

PERANCANGAN SISTEM MIXED REALITY UNTUK PENANDAAN DAN PENGUKURAN DALAM OPERASI RAHANG

L.M. Ghafaar Alamsyah Alhan^{1*}, Muh. Anshar², Wardi³

^{1,2,3}Teknik Elektro Universitas Hasanuddin; Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu. Gowa, Sulawesi Selatan; (0411) 586015

Received: 2 September 2024

Accepted: 5 Oktober 2024

Published: 12 Oktober 2024

Keywords:

Operasi rahang; Mixed Reality; Penandaan; Pengukuran; Unity.

Correspondent Email:

elektro@unhas.ac.id

Abstrak. Operasi rahang bertujuan memperbaiki struktur rahang dan gigi serta meningkatkan estetika wajah dan kepercayaan diri. Penandaan dan pengukuran akurat sangat penting untuk hasil optimal dan mengurangi risiko komplikasi, namun metode tradisional dengan dummy mahal dan memakan waktu, menciptakan kesenjangan pengalaman antara dokter ahli dan pemula. Penelitian ini merancang sistem mixed reality (MR) untuk penandaan dan pengukuran struktur rahang, mengevaluasi akurasi dalam MR dibandingkan dunia nyata, serta mendukung klaim Unity bahwa 1 unit dalam Unity setara dengan 1 meter. Hasil menunjukkan pengukuran dalam MR dengan mode snap on 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%. Mode snap on mendekati realitas, mendukung klaim Unity, dan memenuhi toleransi akurasi operasi rahang sebesar 5%. Aplikasi MR ini berhasil menciptakan pengalaman imersif dan efektif, dengan tingkat kepuasan sebesar 98.4% dan dalam aspek penandaan sebesar 89.6% dan pengukuran 91.2%.

Abstract. Jaw surgery aims to correct the jaw and tooth structure and improve facial aesthetics and self-confidence. Accurate marking and measurement are essential for optimal results and reduced risk of complications, but traditional methods with dummies are expensive and time-consuming, creating an experience gap between expert and novice clinicians. This study designed a mixed reality (MR) system for marking and measuring jaw structures, evaluating accuracy in MR versus the real world, and supporting Unity's claim that 1 unit in Unity is equivalent to 1 meter. Results show that measurements in MR with snap on mode 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 percentage errors of 3.41%, 8.77%, and 5.73%, respectively. The snap on mode is close to reality, supports Unity claims, and meets the jaw surgery accuracy tolerance of 5%. This MR application successfully created an immersive and effective experience, with a satisfaction rate of 98.4% and in the aspects of marking 89.6% and measurement 91.2%.

1. PENDAHULUAN

Operasi rahang atau bedah *ortognatik* adalah prosedur pembedahan yang bertujuan untuk memperbaiki struktur rahang dan gigi yang

tidak beraturan, serta meningkatkan estetika wajah untuk kepercayaan diri [1]. Penandaan dan pengukuran yang akurat sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan tindakan

bedah untuk memastikan hasil optimal dan mengurangi risiko komplikasi [2]. Namun, praktik tradisional menggunakan *dummy* membutuhkan biaya tinggi dan waktu yang lama, menciptakan kesenjangan pengalaman antara dokter ahli dan dokter baru [3].

Untuk mengatasi masalah tersebut, teknologi multimedia seperti *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) menawarkan solusi inovatif dalam pendidikan medis dengan menciptakan simulasi operasi yang realistis [4]. VR menghadirkan pengguna ke lingkungan virtual sepenuhnya, sementara AR menambahkan elemen virtual ke dunia nyata [5]. Kedua teknologi ini telah mengalami kemajuan signifikan dan semakin banyak digunakan di dunia medis. *Mixed Reality* (MR), yang menggabungkan VR dan AR, memungkinkan interaksi antara objek virtual dan fisik, memberikan pengalaman yang lebih imersif dan realistis dibandingkan VR dan AR saja [6].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem MR untuk penandaan dan pengukuran objek rahang dalam prosedur bedah rahang, serta mengevaluasi akurasi pengukurannya dibandingkan dunia nyata. Dengan menggunakan Unity, penelitian ini akan menguji sejauh mana klaim bahwa 1 unit dalam Unity setara dengan 1 meter di dunia nyata berlaku dalam konteks medis [7]. Evaluasi akan dilakukan melalui pengukuran objek rahang dalam MR dan dunia nyata, serta penilaian imersifitas pengalaman pengguna melalui kuesioner. Hasil diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan hasil bedah rahang, serta membuka peluang lebih lanjut untuk penggunaan teknologi MR dalam bidang medis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Operasi Rahang

Penelitian [8] 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 [9].

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 [2].

2.2. Mixed Reality

Mixed Reality (MR) adalah lingkungan yang menyajikan kombinasi antara objek nyata dan virtual pada satu tampilan [6]. MR 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 [10].

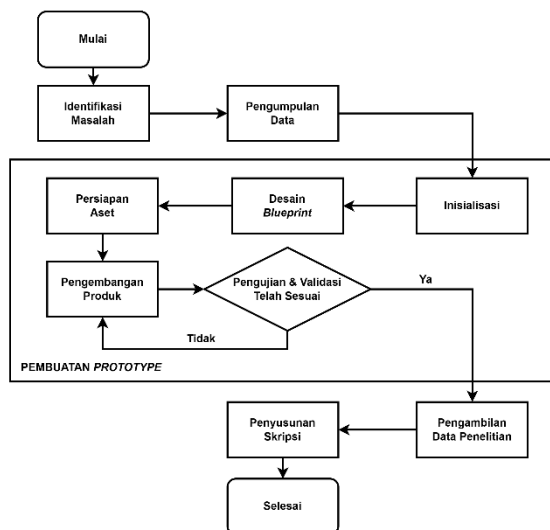
2.3. Unity

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* [11]. 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 menyatakan 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 [7]."

3. METODE PENELITIAN

Makalah Pelaksanaan penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, yaitu bagaimana meningkatkan pengalaman dokter muda dalam perencanaan operasi rahang melalui pembelajaran menggunakan teknologi MR. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data terkait teknologi yang digunakan serta konten yang akan dibuat melalui studi literatur, wawancara,

dan konsultasi dengan ahli. Selanjutnya, pembuatan *prototype* aplikasi dilakukan menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). MDLC merupakan model yang dapat dijadikan acuan dalam mengembangkan suatu produk multimedia baik linier maupun non linier yang terdiri dari lima tahap: inisialisasi, desain *blueprint*, persiapan aset, pengembangan produk, dan yang terakhir pengujian & validasi [12]. Setelah *prototype* aplikasi selesai, data diambil melalui dua pengujian, yaitu pengujian ketepatan pengukuran dan pengujian testimoni. Langkah terakhir adalah penyusunan skripsi berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

3.1. Pembuatan Prototype

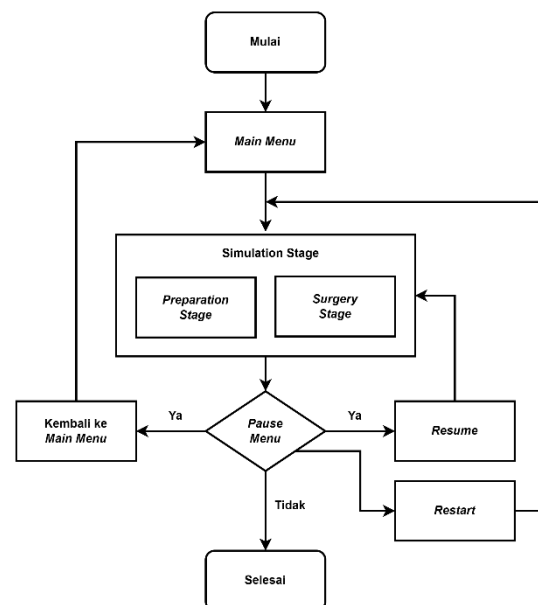
3.1.1. Inisialisasi

Tahap pengembangan aplikasi multimedia mencakup persiapan, perencanaan matang, dan penetapan tujuan jelas. Penelitian ini membuat aplikasi berbasis MR menggunakan Unity dan Oculus Integration 57.0.1, serta pembuatan aset 3D dengan Meshmixer dan Blender, untuk menambah pengalaman dokter muda dalam operasi rahang. Aplikasi ini dijalankan di komputer dengan sistem 2 kamera untuk menghindari *error* berupa *glitch* saat digunakan dengan Meta Quest Pro. Fitur aplikasi termasuk interaksi langsung dengan objek rahang, penandaan dan pengukuran objek rahang, serta kemampuan memulai ulang penandaan atau

pengukuran, dengan akurasi pengukuran dalam milimeter (mm).

3.1.2. Desain Blueprint

Tahap untuk menghasilkan acuan untuk keseluruhan proses, di mana dalam penelitian ini dibuat dalam bentuk *storyboard* yang menggambarkan alur aplikasi. Pada Gambar 2, menunjukkan alur kerja aplikasi, dimulai dari main menu dengan logo aplikasi. Setelahnya, pengguna dapat memilih antara *preparation stage* atau *surgery stage*. Kedua *stage* memiliki sistem pause menu, yang memungkinkan pengguna memilih “Resume” untuk melanjutkan, “Restart” untuk memulai ulang, atau “Main Menu” untuk kembali ke main menu.

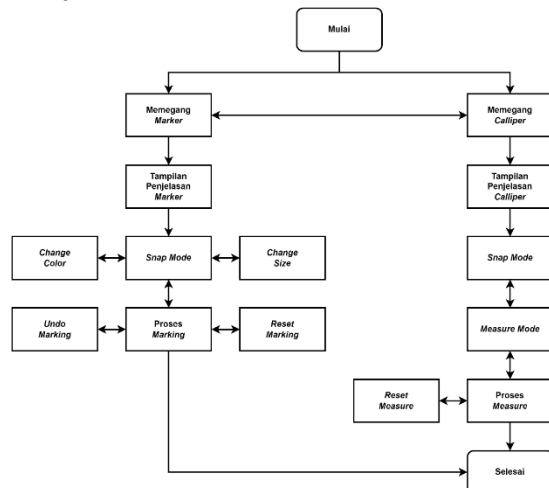


Gambar 2 Diagram alir aplikasi

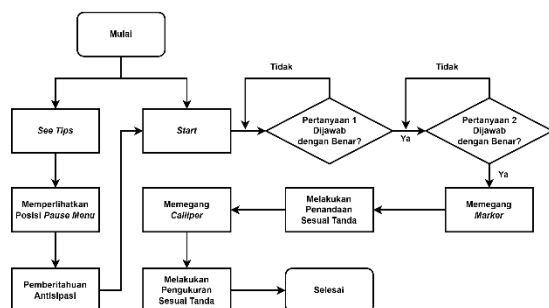
Dalam *preparation stage* pada Gambar 3, pengguna bisa memilih untuk memegang *marker* atau *caliper*, melakukan penandaan dan pengukuran dengan pilihan *snap on* (melekat pada objek 3D) atau *snap off* (tidak melekat pada objek 3D), serta mengubah warna dan ketebalan garis. *Marker* digunakan untuk penandaan pada objek 3D atau di udara, sedangkan *caliper* digunakan untuk pengukuran dengan mode *single*, *multi*, dan *angle*. Setiap tindakan disertai penjelasan cara penggunaannya, serta opsi *undo* atau *reset*.

Pada *surgery stage* pengguna diharuskan untuk mengikuti alur jalan aplikasi, tidak seperti pada *preparation stage* di mana pengguna diberi kebebasan untuk memilih hal

yang ingin dilakukan. Mode ini mengikut alur jalannya operasi yang sesuai dengan arahan yang diberikan ahli untuk jenis operasi *Le Fort I Osteotomi* yaitu operasi untuk memperbaiki kelainan bentuk wajah dengan menyelaraskan kembali rahang atas dengan bagian wajah lainnya [13].



Gambar 3 Alur diagram *preparation stage*



Gambar 4 Alur diagram *surgery stage*

3.1.3 Persiapan Aset

Tahap ini mempersiapkan aset multimedia yang digunakan dalam pembuatan aplikasi, termasuk objek 3D, tampilan UI, dan audio. Objek 3D dibagi menjadi objek rahang dan lainnya; objek rahang disederhanakan dengan Meshmixer, kemudian dirotasi, diposisikan, dan diperbaiki ukurannya di Blender, sedangkan objek 3D lainnya ditelusuri dari dunia nyata. UI memerlukan ikon-ikon dari *Font Awesome*. Audio panduan dibuat dengan fitur *read aloud* di Microsoft Edge, sementara efek suara diunduh dari YouTube.

3.1.4 Pengembangan Produk

Pengembangan produk merupakan tahap utama dalam pembuatan produk multimedia, yang menghasilkan *prototype* aplikasi berbasis MR menggunakan Unity dan C# dengan

beberapa *script* dari Oculus Integration. Fungsi penandaan dibuat menggunakan komponen *line renderer* dari Unity untuk menggambar garis dalam ruang 3D berdasarkan *input* dari controller HMD Meta Quest Pro, dengan mode *snap on* dan *snap off*. Fungsi pengukuran menggunakan *Vector3.Distance* untuk menghitung jarak antara dua titik dalam ruang 3D, dengan mode *single*, *multi*, dan *angle*.

3.1.5 Persiapan Aset

Tahap akhir dalam MLDC untuk menguji dan memastikan produk multimedia yang dihasilkan sesuai dengan desain awal dari tahap inisialisasi. Jika ada fitur atau fungsi yang belum sesuai, produk akan kembali ke tahap pengembangan produk untuk disempurnakan. Tahap ini memastikan bahwa produk berkualitas tinggi secara teknis dan memenuhi kebutuhan serta harapan pengguna.

3.2. Rancangan Pengujian

3.2.1. Pengujian Ketepatan Pengukuran

Dilakukan untuk memverifikasi klaim Unity bahwa 1 unit = 1 meter (1000 mm). Pengujian dilakukan dalam dua mode: *snap on* dan *snap off*. Benda atau objek yang akan diukur untuk perbandingan adalah tiga buah objek 2D atau benda datar tanpa volume seperti selembar kertas, tiga benda bervolume, dan terakhir rahang atas yang digunakan dalam operasi pada *surgery stage*. Persentase *error* dihitung dengan membandingkan ukuran asli dengan hasil pengukuran menggunakan aplikasi MR. Rata-rata persentase *error* tiap dimensi dan keseluruhan objek dihitung untuk menilai akurasi pengukuran. Penelitian ini juga mempertimbangkan signifikansi perbedaan pengukuran antara perencanaan dan pelaksanaan operasi rahang pada tingkat 5%, seperti yang dilakukan pada [14].

3.2.2. Pengujian Ketepatan Pengukuran

Tabel 1 Kelas likert scale

No	Kelas	Nilai
1	Sangat Tidak Setuju (STS)	1
2	Sangat Setuju (ST)	2
3	Netral (N)	3
4	Setuju (S)	4
5	Sangat Setuju (SS)	5

Aplikasi diuji oleh target pengguna yaitu lima mahasiswa S2 kedokteran gigi spesialis bedah mulut dan maksilofasial Universitas

Hasanuddin. Mereka kemudian memberikan penilaian melalui kuesioner menggunakan metode *likert scale*, yang mengukur pendapat atau persepsi individu tentang produk berdasarkan skala dari sangat tidak setuju hingga sangat setuju. Table 1 menunjukkan klasifikasi variabel-variabel penilaian.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Ketepatan Pengukuran

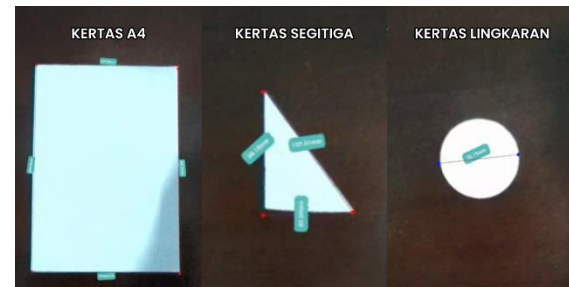
4.1.1. Mode Snap Off

Skenario pengujian pertama dilakukan dengan mengukur objek di dunia nyata menggunakan mode *snap off*. Tiga objek diuji, yaitu benda 2D tanpa volume, benda 3D bervolume, dan replika rahang hasil 3D *print*, dengan lima kali percobaan. Data dari pengujian dirata-rata sesuai dimensinya,

kemudian dihitung persentase *error* untuk setiap benda.

a. Benda 2D

Terdapat tiga benda 2D atau benda tanpa volume yang diukur yaitu kertas A4, kertas yang berbentuk segitiga dan kertas yang berbentuk lingkaran. Hasil dari lima kali perhitungan yang dilakukan pada benda-benda ini dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5 Pengujian *snap off* benda 2D

Tabel 2 Hasil percobaan mode *snap off* benda 2D

Benda	Dimensi	Perc. 1 (mm)	Perc. 2 (mm)	Perc. 3 (mm)	Perc. 4 (mm)	Perc. 5 (mm)
Kertas A4	Panjang	296.46	297.26	301.31	298.30	300.04
	Lebar	210.30	211.80	209.05	209.68	209.95
	Sisi a-b	63.33	59.61	64.84	61.47	63.04
Kertas Segitiga	Sisi a-c	84.01	83.41	84.09	83.36	86.18
	Sisi b-c	104.41	106.91	103.84	102.24	107.51
Kertas Lingkaran	Diameter	70.95	70.19	71.66	68.49	71.36

Tabel 3 Rata-rata persentase error percobaan mode *snap off* benda 2D

Benda	Dimensi	Ukuran Asli (mm)	Rata-rata Percobaan (mm)	%Error Percobaan
Kertas A4	Panjang	297	298.67	0.56
	Lebar	210	210.16	0.08
	Sisi a-b	61	62.46	2.39
Kertas Segitiga	Sisi a-c	82	84.21	2.69
	Sisi b-c	103	104.98	1.92
Kertas Lingkaran	Diameter	65.55	70.53	7.6

Tabel 3 menunjukkan bahwa pengukuran pada benda dengan bidang yang tegak lurus memiliki tingkat *error* yang lebih rendah

dibanding yang tidak, walaupun pada kertas berbentuk lingkaran hal yang diukur adalah diameter. Tingkat *error* yang besar pada kertas

berbentuk lingkaran terjadi karena sulitnya menarik sulit untuk menarik garis lurus yang sejajar dengan titik tengah lingkaran.

Namun, ketika dihitung secara keseluruhan dengan benda-benda lainnya, tingkat *error* yang didapatkan dari skenario ini menurun menjadi 3.41%. Nilai ini masih di bawah toleransi 5% yang diperbolehkan untuk operasi rahang. Oleh karena itu, mode ini tetap dapat digunakan untuk mengukur benda 2D, namun untuk objek berbentuk lingkaran, disarankan menggunakan garis pembantu untuk meningkatkan akurasi.

Tabel 4 Persentase error keseluruhan percobaan snap off benda 2D

Benda	Rata-rata % Error Benda	% <i>Error</i> Keseluruhan
Kertas A4	0.32	3.41
Kertas Segitiga	2.33	

Tabel 5 Hasil percobaan mode snap off benda 3D

Benda	Dimensi	Perc. 1 (mm)	Perc. 2 (mm)	Perc. 3 (mm)	Perc. 4 (mm)	Perc. 5 (mm)
Box Meta Quest Pro	Panjang	386.35	380.87	388.18	390.91	391.48
	Lebar	240.14	222.10	235.40	222.74	225.9
	Tinggi	145.06	134.99	142.19	135.6	136.3
Bola	Diameter	76.44	63.13	71.03	65.59	68.87
	Diameter	36.71	31.02	36.25	33.44	32.56
Tabung	Diameter	36.71	31.02	36.25	33.44	32.56
	Tinggi	132.97	124.86	132.28	127.92	128.64

Tabel 6 Rata-rata persentase error percobaan mode snap off benda 3D

Benda	Dimensi	Ukuran Asli (mm)	Rata-rata Percobaan (mm)	% <i>Error</i> Percobaan
Box Meta Quest Pro	Panjang	385	387.56	0.66
	Lebar	225	229.06	1.8
	Tinggi	135	138.83	2.83
Bola	Diameter	59	69.01	16.97
	Diameter	30.40	33.99	11.82
Tabung	Diameter	30.40	33.99	11.82
	Tinggi	124.35	129.33	4.01

Berdasarkan data yang ada pada Tabel 7, terlihat jelas bahwa pengukuran pada benda yang berbentuk lingkaran memiliki persentase *error* yang lebih tinggi dibanding benda dengan

Kertas Lingkaran 7.6

b. Benda 3D

Sama seperti pada benda 2D, pada benda 3D juga terdapat tiga benda yang diukur yaitu box meta quest pro, bola dan tabung. Hasil pengukuran dari ketiga benda tersebut dapat dilihat pada tabel 6.



Gambar 6 Pengujian *snap off* benda 3D

berbentuk lainnya. Sama seperti pada pengukuran pada benda 2D, hal ini terjadi karena sulitnya menarik sulit untuk menarik garis lurus yang sejajar dengan titik tengah lingkaran. Terutama

pada objek bola yang pengukurannya tidak bisa dilakukan pada satu sisi saja.

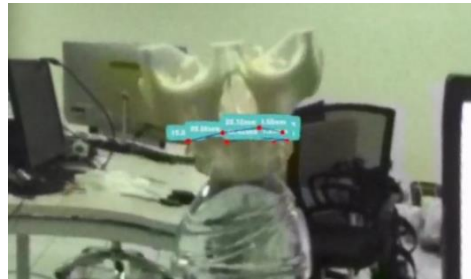
Nilai persentase *error* pada skenario ini di benda 3D bahkan tidak menurun walaupun sudah digabungkan dengan benda lainnya yaitu sebesar 8.77%. Maka dari itu penggunaan mode *snap off* pada benda 3D tidak disarankan untuk digunakan, karena nilainya telah melebihi nilai toleransi yaitu 5%.

Tabel 7 Persentase error keseluruhan percobaan *snap off* benda 2D

Benda	Rata-rata % Error Benda	%Error Keseluruhan
Box Meta Quest Pro	1.43	8.77
Bola	16.97	
Tabung	7.91	

c. Rahang Atas

Pengujian pengukuran rahang di mode *snap off* dilakukan pada replika hasil 3D *print* dari rahang yang digunakan pada *surgery stage*. Replika ini kemudian diberi 10 titik acuan untuk mengikuti pengukuran yang dilakukan pada *surgery stage* yang hanya bisa mengukur secara tegak lurus.



Gambar 7 Pengujian *snap off* rahang atas

Tabel 8 Hasil percobaan mode *snap off* rahang atas

Benda	Titik Acuan	Perc. 1 (mm)	Perc. 2 (mm)	Perc. 3 (mm)	Perc. 4 (mm)	Perc. 5 (mm)
Rahang Atas <i>Surgery Stage</i>	Titik A-B	19.38	17.88	18.23	21.52	20.47
	Titik B-C	28.69	21.13	23.91	21.9	24.69
	Titik C-D	22.10	21.9	23.66	22.02	20.96
	Titik D-E	19,35	19.93	20.13	20.73	19.76
	Titik E-F	24.21	25.22	24.26	25.57	24.02
	Titik F-G	8.39	8.45	7.49	9.09	8.07
	Titik G-H	24.57	20.33	19.72	19.82	20.50
	Titik H-I	19.05	24.26	25.56	25.58	25.80
	Titik I-J	22.42	19.01	19.69	19.59	20.01

Menurut tabel 9, pengukuran di titik-titik acuan memiliki *error* kurang dari 5%, kecuali titik F-G dengan 35,96%. Gambar 56, menunjukkan tidak akuratnya penempatan titik pengukuran dengan titik acuan pada replika rahang. Hal inilah yang menyebabkan besarnya persentase *error* pada bagian ini. Ini bisa terjadi akibat adanya distorsi pada tampilan gambar yang terlihat pada HMD meta quest pro seperti pada Gambar 8. Walaupun pada Gambar 9 tidak terlihat jelas bentuk distorsi pada rahang, namun sebenarnya distorsi tetap terjadi. Hal yang membuatnya tidak terlihat, dikarenakan proses perekaman video pada HMD meta quest

pro hanya dilakukan pada salah satu kamera yang berada pada HMD tersebut. Sementara itu pengguna menggunakan semua kamera saat melihat menggunakan HMD, sehingga penggabungan gambar dari kamera tidak sempurna. Alasan lain dari *error* yang besar pada titik F-G adalah karena jarak antar kedua titik tersebut relatif kecil dibanding yang lain. Sehingga semakin jauh jarak antara titik acuan dan titik pengukuran yang diletakkan, maka semakin besar juga persentase *error* yang didapatkan.



Gambar 8 Penempatan titik pengukuran pada replika rahang tidak akurat



Gambar 9 Distorsi tampilan pada HMD

Tabel 9 Rata-rata persentase *error* percobaan mode *snap off* rahang atas

Benda	Titik Acuan	Ukuran Asli (mm)	Rata-rata Percobaan (mm)	%Error Percobaan	%Error Keseluruhan
Rahang Atas Surgery Stage	Titik A-B	19.76	19.50	1.33	5.73
	Titik B-C	23.68	24.06	1.6	
	Titik C-D	21.59	22.13	2.5	
	Titik D-E	19.36	19.98	3.2	
	Titik E-F	25.06	24.66	1.59	
	Titik F-G	6.09	8.29	35.96	
	Titik G-H	20.13	20.99	4.27	
	Titik H-I	23.89	24.05	0.67	
	Titik I-J	19.95	20.14	0.5	

Dari data yang ada pada tabel 9, didapatkan bahwa nilai persentase *error* keseluruhan pada pengukuran rahang mode *snap off* sebesar 5.73%. Maka dari itu sama seperti pada benda 3D, penggunaan mode *snap off* pada replika rahang juga tidak disarankan untuk digunakan, karena nilainya telah melebihi nilai toleransi yaitu 5%.

4.1.2. Mode Snap On

Untuk skenario pengujian kedua dilakukan pengukuran menggunakan mode *snap on* yaitu pengujian yang mengukur objek virtual. Tahap ini melibatkan proses tambahan yaitu objek yang berada pada di dunia nyata perlu dibuatkan lagi bentuk 3D-nya menggunakan aplikasi Blender. Objek 3D yang dibuat menggunakan Blender tentu saja dibuat dengan ukuran yang sama seperti di dunia nyata. Sama seperti mode sebelumnya, pengujian dilakukan pada tiga objek dengan lima kali percobaan pada benda 2D tanpa volume dan benda 3D bervolume.

Cara perhitungan persentase *error* pada skenario ini juga sama dengan sebelumnya.

a. Benda 2D

Benda yang digunakan pada pengujian mode *snap on* ini, merupakan benda yang sama pada pengujian mode *snap off* sebelumnya untuk benda 2D atau benda yang tidak memiliki volume yaitu kertas A4, kertas yang berbentuk segitiga dan kertas yang berbentuk lingkaran. Hasil dari lima kali perhitungan yang dilakukan pada benda-benda ini dapat dilihat pada tabel 10.



Gambar 10 Pengujian snap off benda 2D

Tabel 10 Hasil percobaan mode snap off benda 2D

Benda	Dimensi	Perc. 1 (mm)	Perc. 2 (mm)	Perc. 3 (mm)	Perc. 4 (mm)	Perc. 5 (mm)
Kerta A4	Panjang	297.93	296.65	299.02	296.64	299.31
	Lebar	209.28	208.64	209.04	208.09	210.37
	Sisi a-b	61.30	60.87	61.95	60.71	64.04
Kertas Segitiga	Sisi a-c	81.80	83.78	84.11	81.65	83.23
	Sisi b-c	100.78	102.25	105.19	102.21	103.76
Kertas Lingkaran	Diameter	64.39	63.22	64.55	63.12	63.93

Tabel 11 Rata-rata persentase error percobaan mode snap off benda 2D

Benda	Dimensi	Ukuran Asli (mm)	Rata-rata Percobaan (mm)	%Error Percobaan
Kertas A4	Panjang	297	297.91	0.31
	Lebar	210	209.08	0.43
	Sisi a-b	61	61.77	1.26
Kertas Segitiga	Sisi a-c	82	82.91	1.11
	Sisi b-c	103	102.84	0.15
Kertas Lingkaran	Diameter	65.55	63.84	2.61

Data dari tabel 17, sama seperti pada skenario sebelumnya, pengukuran pada benda dengan sisi lurus memiliki tingkat *error* lebih rendah dibanding yang tidak. Namun, pada skenario ini tingkat *error* lebih kecil dibanding skenario sebelumnya.

Tabel 12 Persentase error keseluruhan percobaan snap on benda 2D

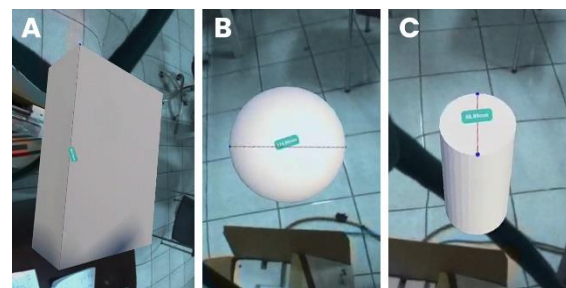
Benda	Rata-rata % Error Benda	%Error Keseluruhan
Kertas A4	0.37	
Kertas Segitiga	0.84	1.27
Kertas Lingkaran	2.61	

Ketika dihitung dengan benda lainnya persentase *error* yang didapatkan pada skenario *snap off* pada benda 2D adalah sebesar 1.27%. Nilai ini berada di bawah angka toleransi perbedaan rata-rata untuk pengukuran antara perencanaan dan pelaksanaan operasi rahang yaitu sebesar tingkat 5%. Sehingga penggunaan

mode pengukuran benda ini masih bisa disarankan untuk mengukur benda 2D.

b. Benda 3D

Sama seperti pada benda 2D, pada benda 3D juga terdapat tiga benda yang diukur yaitu box meta quest pro, bola dan tabung. Masing-masing benda tersebut juga diukur sebanyak lima kali. Hasil pengukuran dari ketiga benda-benda tersebut dapat dilihat pada tabel 19. Hasil pengukuran dari ketiga benda-benda tersebut dapat dilihat pada tabel 19.



Gambar 11 Pengujian snap on benda 3D

Tabel 13 Hasil percobaan mode snap on benda 3D

Benda	Dimensi	Perc. 1 (mm)	Perc. 2 (mm)	Perc. 3 (mm)	Perc. 4 (mm)	Perc. 5 (mm)
Box Meta	Panjang	384.02	384.97	384.12	382.8	384.57
	Lebar	221.79	221.96	223.1	221.98	223.78
Quest Pro	Tinggi	133.48	134.57	133.69	133.54	134.05
	Diameter	57.72	57.65	57.76	57.97	57.23
Bola	Diameter	27.52	28.82	28.44	29.99	27.94
	Tinggi	121.65	123.59	121.08	123.88	122.48

Tabel 14 Rata-rata persentase error percobaan mode snap on benda 3D

Benda	Dimensi	Ukuran Asli (mm)	Rata-rata Percobaan (mm)	%Error Percobaan
Box Meta	Panjang	385	384.09	0.23
	Lebar	225	222.52	1.1
Quest Pro	Tinggi	135	133.87	0.84
	Diameter	59	57.67	2.26
Bola	Diameter	30.40	28.54	6.11
	Tinggi	124.35	122.54	1.46

Diameter tabung adalah satu-satunya dimensi pengukuran yang memiliki persentase *error* melebihi 5%, karena sulitnya menarik garis lurus melalui titik tengah. Meski begitu, nilai ini tetap lebih kecil dari skenario sebelumnya. Ketika digabungkan dengan keseluruhan benda, persentase *error* adalah 2,25%, sehingga mode *snap on* pada benda 3D masih disarankan

Tabel 15 Persentase error keseluruhan percobaan snap off benda 2D

Benda	Rata-rata % Error Benda	%Error Keseluruhan
Box Meta	0.72	2.25
Quest Pro		
Bola	3.78	
Tabung	2.26	

c. Rahang Atas

Pengujian pengukuran rahang di mode *snap on* dilakukan pada model 3D rahang yang digunakan pada *surgery stage*. Ukuran rahang ini telah diperbesar 1.8X dari ukuran aslinya sesuai arahan dari ahli. Hal ini dilakukan untuk mempermudah target pengguna untuk melakukan simulasi. Hasil pengukuran dari lima kali percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 22.



Gambar 12 Pengujian snap off rahang atas

Tabel 16 Hasil percobaan mode snap on rahang atas

Benda	Titik	Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Perc. 4	Perc. 5
	Acuan	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Rahang Atas <i>Surgery Stage</i>	Titik A-B	35.10	36.07	34.54	34.35	35.39
	Titik B-C	44.28	38.55	40.83	44.59	44.62
	Titik C-D	40.94	38.84	38.7	38.48	39.05
	Titik D-E	35.06	35.48	35.54	32.64	34.07
	Titik E-F	47.71	45.67	43.58	45.9	46.09
	Titik F-G	12.41	8.88	10.03	10.87	10.32
	Titik G-H	39.02	36.06	36.54	33.64	36.33
	Titik H-I	43.14	41.71	44.73	44.17	44.96
	Titik I-J	37.20	36.19	36.95	34.43	34.36

Tabel 17 Rata-rata persentase error percobaan mode snap on rahang atas

Benda	Titik	Ukuran	Rata-rata	%Error	%Error
	Acuan	Asli (mm)	Percobaan (mm)	Percobaan	Keseluruhan
Rahang Atas <i>Surgery Stage</i>	Titik A-B	35.58	35.09	1.38%	1.23
	Titik B-C	42.64	42.57	0.16%	
	Titik C-D	38.87	39.20	0.85%	
	Titik D-E	34.86	34.56	0.86%	
	Titik E-F	45.11	45.79	1.5%	
	Titik F-G	10.97	10.50	4.2%	
	Titik G-H	36.24	36.32	0.22%	
	Titik H-I	43.01	43.74	1.67%	
	Titik I-J	35.91	35.83	0.22%	

Berbeda skenario mode *snap off*, dapat dilihat pada tabel 23, pada skenario ini persentase *error* yang didapatkan relatif lebih kecil. Namun, terdapat juga persamaan dengan skenario sebelumnya yaitu pengukuran pada titik F-G merupakan pengukuran dengan persentase *error* yang paling besar. Tidak ada hasil pengukuran yang melewati batas toleransi 5%, sehingga ketika dihitung seluruhnya, persentase *error* yang didapatkan hanya sebesar 1.25%. Maka dari itu penggunaan mode *snap on* pada objek 3D rahang bisa digunakan.

4.2. Pengujian Testimoni

Skenario Pada skenario pengujian ini, pertanyaan yang disajikan dibagi menjadi tiga bagian pertanyaan yaitu, fungsi penandaan, fungsi pengukuran, dan keseluruhan aplikasi. Masing-masing dari bagian tersebut terdiri dari lima pertanyaan yang ditanyakan kepada 5 orang yang berkompeten pada bidang penelitian ini dan diukur menggunakan *likert scale*. Berikut tampilan jawaban responden yang disajikan dalam bentuk tabel.

4.2.1. Testimoni Fungsi Penandaan

Seluruh responden sangat setuju bahwa fungsi penandaan pada tengkorak sangat intuitif

dan mudah dipahami, sehingga tidak membutuhkan pelatihan intensif. Pengguna juga memberikan umpan balik positif pada mode menggambar bebas di udara karena fleksibilitasnya, yang berguna untuk visualisasi dan perencanaan operasi. Mayoritas pengguna merasa puas dengan performa mode operasi, yang memenuhi syarat untuk penandaan bagian yang akan dioperasikan dan memberikan kepercayaan diri.

Fungsi *undo* dan *reset all* dinilai sangat berguna dalam lingkungan operasi yang dinamis. Empat pengguna tidak mengalami kesulitan berarti, menunjukkan sistem yang dirancang dengan baik. Secara keseluruhan, fungsi penandaan mendapatkan persentase kesepakatan responden 89,6%, yang menunjukkan kualitas yang konsisten.

Tabel 18 Hasil testimoni fungsi penandaan

No	Pertanyaan	Kelas					Total Nilai	%	Total %
		STS	TS	N	S	SS			
1	Proses penandaan saat menggambar di tengkorak kepala intuitif.	0	0	0	0	5	25	100	
2	Kemampuan penandaan bebas di udara memberikan fleksibilitas atau fungsionalitas tambahan.	0	0	0	0	5	25	100	
3	Performa penggunaan penandaan pada <i>surgery stage</i> sangat memuaskan.	0	0	0	2	3	23	92	89.6
4	Tombol <i>undo</i> dan <i>reset all</i> sangat berguna.	0	0	0	3	2	22	88	
5	Tidak terdapat banyak kesulitan saat melakukan penandaan.	0	0	1	4	0	17	68	

Keterangan: Sangat Tidak Setuju (STS), Tidak Setuju (TS), Netral (N), Setuju (S), dan Sangat Setuju (SS).

4.2.2. Testimoni Fungsi Pengukuran

Seluruh hasil kuesioner pada Tabel 19 menunjukkan bahwa fungsi pengukuran dalam aplikasi ini sangat intuitif dan mudah digunakan, dengan mayoritas responden memberikan penilaian positif. Pengguna merasa fitur ini dapat dikuasai dengan cepat tanpa pelatihan panjang, yang penting untuk efisiensi di lingkungan medis.

Fungsi *snap on* dan *snap off* juga dinilai sangat berguna, memudahkan pengguna beralih antara mode pengukuran virtual dan nyata

dengan fleksibilitas dan akurasi tinggi. Performa fungsi pengukuran di tahap operasi sangat memuaskan, mendukung keberhasilan prosedur. Fungsi *reset all* meningkatkan efisiensi alur kerja, memungkinkan penyesuaian cepat. Semua responden setuju bahwa tidak ada kesulitan signifikan dalam penggunaan, menunjukkan desain fungsi yang baik. Secara keseluruhan, 91,2% responden menilai fungsi pengukuran sangat baik, dengan persentase positif pada semua pertanyaan.

Tabel 19 Hasil testimoni fungsi pengukuran

No	Pertanyaan	Kelas					Total Nilai	%	Total %
		STS	TS	N	S	SS			
6	Proses pengukuran jarak menggunakan <i>calliper</i> intuitif.	0	0	0	0	5	25	92	91.2
7	Dua mode dalam pengukuran (<i>snap on & snap off</i>) sangat berguna.	0	0	0	0	5	25	92	
8	Performa pengukuran pada Pengukuran pada <i>surgery stage</i> sangat memuaskan.	0	0	0	2	3	23	96	
9	Tombol <i>reset all</i> sangat berguna	0	0	0	3	2	22	96	
10	Tidak terdapat banyak kesulitan selama melakukan pengukuran.	0	0	1	4	0	20	80	

Tabel 20 Hasil testimoni aplikasi

No	Pertanyaan	Kelas					Total Nilai	%	Total %
		STS	TS	N	S	SS			
11	Performa aplikasi dalam memvisualisasikan dan memanipulasi objek rahang efektif.	0	0	0	0	5	25	100	98.4
12	Antarmuka penggunaan aplikasi mudah dipahami.	0	0	0	0	5	25	100	
13	Interaksi dengan antarmuka mixed reality responsif dan akurat.	0	0	0	1	4	24	96	
14	Aplikasi berhasil untuk mendukung tugas perencanaan operasi rahang.	0	0	0	1	4	24	96	
15	Aplikasi ini dapat direkomendasikan kepada kolega atau rekan untuk perencanaan operasi rahang.	0	0	0	0	5	25	100	

4.2.3. Testimoni Aplikasi

Dapat terlihat dari Tabel 20, seluruh responden sepakat bahwa aplikasi ini sangat baik dalam memvisualisasikan dan memanipulasi objek rahang, menunjukkan

keandalannya dalam mendukung proses operasi rahang. Antarmuka aplikasi juga dinilai mudah dipahami dan dinavigasi, menandakan fokus pada pengalaman pengguna.

Aplikasi ini dinilai sangat responsif dan akurat, dengan interaksi yang berjalan lancar dan hasil yang tepat, penting untuk keputusan medis. Semua responden setuju aplikasi ini sukses mendukung perencanaan operasi rahang dan merekomendasikannya kepada rekan kerja. Secara keseluruhan, aplikasi ini mendapat persetujuan 98,4%, dengan semua aspek berada di rentang 80%-100%.

5. KESIMPULAN

- a. Mode *snap on* dalam *mixed reality* menunjukkan pengukuran yang lebih akurat dengan *error* masing-masing 1.27% pada objek 2D, 2.25% pada objek 3D, dan 1.23% pada rahang atas. Ini lebih baik dibandingkan mode *snap off* yang memiliki *error* 3.41%, 8.77%, dan 5.73%. Mode *snap on* lebih direkomendasikan untuk pengukuran objek 3D rahang karena mendekati realitas dan memenuhi toleransi operasi rahang.
- b. Aplikasi *mixed reality* yang dikembangkan menciptakan pengalaman imersif dan efektif dalam bedah rahang, dengan tingkat kepuasan pengguna sebesar 98.4%, penandaan 89.6%, dan pengukuran 91.2%. Tanggapan positif dari pengguna menunjukkan aplikasi ini berpotensi diadopsi secara luas dalam perencanaan dan pelaksanaan operasi rahang, memenuhi kebutuhan medis yang kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ruslin, T. Forouzanfar, I. A. Astuti, E. S. Soemantri, and D. B. Tuinzing, "The epidemiology, treatment, and complication of dentofacial deformities in an Indonesian population: A 21-year analysis," *J Oral Maxillofac Surg Med Pathol*, vol. 27, no. 5, pp. 601–607, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.ajoms.2014.09.006.
- [2] Gregory Santos and Mark W. Jones, "Prevention of Surgical Errors," *StatPearls*. Accessed: Oct. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK592394/>
- [3] S. Johnson, A. G. Erdman, B. Jackson, D. F. Keefe, B. Tourek, and M. Molina, "Immersive analytics for medicine: Hybrid 2D/3D sketch-based interfaces for annotating medical data and designing medical devices," in *Companion Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces: Nature Meets Interactive Surfaces*, ISS 2016, Association for Computing Machinery, Inc, Nov. 2016, pp. 107–113. doi: 10.1145/3009939.3009956.
- [4] M. D. Abdulrahman et al., "Multimedia tools in the teaching and learning processes: A systematic review," Nov. 01, 2020, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05312.
- [5] Intel, "Demystifying the Virtual Reality Landscape." Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/tech-tips-and-tricks/virtual-reality-vs-augmented-reality.html>
- [6] P. Milgram and F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays Unconscious Computing View project Augmented Reality through Graphic Overlays on Stereoscopic video View project A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS," 1994. [Online]. Available: http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html
- [7] Unity, "Preparing Assets for Unity." Accessed: May 05, 2024. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/2019.3/Documentation/Manual/BestPracticeMakingBelievableVisuals1.html>.
- [8] F. Eslamipour, A. Borzabadi-Farahani, B. Le, and M. Shahmoradi, "A retrospective analysis of dentofacial deformities and orthognathic surgeries," *Ann Maxillofac Surg*, vol. 7, no. 1, p. 73, 2017, doi: 10.4103/ams.ams_104_16.
- [9] S. K. Shetty, Neeraja, and M. Yethadka, "CBCT in Orthognathic Surgery," *Scholars Journal of Dental Sciences (SJDS)*, pp. 547–555, 2017, doi: 10.21276/sjds.2017.4.12.4.
- [10] R. Skarbez, M. Smith, and M. C. Whitton, "Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum," *Front Virtual Real*, vol. 2, Mar. 2021, doi: 10.3389/frvir.2021.647997.
- [11] F. Hussain, A. Hussain, H. Shakeel, N. Uddin, and T. L. Ghouri, "Unity Game Development Engine: A Technical Survey," 2020, [Online]. Available: <http://sujo.usindh.edu.pk/index.php/USJICT/>
- [12] R. Roedavan, B. Pudjoatmodjo, and A. Putri Sujana, "MULTIMEDIA DEVELOPMENT LIFE CYCLE (MDLC)," Feb. 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.16273.92006.
- [13] P. K. Patel and M. V. Novia, "The Surgical Tools: The LeFort I, Bilateral Sagittal Split Osteotomy of the Mandible, and the Osseous Genioplasty," Jul. 2007. doi: 10.1016/j.cps.2007.05.012.
- [14] R. Lee, M. S. Goonewardene, A. Mian, B. Allan, D. Brock, and M. Trevenen, "Accuracy of orthognathic surgery using 3D computer-assisted surgical simulation," 2018.

