

# Pengembangan *Puzzle* Dengan *Augmented Reality* Untuk Pembelajaran Bangun Ruang Siswa Sekolah Dasar

Tedi Nizar Afrida <sup>1)</sup>, Dinan Yulianto <sup>2)\*</sup>

*S1 Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan* <sup>1), 2)</sup>  
[tedi1800018017@webmail.uad.ac.id](mailto:tedi1800018017@webmail.uad.ac.id) <sup>1)</sup>, [dinan.yulianto@tif.uad.ac.id](mailto:dinan.yulianto@tif.uad.ac.id) <sup>2\*)</sup>

## Abstrak

*Proses pembelajaran matematika pada salah satu sekolah dasar negeri belum optimal yang ditandai dengan hasil uji pemahaman siswa pada materi bangun ruang memperoleh nilai dibawah Kriteria Ketuntasan Minimal sebesar 68,00. Pembelajaran secara konvensional tanpa menggunakan alat peraga juga membuat siswa bersifat pasif. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan media pembelajaran konvensional dengan media pembelajaran berbasis teknologi Augmented Reality (AR) pada gawai pintar dengan sistem operasi Android. Penelitian ini akan mengembangkan sebuah puzzle dengan augmented reality menggunakan metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) untuk pembelajaran bangun ruang siswa sekolah dasar. Metode MDLC terdiri dari penyusunan konsep, perancangan, pengumpulan bahan, pembuatan, pengujian, dan pendistribusian. Hasil media puzzle berbasis teknologi AR dari penelitian ini dilakukan pengujian berdasarkan pendekatan kemampuan pendeteksian marker dan pelacakan marker. Hasil pengujian pada proses pendeteksian marker untuk menampilkan objek virtual membutuhkan waktu kurang dari satu detik, jarak pendeteksian rentang 10 cm sampai 86 cm, dan sudut pendeteksian rentang 27° sampai 90°. Hasil pengujian pelacakan marker jarak pelacakan rentang 10 cm sampai 112 cm, sudut pelacakan rentang 2° sampai 90°. Hasil pengujian pendeteksian dan pelacakan marker dapat dilakukan dalam kondisi terhalang kurang dari 50%. Hasil pengujian secara mendalam oleh profesional juga mengidentifikasi media puzzle dan aplikasi sebagai media pembelajaran memenuhi validitas materi dan relevansi aspek usabilitas.*

**Kata kunci:** *Augmented Reality, Bangun Ruang, Multimedia Development Life Cycle, Puzzle*

## Abstract

*It found that the learning process in one of the public elementary schools was still not optimal, which was indicated by students' understanding results in the solid figure below the Minimum Completeness Criteria of 68.00. Moreover, conventional learning without learning media causes students to be passive during the learning process. This study aims to optimize conventional learning with learning media based on Augmented Reality (AR) technology on smart devices with the Android operating system. This study developed a puzzle with augmented reality using the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) method for learning solid figures for elementary school students. The MDLC method includes drafting, designing, collecting materials, manufacturing, testing, and distributing. The AR technology-based puzzle media from this study were tested based on the marker detection and marker tracking capabilities approach. The test results of the marker detection process to display virtual objects took less than one second, the detection distance ranged from 10 cm to 86 cm, and the detection angle ranged from 27° to 90°. The test results of the tracking marker obtained a tracking distance ranging from 10 cm to 112 cm, and a tracking angle ranging from 27° to 90°. Marker detection and tracking tests could be carried out in conditions of less than 50% obstruction. An in-depth evaluation conducted by experts also identified the puzzle and application as a learning medium that meets the usability criteria as well as the validity of the material.*

**Keywords:** *Augmented Reality, Solid Figures, Multimedia Development Life Cycle, Puzzle*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi semakin masif digunakan di era Industri 4.0 dan menginjak *Society 5.0* peran teknologi informasi juga digunakan pada beragam bidang kehidupan seperti pendidikan [1]. Perkembangan teknologi yang semakin masif belum merata dimanfaatkan pada proses pembe-

lajaran. Hasil observasi pada salah satu sekolah dasar negeri menghasilkan proses pembelajaran dilakukan secara konvensional dan pembelajaran bersifat pasif atau guru sebagai pusat pemberi materi. Hasil uji pemahaman siswa pada materi bangun ruang memperoleh nilai siswa di bawah Kriteria Ketuntasan Minimal yaitu sebesar 68,00. Hasil identifikasi ketercapaian nilai yang

rendah menjadi urgensi mengoptimalkan media pembelajaran konvensional berbentuk media pembelajaran berbasis teknologi. Implementasi suatu teknologi pada pendidikan dapat dikatakan sebagai upaya merevolusi pendidikan di masa kini.

Salah satu teknologi yang berpotensi merevolusi perkembangan pendidikan di Indonesia yaitu teknologi *Augmented Reality* (AR) [2]. Teknologi ini pertama kali dikenalkan oleh peneliti Azuma dalam pemaparan ilmiah dengan topik *A Survey of Augmented Reality* [3]. AR adalah teknologi yang mengkombinasi antara dunia nyata dengan virtual secara *real-time* [4]. AR sangat berpotensi menunjang dan meningkatkan kualitas pembelajaran [5]. Teknologi AR juga memiliki manfaat lain dalam pembelajaran melalui unsur gamifikasi sehingga meningkatkan motivasi belajar pengguna [6].

AR telah diadopsi oleh beberapa peneliti dalam pembelajaran geometri. Peneliti [7]–[9] menghasilkan aplikasi AR dengan media *marker* yang disisipkan pada lembaran kertas untuk pembelajaran geometri siswa di sekolah dasar. Peneliti [10] juga menghasilkan aplikasi AR dengan media *marker* tetapi disisipkan pada buku untuk pembelajaran geometri siswa di sekolah dasar. Peneliti [2] juga memiliki kajian yang serupa dengan peneliti lain tetapi melibatkan objek penelitian yaitu siswa sekolah menengah pertama.

Penelitian ini akan mengadaptasi kajian peneliti terdahulu yaitu menghasilkan aplikasi AR yang khusus membahas bangun ruang untuk siswa di sekolah dasar. Perbedaan penelitian ini yaitu bentuk *marker* berupa media *puzzle* yang berfungsi melatih psikomotorik dari siswa atau pengguna. Hasil penelitian juga diharapkan memberi referensi pengembangan media pembelajaran dengan teknologi AR secara lebih beragam.

## 2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengadaptasi model pengembangan produk multimedia yaitu *Multi-media Development Life Cycle* (MDLC) [11]. Kerangka model MDLC terdiri dari enam fase yaitu penyusunan konsep, perancangan, pengumpulan bahan, pembuatan, pengujian, dan pendistribusian. Detail informasi setiap fase pada MDLC yaitu [11]:

### 2.1 Penyusunan Konsep

Penyusunan konsep adalah tahap awal dalam penelitian yaitu menganalisis dan menetapkan persona pengguna dan konsep dari aplikasi. Proses menetapkan persona pengguna dilakukan wawancara kepada guru. Proses menetapkan konsep aplikasi dilakukan dengan observasi kegiatan pembelajaran dan uji pemahaman siswa terhadap materi bangun ruang.

### 2.2 Perancangan

Perancangan aplikasi yaitu tahap kedua setelah tahap penyusunan konsep. Proses perancangan dilaku-

kan dengan membuat *sitemap*, *wireframe aplikasi*, dan desain *marker* sebagai media permainan *puzzle* serta *trigger* menampilkan objek virtual.

### 2.3 Pengumpulan Bahan

Pengumpulan bahan yaitu tahap ketiga setelah perancangan. Proses pengumpulan bahan akan dimulai dari menyediakan seluruh *software* membuat teknologi AR dan mengumpulkan aset multimedia lain meliputi *font*, audio, gambar, objek virtual tiga dimensi, dan teks narasi bangun ruang.

### 2.4 Pembuatan

Pembuatan yaitu tahap keempat setelah tahap pengumpulan bahan. Proses pembuatan diawali dengan membuat *marker* bangun ruang sebagai *puzzle* melalui *software* CorelDraw untuk diunggah ke dalam portal Vuforia. Proses kedua yaitu membuat objek virtual tiga dimensi bangun ruang dengan *software* Blender untuk diunggah ke dalam *software* Unity. Proses ketiga yaitu mengintegrasikan seluruh aset multimedia bersama objek virtual di dalam *software* Unity. Proses terakhir yaitu implementasi kode pemrograman C# melalui *software* MonoDevelop untuk membuat seluruh fungsi aplikasi berdasarkan perancangan *wireframe*.

### 2.5 Pengujian

Proses pengujian yaitu tahap kelima dari tahap pembuatan. Pengujian terhadap hasil aplikasi meliputi dua pendekatan yaitu uji fungsional dan uji penerimaan pengguna. Pengujian fungsional berupa uji kemampuan pendeteksian dan pelacakan terhadap *marker* bertujuan untuk menetapkan petunjuk ideal operasional aplikasi. Uji penerimaan pengguna bertujuan untuk memastikan validitas atau kualitas usability aplikasi oleh pihak ahli teknologi dan guru profesional.

### 2.6 Pendistribusian

Proses pendistribusian yaitu tahap akhir model MDLC. Proses pendistribusian terhadap hasil aplikasi AR dilakukan kepada guru di lokasi penelitian. Proses ini juga bersamaan dengan mengevaluasi kebergunaan aplikasi sesuai persona pengguna.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Penyusunan Konsep

Penyusunan persona pengguna dilakukan hasil dari proses wawancara terhadap guru mata pelajaran matematika. Identifikasi konsep aplikasi dilakukan dari observasi pembelajaran siswa. Detail informasi persona pengguna dapat dilihat pada Tabel 1 dan detail konsep aplikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

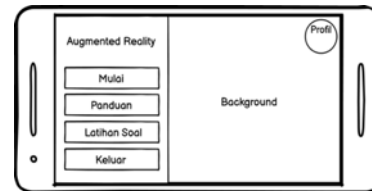
**Tabel 1.** Identifikasi Persona Pengguna

No.	Siapa Pengguna?	Apakah tujuan Pengguna?	Apakah hambatan yang dihadapi Pengguna?
1	Guru yang menyampaikan materi bangun ruang pada pembelajaran matematika	Meningkatkan pemahaman siswa terhadap pembelajaran bangun ruang secara atraktif dan interaktif	Guru menyampaikan materi pembelajaran menggunakan alat peraga konvensional yang kurang menarik perhatian siswa
2	Siswa yang mempelajari materi bangun ruang pada pembelajaran matematika	Memahami secara lebih baik tentang materi pembelajaran bangun ruang	Siswa kurang tertarik dengan alat peraga konvensional sehingga tidak memiliki motivasi belajar yang tinggi

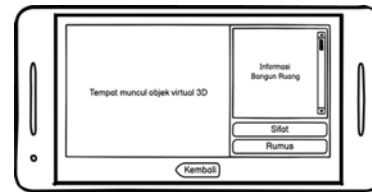
**Tabel 2.** Identifikasi Konsep Pengguna

Kategori Konsep	Deskripsi Konsep
<b>Judul</b>	Pengembangan <i>Puzzle</i> dengan <i>Augmented Reality</i> untuk Pembelajaran Bangun Ruang Siswa Sekolah Dasar
<b>Jenis Multimedia</b>	Media pembelajaran
<b>Tujuan</b>	Aplikasi ini diharapkan mampu meningkatkan penyampaian informasi secara edukatif, atraktif dan interaktif
<b>Target Pengguna</b>	Guru matematika, siswa kelas V dan kelas VI
<b>Marker</b>	<i>Puzzle</i> gambar bangun ruang
<b>Audio</b>	<i>Background</i> dan <i>audio effect</i> dengan format (*mp3)
<b>Objek 3D</b>	Kubus, balok, tabung, bola, dan kerucut
<b>Platform</b>	<i>Android</i>

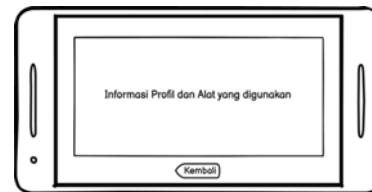
multimedia di dalam aplikasi. Detail *wireframe* dapat dilihat pada Gambar 2.



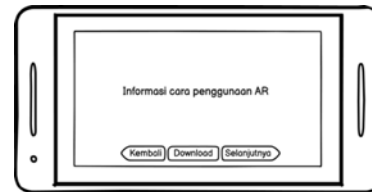
(1) *Wireframe* halaman utama



(2) *Wireframe* halaman objek 3D



(3) *Wireframe* halaman informasi pengembang



(4) *Wireframe* informasi penggunaan

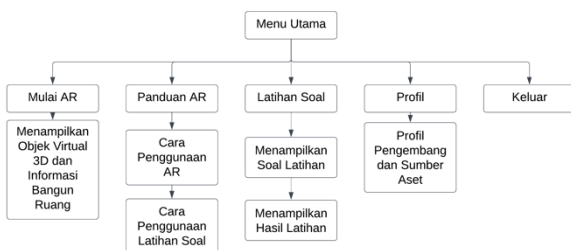


(5) *Wireframe* halaman informasi latihan soal

**3.2 Perancangan**

**3.2.1 Perancangan Sitemap**

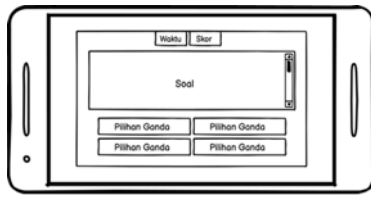
Perancangan *sitemap* yaitu tahap awal untuk menggambar struktur menu di dalam aplikasi. Detail rancangan *sitemap* pada Gambar 1.



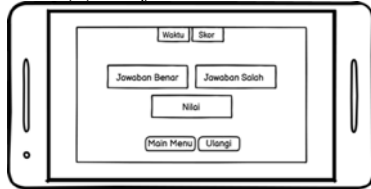
**Gambar 1.** *Sitemap* Aplikasi  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

**3.2.2 Perancangan Wireframe**

Perancangan *wireframe* yaitu tahap pembuatan kerangka aplikasi. Tujuan *wireframe* yaitu memvisualkan interaksi pengguna dan tata letak dari aset



(6) Wireframe latihan soal



(7) Wireframe halaman hasil latihan soal

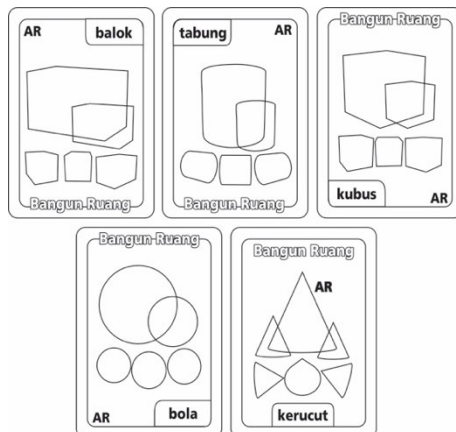


(8) Wireframe konfirmasi

**Gambar 2.** Hasil Wireframe Aplikasi  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

### 3.2.3 Perancangan Marker

Perancangan *marker* yaitu tahap pembuatan kerangka yang diunggah ke dalam portal Vuforia dan dicetak sebagai media *puzzle*. Proses desain *marker* dilakukan dengan *software* Coreldraw dengan bentuk yang atraktif untuk menarik perhatian dari pengguna. Hasil desain *marker* dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil Desain Marker  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

### 3.3 Pengumpulan Bahan

Tahap pengumpulan bahan adalah tahap mengidentifikasi setiap penggunaan aset multimedia di dalam aplikasi yang bersumber dari buku dan laman web *open source* penyedia aset.

- 1) Aset gambar digunakan sebagai tampilan aplikasi secara lebih riil dan atraktif. Setiap aset gambar yang dikembangkan merujuk referensi dari laman web freepik, flaticon, dan Istok.

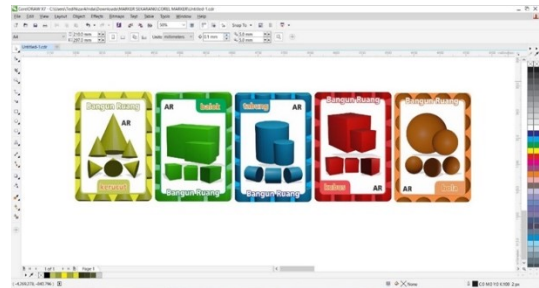
- 2) Aset *audio* digunakan sebagai latar suara aplikasi, tombol aplikasi, objek virtual, dan notifikasi aksi latihan soal. Aset *audio* didapat dari Youtube dan proses rekaman pribadi. Hasil perekaman dari aset *audio* dioptimalkan dengan *software* GoldWave.
- 3) Aset objek virtual tiga dimensi digunakan sebagai visualisasi lima bangun ruang. Setiap objek virtual didapat dari buku pengenalan bangun ruang dan sifatnya [12].
- 4) Aset *font* digunakan untuk penyampaian informasi tekstual di dalam aplikasi. Setiap *font*s bersumber dari web Dafont, Google Font, 1001 free fonts dan Fontspace.

### 3.4 Pembuatan

Tahap pembuatan adalah tahapan menyatukan semua aset multimedia dengan objek virtual menjadi satu aplikasi utuh. Tahapan ini dilakukan berdasarkan hasil luaran dari penyusunan konsep, perencanaan, dan pengumpulan aset. Detail informasi pembuatan aplikasi sebagai berikut:

#### 3.4.1 Pembuatan Marker

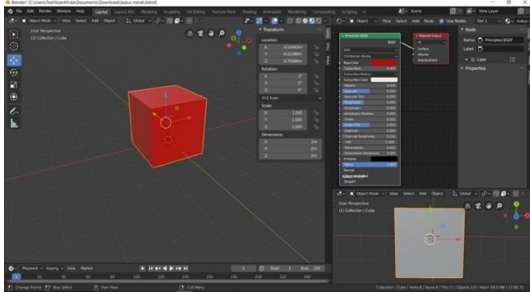
Desain *marker* adalah proses membuat *marker* untuk menampilkan objek tiga dimensi. Konsep *marker* yaitu penuh warna untuk berpotensi menarik perhatian pengguna. Bentuk objek pada *marker* dibuat berbeda sehingga membentuk pola *key features* yang beragam untuk meminimalisir kesalahan pendeteksian. Setiap hasil pembuatan *marker* akan diunggah ke dalam portal Vuforia untuk mendapatkan *key feature* sebagai *trigger* pendeteksian. Hasil pembuatan *marker* dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Proses Pembuatan Marker  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

#### 3.4.2 Pembuatan objek virtual 3D

Pembuatan objek tiga dimensi atau objek virtual menggunakan *software* Blender. Setiap objek virtual dibuat penuh warna disesuaikan dengan warna *marker*. Hasil proses pewarnaan setiap objek virtual di-*export* dari *software* Blender untuk diintegrasikan dengan *marker* melalui *software* Unity. Hasil pembuatan objek virtual bangun ruang dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Proses Pembuatan Objek 3D  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

**3.4.3 Pembuatan Aplikasi AR**

Tampilan *loading* aplikasi menampilkan animasi bergerak yang dilakukan pada *loading fill* Unity untuk menampilkan halaman utama. Transisi halaman utama akan menggunakan *event animation* di dalam *inspektor software* Unity. Hasil pembuatan tampilan *loading* dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Tampilan *Loading*  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan utama menampilkan daftar menu yaitu mulai AR, panduan, latihan soal, keluar, dan informasi profil pengembang aplikasi. Pada latar gambar aplikasi memiliki animasi bergerak sehingga memberikan nilai atraktif. Hasil pembuatan tampilan utama dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Tampilan Utama  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan profil diri menampilkan dua informasi yaitu profil pengembang dan penggunaan *software* dan aset multimedia. Tampilan profil diri pengembang juga memiliki animasi bergerak. Hasil pembuatan tampilan profil diri dapat dilihat Gambar 8.



**Gambar 8.** Tampilan Profil  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan mulai AR menampilkan edukasi sifat dan rumus dari objek virtual yang ditampilkan. Proses menampilkan informasi edukasi disampaikan secara teks dan *audio*. Proses interaksi terhadap objek virtual juga dapat dilakukan dengan merotasi dan mengubah posisi. Hasil pembuatan tampilan objek virtual dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Tampilan Objek Virtual  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan penggunaan AR akan menampilkan panduan mengunduh *marker* dan pendeteksian *marker*. Panduan penggunaan aplikasi bertujuan meminimalisir kesalahan operasional oleh pengguna. Hasil pembuatan tampilan penggunaan aplikasi dapat dilihat Gambar 10.



**Gambar 10.** Tampilan Penggunaan AR  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan panduan latihan soal menampilkan panduan menjawab soal dan mendapatkan hasil evaluasi pembelajaran. Panduan penggunaan ini juga berpotensi meminimalisir kesalahan operasional aplikasi. Hasil tampilan panduan latihan dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Tampilan Panduan Latihan  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan latihan soal menampilkan 10 atribut pertanyaan dalam pilihan ganda sebagai evaluasi proses pembelajaran. Setiap soal ditampilkan secara acak dan memiliki batasan durasi berdasarkan tingkat kesulitan. Setiap tingkatan soal juga memiliki bobot penilaian yang berbeda sesuai tingkat kesulitan. Hasil pembuatan tampilan latihan soal dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Tampilan Latihan Soal  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan hasil evaluasi pembelajaran menampilkan data evaluasi jawaban latihan terdiri dari jawaban benar, jawaban salah, dan nilai akhir. Keseluruhan hasil evaluasi akan mengidentifikasi pemahaman pengguna pada materi bangun ruang. Hasil pembuatan tampilan evaluasi pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Tampilan Hasil Evaluasi Pembelajaran  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

Tampilan keluar menampilkan pesan konfirmasi kepada pengguna untuk mengakhiri atau melanjutkan penggunaan aplikasi. Hasil pembuatan tampilan keluar aplikasi dapat dilihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Tampilan Keluar  
[Sumber: Dokumentasi Penulis, 2022]

**3.5 Pengujian**

Pengujian adalah proses mengevaluasi kualitas aplikasi terkait fungsional dan penerimaan pengguna. Pengujian fungsional dilakukan melalui pendekatan uji pendeteksian dan pelacakan *marker*. *Smartphone* yang digunakan dalam pengujian fungsional memiliki jenis atau spesifikasi *hardware* berbeda. Detail spesifikasi dua perangkat *smartphone* dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Spesifikasi Perangkat *Smartphone*

Nama	Perangkat 1	Perangkat 2
Merek	Samsung A52	Samsung A50
OS	Android 11	Android 9
Ukuran Layar	6.5 Inches	6.5 Inches
Resolusi Kamera	64 MP	25 MP
CPU	Okta Core (2 x 2.3 GHz Kryo)	Okta Core (4 x 2.3 GHz )
GPU	Adreno™ 618	Mali-G72
RAM	8 GB	6 GB

Pengujian dilakukan pada media *puzzle* sebagai *marker* berukuran 21,00 cm x 14,80 cm. Setiap *marker* dilakukan pengujian sebanyak 30 kali dan menganalisis nilai rerata.

**3.5.1 Pengujian *Rating Marker***

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *rating image target* yang diunggah ke portal Vuforia [13]. Jumlah bintang pada *marker* akan merepresentasi *key features*. Semakin banyak bintang maka semakin baik kualitas *marker* untuk dideteksi secara mudah. Detail informasi dari *key feature* pada *marker* ini dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Pengujian *Rating Marker*

<i>Image Target</i>	<i>Key Features</i>	<i>Rating</i>
		★★★★★



Marker yang terdapat pada aplikasi ini memiliki nilai rating yang tinggi yaitu lima bintang pada image target balok, kubus, tabung, dan empat bintang pada marker kerucut dan bola. Setiap marker teridentifikasi secara mudah menampilkan objek virtual.

**3.5.2 Pengujian Pendeteksian**

Pengujian ini bertujuan mengetahui kebutuhan minimum dalam mendeteksi marker. Pengujian terdiri dari empat bagian yaitu waktu respon, jarak minimum, sudut minimum, dan luas permukaan minimum [13].

1) Waktu Respon

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui waktu aplikasi sebelum mendeteksi marker sampai berhasil menampilkan objek virtual. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Uji Waktu Respon

No	Smartphone	Waktu
1.	Samsung A52	< 1 Detik
2.	Samsung A50	< 1 Detik

2) Jarak Minimum

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jarak minimum aplikasi mendeteksi marker. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan posisi smartphone mulai dari jarak terjauh sampai mendekati marker sehingga objek virtual berhasil ditampilkan. Hasil pengujian dapat dilihat Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Uji Jarak Minimum

No	Smartphone	Rerata Jarak
1.	Samsung A52	86 cm
2.	Samsung A50	85 cm

3) Sudut Minimum

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sudut minimum aplikasi mendeteksi marker. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan posisi smartphone ke marker mulai sudut 0° sampai 90° sampai berhasil menampilkan objek virtual. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil Uji Sudut Minimum

No	Smartphone	Rerata Sudut
1.	Samsung A52	49°
2.	Samsung A50	53°

4) Luas Permukaan

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui luas minimum dari permukaan marker dalam pendeteksian aplikasi. Pengujian dilakukan dengan menghalangi marker mulai persentase 20%, 50%, 75%, dan 90%. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Hasil Pengujian Luas Permukaan

Smartphone	25%	50%	75%	90%
Samsung A52	v	v	v	x
Samsung A50	v	v	v	x

v: berhasil

x: tidak berhasil

**3.5.3 Pengujian Pelacakan**

Pengujian ini bertujuan mengetahui kebutuhan minimum dalam melacak marker ketika objek virtual berhasil sampai tidak berhasil ditampilkan. Proses ini terdiri dari tiga bagian yaitu jarak minimum, sudut minimum, dan luas permukaan [13].

1) Jarak Minimum

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jarak minimum pelacakan marker mulai objek virtual berhasil sampai tidak ditampilkan. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan smartphone mulai jarak terdekat dan menjauhi sampai objek virtual tidak terlacak. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Hasil Uji Jarak Maksimum

No	Smartphone	Rerata Jarak
1.	Samsung A52	112 cm
2.	Samsung A50	112 cm

2) Sudut Minimum

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sudut minimum aplikasi melacak marker. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan smartphone ke marker mulai dari sudut 90° sampai 0° dan objek virtual tidak terlacak. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Hasil Uji Sudut Maksimum

No	Smartphone	Rerata Sudut
----	------------	--------------

1.	Samsung A52	2,85°
2.	Samsung A50	2,85°

**3) Luas Permukaan**

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui luas minimum dari permukaan *marker* dalam pelacakan aplikasi. Proses pengujian ini dilakukan dengan menghalangi *marker* mulai dari persentase 20%, 50%, 75%, dan 90%. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Hasil pengujian luas permukaan

Smartphone	25%	50%	75%	90%
Samsung A52	v	v	v	x
Samsung A50	v	v	v	x



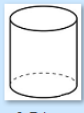


v: berhasil

x: tidak berhasil

**3.5.4 Pengujian Ahli Materi**

Pengujian ini bertujuan mengetahui keabsahan atau validitas materi di dalam hasil pembuatan aplikasi sebagai media edukasi. Materi geometri pada aplikasi disusun berdasarkan buku [12] yang divalidasi oleh dua guru pengajar matematika di sekolah dasar. Interpretasi validitas materi oleh pihak ahli dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Hasil Pengujian Ahli Materi

No	Materi	Validitas
Validitas Bentuk Geometri		
1	 1. Kubus	Valid
2	 2. Balok	Valid
3	 3. Tabung	Valid
4	 4. Kerucut	Valid
5	 7. Bola	Valid
Validitas Sifat Geometri		
6	Kubus: a. Memiliki 6 sisi berbentuk persegi	Valid

No	Materi	Validitas
	b. Memiliki 12 buah diagonal bidang c. Memiliki 12 buah rusuk d. Memiliki 6 pasang rusuk sama panjang e. Memiliki 8 titik sudut f. Memiliki 4 buah diagonal ruang g. Memiliki 6 buah bidang diagonal	
7	Balok: a. Memiliki 4 sisi berbentuk persegi panjang b. Memiliki 6 buah bidang sisi yang berbentuk persegi panjang c. Memiliki 12 buah rusuk d. Memiliki 6 buah pasang rusuk e. Memiliki 8 titik sudut f. Memiliki 4 buah diagonal ruang g. Memiliki 6 buah bidang diagonal	Valid
8	Tabung: a. Memiliki alas dan tutup yang berbentuk lingkaran b. Jarak antara lingkaran tutup dan lingkaran alas disebut tinggi tabung c. Memiliki jaring-jaring tabung berupa 1 buah persegi panjang d. Memiliki 2 buah lingkaran e. Memiliki bidang tegak berupa lengkungan yang disebut juga dengan selimut tabung	Valid
9	Kerucut: a. Memiliki 2 sisi (1 sisi berbentuk lingkaran sebagai alas dan 1 sisi lainnya berupa sisi lengkung atau selimut kerucut) b. Memiliki 1 titik sudut c. Memiliki 1 rusuk	Valid
10	Bola: a. Memiliki 1 sisi b. Memiliki 1 titik pusat c. Tidak memiliki titik sudut d. Memiliki jari-jari yang tak terhingga dan sama panjang	Valid
Validitas Rumus Geometri		



No	Materi	Validitas
11	Kubus: <b>Luas Permukaan:</b> $L = 6 \times (s \times s)$ <b>Volume:</b> $V = s \times s \times s$ <b>Keterangan:</b> S = Sisi	Valid
12	Balok: <b>Luas Permukaan:</b> $L = 2 \times (p.l + l.t + p.t)$ <b>Volume:</b> $V = p \times l \times t$ <b>Keterangan:</b> P = Panjang L = Lebar T = Tinggi	Valid
13	Tabung: <b>Luas Permukaan:</b> $L = (2 \times La) + Ls$ <b>Luas Alas:</b> $La = \pi \times r^2$ <b>Luas Selimut:</b> $Ls = 2 \times \pi \times r \times t$ <b>Volume:</b> $V = La \times t$ <b>Keterangan:</b> t = Tinggi La = Luas alas Ls = Luas selimut $\pi = 22/7$ atau 3,14 r = Jari-jari	Valid
14	Kerucut: <b>Luas Permukaan:</b> $L = La + Ls$ atau $L = \pi \times r \times (r+s)$ <b>Garis pelukis:</b> $S = r^2 + t^2$ <b>Luas Alas:</b> $La = \pi \times r \times s$ <b>Luas Selimut:</b> $Ls = \pi \times r \times s$ <b>Volume:</b> $V = 1/3 \times La \times t$ atau $L = 1/3 \times \pi \times r^2 \times t$ <b>Keterangan:</b> L = Luas Permukaan V = Volume s = Garis Pelukis t = Tinggi $\pi = 22/7$ atau 3,14 r = Jari-jari	Valid
15	Bola: <b>Luas Permukaan:</b> $L = 4 \times \pi \times r^2$ <b>Volume:</b> $V = 4/3 \times \pi \times r^3$ <b>Keterangan:</b> r = Jari-jari $\pi = 22/7$ atau 3,14	Valid

Evaluasi secara mendalam melalui wawancara kepada guru dilakukan untuk mengidentifikasi respon terhadap implementasi aplikasi AR. Interpretasi terkait implementasi aplikasi AR dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Hasil Wawancara

No	Tanggapan
1	(+) Media <i>puzzle</i> memberikan daya tarik yang tinggi kepada siswa untuk bermain dan belajar
2	(+) Aplikasi memberikan daya tarik yang tinggi kepada siswa dalam menampilkan geometri bangun ruang (secara virtual)
3	(+) Aplikasi memberikan informasi materi pembelajaran yang lengkap
4	(+) Aplikasi memberikan panduan operasional yang jelas dan (interaksi) pengguna yang mudah
5	(+) Aplikasi memberikan soal yang beragam sebagai evaluasi pembelajaran
6	(-) Kepingan <i>puzzle</i> perlu dicetak dengan ukuran yang lebih besar agar tingkat kesulitan lebih ringan
7	(-) Media <i>puzzle</i> perlu dikembangkan untuk menampilkan materi (teks) tentang geometri bangun ruang.
8	(-) Bentuk geometri bangun ruang (virtual) perlu dikembangkan untuk menampilkan (animasi) informasi sifat dan struktur

### 3.5.5 Pengujian Ahli Media

Pengujian ini bertujuan mengetahui tanggapan oleh pihak ahli media atau pengembang teknologi dari hasil pembuatan aplikasi sebagai media edukasi. Proses pengujian dilakukan oleh seorang pengembang aplikasi profesional dengan instrumen [14] yang memiliki nilai validitas dan reliabilitas. Interpretasi ahli media dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Hasil Pengujian Ahli Media

No	Pernyataan	Relevan
1	Ukuran simbol sudah sesuai	✓
2	Penempatan simbol sesuai	✓
3	Jenis dan ukuran font pada media mudah dibaca	✓
4	Warna teks yang digunakan pada media mudah dibaca	✓
5	Komposisi gambar yang ada pada media sesuai	✓
6	Ukuran dan kualitas gambar yang ditampilkan media sesuai	✓
7	Ketepatan penempatan gambar pada media sesuai	✓
8	Kesesuaian animasi dengan materi	✓
9	Pemilihan animasi menarik	✓
10	Backsound yang digunakan sudah sesuai dengan animasi	✓

11	Sound effect yang digunakan sudah sesuai dengan animasi	√
12	Cover dalam media pembelajaran sesuai	√
13	Tampilan media pembelajaran dengan isi materi sesuai	√
14	Fleksibilitas media pembelajaran (dapat digunakan mandiri dan terbimbing)	√
15	Petunjuk penggunaan media pembelajaran sesuai	√
16	Kemudahan pengoperasian media pembelajaran sesuai	√
17	Penggunaan tombol navigasi pada media pembelajaran sesuai	√
18	Ketepatan kinerja <i>interactive link</i>	√
19	Konsistensi bentuk dan letak navigasi dalam media sesuai	√
20	Fungsionalitas media sesuai	√

Keterangan:

√ = Relevan

X = Tidak Relevan

### 3.3 Pendistribusian

Proses distribusi hasil aplikasi dimulai dengan mengunggah aplikasi melalui Google Drive agar dapat diakses secara publik. Proses distribusi juga dilakukan dengan menyampaikan media *puzzle* berbasis teknologi *augmented reality* secara langsung kepada guru mata pelajaran di lokasi penelitian.

### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan aplikasi berbasis *augmented reality* yang diterapkan ke dalam *puzzle* sebagai *trigger* menampilkan objek virtual. Pada pengujian aplikasi dilakukan melalui pendeteksian dan pelacakan *marker*. *Puzzle* dengan aplikasi *augmented reality* dapat menampilkan objek virtual kurang dari 1 detik, sudut baca mulai 27° sampai 2°, jarak baca 10 cm sampai 112 cm, dan kondisi *marker* terhalang kurang dari 50%.

Pengujian mendalam dilakukan oleh profesional untuk mengidentifikasi validitas dan relevansi aplikasi sebagai media pembelajaran. Pengujian oleh dua guru profesional bidang matematika mengidentifikasi materi terkait bentuk, sifat, dan rumus geometri bangun ruang bernilai valid. Pengujian oleh pengembang teknologi *mobile* juga mengidentifikasi relevansi aspek usability dari aplikasi sebagai media pembelajaran.

### PERNYATAAN PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak kepala sekolah, guru, siswa, dan ahli media yang berpartisipasi aktif mewujudkan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Usmaedi Usmaedi, "Education Curriculum For Society 5.0 In The Next Decade," *Jurnal*

*Pendidikan Dasar Setiabudhi*, vol. 2, no. 3, pp. 63–79, Jan. 2021.

- [2] M. A. Cruz, K. F. Davalos, M. J. Ibarra, H. A. H. Baca, and F. de L. P. Valdivia, "Pacha-Tupuy: Mobile application to teach and learn geometry," in *2020 XV Conferencia Latinoamericana de Tecnologias de Aprendizaje (LACLO)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/LACLO50806.2020.9381140.
- [3] M. Billingham, A. Clark, and G. Lee, "A Survey of Augmented Reality," *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, vol. 8, no. 2–3, pp. 73–272, 2015, doi: 10.1561/1100000049.
- [4] Ayşegül TakkaÇ Tulgar, "In Between Reality and Virtuality: Augmented Reality in Teaching English to Young Learners," *Journal of Selcuk University Social Science Institute*, no. 41, pp. 356–364, Feb. 2019.
- [5] D. Nincarean, M. B. Alia, N. D. A. Halim, and M. H. A. Rahman, "Mobile Augmented Reality: The Potential for Education," *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 103, pp. 657–664, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.385.
- [6] I. Mustaqim, "Pemanfaatan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 13, no. 2, Oct. 2016, doi: 10.23887/jptk-undiksha.v13i2.8525.
- [7] V. Rossano, R. Lanzilotti, A. Cazzolla, and T. Roselli, "Augmented Reality to Support Geometry Learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 107772–107780, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000990.
- [8] S. Syafril, Z. Asril, E. Engkizar, A. Zafirah, F. A. Agusti, and I. Sugiharta, "Designing prototype model of virtual geometry in mathematics learning using augmented reality," *J Phys Conf Ser*, vol. 1796, no. 1, p. 012035, Feb. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1796/1/012035.
- [9] B. Cahyono, M. B. Firdaus, E. Budiman, and M. Wati, "Augmented Reality Applied to Geometry Education," in *2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIconCIT)*, IEEE, Nov. 2018, pp. 299–303. doi: 10.1109/EIconCIT.2018.8878553.
- [10] Qadhli Jafar Adrian, Agus Ambarwari, and Muharman Lubis, "Perancangan Buku Elektronik Pada Pelajaran Matematika Bangun Ruang Sekolah Dasar Berbasis Augmented Reality," *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro, dan Ilmu Komputer*, vol. 11, no. 1, 2020.
- [11] Arch C Luther, *Authoring interactive multimedia*, Berilustrasi. Virginia, United States: AP Professional, 1994.
- [12] Agus Suharjana, Markaban, and Hanan W. S., *Geometri Datar dan Ruang di SD*, 9th ed., vol. 53. Jakarta: pusat pengembangan dan pemberdayaan pendidik dan tenaga kependidikan, 2013.
- [13] Andria Wahyudi, Ridi Ferdiana, and Rudy Hartanto, "Pengujian dan Evaluasi Buku Interaktif Augmented Reality ARca 3D," in *Seminar*

*Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*,  
Yogyakarta: STMIK AMIKOM Yogyakarta, Feb.  
2014, pp. 53–58.

- [14] Mede Kevin Ihza Mahendra, “Pengembangan  
Media Pembelajaran Augmented Reality Book 2  
Dimensi Sub Tema Lingkungan Alam di PAUD

Telkom Singaraja,” Universitas Pendidikan  
Ganesha, Bali, 2021.