
PERANCANGAN APLIKASI MEDIA PEMBELAJARAN MATEMATIKA BANGUN RUANG BERBASIS *AUGMENTED REALITY* (AR) UNTUK SISWA SEKOLAH DASAR

Cindy¹⁾, Irwan Jani Tarigan²⁾, Tomy Satria Alasi³⁾

Program Studi Teknik Informatika

STMIK Methodist Binjai

Jl. Jenderal Gatot Subroto, Binjai Barat, 20716

email: cindytanjaya3@gmail.com¹⁾, ijanitarigan@gmail.com²⁾, tomysatriaalasi@live.com³⁾

Abstrak

Pendidikan matematika pada tingkat Sekolah Dasar memegang peranan penting dalam membentuk dasar pemahaman konsep matematika bagi siswa. Namun, pembelajaran konsep bangun ruang seringkali dihadapi dengan tantangan, seperti kesulitan siswa dalam memvisualisasikan objek tiga dimensi sehingga memicu rendahnya minat belajar. Untuk mengatasi hal tersebut, dirancanglah sebuah aplikasi media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) dengan model perancangan MDLC (*Multimedia Development Life Cycle*). Aplikasi ini dirancang untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep bangun ruang secara interaktif dan menyenangkan. Pengujian dilakukan menggunakan *blackbox testing* dan hasil menunjukkan bahwa semua fungsi aplikasi berjalan dengan sukses. Diharapkan aplikasi ini dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran matematika di sekolah dasar, serta berkontribusi pada pengembangan pemahaman dan minat belajar siswa.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, Bangun Ruang, Media Pembelajaran Matematika, Sekolah Dasar

1. Pendahuluan

Pembelajaran matematika di sekolah dasar, khususnya bangun ruang, seringkali menghadapi tantangan dalam membantu siswa memvisualisasikan bentuk tiga dimensi. Penggunaan media konvensional seperti buku teks dan gambar statis cenderung membuat siswa kesulitan memahami konsep, terutama dalam pengenalan bentuk, pengukuran sisi, dan perhitungan volume. Kondisi ini diperburuk dengan keterbatasan waktu dan sumber daya guru dalam memberikan eksplorasi materi secara mendalam, yang akhirnya menurunkan minat belajar siswa.

Berdasarkan observasi yang dilakukan di SD Negeri 056618 Purwosari, penggunaan media pembelajaran masih terbatas pada buku cetak, yang mengurangi efektivitas pengajaran bangun ruang. Oleh karena itu diperlukan sebuah media pembelajaran yang dapat membantu meningkatkan minat dan pemahaman siswa.

Augmented Reality (AR) menawarkan pendekatan inovatif dalam dunia pendidikan. *Augmented Reality* (AR) memungkinkan integrasi objek visual ke dunia nyata, memberikan pengalaman interaktif yang mendukung pemahaman lebih baik terhadap objek tiga dimensi. Beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Setyawan dan Alfitriani, menunjukkan bahwa penggunaan *Augmented Reality* (AR) dapat meningkatkan minat dan pemahaman siswa dalam berbagai mata pelajaran [1], [2].

2. Landasan Teori

Media Pembelajaran

Definisi media sebagai suatu alat atau sejenisnya, yang dapat dipergunakan sebagai pembawa pesan dalam kegiatan pembelajaran [3]. Pembelajaran merupakan bentuk upaya yang dilakukan agar memperoleh informasi dan pengetahuan dalam suatu interaksi antara guru dengan siswa [4]. Berdasarkan definisi yang tertera, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran adalah alat yang membantu guru menyampaikan pelajaran kepada siswa. Dengan media pembelajaran, guru dan siswa dapat berinteraksi lebih baik, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih efektif dan efisien [5].

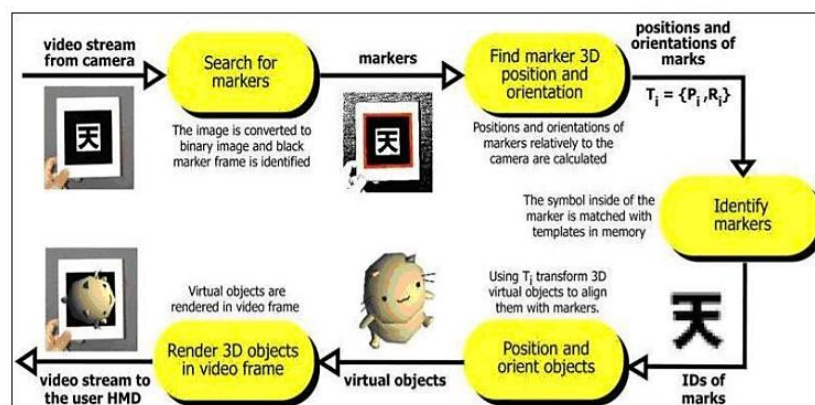
Bangun Ruang

Bangun ruang adalah bentuk tiga dimensi yang memiliki volume dan dikelilingi oleh bidang-bidang sisi. Menurut Sayekti dan Putra, bangun ruang memiliki permukaan yang disebut sisi, sementara menurut Pratiwi, bangun ruang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari sehingga siswa sudah familiar dengannya [6]. Adapun jenis-jenis bangun ruang, yaitu Kubus, Balok, Kerucut, Tabung, Prisma, Limas, dan Bola.

Augmented Reality (AR)

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang menggabungkan objek virtual 3D ke dalam lingkungan dunia nyata secara *real-time* menggunakan perangkat seperti kamera [7], [8]. Adapun prinsip kerja *Augmented Reality (AR)* menurut Berryman, Rampolla dan Kipper, dan Loijens [5] adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data lingkungan, dimana digunakan kamera untuk menangkap gambar atau video dunia nyata.
2. Pemrosesan data, dimana dilakukan analisis melalui perangkat lunak *Augmented Reality (AR)*, melibatkan pengolahan citra dan deteksi objek atau *marker*.
3. Deteksi *marker* atau fitur, dimana ditentukan *marker* atau fitur unik di lingkungan untuk menampilkan objek virtual.
4. Penentuan posisi dan orientasi, dimana dilakukan perhitungan posisi dan orientasi perangkat terhadap objek virtual.
5. *Rendering* grafis, dimana pada tahap ini menghasilkan grafis 3D objek virtual yang digabungkan dengan tampilan dunia nyata.
6. Interaksi pengguna, dimana melibatkan gestur, sentuhan atau pengenalan suara untuk berinteraksi dengan objek virtual
7. Pelacakan gerak, dimana pada tahap ini memastikan objek virtual tetap di posisi yang sesuai saat pengguna bergerak.
8. Perubahan dinamis, dimana objek virtual beradaptasi dengan perubahan lingkungan nyata.



Gambar 1. Prinsip Kerja Augmented Reality (AR)

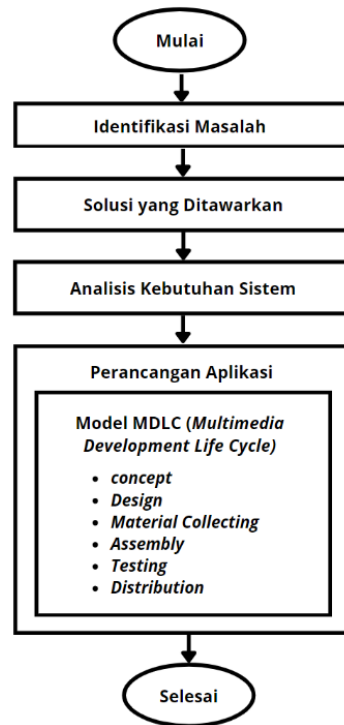
Augmented Reality (AR) dapat diterapkan melalui berbagai metode yang bergantung pada cara aplikasi mengenali dan menampilkan objek virtual di dunia nyata. Secara umum, terdapat dua metode utama dalam penerapan *Augmented Reality (AR)*, yaitu *Marker-based Tracking AR* dan *Markerless AR*. *Marker-based Tracking AR* adalah metode yang menggunakan *marker* fisik sebagai acuan untuk menampilkan objek virtual, sementara *Markerless AR* adalah metode yang tidak menggunakan *marker* fisik sebagai acuan untuk menampilkan objek virtual, melainkan objek virtual ditempatkan di lingkungan nyata [9].

Algoritma Advanced Encryption Standard (AES)

Algoritma *Advanced Encryption Standard (AES)* merupakan algoritma *cipher* yang digunakan untuk melindungi informasi yang sifatnya rahasia. Sejak tahun 2001, AES mengganti peran algoritma *Data Encryption Standard (DES)* yang sudah usang dan rentan terhadap serangan peretasan. AES menggunakan berbagai ukuran kunci, yakni 128 bit, 192 bit, dan 256 bit, yang mempengaruhi jumlah putaran dalam proses enkripsi dan dekripsi [6]. Dalam penelitian ini, digunakan AES 128 bit untuk melindungi data digital.

3. Metode Penelitian

Proses penelitian ini dilaksanakan secara bertahap dan berurutan dalam merancang aplikasi *Augmented Reality (AR)* sebagai media pembelajaran bangun ruang. Setiap tahapan penelitian dirancang untuk memastikan bahwa aplikasi yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan pengguna, yaitu siswa. Tahapan penelitian yang dilakukan dijelaskan secara rinci dalam gambar diagram dibawah ini.



Gambar 2. Alur penelitian

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dalam perancangan aplikasi media pembelajaran matematika berbasis *Augmented Reality* (AR) dilakukan melalui metode analisis *Framing*. Metode ini menyoroti aspek penting dari pembelajaran dan media untuk merumuskan solusi berdasarkan realita, kondisi ideal, penyebab serta pernyataan yang akan digunakan dalam perancangan aplikasi.

Tabel 1. Analisis Data Menggunakan Metode Framing

Realita	Ideal	Penyebab	Pernyataan
Metode pengajaran konvensional yang terbatas pada buku dan gambar statis kurang efektif dalam menggugah minat belajar dan pemahaman siswa terhadap materi bangun ruang	Pengajaran yang lebih interaktif dan menarik dengan memanfaatkan teknologi yang memungkinkan visualisasi bangun ruang secara lebih dinamis dan menyeluruh	Keterbatasan media dan metode pengajaran yang tidak memadai untuk memfasilitasi pemahaman konsep bangun ruang secara menyeluruh dan menarik siswa	Perlu untuk mengubah metode pengajaran yang konvensional terbatas pada buku dan gambar statis menjadi pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik bagi siswa
Siswa mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan objek-objek tiga dimensi hanya dari gambar-gambar datar yang disajikan di atas kertas	Siswa dapat memahami dan menginternalisasi konsep bangun ruang secara lebih baik melalui pengalaman visualisasi yang lebih dinamis dan interaktif	Kurangnya pengalaman visualisasi objek tiga dimensi dalam pembelajaran yang disajikan secara konvensional	Diperlukan media untuk meningkatkan kemampuan siswa dalam memvisualisasikan objek tiga dimensi melalui pengalaman visualisasi yang lebih dinamis dan interaktif
Pembelajaran bangun ruang cenderung kurang interaktif dan	Pembelajaran yang lebih interaktif, menyenangkan dan menantang bagi siswa sehingga dapat	Kurangnya penggunaan media dan metode pembelajaran yang menarik dan	Diperlukan cara untuk menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih interaktif,

menyenangkan bagi siswa sehingga tidak merangsang minat belajar mereka	merangsang minat belajar dan pemahaman mereka terhadap materi bangun ruang	interaktif dalam pengajaran bangun ruang	menyenangkan dan menantang bagi siswa dalam mempelajari materi bangun ruang
--	--	--	---

2. Solusi yang Ditawarkan

Setelah masalah teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah memberikan solusi. Solusi yang ditawarkan adalah merancang sebuah media pembelajaran berbasis *Augmented Reality (AR)* yang dirancag khusus untuk materi Bangun Ruang. Teknologi ini dipilih karena mampu memberikan visualisasi interaktif dan dinamis, sehingga dapat meningkatkan pemahaman konsep dimensi dan minat belajar siswa dibandingkan metode konvensional.

3. Analisis Kebutuhan Sistem

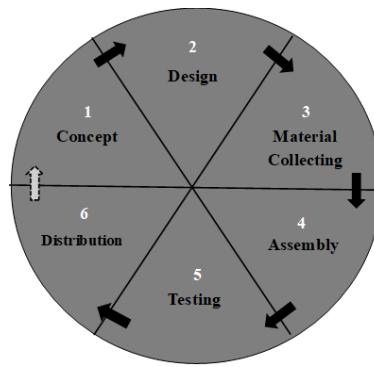
Setelah solusi ditawarkan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis kebutuhan sistem. Analisis ini bertujuan untuk menentukan fitur-fitur dan spesifikasi yang diperlukan agar aplikasi dapat memenuhi kebutuhan pembelajaran matematika di sekolah dasar. Berikut adalah analisis kebutuhan sistem ditinjau dari kebutuhan *Hardware* dan *Software* yang digunakan oleh peneliti.

Tabel 2. Analisis Kebutuhan Sistem

Kebutuhan	Jenis	Spesifikasi
Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	Perangkat <i>Mobile</i>	Model <i>Realme c15/Marine Blue</i>
		Prosesor <i>MediaTek, Helio G35</i>
		Resolusi Layar <i>720 x 1560 (6.5 inch)</i>
		OS <i>Android 10.0</i>
		Memory <i>4/64 GB</i>
	Komputer/Laptop	Kamera belakang (<i>13 MP</i>)
		Kamera depan (<i>5 MP</i>)
		Model <i>ASUS A516JAO-FHD3210/Transparent Silver</i>
		Prosesor <i>Intel Core i3-1005G1 (Up To 3.4 GHz, 2 Core, 4 Threads)</i>
		RAM <i>4GB DDR4</i>
Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	Penyimpanan <i>256GB NVMe SSD</i>	
	OS <i>Windows 11 + Office Home & Student 2021</i>	
	<i>Unity Engine</i>	Versi <i>2022.3.21f1</i>
	<i>Vuforia SDK</i>	Versi <i>10.25.4</i>
	<i>Visual Studio Code</i>	Versi <i>1.2.5</i>
	<i>Blender</i>	Versi <i>4.0</i>
	<i>Canva</i>	-

4. Model Perancangan Aplikasi

Model perancangan yang dijadikan landasan dalam penelitian ini adalah model perancangan yang dikembangkan oleh Luther-Sutopo, yaitu *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)*. *Multimedia*



Gambar 3. Model Perancangan MDLC

Development Life Cycle (MDLC) yaitu siklus pengembangan produk multimedia yang dimulai dengan analisis produk, pengembangan produk, dan tahap peluncuran [10].

Dalam metode ini terdapat enam tahapan, yaitu Konsep (*Concept*), Perancangan (*Design*), Pengumpulan Bahan (*Material Collecting*), Pembuatan (*Assembly*), Pengujian (*Testing*), dan Distribusi (*Distribution*). Berikut adalah penjelasan setiap tahapan.

a) Konsep (*Concept*)

Tahap konsep dalam MDLC bertujuan untuk menentukan nama, tujuan pembuatan aplikasi dan mengidentifikasi audiensnya. Rumusan konsep dari aplikasi ini adalah sebagai berikut.

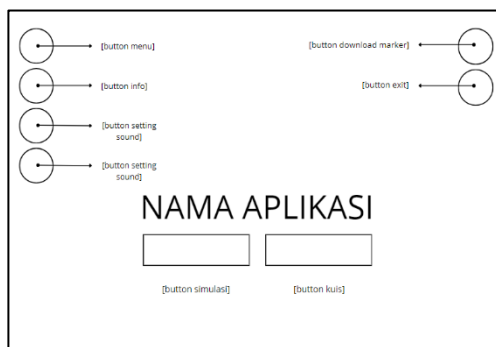
Tabel 3. Rumusan Konsep Aplikasi

Konsep	Deskripsi
Nama Aplikasi	EXPLORUANG (gabungan kata “Explorasi” dan “Ruang” yang mencerminkan tujuan edukatif, proses ekplorasi dan fokus pada konsep bangun ruang
Sasaran Pengguna	Anak-anak usia 10 tahun ke atas dan pengajar
Tujuan	Membantu eksplorasi bangun ruang secara interaktif dan menarik
Teknologi	Berbasis <i>Augmented Reality (AR)</i> dengan metode <i>marker-based tracking</i>

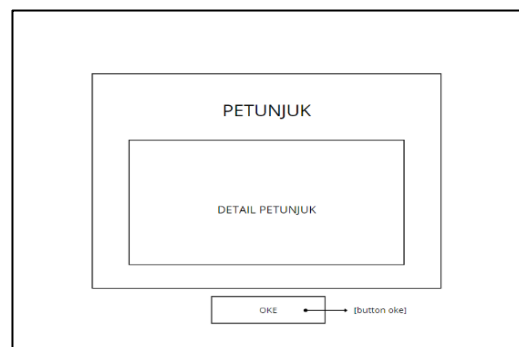
b) Perancangan (*Design*)

1. Antarmuka Pengguna (*UI*)

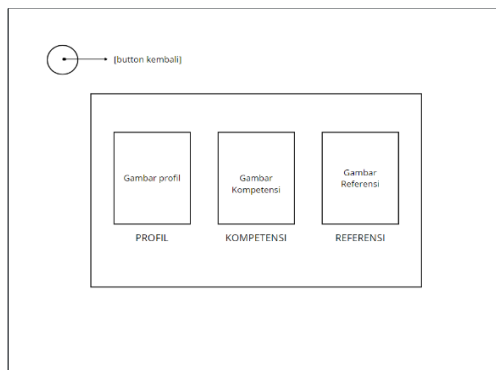
Dalam bagian ini, rancangan antarmuka pengguna aplikasi disajikan dalam bentuk *Storyboard* berdasarkan tahap pengonsepan yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut adalah desain tampilan *UI*.



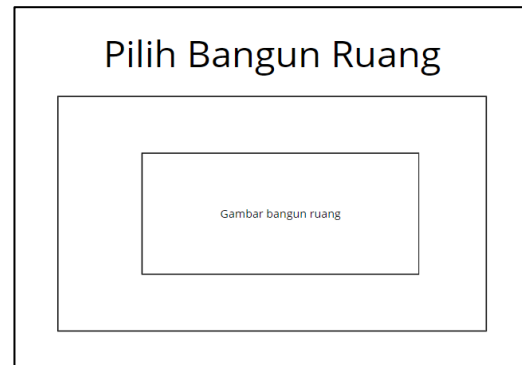
Gambar 4. *Storyboard* Menu Utama



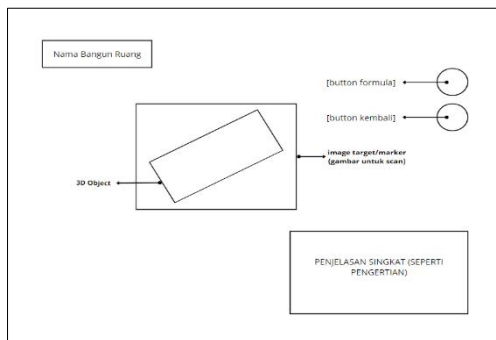
Gambar 5. *Storyboard* Petunjuk



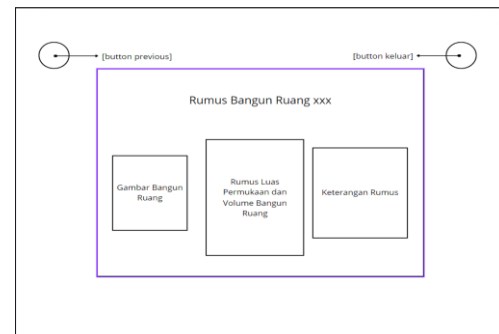
Gambar 6. Storyboard Informasi



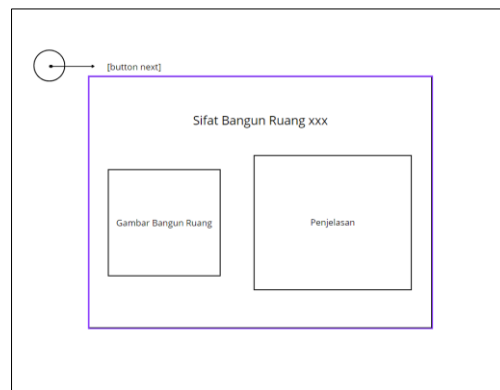
Gambar 7. Storyboard Simulasi



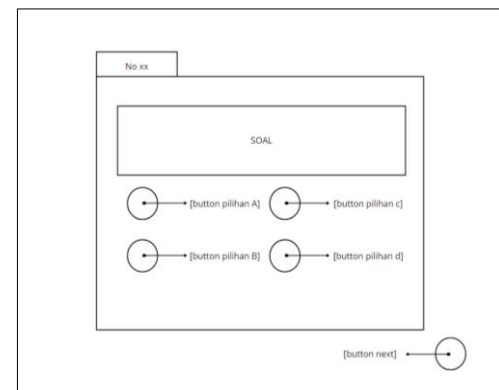
Gambar 8. Storyboard AR



Gambar 9. Storyboard Rumus



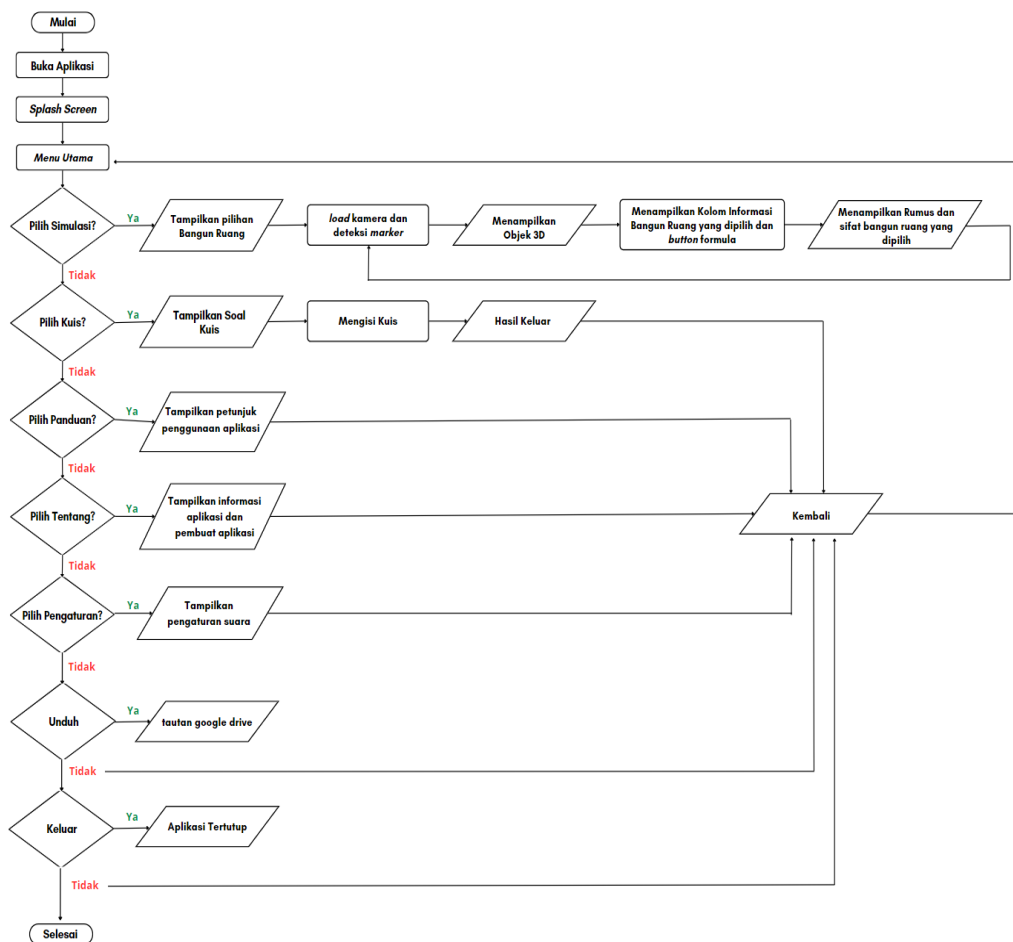
Gambar 10. Storyboard Sifat



Gambar 11. Storyboard Kuis

2. Flowchart

Flowchart merupakan penggambaran secara grafik dari langkah-langkah dan urutan prosedur suatu program. *Flowchart* dapat digunakan untuk menyajikan kegiatan manual, kegiatan pemrosesan ataupun keduanya [11]. Berikut ini adalah *flowchart* aplikasi media pembelajaran Bangun Ruang berbasis *Augmented Reality (AR)*.



Gambar 12. Flowchart Aplikasi Media Pembelajaran Bangun Ruang Berbasis Augmented Reality (AR)

a) Pengumpulan Bahan (*Material Collecting*)

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan bahan untuk membuat aplikasi. Bahan terdiri dari *assets* 3D yang dirancang melalui aplikasi *Blender* dan *assets* tampilan antarmuka (*UI*) dan elemen pendukung lainnya menggunakan aplikasi *Canva*.

b) Pembuatan (*Assembly*)

Pada tahap ini dilakukan perancangan yang dimulai dari proses penggabungan *UI* beserta elemen pendukung lainnya dan melakukan pengkodean. Proses penggabungan *UI* dan elemen pendukung lainnya menggunakan aplikasi *Unity Editor* dengan membuat tiap *scene* sesuai dengan tampilan *UI* yang dirancang.

Setelah merancang tampilan tiap *scene*, langkah selanjutnya adalah melakukan pengkodean. Untuk membuat beberapa elemen pendukung berfungsi dengan baik, maka diperlukan *script*. Dalam pengkodean, digunakan bahasa pemrograman *C#*.

c) Pengujian (*Testing*)

Setelah aplikasi selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memastikan bahwa aplikasi berjalan sesuai dengan yang diharapkan sebelum didistribusikan. Pengujian ini akan dilakukan menggunakan metode *Blackbox Testing*, yaitu pengujian yang dilakukan sepenuhnya dengan hanya menilai kebutuhan dan spesifikasi *Software*. Artinya, pengujian ini cukup dengan meninjau suatu *input* dan *output* sistem tersebut tanpa mengetahui internal dari suatu program tersebut.

Berikut adalah tabel pengujian *blackbox*:

Tabel 4. Pengujian Blackbox

ID uji	Deskripsi pengujian	Input	Output yang diharapkan
TC001	Instalasi APK	File APK	Aplikasi berhasil diinstal tanpa <i>error</i>
TC002	Membuka aplikasi setelah instalasi	Klik ikon aplikasi	Aplikasi terbuka dan menampilkan <i>Splashscreen</i> , <i>loading</i> dan menu utama

TC003	Musik latar belakang terdengar di menu utama	Akses menu utama	Musik latar belakang terdengar di menu utama
TC004	Suara kecil terdengar saat tombol di klik	Klik tombol	Suara kecil terdengar saat tombol di klik
TC005	Memunculkan menu <i>Dropdown</i> saat tombol <i>Dropdown</i> diklik	Klik tombol menu <i>Dropdown</i>	Menu <i>Dropdown</i> muncul dengan tiga tombol berderet ke bawah: "i", "Sound", dan "tanda tanya"
TC006	Menampilkan halaman "Tentang" Menggunakan tombol simbol "i" dari menu <i>Dropdown</i>	Klik tombol simbol "i" di menu <i>Dropdown</i>	Halaman "Tentang" ditampilkan dengan benar
TC007	Menampilkan halaman <i>Pop-up</i> "Profil" Menggunakan tombol simbol "avatar"	Klik tombol simbol "avatar" di halaman "Profil"	Halaman <i>Pop-up</i> "Profil" menampilkan informasi yang benar
TC008	Mengklik tombol " <i>Email</i> " dengan simbol "surat" mengarah ke <i>Google Mail</i>	Klik tombol " <i>Email</i> " dengan simbol "surat" di halaman <i>Pop-up</i> "Profil"	Pengguna diarahkan ke tautan alamat <i>Google Mail</i> yang dituju
TC009	Mengklik tombol dengan logo " <i>Instagram</i> " mengarah ke tautan Instagram	Klik tombol dengan logo " <i>Instagram</i> " di halaman <i>Pop-up</i> "Profil"	Pengguna diarahkan ke tautan Instagram yang dituju
TC010	Mengklik tombol dengan logo " <i>LinkedIn</i> " mengarah ke tautan Instagram	Klik tombol dengan logo " <i>LinkedIn</i> " di halaman <i>Pop-up</i> "Profil"	Pengguna diarahkan ke tautan LinkedIn yang dituju
TC011	Menampilkan halaman <i>Pop-up</i> "Kompetensi" Menggunakan tombol simbol "papan list"	Klik tombol simbol "papan list" di halaman "Profil"	Halaman <i>Pop-up</i> "Kompetensi" menampilkan informasi yang benar
TC012	Menampilkan halaman <i>Pop-up</i> "Referensi" Menggunakan tombol simbol "buku"	Klik tombol simbol "buku" di halaman "Profil"	Halaman <i>Pop-up</i> "Referensi" menampilkan informasi yang benar
TC013	Kembali ke menu utama setelah mengklik tombol simbol "panah kiri"	Klik tombol simbol "panah kiri" di halaman "Tentang"	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar
TC014	Menampilkan halaman "Panduan" Menggunakan tombol simbol "tanda tanya"	Klik tombol simbol "tanda tanya" di menu <i>Dropdown</i>	Halaman "Panduan" Menampilkan informasi yang benar
TC015	Kembali ke menu utama setelah mengklik tombol simbol "panah kiri"	Klik tombol simbol "panah kiri" di halaman "Panduan"	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar
TC016	Mengklik tombol " <i>Sound</i> " dari menu <i>Dropdown</i>	Klik tombol " <i>Sound</i> " di menu <i>Dropdown</i>	Suara diaktifkan atau dimatikan sesuai dengan status tombol
TC017	Mengklik tombol " <i>Download</i> " dengan simbol "panah bawah" mengarah ke <i>Google Drive</i>	Klik tombol " <i>Download</i> " dengan simbol "panah bawah" di halaman "Menu Utama"	Pengguna diarahkan ke tautan <i>Google Drive</i> yang dituju
TC018	Mengklik tombol "Keluar" dengan simbol "silang"	Klik tombol simbol "silang" di halaman "Menu Utama"	Dialog konfirmasi muncul dengan opsi "Ya" dan "Tidak"
TC019	Memilih opsi "Ya" pada dialog konfirmasi keluar aplikasi	Klik tombol "Keluar" dan pilih "Ya" pada dialog konfirmasi	Aplikasi keluar dan menutup dengan benar
TC020	Memilih opsi "Tidak" pada dialog konfirmasi kembali ke menu utama	Klik tombol "Keluar" dan pilih "Tidak" pada dialog konfirmasi	Aplikasi kembali ke menu utama dan tidak menutup

TC021	Menampilkan halaman "Pilih Bangun Ruang"	Klik tombol "Simulasi"	Halaman "Pilih Bangun Ruang" ditampilkan
TC022	Menggeser ke kanan untuk memilih bangun ruang	Geser <i>slide</i> ke kanan	Bangun ruang selanjutnya ditampilkan
TC023	Memilih bangun ruang yang diinginkan untuk diarahkan ke halaman "AR"	Klik pada bangun ruang yang diinginkan	Arahkan ke halaman "AR" dengan bangun ruang yang dipilih
TC024	Kembali ke menu utama setelah mengklik tombol simbol "panah kiri"	Klik tombol simbol "panah kiri" di halaman "Pilih Bangun Ruang"	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar
TC025	Musik latar belakang terdengar di halaman "AR"	Akses halaman "AR"	Musik latar belakang terdengar di halaman "AR"
TC026	Memastikan kamera berfungsi dengan baik	Akses halaman "AR"	Kamera aktif dan dapat digunakan
TC027	Memastikan kamera dapat meng- <i>scan Image Target</i>	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	<i>3D image</i> ditampilkan dan dikenali kamera
TC028	Menampilkan deskripsi dan nama bangun ruang ketika <i>3D image</i> muncul	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	Deskripsi dan nama bangun ruang muncul bersamaan dengan <i>3D image</i>
TC029	Memastikan suara menyebutkan jenis bangun ruang saat <i>3D image</i> muncul	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	Suara menyebutkan jenis bangun ruang sesuai dengan yang ditampilkan
TC030	Memastikan sinkronisasi antara munculnya <i>3D image</i> , tombol "Formula", deskripsi, nama, dan suara	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	<i>3D image</i> , tombol "Formula", deskripsi, nama bangun ruang, dan suara muncul dan terdengar secara bersamaan
TC031	Kembali ke halaman "Pilih Bangun Ruang"	Klik tombol "Kembali" dengan simbol "OFF" di halaman "AR"	Halaman "Pilih Bangun Ruang" ditampilkan kembali
TC032	Tombol "Formula" mengarahkan ke halaman "Rumus Bangun Ruang"	Klik tombol "Formula" di halaman "AR"	Arahkan ke halaman "Rumus Bangun Ruang" yang dipilih
TC033	Tombol "Next" mengarahkan ke halaman "Sifat Bangun Ruang"	Klik tombol "Next" di halaman halaman "Sifat Bangun Ruang"	Arahkan ke halaman "Sifat Bangun Ruang" yang dipilih
TC034	Tombol "Back" kembali ke halaman rumus bangun ruang	Klik tombol "Back" dengan simbol "panah kiri" di halaman "Sifat Bangun Ruang"	Kembali ke halaman "Rumus Bangun Ruang"
TC035	Kembali ke halaman "AR" setelah mengklik tombol "Home" dengan simbol "Rumah"	Klik tombol "Home" dengan simbol "rumah" di halaman "Sifat Bangun Ruang"	Kembali ke halaman "AR"
TC036	Mengarah ke halaman utama kuis	Klik tombol "Quiz"	Halaman utama kuis ditampilkan
TC037	Musik latar belakang terdengar saat menu utama kuis ditampilkan	Klik tombol "Quiz"	Musik latar belakang terdengar saat menu utama kuis ditampilkan
TC038	Memunculkan <i>Pop-up Welcome</i> dengan tombol simbol "Notifikasi"	Klik tombol simbol "Notifikasi"	<i>Pop-up Welcome</i> muncul
TC039	Menutup <i>Pop-up Welcome</i>	Klik tombol "Tutup" di <i>Pop-up</i>	<i>Pop-up Welcome</i> tertutup dan menampilkan halaman utama kuis

TC040	Memunculkan <i>Pop-up</i> Panduan dengan tombol simbol “Tanda Tanya”	Klik tombol simbol “Tanda Tanya”	<i>Pop-up</i> Panduan muncul
TC041	Menutup <i>Pop-up</i> Panduan	Klik tombol "Tutup" di <i>Pop-up</i>	<i>Pop-up</i> Panduan tertutup dan menampilkan halaman utama kuis
TC042	Mengarah ke halaman “Mulai Kuis”	Klik tombol "Play"	Halaman kuis ditampilkan dan kuis dimulai
TC043	Musik latar belakang terdengar saat kuis berjalan	Klik tombol "Play"	Musik latar belakang terdengar saat kuis berjalan
TC044	Menambah skor 10 jika menjawab benar	Jawab soal dengan benar	Skor bertambah 10 dan suara "HEBAT" muncul
TC045	Memunculkan suara "OOH" jika menjawab salah	Jawab soal dengan salah	Suara "OOH" muncul dan skor tidak berubah
TC046	Memastikan soal pilihan berganda memicu reaksi suara	Pilih jawaban A, B, atau C	Reaksi suara sesuai dengan jawaban (benar/salah)
TC047	Muncul dialog konfirmasi untuk mengulang kuis atau kembali ke menu utama kuis	Pilih "Ya" atau "Tidak" pada dialog konfirmasi	Jika "Ya", score direset ke nol dan kuis dimulai ulang; jika "Tidak", kembali ke menu utama kuis
TC048	Kembali ke menu utama kuis	Klik tombol "Kembali"	Kembali ke menu utama

f) Distribusi (*Distribution*)

Setelah aplikasi berhasil melewati tahap pengujian dan dipastikan bebas dari *bug* atau kesalahan yang signifikan, langkah selanjutnya adalah distribusi. Pada tahap ini, aplikasi akan dipersiapkan untuk didistribusikan kepada pengguna akhir dalam bentuk file *APK* (*Android Package Kit*).

4. Hasil Penelitian Hasil Perancangan

Berikut ini adalah hasil akhir tampilan yang sudah di *build* menjadi aplikasi.



Gambar 13. Tampilan Pembuka



Gambar 14. Tampilan Menu Utama



Gambar 15. Tampilan Tentang



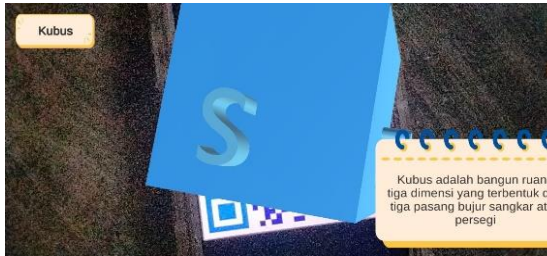
Gambar 16. Tampilan Petunjuk



Gambar 17. Tampilan Simulasi



Gambar 18. Tampilan AR sebelum meng-scan marker



Gambar 19. Tampilan AR setelah meng-scan marker



Gambar 20. Tampilan Rumus



Gambar 21. Tampilan Sifat



Gambar 22. Tampilan Menu Utama Kuis



Gambar 23. Tampilan Awal Kuis



Gambar 24. Tampilan Akhir Kuis

Hasil Pengujian Aplikasi

Hasil pengujian aplikasi dengan *Blackbox Testing* adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Blackbox

ID Uji	Deskripsi Pengujian	Input	Output yang diharapkan	Output Aktual	Lulus (✓)/Gagal (X)
TC001	Instalasi APK	File APK	Aplikasi berhasil diinstal tanpa error	Aplikasi berhasil diinstal tanpa error	✓
TC002	Membuka aplikasi setelah instalasi	Klik ikon aplikasi	Aplikasi terbuka dan menampilkan <i>Splashscreen</i> , <i>loading</i> dan menu utama	Aplikasi terbuka dan menampilkan <i>Splashscreen</i> , <i>loading</i> dan menu utama	✓
TC003	Musik latar belakang terdengar di menu utama	Akses menu utama	Musik latar belakang terdengar di menu utama	Musik latar belakang terdengar di menu utama	✓

TC004	Suara kecil terdengar saat tombol di klik	Klik tombol	Suara kecil terdengar saat tombol di klik	Suara kecil terdengar saat tombol di klik	✓
TC005	Memunculkan menu <i>Dropdown</i> saat tombol <i>Dropdown</i> diklik	Klik tombol menu <i>Dropdown</i>	Menu <i>Dropdown</i> muncul dengan tiga tombol berderet ke bawah: "i", "Sound", dan "tanda tanya"	Menu <i>Dropdown</i> muncul dengan tiga tombol berderet ke bawah: "i", "Sound", dan "tanda tanya"	✓
TC006	Menampilkan halaman "Tentang" Menggunakan tombol simbol "i" dari menu <i>Dropdown</i>	Klik tombol simbol "i" di menu <i>Dropdown</i>	Halaman "Tentang" ditampilkan dengan benar	Halaman "Tentang" ditampilkan dengan benar	✓
TC007	Menampilkan halaman <i>Pop-up</i> "Profil" Menggunakan tombol simbol "avatar"	Klik tombol simbol "avatar" di halaman "Profil"	Halaman <i>Pop-up</i> "Profil" menampilkan informasi yang benar	Halaman <i>Pop-up</i> "Profil" menampilkan informasi yang benar	✓
TC008	Mengklik tombol "Email" dengan simbol "surat" mengarah ke <i>Google Mail</i>	Klik tombol "Email" dengan simbol "surat" di halaman <i>Pop-up</i> "Profil"	Pengguna diarahkan ke tautan alamat <i>Google Mail</i> yang dituju	Pengguna diarahkan ke tautan alamat <i>Google Mail</i> yang dituju	✓
TC009	Mengklik tombol dengan logo "Instagram" mengarah ke tautan Instagram	Klik tombol dengan logo "Instagram" di halaman <i>Pop-up</i> "Profil"	Pengguna diarahkan ke tautan Instagram yang dituju	Pengguna diarahkan ke tautan Instagram yang dituju	✓
TC010	Mengklik tombol dengan logo "LinkedIn" mengarah ke tautan Instagram	Klik tombol dengan logo "LinkedIn" di halaman <i>Pop-up</i> "Profil"	Pengguna diarahkan ke tautan LinkedIn yang dituju	Pengguna diarahkan ke tautan LinkedIn yang dituju	✓
TC011	Menampilkan halaman <i>Pop-up</i> "Kompetensi" Menggunakan tombol simbol "papan list"	Klik tombol simbol "papan list" di halaman "Profil"	Halaman <i>Pop-up</i> "Kompetensi" menampilkan informasi yang benar	Halaman <i>Pop-up</i> "Kompetensi" menampilkan informasi yang benar	✓
TC012	Menampilkan halaman <i>Pop-up</i> "Referensi"	Klik tombol simbol "buku" di halaman "Profil"	Halaman <i>Pop-up</i> "Referensi" menampilkan informasi yang benar	Halaman <i>Pop-up</i> "Referensi" menampilkan informasi yang benar	✓

	Menggunakan tombol simbol "buku"				
TC013	Kembali ke menu utama setelah mengklik tombol simbol "panah kiri"	Klik tombol simbol "panah kiri" di halaman "Tentang"	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar	✓
TC014	Menampilkan halaman "Panduan" Menggunakan tombol simbol "tanda tanya"	Klik tombol simbol "tanda tanya" di menu <i>Dropdown</i>	Halaman "Panduan" Menampilkan informasi yang benar	Halaman "Panduan" Menampilkan informasi yang benar	✓
TC015	Kembali ke menu utama setelah mengklik tombol simbol "panah kiri"	Klik tombol simbol "panah kiri" di halaman "Panduan"	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar	✓
TC016	Mengklik tombol "Sound" dari menu <i>Dropdown</i>	Klik tombol "Sound" di menu <i>Dropdown</i>	Suara diaktifkan atau dimatikan sesuai dengan status tombol	Suara diaktifkan atau dimatikan sesuai dengan status tombol	✓
TC017	Mengklik tombol "Download" dengan simbol "panah bawah" mengarah ke <i>Google Drive</i>	Klik tombol "Download" dengan simbol "panah bawah" di halaman "Menu Utama"	Pengguna diarahkan ke tautan <i>Google Drive</i> yang dituju	Pengguna diarahkan ke tautan <i>Google Drive</i> yang dituju	✓
TC018	Mengklik tombol "Keluar" dengan simbol "silang"	Klik tombol simbol "silang" di halaman "Menu Utama"	Dialog konfirmasi muncul dengan opsi "Ya" dan "Tidak"	Dialog konfirmasi muncul dengan opsi "Ya" dan "Tidak"	✓
TC019	Memilih opsi "Ya" pada dialog konfirmasi keluar aplikasi	Klik tombol "Keluar" dan pilih "Ya" pada dialog konfirmasi	Aplikasi keluar dan menutup dengan benar	Aplikasi keluar dan menutup dengan benar	✓
TC020	Memilih opsi "Tidak" pada dialog konfirmasi kembali ke menu utama	Klik tombol "Keluar" dan pilih "Tidak" pada dialog konfirmasi	Aplikasi kembali ke menu utama dan tidak menutup	Aplikasi kembali ke menu utama dan tidak menutup	✓
TC021	Menampilkan halaman "Pilih Bangun Ruang"	Klik tombol "Simulasi"	Halaman "Pilih Bangun Ruang" ditampilkan	Halaman "Pilih Bangun Ruang" ditampilkan	✓
TC022	Menggeser ke kanan untuk memilih bangun ruang	Geser <i>slide</i> ke kanan	Bangun ruang selanjutnya ditampilkan	Bangun ruang selanjutnya ditampilkan	✓

TC023	Memilih bangun ruang yang diinginkan untuk diarahkan ke halaman "AR"	Klik pada bangun ruang yang diinginkan	Arahkan ke halaman "AR" dengan bangun ruang yang dipilih	Arahkan ke halaman "AR" dengan bangun ruang yang dipilih	✓
TC024	Kembali ke menu utama setelah mengklik tombol simbol "panah kiri"	Klik tombol simbol "panah kiri" di halaman "Pilih Bangun Ruang"	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar	Menu utama ditampilkan kembali dengan benar	✓
TC025	Musik latar belakang terdengar di halaman "AR"	Akses halaman "AR"	Musik latar belakang terdengar di halaman "AR"	Musik latar belakang terdengar di halaman "AR"	✓
TC026	Memastikan kamera berfungsi dengan baik	Akses halaman "AR"	Kamera aktif dan dapat digunakan	Kamera aktif dan dapat digunakan	✓
TC027	Memastikan kamera dapat meng- <i>scan Image Target</i>	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	<i>3D image</i> ditampilkan dan dikenali kamera	<i>3D image</i> ditampilkan dan dikenali kamera	✓
TC028	Menampilkan deskripsi dan nama bangun ruang ketika <i>3D image</i> muncul	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	Deskripsi dan nama bangun ruang muncul bersamaan dengan <i>3D image</i>	Deskripsi dan nama bangun ruang muncul bersamaan dengan <i>3D image</i>	✓
TC029	Memastikan suara menyebutkan jenis bangun ruang saat <i>3D image</i> muncul	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	Suara menyebutkan jenis bangun ruang sesuai dengan yang ditampilkan	Suara menyebutkan jenis bangun ruang sesuai dengan yang ditampilkan	✓
TC030	Memastikan sinkronisasi antara munculnya <i>3D image</i> , tombol "Formula", deskripsi, nama, dan suara	Arahkan kamera ke <i>Image Target</i>	<i>3D image</i> , tombol "Formula", deskripsi, nama bangun ruang, dan suara muncul dan terdengar secara bersamaan	<i>3D image</i> , tombol "Formula", deskripsi, nama bangun ruang, dan suara muncul dan terdengar secara bersamaan	✓
TC031	Kembali ke halaman "Pilih Bangun Ruang"	Klik tombol "Kembali" dengan simbol "OFF" di halaman "AR"	Halaman "Pilih Bangun Ruang" ditampilkan kembali	Halaman "Pilih Bangun Ruang" ditampilkan kembali	✓
TC032	Tombol "Formula" mengarahkan ke halaman "Rumus Bangun Ruang"	Klik tombol "Formula" di halaman "AR"	Arahkan ke halaman "Rumus Bangun Ruang" yang dipilih	Arahkan ke halaman "Rumus Bangun Ruang" yang dipilih	✓

TC033	Tombol "Next" mengarahkan ke halaman "Sifat Bangun Ruang"	Klik tombol "Next" di halaman halaman "Sifat Bangun Ruang"	Arahkan ke halaman "Sifat Bangun Ruang" yang dipilih	Arahkan ke halaman "Sifat Bangun Ruang" yang dipilih	✓
TC034	Tombol "Back" kembali ke halaman rumus bangun ruang	Klik tombol "Back" dengan simbol "panah kiri" di halaman "Sifat Bangun Ruang"	Kembali ke halaman "Rumus Bangun Ruang"	Kembali ke halaman "Rumus Bangun Ruang"	✓
TC035	Kembali ke halaman "AR" setelah mengklik tombol "Home" dengan simbol "Rumah"	Klik tombol "Home" dengan simbol "rumah" di halaman "Sifat Bangun Ruang"	Kembali ke halaman "AR"	Kembali ke halaman "AR"	✓
TC036	Mengarah ke halaman utama kuis	Klik tombol "Quiz"	Halaman utama kuis ditampilkan	Halaman utama kuis ditampilkan	✓
TC037	Musik latar belakang terdengar saat menu utama kuis ditampilkan	Klik tombol "Quiz"	Musik latar belakang terdengar saat menu utama kuis ditampilkan	Musik latar belakang terdengar saat menu utama kuis ditampilkan	✓
TC038	Memunculkan <i>Pop-up Welcome</i> dengan tombol simbol "Notifikasi"	Klik tombol simbol "Notifikasi"	<i>Pop-up Welcome</i> muncul	<i>Pop-up Welcome</i> muncul	✓
TC039	Menutup <i>Pop-up Welcome</i>	Klik tombol "Tutup" di <i>Pop-up</i>	<i>Pop-up Welcome</i> tertutup dan menampilkan halaman utama kuis	<i>Pop-up Welcome</i> tertutup dan menampilkan halaman utama kuis	✓
TC040	Memunculkan <i>Pop-up Panduan</i> dengan tombol simbol "Tanda Tanya"	Klik tombol simbol "Tanda Tanya"	<i>Pop-up Panduan</i> muncul	<i>Pop-up Panduan</i> muncul	✓
TC041	Menutup <i>Pop-up Panduan</i>	Klik tombol "Tutup" di <i>Pop-up</i>	<i>Pop-up Panduan</i> tertutup dan menampilkan halaman utama kuis	<i>Pop-up Panduan</i> tertutup dan menampilkan halaman utama kuis	✓
TC042	Mengarah ke halaman "Mulai Kuis"	Klik tombol "Play"	Halaman kuis ditampilkan dan kuis dimulai	Halaman kuis ditampilkan dan kuis dimulai	✓
TC043	Musik latar belakang terdengar saat kuis berjalan	Klik tombol "Play"	Musik latar belakang terdengar saat kuis berjalan	Musik latar belakang terdengar saat kuis berjalan	✓

TC044	Menambah skor 10 jika menjawab benar	Jawab soal dengan benar	Skor bertambah 10 dan suara "HEBAT" muncul	Skor bertambah 10 dan suara "HEBAT" muncul	✓
TC045	Memunculkan suara "OOH" jika menjawab salah	Jawab soal dengan salah	Suara "OOH" muncul dan skor tidak berubah	Suara "OOH" muncul dan skor tidak berubah	✓
TC046	Memastikan soal pilihan berganda memicu reaksi suara	Pilih jawaban A, B, atau C	Reaksi suara sesuai dengan jawaban (benar/salah)	Reaksi suara sesuai dengan jawaban (benar/salah)	✓
TC047	Muncul dialog konfirmasi untuk mengulang kuis atau kembali ke menu utama kuis	Pilih "Ya" atau "Tidak" pada dialog konfirmasi	Jika "Ya", score direset ke nol dan kuis dimulai ulang; jika "Tidak", kembali ke menu utama kuis	Jika "Ya", score direset ke nol dan kuis dimulai ulang; jika "Tidak", kembali ke menu utama kuis	✓
TC048	Kembali ke menu utama kuis	Klik tombol "Kembali"	Kembali ke menu utama	Kembali ke menu utama	✓

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian aplikasi, dapat disimpulkan bahwa aplikasi ini berhasil memenuhi tujuan utamanya dengan baik. Pengujian menunjukkan bahwa semua fitur aplikasi berfungsi dengan optimal dan tidak ditemukan adanya bug atau kesalahan yang mengganggu. Aplikasi ini telah dirancang dengan antarmuka yang ramah anak dan menyediakan simulasi bangun ruang serta kuis interaktif yang mendukung pembelajaran matematika dengan cara yang menarik. Aplikasi ini siap didistribusikan kepada pengguna dalam bentuk file APK (Android Package Kit).

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar aplikasi ini dilengkapi dengan lebih banyak fitur, seperti penambahan variasi soal kuis, lebih banyak bentuk bangun ruang, dan mode simulasi yang lebih interaktif. Meskipun aplikasi telah berfungsi dengan baik, optimalisasi performa khususnya pada perangkat dengan spesifikasi rendah bisa menjadi fokus pengembangan selanjutnya. Hal ini penting untuk memastikan aplikasi berjalan lancar di berbagai perangkat. Untuk menjangkau lebih banyak pengguna, disarankan agar aplikasi ini dikembangkan untuk platform lain seperti iOS dan juga dipromosikan secara lebih luas, baik melalui media sosial maupun platform pembelajaran. Melakukan implementasi aplikasi di lingkungan sekolah untuk mendapatkan umpan balik dari pengguna nyata. Evaluasi langsung di lapangan akan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang efektivitas aplikasi dan area yang perlu diperbaiki.

6. Daftar Pustaka

- [1] B. Setyawan, Nf. Rufii, and Ach. N. Fatirul, "AUGMENTED REALITY DALAM PEMBELAJARAN IPA BAGI SISWA SD," *Kwangsan: Jurnal Teknologi Pendidikan*, vol. 7, no. 1, pp. 78–90, Jul. 2019, doi: 10.31800/jtp.kw.v7n1.p78--90.
- [2] N. Alfutriani, W. A. Maula, and A. Hadiapurwa, "Penggunaan Media Augmented Reality dalam Pembelajaran Mengenal Bentuk Rupa Bumi," *Jurnal Penelitian Pendidikan*, vol. 38, no. 1, pp. 30–38, 2021.
- [3] E. D. Utari and Syarifuddin, *MEDIA PEMBELAJARAN (DARI MASA KONVENSIONAL HINGGA MASA DIGITAL)*, vol. 1. Palembang: Bening Media Publishing, 2022. [Online]. Available: www.bening-mediapublishing.com
- [4] S. Lestari, "PEMBELAJARAN DARING PADA MATA PELAJARAN MATEMATIKA SEKOLAH DASAR," *JMIE (Journal of Madrasah Ibtidaiyah Education)*, vol. 5, no. 1, p. 141, Jun. 2021, doi: 10.32934/jmie.v5i1.226.
- [5] I. Mahartika *et al.*, *Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality*. Yayasan Kita Menulis, 2023.

- [6] P. Aprillianti and W. Wiratsiwi, "PENGEMBANGAN E-BOOK DENGAN APLIKASI BOOK CREATOR PADA MATERI BANGUN RUANG UNTUK SISWA KELAS V SEKOLAH DASAR," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, vol. 6, no. 1, pp. 80–88, 2021, [Online]. Available: <http://prosiding.unirow.ac.id/index.php/SNasPPM>
- [7] S. Inayah *et al.*, "SOSIALISASI PENGGUNAAN TEKNOLOGI VIRTUAL REALITY DAN AUGMENTED REALITY DALAM PEMBELAJARAN UNTUK MENYONGSONG ERA METAVERSE," 2022.
- [8] T. V. Pharausia, T. Afirianto, and F. Amalia, "Penerapan Teknologi Augmented Reality Dalam Pengenalan Struktur Hardware Komputer Pada Media Pembelajaran Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa SMK TKJ," *Fountain of Informatics Journal*, vol. 7, no. 1, p. 38, Dec. 2021, doi: 10.21111/fij.v7i1.6432.
- [9] C. O. Karundeng, D. J. . Mamahit, and B. A. Sugiarto, "Rancang Bangun Aplikasi Pengenalan Satwa Langka di Indonesia Menggunakan Augmented Reality," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2018, doi: <https://doi.org/10.35793/jti.13.1.2018.20852>.
- [10] R. Roedavan, B. Pudjoatmodjo, and A. Putri Sujana, "MULTIMEDIA DEVELOPMENT LIFE CYCLE (MDLC)," 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.16273.92006.
- [11] I. Budiman, S. Saori, R. Anwar, Fitriani, and M. Pangestu, "ANALISIS PENGENDALIAN MUTU DI BIDANG INDUSTRI MAKANAN (Studi Kasus: UMKM Mochi Kaswari Lampion Kota Sukabumi)," *Jurnal Inovasi Penelitian*, vol. 1, no. 0.1101/2021.02.25.432866, 2021..