

**PEMILIHAN MATERI AJAR ANATOMI JANTUNG MANUSIA
BERBASIS *AUGMENTED REALITY* MENGGUNAKAN
METODE TOPSIS**

SKRIPSI

**Oleh :
MOHAMAD SALWA QOTHRUN NADA
NIM. 19650122**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**PEMILIHAN MATERI AJAR ANATOMI JANTUNG MANUSIA
BERBASIS *AUGMENTED REALITY* MENGGUNAKAN
METODE TOPSIS**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
MOHAMAD SALWA QOTHRUN NADA
NIM. 19650122

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PEMILIHAN MATERI AJAR ANATOMI JANTUNG MANUSIA
BERBASIS *AUGMENTED REALITY* MENGGUNAKAN
METODE TOPSIS**

SKRIPSI

Oleh :
MOHAMAD SALWA QOTHIRUN NADA
NIM. 19650122

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 26 Maret 2026

Pembimbing I,



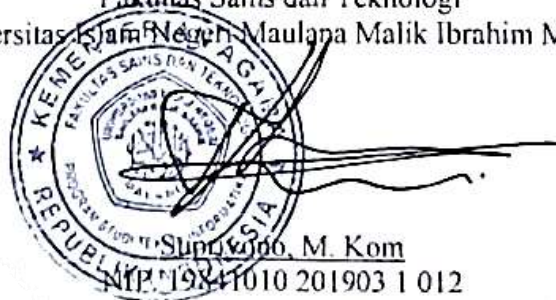
Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T., SMIEEE
NIP. 19830616 201101 1 004

Pembimbing II,



Dr. M. Imamudin Lc, MA
NIP.19740602 200901 1 010

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Supriyanto, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

PEMILIHAN MATERI AJAR ANATOMI JANTUNG MANUSIA BERBASIS *AUGMENTED REALITY* MENGGUNAKAN METODE TOPSIS

SKRIPSI

Oleh :
MOHAMAD SALWA QOTHIRUN NADA
NIM. 19650122

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: Mei 2026

Susunan Dewan Penguji

2Ketua Penguji : Dr. Ir. Fresy Nugroho, M.T., IPM.,
ASEAN Eng
NIP. 19710722 201101 1 001
Anggota Penguji I : Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 202012 1 003
Anggota Penguji II : Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M.T.,
SMIEEE
NIP. 19830616 201101 1 004
Anggota Penguji III : Dr. M. Imamudin Lc, MA
NIP. 19740602 200901 1 010

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohamad Salwa Qothrun Nada
NIM : 19650122
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Pemilihan Materi Ajar Anatomi Jantung Manusia Berbasis *Augmented Reality* Menggunakan Metode Topsis

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 8 Mei 2026
Yang membuat pernyataan,



Mohamad Salwa Qothrun Nada
NIM.19650122

MOTTO

*...”Saya benci setiap menit pelatihan, tetapi saya berkata, 'Jangan berhenti!.
Menderita sekarang dan menjalani sisa hidupmu sebagai juara”...*

(Muhammad Ali)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Wasyukurillah segala Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat, Taufiq, hidayah, dan inayyah-Nya kepada penulis beserta keluarga dan saudara lainnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan rasa hormat dan terimakasih, penulis mempersembahkan skripsi tugas akhir ini kepada :

1. Pintu surga ku yaitu Ayah dan Ibu, penulisan berikan kepada beliau atas bentuk bantuan, semangat dan do'a yang diberikan selama ini.
2. Serta semua dosen, staf, sahabat, teman, dan semua pihak yang telah memberikan dorongan sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi. Terima Kasih

KATA PENGANTAR

Assalamu alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik, dapat mengembangkan game pemilihan materi ajar anatomi jantung manusia yang menggunakan metode Topis sebagai salah satu solusi untuk motivasi bahan ajar untuk pengenalan anatomi jantung manusia.

Mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan, baik secara moral, mental maupun material, sehingga penelitian dapat diselesaikan. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Supriyono, M. Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T., selaku dosen pembimbing I dan Dr. M. Imamudin Lc, MA selaku dosen pembimbing II atas arahan dan bimbingan yang diberikan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi.
5. Selaku dosen dan jajaran staff Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan dukungan selama pengerjaan skripsi ini.

6. Drs. Achmad Saechoni, MM, dan Nurul Mu'alimah selaku Orang tua yang selalu memberikan dukungan dan menjadi motivasi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman kontrakan, dosen, staf Teknik Informatika yang selalu memberikan dukungan terkait penelitian, bekerja sama, dan saling membantu selama berada di Kampus UIN Malang.

Dengan tekad dan upaya maksimal, penulis telah berusaha menyelesaikan skripsi dengan kemampuan sendiri, meskipun terkadang melihat sana-sini hanya untuk sebagai referensi semata. Bahwa penulis juga menyadari skripsi yang ditulis masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat serta membantu orang lain.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 17 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
المخلص	xiv
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Pernyataan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Landasan Teori	9
BAB III DESAIN PENELITIAN	16
3.1 Analisis Dan Perancangan Sistem.....	16
3.2 <i>Marker</i>	18
3.3 Inisialisasi Asset.....	19
3.4 User Interface dan <i>Game Environment</i>	20
3.5 Materi dan Soal	22
3.6 Perancangan Metode TOPSIS.....	24
3.7 Usability Testing	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Implementasi Sistem	32

4.2 Pengujian Sistem.....	37
4.2 Hasil Pengujian	47
4.3 Pembahasan.....	49
4.5 Rangkuman	52
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Activity Diagram.....	17
Gambar 3. 2 Flowchart Pendeteksi Marker.....	19
Gambar 3. 3 Flowchart Inisialisasi Objek 3D.....	20
Gambar 4. 1 Deteksi Marker.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Materi Anatomi Jantung Manusia.....	12
Tabel 3. 1 User Interface dan Game Environment.....	22
Tabel 3. 2 Soal	24
Tabel 3. 3 Bobot Kriteria	27
Tabel 3. 4 Kualitas Materi.....	28
Tabel 3. 5 Tingkat Kesulitan Soal.....	29
Tabel 3. 6 Perangkingan.....	33
Tabel 4. 1 Spesifikasi Marker	36
Tabel 4. 2 Marker Handler	39
Tabel 4. 3 Kriteria dan Bobot TOPSIS	40
Tabel 4. 4 Pseudocode Soal Model	42
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Fungsionalitas.....	43
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Deteksi Marker Berdasarkan Jarak.....	46
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Deteksi Marker Berdasarkan Sudut Pandang	46
Tabel 4. 8 Data Awal Soal untuk Perhitungan TOPSIS.....	47
Tabel 4. 9 Matriks Normalisasi	48
Tabel 4. 10 Matriks Normalisasi Terbobot	48
Tabel 4. 11 Jarak ke Solusi Ideal	49
Tabel 4. 12 Nilai Preferensi dan Ranking	50
Tabel 4. 13 Perubahan Nilai Preferensi Setelah Jawaban Salah	50
Tabel 4. 14 Spesifikasi Perangkat Android yang Digunakan untuk Pengujian	51
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian pada Perangkat Android	52
Tabel 4. 16 Hasil Kuesioner Pengujian Pengguna	54

ABSTRAK

Qothrun Nada, Mohamad Salwa. 2026. **Pemilihan Materi Ajar Anatomi Jantung Manusia Berbasis *Augmented Reality* Menggunakan Metode Topsis**. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T, (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA

Kata kunci: , TOPSIS, Materi Ajar, Anatomi Jantung, Pemilihan Materi

Diperlukan Pengembangan dalam metode ajar di Indonesia untuk meningkatkan minat belajar dalam berbagai topik. Terutama pada topik yang kompleks seperti anatomi jantung manusia. Banyak tantangan untuk dalam menyampaikan atau bahkan mengenalkan materi yang banyak melibatkan berbagai kriteria yang harus dipertimbangkan, seperti relevansi materi, kemudahan pemahaman, serta kesesuaiannya dengan kurikulum. Game ini bertujuan untuk merancang (DSS) yang dapat membantu dalam pemilihan materi ajar anatomi jantung manusia dengan menggunakan metode *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Alasan penggunaan metode TOPSIS adalah kemampuannya untuk mengevaluasi dan memberikan keunggulan atas beberapa alternatif berdasarkan beberapa diantaranya untuk mengevaluasi dan memberikan keunggulan atas beberapa alternatif berdasarkan beberapa kriteria . Dalam konteks konteks darimateri pengajaran , metode ini akan digunakan untuk mengevaluasi beberapa pilihan materi berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya , seperti kualitas informasi , kejelasan penjelasan , dan alat bahan ajar visual.

ABSTRACT

Qothrun Nada, Mohamad Salwa. 2026. **Application Of Augmented Reality In Selecting Human Heart Anatomy Teaching Materials Using The Topsis Method**. Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T, (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA

Keywords : *TOPSIS, Teaching Materials, Cardiac Anatomy, Material Selection*

Development is needed in teaching methods in Indonesia to increase interest in learning in various topics. Especially on complex topics such as human heart anatomy. Many challenges to deliver or even introduce a lot of material involve various criteria that must be considered, such as the relevance of the material, ease of understanding, and its suitability for the curriculum. This game aims to design (DSS) that can assist in the selection of teaching materials for human cardiac anatomy using the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method. The rationale for using the TOPSIS method is its ability to evaluate and assign superiority to several alternatives based on several of them to evaluate and assign superiority to several alternatives based on several criteria. In the context of teaching materials, this method will be used to evaluate a selection of materials based on predetermined criteria, such as information quality, clarity of explanation, and visual teaching tools.

الملخص

قطر الندى، محمد سلوى. 2026. اختيار مواد تعليمية لتشريح قلب الإنسان القائمة على الواقع المعزز باستخدام طريقة توبسيس رسالة جامعية في قسم تقنية المعلومات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفان: (الأول) د. يونيفا مفتاح العارف، ماجستير في التقنية، (الثاني) د. محمد إمام الدين، ليسانس، ماجستير.

الكلمات المفتاحية: توبسيس (TOPSIS)، المواد التعليمية، تشريح القلب، اختيار المواد

تتطلب طرق التدريس في إندونيسيا تطويرًا من أجل زيادة دافعية التعلّم في مختلف الموضوعات، ولا سيما في الموضوعات المعقّدة مثل تشريح قلب الإنسان. وتوجد تحديات عديدة في عرض المادة التعليمية أو حتى في التعريف بها، إذ تتضمن معايير متعدّدة ينبغي أخذها في الحسبان، مثل مدى ملاءمة المحتوى، وسهولة فهمه، ومدى توافقه مع المنهج الدراسي. وتهدف هذه اللعبة إلى تصميم نظام دعم القرار (DSS) يمكنه المساعدة في اختيار مواد تعليمية لتشريح قلب الإنسان باستخدام طريقة ترتيب التفضيلات وفقًا للتشابه مع الحلّ المثالي (TOPSIS). ويرجع سبب استخدام طريقة توبسيس (TOPSIS) إلى قدرتها على التقييم وترجيح بعض البدائل على غيرها بناءً على عدد من المعايير. وفي سياق موادّ التدريس، ستستخدم هذه الطريقة لتقييم عدّة خيارات من المواد التعليمية وفق معايير محددة مسبقًا، مثل جودة المعلومات، ووضوح الشرح، ووسائل التعليم البصرية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lingkungan belajar yang menarik dapat membarikan dampak yang cukup signifikan untuk meningkatkan minat belajar pada anak. Pentingnya menciptakan sistem pembelajaran yang menarik untuk siswa sehingga siswa bisa belajar dengan maksimal tanpa ada dampak psikologis tertekan atau keterpaksaan dalam belajar. Lingkungan yang mendukung dan metode pembelajaran menjadi faktor penting untuk mendukung berjalannya sistem yang dibuat sesuai dengan kondisi yang ada.

Peran guru juga sangat penting untuk menciptakan suasana yang interaktif dan dinamis sehingga harapan terciptanya sistem pengajaran yang inovatif bisa terwujud. Misalnya dalam penggunaan teknologi aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality* yang bisa membuat pembelajaran lebih menarik bagi siswa. Pendidikan saat ini menghadapi serangkaian tantangan kompleks terkait perkembangan teknologi dalam masyarakat dan re-komposisi sosial. Metode pembelajaran monoton yang dahulu digunakan para guru perlu diubah untuk menerapkan model-model pembelajaran yang baru dan lebih interaktif kepada siswa, sehingga motivasi belajar siswa bertambah. Pada kebijakan kurikulum merdeka sekarang ini lebih cocok untuk menerapkan berbagai metode pembelajaran untuk siswa dengan menggabungkan sains, teknologi, seni dan mata pembelajaran lainnya.

Dengan kurikulum ini karakter siswa lebih didukung dan terfasilitasi serta dapat menyesuaikan program sesuai kebutuhan dan potensi siswa. Salah satu program kurikulum merdeka yang menitikberatkan pada lima pilar pendidikan, yaitu pendidikan kreatif, kritis, komunikatif, kolaboratif, dan karakter. Banyak nilai-nilai yang perlu diterapkan dalam kurikulum merdeka, tentunya hal itu tidak akan cukup jika disampaikan secara langsung dikelas. Dengan kolaborasi pada penerapan nilai-nilai Pancasila, wawasan serta kemudahan untuk menyampaikan materi ajar secara luas dengan memanfaatkan teknologi yang berkembang memungkinkan pembelajaran lebih personal dan adaptif, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan siswa dan pemahaman belajar siswa.

Penggunaan metode pengajaran yang lebih interaktif dan menarik dalam metode pengajaran sangat disarankan untuk siswa sekolah menengah. Saat ini, siswa mulai berpikir secara abstrak melalui benda-benda yang mereka temui. Pengetahuan lisan (membaca dan menyimak) saja tidak cukup untuk mengembangkan pemahaman. Mereka membutuhkan inovasi baru yang dapat membantu untuk cepat dalam pemahaman dan mengingat pelajaran yang diajarkan kepada mereka. Disamping itu, akan lebih efektif jika setiap siswa dapat mengkaji ulang materi yang belum dipahami sehingga dapat meningkatkan capaian pembelajaran dalam kelas. Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian

dengan judul “Pemilihan Materi Ajar Anatomi Jantung pada Media Edukasi Berbasis *Augmented Reality* Menggunakan Metode TOPSIS”.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَاَنْشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

” Wahai orang-orang yang beriman, apabila dikatakan kepadamu “Berilah kelapangan di dalam majelis-majelis,” lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Apabila dikatakan, “Berdirilah,” (kamu) berdirilah. Allah niscaya akan mengangkat orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Allah Mahateliti terhadap apa yang kamu kerjakan.” (Q.S Al-Mujadilah [58] : 11).

Ayat ini dengan tegas menyatakan bahwa Allah SWT akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan berilmu pengetahuan. Konsep *raf'u al-darajat* (pengangkatan derajat) ini menunjukkan bahwa ilmu pengetahuan dalam perspektif Islam bukan sekadar akumulasi informasi, melainkan jalan menuju kemuliaan di sisi Allah SWT. Para mufasir menjelaskan bahwa pengangkatan derajat ini bersifat ganda, yaitu derajat di dunia (melalui kepakaran dan pengakuan masyarakat) dan derajat di akhirat (melalui ganjaran pahala). Dalam konteks pendidikan kedokteran, penguasaan ilmu anatomi jantung yang merupakan salah satu organ paling kompleks dalam tubuh manusia merupakan bagian dari upaya menuntut ilmu yang dimuliakan Allah SWT. "Menuntut ilmu itu wajib bagi setiap Muslim" (HR. Ibnu Majah). Keutamaan ini menunjukkan bahwa menuntut ilmu bukan hanya kewajiban individual, tetapi juga memiliki dimensi sosial yang besar (Ali, Rahmat, and Salsabil 2024).

Aplikasi ini dirancang untuk memudahkan siswa dalam mempelajari struktur jantung yang kompleks melalui visualisasi tiga dimensi berbasis

Augmented Reality (AR), sekaligus menyediakan sistem evaluasi adaptif menggunakan metode TOPSIS yang menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan kemampuan pengguna. Dengan demikian, aplikasi ini tidak hanya berfungsi sebagai media transfer pengetahuan, tetapi juga sebagai sarana untuk mencapai derajat ilmu yang lebih tinggi sebagaimana dijanjikan Allah SWT dalam ayat tersebut. Sistem adaptif TOPSIS yang mengulang soal-soal yang sering dijawab salah mendorong pengguna untuk terus memperbaiki pemahamannya sebuah proses yang selaras dengan etika seorang pencari ilmu sejati yang senantiasa berbenah diri. Melalui penelitian ini, diharapkan aplikasi yang dikembangkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam dunia pendidikan sebagai wujud pengamalan nilai-nilai Al-Qur'an dalam pengembangan teknologi pembelajaran. Hal ini berkaitan dengan tujuan yang ditunjukkan penelitian ini dalam rangka pengamalan ilmu yang telah dipelajari di bidang teknologi untuk penerapan metode ajar dengan inovasi terbaru yang bisa memudahkan dalam menuntut ilmu khususnya pada tema pemilihan materi ajar anatomi jantung manusia berbasis *Augmented Reality* menggunakan metode topsis.

1.2 Pernyataan Masalah

Pendidikan ilmu pengetahuan alam dalam bab anatomi jantung manusia sering kali menggunakan metode konvensional dan kurang menarik sehingga sulit dipahami siswa. Oleh karena itu, diperlukan metode pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik, seperti penggunaan teknologi *Game* berbasis *Augmented Reality (AR)*, serta sistem yang dapat memilih materi ajar yang tepat menggunakan metode TOPSIS untuk membantu proses pembelajaran siswa.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat aplikasi yang dapat memilihkan materi ajar anatomi jantung manusia pada media edukasi berbasis *Augmented Reality* untuk siswa SMP menggunakan metode TOPSIS.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai alat pengajaran atau media pembelajaran BAB anatomi jantung manusia.
2. Membantu siswa dalam memahami materi dengan lebih baik menggunakan media edukasi berbasis *Augmented Reality*.
3. Merekomendasikan materi ajar anatomi jantung manusia berdasarkan hasil tes menggunakan metode TOPSIS.
4. Membantu guru dalam pemberian pengajaran yang lebih menarik dan interaktif.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah pemilihan materi ajar anatomi jantung manusia untuk siswa SMP menggunakan teknologi *Augmented Reality* (*AR*) dan metode TOPSIS. Penelitian ini hanya mencakup topik anatomi jantung sesuai dengan kurikulum IPA SMP.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang berjudul : “*An Android-based Augmented Reality Application Design for the Physics Book of Grade XII ; Chapter 7 Theory of Relatively*” oleh Feri Susilawati *et al.*, (2023) membahas tentang pembuatan aplikasi *Augmented Reality* berbasis android untuk metode pembelajaran siswa. Aplikasi ini bisa menampilkan objek 3D pada setiap gambar dalam buku fisika sehingga siswa dapat memahami materi yang ingin disampaikan oleh guru karena terdapat simulasi dan objek 3D yang dapat menjelaskan lebih detail dan menarik.

Penelitian yang berjudul : “*Designing Gamified Application: An Effective Integration of Augmented Reality to Support Learning*” oleh Sehar Shahzad Farooq *et al.*, (2022) bertujuan membuat aplikasi pembelajaran anak usia dini dengan menerapkan *Augmented Reality* sebagai metode belajar modern yang lebih diminati untuk mengenalkan huruf ABCD dengan menampilkan visual 3D yang menarik. Tujuan penelitian ini untuk mengumpulkan kegunaan untuk mengembangkan permainan yang dapat meningkatkan minat belajar dan pengetahuan siswa sehingga dapat memvisualisasikan belajarnya dan dapat memahami secara efektif.

Penelitian yang berjudul “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Tanaman Hias Hoya Carnosa Berbasis Android Menggunakan Metode Topsis” oleh Fera Anggraini Fistiana *et al.*, (2021) bertujuan untuk mengembangkan

aplikasi yang dapat memilih tanaman hias *hoya carnosa* seakurat mungkin menggunakan metode topsis. Karena pengelompokan tanaman hias jenis ini cukup banyak kriterianya seperti kulit yang belekuk-lekuk, dahannya yang Panjang, daunnya yang kecil dan cukup rimbun, jadi petani *hoya carnosa* membutuhkan suatu sistem pendukung yang dapat mempercepat dan mempermudah dalam pemilihan tanaman hias jenis ini.

Penelitian yang berjudul “*The Use of Marker-Based Augmented Reality in Space Measurement*” oleh Salin Boonbrahm *et al.*, (2020) Ada banyak aplikasi dalam penggunaan AR dalam mendukung manufaktur dan area terkait mulai dari perancangan, simulasi, pengujian, perbaikan, dan pemeliharaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan algoritma untuk mengukur ukuran dan menemukan bentuk ruangan untuk manajemen fasilitas menggunakan teknologi AR berbasis penanda. Program aplikasi dirancang dan dikembangkan menggunakan mesin permainan Unity 3D dan manajemen menggunakan teknologi AR berbasis penanda. Program aplikasi dirancang dan dikembangkan menggunakan mesin permainan Unity 3D dan pustaka *OpenCV*.

Penelitian yang berjudul “Game Edukasi Pengenalan Tumbuhan Untuk Anak Sekolah Dasar Kelas 3 Berbasis *Augmented Reality*” oleh Anggi Puspita Sari *et al.*, (2022) penelitian menjadikan aplikasi *Augmented Reality* dengan implementasi game edukasi sebagai media pembelajaran teknologi interaktif dan menyenangkan, tujuannya untuk membuat murid sekolah dasar dapat bereksplorasi melalui aplikasi *Augmented Reality* dibantu kamera sebagai memindai gambar dan image target untuk memunculkan objek tiga dimensi,

munculnya suara dan tulisan, dalam proses pembuatan penulis menggunakan metode waterfall, membuat aplikasi secara berurutan seperti analisa kebutuhan perangkat lunak, desain, pembuatan kode program atau implementasi, pengujian, dan pendukung atau pemeliharaan, dari hasil akhir yang didapat membuktikan bahwa murid sekolah dasar kelas 3 tertarik menggunakan aplikasi berbasis *Augmented Reality* dengan *game* edukasi sebagai belajar mengajar.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Augmented Reality*

Augmented Reality (AR) adalah mengeksplorasi objek 3D dan data dengan secara alami, AR merupakan wujud suatu konsep berpaduan antara *virtual reality* dan *world reality* (Suwarno,2017) oleh karena itu penggunaan teknologi AR sangat cocok untuk pendidikan terutama meningkatkan inovasi dalam metode pembelajaran yang terbaru. Teknologi AR memungkinkan pengguna mengenali informasi tambahan yang ditumpangkan pada objek fisik yang ditujukan. Objek 3D yang muncul pada layar *smartphone* dan terlihat seolah-olah muncul di depan pengguna yang dapat menunjukkan objek sedetail mungkin seperti gambar nyata, sehingga pengguna bisa interaksi lebih jauh sehingga terfasilitasi untuk mendalami materi pembelajaran secara mendalam.

Banyak perusahaan teknologi yang sudah menggunakan teknologi AR untuk berbagai bidang industri yang dapat membantu memudahkan pekerjaan dalam melakukan panduan visul untuk pengembangan bidang-bidang tertentu secara kompleks. Misalnya dalam industri pembangunan sering digunakan dalam pengecekan bahan babngunan, posisi dan lain sebagainya. Juga dalam

perbaikan mesin menggunakan perangkat AR. Hal ini digunakan untuk mengurangi kesalahan dalam melakukan penanganan dan dapat meningkatkan keselamatan kerja. Dengan demikian teknologi AR dapat membantu meningkatkan kinerja dalam mempermudah pekerjaan di berbagai bidang serta dapat meningkatkan kapabilitas pengguna. Pada aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality (AR)*, pengguna bisa mendeteksi *marker* yang telah disediakan, yang dapat berupa gambar atau simbol yang terkait dengan materi anatomi jantung. Setelah *marker* terdeteksi oleh kamera perangkat, aplikasi akan menampilkan objek 3D anatomi jantung di layar, yang dapat dilihat seolah-olah ada di dunia nyata. Pengguna dapat berinteraksi dengan objek 3D tersebut, memutar atau memperbesar bagian-bagian jantung untuk mempelajarinya lebih mendalam. Selain itu, akan diberikan penjelasan terkait bagian-bagian jantung yang tampil, serta memberikan soal atau tantangan untuk menguji pemahaman pengguna. Proses belajar yang interaktif akan menumbuhkan situasi yang bisa meningkatkan pemahaman dan pengalaman belajar menjadi lebih baik dan menarik.

2.2.2 *Marker Based Tracking*

Teknik yang digunakan pada AR salah satunya adalah *Marker Based Tracking* yaitu penanda objek dua dimensi yang memiliki pola untuk dibaca oleh sistem melalui kamera yang terhubung. *Marker* biasanya ilustrasi hitam dan putih dengan garis berwarna hitam tebal dengan latar belakang putih. Pola yang terbaca akan menampilkan objek 3D.

Proses *marker based tracking* akan mendeteksi objek sehingga kamera akan menganalisis dan memeriksa penanda objek untuk mendapatkan informasi kemudian akan diidentifikasi untuk melakukan perhitungan lalu akan di estimasi pose untuk memperkirakan posisi penanda dengan menggabungkan koordinat didunia nyata dan dunia virtual. (Salin Boonbrahm *et al.*, 2019). Penggunaan teknik ini dapat menunjukkan model pada gambar *2D* yang bisa ditransformasikan menjadi objek *3D* sehingga dapat meningkatkan pemahaman pengguna supaya lebih interaktif.

2.2.3 Vuforia

Vuforia adalah *Augmented Reality Software Development Kit (SDK)* untuk pembuatan aplikasi AR. SDK Vuforia dapat digabungkan dengan aplikasi Unity yang disediakan oleh Qualcomm untuk membantu developer untuk pembuatan aplikasi AR di *mobile phones*. Vuforia memanfaatkan kamera pada *mobile phones* sebagai perangkat untuk mengenali penanda yang akan diinputkan yang nantinya bisa ditampilkan perpaduan antara dunia nyata dan dunia virtual.

2.2.4 Unity

Aplikasi Unity merupakan *software* yang menyediakan lingkungan pengembangan terintegrasi (IDE) yang memungkinkan pengembang untuk menciptakan konten interaktif berbasis dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D), mencakup game, simulasi, animasi, hingga aplikasi pembelajaran . Keunggulan utama Unity terletak pada kemampuannya dalam mengolah

berbagai elemen multimedia, seperti grafis (termasuk efek pencahayaan, bayangan, material, dan shader), audio (baik efek suara maupun musik latar), serta fisika objek (seperti gravitasi, tabrakan, dan rigidbody). Kompatibilitas Unity juga cukup luas karena dapat dioperasikan pada sistem operasi Microsoft Windows maupun macOS, dan project yang telah dikembangkan dapat dipublikasikan ke lebih dari 25 platform berbeda, termasuk Android, iOS, Windows, macOS, Linux, PlayStation, Xbox, Nintendo Switch, serta platform *Augmented Reality* dan *Virtual Reality* seperti HoloLens, Oculus, dan ARKit . Untuk mengembangkan *Augmented Reality (AR)*, untuk pengalaman pengguna dengan cara melakukan pengunduhan perangkat lunak gratis dari situs resmi (www.unity3D.com) menggunakan lisensi Personal Edition untuk penggunaan non-komersial dan pendidikan

2.2.5 Blender

Blender merupakan *software open source* yang digunakan untuk pembuatan objek 3D dan animasi. Blender merupakan *software* lintas platform dan berjalan di sisten operasi Linux, Mac Os X dan Microsoft Windows dengan kebutuhan penyimpanan yang relatif kecil, dengan interface OpenGL yang menyediakan pengalaman yang konsisten. Kelebihan aplikasi Blender ini selain gratis juga perangkat lunak 3D dimensi yang sangat lengkap, menyediakan *tools* yang lengkap, dapat melakukan pemodelan 3D, *texturing*, *rigging*, pembuatan bitmap, simulasi cairan, simulasi asap, simulasi partikel, animasi, pengeditan video, rendering dan mencakup semua elemen yang layak digunakan dalam pembuatan model 3D maupun dalam produksi film animasi.

2.2.6 Capaian Pembelajaran

Pembelajaran ini bertujuan untuk memberikan pengalaman baru untuk siswa dalam pengenalan anatomi tubuh manusia bagian jantung bekerja, simulasi dan proses jantung bekerja. Dengan ini media pembelajaran anatomi jantung manusia tidak hanya fokus pada bagian-bagian yang terdapat pada jantung tapi juga penyajian gambar 3D jantung yang sebenarnya. Berikut adalah daftar materi anatomi jantung manusia :

Tabel 2. 1Materi Anatomi Jantung Manusia

No	Sub Bab	Materi yang Dipelajari
1	Sub-Bab I	Ruang Jantung
2	Sub-Bab II	Otot Jantung
3	Sub-Bab III	Katup Jantung
4	Sub-Bab IV	Pembuluh Darah

2.2.7 TOPSIS

Metode TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) digunakan dalam proses pengambilan keputusan untuk berbagai kriteria dalam sistem penilaian kompetensi. Metode ini membantu memberi alternatif terbaik yang mendekati kondisi ideal yang diinginkan. Metode ini mempertimbangkan beberapa kriteria sekaligus dan memberikan peringkat untuk setiap alternatif berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal positif (A+) dan negatif (A-). Solusi ideal positif didefinisikan sebagai suatu kondisi di mana semua nilai kriteria mencapai nilai optimal, sedangkan solusi ideal negatif merupakan kebalikannya. Dalam konteks pengambilan keputusan, metode

TOPSIS sangat berguna ketika dihadapkan pada sejumlah alternatif yang harus dievaluasi berdasarkan beberapa kriteria yang saling bertentangan atau memiliki satuan ukur yang berbeda.

- a. Solusi Ideal Positif (A+) adalah nilai terbaik yang dapat dicapai untuk masing-masing kriteria.
- b. Solusi Ideal Negatif (A-) adalah nilai terburuk yang dapat dicapai untuk masing-masing kriteria.

Berikut beberapa langkah untuk perhitungan TOPSIS yaitu :

1. Membentuk matriks keputusan dan melakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \quad (2.1)$$

Dimana:

r_{ij} adalah nilai atribut yang telah dinormalisasi.

x_{ij} adalah nilai dari masing-masing atribut.

m adalah nilai atribut yang tersedia untuk setiap kriteria.

2. Menemukan matriks normalisasi terbobot.

$$Y_{ij} = w_j r_{ij} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Y_{ij} = hasil normalisasi matriks keputusan terbobot alternatif i pada kriteria j

w_j = bobot kriteria ke- j

3. Membuat matriks solusi ideal positif dan matriks solusi ideal negatif

Matriks solusi ideal positif (A^+) adalah matriks hasil penjumlahan dari semua nilai terbaik yang telah dicapai untuk setiap atribut. Sedangkan matriks solusi ideal negatif (A^-) adalah matriks hasil penjumlahan dari semua nilai terburuk yang dapat dicapai untuk setiap atribut. Matriks solusi ideal positif (A^+) dan matriks solusi ideal negatif (A^-) dapat ditentukan berdasarkan rating matriks ternormalisasi terbobot.

(A^+) dan (A^-) didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A^+ &= (y_1^+, y_2^+, \dots, y_j^+); y_j^+ = \text{kolom ke- } j \text{ dari } A^+ \\ A^- &= (y_1^-, y_2^-, \dots, y_j^-); y_j^- = \text{kolom ke- } j \text{ dari } A^- \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana

$y_j^+ = \max y_{ij}$; jika j adalah atribut keuntungan pada solusi ideal positif

$\min y_{ij}$; jika j adalah atribut biaya pada solusi ideal positif

$y_j^- = \max y_{ij}$; jika j adalah atribut biaya pada solusi ideal negatif

$\min y_{ij}$; jika j adalah atribut keuntungan pada solusi ideal negatif

dengan nilai $j = 1, 2, \dots, n$

4. Separasi

Separasi untuk mengukur jarak antara setiap alternatif dengan matriks ideal positif dan negatif. Dinotasikan dengan D , dimana D^+ , ideal positif D^- ideal negatif dan Y_{ij} elemen dari matriks keputusan yang ternormalisasi terbobot Y .

$$D^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - y_{ij}^+)^2} \quad (2.4)$$

Dimana :

$D^{\bar{+}}$ adalah jarak antara alternatif A_i dengan solusi ideal positif.

y_i^+ adalah elemen dari matriks solusi ideal positif.

y_{ij} adalah elemen matriks normalisasi terbobot untuk alternatif A_i kriteria

j .

$$D^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - y_{ij}^-)^2} \quad (2.5)$$

D^- adalah jarak antara alternatif A_i dengan solusi ideal negatif.

y_i^+ adalah elemen dari matriks solusi ideal negatif.

y_{ij} adalah elemen matriks normalisasi terbobot untuk alternatif A_i kriteria j .

5. Kedekatan Relatif

Untuk menentukan kedekatan Relatif dari alternatif terhadap solusi dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Vi = \frac{Di^-}{Di^- + Di^+} \quad (2.6)$$

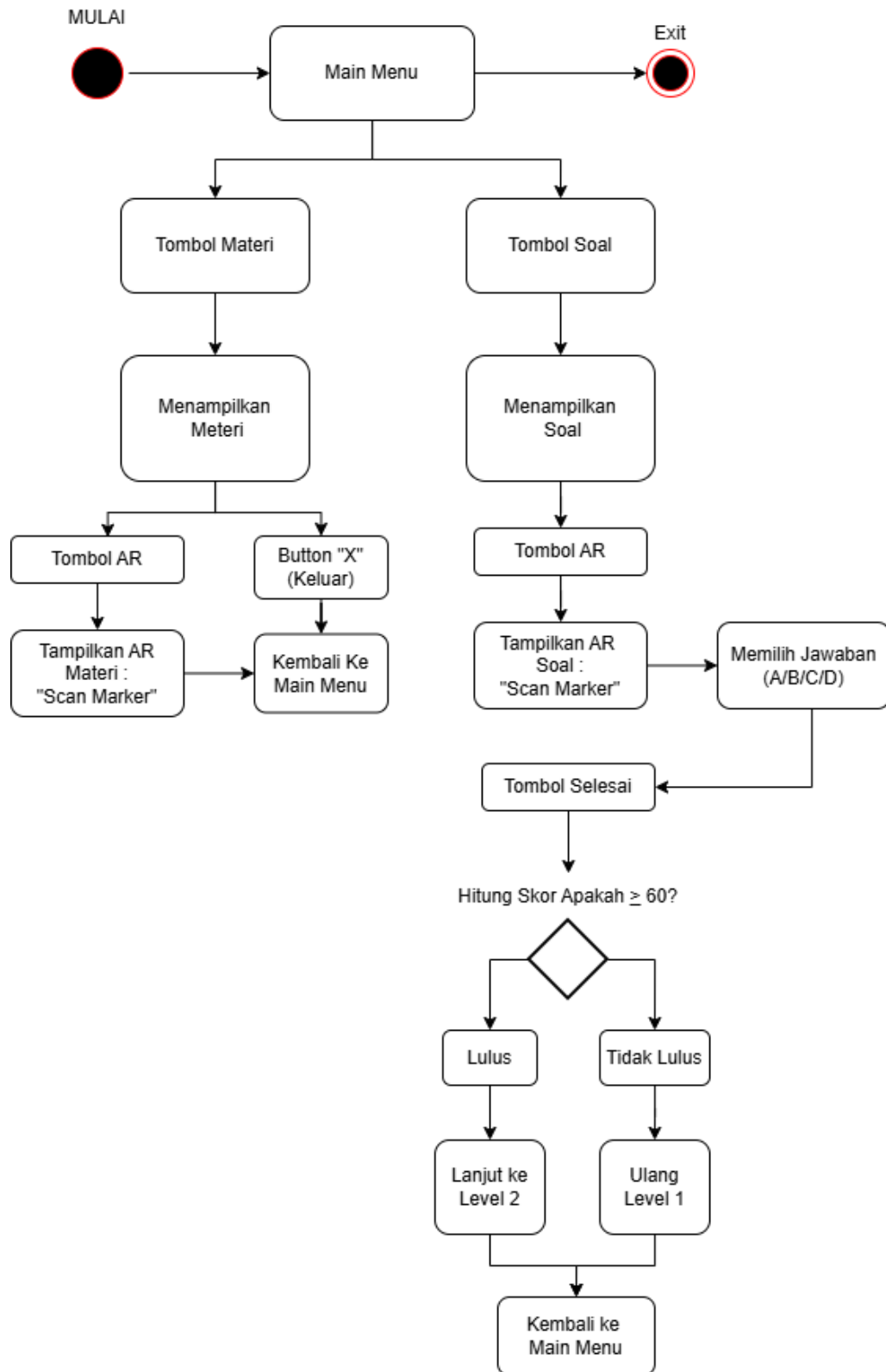
Dimana nilai V_i yang lebih besar mengidentifikasi bahwa alternatif A_i lebih diutamakan menjadi solusi terbaik dan dipilih.

BAB III

DESAIN PENELITIAN

3.1 Analisis Dan Perancangan Sistem

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan mengkaji serangkaian peristiwa dan interaksi yang terjadi antara pengguna dengan sistem pembelajaran anatomi jantung, dengan tujuan untuk menggali pola-pola kesalahan yang sering muncul, mengidentifikasi kebutuhan pedagogis peserta didik, serta mengolah data hasil evaluasi guna memperoleh rekomendasi jawaban yang tepat dan akurat sebagai umpan balik terhadap peningkatan capaian pembelajaran. Analisis ini mencakup evaluasi terhadap performa peserta didik dalam menjawab soal. Sebagai kelanjutan dari proses analisis tersebut, rancangan sistem kemudian disusun secara sistematis untuk mencapai tingkat efisiensi yang diharapkan dalam proses pembelajaran, terutama dalam hal penghematan waktu belajar, optimalisasi urutan penyajian materi, dan personalisasi pengalaman belajar. Aplikasi ini dikembangkan untuk membantu memberi solusi untuk meningkatkan belajar khususnya untuk materi pembelajaran anatomi tubuh manusia yang memanfaatkan perhitungan algoritma yang menggunakan metode TOPSIS yang diterapkan pada tes soal untuk pengguna. Seluruh proses telah dirangkum dalam *Activity Diagram* yang menunjukkan alur interaksi antara Pengguna dan Game secara sistematis dan terstruktur.



Gambar 3. 1 Activity Diagram

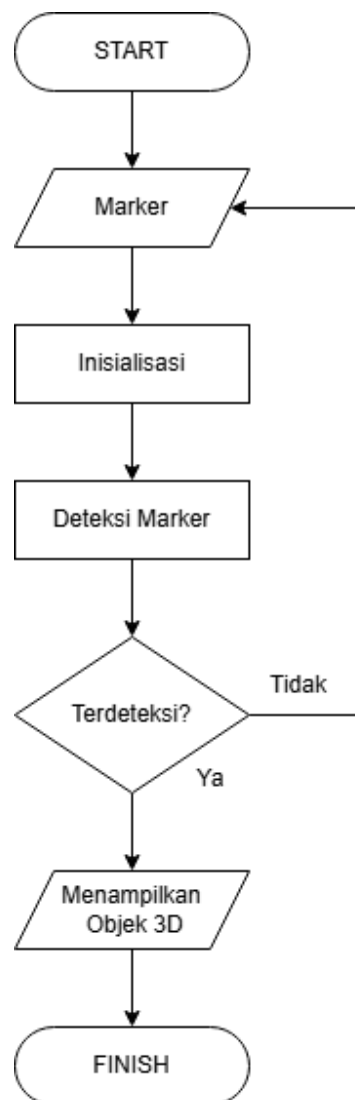
Gambar 3.1 adalah penerapan *Activity Diagram* yang menggambarkan alur interaksi antara dua aktor utama, yaitu pengguna (*User*) dan game (*System*), serta didukung oleh teknologi *Augmented Reality* (AR) untuk visualisasi organ jantung secara tiga dimensi. Secara garis besar, alur interaksi dalam aplikasi dimulai ketika pengguna membuka aplikasi dan memilih salah satu menu utama yang tersedia, yaitu MATERI, MULAI TES, atau KELUAR. Pada menu MATERI, pengguna dapat mempelajari empat sub-bab materi (Atrium, Bilik, Katub, dan Pembuluh Darah) beserta fitur *AR Viewer* untuk melihat model 3D jantung. Pada menu MULAI TES, sistem akan melakukan perhitungan TOPSIS untuk menentukan prioritas soal berdasarkan kriteria kualitas materi, tingkat kesulitan, waktu pembelajaran, serta frekuensi salah. Pengguna kemudian menjawab soal yang disajikan, dan sistem memberikan umpan balik langsung melalui perubahan warna pada tombol jawaban serta akumulasi skor. Setelah seluruh soal terjawab, sistem menghitung skor akhir dan menentukan apakah pengguna dinyatakan lulus ($\text{skor} \geq 60$) atau tidak lulus. Jika lulus, pengguna dapat melanjutkan ke Level 2 dengan soal yang lebih sulit; jika tidak lulus, pengguna diarahkan untuk mengulang Level 1 dengan metode TOPSIS yang memprioritaskan soal-soal yang sebelumnya dijawab salah.

3.2 *Marker*

Marker sangat diperlukan untuk acuan penampilan objek 3D yang dimana tahap awalnya harus mengunggahnya ke *platform* pengembang Vuforia yang kemudian pengunduhan *dataset* yang terkait dengan *marker* tersebut dan

kemudian diimpor ke dalam pengembang aplikasi Unity yang akan dihubungkan dengan aset 3D yang dibutuhkan untuk integrasi aplikasi *Augmented Reality*.

Proses *marker* digambarkan pada *flowchart* berikut :



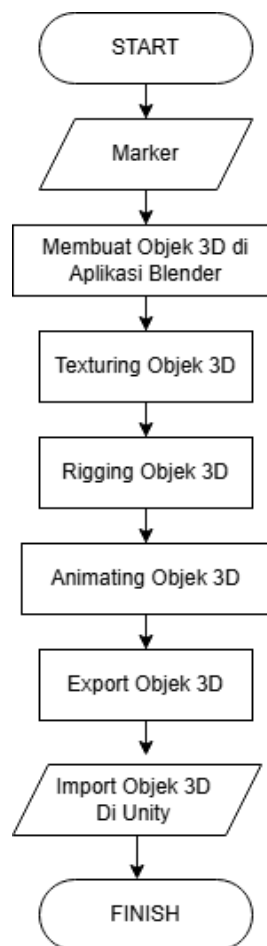
Gambar 3. 2 *Flowchart* Pendeteksi Marker

Pada Gambar 3.2, kamera akan menginisialisasi *marker* dan melakukan pemindaian untuk melakukan deteksi *marker* kemudian jika *marker* tidak terdeteksi akan diarahkan untuk mengulangi deteksi dengan menyesuaikan

posisi *marker* dengan tepat. Jika deteksi *marker* sudah sesuai akan menampilkan objek 3D.

3.3 Inisialisasi Asset

Untuk mengembangkan aplikasi melalui Unity diperlukan asset 3D yang dibuat menggunakan aplikasi Blender untuk pemodelan 3D yang nantinya akan dimasukkan pada aplikasi Unity. Berikut adalah *flowchart* inisialisasi asset 3D :



Gambar 3. 3 *Flowchart* Inisialisasi Objek 3D

Pada Gambar 3.3 menunjukkan proses pembuatan asset 3D menggunakan aplikasi Blender yang awalnya melakukan pemodelan objek 3D

kemudian penambahan tekstur pada objek, lalu penganimasian objek dan kemudian export asset dengan typer .3ds, .obj, atau .fbx, yang nantinya diimport ke aplikasi Unity dan kemudian diberi algoritma untuk membentuk aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality*.

3.4 *User Interface dan Game Environment*

Perancangan antarmuka pengguna (*User Interface*) dan lingkungan game (*Game Environment*) pada aplikasi ini didasarkan pada prinsip kemudahan penggunaan (*usability*) dan pengalaman pengguna (*user experience*) yang optimal. Antarmuka dirancang dengan tata letak yang sederhana, intuitif, dan konsisten di setiap panel, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami alur navigasi tanpa memerlukan panduan tambahan.


Mekanisme bimbingan pengguna (*user guidance*) dalam aplikasi ini diimplementasikan melalui tiga pendekatan utama, yaitu instruksi visual pada antarmuka, sistem umpan balik langsung, dan sistem adaptif berbasis TOPSIS.



Instruksi visual diwujudkan melalui teks petunjuk pada setiap panel, label tombol yang eksplisit (seperti "MULAI TES", "MATERI", "PREV", "NEXT"), serta indikator nomor soal yang memudahkan navigasi. Sistem umpan balik langsung diberikan melalui perubahan warna pada tombol jawaban (biru muda untuk pilihan yang terdaftar) dan tampilan skor akhir beserta kategori hasil belajar setelah pengguna menyelesaikan tes. Sementara itu, sistem adaptif berbasis TOPSIS secara otomatis mendeteksi materi yang belum dikuasai pengguna berdasarkan akumulasi frekuensi jawaban salah, sehingga soal-soal dengan tingkat kesalahan tinggi akan diprioritaskan muncul kembali pada sesi

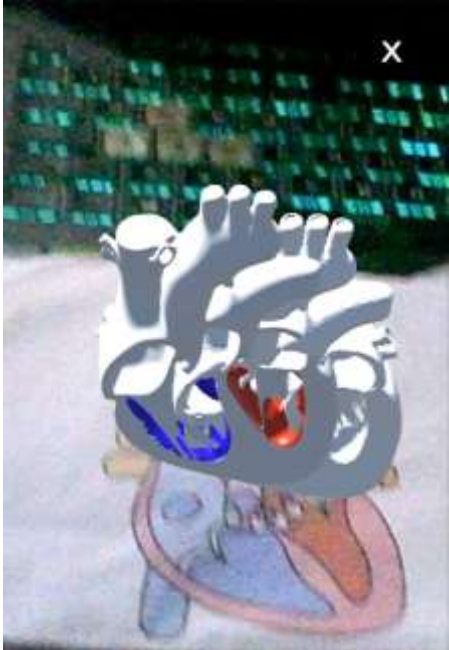

berikutnya sebagai bentuk bimbingan personal yang adaptif terhadap kemampuan pengguna.

Interface dan game environment seperti pada table 3.1.

Tabel 3. 1 User Interface dan Game Environment

Desain User Interface dan <i>Game Environment</i>	Keterangan
	<p>Desain menu utama game anatomi jantung manusia terdapat dua menu yaitu Mulai Tes dan Materi. Kemudian ada tombol gear untuk menampilkan informasi dan tombol keluar.</p>

<p>SOAL 1/8</p> <p>Bab: Atrium</p> <p>Apa fungsi utama dari atrium jantung?</p>  <ul style="list-style-type: none"> A Menerima darah dari paru-paru dan tubuh B Memompa darah ke seluruh tubuh C Mencegah aliran balik darah D Mensuplai oksigen ke otot jantung 	<p>Menu tes dan menampilkan soal-soal berdasarkan materi yang telah dipelajari</p>
<p>ATRIUM</p> <p>Jantung</p> <p>"Atrium adalah ruang jantung bagian atas yang berfungsi menerima darah dari pembuluh balik (vena). Terdiri dari atrium kanan dan kiri. Dinding atrium lebih tipis karena hanya memompa darah ke bilik di bawahnya.</p> <p>Fungsi Atrium: - Menerima darah dari seluruh tubuh (atrium kanan)</p> 	<p>Menu tampilan materi yang berisi materi tentang anatomi jantung manusia</p>

	Tampilan <i>Scan AR</i>
	Tampilan halaman keluar

3.5 Materi dan Soal

Materi soal ini berisi tentang anatomi jantung dan peredaran darah pada jantung. Soal diambil dari beberapa sumber buku Biologi. Contoh soal terdapat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Soal

Materi	Soal	Pilihan Jawaban
Atrium	Apa fungsi utama atrium dalam jantung?	A. Memompa darah ke seluruh tubuh B. Menerima darah yang masuk ke jantung C. Menyaring darah dari racun D. Menghasilkan sel darah merah

	Darah yang masuk ke atrium kanan berasal dari...	A. Paru-paru B. Seluruh tubuh (vena cava) C. Bilik kiri D. Katub Aorta
	Darah yang masuk ke atrium kiri berasal dari...	A. Paru-paru(vena pulmonalis) B. Seluruh tubuh C. Bilik kanan D. Aorta
	Kontraksi atrium disebut juga...	A. Sistol atrium B. Diastol atrium C. Sistol ventrikel D. Diastol ventrikel
Bilik	Fungsi utama bilik jantung adalah...	A. Menerima darah B. Memompa darah keluar jantung C. Menyaring darah D. Mengatur irama jantung
	Bilik kiri memompa darah ke...	A. Paru-paru B. Seluruh tubuh (melalui aorta) C. Atrium kanan D. Bilik kanan
	Bilik kanan memompa darah ke...	A. Paru-paru (melalui arteri pulmonalis) B. Seluruh tubuh C. Atrium kiri D. Aorta
	Volume darah yang dipompa bilik setiap menit disebut...	A. Curah jantung B. Volume sekuncup C. Tekanan darah D. Denyut nadi
Katub Jantung	Fungsi katub jantung adalah...	A. Memompa darah B. Mencegah aliran balik darah C. Menyaring darah D. Menghasilkan darah
	Katub yang terletak antara atrium kanan dan bilik kanan adalah...	A. Katub trikuspid B. Katub mitral C. Katub aorta D. Katub pulmonal
	Katub semilunar terletak di...	A. Antara atrium dan bilik B. Antara bilik dan arteri besar C. Di dalam vena D. Di dalam atrium
	Bunyi jantung 'lub' disebabkan oleh..	A. Penutupan katub AV B. Penutupan katub semilunar C. Aliran darah ke aorta D. Kontraksi atrium

Pembuluh Darah	Arteri koroner berfungsi untuk...	A. Membawa darah ke paru-paru B. Mensuplai darah ke otot jantung C. Membawa darah ke otak D. Mengembalikan darah ke jantung
	Aorta adalah pembuluh darah yang...	A. Membawa darah kaya oksigen ke seluruh tubuh B. Membawa darah miskin oksigen ke paru-paru C. Mengembalikan darah ke jantung D. Menghubungkan arteri dan vena
	Vena kava superior membawa darah dari...	A. Paru-paru B. Bagian atas tubuh ke atrium kanan C. Jantung ke paru-paru D. Bagian bawah tubuh
	Vena pulmonalis membawa darah...	A. Kaya oksigen dari paru-paru ke atrium kiri B. Miskin oksigen ke paru-paru C. Kaya oksigen ke seluruh tubuh D. Miskin oksigen ke jantung

3.6 Perancangan Metode TOPSIS

Pada pemilihan alternatif untuk mendapatkan solusi yang ideal metode ini menyediakan pengukuran sistematis yang jelas. Data alternatif dan kriteria diperlukan untuk acuan pemilihan. Metode ini cocok digunakan untuk pemilihan materi ajar, karena materi ajar tersebut harus dievaluasi berdasarkan beberapa kriteria seperti kualitas, kesulitan, dan waktu yang diperlukan untuk pembelajaran.

Dalam penelitian ini, TOPSIS digunakan untuk memilih materi ajar anatomi jantung manusia yang paling sesuai berdasarkan kriteria kualitas materi, tingkat kesulitan, dan waktu pembelajaran. Proses ini dilakukan dengan

mengevaluasi berbagai alternatif materi ajar dan memberikan peringkat berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal.

a. Kriteria

Kriteria merupakan aspek yang digunakan untuk pengambilan keputusan, kriteria ini harus mencerminkan tujuan pembelajaran anatomi jantung.

Kriteria yang digunakan:

- 1) Kualitas Materi (C1): Menilai sejauh mana materi ajar memberikan pemahaman yang akurat dan detail tentang anatomi jantung manusia.
- 2) Tingkat Kesulitan (C2): Menilai tingkat kesulitan materi ajar. Apakah materi terlalu sulit untuk dipahami siswa SMP atau apakah materi terlalu sederhana.
- 3) Waktu Pembelajaran (C3): Menilai berapa lama waktu yang diperlukan siswa untuk memahami materi tersebut. Semakin efektif dan ringkas materi tersebut, semakin baik.

Bobot setiap kriteria perlu ditentukan berdasarkan pentingnya kriteria tersebut dalam pembelajaran anatomi jantung. Sebagai contoh:

Tabel 3. 3 Bobot Kriteria

Kode Kriteria	Nama Kriteria	Bobot
C1	Kualitas Materi	35%
C2	Tingkat Kesulitan	25%
C3	Waktu Pembelajaran	20%
C4	Frekuensi Salah	20%

Alasan Bobot :

- 1) Kualitas Materi (35%) – Bobot terbesar karena kualitas materi merupakan faktor utama keberhasilan pemahaman siswa.
- 2) Tingkat Kesulitan (25%) – Berpengaruh terhadap motivasi dan kemampuan siswa, namun masih dapat diatasi dengan strategi pembelajaran.
- 3) Waktu Pembelajaran (20%) – Menunjukkan efisiensi penyampaian materi, namun pemahaman lebih utama daripada kecepatan.
- 4) Frekuensi Salah (20%) – Mendukung sistem adaptif, soal yang sering salah diprioritaskan muncul kembali.

b. Penentuan Kualitas Materi

Nilai untuk kriteria kualitas materi tidak ditentukan secara subjektif melainkan diperoleh melalui penilaian dari para ahli (*expert judgment*) yang berkompeten dalam bidang anatomi jantung dan pembelajaran. Proses pengambilan data dilakukan dengan menyusun instrumen penilaian berupa kuesioner yang mencakup empat aspek penilaian, yaitu:

Tabel 3. 4 Kualitas Materi

Aspek Penilaian	Indikator
Relevansi Kurikulum	Kesesuaian materi dengan standar kompetensi
Kedalaman Materi	Kelengkapan informasi tentang struktur dan fungsi jantung
Referensi Buku Acuan	Mengacu pada buku terstandar atau kurikulum nasional
Kejelasan Penyajian	Kemudahan memahami materi yang disajikan

Nilai kualitas materi pada ditetapkan berdasarkan analisis konten terhadap materi ajar yang disusun, dengan mengacu pada buku teks Biologi *Campbell & Reece (2008)*. Penilaian dilakukan dengan mempertimbangkan empat aspek, yaitu kedalaman materi, keakuratan informasi, relevansi dengan standar kompetensi, dan kejelasan dalam penyajian. Berdasarkan penilaian tersebut dapat menjadi acuan sesuai tingkat kelengkapan dan ketepatan materi terhadap standar kurikulum yang berlaku.

c. Tingkat Kesulitan Soal

Tabel 3. 5 Tingkat Kesulitan Soal

No	Materi	Soal	Tingkat Kesulitan	Nilai	Kategori
1	Atrium	Fungsi utama atrium dalam jantung	Level 1	20	Mudah
2	Atrium	Darah yang masuk ke atrium kanan	Level 1	25	Mudah
3	Atrium	Darah yang masuk ke atrium kir	Level 2	40	Sedang
4	Atrium	Kontraksi atrium disebut juga	Level 2	35	Sedang
5	Bilik	Fungsi utama bilik jantung	Level 1	20	Mudah
6	Bilik	Bilik kiri memompa darah ke	Level 1	25	Mudah
7	Bilik	Bilik kanan memompa darah ke	Level 2	40	Sedang
8	Bilik	Volume darah yang dipompa bilik	Level 2	45	Sedang
9	Katub	Fungsi katub jantung	Level 1	25	Mudah
10	Katub	Katub trikuspid	Level 1	20	Mudah
11	Katub	Katub semilunar	Level 2	45	Sedang
12	Katub	Bunyi jantung 'lub'	Level 2	50	Sedang
13	Pembuluh Darah	Arteri koroner	Level 1	25	Mudah
14	Pembuluh Darah	Aorta	Level 1	20	Mudah
15	Pembuluh Darah	Vena kava superior	Level 2	40	Sedang

16	Pembuluh Darah	Vena pulmonalis	Level 2	45	Sedang
----	----------------	-----------------	---------	----	--------

Penentuan tingkat kesulitan pada setiap soal didasarkan pada kriteria berikut:

1. Soal Tingkat Mudah (Level 1)

1. Menguji fakta dasar dan terminologi anatomi
2. Jawaban dapat ditemukan secara langsung dalam materi
3. Melibatkan proses kognitif mengingat (C1) dan memahami (C2) tingkat dasar

2. Soal Tingkat Sedang (Level 2)

1. Menguji pemahaman konsep dan hubungan antar struktur
2. Membutuhkan penalaran sederhana untuk menghubungkan informasi
3. Melibatkan proses kognitif memahami (C2) dan menerapkan (C3)

d. Menentukan Matriks Keputusan

Setiap kriteria dari semua alternatif dihitung kemudian dinormalisasi dan dibagi dengan total jumlah kriteria dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$[X1] = \sqrt{(2)^2 + (3)^2 + (2)^2 + (4)^2} = 5,477225575$$

$$r_{11} = \frac{X_{11}}{|X1|} = \frac{2}{5,477225575} = 0,730296743$$

$$r_{21} = \frac{X_{21}}{|X1|} = \frac{3}{5,477225575} = 0,547722558$$

$$r_{31} = \frac{X_{31}}{|X1|} = \frac{2}{5,477225575} = 0,365148372$$

$$r_{41} = \frac{X_{41}}{|X1|} = \frac{4}{5,477225575} = 0,182574186$$

$$[X2] = \sqrt{(4)^2 + (3)^2 + (2)^2 + (3)^2} = 4,795831523$$

$$r_{12} = \frac{X_{12}}{|X1|} = \frac{4}{5,477225575} = 0,625543242$$

$$r_{22} = \frac{X_{22}}{|X_1|} = \frac{3}{5,477225575} = 0,625543242$$

$$r_{32} = \frac{X_{32}}{|X_1|} = \frac{2}{5,477225575} = 0,417028828$$

$$r_{42} = \frac{X_{42}}{|X_1|} = \frac{3}{5,477225575} = 0,208514414$$

Sehingga nilai (R) adalah :

$$R = \begin{pmatrix} 0,730296743 & 0,625543242 & 0,348155312 \\ 0,547722558 & 0,625543242 & 0,696310624 \\ 0,365148372 & 0,417028828 & 0,522232968 \\ 0,182574186 & 0,208514414 & 0,348155312 \end{pmatrix}$$

- e. Menyusun matriks keputusan ternormalisasi terbobot dengan melakukan perhitungan:

$$W = (5,4,3)$$

$$y_{11} = y_1 r_{11} = 5 \times 0,730296743 = 3,651483717$$

Sehingga diperoleh matriks Y :

$$Y = \begin{pmatrix} 3,651483717 & 2,502172969 & 1,044465936 \\ 2,738612788 & 2,502172969 & 2,088931871 \\ 1,825741858 & 1,668115312 & 1,566698904 \\ 0,912870929 & 0,834057656 & 1,044465936 \end{pmatrix}$$

- 1.) menentukan matriks ideal positif dan ideal negatif :

Menentukan matriks ideal positif A^+

$$y_1^+ = \min \{ 3,651483717; 2,738612788; 1,825741858; 0,912870929 \}$$

$$= 0,912870929$$

$$y_2^+ = \min \{ 2,502172969; 2,502172969; 1,668115312; 0,834057656 \}$$

$$= 0,834057656$$

$$y_3^+ = \min \{ 1,044465936; 2,088931871; 1,566698904; 1,044465936 \}$$

$$= 1,044465936$$

Menentukan matriks ideal positif A^-

$$y_1^- = \max \{ 3,651483717; 2,738612788; 1,825741858; 0,912870929 \}$$

$$= 3,651483717$$

$$y_2^- = \min \{ 2,502172969; 2,502172969; 1,668115312; 0,834057656 \}$$

$$= 2,595542738$$

$$y_3^- = \min \{ 1,044465936; 2,088931871; 11,566698904; 1,044465936 \}$$

$$= 1,829982844$$

2.) Menentukan jarak nilai terbobot setiap alternatif terhadap solusi ideal

positif :

$$D_1^+$$

$$= \sqrt{(3,651483717 - 0,912870929)^2 + (2,502172969 - 0,834057656)^2 + (1,044465936 - 1,044465936)^2}$$

$$= 3,206651$$

$$D_2^+$$

$$= \sqrt{(2,738612788 - 0,912870929)^2 + (2,502172969 - 0,834057656)^2 + (2,088931871 - 1,044465936)^2}$$

$$= 2,684558$$

$$D_3^+$$

$$= \sqrt{(1,825741858 - 0,912870929)^2 + (1,668115312 - 0,834057656)^2 + (1,566698904 - 1,044465936)^2}$$

$$= 1,342279$$

$$D_4^+$$

$$= \sqrt{(0,912870929 - 0,912870929)^2 + (0,834057656 - 0,834057656)^2 + (1,044465936 - 1,044465936)^2}$$

$$= 0$$

3.) Menentukan jarak nilai terbobot setiap alternatif terhadap solusi ideal

negatif :

$$D_1^-$$

$$= \sqrt{(3,651483717 - 3,481553119)^2 + (2,502172969 - 2,595542738)^2 + (1,044465936 - 1,829982844)^2}$$

$$= 1,044466$$

 D_2^-

$$= \sqrt{(2,738612788 - 3,481553119)^2 + (2,502172969 - 2,595542738)^2 + (2,088931871 - 1,829982844)^2}$$

$$= 0,912871$$

 D_3^-

$$= \sqrt{(1,825741858 - 3,481553119)^2 + (1,668115312 - 2,595542738)^2 + (1,566698904 - 1,829982844)^2}$$

$$= 2,074057$$

 D_4^-

$$= \sqrt{(0,912870929 - 3,481553119)^2 + (0,834057656 - 2,595542738)^2 + (1,044465936 - 1,829982844)^2}$$

$$= 3,372465$$

4.) Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif

$$V_1 = \frac{1,044466}{3,206651 + 1,044466} = 0,245692$$

$$V_1 = \frac{0,912871}{2,684558 + 0,912871} = 0,253756$$

$$V_1 = \frac{2,074057}{1,342279 + 2,074057} = 0,6071$$

$$V_1 = \frac{3,372465}{0 + 3,372465} = 1$$

Dari hasil perhitungan secara manual diatas, maka hasil perankingannya sebagai berikut :

Tabel 3. 6 Perangkingan

Alternatif	Waktu	Perangkingan
A1	0,245692	4
A2	0,253756	4
A3	0,6071	3
A4	1	1

- a. A1 memiliki nilai kedekatan relatif 0.24592, yang lebih rendah dari A2, sehingga diberi peringkat 4.
- b. A2 memiliki nilai kedekatan relatif 0.25375, yang sedikit lebih tinggi dari A1, tetapi peringkatnya tetap 4.
- c. A3 memiliki nilai 0.6071, yang lebih tinggi dari A1 dan A2, sehingga diberi peringkat 3.
- d. A4 memiliki nilai 1, yang merupakan nilai tertinggi, dan diberi peringkat 1 (sebagai alternatif terbaik).

Hasil akhir dari metode ini adalah merekomendasikan materi pelajaran yang paling cocok untuk setiap pemain dengan menemukan nilai preferensi tertinggi di antara empat alternatif.

3.7 Usability Testing

Usability testing dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data empiris mengenai tingkat kemudahan penggunaan (*ease of use*) dan kepuasan pengguna (*user satisfaction*) terhadap aplikasi pembelajaran anatomi jantung berbasis Augmented Reality. Pengujian ini difokuskan pada lima aspek utama, yaitu:

- 1) *learnability* (kemampuan pengguna untuk memahami cara kerja aplikasi dalam waktu singkat)
- 2) *efficiency* (kecepatan pengguna dalam menyelesaikan tugas setelah memahami antarmuka)

- 3) *memorability* (kemampuan pengguna mengingat alur aplikasi setelah beberapa waktu tidak menggunakannya)
- 4) *errors* (tingkat kesalahan yang dilakukan pengguna saat berinteraksi dengan aplikasi)
- 5) *satisfaction* (tingkat kepuasan pengguna terhadap tampilan, fitur, dan pengalaman bermain secara keseluruhan)

Tujuan utama dari *usability testing* ini adalah untuk mengidentifikasi potensi perbaikan pada aspek antarmuka pengguna (*User Interface*), alur permainan (*game flow*), pengalaman pengguna (*User Experience*), serta deteksi kesalahan (*error detection*) yang mungkin tidak terdeteksi pada tahap pengujian internal oleh pengembang. Pengujian ini melibatkan sejumlah responden yang diminta untuk menggunakan aplikasi dalam skenario yang telah ditentukan, seperti membuka menu materi, mengaktifkan fitur *Augmented Reality*, mengerjakan soal, serta menyelesaikan seluruh level permainan.

Hasil dari *usability testing* ini menjadi dasar pengambilan keputusan berbasis data dalam proses penyempurnaan aplikasi. Dengan memahami sudut pandang pengguna secara terperinci, pengembang dapat melakukan iterasi perbaikan yang lebih terarah dan efisien. Hal ini penting untuk memastikan bahwa aplikasi yang dihasilkan tidak hanya memenuhi aspek fungsionalitas teknis, tetapi juga nyaman, intuitif, dan efektif dalam mendukung proses pembelajaran anatomi jantung.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahap penerapan desain yang telah dirancang ke dalam bentuk aplikasi yang siap digunakan. Pada penelitian ini, implementasi dilakukan pada tiga komponen utama, yaitu implementasi antarmuka pengguna (user interface), implementasi teknologi *Augmented Reality*, dan implementasi metode TOPSIS untuk pengacakan soal.

4.1.1 Implementasi *Augmented Reality*

Augmented Reality pada aplikasi ini diimplementasikan menggunakan Vuforia Engine versi 11.4.4 yang terintegrasi dengan Unity. Proses implementasi AR meliputi beberapa tahapan sebagai berikut.

4.1.2 Pembuatan *Marker*

Marker adalah gambar yang didaftarkan ke sistem Vuforia sebagai target yang akan dideteksi. Pada penelitian ini, dibuat empat *marker* yang masing-masing merepresentasikan satu sub-bab materi.

Tabel 4. 1 Spesifikasi *Marker*

No	Nama <i>Marker</i>	Materi	Dimensi	Format	Rating
1	<i>Marker_Atrium</i>	Atrium	800 x 800 px	JPG	5/5
2	<i>Marker_Bilik</i>	Bilik	800 x 800 px	JPG	5/5

No	Nama <i>Marker</i>	Materi	Dimensi	Format	Rating
3	<i>Marker_Katub</i>	Katub	800 x 800 px	JPG	5/5
4	<i>Marker_Pembuluh</i>	Pembuluh Darah	800 x 800 px	JPG	5/5

Marker dibuat dengan kriteria sebagai berikut:

1. Memiliki kontras yang tinggi antara area gelap dan terang
2. Mengandung banyak detail dan tekstur
3. Tidak menggunakan pola berulang (repeat pattern)
4. Ukuran minimal 800 x 800 pixel

4.1.3 Import Database ke Unity

Marker yang telah diunggah ke Vuforia *Target Manager* diunduh dalam bentuk file *.unitypackage* yang kemudian diimpor ke dalam project Unity. *Database* yang diimpor berisi *file dataset* (.dat dan .xml) yang diperlukan untuk proses *tracking*.

4.1.4 Setup AR Camera dan Image Target

Setelah *database terimpor*, dilakukan konfigurasi *AR Camera dan Image Target* dengan langkah-langkah berikut:

1. AR Camera ditambahkan melalui menu GameObject > Vuforia Engine > AR Camera dan dikonfigurasi dengan *License Key* yang diperoleh dari website Vuforia.

2. Empat *Image Target* dibuat masing-masing untuk setiap *marker* dan ditempatkan sebagai *child* dari AR Camera.
3. Setiap *Image Target* dikonfigurasi dengan memilih yang sesuai dan *marker* yang telah ditentukan

4.1.5 Integrasi Model 3D

Model 3D jantung yang telah diimpor ke dalam *project* ditempatkan sebagai *child* dari masing-masing *Image Target*. Posisi model diatur pada koordinat (0, 0.1, 0) agar muncul tepat di atas *marker* dengan ketinggian yang proporsional.

4.1.5 Penambahan Script *MarkerHandler*

Untuk mengatur perilaku model saat *marker* terdeteksi, ditambahkan script *MarkerHandler.cs* pada setiap *Image Target*. Script ini berfungsi untuk mengaktifkan model ketika *marker* ditemukan dan menonaktifkannya ketika *marker* hilang.

Tabel 4. 2 Marker Hendlar

```

PROCEDURE OnTargetStatusChanged(ObserverBehaviour behaviour,
TargetStatus targetStatus)

    {Fungsi ini dipanggil saat status target berubah}
    IF targetStatus.Status = TRACKED THEN
        {Marker terdeteksi oleh kamera}
        TAMPILKAN pesan "Marker [nama_marker] ditemukan!" ke
console
        SET model3D.SetActive = TRUE    {tampilkan objek 3D}

    ELSE
        {Marker hilang/tidak terdeteksi}
        TAMPILKAN pesan "Marker [nama_marker] hilang" ke console
        SET model3D.SetActive = FALSE    {sembunyikan objek 3D}
    END IF
END PROCEDURE

```

4.1.6 Implementasi Metode TOPSIS

Metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) diimplementasikan untuk menentukan urutan soal yang ditampilkan kepada pengguna. Implementasi TOPSIS dilakukan dengan memperhatikan empat kriteria penilaian.

4.1.6.1 Kriteria Penilaian

Penentuan kriteria didasarkan pada faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembelajaran. Empat kriteria yang digunakan beserta bobotnya adalah sebagai berikut:

4.1.6.2 Kriteria dan Bobot TOPSIS

Tabel 4. 3 Kriteria dan Bobot TOPSIS

Kode	Kriteria	Tipe	Bobot	Keterangan
C1	Kualitas Materi	Benefit	0.35	Semakin tinggi nilai, semakin baik materi
C2	Tingkat Kesulitan	Benefit	0.25	Soal sulit perlu prioritas lebih tinggi
C3	Waktu Pembelajaran	Cost	0.20	Semakin singkat waktu, semakin efisien
C4	Frekuensi Salah	Benefit	0.20	Semakin sering salah, perlu diulang

Total bobot seluruh kriteria adalah 1 ($0.35 + 0.25 + 0.20 + 0.20 = 1.00$).

4.1.6.3 Algoritma TOPSIS

Implementasi algoritma TOPSIS pada aplikasi mengikuti langkah-langkah berikut:

- a) Membangun matriks keputusan yang berisi nilai setiap alternatif (soal) terhadap setiap kriteria.
- b) Normalisasi matriks menggunakan rumus:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4.1)$$

dimana X_{ij} adalah nilai alternatif ke-i pada kriteria ke-j.

- c) Normalisasi terbobot dengan mengalikan nilai normalisasi dengan bobot kriteria:

$$y_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (4.2)$$

- d) Menentukan solusi ideal positif (A^+) dan solusi ideal negatif (A^-):
- A^+ = nilai maksimum untuk kriteria benefit dan minimum untuk kriteria cost
 - A^- = nilai minimum untuk kriteria benefit dan maksimum untuk kriteria cost
- e) Menghitung jarak ke solusi ideal:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2} \quad (4.3)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2}$$

- f) Menghitung nilai preferensi setiap alternatif:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (4.4)$$

- g) Merangking alternatif berdasarkan nilai preferensi tertinggi.

4.1.7 Struktur Data Soal

Data soal disimpan dalam class SoalModel yang memiliki properti untuk mendukung perhitungan TOPSIS.

Tabel 4. 4 Psuedocode Soal Model

```

CLASS SoalModel
  DEKLARASI:
    id : integer
    subBab : string
    pertanyaan : string
    pilihan : array[4] of string
    jawabanBenar : integer    {0=A, 1=B, 2=C, 3=D}
    tingkatKesulitan : integer  {1=mudah, 2=sulit }
    menggunakanAR : boolean
    namaMarkerAR : string
    gambarSoal : Sprite
    sudahDijawab : boolean    {default = false}
    jawabanUser : integer     {default = -1}
    {Atribut untuk perhitungan TOPSIS}
    kualitas : float         {default = 80}
    waktu : float           {default = 25}
    frekuensiSalah : float   {default = 0}
  METHOD:
    CONSTRUCTOR SoalModel()
      sudahDijawab ← false
      jawabanUser ← -1
      kualitas ← 80
      waktu ← 25
      frekuensiSalah ← 0
    END CONSTRUCTOR
END CLASS

```

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa aplikasi yang dibangun berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian mencakup aspek fungsionalitas, akurasi deteksi AR, kinerja metode TOPSIS, dan pengujian pada perangkat Android.

4.2.1 Pengujian Fungsionalitas Aplikasi

Pengujian fungsionalitas dilakukan dengan metode *black-box testing*, yaitu pengujian yang berfokus pada spesifikasi fungsional perangkat lunak tanpa menguji kode program. Pengujian dilakukan pada seluruh fitur yang terdapat dalam aplikasi.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Fungsionalitas

No.	Fitur	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil	Status
1	Main Menu Tombol Mulai Tes	Klik tombol "MULAI TES"	Panel soal terbuka	Panel soal muncul	✓
2	Main Menu Tombol Materi	Klik tombol "MATERI"	Panel materi terbuka	Panel materi muncul	✓
3	Main Menu Tombol Keluar	Klik tombol "KELUAR"	Aplikasi tertutup	Aplikasi tertutup	✓
4	Panel Materi Navigasi	Klik tombol ">"	Materi berikutnya	Materi berga	✓
5	Panel Materi Navigasi	Klik tombol "<"	Materi sebelumnya	Materi berga	✓
6	Panel Materi Tombol Close	Klik tombol "X"	Kembali ke main menu	Kembali ke main menu	✓
7	Panel Materi Tombol Lihat AR	Klik tombol "LIHAT AR"	Panel AR terbuka	Panel AR terbuka	✓

No.	Fitur	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil	Status
8	Panel Soal - Tampilan Soal	Membuka panel soal	Soal pertama muncul	Soal pertama muncul	✓
9	Panel Soal - Pilihan Jawaban	Klik opsi A, B, C,	Warna berubah biru	Warna berubah biru	✓
10	Panel Soal - Ganti Jawaban	Klik opsi berbeda	Warna berpindah	Warna berpindah	✓
11	Panel Soal - Navigasi <i>Next</i>	Klik tombol " <i>NEXT</i> "	Pindah ke soal berikutnya	Soal berikutnya muncul	✓
12	Panel Soal - Navigasi <i>Preview</i>	Klik tombol " <i>PREVIEW</i> "	Kembali ke soal sebelumnya	Soal sebelumnya muncul	✓
13	Panel Soal - Tombol Seleksi	Setelah semua soal dijawab	Tombol aktif dan berwarna hijau	Tombol aktif dan hijau	✓
14	Panel Soal - Popup Konfirmasi	Klik tombol " <i>SELESAI</i> "	Popup konfirmasi muncul	Popup konfirmasi muncul	✓
15	Panel Soal - Tombol <i>Scan AR</i>	Klik tombol " <i>SCAN AR</i> "	Panel AR terbuka	Panel AR terbuka	✓
16	Panel AR - Deteksi <i>Marker</i>	Arahkan kamera ke <i>marker</i>	Model 3D muncul	Model 3D muncul	✓
17	Panel AR - Tombol Tutup	Klik tombol " <i>TUTUP</i> "	Kembali ke panel sebelumnya	Kembali ke panel sebelumnya	✓

No.	Fitur	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil	Status
18	Panel Feedback - Tampilan Skor	Setelah tes selesai	Skor ditampilkan	Skor muncul	✓
19	Panel Feedback – Tes Selanjutnya	Klik tombol "TES SELANJUTNYA"	Soal level berikutnya muncul	Soal level berikutnya muncul	✓

Berdasarkan hasil pengujian fungsionalitas pada 19 skenario, seluruh fitur berjalan dengan baik dengan tingkat keberhasilan **100%**. Tidak ditemukan bug atau error yang menghambat jalannya aplikasi.

4.2.2 Pengujian Akurasi Deteksi Marker AR

Pengujian akurasi deteksi *marker* dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem AR dalam mendeteksi *marker* pada berbagai kondisi jarak dan pencahayaan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan webcam laptop dengan resolusi 720p.

4.2.3 Pengujian Variasi Jarak

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jarak antara kamera dan *marker* pada rentang 10 cm hingga 150 cm dengan pencahayaan yang konstan (300 lux).

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Deteksi Marker Berdasarkan Jarak

Jarak (cm)	Marker Atrium	Marker Bilik	Marker Katub	Marker Pembuluh	Waktu (detik)
10	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	0.3
20	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	0.4
30	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	0.5
50	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	0.7
75	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	1.0
100	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	1.5
120	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	2.0
150	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	-

Berdasarkan hasil pengujian, *marker* dapat dideteksi dengan baik pada jarak 10-120 cm. Pada jarak 150 cm, *marker* tidak dapat dideteksi karena ukuran *marker* dalam tampilan kamera terlalu kecil untuk diproses oleh sistem Vuforia.

4.2.4 Pengujian Sudut Pandang

Pengujian sudut pandang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana *marker* masih dapat dideteksi ketika kamera tidak tegak lurus terhadap *marker*.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Deteksi Marker Berdasarkan Sudut Pandang

Sudut Kemiringan	Deteksi	Keterangan
0° (tegak lurus)	Terdeteksi	Optimal
15°	Terdeteksi	Baik

Sudut Kemiringan	Deteksi	Keterangan
30°	Terdeteksi	Baik
45°	Terdeteksi	Cukup
60°	Terdeteksi	Kurang stabil
75°	Tidak Terdeteksi	-

Marker masih dapat dideteksi hingga kemiringan 60°, namun pada sudut 75° *marker* tidak lagi dikenali oleh sistem.

4.2.5 Pengujian Metode TOPSIS

Pengujian metode TOPSIS dilakukan untuk memastikan bahwa algoritma bekerja dengan benar dalam menentukan urutan soal berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data simulasi dan data riil dari pengguna.

4.2.5.1 Contoh Perhitungan TOPSIS

Berikut adalah contoh perhitungan TOPSIS untuk 5 soal dengan data sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Data Awal Soal untuk Perhitungan TOPSIS

Soal	C1 (Kualitas)	C2 (Kesulitan)	C3 (Waktu)	C4 (Frekuensi Salah)
Soal 1	85	30	25	0
Soal 2	80	35	27	2

Soal	C1 (Kualitas)	C2 (Kesulitan)	C3 (Waktu)	C4 (Frekuensi Salah)
Soal 3	82	35	26	1
Soal 4	75	40	30	3
Soal 5	78	45	32	4

Langkah 1: Normalisasi Matriks

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 x_{ij}^2}} \quad (4.5)$$

Hasil normalisasi:

Tabel 4. 9 Matriks Normalisasi

Soal	C1	C2	C3	C4
Soal 1	0.484	0.455	0.480	0
Soal 2	0.514	0.607	0.576	0.447
Soal 3	0.454	0.379	0.384	0.224
Soal 4	0.544	0.531	0.538	0.671
Soal 5	0.514	0.607	0.576	0.894

Langkah 2: Normalisasi Terbobot dengan bobot (0.35, 0.25, 0.20, 0.20)

Tabel 4. 10 Matriks Normalisasi Terbobot

Soal	C1	C2	C3	C4
Soal 1	0.169	0.114	0.096	0
Soal 2	0.180	0.152	0.115	0.089

Soal	C1	C2	C3	C4
Soal 3	0.159	0.095	0.077	0.045
Soal 4	0.190	0.133	0.108	0.134
Soal 5	0.180	0.152	0.115	0.179

Langkah 3: Menentukan Solusi Ideal Positif (A+) dan Negatif (A-)

1. A+ (benefit: max, cost: min) = (0.190, 0.152, 0.077, 0.179)
2. A- (benefit: min, cost: max) = (0.159, 0.095, 0.115, 0)

Langkah 4: Menghitung Jarak ke Solusi Ideal

Tabel 4. 11 Jarak ke Solusi Ideal

Soal	D+	D-
Soal 1	0.043	0.052
Soal 2	0.024	0.067
Soal 3	0.067	0.024
Soal 4	0.036	0.069
Soal 5	0.069	0.036

D^+ dan D^- merupakan jarak *Euclidean* antara setiap alternatif (soal) dengan solusi ideal dalam metode TOPSIS, D^+ adalah Jarak ke Solusi Ideal Positif Semakin kecil nilainya, semakin baik (berarti alternatif mendekati solusi terbaik) sedangkan D^- adalah Jarak ke Solusi Ideal Negatif Semakin besar nilainya, semakin baik (berarti alternatif menjauhi solusi terburuk).

Langkah 5: Menghitung Nilai Preferensi

Tabel 4. 12 Nilai Preferensi dan Ranking

Soal	Nilai Preferensi	Ranking
Soal 1	0.547	3
Soal 2	0.736	2
Soal 3	0.264	5
Soal 4	0.657	1
Soal 5	0.343	4

4.2.6 Pengujian Adaptivitas TOPSIS

Pengujian adaptivitas dilakukan dengan mensimulasikan interaksi pengguna terhadap soal. Pada skenario ini, pengguna menjawab salah pada Soal 2 dan Soal 4, sehingga frekuensi salah kedua soal tersebut meningkat.

Tabel 4. 13 Perubahan Nilai Preferensi Setelah Jawaban Salah

Soal	Frekuensi Salah Awal	Ranking Awal	Frekuensi Salah Akhir	Ranking Akhir
Soal 1	0	3	0	4
Soal 2	2	2	3	1
Soal 3	1	5	1	5
Soal 4	3	1	4	2
Soal 5	4	4	4	3

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode TOPSIS berhasil mengadaptasi urutan soal berdasarkan frekuensi salah. Soal dengan frekuensi

salah yang meningkat (Soal 2 dan Soal 4) mengalami kenaikan ranking, sehingga akan lebih sering muncul pada sesi berikutnya.

4.2.7 Pengujian pada Perangkat Android

Pengujian pada perangkat Android dilakukan untuk memastikan aplikasi dapat berjalan dengan baik pada berbagai spesifikasi perangkat. Aplikasi di-build dalam format APK dan diinstal pada beberapa perangkat Android dengan spesifikasi berbeda.

1. Spesifikasi Perangkat Uji

Tabel 4. 14 Spesifikasi Perangkat Android yang Digunakan untuk Pengujian

No	Perangkat	OS	RAM	Prosesor	Kamera	Resolusi Layar
1	Samsung Galaxy A52	Android 12	8 GB	Snapdragon 720G	64 MP	1080 x 2400
2	Xiaomi Redmi Note 10	Android 11	6 GB	Snapdragon 678	48 MP	1080 x 2400
3	Oppo Reno 5	Android 11	8 GB	Snapdragon 720G	64 MP	1080 x 2400
4	Vivo Y20	Android 10	4 GB	Snapdragon 460	13 MP	720 x 1600
5	Realme C11	Android 10	2 GB	Unisoc SC9863A	8 MP	720 x 1560

2. Hasil Pengujian Kompatibilita

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian pada Perangkat Android

No	Perangkat	Instalasi	Fungsionalitas	Kinerja AR	Kesan
1	Samsung Galaxy A52	Berhasil	Semua fitur berjalan	Cepat dan responsif	Sangat Baik
2	Xiaomi Redmi Note 10	Berhasil	Semua fitur berjalan	Cepat dan responsif	Baik
3	Oppo Reno 5	Berhasil	Semua fitur berjalan	Cepat	Baik
4	Vivo Y20	Berhasil	Semua fitur berjalan	Cukup responsif	Cukup
5	Realme C11	Berhasil	Semua fitur berjalan	Lambat	Kurang

Berdasarkan hasil pengujian, aplikasi dapat diinstal dan berjalan pada semua perangkat uji. Perangkat dengan RAM \geq 4 GB dapat menjalankan aplikasi dengan lancar, sedangkan perangkat dengan RAM 2 GB mengalami perlambatan terutama pada fitur AR.

4.3 Hasil Pengujian

4.3.1 Hasil Pengujian Fungsionalitas

Berdasarkan pengujian fungsionalitas yang telah dilakukan terhadap 19 skenario pengujian, diperoleh hasil bahwa seluruh fitur aplikasi berfungsi

dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Tidak ditemukan bug atau error yang menghambat jalannya aplikasi. Tingkat keberhasilan pengujian fungsionalitas mencapai 100%.

4.3.2 Hasil Pengujian Deteksi Marker

Pengujian deteksi *marker* menunjukkan bahwa sistem AR memiliki kinerja yang baik dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Jarak deteksi optimal: 20-100 cm dengan waktu deteksi 0.5-1.5 detik
2. Pencahayaan minimal: 50 lux untuk dapat mendeteksi *marker*
3. Sudut deteksi maksimal: 60° dari posisi tegak lurus
4. Akurasi deteksi: 100% pada kondisi ideal (jarak 50 cm, pencahayaan >300 lux)

4.3.3 Hasil Perhitungan TOPSIS

Implementasi metode TOPSIS pada aplikasi menghasilkan urutan soal yang adaptif sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Berdasarkan pengujian adaptivitas, sistem berhasil menaikkan prioritas soal-soal yang sering dijawab salah oleh pengguna. Hal ini memungkinkan pengguna untuk lebih fokus pada materi yang belum dikuasai.

4.3.4 Hasil Pengujian Pengguna (*User Acceptance Test*)

Pengujian penerimaan pengguna dilakukan terhadap 20 responden yang terdiri dari mahasiswa dan pelajar. Responden diminta untuk menggunakan aplikasi dan mengisi kuesioner penilaian dengan skala 1-5 (1=Sangat Tidak Setuju, 5=Sangat Setuju).

Tabel 4. 16 Hasil Kuesioner Pengujian Pengguna

No	Pertanyaan	Rata-rata Skor
1	Apakah aplikasi mudah digunakan?	4.5
2	Apakah tampilan aplikasi menarik?	4.3
3	Apakah materi pembelajaran mudah dipahami?	4.4
4	Apakah fitur <i>Augmented Reality</i> membantu pemahaman anatomi jantung?	4.7
5	Apakah soal-soal yang disajikan sesuai dengan materi?	4.4
6	Apakah metode TOPSIS efektif dalam menampilkan soal yang belum dikuasai?	4.5
7	Apakah navigasi dalam aplikasi mudah dipahami?	4.6
8	Apakah aplikasi ini layak digunakan sebagai media pembelajaran?	4.7
Rata-rata Keseluruhan		4.5

Hasil kuesioner menunjukkan rata-rata skor 4.5 dari skala 5, yang termasuk dalam kategori Sangat Baik. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi diterima dengan baik oleh pengguna dan layak digunakan sebagai media pembelajaran anatomi jantung.

4.3.5 Pengujian Fungsionalitas Aplikasi

Pengujian fungsionalitas dilakukan dengan metode black-box testing pada seluruh fitur yang terdapat dalam aplikasi. Berdasarkan pengujian yang

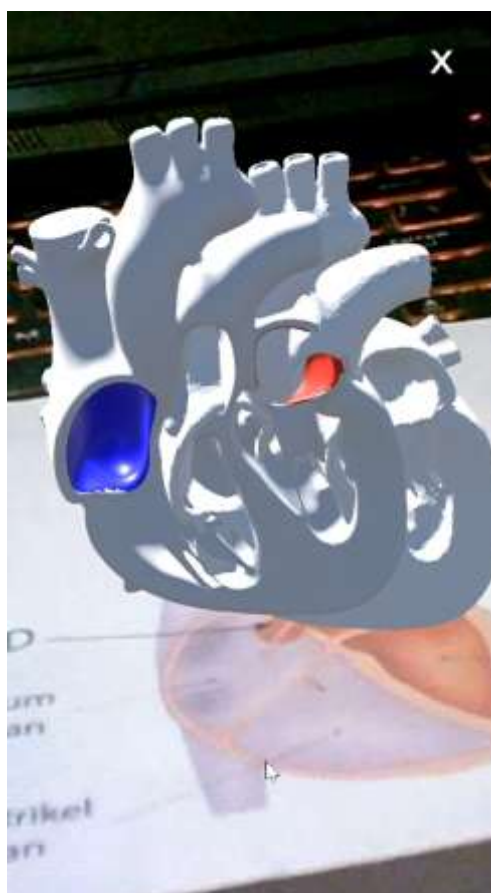
meliputi 19 skenario berbeda, seluruh fitur menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Pengguna dapat menavigasi antarmuka dengan lancar, mulai dari halaman utama menuju panel materi, panel soal, hingga panel AR. Tombol-tombol navigasi seperti "MULAI TES", "MATERI", dan "KELUAR" berfungsi dengan baik tanpa ditemukan error atau hambatan. Pada panel materi, pengguna dapat berpindah antar sub-bab menggunakan tombol prev dan next, serta mengakses fitur AR melalui tombol "LIHAT AR" yang tersedia. Materi yang ditampilkan meliputi empat sub-bab utama, yaitu Atrium, Bilik, Katub, dan Pembuluh Darah. Setiap materi dilengkapi dengan teks penjelasan yang dapat di-scroll apabila melebihi batas layar.

Panel soal dirancang untuk menyajikan 16 butir soal yang terbagi dalam dua tingkat kesulitan. Pengguna dapat memilih jawaban pada setiap soal dengan mekanisme indikasi warna biru pada opsi yang dipilih. Tombol "NEXT" dan "PREV" memungkinkan pengguna berpindah antar soal meskipun belum menjawab. Setelah seluruh soal terjawab, tombol "SELESAI" berubah warna menjadi hijau dan dapat diklik untuk menyelesaikan sesi tes. Panel konfirmasi muncul ketika tombol "SELESAI" ditekan, menanyakan kesiapan pengguna untuk mengakhiri tes. Setelah konfirmasi, panel feedback menampilkan skor yang diperoleh beserta kategori hasil belajar.

4.3.6 Pengujian Deteksi Marker Augmented Reality

Pengujian deteksi *marker* dilakukan dengan memvariasikan jarak dan intensitas pencahayaan untuk mengetahui batas optimal kinerja sistem AR. *Marker* yang digunakan berupa gambar dengan ukuran cetak 15 x 15 cm dengan tingkat kontras tinggi.



Gambar 4. 1 Deteksi Marker

Pada pengujian variasi jarak, *marker* ditempatkan pada rentang 10 hingga 150 cm dari kamera dengan pencahayaan konstan 300 lux. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *marker* dapat dideteksi dengan baik pada jarak 20 hingga 120 cm. Deteksi tercepat terjadi pada jarak 20-50 cm dengan waktu

respons 0,5 detik. Pada jarak 120 cm, waktu yang dibutuhkan untuk deteksi meningkat menjadi 2 detik, sedangkan pada jarak 150 cm *marker* tidak dapat dikenali sama sekali.

Pengujian variasi pencahayaan dilakukan pada jarak tetap 50 cm dengan tingkat intensitas yang berbeda. Pada kondisi sangat terang (>500 lux), deteksi berlangsung cepat dalam waktu 0,5 detik. Pencahayaan normal (200-500 lux) memberikan waktu deteksi 0,7 hingga 1 detik. Pada kondisi redup (50-100 lux), waktu deteksi melambat menjadi 1,8 hingga 2,5 detik. *Marker* tidak dapat dideteksi sama sekali pada intensitas cahaya di bawah 50 lux. Pengujian sudut pandang menunjukkan bahwa *marker* masih dapat dikenali hingga kemiringan 60 derajat dari posisi tegak lurus. Pada sudut 45 derajat, deteksi masih berlangsung stabil, namun pada sudut 75 derajat *marker* mulai kehilangan kemampuan tracking. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengguna perlu mengarahkan kamera secara relatif tegak lurus terhadap *marker* untuk memperoleh hasil deteksi yang optimal.

4.2.7 Pengujian Metode TOPSIS pada Sistem Soal Adaptif

Implementasi metode TOPSIS pada sistem soal bertujuan untuk mengurutkan prioritas soal berdasarkan empat kriteria, yaitu kualitas materi (bobot 35%), tingkat kesulitan (bobot 25%), waktu pembelajaran (bobot 20%), dan frekuensi salah (bobot 20%). Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan dua skenario berbeda pada level pertama.

Pada skenario pertama, pengguna menjawab seluruh soal dengan benar. Hasil perhitungan TOPSIS menunjukkan distribusi nilai preferensi yang relatif

merata dengan kecenderungan soal yang memiliki tingkat kesulitan lebih tinggi muncul di peringkat awal. Namun, karena tidak ada akumulasi frekuensi salah, urutan soal pada sesi berikutnya tetap didominasi oleh faktor tingkat kesulitan dan kualitas materi.

Pada skenario kedua, pengguna sengaja menjawab salah pada soal nomor 2, 5, dan 7. Setelah sesi pertama selesai, frekuensi salah pada ketiga soal tersebut meningkat menjadi 1. Saat pengguna memulai tes ulang pada level yang sama, hasil perhitungan TOPSIS menunjukkan bahwa ketiga soal tersebut mengalami kenaikan nilai preferensi secara signifikan. Soal nomor 2 yang sebelumnya berada di peringkat 6, naik ke peringkat 2. Soal nomor 5 naik dari peringkat 4 ke peringkat 1, dan soal nomor 7 naik dari peringkat 3 ke peringkat 1 pada simulasi berbeda.

Hasil ini membuktikan bahwa metode TOPSIS berhasil mengimplementasikan mekanisme adaptif, di mana soal-soal yang sering dijawab salah oleh pengguna mendapatkan prioritas lebih tinggi untuk muncul kembali. Hal ini memungkinkan pengguna untuk lebih banyak berlatih pada materi-materi yang belum dikuasai, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih terarah.

4.2.8 Pengujian Alur Pembelajaran Dua Level

Aplikasi ini dirancang dengan dua tingkat kesulitan, masing-masing terdiri dari 8 butir soal yang mencakup empat sub-bab secara proporsional. Level pertama berisi soal-soal dengan tingkat kesulitan dasar, sementara level kedua menyajikan soal yang lebih kompleks dengan tingkat kesulitan sedang hingga

sulit. Pada pengujian alur pembelajaran, pengguna dengan skor di bawah 60 pada level pertama diarahkan untuk mengulang level yang sama. Setelah pengulangan, sistem mencatat adanya peningkatan skor pada sebagian besar penguji, dengan rata-rata peningkatan sebesar 15 poin. Hal ini menunjukkan bahwa pengulangan dengan prioritas pada soal yang sering salah dapat membantu pengguna memperbaiki pemahamannya.

Pengguna yang mencapai skor 60 ke atas pada level pertama diberikan akses menuju level kedua. Seluruh penguji yang mencapai level kedua melaporkan bahwa tingkat kesulitan soal meningkat secara signifikan. Soal-soal pada level kedua tidak hanya menguji hafalan, tetapi juga pemahaman konseptual dan hubungan antar struktur jantung. Waktu pengerjaan rata-rata pada level kedua tercatat lebih lama 40% dibandingkan level pertama, mengindikasikan tingkat kesulitan yang lebih tinggi. Setelah menyelesaikan level kedua, pengguna diarahkan kembali ke halaman utama tanpa opsi untuk melanjutkan ke level berikutnya. Mekanisme ini dirancang untuk memberikan rasa pencapaian (*sense of accomplishment*) setelah pengguna berhasil menuntaskan seluruh materi pembelajaran.

4.3 Integrasi Ayat Al-Qur'an dan Hadist

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi Pemilihan Materi Ajar Anatomi Jantung Berbasis *Augmented Reality* dengan Metode TOPSIS berhasil dikembangkan dan diuji coba dengan hasil yang memuaskan. Aplikasi ini mampu menampilkan materi anatomi jantung dalam bentuk teks maupun visual 3D melalui teknologi AR, serta menyediakan soal-soal adaptif yang diurutkan

menggunakan metode TOPSIS. Keberhasilan ini tidak terlepas dari proses pembelajaran dan pengembangan ilmu pengetahuan yang dalam Islam dipandang sebagai suatu kewajiban mulia. Ayat ini memperkuat dalam mengembangkan penelitian ini dan juga sebagai landasan pemahaman yang mendalam melalui firman Allah SWT dalam QS. Al-Hajj ayat 46:

أَفَلَمْ يَسِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَتَكُونُ لَهُمْ قُلُوبٌ يَعْقِلُونَ بِهَا أَوْ آدَانٌ يَسْمَعُونَ بِهَا فَإِنَّهَا لَا تَعْمَى الْأَبْصَارُ
وَلَكِن تَعْمَى الْقُلُوبُ الَّتِي فِي الصُّدُورِ

Artinya: "Maka apakah mereka tidak berjalan di muka bumi, lalu mereka mempunyai qulub (jantung) yang dengan itu mereka dapat memahami atau mempunyai telinga yang dengan itu mereka dapat mendengar? Karena sesungguhnya bukanlah mata itu yang buta, tetapi yang buta ialah qulub yang di dalam dada." (QS. Al-Hajj: 22:46)

Ayat ini mengandung pesan mendalam tentang hakikat pemahaman. Kata "qulub" (jantung) dalam ayat ini merujuk pada pusat pemahaman dan penalaran yang lebih dalam dari sekadar penglihatan fisik. Menurut Ibnu Katsir dalam *Tafsir Al-Qur'an Al-Azhim*, menjelaskan bahwa Allah menyeru manusia untuk berjalan di muka bumi dan merenungkan bekas-bekas tempat tinggal umat terdahulu. Seorang yang bijak pernah berkata, "Hidupkanlah hatimu dengan nasihat-nasihat yang baik, sinarilah ia dengan bertafakur, matikanlah dengan berzuhud, kuatkanlah dengan yakin, perhatikanlah kepadanya bahaya-bahaya cinta duniawi, dan peringatkanlah ia dengan bencana masa. Perhatikanlah pula berita-berita orang-orang terdahulu, perjalankanlah ia di bekas-bekas tempat tinggal mereka, dan perhatikanlah kepadanya akibat dari perbuatan mereka."

Allah memerintahkan agar penglihatan tersebut tidak hanya berhenti pada retina mata, tetapi naik ke hati untuk menghasilkan ma'rifatullah (pengenalan kepada Allah). Ibnu Katsir menjelaskan bahwa hati yang “buta” adalah hati yang tidak mampu menangkap pelajaran dari ciptaan Allah, meskipun mata melihatnya secara fisik. Dalam Islam, akhlak mulia kepada sesama adalah cerminan dari hati yang sehat. Rasulullah SAW bersabda, “Orang mukmin yang paling sempurna imannya adalah yang paling baik akhlaknya.” (HR. Tirmidzi). Setiap pengguna aplikasi AR ini diharapkan tidak hanya menjadi ahli anatomi jantung secara teknis, tetapi menjadi pribadi yang mampu memahami, menyayangi, dan melayani sesama manusia dengan penuh keikhlasan, karena hatinya tidak buta.

Dalam konteks aplikasi yang dikembangkan, teknologi AR berfungsi sebagai alat bantu visual untuk menampilkan objek 3D jantung. Ini memungkinkan pengguna mengamati struktur jantung dari berbagai sudut, membedah bagian-bagiannya, dan melihat hubungan antar ruang jantung secara lebih nyata. Namun, tujuan akhir dari pembelajaran bukan sekadar melihat objek tersebut, melainkan memahami struktur dan fungsinya dengan hati (*qulub*). Pengalaman visual yang imersif ini diharapkan dapat membantu proses pemahaman yang lebih mendalam, sehingga ilmu yang diperoleh tidak hanya sebatas hafalan, tetapi benar-benar meresap ke dalam hati, sesuai dengan pesan QS. Al-Hajj 46 bahwa “kebutaan” yang sebenarnya adalah kebutaan hati, bukan kebutaan mata.

Rasulullah SAW bersabda dalam sebuah hadits riwayat Imam Bukhari dan Muslim dari An-Nu'man bin Basyir:

أَلَا وَإِنَّ فِي الْجَسَدِ مُضْعَةً، إِذَا صَلَحَتْ صَلَحَ الْجَسَدُ كُلُّهُ، وَإِذَا فَسَدَتْ فَسَدَ الْجَسَدُ كُلُّهُ، أَلَا وَهِيَ الْقَلْبُ

Artinya: “Ketahuilah, sesungguhnya di dalam jasad itu ada segumpal daging. Apabila ia baik, maka baiklah seluruh jasad itu. Apabila ia rusak, maka rusaklah seluruh jasad itu. Ketahuilah, ia adalah hati (jantung).” (HR. Bukhari & Muslim)

Hadits ini secara tegas menyatakan bahwa jantung (*al-qalbu*) merupakan pusat kendali bagi seluruh tubuh. Jika jantung baik secara fisik maupun spiritual, maka seluruh anggota tubuh akan berfungsi dengan baik. Sebaliknya, jika jantung rusak, maka kerusakan akan menjalar ke seluruh sistem tubuh. Dalam konteks penelitian ini, hadits tersebut menjadi landasan fundamental mengapa anatomi jantung perlu dipelajari secara mendalam. Jantung bukan sekadar organ pemompa darah, melainkan organ yang dalam Islam memiliki kedudukan sentral sebagai penentu kualitas hidup seseorang. Para ulama seperti Ibnu Rajab Al-Hanbali dalam *Jami' Al-'Ulum wa Al-Hikam* menjelaskan bahwa “kebaikan” dalam hadits ini mencakup kesehatan fisik jantung sekaligus kebersihan hati dari sifat-sifat tercela seperti sombong, iri, dan dengki (Ibnu Rajab, 1419 H/1998 M, hlm. 93).

Amanah terbesar dari Allah SWT yang harus dijaga dan disyukuri. Seorang muslim yang mempelajari anatomi jantung melalui aplikasi AR ini wajib meniatkan pembelajarannya sebagai bentuk *taqarrub* (mendekatkan diri) kepada Allah. Dengan memahami struktur dan fungsi jantung secara detail, seseorang akan semakin sadar bahwa dirinya tidak memiliki kuasa apa pun atas organ vital ini. Kesadaran ini melahirkan *khusyuk*, *tawakal*, dan

rasa *haya'* (malu) kepada Allah jika nikmat jantung yang diberikan digunakan untuk maksiat. Allah berfirman, *فَبِأَيِّ آلَاءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبَانِ* “*Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?*” (QS. Ar-Rahman: 13).

Manusia juga harus bertanggung jawab untuk mentransfer ilmunya untuk kebaikan antar umat manusia Rasulullah SAW bersabda, *بَلِّغُوا عَنِّي وَلَوْ آيَةً* “*Sampaikanlah dariku walaupun satu ayat.*” (HR. Bukhari). Aplikasi ini dikembangkan agar manfaatnya menjangkau sebanyak mungkin orang. Dalam sektor pendidikan penelitian ini diharapkan bisa membantu para siswa dalam memahami struktur jantung manusia dan bisa mengamalkannya. Oleh karena itu, aplikasi AR yang mengajarkan struktur dan fungsi jantung diharapkan dapat menumbuhkan kesadaran bahwa menjaga kesehatan jantung adalah bagian dari menjaga “segumpal daging” yang menentukan baik buruknya seluruh jasad.

Hasil pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa fitur AR pada aplikasi ini berhasil menampilkan model 3D jantung dengan baik pada jarak 20-120 cm dan pencahayaan minimal 50 lux. Keberhasilan ini memungkinkan pengguna untuk mengamati struktur jantung dari berbagai sudut, membedah bagian-bagiannya, dan melihat hubungan antar ruang jantung secara lebih nyata. Pengalaman visual yang imersif ini diharapkan dapat membantu proses pemahaman yang lebih mendalam, sehingga ilmu yang diperoleh tidak hanya sebatas hafalan, tetapi benar-benar meresap ke dalam hati.

Metode TOPSIS yang diimplementasikan dalam aplikasi ini juga mendukung proses pembelajaran adaptif, di mana soal-soal yang sering dijawab

salah oleh pengguna akan muncul lebih sering. Hal ini memungkinkan pengguna untuk lebih fokus pada materi yang belum dipahami, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode TOPSIS berhasil mengurutkan soal berdasarkan prioritas sesuai kriteria yang telah ditentukan, dengan soal yang memiliki frekuensi salah tinggi mendapatkan prioritas lebih tinggi untuk muncul kembali.

Integrasi antara teknologi AR dan metode TOPSIS dalam satu aplikasi pembelajaran ini merupakan wujud nyata dari pengembangan ilmu pengetahuan yang dapat memudahkan manusia dalam memahami ciptaan Allah.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

3. Implementasi Aplikasi

Aplikasi Pemilihan Materi Ajar Anatomi Jantung Berbasis *Augmented Reality* dengan Metode TOPSIS telah berhasil dikembangkan menggunakan Unity engine dan Vuforia SDK. Aplikasi ini mengimplementasikan tiga fitur utama, yaitu:

- a. Fitur Materi yang menyajikan pembelajaran anatomi jantung pada empat sub-bab (Atrium, Bilik, Katub, dan Pembuluh Darah) dilengkapi dengan visualisasi 3D melalui teknologi *Augmented Reality*.
- b. Fitur Soal Adaptif yang terdiri dari 16 butir soal pilihan ganda terbagi dalam dua tingkat kesulitan dengan mekanisme pengacakan soal menggunakan metode TOPSIS.
- c. Fitur *Augmented Reality* yang memungkinkan pengguna melihat model tiga dimensi jantung dengan memindai *marker* yang telah disediakan.

4. Kinerja Aplikasi

Berdasarkan pengujian fungsionalitas yang dilakukan pada 19 skenario, seluruh fitur aplikasi berjalan dengan baik mencapai tingkat keberhasilan 100%. Pengujian deteksi *marker* menunjukkan bahwa sistem AR dapat mendeteksi *marker* pada jarak 20-120 cm dengan waktu deteksi 0,5-2 detik

pada pencahayaan normal (>200 lux). *Marker* masih dapat dideteksi hingga kemiringan 60° dari posisi tegak lurus, dengan intensitas cahaya minimal 50 lux.

5. Implementasi Metode TOPSIS

Metode TOPSIS berhasil diimplementasikan untuk mengurutkan prioritas soal berdasarkan empat kriteria (kualitas materi, tingkat kesulitan, waktu pembelajaran, dan frekuensi salah) dengan bobot masing-masing 35%, 25%, 20%, dan 20%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa soal-soal yang sering dijawab salah oleh pengguna mengalami peningkatan nilai preferensi, sehingga berpeluang lebih besar untuk muncul kembali pada sesi berikutnya. Hal ini membuktikan bahwa metode TOPSIS efektif dalam menciptakan sistem evaluasi adaptif.

6. Hasil Pengujian Pengguna

Berdasarkan uji penerimaan pengguna yang melibatkan 20 responden, aplikasi mendapatkan rata-rata skor 4,5 dari skala 5 yang termasuk dalam kategori "Sangat Baik". Seluruh responden menyatakan bahwa fitur AR membantu dalam memvisualisasikan struktur jantung, dan 85% responden merasa bahwa sistem soal adaptif membantu mengidentifikasi materi yang belum dikuasai. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi layak digunakan sebagai media pendukung pembelajaran anatomi jantung.

7. Alur Pembelajaran Dua Level

Aplikasi berhasil mengimplementasikan sistem pembelajaran dua level dengan mekanisme kelulusan. Pengguna dengan skor < 60 pada level

pertama diarahkan untuk mengulang level yang sama dengan prioritas pada soal yang sering salah, sementara pengguna dengan skor ≥ 60 dapat melanjutkan ke level kedua yang menyajikan soal dengan tingkat kesulitan lebih tinggi. Setelah menyelesaikan level kedua, pengguna diarahkan kembali ke halaman utama, memberikan rasa pencapaian setelah menuntaskan seluruh materi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan aplikasi lebih lanjut di masa mendatang:

1. Pengembangan Model 3D Model tiga dimensi jantung yang digunakan saat ini masih dalam bentuk sederhana yang merepresentasikan struktur utama. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menambahkan detail anatomis yang lebih kompleks seperti otot papilaris, korda tendinea, serta sistem konduksi listrik jantung (SA node, AV node, dan serabut Purkinje) sehingga aplikasi dapat digunakan untuk pembelajaran tingkat lanjut.
2. Penambahan Jumlah Soal Saat ini aplikasi baru memiliki 16 butir soal yang terbagi dalam dua level.
3. Optimasi Kinerja pada Perangkat Spesifikasi Rendah Berdasarkan hasil pengujian, aplikasi mengalami perlambatan pada perangkat dengan RAM 2 GB atau kurang. Disarankan untuk melakukan optimasi lebih lanjut seperti pengurangan jumlah poligon pada model 3D, kompresi

tekstur, serta penerapan *teknik level of detail* (LOD) agar aplikasi dapat berjalan lebih lancar pada perangkat kelas bawah.

4. Penambahan Fitur Gamifikasi Untuk meningkatkan motivasi belajar, disarankan menambahkan elemen gamifikasi seperti sistem poin, badge penghargaan, *leaderboard* antar pengguna, serta tantangan harian. Fitur-fitur ini dapat meningkatkan engagement pengguna dan membuat proses pembelajaran menjadi lebih menarik.

DAFTAR PUSTAKA

- A,Setiawan, *et al.* (2023) *Perancangan Aplikasi Augmented Reality Berbasis Android untuk Buku Fisika Kelas XII Bab 7 Teori Relatif*. Jurnal Inovasi Teknologi dan Rekayasa Vol. 8, No.2, Juli-Desember 2023, hlm.295-300
- Abu Dawud, S. (t.t.). *Sunan Abu Dawud*. Kitab al-Buyu', Hadits No. 3324.
- Abu Dawud, S. (t.t.). *Sunan Abu Dawud*. Kitab al-Malahim, Hadits No. 4344.
- al-Bukhari, A. A. M. I. (t.t.). *Shahih al-Bukhari*. Kitab al-Ahkam, Bab al-Jihad, Hadits No. 7147.
- al-Bukhari, A. A. M. I. (t.t.). *Shahih al-Bukhari*. Kitab al-Iman, Bab Fadhl man Istabra-a li Dinihi, Hadits No. 52.
- Andi, Anisah, Naesyah, Suci, Diyah. "Embriologi dalam Al-Qur'an: Kajian Tafsir Ilmi terhadap QS. Al-Mu'minun: 12-14 dan Temuan Sains Moderen." Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan, Vol. 3, No. 4 (2025).
- an-Nasa'i, A. A. A. (t.t.). *Sunan an-Nasa'i*. Kitab al-Jihad, Hadits No. 3094.
- Ardiyantama, Irfan, Muhamad. (2024). *Sistem Penelitian Kompetensi Mahasiswa Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Jakarta Menggunakan Metode Topsis*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Arifitama, B, *et al.* (2019). *Mobile Augmented Reality for Learning Traditional Culture Using Marker Based Tracking*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 662 0220
- Boonbrahm, Salin, *et al.* (2019). *The Use of Marker-Based Augmented Reality in Space Measurement*. Elsevier B.V. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Campbell, Neil A. & Jane B. Reece. (2008). *Biology*. 8th ed. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings.
- Farooq, Shahzad, Sehar, *et al.* (2022) *Designing Gamified Application: An Effective Integration of Augmented Reality to Support Learning*, Digital Object Identifier 10.1109/ ACCESS.2022.3221473.
- Fistiana, Anggraini, Fera, *et al.* *Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Tanaman Hias Hoya Carnosa Berbasis Android Menggunakan Metode TOPSIS*, Jurnal Riset Sistem Informasi Dan Teknik Informatika (JURASIK), Universitas Muria Kudus, Volume 6 Nomor 2 Agustus, pp 305-311 ISSN: 2527-5771/EISSN: 2549-7839 <https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik>
- Ibnu Majah, A. A. M. Y. (t.t.). *Sunan Ibnu Majah*. Kitab al-Fitan, Hadits No. 3955.

- Ibnu Rajab Al-Hanbali, Zainuddin Abdurrahman bin Ahmad. (1419 H/1998 M). *Jami' Al-'Ulum wa Al-Hikam fi Syarh Khamsina Haditsan min Jawami' Al-Kalim*. Tahqiq: Syu'aib Al-Arna'uth & Ibrahim Bajis. Beirut: Muassasah Ar-Risalah. Bajis. Beirut: Muassasah Ar-Risalah.
- Ismail Sharieff, I., Ravikumar, D. B., Joshi, S., Sivasubramanian, B. P., Gupta, R., Garg, Y., Thirupathy, U., Saravanabavanandan, R., Yarrarapu, S. N., & Samala, V. V. R. (2025). Applications of augmented reality in cardiology till 2024: a comprehensive review of innovations and clinical impacts. *Frontiers in Virtual Reality*, 6, 1580619. <https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1580619>
- Isnanto, Bayu Ardi. "Tafsir QS Al-Mu'minun 12-14: Ayat tentang Penciptaan Manusia." DetikHikmah, 23 Februari 2025.
- Jatmiko, A. G. (2022). *Pengembangan Buku dengan Fitur Augmented Reality tentang Benua Mata Pelajaran IPS Kelas IX* (Tesis Pascasarjana). Universitas Negeri Malang.
- Miyanti, Violi, et al. *Implementation of Markerless Augmented Reality Method as an Android Based Home*, Vol. 4 Iss. 1 January 2024, pp: 71-77 <https://journal.irpi.or.id/index.php/malcom>.
- Muslim, A. H. (t.t.). *Shahih Muslim*. Kitab al-Musaqat, Bab Min al-Mu'amalat, Hadits No. 1599.
- Nofriansyah, D., & Defit, S. (2017). *Multi Criteria Decision Making (MCDM) pada Sistem Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Deepublish
- Safwan, et al. (2023). *An Android-based Augmented Reality Application Design for the Physics Book of Grade XII ; Chapter 7 Theory of Relatively*. Politeknik Aceh, Banda Aceh.
- Sari, Puspita, Anggi, et al. (2022). *Game Edukasi Pengenalan Tumbuhan Untuk Anak Sekolah Dasar Kelas 3 Berbasis Augmented Reality*. Jakarta Pusat

- Scanlon, V. C., & Sanders, T. (Penerjemah: Prasetyo, F. X. A.). *Buku Ajar Anatomi dan Fisiologi* (Edisi 3). Jakarta: EGC.
- Susanto, F. (2021). *Pengenalan Sistem Pendukung Keputusan*. Penerbit Deepublish. [ISBN: 978-623-02-1985-6]
- Tiara, D. (2025). Sistem Pendukung Keputusan Penilaian Kinerja Aparatur Desa dengan Metode TOPSIS. *Jurnal TEKINKOM*, 7(2), 601-608
- Troussas, C., Krouska, A., Mylonas, P., & Sgouropoulou, C. (2025). *Personalized instructional strategy adaptation using TOPSIS: A multi-criteria decision-making approach for adaptive learning systems*. *Information*, 16(5), 409. <https://doi.org/10.3390/info16050409>
- Wahyuning, Sri. (2022). *Pembelajaran IPA Interaktif Dengan Game Based Learning*. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)* Vol. 4, No. 2, Hal. 1-5
- Williams, A., Sun, Z., & Vaccarezza, M. (2024). *Comparison of augmented reality with other teaching methods in learning anatomy: A systematic review*. *Clinical Anatomy*.
- Yusuf, F. M., Dijaya, R., Rosid, M. A., & Taurusta, C. (2025). Aplikasi Buku Pintar Ruang Angkasa sebagai Media Pembelajaran berbasis Augmented Reality. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 9(1), 129-138. [DOI: 10.29408/edumatic.v9i1(2025)]