produk pasif yang tidak memerlukan kontrol navigasi atau interaksi dengan

pengguna. Contoh produk multimedia linier adalah poster atau video animasi. Sementara itu, produk multimedia non-linear, yang juga dikenal sebagai produk *hypermedia*, adalah produk aktif yang memungkinkan interaksi untuk meningkatkan pengalaman pengguna. Contoh produk multimedia non-linear adalah video di situs web yang memungkinkan kontrol navigasi atau aplikasi permainan (Roedavan et al., 2022).

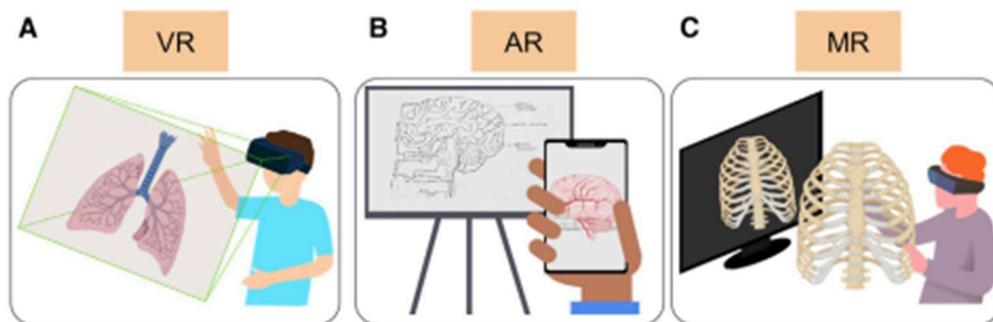
Perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat dan menjalankan aplikasi multimedia dikenal sebagai teknologi multimedia. Teknologi multimedia memiliki beberapa karakteristik seperti integrasi, keragaman, dan interaksi yang memungkinkan orang untuk mengkomunikasikan informasi atau ide dengan elemen digital dan cetak. Elemen digital dan cetak dalam konteks ini mengacu pada aplikasi atau alat berbasis multimedia yang digunakan untuk tujuan menyampaikan informasi kepada orang-orang untuk pemahaman konsep yang lebih baik.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Abdulrahman et al. (2020) juga mengungkapkan bahwa teknologi multimedia telah dikembangkan untuk meningkatkan pengajaran dan pembelajaran untuk berbagai bidang studi. teknologi multimedia sangat berguna untuk mengajar dan mempraktikkan konsep-konsep baru seperti teknologi 3D untuk pemodelan dan pencetakan atau memahami perangkat lunak sejenis *augmented reality*. Teknologi baru seperti *virtual reality*, *augmented reality*, atau *mixed reality* dapat menawarkan kemampuan untuk menciptakan lingkungan multimedia imersif dan berbiaya rendah (Karan R. Patil et al., 2020).

2.3 Mixed Reality

Menurut Milgram & Kishino (1994) *Mixed Reality* (MR) adalah lingkungan yang menyajikan kombinasi antara objek nyata dan virtual pada satu tampilan. Konsep MR juga dapat diartikan sebagai gabungan dari *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR), sebagaimana dijelaskan dalam (Speicher et al., 2019).

Untuk memahami perbedaan antara VR, AR, dan MR, terdapat tiga kriteria utama yaitu imersi, interaksi, dan informasi (Parveau & Adda, 2018). VR menghadirkan pengguna ke lingkungan yang sepenuhnya virtual, memberikan pengalaman imersi yang total dengan menggunakan perangkat seperti *headset* VR (Intel, 2018). Contohnya, pada bagian A dari gambar 2, VR digunakan untuk memvisualisasikan gambar 3D paru-paru, di mana pengguna melihat gambaran ini sepenuhnya dalam dunia virtual.



Gambar 2 Contoh penggunaan VR, AR, dan MR (Venkatesan et al., 2021)

Sebaliknya, AR membawa elemen-elemen digital ke dunia nyata, memungkinkan pengguna untuk melihat dan berinteraksi dengan objek virtual yang ditempatkan di atas lingkungan fisik (Intel, 2018). Contohnya, pada bagian B dari gambar 2, AR digunakan melalui *smartphone* untuk memperbesar sketsa otak yang ditangkap kamera, dengan gambar virtual otak diletakkan di atas sketsa tersebut di dunia nyata.

MR, sebagai kombinasi dari VR dan AR, memungkinkan objek virtual untuk berinteraksi dengan dunia fisik dan sebaliknya (Intel, 2018). Ini dapat dicapai dengan beberapa cara, seperti menampilkan objek virtual secara visual di atas dunia nyata menggunakan teknik tampilan optik atau *video-see-through*, atau memasukkan konten dunia nyata ke dalam dunia virtual melalui *live streaming*. Selain itu, untuk memberikan kesan yang lebih realistis, dapat juga dimasukkan objek *haptic* yang dapat disentuh ke dalam pengalaman virtual (Skarbez et al., 2021).

Pada bagian C dari gambar 2, MR digunakan untuk visualisasi gambar 3D tulang rusuk menggunakan kacamata VR. Dalam penggunaan ini, pengguna dapat berinteraksi dengan objek nyata dan virtual di lingkungan mereka yang dilihat melalui kacamata VR. MR memberikan pengalaman yang lebih mendalam dengan

memungkinkan integrasi yang mulus antara dunia nyata dan virtual, menciptakan pengalaman yang unik dan imersif.

2.4 Head-Mounted Display

Head-Mounted Display (HMD) didefinisikan sebagai perangkat yang dikenakan di kepala dan mampu menampilkan gambar dalam garis pandang pengguna, sekaligus memungkinkan gerakan kepala yang bebas dan, secara potensial, mobilitas seluruh tubuh (Rahman et al., 2020). HMD dapat dibedakan berdasarkan kemampuannya menampilkan gambar, ada hanya dapat menampilkan gambar yang dihasilkan komputer, ada yang hanya menampilkan gambar langsung dunia nyata, dan ada yang mengombinasikan keduanya. Salah satu teknologi dalam HMD yang mengombinasikan gambar dunia nyata dan virtual adalah *pass-through display*. *Pass-through display* menggunakan kamera untuk menangkap dunia nyata dan kemudian melapisi konten virtual di atasnya (Kevin et al., 2021).

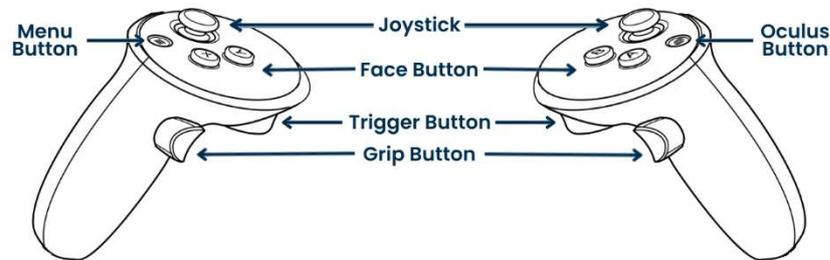


Gambar 3 Meta Quest Pro

Meta Quest Pro adalah HMD buatan Meta yang dirancang untuk MR. Meta Quest Pro memiliki fitur *pass-through* MR beresolusi tinggi yang menggunakan sensor penuh warna, berbeda dengan versi sebelumnya yang hitam putih, untuk memungkinkan melihat dan terlibat dengan dunia nyata di sekitar pengguna. Perangkat ini menggunakan *system-on-chip* Qualcomm Snapdragon XR2+ dengan RAM 12 GB, yang menurut Meta memiliki "50% lebih kuat" daripada Snapdragon XR pada versi sebelumnya (Meta, 2022).

Gambar x merupakan tampilan *controller* Meta Quest Pro beserta bagian-bagiannya. Berikut fungsi-fungsi dari tiap tombolnya:

META QUEST PRO CONTROLLER



Gambar 4 Meta Quest Pro *Controller*

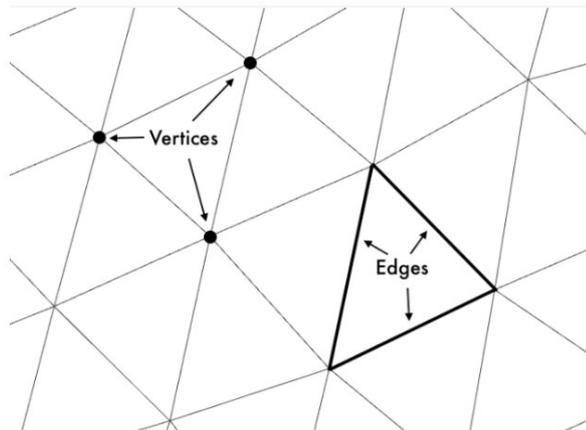
- Tombol Oculus: Sebagai pusat kontrol utama. Menekan tombol ini akan memunculkan menu Oculus yang memungkinkan mengakses berbagai fitur dan pengaturan.
- *Joystick*: Terdapat dua *joystick*, satu di setiap *controller*. Tombol ini memungkinkan untuk menavigasi menu, mengontrol gerakan, dan berinteraksi dengan objek di dunia virtual.
- Tombol *Trigger*: Tombol yang memungkinkan untuk melakukan tindakan seperti memotret, meraih, atau berinteraksi dengan objek.
- Tombol *Grip*: Tombol yang memungkinkan untuk meraih dan menahan objek dalam lingkungan virtual.
- Tombol *Menu*: Tombol menu menyediakan opsi kontrol tambahan dan dapat digunakan untuk mengakses menu khusus dalam *game* atau aplikasi tertentu.
- Tombol *Face*: Tombol ini terdiri atas tombol A, B, X, dan Y. Tombol-tombol ini digunakan untuk berbagai interaksi dalam *game* atau aplikasi dan navigasi menu.

2.5 Meshmixer

Meshmixer adalah perangkat lunak pemodelan 3D gratis yang dikembangkan oleh Autodesk, dirancang untuk memudahkan pembuatan *mashup* dan *remix* 3D dengan alat khusus untuk pencetakan 3D. Meshmixer dapat menyiapkan *file* 3D, seperti *file* .STL dan .OBJ dengan beragam fiturnya, sehingga bisa digunakan untuk

menyiapkan model 3D rahang dari *CT scan* (Alexis et al., 2023; Saravia-Rojas et al., 2021).

Meshmixer dan juga aplikasi 3D lainnya beroperasi menggunakan *triangle meshes*, yang terdiri dari tiga jenis elemen: *vertices* (simpul), *edges* (tepi), dan *triangles* (segitiga). Simpul adalah titik dalam ruang 3D, tepi adalah hubungan antar simpul, dan segitiga adalah gabungan dari 3 simpul. Dalam meshmixer juga terdapat istilah *face* untuk merujuk pada segitiga (Autodesk, 2018).



Gambar 5 Simpul dan tepi (Autodesk, 2018)

Salah satu fitur yang terdapat di Meshmixer adalah *reduce*. *Reduce* memiliki fungsi untuk menyaring *face* yang dipilih sehingga memiliki jumlah segitiga yang lebih sedikit. Pengurangan jumlah segitiga ini berguna untuk mengurangi ukuran *file* dan waktu *rendering* dari model 3D (Autodesk, 2018). Fungsi ini sangat dibutuhkan pada pengembangan program MR, karena adegan dalam MR *rendering* dilakukan dua kali (satu kali untuk setiap mata), dibandingkan dengan pengembangan 3D tradisional, maka dari diperlukan fungsi *reduce* agar bisa mempercepat kerja program (Microsoft, 2022).

2.6 Blender

Blender (2024) adalah aplikasi pembuat 3D yang gratis dan *open-source*. Blender dapat membuat visualisasi 3D seperti gambar diam, animasi 3D, gambar VFX, dan video 3D. Aplikasi ini sangat cocok untuk individu dan studio kecil yang mendapatkan keuntungan lebih dengan proses pengembangan yang responsif. Menjadi aplikasi lintas platform, Blender dapat berjalan di sistem Linux, macOS,

dan Windows. Blender juga memiliki ukuran yang relatif kecil dibandingkan dengan aplikasi pembuatan 3D lainnya.

Kemampuan pemodelan dan animasi Blender memungkinkan pengguna untuk membuat model dan animasi 3D yang terperinci. Ini sangat berguna untuk menciptakan aset seperti karakter, lingkungan, dan efek. Blender dapat digunakan bersama dengan Unity untuk membuat model dan animasi 3D yang dapat diintegrasikan langsung ke dalam proyek Unity. Unity menyediakan integrasi yang mulus dengan Blender, memungkinkan pengguna untuk mengimpor aset Blender secara langsung ke dalam Unity tanpa perlu konversi yang rumit (Unity, 2023).

2.7 Unity

Unity adalah sebuah *game engine* lintas platform yang tersedia secara komersial dan digunakan untuk pembuatan video *game* 2d dan 3D yang disertai dengan visualisasi dan simulasi interaktif *non-game* (Hussain et al., 2020). Unity telah salah satu *game engine* populer yang mudah karena kemudahan, fleksibilitas, efisiensi, dan konsumsi daya yang sedikit. Masih berdasarkan Hussain et al. (2020), tercatat bahwa Unity memungkinkan pengembangan aplikasi *game* untuk 27 platform dan perangkat yang beragam dalam lingkungan pengembangan yang ramah pengguna termasuk pengembangan MR yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman C# dan Javascript. Berikut adalah beberapa komponen yang ada dalam Unity:

- a. *Scene*: Tempat kerja di Unity yang berisi bagian atau seluruh *game/aplikasi*.
- b. *Asset*: Item yang digunakan dalam proyek Unity seperti model 3D, tekstur, efek suara, atau musik. Bisa juga berupa item abstrak seperti gradien warna atau data teks.
- c. *Game Object*: Objek dasar dalam Unity yang mewakili elemen seperti karakter atau kamera.
- d. *Hierarchy*: Jendela yang menampilkan struktur hierarki setiap *GameObject* dalam *Scene* dan juga menunjukkan bagaimana *GameObject* terhubung satu sama lain.
- e. *Inspector*: Jendela untuk melihat dan mengedit properti *GameObject* yang dipilih.

- f. *Components*: Bagian fungsional dari *GameObject* yang menentukan perilakunya. Properti dalam komponen bisa diedit untuk mengubah fungsi *GameObject*.
- g. *Script*: Kode untuk membuat Komponen, memicu perilaku, dan merespons *input* pengguna.
- h. *Prefab*: Sistem untuk menyimpan dan menggunakan kembali *GameObject* lengkap dengan semua komponennya dan properti sebagai *template* yang dapat digunakan kembali.
- i. *Canvas*: Komponen di Unity untuk membuat dan mengelola elemen UI (*User Interface*).
- j. *Line Renderer*: komponen di Unity yang menggambar garis lurus di antara dua atau lebih titik dalam ruang 3D.



Gambar 6 Tampilan ruangan kerja Unity

Unity menyediakan dukungan untuk pengembangan aplikasi *game* pada perangkat HMD keluaran Meta seperti Meta Quest Pro dengan menggunakan Oculus Integration. Oculus Integration mencakup berbagai komponen seperti Oculus Interaction SDK, Voice SDK, dan Platform SDK, yang menyediakan berbagai macam fitur untuk membangun pengalaman yang imersif serta menyederhanakan proses pengembangan aplikasi di Unity untuk perangkat keluaran Meta. Paket Oculus Integration tersedia untuk diunduh dari Unity Asset Store dan kompatibel dengan Unity versi 2021.3 LTS dan yang lebih baru. Paket ini tidak kompatibel dengan versi Unity yang lebih lama, yang dapat menyebabkan kesalahan saat mencoba menggunakannya dengan versi tersebut (Oculus, 2024).

Skala dan pengukuran memainkan peran penting dalam pembuatan suatu aplikasi *game* dalam Unity. Unity memiliki sistem pengukuran yang disebut sebagai “*Unity Unit*” untuk mengukur jarak dan ukuran di dalam aplikasi. Sistem ini didasarkan pada rasio piksel terhadap unit, yang memungkinkan pengembang untuk menskalakan objek dan adegan *game* yang dibuat agar sesuai dengan kebutuhan (Unity, 2020). Dikutip langsung dari Unity (2020), dinyatakan bahwa:

“Dalam banyak pengaturan "dunia nyata", kami sarankan Anda mengasumsikan 1 unit Unity = 1 meter (100cm), karena banyak sistem fisika yang mengasumsikan ukuran unit ini.”

2.8 Penelitian Terkait

2.8.1 Penerapan *Mixed Reality* dalam Pelatihan Medis dan Perencanaan Bedah yang Berfokus pada Bedah Minimal Invasif

Dalam penelitian yang dilakukan Sánchez-Margallo et al. (2021), dirancang dua solusi menggunakan teknologi *mixed reality* untuk memperbaiki pelatihan dan perencanaan dalam operasi bedah minimal invasif. Bedah minimal invasif adalah jenis operasi yang dilakukan dengan sayatan kecil dan menggunakan alat khusus, sehingga menyebabkan sedikit kerusakan pada tubuh pasien dan mempercepat proses pemulihan. Aplikasi pertama adalah untuk pelatihan dokter di bidang urologi, cabang kedokteran yang menangani masalah saluran kemih dan sistem reproduksi pria, dan aplikasi kedua untuk perencanaan operasi. Kedua aplikasi ini menggunakan perangkat Microsoft HoloLens.

Aplikasi pelatihan menyediakan materi tentang anatomi dan prosedur bedah yang lengkap, yang dinilai oleh dokter urologi ahli. Sementara itu, aplikasi perencanaan bedah diuji pada operasi pengangkatan tumor ginjal dan bagian paru-paru kanan, dengan dokter bedah memberikan masukan tentang kegunaannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pelatihan membantu dokter memahami anatomi urologi dengan lebih baik dan menerapkannya dalam praktik klinis. Aplikasi perencanaan operasi memungkinkan dokter bedah mengakses informasi penting pasien secara *real-time*, seperti gambar sebelum operasi dan model 3D, yang membantu dalam perencanaan operasi tanpa mengganggu sterilitas ruang

operasi. Pandangan dari perangkat *mixed reality* bisa dibagikan kepada seluruh tim bedah, meningkatkan kerja sama.

2.8.2 Penggunaan Teknologi *Mixed Reality* dalam Bedah Ortopedi: Studi Percontohan

Pada penelitian yang dilakukan oleh Lu et al. (2022), teknologi *Mixed Reality* (MR) digunakan untuk meningkatkan visualisasi dan efektivitas dalam bedah ortopedi, yang berfokus pada diagnosis, perawatan, pencegahan, dan pemulihan cedera atau penyakit pada tulang, sendi, otot, dan ligamen. Dengan menggunakan pencitraan 3D, platform *cloud*, dan stasiun ruang MR, serta algoritma segmentasi cerdas untuk membuat model 3D dari data CT dan MRI, hologram 3D ditampilkan secara *real-time* melalui HoloLens selama prosedur klinis.

Penelitian ini menggunakan kuesioner *likert-scale* untuk menilai beban kerja dan efektivitas teknologi MR. Hasilnya menunjukkan bahwa hologram MR membantu merancang rencana perawatan dengan menampilkan struktur 3D patah tulang secara jelas. Selain itu, teknologi ini meningkatkan komunikasi intuitif antara dokter dan pasien, serta menyediakan panduan visual superior selama operasi dengan integrasi hologram dengan model digital 3D pasien. Kesimpulannya, teknologi MR dalam bedah ortopedi menyediakan visualisasi 3D yang digunakan untuk diagnosis dan pengobatan yang lebih akurat, mengurangi ketergantungan pada pengalaman ahli bedah, dan menunjukkan arah perkembangan masa depan dalam bedah medis.

2.8.3 Survei Estimasi Jarak dalam *Virtual Reality* dan *Augmented Reality*

Penelitian yang dilakukan oleh Jamiy & Marsh (2019), meninjau tantangan dan teknik estimasi jarak dalam *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR). Penelitian ini mengulas literatur yang ada tentang persepsi visual dan estimasi jarak dalam VR dan AR, menyoroti konteks historis serta upaya penelitian yang telah dilakukan. VR digunakan untuk meneliti persepsi karena kemampuannya mengontrol berbagai fitur lingkungan, meskipun ada keterbatasan seperti resolusi layar dan bidang pandang yang terbatas pada *Head Mounted Display* (HMD), yang

mempengaruhi persepsi kedalaman. Masalah serupa ditemukan dalam AR, di mana objek virtual harus diposisikan secara akurat dalam dunia nyata. Persepsi jarak yang akurat sangat penting untuk interaksi yang efektif dalam lingkungan VR dan AR.

Kesimpulannya, baik sistem VR maupun AR menghadapi tantangan signifikan dalam mencapai persepsi jarak yang akurat. Penelitian ini menyarankan perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan metode dan teknologi yang lebih efektif dalam meningkatkan persepsi jarak di lingkungan *virtual*, demi meningkatkan pengalaman pengguna dan akurasi interaksi.