

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MIXED REALITY SEBAGAI
PRE-SURGICAL TRAINING PADA BEDAH ORTOGNATI**

**DEVELOPMENT OF MIXED REALITY TECHNOLOGY AS PRE-
SURGICAL TRAINING IN ORTHOGNATHIC SURGERY**



**Carolina Stevanie
J045 2020 03**



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI
SPESIALIS BEDAH MULUT DAN MAKSILOFASIAL
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *MIXED REALITY* SEBAGAI
PRE-SURGICAL TRAINING PADA BEDAH ORTOGNATI**

**CAROLINA STEVANIE
J045202003**



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI
SPESIALIS BEDAH MULUT DAN MAKSILOFASIAL
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

***DEVELOPMENT OF MIXED REALITY TECHNOLOGY AS
PRE-SURGICAL TRAINING IN ORTHOGNATHIC SURGERY***

**CAROLINA STEVANIE
J045202003**



**SPECIALIST STUDY PROGRAM
ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY
FACULTY OF DENTISTRY
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR
2024**

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *MIXED REALITY* SEBAGAI
PRE-SURGICAL TRAINING PADA BEDAH ORTOGNATI**

Tesis

*Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar spesialis bedah mulut dan
maksilofasial*

Program Studi Dokter Gigi Spesialis Bedah Mulut dan Maksilofasial

Disusun dan diajukan oleh

CAROLINA STEVANIE
J045202003

Kepada

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI
SPESIALIS BEDAH MULUT DAN MAKSILOFASIAL
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *MIXED REALITY* SEBAGAI *PRE-SURGICAL TRAINING* PADA BEDAH ORTOGNATI

CAROLINA STEVANIE

J045202003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis pada tanggal 7 Oktober 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Program Studi Bedah Mulut dan Maksilofasial
Departemen Bedah Mulut dan Maksilofasial
Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing utama,

Pembimbing pendamping,

Prof. Muhammad Ruslin, drg., M.Kes.,
Ph.D., Sp.B.MM., Subsp. Ortognat-
D(K)
NIP. 197307022001121001

drg. Yossy Yoanita Ariestiana,
M.KG., Sp.B.M.M., Subsp. Ortognat-
D(K)
NIP. 198404062012122002

Ketua Program Studi
Bedah Mulut dan Maksilofasial

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi

drg. Andi Tajrin, M.Kes., Sp.B.M.M
Subsp. C.O.M(K)
NIP. 197410102003121002

drg. Irfan Sugianto., M.Med.Ed.,
Ph.D
NIP. 198102152008011009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pengembangan Teknologi *Mixed Reality* sebagai *pre-surgical training* pada bedah ortognati” adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing (Prof. Muhammad Ruslin, drg., M.Kes., Ph.D., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D(K) dan drg. Yossy Yoanita Ariestiana, M.KG., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D(K)). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 9 September 2024



Carolina Stevanie
J045202003

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi, dan arahan Prof. Muhammad Ruslin, drg., M.Kes., Ph.D., Sp.B.M.M., Subsp. Ortognat-D(K) sebagai Pembimbing utama, dan drg. Yossy Yoanita Ariestiana, M.KG., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D(K) sebagai Pembimbing pendamping. Saya mengucapkan berlimpah terimakasih kepada mereka. Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak Muh. Anshar, M.Sc., Ph.D. yang telah mengizinkan kami untuk melaksanakan penelitian di Fakultas Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin dan menggunakan fasilitas serta peralatan di Laboratorium *social, cognitive, robotics and AI research*.

Kepada kedua orang tua tercinta (Alexander Endang Gunawan dan Maria Herlinawati Susanto) saya mengucapkan limpah terima kasih dan sembah sujud doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada seluruh keluarga (Gerry Stevanus Husein, Natalia stevanie, dan William Stevenson) atas motivasi dan dukungan yang tidak ternilai.

Akhirnya kepada seluruh teman-teman residen bedah mulut dan maksilofasial Unhas, terutama sahabat saya Angkatan 6 (Andi Muh. Arif, Yenny Andriany Tarukallo, Kasma AS, Andi Hasanuddin, Muh. Tegar Jaya, dan Indra Wahyudi) saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya atas dukungan dan kerja sama yang terjalin bagi saudara sedarah selama menjalani residensi bedah mulut dan maksilofasial di Universitas Hasanuddin.

Penulis,

Carolina Stevanie

ABSTRAK

CAROLINA STEVANIE. **Pengembangan teknologi *mixed reality* sebagai *pre-surgical training* pada bedah ortognati** (dibimbing oleh Muhammad Ruslin dan Yossy Yoanita Ariestiana).

Latar belakang. Berbagai penelitian telah menunjukkan manfaat teknologi *mixed reality* dalam pelatihan, perencanaan, dan navigasi bedah. Namun pengembangan dan manfaat teknologi ini di bidang bedah mulut dan maksilofasial belum banyak dibahas. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui manfaat dan realitas pengembangan teknologi *mixed reality* sebagai *pre-surgical training* pada bedah ortognati. **Metode.** Penelitian dilakukan di Lab. *Virtual Reality* dan *Augmented Reality*, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hasanuddin, Makassar dan Laboratorium *social, cognitive, robotics and AI research*, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Makassar. Jenis penelitian adalah observasional analitik dengan rancangan penelitian *cross-sectional*. Uji dilakukan pada total 11 responden yang terdiri dari pakar klinis, pakar teknik, mahasiswa teknik, dan mahasiswa klinis menggunakan uji kuesioner *mixed reality neuroscience questionnaire* (MRNQ) dan kuesioner *clinical-virtual evaluation questionnaire* (CVEQ). Penarikan sampel dilakukan dengan *purposive sampling*. Data dianalisis menggunakan uji normalitas Saphiro-Wilk dan uji *one-way* Annova **Hasil.** Hasil uji normalitas Saphiro-Wilk menunjukkan bahwa data berdistribusi normal, dengan $P\ value > 0.05$. Analisis statistik kemudian dilanjutkan dengan uji *one-way* Annova, didapatkan tidak ada perbedaan signifikan baik penilaian dari pakar teknik, pakar klinisi, mahasiswa teknik, dan mahasiswa klinisi ($P < 0.05$). Berdasarkan hasil analisis kuesioner MRNQ, didapatkan hasil nilai rata rata total 122.9 (*minimum cut-offs* ≥ 100 ; *parsimonious cut-offs* ≥ 120). Hasil analisis kuesioner CVEQ didapatkan hasil nilai rata rata total 72.5 (96.6%) (*minimum cut-offs* 40%), menunjukkan baik pakar klinisi maupun mahasiswa klinisi memiliki penilaian yang sama, bahwa penggunaan teknologi *mixed reality* sebagai *pre-surgical training* pada bedah ortognati memiliki manfaat dalam proses pembelajaran mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial, terutama dalam memahami prosedur bedah ortognati dan memahami struktur anatomi terkait. **Kesimpulan:** Pengembangan sarana *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality* memiliki tingkat realitas dan kesesuaian yang dapat dijadikan dasar dalam prosedur bedah ortognati. Hal tersebut menjadikan inovasi ini dapat dikembangkan dan diadopsi dalam metode pembelajaran mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial.

Kata Kunci: Bedah ortognati, *mixed reality*, *virtual training*.

ABSTRACT

CAROLINA STEVANIE. **Development of mixed reality technology as pre-surgical training in orthognathic surgery** (supervised by Muhammad Ruslin and Yossy Yoanita Ariestiana).

Background: Various studies have demonstrated the benefits of mixed reality technology in surgery, especially in the field of surgical training, planning and navigation. However, the development and benefits of this technology in the field of oral and maxillofacial surgery have not been widely discussed. **Objectives:** This study aims to determine the benefits and reality of developing mixed reality technology as pre-surgical training in orthognathic surgery. **Methods:** The research was conducted at the Virtual Reality and Augmented Reality Laboratory, Faculty of Dentistry, Hasanuddin University, Makassar and the Laboratory of social, cognitive, robotics and AI research, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Hasanuddin University, Makassar. The type of research was analytical observational with cross-sectional research design. The test was conducted on a total of 11 respondents consisting of clinical expert, engineer experts, engineering students, and clinical students using the virtual reality neuroscience questionnaire (VRNQ) and clinical-virtual evaluation questionnaire (CVEQ). Sampling was done by purposive sampling. Data were analysed using Saphiro-Wilk normality test and one-way Annova test. **Results:** The results of the Saphiro-Wilk normality test showed that the data were normally distributed, with a P value>0.05. Statistical analysis was then continued with the one-way Annova test, and it was found that there was no significant difference in the assessment of engineering experts, clinician experts, engineering students, and clinician students (P<0.05). Based on the results of the VRNQ questionnaire analysis, the total mean score was 122.9 (minimum cut-offs ≥ 100 ; parsimonious cut-offs ≥ 120). In the other hand, the analysis result of CVEQ questionnaire obtained a total mean value of 72.5 (96.6%) (minimum cut-offs 40%), indicating that both expert clinicians and student clinicians have the same agreement and conclude that the use of mixed reality technology as pre-surgical training in orthognathic surgery has benefits in the learning process of dental students and oral and maxillofacial surgery residents, especially in understanding orthognathic surgical procedures and understanding related anatomical structures. **Conclusion:** The development of mixed reality technology as pre-surgical training for orthognathic surgery has adequate quality without any significant interference and effects caused by MR technology (VRISE) and is suitable for use as a method of orthognathic surgical training to improve the understanding and skills of dental students and oral and maxillofacial surgery residents.

Keywords: Orthognathic surgery, mixed reality, virtual training.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS.....	iii
PERNYATAAN PENGAJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tinjauan Pustaka.....	2
1.2.1 Perkembangan teknologi <i>mixed reality</i> (MR)	2
1.2.2 Perangkat dan komponen pendukung teknologi MR	4
1.2.3 Pengaruh teknologi MR dalam sistem persepsi, motorik, dan kognitif manusia	5
1.2.4 Perkembangan dan manfaat teknologi MR dalam prosedur bedah ortognati.....	6
1.3 Rumusan Masalah	12
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	12
BAB II. METODE PENELITIAN.....	13
2.1 Tempat dan Waktu.....	13
2.2 Alat dan Bahan.....	14
2.3 Metode Penelitian.....	15
2.4 Prosedur Penelitian	17
2.5 Parameter Pengamatan	19
2.6 Alur Penelitian	21
2.7 Analisis Data.....	22
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
3.1 Hasil Penelitian.....	25
3.2 Pembahasan	36
3.3 Keterbatasan Penelitian	39
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
4.1. Kesimpulan.....	40
4.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA.....	41
PUBLIKASI	47
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. <i>Hardware, software</i> , dan bahan yang digunakan dalam penelitian	14
2. Kategorial penilaian kuesioner CVEQ.	19
3. Daftar pertanyaan dalam kuesioner CVEQ.	22
4. Daftar pertanyaan dalam kuesioner MRNQ	23
5. Karakteristik responden berdasarkan jenis kelamin dan keahlian	25
6. Uji validitas korelasi Pearson terhadap kuesioner MRNQ	27
7. Uji validitas korelasi Pearson terhadap kuesioner CVEQ	28
8. Hasil Uji validitas korelasi Pearson dan uji reliabilitas Alpha Cronbach's terhadap kuesioner MRNQ dan CVEQ	29
9. Uji normalitas Saphiro-Wilk terhadap kuesioner MRNQ dan CVEQ	30
10. Uji <i>one-way annova</i> terhadap kuesioner MRNQ dan CVEQ.....	31
11. Distribusi data <i>mixed reality neuroscience questionnaire</i> (MRNQ).....	32
12. Analisis skor kuesioner MRNQ.....	34
13. Distribusi data penilaian <i>clinical-virtual evaluation questionnaire</i> (CVEQ).....	35
14. Kategori penilaian kuesioner CVEQ berdasarkan persentase	36

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. <i>Head mounted display</i> sebagai perangkat visualisasi <i>mixed reality</i>	5
2. Alur fungsi reseptor hingga penentuan aksi	5
3. <i>Feedback loop</i>	7
4. Perbandingan prosedur bedah ortognati Le fort I pada lingkungan nyata dan lingkungan <i>mixed reality</i>	9
5. Tampilan visual <i>mixed reality</i> pada prosedur Le Fort I	10
6. Perencanaan 3D bedah ortognati menggunakan aplikasi <i>open source</i> Meshmixer	15
7. Ilustrasi protokol penelitian	19
8. Rumus konversi persentase <i>score</i> kuesioner	20
9. Alur penelitian	21
10. Distribusi penilaian pakar teknik, pakar klinis, mahasiswa teknik, dan mahasiswa klinis berdasarkan MRNQ	34
11. Distribusi penilaian pakar klinis dan mahasiswa klinis berdasarkan CVEQ	36

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Persetujuan etik penelitian, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hasanuddin.....	45
2. Storyboard pre-surgical training bedah ortognati berbasis teknologi mixed reality.....	46
3. Form Mixed reality neuroscience questionnaire (MRNQ).....	47
4. Form Clinical-virtual evaluation questionnaire (CVEQ).....	49
5. Persetujuan partisipasi penelitian (Pakar dan Mahasiswa).....	51
6. Uji validitas kuesioner dengan uji korelasi Pearson.....	53
7. Uji reliabilitas kuesioner dengan uji Alpha Chronbach's.....	55
8. Uji normalitas Saphiro Wilk.....	56
9. Uji One-way Annova.....	57
10. Dokumentasi trial dan pengisian kuesioner.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, masalah deformitas dentofasial banyak terjadi dengan angka rata-rata kejadian di Asia sebesar 15 – 25% (Eslamipour et al., 2017; Gobic et al., 2021; Ruslin et al., 2015a). Di Indonesia, prognati mandibula disertai *open bite* merupakan jenis deformitas dentofasial yang paling banyak terjadi (Ruslin et al., 2015). Deformitas dentofasial dapat menyebabkan gangguan fungsional baik pengunyahan, pengucapan, penelanan, dan bahkan dalam tingkat keparahan tertentu, dapat mengganggu proses pernafasan (Khechoyan, 2013; Ruslin et al., 2015). Hal tersebut secara signifikan berdampak pada kepercayaan diri dan psikososial individu (Ruslin et al., 2015; Belusic Gobic et al., 2021).

Bedah ortognati merupakan perawatan pilihan utama dalam memperbaiki masalah deformitas dentofasial (Eslamipour et al., 2017; Khechoyan, 2013). Dalam tatalaksana bedah ortognati diperlukan pengetahuan, pengalaman, dan keahlian seorang bedah mulut dan maksilofasial yang diperoleh melalui pembelajaran selama bertahun-tahun sebelum dapat melakukan pembedahan pada manusia (Khechoyan, 2013).

Pelatihan dan pembelajaran mengenai bedah ortognati umumnya dilakukan dengan media *cadaver*, phantom, dan model gigi. Namun media tersebut dinilai kurang efektif, karena tidak dapat menggambarkan anatomi spasia serta keterbatasan bahan dan tingginya biaya yang diperlukan, sehingga pembelajaran metode tersebut mulai ditinggalkan (Evans and Schenarts, 2016; Joda et al., 2019). Pembelajaran melalui praktik langsung pada pasien dalam pengawasan ahli saat ini dianggap sebagai standar pembelajaran bedah ortognati yang ideal bagi ahli bedah mulut dan maksilofasial. Namun kasus bedah ortognati tidak tersebar merata diseluruh daerah Indonesia, sehingga metode pembelajaran tersebut tidak efektif dan tidak merata dalam memberikan pengalaman dan pembelajaran pada mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial (Ruslin et al., 2014).

Perkembangan teknologi membawa perkembangan dalam bidang kedokteran gigi. Teknologi *mixed reality* (MR) menunjukkan pemanfaatan yang pesat sebagai alternatif metode pembelajaran bedah ortognati yang berdampak positif bagi mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial (Koolivand et al., 2024; Schott et al., 2019). Teknologi MR merupakan teknologi holografik yang sedang berkembang dengan menggabungkan keunggulan *virtual reality* (VR) dan *augmented reality* (AR) (Milgram and Kishino, 1994; Sasaki et al., 2022; Speicher et al., 2019a). *Image processing* dan *mathematical computation* digunakan untuk menghasilkan dan memproyeksikan hologram 3D secara *realtime*, sehingga pengguna (*user*) dapat berinteraksi (Mihelj et al., 2014). Teknologi tersebut memungkinkan mahasiswa memperoleh pelatihan melalui *MR-based simulator* (Tang et al., 2022). Simulator menghadirkan objek virtual dengan suasana yang

nyata dengan tampilan objek yang sesuai dengan keadaan klinis pasien. Teknologi MR telah diterapkan di bidang bedah hepatobilier dan bedah saraf, tetapi penerapannya dalam bedah mulut dan maksilofasial masih terbatas (Tang et al., 2022)

Dalam mentranslasikan *user movement* di lingkungan nyata ke lingkungan virtual, *controller* pada *head mounted device* (HMD) memungkinkan pengguna melakukan intervensi secara *real-time* terhadap objek virtual, serta memperoleh umpan balik (*feedback*) dari intervensi yang dilakukan (Monterubbianesi et al., 2022; Yang et al., 2022). Adapun *controller* memiliki bentuk yang ergonomis sehingga meningkatkan ketangkasan manual dan meningkatkan pelatihan klinis *user* (Ayoub and Pulijala, 2019).

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah di uraikan, peneliti bermaksud untuk mengembangkan teknologi *mixed reality* sebagai sarana *pre-surgical training* bedah ortognati dengan realitas dan kesesuaian dengan prosedur bedah ortognati sebenarnya, untuk meningkatkan keterampilan dan pengetahuan mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial yang akan dijelaskan lebih lanjut dalam penelitian ini.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Perkembangan teknologi *mixed reality* (MR)

Perkembangan teknologi MR melalui proses evolusi teknologi yang panjang, dimulai dari pengembangan teknologi *virtual reality* (VR), *augmented reality* (AR) hingga kombinasi teknologi tersebut yang dikenal sebagai teknologi *mixed reality* (MR).

1.2.1.1 *Virtual reality* (VR)

Teknologi *virtual reality* (VR) pertama kali diperkenalkan oleh Sutherland et al. dalam sebuah manuskrip yang menggambarkan VR sebagai jendela dimana pengguna dapat melihat dunia virtual yang terasa nyata dan dapat berperan didalamnya secara realtime (Sutherland et al., 2019). Pada lingkungan VR, pengguna sepenuhnya berada dalam dunia virtual dan terisolasi dari dunia nyata disekelilingnya. Adapun definisi VR digambarkan sebagai berikut:

- Grafis interaktif *real-time* dengan model 3D, dikombinasikan dengan tampilan teknologi yang memungkinkan pengguna terlibat dalam dunia virtual dan melakukan manipulasi langsung (Bishop et al., 1992).
- Partisipasi ilusi dalam lingkungan buatan. VR mengandalkan pelacak kepala stereoskopik dengan tampilan 3D, pelacakan lengan/tubuh dan suara binaural. VR adalah sebuah pengalaman multi-indra yang mendalam (Gigante, 1993).
- Realitas virtual mengacu pada imersif, interaktif, multi-indra, dan terpusat pada pengguna. Lingkungan yang dihasilkan oleh komputer 3D dikombinasikan dengan teknologi yang diperlukan untuk membangun suatu lingkungan (Cruz-Neira et al., 1993).

Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa teknologi VR memiliki 3 fitur utama, yaitu: imersifitas (*immersive*), kehadiran (*presence*), dan interaksi (*interaction*) (Maliha et al., 2018). Imersifitas menjelaskan keterlibatan pengguna

berdasarkan jumlah indera yang dirangsang. Interaksi menjelaskan realitas rangsangan yang digunakan untuk mensimulasikan lingkungan. Fitur ini dapat bergantung pada sistem teknologi yang digunakan untuk mengisolasi pengguna dari lingkungan nyata (Maliha et al., 2018).

1.2.1.2 Augmented Reality (AR)

Milgram dan Kishino pada tahun 1994 menciptakan konsep *virtual reality continuum* yang melibatkan 4 sistem, yaitu: lingkungan nyata (*real environment*), *augmented reality* (AR), *augmented virtuality*, dan *virtual environment*. AR didefinisikan sebagai sistem teknologi yang menambahkan objek virtual kedalam lingkungan nyata (Milgram and Kishino., 1994).

AR merupakan pengembangan dari VR, yang menggabungkan rangsangan buatan (informasi visual, suara, dan taktil/*haptic*) dalam lingkungan nyata. Peningkatan rangsang tersebut mempengaruhi *user* secara langsung ataupun melalui tampilan visual, memungkinkan user melihat informasi yang sebelumnya tidak dapat dilihat (Mihelj et al., 2014).

Azuma et al. menyatakan bahwa AR merupakan sistem yang mengkombinasikan objek nyata dan virtual dalam lingkungan nyata, bekerja secara interaktif dan langsung, serta menghubungkan objek virtual dan nyata secara berkesinambungan (Azuma et al., 2001).

Seperti halnya teknologi VR, rasa kehadiran dan tingkat realitas dalam representasi lingkungan dan objek merupakan indikator kualitas pengalaman AR. Semakin tinggi realitas pengalaman dan kongruensi antara ekspektasi pengguna dengan interaksi dalam lingkungan AR, semakin tinggi pula persepsi *physically present* (kehadiran secara fisik), pada tingkat emosional dan kognitif pengguna (Azuma et al., 2001).

1.2.1.3 Mixed reality (MR)

Teknologi MR merupakan gabungan teknologi VR dan AR. MR terdiri dari simulasi komputer interaktif yang memberikan pengalaman sebagai operator dan menggantikan atau menambahkan informasi dan *feedback* sensoris pada satu atau lebih indera sehingga *user* merasa menyatu (*immersed*) dalam simulasi (lingkungan virtual). Dengan demikian dapat diidentifikasi 4 (empat) elemen dasar MR, yaitu: lingkungan virtual, kehadiran virtual, *feedback* sensoris, dan interaktivitas (Mihelj et al., 2014).

MR memungkinkan proyeksi 3D dengan informasi visual yang diperlukan dalam pembedahan, dapat dibuat dan ditambahkan sesuai kebutuhan berdasarkan citra medis pra-operasi dan diproyeksikan pada intra-operasi. Teknologi ini mampu meningkatkan akurasi dan keamanan selama prosedur bedah dilakukan.

Terdapat 6 (enam) pemahaman mengenai MR, yaitu *continuum*, *synonym*, *collaboration*, *alignment*, dan *strong AR*. MR menganut sifat "*virtuality continuum*", yang menjelaskan campuran objek nyata dan objek virtual dalam tampilan tunggal pada spektrum antara sepenuhnya virtual dan sepenuhnya nyata (Speicher et al., 2019). Teknologi MR dapat menggantikan teknologi AR yang menampilkan objek

virtual ke dunia nyata, yang disebut "*augmented virtuality*". Oleh karena itu, MR juga didefinisikan sebagai penyatuan dunia nyata dan virtual dalam tampilan tunggal (*immersive reality* - IR) (Speicher et al., 2019).

Selanjutnya, MR dipahami sebagai sinonim AR (*synonym*) karena memiliki prinsip kerja yang sama. MR dapat menampilkan informasi virtual pada indera manusia, disaat *user* menjelajahi dunia nyata. Definisi tersebut adalah definisi yang sama pada AR (Speicher et al., 2019). MR juga didefinisikan sebagai hasil kolaborasi (*collaboration*), karena MR menunjukkan interaksi antara AR dan VR yang secara fisik berpotensi terpisah. Selain itu, pemahaman ini mencakup pemetaan ruang dimana lingkungan AR *user* diproyeksikan dalam VR.

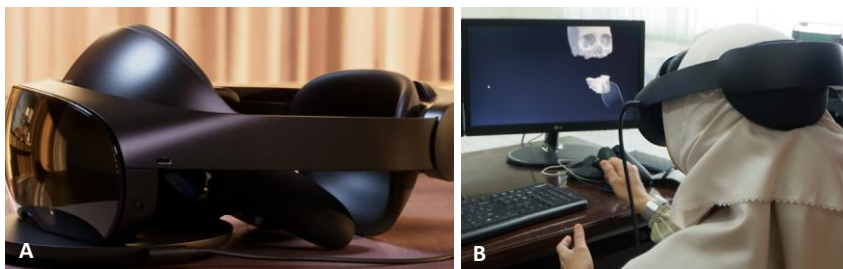
MR didefinisikan sebagai seluruh sistem yang mengkombinasikan bagian VR dan AR dan berinteraksi satu sama lain namun tidak terintegrasi secara mengikat, atau sebuah aplikasi atau perangkat yang dapat berubah menjadi VR atau AR saat diperlukan. Contoh sistem ini ditunjukkan oleh aplikasi Pokemon Go, dimana *user* mengalami interaksi menangkap pokemon di sistem AR, sedangkan tampilan peta secara utuh merupakan sistem virtual.

MR sebagai penyelarar lingkungan (*alignment*), artinya sinkronisasi antara lingkungan fisik dan lingkungan virtual atau keselarasan representasi virtual dengan lingkungan nyata. Sistem tersebut mengkombinasikan lingkungan fisik dengan lingkungan virtual, sehingga memiliki fungsi yang tumpang tindih (*overlap*) terhadap *combination* dan *collaboration*. Salah satu contohnya, adalah translasi pergerakan dari lingkungan nyata ke *total immersive reality* (menggunakan *Leap Motion technology*). Selain itu, Microsoft Kinect membuktikan fungsi MR dengan mengobservasi blok bangunan pada saat terjadi gempa bumi dan mensinkronisasikan dengan *tower* digital dalam proyeksi VR. Dalam penelitiannya dikatakan bahwa MR membawa dunia fisik dan dunia virtual bersama-sama dengan interaksi fisik dan umpan balik (*feedback*) interaktif.

MR didefinisikan sebagai versi AR yang lebih kuat (*strong AR*), dikarakteristikan sebagai pemahaman lingkungan dan interaksi yang lebih baik antara pengguna dan objek virtual. MR bergantung pada *hardware* dan *software* tertentu yang mampu menyediakan fungsionalitas yang diperlukan. Definisi ini menunjukkan bahwa AR tidak memiliki fungsi tersebut, oleh karena itu MR merupakan hasil evolusi AR. Teknologi MR sederhananya dapat menggunakan Hololens yang dapat menghadirkan konten virtual serta berinteraksi secara langsung dengan lingkungan nyata.

1.2.2 Perangkat dan komponen pendukung teknologi MR

Saat ini, perangkat MR yang banyak digunakan adalah Hololens (*Microsoft Hololens*) dan Oculus (*Reality Labs, Facebook. Inc*). Perangkat ini dapat bertukar informasi dengan beberapa perangkat sehingga beberapa pengguna mendapatkan visual yang sama dan dapat melihat superimposisi objek virtual 3D dengan lingkungan nyata secara bersamaan (*real time*). Selain itu, *user* dapat menggunakan *controller* untuk mengendalikan objek, mendapatkan informasi, maupun berinteraksi dengan objek virtual yang tampak. Perangkat MR dapat terhubung melalui WiFi sehingga *user* yang tidak berada di satu tempat tetap dapat mengakses dan mengendalikan kegiatan virtual (Sasaki et al., 2022).



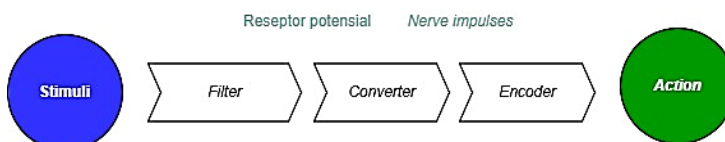
Gambar 1. *Head mounted display* sebagai perangkat visualisasi *mixed reality*. A.) HMD Meta Quest Pro 2, B.) penggunaan HMD dalam visualisasi *mixed reality*.

1.2.3 Pengaruh teknologi MR dalam sistem persepsi, motorik, dan kognitif manusia

Dalam lingkungan virtual, manusia mengalami dampak terhadap persepsi, motorik dan kognitif. Persepsi memberikan informasi mengenai lingkungan sekitar manusia. Kemampuan motorik (sistem muskuloskeletal) memungkinkan pergerakan pada lingkungan, manipulasi melalui sentuhan, dan reposisi objek untuk meningkatkan persepsi. Kemampuan kognitif (sistem saraf pusat) memungkinkan analisa informasi lingkungan dan merencanakan aksi berdasarkan tujuan (Mihelj et al., 2014).

a. Kemampuan persepsi

Manusia memahami lingkungan disekitarnya melalui berbagai jalur indera yang mendeteksi elektromagnetik (pandangan), kimia (rasa dan penciuman), mekanis (pendengaran, sentuhan, dan orientasi), serta rangsangan suhu panas. Berbagai rangsangan ini dapat dimunculkan pada lingkungan virtual. Bagian tubuh yang menerima rangsang tersebut (*reseptor*) menerima rangsang secara spesifik dan mengirimkan informasi tersebut ke sistem saraf pusat. Secara singkat fungsi *reseptor* dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 2. Alur fungsi reseptor hingga penentuan aksi.

Sinyal input (stimuli) selalu muncul dalam bentuk elektromagnetik, kimia, mekanis, kimia, dan suhu panas. Rangsangan kemudian mempengaruhi bagian filter dari reseptor yang tidak mengubah bentuk energi, tetapi memperkuat dan menekan parameter tertentu. Seperti telinga memperkuat frekuensi suara yang diterima, kulit berperan sebagai filter mekanis, dan mata menggunakan lensa untuk memfokuskan cahaya yang diterima dan meneruskannya ke retina. Sinyal

tersebut akan dibuat dalam lingkungan virtual, sehingga *user* merasakan perasaan yang sama seperti halnya lingkungan nyata (Mihelj et al., 2014).

b. Kemampuan motorik

Kemampuan motorik membantu manusia berinteraksi dengan lingkungan virtual. Interaksi ini dapat dibedakan menjadi navigasi dan manipulasi objek, serta interaksi antar *user* dalam lingkungan virtual. Kemampuan motorik turut berperan dalam *haptic interface*. *User* secara langsung berhubungan dengan *haptic interface* dan mempengaruhi stabilitas interaksi *haptic*. Hal ini diperlukan dalam adaptasi sistem motorik manusia dan membuat *haptic interface* yang stabil (Mihelj et al., 2014).

c. Kemampuan kognitif

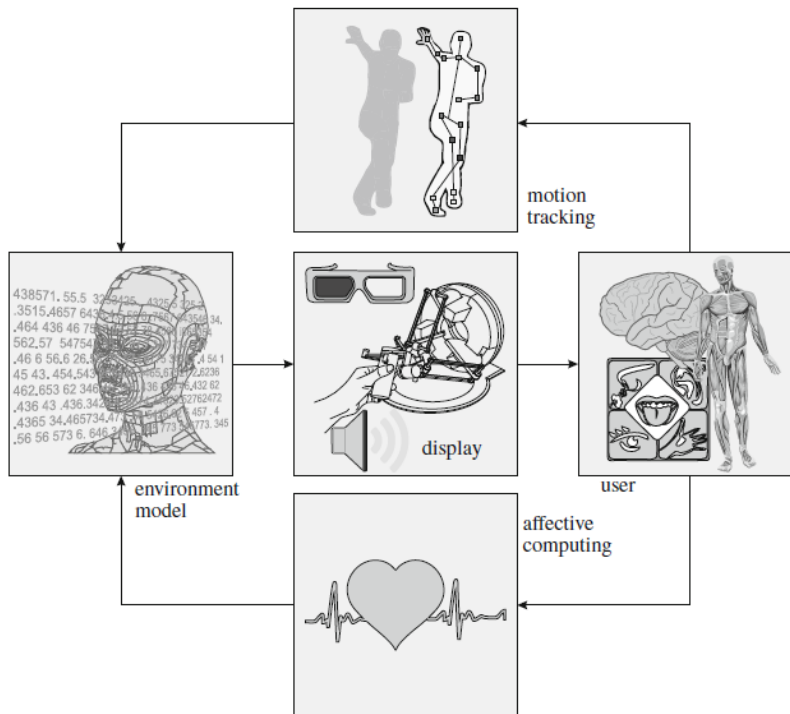
Kemampuan kognitif membantu manusia menentukan aksi terhadap suatu stimuli dan berinteraksi dengan lingkungan virtual. Sistem kognitif diperlukan untuk melibatkan perasaan dan emosi *user* dan memberikan dampak pada perilaku *user* di lingkungan virtual.

1.2.4 Perkembangan dan manfaat teknologi MR dalam prosedur bedah ortognati

Secara umum, teknologi MR sangat bermanfaat di bidang bedah mulut dan maksilofasial. Teknologi ini dapat membantu melokalisir struktur anatomi dan jaringan patologis pada daerah operasi dengan tepat, membantu perencanaan bedah dan pendekatan bedah yang terbaik, dan sebagai navigasi digital atau *tumor marker* pada bedah tumor (Yang et al., 2022).

Bedah ortognati diketahui sebagai prosedur standar dalam mengkoreksi deformitas dentofasial. Bedah ortognati (*orthognatic surgery*) berasal dari bahasa Greek "*orthos*" yang berarti lurus dan "*gnathos*" yang berarti rahang, merupakan intervensi bedah yang bertujuan untuk memperbaiki deformitas dento-cranio-maxillofacial pada pergerakan tulang maksila dan mandibula, untuk mendapatkan keseimbangan seluruh bagian wajah pasien (Reyneke and Ferretti, 2021). Perkembangan praktik bedah ortognati saat ini semakin meningkat dengan memanfaatkan teknologi MR pada berbagai tahap, baik dalam tahap pelatihan, perencanaan, dan navigasi intra-operasi (Sasaki et al., 2022; Stevanie et al., 2024; Tang et al., 2022).

Feedback dalam lingkungan MR memungkinkan interaksi dengan sistem virtual melalui tindakan fisik pengguna dan deteksi kondisi psikofisiologis pengguna. Dalam *fast feedback loop*, pengguna secara langsung berinteraksi dengan sistem virtual melalui gerakan. Dalam *slow feedback loop* yang terkait dengan komputasi afektif, keadaan psikofisiologis pengguna dapat dinilai melalui pengukuran dan analisis sinyal fisiologis dan lingkungan virtual dapat diadaptasi untuk melibatkan dan memotivasi pengguna (Mihelj et al., 2014). Hal ini dapat dijelaskan melalui skema pada gambar 2.



Gambar 3. *Feedback loop.* Sistem merespon aksi *user*, dan dapat memperkirakan status psikologis *user* sehingga dapat beradaptasi dengan lebih baik (Mihelj et al., 2014).

1.2.4.1 Teknologi MR sebagai instrumen pelatihan bedah ortognati (*pre-surgical training*)

Keberhasilan bedah ortognati merupakan suatu pembedahan dengan perencanaan dan tatalaksana yang rinci. Sebelum melakukan pembedahan, seorang ahli bedah mulut dan maksilofasial memerlukan pelatihan dan pengalaman yang cukup sebelum melakukan bedah ortognati, baik melalui pelatihan bedah maupun bimbingan ahli bedah berpengalaman (Reyneke and Ferretti, 2021; Sousa and Turrini, 2019).

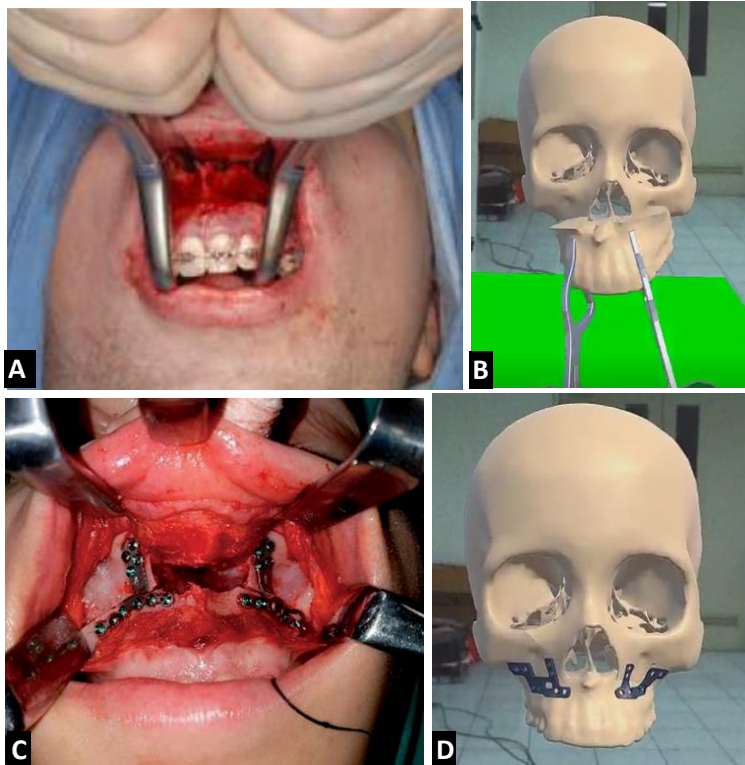
Pelatihan bedah ortognati di lingkungan pendidikan bedah mulut dan maksilofasial memiliki berbagai keterbatasan, baik dalam aspek ketersediaan pasien maupun dalam aspek komplikasi yang dapat ditimbulkan (Wang et al., 2016). Pasien dengan deformitas dentofasial merupakan indikasi bedah ortognati, namun pelatihan langsung pada pasien dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada pasien, memperpanjang waktu perencanaan dan pembedahan, peningkatan biaya, serta kemungkinan terjadinya komplikasi pasca bedah (Ho et al., 2019; Reyneke and Ferretti, 2021; Seo and Choi, 2021; Sousa and Turrini, 2019).

Pemanfaatan teknologi MR diketahui berkontribusi terhadap peningkatan pengetahuan *user* dan mengurangi *knowledge gap* antara ahli bedah dan maksilofasial *fresh graduate* dengan ahli bedah mulut dan maksilofasial

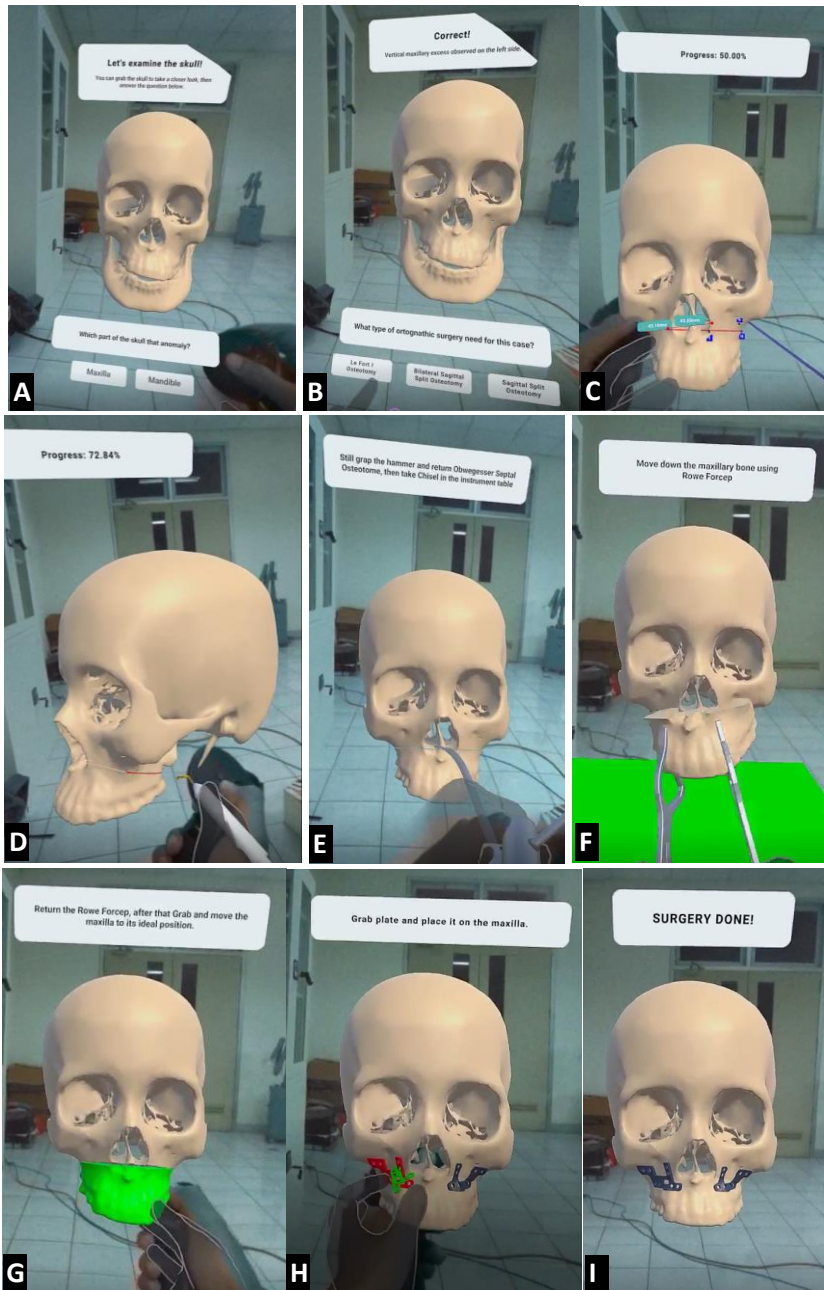
berpengalaman (Pulijala et al., 2018). Selain itu, teknologi MR dapat menampilkan gambaran yang nyata sehingga mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS dapat mengeksplorasi kelainan anatomi dan struktur vital lainnya. Hal ini bermanfaat dalam membantu mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial dalam mengenali wilayah kerja dan meningkatkan pemahaman sebelum melakukan bedah ortognati pada pasien secara langsung (Pham Dang et al., 2021; Pulijala et al., 2018). Pada kasus *severe dentofacial deformity*, teknologi MR dapat membantu mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial dalam memprediksi kesulitan intra operasi sehingga mempersingkat waktu pembedahan dan menurunkan risiko komplikasi (Arikatla et al., 2018).

Teknologi MR turut berpengaruh terhadap *cost-effective* pelatihan bedah ortognati, terutama dikarenakan pelatihan berbasis teknologi MR dapat diulang (*restart*) sesuai kebutuhan, sehingga mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial dapat berlatih berulang kali tanpa meningkatkan biaya pengadaan bahan latihan karena seluruhnya berbasis digital (Bernier and Sanchez, 2016). Pada penggunaan jangka panjang, biaya teknologi MR sebagai simulator pelatihan pra-bedah terhitung lebih rendah karena dapat dimanfaatkan dalam berbagai pelatihan meskipun biaya pengadaan awal lebih tinggi dibandingkan pelatihan konvensional menggunakan model fisik (Abbate et al., 2023; Mccloy and Stone, 2001; Resnick et al., 2016).

Pemanfaatan teknologi MR secara luas di bidang bedah mulut dan maksilofasial memberikan inovasi pada sistem pembelajaran melalui *case-based scenario* sehingga mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS dapat lebih mahir dan memahami prosedur bedah ortognati (Bernier and Sanchez, 2016; Su et al., 2022).



Gambar 4. Perbandingan prosedur bedah ortognati Le fort I pada lingkungan nyata dan lingkungan MR. A.) Penggunaan *Rowe forcep* pada bedah ortognati (Joshi et al., 2022), B.) Tampilan MR penggunaan *Rowe forcep* pada bedah ortognati. C.) Pemasangan *plate* dan *screw* pada operasi Le Fort I (Atac, 2019), D.) Tampilan MR pada tahap pemasangan *plate* dan *screw*.



Gambar 5. Tampilan visual MR prosedur bedah ortognati Le fort I. A. dan B.) Tahap identifikasi abnormalitas struktur anatomi, C.) pengukuran area bedah dengan *caliper*. D.) *osteotomy* area bedah (*highlight* merah). E.) penggunaan *obwegesser septal osteotome* pada septum nasal, F.) penggunaan *Rowe forcep*, G.) reposisi maksila (*highlight* hijau), H. dan I.) pemasangan *plate* dan *screw*.

1.2.4.2 Teknologi MR dalam tahap *surgical planning* bedah ortognati

Salah satu tahap penting dalam bedah ortognati adalah tahap perencanaan bedah (*surgical planning*) (Reyneke, 2003). Memahami tahapan perencanaan bedah ortognati yang rinci dan memerlukan waktu lebih panjang, inovasi di bidang bedah ortognati diperlukan untuk mempersingkat proses tersebut.

Teknologi MR diketahui mampu berperan dalam melakukan proses perencanaan secara digital, analisis wajah dan radiografi, hingga memprediksi hasil perawatan.

Teknologi ini membawa inovasi *wafferless orthognathic surgery* dengan hasil yang sama baiknya dengan metode konvensional (Medellin-Castillo et al., 2021; Zinser et al., 2013).

Zaragoza et.al dalam penelitiannya mengevaluasi lima modul prosedur bedah ortognati, terdiri dari analisis wajah, analisis sefalometri, *template* bedah, bedah model, dan studi kasus (Zaragoza-Siqueiros et al., 2019). Menurut penelitian tersebut, analisis wajah yang dilakukan oleh dokter pemula (*novices*) dan pakar membutuhkan waktu yang hampir sama, masing-masing 5,5 menit dan 3,2 menit. Demikian pula, analisis sefalometri yang dilakukan oleh pemula dan ahli memiliki durasi yang sedikit berbeda yaitu 7,5 menit dan 8,2 menit. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi MR dapat mempercepat proses *surgical planning* tanpa perbedaan signifikan antara pakar dan *novices* (Zaragoza-Siqueiros et al., 2019).

Penelitian oleh Medellin et al. menunjukkan waktu prosedur yang lebih singkat dengan menggunakan teknologi MR sebagai alat untuk pembelajaran klinis, analisis wajah, dan sefalometri, pelatihan dalam melakukan osteotomi sagital dan mentoplasti, serta membuat *template* bedah. Dibandingkan dengan metode konvensional, teknologi MR dapat mengurangi seluruh waktu prosedur menjadi 240,9 menit (± 4 jam) untuk ahli bedah berpengalaman dan 456,6 menit (± 7 jam) untuk ahli bedah pemula (Medellin-Castillo et al., 2021).

1.2.4.3 Teknologi MR sebagai *surgical navigation* bedah ortognati

Teknologi MR dapat dimanfaatkan sebagai instrumen navigasi bedah untuk mempermudah operator dalam melakukan pembedahan sesuai perencanaan. Tingkat akurasi yang presisi serta hubungan *realtime* antara lingkungan virtual dan aktual menyebabkan teknologi ini membawa manfaat yang besar dalam proses pembedahan, terutama mempersingkat waktu operasi dan membantu dalam jenis kasus yang sulit (Lutz et al., 2019).

Dalam mensimulasikan jaringan lunak, teknologi MR dapat menampilkan jaringan lunak dengan sangat baik dan hampir serupa dengan gambaran aktual. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi MR dapat mensimulasikan kondisi klinis dan hasil perawatan pada aspek jaringan lunak dengan baik, meskipun validasi secara klinis tetap diperlukan (Venturini et al., 2022).

1.3 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana program *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality* dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran?
- b. Bagaimana realitas dan kesesuaian penggunaan sarana *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality*?

1.4 Tujuan Penelitian

- a. Menghasilkan sarana *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality*.
- b. Mengetahui realitas dan kesesuaian sarana *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality* terhadap prosedur bedah ortognati sebenarnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Pengembangan sarana *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality*, bermanfaat untuk:

1.5.1 Teoritis:

- a. Menjadi dasar pengembangan teknologi *mixed reality* sebagai sarana *pre-surgical training* bedah ortognati.
- b. Sebagai acuan penelitian selanjutnya.

1.5.2 Praktis

- a. Memberikan inovasi dalam proses pembelajaran bedah ortognati di kalangan mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa program pendidikan dokter gigi spesialis (PPDGS) bedah mulut dan maksilofasial.
- b. Memberikan pengetahuan awal melalui pelatihan bedah ortognati bagi mahasiswa kedokteran gigi dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

2.1.1 Tempat penelitian

Penelitian dilakukan di 2 lokasi, yaitu:

- a. Laboratorium *augmented reality & virtual reality*, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin, Makassar.
- b. Laboratorium *social, cognitive, robotics and AI research*, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.1.2 Waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2024, dimana sampel yang diambil dari Mei 2021 – Juni 2024.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Perangkat keras (*hardware*)

Pada penelitian ini digunakan beberapa perangkat keras, antara lain:

- a. *Head mounted display* (HMD): Sebagai *visual output* bagi *user*, sehingga *user* dapat mengintegrasikan gerakan berdasarkan *object virtual* yang tampak.
- b. CPU (*Central processing unit*): Sebagai prosesor dalam mengoperasikan aplikasi *mixed reality*.
- c. *Processing monitor*: Berperan sebagai monitor utama yang terhubung dengan CPU, mengoperasikan aplikasi *mixed reality* dan membantu mengatur jalannya proses simulasi bedah ortognati.
- d. *Input hardware* berupa *keyboard* dan *mouse* yang membantu operator mengoperasikan aplikasi *mixed reality*, menginput dan meregistrasikan objek, serta melakukan sinkronisasi antara objek virtual yang tampak pada monitor dengan objek virtual yang tampak pada HMD.
- e. *Output monitor* sebagai media pemancar *output* saat pelatihan operasi bedah ortognati berlangsung. Instrumen ini membantu mempresentasikan situasi selama simulasi bedah ortognati berlangsung secara luas kepada mahasiswa lain dalam ruangan latihan. Selain itu, output monitor dapat menjadi media evaluasi setelah mahasiswa melakukan simulasi.
- f. *Speaker* merupakan instrumen untuk menghasilkan suara seperti halnya saat operasi bedah ortognati. Adapun suara yang dihasilkan adalah *vitality monitor*, *drilling*, *suction*, dan *inaudible people*. Suara tersebut berfungsi dalam meningkatkan *presence* dan imersivitas dalam pelatihan.

2.2.2 Perangkat lunak (*software*)

Penelitian ini menggunakan berbagai perangkat lunak untuk memproses *medical imaging* menjadi *virtual object* di lingkungan MR.

- a. *3D modelling software*: Aplikasi ini membantu dalam memproses data CT-scan berformat DICOM (*Digital Imaging and Communications*) menjadi format file

- OBJ. Format file OBJ mendukung garis, poligon, kurva dan permukaan bentuk bebas. File tersebut selanjutnya diregistrasikan pada aplikasi *mixed reality*.
- 3D animation builder*: Aplikasi ini membantu dalam membuat animasi 3D yang menyerupai alat-alat medis yang diperlukan dalam operasi bedah ortognati.
 - 3D Planning software*: Aplikasi ini membantu dalam pembuatan perencanaan osteotomi, pengukuran, serta menyesuaikan model 3D sebelum diregistrasi dalam *mixed reality software*.
 - Mixed reality software*: Aplikasi ini merupakan media registrasi dan manipulasi object virtual. Aplikasi ini membantu dalam menciptakan lingkungan virtual dan menghadirkan objek objek yang meningkatkan realitas dalam bedah ortognati virtual.

2.2.3 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Formulir *Mixed Reality Neuroscience Quesionner (MRNQ)*
- Formulir *Clinical-Virtual Evaluation Questionnaire (CVEQ)*
- Alat tulis

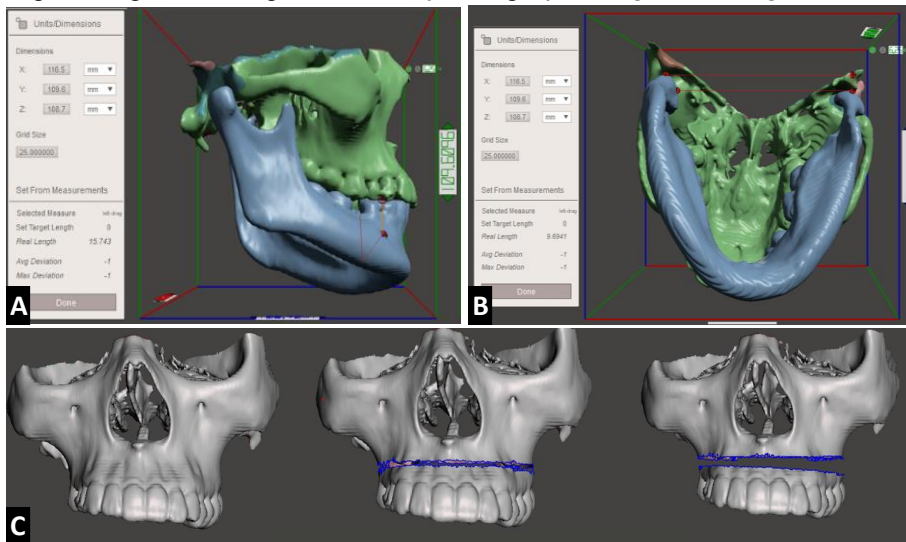
Tabel 1. *Hardware dan software yang digunakan dalam penelitian.*

No	Nama alat	Fungsi
Hardware		
1	Meta quest Pro 2 (Reality Labs, Facebook. Inc)	HMD
2	- Intel i7 processor (1700F) - Mainboard Asus TUF gaming B660-Plus WiFi D4 - VGA Card Asus RTX 3080ti - Case Armageddon Aero III - Ram DDR4 32 GB 16*2 - Digital Alliance 800W 80+ gold	CPU (Assembly)
3	Dell monitor 4K UHD 27" 60Hz (U2723QE)	Processing monitor
4	Logitech keyboard + mouse	Input hardware
5	Samsung LED Smart TV 4K UHD 70"	Output monitor
6	Bose soundbar 700 wireless bluetooth	Speaker
Software		
1	Unity (Microsoft Corporation, Redmont, WA, USA)	Mixed reality app
2	InVesalius, (Center of information Technology Renato Archer (CTI), Campinas – São Paulo, Brazil)	3D Modelling software
3	Blender.org	3D Animation builder
4	Meshmixer (Autodesk Inc., San Rafael, CA, USA)	3D planning software

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Rancangan penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan (*preliminary study*) dengan jenis penelitian penelitian observasional analitik. Rancangan penelitian yang digunakan adalah *cross sectional study* untuk mengetahui realitas dan kesesuaian pengembangan teknologi *mixed reality* sebagai *pre-surgical training* bedah ortognati.



Gambar 6. Perencanaan 3D bedah ortognati menggunakan aplikasi *open source* Meshmixer. A) pengukuran struktur anatomi, B) evaluasi perbedaan kedudukan kondilus kanan dan kiri, C) perencanaan bedah Le Fort I dan reposisi maksila.

2.3.2 Populasi dan sampel penelitian

2.3.2.1 Populasi

Populasi pada penelitian ini yaitu pakar klinisi, pakar teknik, mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial, dan mahasiswa teknik dengan pemahaman dan keahlian di bidang bedah ortognati dan teknologi MR/VR/AR di Makassar periode Mei 2021 – Juni 2024 untuk menilai kesesuaian dan realitas prosedur bedah ortognati serta teknis simulasi dalam pengembangan penelitian ini.

2.3.2.2 Sampel penelitian

Sampel pada penelitian ini adalah pakar klinisi, pakar teknik, mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial, dan mahasiswa teknik di Universitas Hasanuddin, Makassar dengan pemahaman dan keahlian di bidang bedah ortognati dan teknologi MR/VR/AR di Universitas Hasanuddin, Makassar dan telah memberikan persetujuan untuk berpartisipasi sebagai responden. Adapun metode pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan *purposive sampling* yaitu teknik pengambilan sampel dengan menentukan kriteria-kriteria tertentu.

2.3.2.3 Besaran sampel

Sampel pada penelitian ini melibatkan pakar teknik, pakar klinis, mahasiswa teknik, dan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial, dengan jumlah kepakaran minimal menurut (Ali Memon et al., 2020). Sample yang terlibat pada lokasi penelitian memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi berikut ini:

a. Kriteria inklusi

Kriteria inklusi pada penelitian ini antara lain:

- 1) Pakar teknik merupakan dosen/ahli teknologi dengan pemahaman dan pengalaman dalam pengembangan teknologi MR/VR/AR.
- 2) Pakar klinis merupakan dokter gigi spesialis bedah mulut dan maksilofasial dengan keahlian di bidang bedah ortognati dan osteodistraksi.
- 3) Mahasiswa teknik merupakan mahasiswa teknik di bidang teknik elektro dan telah menempuh masa pendidikan sekurang kurangnya 7 (tujuh) semester.
- 4) Mahasiswa klinis merupakan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial dan telah menempuh masa pendidikan sekurang kurangnya 7 (tujuh) semester.
- 5) Sampel memahami konsep MR/VR/AR.

b. Kriteria eksklusi

Kriteria eksklusi pada penelitian ini antara lain:

- 1) Sampel tidak dapat menyelesaikan simulasi dikarenakan mengalami *nausea*, *vomit* (muntah), atau gangguan lainnya.

2.3.3 Variabel dan definisi operasional penelitian

2.3.3.1 Variabel penelitian

Variabel penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas: Penggunaan teknologi *mixed reality* sebagai sarana *pre-surgical training* bedah ortognati.
- b. Variabel terikat: Kesesuaian prosedur dan realitas program *pre-surgical training* bedah ortognati berbasis teknologi *mixed reality* dengan prosedur bedah ortognati sebenarnya.

2.3.3.2 Definisi operasional penelitian

Definisi operasional pada penelitian ini antara lain:

- a. *Teknologi mixed reality* merupakan gabungan dari *virtual reality* dan *augmented reality* yang dikembangkan sebagai pelatihan bedah ortognati, memungkinkan pengguna melihat, berinteraksi, dan melakukan intervensi secara langsung pada objek virtual secara *realtime*.
- b. *Pre-surgical training* merupakan simulasi praktik di lingkungan *mixed virtual* menggunakan model 3D virtual yang dihasilkan dari data medical imaging CT scan yang memungkinkan interaksi, intervensi dan *feedback* secara langsung.
- c. *Virtual object* merupakan model 3D yang merupakan hasil konversi *medical imaging* CT scan.
- d. *Medical imaging* berupa CT scan merupakan representasi visual dari struktur tulang dari pasien dengan deformitas dentofasial terindikasi bedah ortognati.

- e. Bedah ortognati merupakan jenis operasi untuk memposisikan tulang rahang atas, rahang bawah, atau dagu untuk mencapai harmonisasi gigitan yang baik dengan keseimbangan profil wajah.
- f. Kesesuaian prosedur adalah kemiripan antara gambaran pada sistem MR dengan teori dasar prosedur bedah ortognati dan dinilai melalui penilaian kuesioner MRNQ dan CVEQ
- g. Realitas program adalah kemiripan struktur dan bentuk model 3D dengan gambaran model 3D pada CT-Scan, kemiripan instrumentasi yang ditampilkan dengan instrumentasi bedah ortognati, *feedback* berupa suara monitor menggambarkan suasana ruang operasi, serta hasil dan prosedur pelatihan yang menyerupai prosedur bedah ortognati sebenarnya yang dinilai melalui kuesioner MRNQ dan CVEQ.

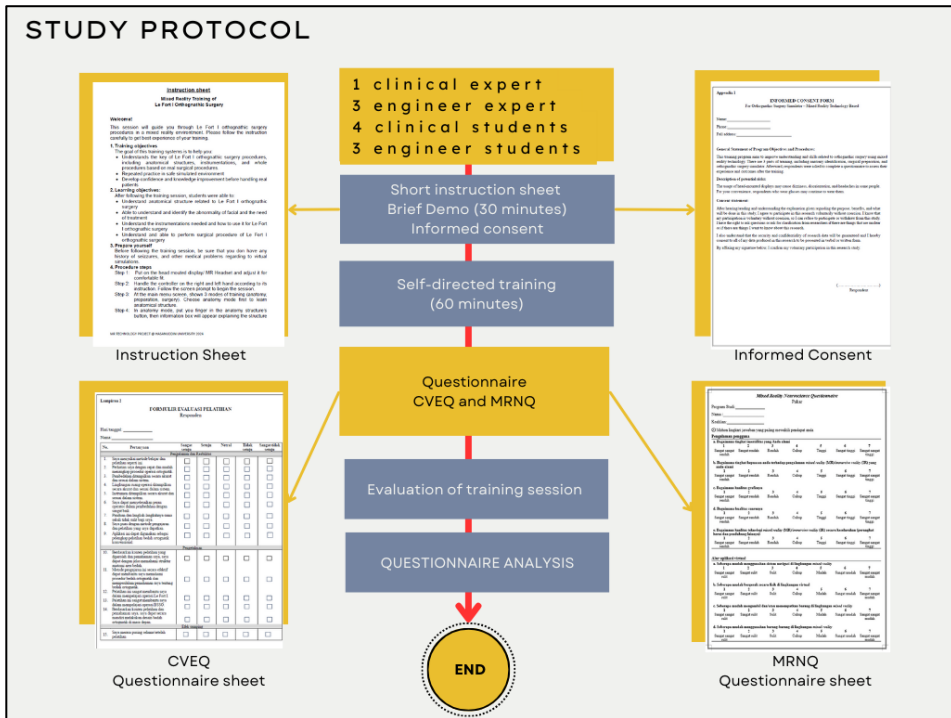
2.3.4 Prosedur penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari:

- a. Tahap perizinan penelitian:

Peneliti mengajukan izin penelitian ke Komisi Etik Penelitian (KEPK) Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hasanuddin.
- b. Tahap pembuatan dan registrasi objek 3D:
 - 1) Peneliti mengumpulkan data medis pasien dengan deformitas dentofasial terindikasi bedah ortognati.
 - 2) Peneliti mengumpulkan data citra medis (CT-scan) dalam bentuk file rar.
 - 3) File rar. kemudian diekstraksi, menghasilkan file DICOM dari citra medis dengan jumlah *slice* minimal 150.
 - 4) Peneliti kemudian mengimport file DICOM pada aplikasi InVesalius 3.0 (*open source*) dan mengkonversi file tersebut dengan format Obj. dan STL.
 - 5) Objek 3D dengan format Obj. kemudian diregistrasi pada aplikasi Unity.
 - 6) Dilakukan sinkronisasi *hardware* dan *software*.
- c. Tahap penyusunan, uji validasi dan reliabilitas kuesioner:
 - 1) Peneliti melakukan studi literatur mengenai kuesioner yang menilai kesesuaian dan realitas aplikasi *mixed reality*.
 - 2) Peneliti melakukan modifikasi terhadap kuesioner *virtual reality neuroscience questionnaire* (VRNQ).
 - 3) Peneliti melakukan modifikasi terhadap kuesioner *clinical-virtual evaluation questionnaire* (CVEQ).
 - 4) Diperoleh kuesioner *mixed reality neuroscience questionnaire* (MRNQ) dan CVEQ yang sesuai dengan penelitian.
 - 5) Kuesioner dilakukan uji validitas dan reliabilitas melibatkan 30 responden yang merupakan mahasiswa PPDGS bedah mulut dan maksilofasial, Universitas Hasanuddin. Uji validitas dilakukan dengan uji korelasi *Pearson* dan uji reliabilitas dilakukan dengan menghitung koefisien *Alpha Cronbach's*.
 - 6) Hasil uji validasi disajikan dalam bentuk tabel.
- d. Tahap penelitian dan uji kuesioner:

- 1) Peneliti membuat *storyboard* yang menunjukkan alur kegiatan simulasi bedah ortognati sesuai tahapan prosedur bedah ortognati.
- 2) Peneliti menyesuaikan *scene* yang diperlukan pada Unity mengikuti *storyboard* yang telah dibuat.
- 3) Peneliti kemudian melibatkan sampel pakar klinis, pakar teknik, mahasiswa klinis, dan mahasiswa teknik yang dipilih menggunakan *purposive sampling* sesuai kriteria inklusi dan eksklusi.
- 4) Sampel diberikan tutorial penggunaan perangkat *mixed reality* oleh peneliti, serta dijelaskan kemungkinan terhadap gangguan dan efek yang ditimbulkan oleh teknologi MR (*Mixed Reality Induced Symptoms and Effects - MRISE*).
- 5) Sampel melakukan simulasi *pre-surgical training* bedah ortognati menggunakan perangkat berbasis teknologi MR.
- 6) Pengalaman dan realitas yang diperoleh oleh sampel dicatat menggunakan *mixed reality neuroscience questionnaire* (MRNQ) dan *clinical-virtual evaluation questionnaire* (CVEQ). Adapun kekurangan dan gangguan dalam program *pre-surgical training* bedah ortognati turut dicatat sebagai bahan evaluasi.
- 7) Hasil kuesioner kemudian dianalisis menggunakan SPSS 29.0 dan dilakukan uji normalitas Saphiro-Wilk dan uji *one-way Annova*.
- 8) Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.



Gambar 7. Ilustrasi protokol penelitian.

2.3.5 Parameter pengamatan

Pre-surgical training berbasis teknologi MR diharapkan dapat memenuhi ekspektasi mahasiswa dengan memberikan visual dan perasaan (*feel*) yang sesuai seperti pembedahan ortognati sebenarnya. Penilaian dilakukan menggunakan 2 jenis kuesioner, yaitu *mixed reality neuroscience questionnaire* (MRNQ) dan *clinical-virtual evaluation questionnaire* (CVEQ).

2.3.5.1 Mixed reality neuroscience questionnaire (MRNQ)

MRNQ merupakan kuesioner modifikasi yang dikembangkan dari *virtual reality neuroscience questionnaire* (VRNQ) yang dipublikasikan oleh Panagiotis Kourtesis et al, 2019 di University of Edinburgh di Skotlandia dan University of Suor Orsola Benincasa di Naples, Italia. Kuesioner ini bertujuan untuk menilai realitas dan pengalaman sampel saat menggunakan aplikasi *pre-surgical training* berbasis *mixed reality* yang dikembangkan.

Terdapat 4 (empat) parameter penilaian pada kuesioner MRNQ, yaitu pengalaman pengguna (*user experience*), alur aplikasi (*game mechanism*), bantuan dalam aplikasi (*in-app assistance*), dan gangguan/efek yang ditimbulkan oleh teknologi MR (MRISE).

Kuesioner ini memiliki total 20 (dua puluh) pertanyaan dijawab menggunakan jawaban tertutup dengan skor Likert (1-7). Hasil kuesioner kemudian dikalkulasi dan dikategorikan menggunakan indikator *minimum cut-offs* (*score* >100) dan

parsimonious cut-offs (score >120). *Minimum cut-offs* mengindikasikan bahwa kualitas teknologi adekuat untuk digunakan tanpa menimbulkan gejala dan efek samping (MRISE) yang signifikan, sedangkan indikator *parsimonious cut-offs* mengindikasikan bahwa penggunaan teknologi virtual sesuai dan dapat digunakan dengan sangat baik.

2.3.5.2 *Clinical-virtual evaluation questionnaire (CVEQ)*

CVEQ merupakan kuesioner modifikasi dari kuesioner yang telah dipublikasikan oleh Su et al. dan Wan et al. Terdapat 3 (tiga) parameter penilaian pada kuesioner CVEQ, yaitu pengalaman dan reliabilitas (*experience and reliability*), peningkatan pengetahuan (*knowledge improvement*), dan efek samping (*side effect*) (Su et al., 2022);(Wan et al., 2023):

Kuesioner ini memiliki total 15 (lima belas) pertanyaan yang dijawab menggunakan jawaban tertutup dengan skor Likert (1-5). Hasil kuesioner kemudian dikalkulasi dan dikategorikan berdasarkan interval pada Tabel 2. Kuesioner ini memiliki minimum cut-offs 40% yang menunjukkan bahwa *pre-surgical training* berbasis teknologi *mixed reality* yang dikembangkan sesuai dengan prosedur pembedahan ortognati yang sesungguhnya.

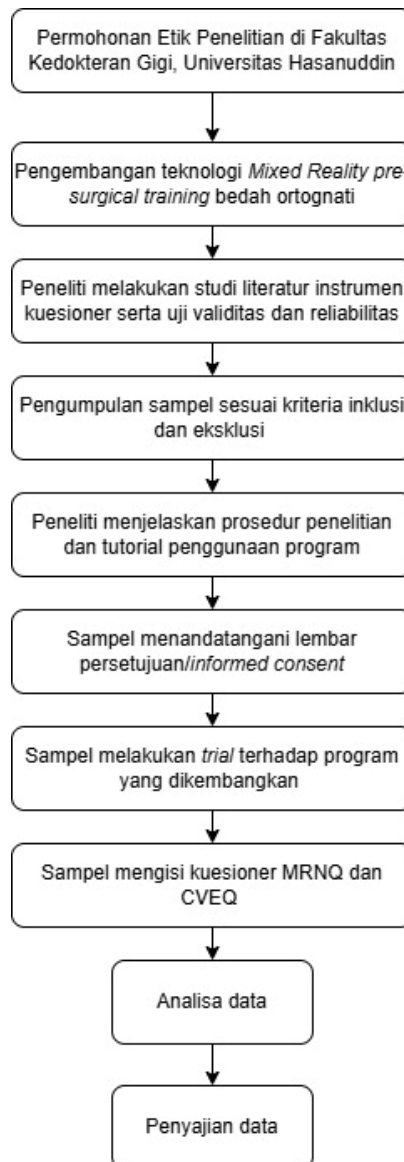
$$\text{Penilaian (\%)} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimal}} \times 100$$

Gambar 8. Rumus konversi persentase score kuesioner

Tabel 2. Kategorial penilaian kuesioner CVEQ

Total score	Interval persentase (%)	Kategori
0 – 14	0 – 19.99	Sangat Kurang
15 – 29	20 – 39.99	Kurang Baik
30 – 44	40 – 59.99	Cukup
45 – 59	60 – 79.99	Baik
60 – 75	80 - 100	Sangat Baik

2.3.6 Alur penelitian



Gambar 9. Alur penelitian

2.3.7 Analisis data

Data yang terkumpul dianalisis dengan SPSS versi 29.0. Angka mutlak dan persentase digunakan untuk menggambarkan variabel kategori. Uji normalitas dilakukan dengan uji Saphiro-Wilk (jika sampel <50) atau uji Kolmogorov-Smirnov (jika sampel >50). Analisis statistik menggunakan uji *one-way* annova jika data berdistribusi normal atau uji Kruskal-Wallis jika data tidak berdistribusi normal. Jika didapatkan nilai signifikan ($P < 0.05$) analisis dilanjutkan dengan uji post-hoc Bonferroni (jika data homogen) atau Games-howell (jika data tidak homogen).

Tabel 3. Daftar pertanyaan dalam kuesioner CVEQ

No.	Parameter evaluasi	Pertanyaan
1.	Pengalaman dan reliabilitas (<i>experience and reliability</i>)	1. Saya menyukai metode belajar dan pelatihan seperti ini. 2. Saya dengan cepat dan mudah menangkap prosedur operasi ortognati. 3. Pembedahan ditampilkan secara akurat dan sesuai dalam sistem. 4. Lingkungan ruang operasi ditampilkan secara akurat dan sesuai dalam sistem. 5. Instrumen ditampilkan secara akurat dan sesuai dalam sistem. 6. Saya dapat menyelesaikan peran operator dalam pembedahan dengan sangat baik. 7. Panduan dan langkah-langkahnya sama sekali tidak sulit bagi saya. 8. Saya puas dengan metode pengajaran dan pelatihan yang saya dapatkan. 9. Aplikasi ini dapat digunakan sebagai pengetahuan praktis awal bedah ortognati.
2.	Peningkatan pengetahuan (<i>knowledge improvement</i>)	10. Berdasarkan konten pelatihan dan pemahaman yang saya peroleh, saya dapat dengan jelas memahami struktur anatomi area bedah ortognati. 11. Metode pengajaran ini secara efektif dapat membantu saya memahami prosedur bedah ortognati dan memperdalam pemahaman saya mengenai bedah ortognati. 12. Pelatihan ini sangat membantu saya dalam mempelajari tahapan prosedur bedah ortognati. 13. Pelatihan ini sangat membantu saya dalam mempelajari kesulitan dalam tatalaksana bedah ortognati. 14. Berdasarkan konten pelatihan dan pemahaman yang saya dapatkan, saya dapat secara mandiri melakukan desain bedah ortognatik di masa depan.
3.	Efek samping (<i>side effect</i>)	15. Saya merasa pusing selama/setelah pelatihan

Tabel 4. Daftar pertanyaan dalam kuesioner MRNQ

No.	Parameter	Pertanyaan
1.	Pengalaman Pengguna (<i>User Experience</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimana tingkat imersifitas yang anda alami 2. Bagaimana tingkat kepuasan anda terhadap pengalaman <i>mixed reality</i> (MR)/<i>immersive reality</i> (IR) yang anda alami 3. Bagaimana kualitas grafisnya 4. Bagaimana kualitas suaranya 5. Bagaimana kualitas teknologi <i>mixed reality</i> (MR)/<i>immersive reality</i> (IR) secara keseluruhan (perangkat keras dan perangkat pendukung lainnya)
2.	Alur aplikasi virtual (<i>Game mechanism</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 6. Seberapa mudah menggunakan sistem navigasi di lingkungan <i>mixed reality</i> 7. Seberapa mudah bergerak secara fisik di lingkungan <i>mixed reality</i> 8. Seberapa mudah mengambil dan/atau menempatkan barang di lingkungan <i>mixed reality</i> 9. Seberapa mudah menggunakan barang-barang di lingkungan <i>mixed reality</i> 10. Seberapa mudah melakukan interaksi dua tangan, misalnya memegang model dengan satu tangan dan objek lain dengan tangan lainnya di lingkungan <i>mixed reality</i>
3.	Bantuan dalam aplikasi (<i>In-app assistance</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 11. Seberapa mudah menyelesaikan tutorial bedah ortognati dalam aplikasi 12. Seberapa bermanfaatkah tutorial yang diberikan 13. Bagaimana pendapat anda mengenai durasi tutorial 14. Seberapa membantu instruksi dalam aplikasi untuk menyelesaikan tutorial 15. Seberapa membantu petunjuk dalam aplikasi
4.	Gangguan dan efek yang ditimbulkan oleh teknologi <i>mixed reality</i> (MR)/ <i>immersive reality</i> (IR) (<i>Mixed Reality Induced Symptoms and Effects - MRISE</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 16. Apakah anda merasakan mual 17. Apakah anda mengalami disorientasi 18. Apakah anda mengalami pusing 19. Apakah anda merasa kelelahan 20. Apakah anda merasakan ketidakstabilan