

PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN AR MARKERLESS UNTUK VISUALISASI ANATOMI TULANG

Disa Naufal Rifqi, Sigit Sugiyanto, Tito Pinandita, Agung Purwo Wicaksono

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl. KH. Ahmad Dahlan, Dusun III, Dukuhwaluh, Kec. Kembaran, Kabupaten Banyumas

disanaufalrifqi@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan semakin berkembang untuk memenuhi kebutuhan media belajar yang sesuai dengan gaya belajar generasi digital. Mayoritas aplikasi AR yang ada masih menggunakan *marker* fisik, sehingga membatasi fleksibilitas pengguna dalam proses pembelajaran. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi pembelajaran anatomi tulang manusia berbasis *markerless* AR untuk siswa SMA kelas XI. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC), yang terdiri dari tahapan perencanaan, desain, pengumpulan materi, penyusunan sistem, pengujian, dan distribusi. Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity, *AR Foundation*, dan *ARCore* untuk mendeteksi bidang datar tanpa bantuan *marker*, serta dilengkapi fitur eksplorasi 3D rangka manusia, mode *AR markerless*, dan kuis visual interaktif. Hasil uji *black-box* menunjukkan bahwa seluruh fungsi berjalan sesuai spesifikasi. Validitas isi berdasarkan uji *Aiken's V* oleh empat guru biologi berada pada rentang 0.6875–0.9375, sedangkan uji coba terhadap 15 siswa menghasilkan tingkat kelayakan sebesar 87.33%. Aplikasi ini dinyatakan layak sebagai media pembelajaran biologi yang kontekstual serta mampu meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa.

Kata kunci: *Augmented Reality, Markerless, Anatomi Tulang, MDLC, Media Pembelajaran, Validasi Aiken's V*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital yang pesat telah memberikan dampak signifikan di berbagai sektor, termasuk bidang pendidikan. Salah satu teknologi yang paling banyak digunakan oleh siswa dan pendidik saat ini adalah perangkat berbasis *Android*, karena sifatnya yang portabel, praktis, dan mudah diakses dalam berbagai situasi pembelajaran [1]. Platform *Android* juga mendukung pengembangan aplikasi edukatif yang mampu menyajikan materi secara visual dan interaktif [2], sehingga memungkinkan proses pembelajaran yang lebih menarik dan sesuai dengan karakteristik generasi digital.

Salah satu inovasi teknologi yang berkembang dalam dunia pendidikan adalah *Augmented Reality* (AR), yang menggabungkan elemen dunia nyata dengan objek virtual dalam bentuk tiga dimensi secara *real-time* [3]. Teknologi AR tidak hanya menghadirkan visualisasi objek yang nyata, tetapi juga memungkinkan terjadinya interaksi antara pengguna dengan objek tersebut [4], yang pada akhirnya menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif, eksploratif, dan partisipatif [5]. Sebagian besar aplikasi AR yang digunakan dalam pembelajaran masih berbasis penanda (*marker-based*), yang mengandalkan media cetak atau gambar tertentu sebagai pemicu kemunculan objek virtual. Pendekatan ini memiliki sejumlah keterbatasan, seperti ketergantungan pada pencahayaan yang stabil dan kualitas cetakan penanda yang baik agar dapat dikenali secara optimal oleh kamera perangkat [1].

Dalam konteks pembelajaran Biologi, khususnya pada materi *anatomi tulang manusia*, media pembelajaran yang digunakan di sekolah umumnya

masih bersifat konvensional, seperti buku teks dan gambar dua dimensi. Media tersebut kurang mampu merepresentasikan bentuk, posisi, dan hubungan antarbagian tulang secara akurat dan menyeluruh [3]. Akibatnya, siswa sering mengalami kesulitan dalam memahami struktur rangka manusia, mengidentifikasi fungsi masing-masing bagian, serta menghubungkan konsep secara kontekstual [6]. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan akan media pembelajaran alternatif yang lebih dinamis, interaktif, dan mendukung pemahaman visual yang lebih mendalam.

Menjawab permasalahan tersebut, pemanfaatan teknologi *markerless Augmented Reality* berbasis *Android* menjadi salah satu pendekatan yang potensial dan relevan [7]. Teknologi *markerless AR* memungkinkan objek virtual muncul dengan mendeteksi permukaan datar di dunia nyata tanpa memerlukan penanda fisik, sehingga lebih praktis dan sesuai dengan kebiasaan siswa dalam menggunakan perangkat *Android* [1]. Aplikasi dengan fitur tampilan objek 3D yang dapat diputar, diperbesar, dan diamati dari berbagai sudut pandang dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menyeluruh. Dengan cara ini, siswa dapat menjelajahi struktur tulang manusia secara lebih mendalam dan mandiri, sehingga proses belajar menjadi lebih menarik, aktif, dan bermakna.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi pembelajaran anatomi tulang manusia berbasis *markerless Augmented Reality* pada platform *Android*. Tujuan utama dari pengembangan ini adalah menghadirkan media edukatif yang interaktif, fleksibel, dan kontekstual guna mendukung pemahaman siswa terhadap struktur dan fungsi rangka

manusia secara menyeluruh. Rencana penyelesaian masalah dilakukan melalui tahapan pengembangan sistem menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)*, yang mencakup enam tahap utama: konsep, perancangan, pengumpulan materi, pembuatan, pengujian, dan distribusi [8]. Dengan pendekatan ini, diharapkan aplikasi yang dikembangkan dapat menjadi solusi inovatif atas keterbatasan media pembelajaran konvensional yang masih banyak digunakan di sekolah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jurnal “Aplikasi *Augmented Reality* (AR) Sebagai Media Pembelajaran Sistem Rangka Manusia” membahas pengembangan media pembelajaran berbasis *marker-based AR* menggunakan *Vuforia*, yang ditujukan untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur rangka manusia. Aplikasi ini dikembangkan dengan pendekatan *Game Development Life Cycle (GDLC)* dan menampilkan model 3D anatomi lengkap yang disertai informasi teoritis. Hasil pengujian menunjukkan seluruh fitur dasar berjalan baik pada berbagai perangkat Android. Namun, keterbatasan muncul karena aplikasi belum mendukung fitur animasi maupun *quiz*, serta masih bergantung pada *marker* fisik, yang membatasi fleksibilitas penggunaan di ruang kelas modern. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan aplikasi berbasis *markerless AR* yang dilengkapi animasi dan fitur interaktif seperti *quiz* guna menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif dan adaptif [9].

Jurnal “Development of Android-Based *Augmented Reality* Learning Media on the Human Respiratory System to Improve Student Learning Outcomes” membahas pengembangan media pembelajaran sains berbasis *augmented reality* Android dengan fokus pada materi sistem pernapasan manusia bagi siswa kelas V SD. Aplikasi dikembangkan menggunakan model Borg & Gall dan memadukan elemen visual berupa objek 3D, gambar, video, dan audio untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa. Hasil validasi menunjukkan kelayakan tinggi dari ahli materi (84%) dan media (85%), sedangkan uji praktikalitas memperoleh respons sangat positif dari guru (90%) dan siswa (92%). Efektivitas aplikasi ditunjukkan melalui peningkatan skor rata-rata sebesar 33,37 poin dengan nilai *N-gain* 0,73 (kategori tinggi), menegaskan kontribusinya terhadap peningkatan hasil belajar. Meskipun demikian, aplikasi masih bergantung pada koneksi internet dan belum dilengkapi fitur interaktif seperti *gesture control*, *quiz adaptif*, dan umpan balik visual. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut berbasis *markerless AR* untuk mendukung pengalaman belajar yang lebih fleksibel, responsif, dan imersif [10].

2.1. *Augmented Reality* dalam Pendidikan

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang menggabungkan elemen virtual ke dalam lingkungan nyata secara *real-time* melalui perangkat digital seperti *smartphone* atau *tablet* [11]. Dalam konteks pendidikan, AR memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan objek tiga dimensi yang ditampilkan secara visual, sehingga menciptakan pengalaman belajar yang lebih *immersive* dan kontekstual. Penerapan AR terbukti mampu meningkatkan motivasi belajar, pemahaman konsep, dan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran [12]. Sejumlah studi menunjukkan bahwa AR memberikan kontribusi signifikan dalam pengajaran sains, termasuk biologi dan anatomi, karena mampu menghadirkan objek abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami [13].

2.2. *Markerless Augmented Reality*

Teknologi AR dikembangkan dalam dua pendekatan utama, yaitu *marker-based* dan *markerless*. Pendekatan *marker-based* membutuhkan penanda visual sebagai acuan untuk memunculkan objek virtual, sementara *markerless AR* memanfaatkan sensor perangkat dan pelacakan permukaan untuk menempatkan objek secara bebas di lingkungan nyata tanpa penanda fisik. Keunggulan *markerless* terletak pada fleksibilitas penggunaan yang lebih tinggi karena tidak tergantung pada media cetak atau kondisi pencahayaan tertentu. Dalam pengembangan media pembelajaran, *markerless AR* menjadi pilihan yang tepat untuk menghadirkan objek 3D secara dinamis di berbagai ruang belajar, sekaligus mendukung interaksi yang lebih alami antara pengguna dan objek virtual [14].

2.3. Media Pembelajaran Anatomi Tulang Berbasis *Visual 3D*

Pemahaman struktur anatomi tulang manusia merupakan materi penting dalam pembelajaran Biologi terutama di tingkat SMA. Media konvensional seperti buku teks dan gambar dua dimensi sering kali tidak mampu menyampaikan detail bentuk dan hubungan spasial antar bagian tubuh secara menyeluruh. Hal ini menyebabkan siswa kesulitan dalam mengidentifikasi serta membedakan struktur tulang dengan tepat. Penggunaan media pembelajaran berbasis visualisasi 3D dapat menjembatani kekurangan tersebut. Visualisasi tiga dimensi memungkinkan siswa untuk melihat objek dari berbagai sudut, memperbesar detail, dan memahami struktur kompleks secara lebih intuitif. Ketika dipadukan dengan teknologi AR, objek 3D dapat dimanipulasi secara interaktif, menciptakan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan kontekstual [15].

2.4. Validasi Ahli dengan *Aiken's V*

Validitas isi merupakan aspek penting dalam pengembangan media pembelajaran yang menyajikan

materi ilmiah seperti anatomi, guna memastikan bahwa konten yang ditampilkan telah sesuai dengan kaidah keilmuan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur validitas isi secara kuantitatif adalah *Aiken's V*. Metode ini menghitung indeks kesepakatan antar ahli terhadap tingkat relevansi suatu *item* berdasarkan skala ordinal, seperti skala *Likert* 1–5.

Aiken's V dinilai efektif karena memberikan ukuran proporsional terhadap seberapa relevan suatu butir *item* menurut para pakar. Penilai memberikan skor terhadap setiap *item*, kemudian nilai *Aiken's V* dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{\sum s}{[n(c - 1)]}$$

dengan keterangan:

V = nilai *Aiken's V*

s = skor dari setiap ahli dikurangi skor minimum skala ($s = r - l$)

n = jumlah ahli (penilai)

c = jumlah kategori skala

r = skor yang diberikan oleh ahli

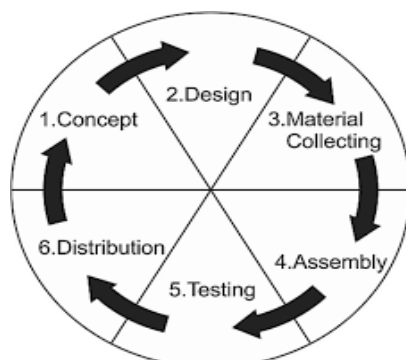
l = nilai terendah pada skala penilaian

Nilai *Aiken's V* berada pada rentang 0 hingga 1. Semakin mendekati 1, maka semakin tinggi validitas isi dari *item* yang dinilai. Secara umum, nilai $V \geq 0,80$ dianggap menunjukkan tingkat validitas yang baik. Penggunaan metode ini membantu memastikan bahwa materi, struktur, dan fitur yang dikembangkan dalam media pembelajaran telah ditelaah secara objektif oleh para ahli sebelum diimplementasikan dalam kegiatan belajar mengajar [16].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan pengembangan sistem untuk menghasilkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) markerless pada materi anatomi tulang manusia tingkat sekolah menengah atas (SMA). Model pengembangan yang diterapkan adalah *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang terdiri atas enam tahap: *Concept*, *Design*, *Material Collecting*, *Assembly*, *Testing*, dan *Distribution* [8].

3.1. Model Pengembangan Sistem



Gambar 1. Tahapan MDLC

Pengembangan media pembelajaran dilakukan dengan mengikuti tahapan model MDLC sebagai berikut:

a. *Concept* (Konsep)

Tahapan ini mencakup identifikasi kebutuhan pembelajaran, perumusan tujuan pengembangan, serta kajian literatur terhadap materi anatomi tulang, kurikulum Biologi SMA, dan teknologi AR dalam pendidikan.

b. *Design* (Perancangan)

Rancangan antarmuka pengguna (*user interface*), navigasi, serta interaksi pengguna disusun untuk mendukung kemudahan eksplorasi objek 3D. Elemen yang dirancang mencakup panel informasi, kontrol gestur (*rotasi* dan *zoom*), serta sistem kuis.

c. *Material Collecting* (Pengumpulan Materi)

Konten materi dikumpulkan dari sumber ilmiah seperti buku teks biologi, jurnal pendidikan, serta atlas anatomi. Model 3D tulang, ikon, dan elemen visual lainnya disiapkan untuk mendukung penyampaian materi.

d. *Assembly* (Pembuatan)

Proses penyatuan seluruh elemen dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Unity*, *AR Foundation*, *ARCore*, dan *Blender*. Fitur utama yang dikembangkan meliputi mode AR markerless, eksplorasi objek dalam 3D, interaksi gestur, dan sistem kuis berbasis aplikasi.

e. *Testing* (Pengujian)

Tahap pengujian dilakukan dengan tiga pendekatan: (1) *black-box testing* untuk menilai fungsionalitas teknis aplikasi, (2) validasi ahli untuk menilai kelayakan isi aplikasi, (3) tanggapan pengguna untuk mengevaluasi pengalaman penggunaan.

f. *Distribution* (Distribusi)

Aplikasi yang telah dikembangkan dibagikan dalam format *APK* untuk digunakan dalam uji coba terbatas. Proses distribusi bertujuan mengamati respon pengguna terhadap penggunaan media dalam konteks pembelajaran mandiri.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua teknik utama sebagai berikut:

a. Kajian Literatur

Kajian dilakukan terhadap sumber-sumber relevan seperti buku, jurnal, kurikulum, dan dokumen penelitian terdahulu yang mendukung pengembangan materi serta desain media pembelajaran.

b. Kuesioner Validasi dan Evaluasi Pengguna

Kuesioner digunakan untuk menilai kelayakan isi dari sudut pandang ahli, serta menilai kepraktisan media dari sisi pengguna siswa sekolah menengah atas. Instrumen disusun dalam bentuk skala *Likert* 1–5.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian menghasilkan media pembelajaran anatomi tulang manusia berbasis *Augmented Reality* markerless menggunakan model pengembangan *MDLC*. Aplikasi dikembangkan untuk mendukung pemahaman siswa terhadap struktur tulang melalui eksplorasi objek 3D dan simulasi AR tanpa *marker*.

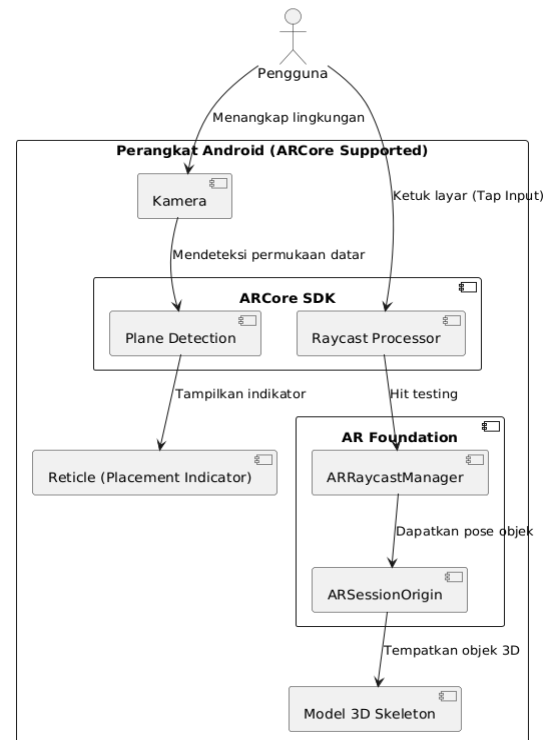
4.1. Concept (Konsep)

Tahap konsep peneliti merancang media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) *markerless* untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap anatomi tulang manusia. Topik ini dipilih berdasarkan kompetensi dasar dalam kurikulum Biologi SMA kelas XI, khususnya materi sistem rangka, yang menuntut visualisasi spasial guna memfasilitasi pemahaman struktur dan fungsi tulang secara menyeluruh. Aplikasi dirancang menampilkan model tulang manusia dalam bentuk objek 3D, setiap objek dilengkapi panel informasi ilmiah mengenai nama, nama Latin, dan deskripsi tulang. Tersedia dua mode tampilan: mode AR *markerless* untuk perangkat yang mendukung *ARCore*, dan mode eksplorasi 3D untuk perangkat yang tidak mendukung *ARCore*. Fitur kuis interaktif disertakan sebagai sarana evaluasi mandiri. Pengguna dapat memilih objek, memperbesar tampilan, dan memutar model untuk eksplorasi lebih mendalam.

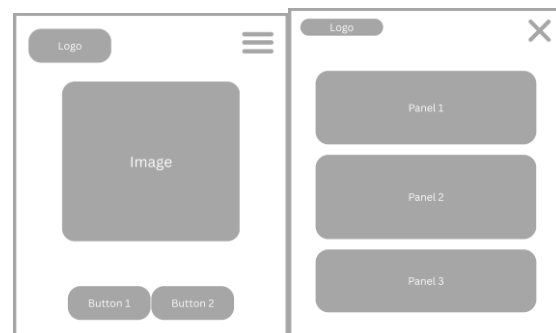
Pengembangan menggunakan *Unity* dengan dukungan *AR Foundation* dan *ARCore*, yang memungkinkan deteksi bidang datar (*plane detection*) tanpa *marker*. Model 3D akan dikembangkan menggunakan *Blender* dan diintegrasikan ke dalam *Unity* agar optimal dalam lingkungan AR. Luaran pada tahap ini berupa rancangan awal aplikasi “AR Anatomi Tulang” berbasis AR yang ditujukan untuk berjalan pada perangkat *Android* kompatibel dengan *ARCore*. Rancangan ini mencakup konsep fitur utama, antarmuka pengguna, dan alur interaksi yang dirancang untuk memungkinkan penggunaan secara mandiri tanpa media cetak atau pencahayaan khusus.

4.2. Design (Perancangan)

Tahap perancangan diawali dengan Arsitektur Sistem dirancang agar mampu menjalankan teknologi AR *markerless* dengan stabil pada perangkat *Android*. Arsitektur sistem melibatkan alur dari aktivasi kamera, pendeteksian permukaan datar, pemunculan objek 3D, hingga interaksi kontrol *gestur* secara *real-time*.

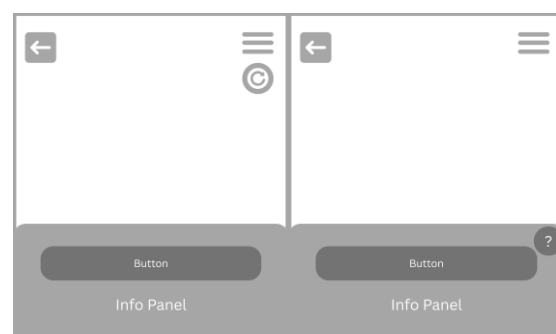


Gambar 2. Arsitektur Sistem Markerless AR



Gambar 3. Storyboard Bagian 1

Storyboard disusun untuk merancang alur interaksi pengguna secara sistematis, mencakup tampilan beranda (*home*), menu utama, mode 3D eksplorasi, dan mode AR *markerless*. Setiap layar didesain menampilkan letak tombol, ikon navigasi, serta fungsi utama secara konsisten agar mudah dipahami oleh pengguna.



Gambar 4. Storyboard Bagian 2

Antarmuka aplikasi dirancang minimalis dan ramah pengguna, dengan mempertimbangkan preferensi visual siswa.

4.3. Material Collecting (Pengumpulan Materi)

Tahap pengumpulan materi dilakukan untuk mendukung proses pengembangan aplikasi. Rincian sumber dan format bahan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Bahan

Bahan	Keterangan
Model 3D	Sumber: <i>Sketchfab</i> , lisensi CC BY 4.0
Materi	Sumber: Modul Biologi SMA & <i>Sinelnikov Atlas of Human Anatomy</i>
Tombol	Sumber: <i>canva.com</i>
Tipografi	Sumber: <i>fonts.google.com</i>

4.4. Assembly (Pembuatan)

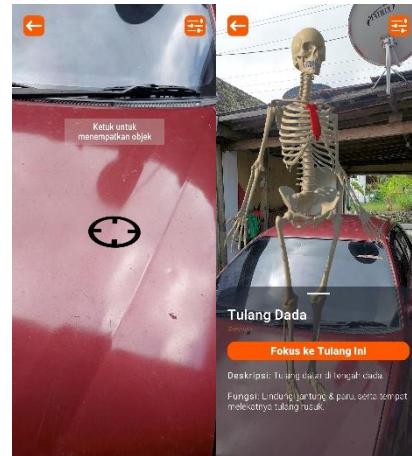
Aplikasi AR Anatomi Tulang dikembangkan menggunakan *Unity* dengan dukungan *AR Foundation* dan *ARCore*. Proses perakitan aplikasi mencakup penggabungan antarmuka, model 3D, sistem kontrol *gestur*, dan basis data materi.



Gambar 5. Menu Utama dan *PopUp* Info Mode 3D

Antarmuka utama dirancang minimalis dan intuitif, menampilkan dua navigasi fitur utama: Mode 3D *Eksplorasi* dan Mode AR *Markerless*, sedangkan Mode *Kuis Interaktif* dapat diakses melalui menu internal. Navigasi antar-fitur diatur agar efisien dan mudah dipahami oleh siswa. Pada Mode 3D, model kerangka manusia dapat diputar dan diperbesar menggunakan *gestur* tangan. Sentuhan pada bagian tulang akan memunculkan panel *popup* berisi informasi nama tulang, istilah Latin, dan deskripsi singkat.

Mode AR *Markerless* memungkinkan pengguna menempatkan model skeleton di lingkungan nyata tanpa penanda (*marker*) fisik. Deteksi bidang datar dilakukan secara otomatis, dan *reticle* penanda digunakan untuk penempatan objek. Ketukan pada layar akan memunculkan model skeleton dalam skala nyata di lingkungan pengguna.



Gambar 6. Proses Peletakan Objek 3D



Gambar 7. Fitur Kuis dan Umpan Balik Visual

Fitur *Kuis Interaktif* menyajikan soal yang ditarik secara acak dari basis data *JSON*. Setiap soal meminta pengguna untuk menjawab dengan memilih bagian tulang yang sesuai pada model 3D. Umpan balik diberikan melalui perubahan warna objek dan notifikasi jawaban, sehingga mendorong partisipasi aktif dalam proses pembelajaran.

4.5. Testing (Pengujian)

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode *black-box testing* untuk memastikan bahwa seluruh fitur dalam aplikasi berjalan sesuai dengan spesifikasi. Fokus pengujian mencakup navigasi menu, tampilan dan manipulasi objek 3D, pemunculan model melalui AR *markerless*, interaksi dengan panel informasi, serta sistem kuis interaktif. Setiap fitur diuji berdasarkan kecocokan antara input dan output tanpa meninjau struktur kode internal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fungsi utama berjalan stabil dan responsif, tanpa ditemukan kesalahan kritis dalam eksekusi. Setelah seluruh fitur dinyatakan berfungsi dengan baik, aplikasi diuji lebih lanjut melalui validasi ahli untuk menilai kelayakan isi dan fitur secara pedagogis.

Tabel 2. Hasil Balckbox Testing

No	Deskripsi Pengujian	Input	Output yang Diharapkan	Status
1	Menampilkan <i>reticle</i> pada permukaan datar setelah kamera aktif	Kamera diarahkan ke permukaan	<i>Reticle</i> muncul pada permukaan terdeteksi	Berhasil
2	Menampilkan model kerangka setelah tap pada permukaan yang valid	Tap pada layar	Model 3D <i>skeleton</i> muncul dan menempel di permukaan	Berhasil
3	Menampilkan popup informasi saat tulang disentuh (<i>raycast</i>)	Tap pada tulang	Muncul popup nama tulang, nama latin, dan deskripsi singkat	Berhasil
4	Memastikan navigasi antar menu berjalan sesuai logika	Tekan tombol kembali/menu	Kembali ke menu utama/ <i>scene</i> eksplorasi	Berhasil
5	Memunculkan soal, menerima jawaban, dan memberi umpan balik visual	Jawab kuis	Muncul <i>feedback</i> benar/salah dan <i>highlight</i> warna pada tulang	Berhasil
6	Menguji <i>rotasi</i> , <i>zoom</i> , dan <i>reset</i> posisi model pada <i>scene viewer</i>	Gesture pinch, swipe, double tap	Model merespons <i>rotasi</i> , <i>zoom</i> , dan <i>reset</i> posisi dengan baik	Berhasil

Pengujian validitas isi dilakukan menggunakan koefisien *Aiken's V* untuk menilai kesepakatan empat guru Biologi terhadap 13 butir pernyataan yang mengukur kualitas konten dan fitur aplikasi. Setiap ahli memberikan skor menggunakan skala Likert 1–5. Secara konvensional, *V* dihitung menggunakan rumus *Aiken's V* 1985:

$$V = \frac{\sum s}{[n(c-1)]}$$

Pada Penelitian ini menggunakan rumus modifikasi yang lebih sederhana sebagaimana dikemukakan oleh Penfield dan Giacobbi [17], yaitu:

$$V = \frac{X - l}{k}$$

dengan *X* sebagai rata-rata skor ahli, *l* adalah skor minimum skala (1), dan *k* adalah rentang skala (4).

Pendekatan ini mengacu pada modifikasi Penfield dan Giacobbi [17] serta digunakan secara luas dalam studi validitas konten. Kriteria interpretasi yang digunakan mengacu pada batas minimum validitas isi sebesar 0,60 [18].

Hasil perhitungan *Aiken's V* ditampilkan dalam Tabel 3. Setiap item pernyataan menunjukkan nilai $\geq 0,6875$, yang berarti seluruh butir berada dalam kategori valid. Nilai tertinggi dicapai pada pernyataan “Aplikasi ini layak digunakan sebagai media pembelajaran tambahan” ($V = 0,9375$), sedangkan nilai terendah adalah 0,6875 yang tetap berada dalam batas kelayakan. Temuan ini menunjukkan bahwa keseluruhan konten dan fitur aplikasi dinilai valid oleh para ahli dan layak digunakan dalam konteks pembelajaran biologi berbasis teknologi.

Tabel 3. Rekap Hasil Validasi Ahli dengan *Aiken's V*

No	Pernyataan	Skor Ahli (1,2,3,4)	Rata-rata X	<i>Aiken's V</i>
1	Materi anatomi tulang telah sesuai dengan standar ilmiah.	4, 4, 5, 4	4.25	0.8125
2	Informasi nama tulang, nama latin, dan deskripsi sudah akurat.	5, 4, 5, 4	4.50	0.8750
3	Penyajian materi dapat dipahami oleh siswa tingkat sekolah menengah.	4, 4, 5, 4	4.25	0.8125
4	Fitur <i>AR markerless</i> dapat digunakan dengan stabil dan akurat.	3, 4, 5, 4	4.00	0.7500
5	Kontrol <i>gestur</i> (<i>rotasi</i> dan <i>zoom</i>) mudah dioperasikan.	3, 3, 5, 4	3.75	0.6875
6	Sistem kuis interaktif berjalan dengan baik.	4, 4, 5, 4	4.25	0.8125
7	Mode eksplorasi 3D setara secara fungsi dan konten dengan mode <i>AR</i> .	3, 5, 4, 4	4.00	0.7500
8	Tampilan antarmuka menarik dan sesuai untuk pelajar.	4, 4, 3, 4	3.75	0.6875
9	Navigasi dalam aplikasi mudah dipahami.	4, 4, 5, 4	4.25	0.8125
10	Panel informasi mempermudah pengguna memahami struktur tulang.	5, 4, 5, 4	4.50	0.8750
11	Aplikasi ini layak digunakan sebagai media pembelajaran tambahan.	4, 5, 5, 5	4.75	0.9375
12	Aplikasi dapat digunakan tanpa pendampingan guru secara intensif.	4, 4, 4, 3	3.75	0.6875
13	Aplikasi dapat menggantikan alat bantu fisik/laboratorium secara fungsional.	5, 4, 3, 3	3.75	0.6875

Pengujian pengguna dilakukan untuk memperoleh tanggapan langsung dari siswa terhadap fungsionalitas, kemudahan penggunaan, dan pengalaman belajar menggunakan aplikasi *AR Anatomi Tulang*. Sebanyak 15 siswa berpartisipasi dalam uji coba ini. Evaluasi dilakukan dengan pendekatan kuantitatif melalui penyebaran kuesioner yang terdiri dari 10 pernyataan. Instrumen menggunakan skala Likert 1–5, di mana responden memberikan tingkat kesetujuan terhadap masing-masing pernyataan. Interpretasi kategori penilaian

didasarkan pada persentase rata-rata skor yang diperoleh, dengan konversi skala sebagai berikut:

Tabel 4. Persentase Skala Likert

Skala Jawaban	Skor	Rentang Persentase
Sangat Setuju (SS)	5	81%-100%
Setuju (S)	4	61%-80%
Netral (N)	3	41%-60%
Tidak Setuju (TS)	2	21%-40%
Sangat Tidak Setuju (STS)	1	0%-20%

Setelah seluruh kuesioner dikumpulkan, hasil dari masing-masing skala jawaban diolah secara kuantitatif untuk menentukan total skor per pertanyaan. Proses pengolahan ini dilakukan dengan mengkonversi skor menjadi persentase dari skor maksimum yang mungkin diperoleh. Selanjutnya, hasil pengukuran skala tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat penerimaan siswa terhadap setiap aspek yang dinilai. Rekapitulasi hasil dari sepuluh pernyataan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Total Skala Jawaban pertanyaan

Pertanyaan Ke-	Penilaian				
	SS	S	N	TS	STS
1	9	3	3	0	0
2	9	5	1	0	0
3	9	4	2	0	0
4	8	4	3	0	0
5	9	5	1	0	0
6	4	8	2	1	0
7	9	4	2	0	0
8	8	5	2	0	0
9	5	8	2	0	0
10	7	6	2	0	0

Berdasarkan hasil perhitungan analisa dari 10 pertanyaan maka diperoleh hasil akhir pengujian disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Total Hasil Pengujian

Pertanyaan Ke-	Hasil	Kategori
1	88.00%	Sangat Setuju
2	90.67%	Sangat Setuju
3	89.33%	Sangat Setuju
4	86.67%	Sangat Setuju
5	90.67%	Sangat Setuju
6	80.00%	Setuju
7	89.33%	Sangat Setuju
8	88.00%	Sangat Setuju
9	84.00%	Sangat Setuju
10	86.67%	Sangat Setuju

Rata-rata keseluruhan dari 10 pernyataan menunjukkan skor sebesar 87.33%, yang termasuk dalam kategori Sangat Setuju. Perhitungan total rata-rata diperoleh dari hasil berikut:

Total = Total hasil akhir pertanyaan / Jumlah Pertanyaan

$$\text{Total} = (88.00 + 90.67 + 89.33 + 86.67 + 90.67 + 80.00 + 89.33 + 88.00 + 84.00 + 86.67) / 10 = 87.33\%$$

Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa respon siswa terhadap penggunaan aplikasi “AR Anatomi Tulang” sangat positif. Aplikasi dinilai mudah digunakan, menarik secara visual, mendukung pemahaman materi, serta mampu meningkatkan minat belajar, khususnya dalam pembelajaran sistem rangka manusia.

4.6. Distribution (Distribusi)

Tahap distribusi dilakukan dengan mendistribusikan aplikasi kepada pengguna melalui format APK yang dapat diinstal langsung pada perangkat Android. File aplikasi disebarakan secara terbatas kepada guru dan siswa melalui tautan Google Drive dan dapat diakses melalui perangkat tanpa memerlukan instalasi dari Play Store. Dalam proses uji coba, aplikasi digunakan oleh 15 siswa SMA kelas XI sebagai media pembelajaran pendamping pada materi sistem rangka. Aplikasi juga dirancang agar dapat diperluas distribusinya melalui platform pembelajaran digital sekolah di masa mendatang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menghasilkan aplikasi *AR Anatomi Tulang* sebagai media pembelajaran interaktif berbasis *markerless Augmented Reality* untuk materi sistem rangka manusia pada pelajaran Biologi tingkat SMA kelas XI. Aplikasi dikembangkan dengan metode MDLC, memanfaatkan teknologi ARCore, dan dilengkapi fitur eksplorasi 3D, eksplorasi AR, kuis, *popup* informasi, serta kontrol *gestur*. Hasil *black-box testing* menunjukkan seluruh fungsi berjalan baik. Validasi isi dilakukan oleh empat guru Biologi menggunakan *Aiken's V*, yang menunjukkan bahwa seluruh butir pernyataan memiliki nilai ≥ 0.6875 , dengan nilai tertinggi sebesar 0.9375 dan terendah tetap dalam batas kelayakan. Temuan ini menunjukkan bahwa konten dan fitur aplikasi dinilai valid dan relevan untuk konteks pembelajaran biologi. Uji coba terhadap 15 siswa menunjukkan rata-rata skor 87.33% pada skala kelayakan penggunaan, yang termasuk dalam kategori sangat setuju. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi diterima dengan sangat baik dan mampu meningkatkan minat serta pemahaman siswa terhadap materi.

Sebagai saran, aplikasi dapat dikembangkan untuk materi biologi lainnya, ditambahkan fitur rekam kuis untuk asesmen, diuji coba lebih luas, serta dioptimalkan agar berjalan stabil di perangkat dengan spesifikasi menengah ke bawah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Iparraguirre-Villanueva, J. Andia-Alcarraz, F. Saba-Estela, and A. Epifanía-Huerta, “Mobile Application with Augmented Reality as a Support Tool for Learning Human Anatomy,” *Int. J. Eng. Pedagog.*, vol. 14, no. 1, pp. 82–95, 2024, doi: 10.3991/ijep.v14i1.46845.
- [2] D. Basurco-Reyes, A. Nuñez-Lopez, F. Sierra-Liñan, J. Zapata-Paulini, and M. Cabanillas-Carbonell, “Mobile Application with Augmented Reality Focused on the Study of Human Anatomy,” *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 16, no. 24, pp. 47–58, 2022, doi: 10.3991/ijim.v16i24.34709.
- [3] K. A. Bölek, G. De Jong, and D. Henssen, “The effectiveness of the use of augmented reality in anatomy education: a systematic review and

- meta-analysis,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-94721-4.
- [4] J. Geerlings-Batt, C. Tillett, A. Gupta, and Z. Sun, “Enhanced Visualisation of Normal Anatomy with Potential Use of Augmented Reality Superimposed on Three-Dimensional Printed Models,” *Micromachines*, vol. 13, no. 10, p. 1701, Oct. 2022, doi: 10.3390/mi13101701.
- [5] C. Moro *et al.*, “Virtual and Augmented Reality Enhancements to Medical and Science Student Physiology and Anatomy Test Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *Anat. Sci. Educ.*, vol. 14, no. 3, pp. 368–376, 2021, doi: 10.1002/ase.2049.
- [6] N. Wickramasinghe, B. R. Thompson, and J. Xiao, “The Opportunities and Challenges of Digital Anatomy for Medical Sciences: Narrative Review,” *JMIR Med. Educ.*, vol. 8, no. 2, pp. 1–11, 2022, doi: 10.2196/34687.
- [7] P. García-Robles, I. Cortés-Pérez, F. A. Nieto-Escámez, H. García-López, E. Obrero-Gaitán, and M. C. Osuna-Pérez, “Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis,” *Anat. Sci. Educ.*, vol. 17, no. 3, pp. 514–528, Apr. 2024, doi: 10.1002/ase.2397.
- [8] I. Amalia Jaza and Darsiti, “Implementasi Multimedia Development Life Cycle (Mdlc) Pada Aplikasi Media Implementasi Multimedia Development Life Cycle (Mdlc) Pada Aplikasi Media Pembelajaran Budaya Jawa Barat Di Kompepar Giri Harja Jelekong,” *Jatilima J. Multimed. Dan Teknol. Inf.*, vol. 06, no. 02, pp. 254–272, 2024, [Online]. Available: <https://journal.cattleyadf.org/index.php/jatilima/index>
- [9] K. Kaharuddin, Y. Pernando, M. Marfuah, and M. KH, “Aplikasi Augmented Reality (AR) Sebagai Media Pembelajaran Sistem Rangka Manusia,” *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 1168–1175, Jul. 2023, doi: 10.47065/josh.v4i4.3685.
- [10] Y. R. R. Rosyid and N. Setyasto, “Development of Android-Based Augmented Reality Learning Media on the Human Respiratory System to Improve Student Learning Outcomes,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 10, no. 5, pp. 2503–2510, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i5.7024.
- [11] A. Fathur Rojib and D. Ratnawati, “PENGEMBANGAN AUGMENTED REALITY (AR) UNTUK MATA PELAJARAN TEKNOLOGI INFORMASI KELAS X,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 6, pp. 3647–3654, Feb. 2024, doi: 10.36040/jati.v7i6.7739.
- [12] D. C. M. Wenthe, V. H. Pranatawijaya, and P. Bagus, “Aplikasi Pengenalan Objek untuk Anak Usia Dini Menggunakan Teknologi Augmented Reality Rancang Bangun Aplikasi WARUNG KITA View project UAS MULTIMEDIA _ TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY View project,” *J. Teknol. Inf. J. Keilmuan dan Apl. Bid. Tek. Inform.*, no. June, 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/352587890>
- [13] M. R. Hakim, R. Dijaya, and S. Busono, “PERANCANGAN APLIKASI AUGMENTED REALITY UNTUK VISUALISASI MODEL 3 DIMENSI DESIGN PACKAGING PRODUK,” *JUPI (Jurnal Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Inform.)*, vol. 8, no. 3, pp. 947–958, Aug. 2023, doi: 10.29100/jupi.v8i3.4017.
- [14] C. N. Nurdiansyah and H. Maulana, “Implementasi Augmented Reality (AR) dengan Metode Marker dan Markerless Pada Objek dan Benda Bersejarah di Museum Gedung Sate,” *Univ. Komput. Indones.*, vol. 1, pp. 1–8, 2018.
- [15] K. I. Putra, P. J. L. Dawa, Y. D. Burgos, and F. I. Maulana, “Implementation of Augmented Reality in Study for Human Anatomy,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 227, pp. 709–717, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.10.575.
- [16] N. Kania, Y. S. Kusumah, J. A. Dahlan, E. Nurlaelah, F. Gürbüz, and E. Bonyah, “Constructing and providing content validity evidence through the Aiken’s V index based on the experts’ judgments of the instrument to measure mathematical problem-solving skills,” *REID (Research Eval. Educ.)*, vol. 10, no. 1, pp. 64–79, 2024, doi: 10.21831/reid.v10i1.71032.
- [17] R. D. Penfield and P. R. Giacobbi, “Applying a score confidence interval to Aiken’s item content-relevance index,” *Meas. Phys. Educ. Exerc. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 213–225, 2004, doi: 10.1207/s15327841mpee0804_3.
- [18] P. del Pozo-Herce *et al.*, “Application of the Delphi Method for Content Validity Analysis of a Questionnaire to Determine the Risk Factors of the Chemsex,” *Healthc.*, vol. 11, no. 21, 2023, doi: 10.3390/healthcare11212905.